



# Ympäristöteknologian ennakointi

Taustoja ja puheenvuoroja

Laura Järvinen (toim.)

Sitran raportteja **61**



**SITRA**

# **Ympäristötekniologian ennakointi**

***Taustoja ja puheenvuoroja***



# **Ympäristöteknologian ennakointi**

## **Taustoja ja puheenvuoroja**

*Laura Järvinen (toim.)*

Sitran raportteja 61

ISBN 951-563-514-4 (nid.)

ISSN 1457-571X (nid.)

ISBN 951-563-515-2 (URL: <http://www.sitra.fi>)

ISSN 1457-5728 (URL: <http://www.sitra.fi>)

Sitran raportteja -sarjassa julkaistaan tutkimusten, selvitysten ja arviointien tuloksia erityisesti asiantuntijoiden käyttöön.

Raportteja voi tilata Sitrasta, puhelin (09) 618 991, sähköposti [julkaisut@sitra.fi](mailto:julkaisut@sitra.fi)

Edita Prima Oy  
Helsinki 2006

# Esipuhe

Ympäristötekniikan maailmanmarkkinat ovat noin 550 miljardia euroa. Sijoitukset alalle ovat kasvaneet vuosittain merkittävästi useissa Euroopan maissa. Sijoitustoiminnan ja markkinoiden veturit ovat lainsäädäntö, ilmastonmuutos ja energian hinta. Uusia ja paremmin sovellettuja teknologiaratkaisuja pidetään keskeisinä ympäristöongelmien ratkaisuina. Markkinamekanismien rinnalla kansainväliset sopimukset ja kiristynyt lainsäädäntö ohjaavat osaltaan alan kehitystä.

Ympäristöasioita on lähestyttävä eri näkökulmista. On kyettävä ennakoimaan, miten teknologia, markkinat ja lainsäädäntö kehittyvät. Tämän lisäksi on osattava tunnistaa ympäristöön liittyvät mahdollisuudet sekä kääntää terveellinen ja turvallinen ympäristö suomalaisiksi vahvuudeksi ja kasvavaksi kaupalliseksi toiminnaksi.

Suomessa on edistyksellistä ympäristöteknologiaa ja -osaamista. Tarvi-taan kuitenkin enemmän asiakas- ja markkinalähtöisiä vientipanostuksia, pirstaleisen yrityskentän vahvistamista ja tehokkaampaa verkottumista. Suomen itsenäisyyden juhlarahaston Sitran Ympäristöohjelman tavoitteena on nostaa suomalaisen ympäristöteknologiaan pohjautuvan liiketoiminnan tasoa ja parantaa sen kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla.

Ympäristöohjelman yhtenä osana on ympäristötekniikan ennakointi, jossa haetaan uusia avauksia ja kartoitetaan tulevaisuuden heikkoja signaaleja. Ympäristötekniikan ennakointi tapahtuu osana Sitran kansallista ennakointi-verkoston. Ympäristöryhmä on yksi verkoston teemaryhmistä. Kansallisen ennakointiverkoston tavoitteena on tunnistaa suomalaisen yhteiskunnan kannalta merkittäviä, uusia tulevaisuuden haasteita ja mahdollisuuksia.

Sitran Ympäristöohjelma järjesti Ympäristötekniikan ennakointi 2015+ -seminaarin 1.–2.11.2005 Haikon kartanossa. Seminaarissa suomalaiset yri-tysjohtajat sekä rahoituksen, hallinnon ja tutkimuksen johtavat edustajat poh-

tivat ympäristötekniikan tulevaisuutta. Seminaariin osallistui noin 50 henkeä. Seminaarin tavoitteena oli tunnistaa ympäristötekniikan kasvualueita, kehitysjä muutostrendejä sekä Suomen vahvoja osaamisalueita.

Seminaarin pohjustukseksi VTT, Gaia Group Oy ja Teknillinen korkeakoulu laativat Sitran Ympäristöohjelman toimeksiannosta Ympäristötekniologian ennakkoinnin taustaselvityksen. Taustaselvitys tehtiin Ympäristöohjelmaan liittyvää ennakkointiprosessia käynnistettäessä ja sitä hyödynnettiin Haikon seminaarissa.

Ympäristötekniologian ennakkoinnin taustaselvitys muodostaa tämän raportin ensimmäisen osan. Toisen osan muodostavat Haikon seminaarin alustukset ja yhteenveto innovatiivisesta ryhmätyöprosessista. Seminaariosuudessa olevien puheenvuorojen lisäksi seminaarissa kuultiin Kari Larjavan, Juha Vanhasen ja Tarja Tepon esitykset, jotka perustuivat Ympäristötekniologian ennakkoinnin taustaselvitykseen.

Osana Ympäristöohjelmaa Sitra kokoaa ympäristöalan keskeisiä toimijoita yhteen luomaan ympäristötekniikan kansallista toimintaohjelmaa. Tarkoituksena on varmistaa alan viennin kasvu. Kansallisessa toimintaohjelmassa linjataan uusia avauksia, joten myös siinä työssä voidaan hyödyntää ympäristötekniologian ennakkoinnin tuotoksia.

Sitran Ympäristöohjelma kiittää seminaarin alustajia, ryhmätyöprosessin vetäjiä ja seminaarin osallistujia heidän merkittävästä panoksestaan Ympäristötekniikan ennakkointi -seminaarisiin.

Helsingissä helmikuussa 2006

Jukka Noponen  
ohjelmajohtaja  
Sitran Ympäristöohjelma

# Sisältö

<b>Esipuhe</b>	5
<b>OSA 1 YMPÄRISTÖTEKNOLOGIAN ENNAKOINNIN TAUSTASELVITYS</b>	11
<b>1 Tausta ja tavoite</b>	13
<b>2 Ympäristöalan kehitysnäkymät</b>	15
Muutosvoimat	15
Poliittisen tahtotilan synnyttämä paine	15
Ympäristöasioiden huomioiminen markkinamekanismeissa	16
Ympäristöasiat osana kestäväää kehitystä	17
Teknologian kehitys	17
Ympäristötekнологian markkinanäkymät	18
Kansainväliset markkinat	19
Suomen ympäristöteknologiasektori	19
Suomen ympäristöalan SWOT-analyysi	20
<b>3 Ympäristöteknologia ja sijoitustrendit</b>	22
Ympäristöteknologia investointikohteena	22
Sijoittajaryhmät	23
Ympäristöteknologian sijoitusmarkkinan kehitys ja trendit	27
Esimerkki ympäristöteknologian sijoitustuotosta	29
<b>4 Ympäristöteknologioiden nykytila ja tulevaisuus</b>	32
Uusiutuva energia	32
Bioenergia	33
Tuulivoima	34
Aurinkoenergia	35
Vesivoima	36
Muut uusiutuvat energialähteet	36



Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	37
Teknologian kehitys	38
Pienen kokoluokan yhteistuotanto	40
Virtuaalivoimalaitokset	42
Vety- ja polttokennoteknologia	42
Vedyn tuotantoteknologiat	43
Vedyn siirto- ja varastointiteknologiat	43
Vedyn käyttökäytännöt	46
Vety- ja polttokennoteknologiaan liittyviä uusia liiketoimintamahdollisuuksia	47
Energian käytön tehostaminen	48
Rakennukset ja rakentaminen	48
Tuotteet ja laitteet	52
Vesi	52
Jätteet ja kierrätys	56
Maaperän suojeleminen	60
Ilmansuojelu ja ilmastomuutoksen hillitseminen	62
Ilmansuojeluteknologia	62
Monitorointi ja tarkkailu	64
Ilmastomuutoksen hillitseminen	66
Puhtaat ja ekotehokkaat prosessit	66
Metsäteollisuus	67
Teräs- ja metalliteollisuus	69
Kemianteknologia	71
Bioteknologian hyödyntäminen	72
Logistiikka	75
Meluntorjunta	76
<b>5 Ympäristötekniikka ja yritys</b>	<b>78</b>
Pääomasijoittajat ja ympäristötekniikan riskikartta	78
Ympäristöteknologiyrittäjien haasteet	80
Esimerkkejä ympäristöteknologiyrittäjistä	82
<b>6 Yhteenveto</b>	<b>85</b>
<b>7 Lähteet</b>	<b>89</b>
<b>8 Liitteet</b>	<b>98</b>

<b>OSA 2 PUHEENVUOROJA</b>	109
<b>Miten päästöjä vähennetään 100 % – Ilmasto, teknologia ja politiikka</b>	111
Kuinka paljon päästöjä pitää vähentää?	111
Tulevaisuuden lupaavat teknologiat	112
Kestävää teknologiaa kaupallistettava ripeästi	113
Suhteellisuudentaju muistettava	114
<b>Ympäristöteknologia ja kuluttajavaikutus</b>	115
Johdanto	115
Sosiokulttuuriset trendit ohjaavat yksilön valintoja ja toimintaa	115
Erilaiset kohderyhmät – ympäristötekniikan edelläkävijä	116
Suomalaisten tunnusomaisia piirteitä	118
Ympäristöteknologian kaupallistaminen	119
<b>Koillisväylä: navigointi teknologiakartalla</b>	120
Saapuuko laiva koskaan perille?	120
Ympäristöteknologian ennakoinnin paradoksi	120
Suuri konvergenssi	121
Miten navigoida teknologiakartalla	121
Suomen tie ympäristöteknologiakartalla	122
Suomen valinta?	123
<b>Maailman ympäristömarkkinat</b>	124
Yleistä markkinoista ja tulevaisuuden kehityksestä	124
Markkinoiden jakautuminen	124
Uusiutuvan energian markkinat	125
Havaintoja ympäristöalan yrityksistä	125
Haasteet alan yrityksille Suomessa	125
<b>Itä-Euroopan ja Venäjän ympäristöbisneksen mahdollisuudet</b>	127
Sääntely ja kansainväliset velvoitteet	127
Markkinatekijät	128
Rahoitus	129
Esimerkki ympäristörahoituksesta: pohjoisen ulottuvuuden ympäristökumppanuus	129
<b>Ohjaavatko asiakastarpeet liiketoimintaa?</b>	131
Ympäristötietoisuuden kasvu	131
Asiakastarpeiden muodostuminen	132

Asiakastarpeiden kanavoituminen yrityksille	132
Miten asiakastarpeet pyritään huomioimaan?	
– Esimerkki Proventia Automation	134
Lopuksi	135
<b>Tulevaisuudenkuva ja teknologiaohjelmat</b>	136
Teknologiaohjelmat työkaluina	136
Teknologiaohjelmat ympäristöalueella	137
Ympäristöalueen haasteita	137
Ympäristölähtöinen rahoitus ja esimerkkituloksia eri sektoreilla	138
Ilmastonmuutoksen hillinnän tarve ajavana ja kokoavana voimana	141
<b>Yhteenveto Vahvuuksista markkinoille</b>	
– radikaalit innovaatiot yli rajojen -työpajaprosessin ideoista	142

**Kirjoittajat**

VTT:

Kari Larjava, Ulla-Maija Mroueh,  
Hidde Ronde, Annele Eerola

Gaia Group Oy:

Juha Vanhanen, Mikko Halonen

Teknillinen korkeakoulu:

Tarja Teppo

# OSA 1

## Ympäristötekniologian ennakoinnin taustaselvitys



# 1 Tausta ja tavoite

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra on käynnistänyt Ympäristöohjelman, jonka tavoitteena on nostaa suomalaisen ympäristöteknologiaan pohjautuvan liiketoiminnan tasoa ja parantaa sen kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Osana tätä Ympäristöohjelmaa Sitra on käynnistämässä ennakoitiproessin, joka aloitetaan tekemällä taustaselvitys. Tavoitteena on koota yhteen olemassa olevaa ennakoititietoa ympäristöalan teknologioista ja liiketoiminnasta. Selvitystä voidaan hyödyntää muun muassa Ympäristöohjelman valmistelussa ja ohjelman tärkeimpien alueiden valinnassa.

Selvitys perustuu keskeisiin aiheesta tehtyihin koti- ja ulkomaisiin ennakoititöihin sekä muuhun vastaavaan materiaaliin, kuten valikoitujen Tekesin teknologiaohjelmien tulosten läpikäyntiin. Työn pohjana on hyödynnetty seuraavia toteuttajien – VTT, Gaia Group Oy ja Teknillinen korkeakoulu (TKK) – tekemiä tai valmisteilla olevia selvityksiä ja raportteja:

- Gaia Group Oy: Selvitys ympäristöteknologian potentiaalista
- TKK: Teppo, T. Financing cleantech innovations: Investors, entrepreneurs and the clean energy venture capital market. Unpublished PhD dissertation, Helsinki University of Technology
- VTT: EU:n ympäristöteknologian verifointijärjestelmähankkeen (TESTNET) ennakointiin liittyvä taustamateriaali.

Ympäristöteknologian määritelmänä on tässä hankkeessa käytetty ETAPin (Environmental Technologies Action Plan for the European Union) määritelmää. Sen mukaan ympäristöteknologioita ovat teknologiat, jotka aiheuttavat vähemmän haitallisia ympäristövaikutuksia kuin vaihtoehtoinen teknologia. Näin määriteltynä ympäristöteknologian käsite kattaa 1) ympäristön pilaantumisen hallintateknologiat ja -prosessit, 2) puhtaammat tuotteet, prosessit ja palvelut sekä 3) luonnonvarojen käytön hallinnan. Siten ympäristöteknologia

kattaa kaikki taloudellisen toiminnan osa-alueet, joilla se usein myös vähentää kustannuksia ja parantaa kilpailukykyä vähentämällä energian ja luonnonvarojen käyttöä.

Selvityksessä tarkastellaan ympäristöalan yleisiä kehitysnäkymiä, ympäristöalan tilannetta Suomessa sekä ympäristöteknologiaa investointikohteena ja yrittäjyysnäkökulmasta. Teknologikohtainen tarkastelu perustuu lähinnä ETAPin määritelmään. Siinä käsiteltävät teknologia-alueet liittyvät energiahuoltoon, vesiin, ilmansuojeluun, jätteiden käsittelyyn ja kierrätykseen, maaperän suojeluun sekä puhtaaseen ja ekotehokkaaseen tuotantoon. Teknologioiden alla on tarkasteltu muun muassa ympäristön monitorointia, bio-, nano-, materiaali- ja informaatiotekniikan vaikutuksia sekä palvelutoimintoja.

# 2 Ympäristöalan kehitysnäkymät

## Muutosvoimat

### Poliittisen tahtotilan synnyttämä paine

Ympäristökysymykset ovat viime vuosina tulleet osaksi poliittista keskustelua ja päätöksentekoprosesseja niin kansainvälisellä kuin kansallisella tasolla. Yhdistyneissä kansakunnissa luodut kansainväliset sopimukset ja Euroopan unionin kautta tehdyt sitoumukset luovat painetta siihen, että niin julkisen kuin yksityisen sektorin toimijat integroivat ympäristökysymykset osaksi päätöksentekoaan. Tämän poliittisen kentän muutoksen taustalla voidaan nähdä kansainvälisen tiedeyhteisön vakuuttavat tutkimustulokset useiden ympäristötrendien huolestuttavista piirteistä (jotka liittyvät esimerkiksi ilmastonmuutokseen, aavikoitumiseen, luonnon monimuotoisuuteen, metsien ja merten tilaan tai puhtaan juomaveden riittävyyteen) mutta myös yleisemmin ihmisten kasvanut tietoisuus ympäristöongelmista.

Kansainväliset sopimukset luovat enemmän tai vähemmän sitovia velvoitteita kansallisvaltioille sekä tärkeitä periaatteita ympäristöpolitiikalle (esimerkiksi varovaisuusperiaate, saastuttaja maksaa -periaate ja periaate kansalaisten osallistumis- ja tiedonsaantioikeuksista). Sopimusten vaikutukset näkyvät suoraan tai välillisesti monilla yhteiskunnan aloilla, ja usein ympäristöteknologioita halutaan pitää keskeisenä ympäristöongelmien ratkaisuna.<sup>1</sup> Kioton ilmastopöytäkirja on yksi esimerkki sopimuksesta, joka tulevaisuudessa muovaa päätöksentekoa muun muassa energia- ja liikennesektorilla, maa- ja metsätaloudessa, jätehuollossa sekä yhdyskuntasuunnittelussa.

---

<sup>1</sup> Useita nimikkeitä ympäristöteknologioista on olemassa, esim. cleaner production, cleantech, green technologies, industrial ecology. Raportissa käytetty ympäristöteknologian määritelmä on esitetty luvussa 1.



Euroopan yhteisön merkitys kansainvälisten ympäristösopimusten osapuolena sekä ennen kaikkea EY-lainsäädännön muodostajana on 1980-luvulta lähtien ollut merkittävä paitsi jäsenvaltioidensa kannalta myös globaalin ympäristötoiminnan kehityksen kannalta. Vuoden 2001 kestävä kehityksen strategian kautta EU lisäsi Lissabonin strategiaansa ympäristönäkökulman.<sup>2</sup> EU:n kuudennen ympäristöohjelman 2001–2010 keskiössä ovat asiat, jotka liittyvät ilmastonmuutokseen, luonnon monimuotoisuuteen, terveyteen ja elämänlaatuun sekä luonnonvarojen kestäväan käyttöön ja jätehuoltoon. Vaikka ympäristöpolitiikan tekijöiden keskuudessa lisääntyy yksimielisyys taloudellisten ohjaukeinojen tarpeellisuudesta tehokkaan ympäristöpolitiikan osana, EU:n ympäristöpolitiikkaa toteutetaan yhä pääsääntöisesti lainsäädännön avulla.

Pääministeri Vanhasen hallitusohjelmassa vahvistetaan Suomen sitoumus kestävä kehityksen edistämiseen ja toimenpiteisiin globaalien ja kansallisten ympäristöongelmien ratkaisemiseksi. Ympäristöteknologiat nostetaan esiin eräänä tärkeänä keinona ohjata tuotanto- ja kulutustapoja kestävämmälle uralle. Suomen EU-jäsenyyden myötä maamme ympäristölainsäädäntöä on harmonisoitu vastaamaan EY-lainsäädäntöä, ja sitä uudistetaan jatkuvasti EU-direktiivien mukaisesti. Ympäristöteknologioiden kannalta voidaan erityisesti nostaa esiin IPPC-direktiivi<sup>3</sup>, jätedirektiivit, sähködirektiivi, vihreän sähkön direktiivi ja päästökauppadirektiivi. Uusia ympäristöteknologioiden markkinoita voidaan myös olettaa syntyvän, mikäli uusi kemikaaleja käsittelevä REACH-direktiivipaketti<sup>4</sup> saadaan voimaan. Suomalaiset yritykset pitävät ympäristölainsäädännön seuraamista, siihen vaikuttamista ja sen muuttuessa syntyvien markkinapotentiaalien hyödyntämistä merkittävänä haasteena omassa toiminnassaan (Gaia Group Oy 2004).

## Ympäristöasioiden huomioiminen markkinamekanismeissa

1990-luvun maailmanpoliittisten murrosten jälkeen markkinajärjestelmä on entistäkin keskeisemmässä roolissa niin globaalien kuin paikallisten resurssien ja pääomien kohdentamisessa. Samanaikaisesti vaateet markkinamekanismien puutteiden korjaamisesta muun muassa ympäristöperustein ovat voimistuneet ja niin kutsutut ulkoisvaikutukset sisäistetään hintajärjestelmässä paremmin.

---

<sup>2</sup> Lissabonin strategian myötä EU asetti vuonna 2000 tavoitteekseen olla tulevaisuudessa ”maailman kilpailukykyisin ja dynaamisin tietoon perustuva talous, joka kykenee ylläpitämään kestävää talouskasvua, luomaan uusia ja parempia työpaikkoja ja lisäämään sosiaalista yhteenkuuluvuutta”.

<sup>3</sup> IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) -direktiivi velvoittaa päästövaatimusten piiriin kuuluvia yrityksiä soveltamaan toimialakohtaisesti ns. BAT-teknologiaa (Best Available Technology) uutta toimintaa perustettaessa tai toimintaa uusittaessa.

<sup>4</sup> EU:n tavoitteena on uudenaikaistaa kemikaalilainsäädäntöä ottamalla käyttöön ns. REACH-järjestelmä, joka on yhtenäinen järjestelmä kemiallisten aineiden rekisteröintiin, arviointiin ja lupamenettelyyn.

Muutoksia on saatu käynnistettyä esimerkiksi ympäristölle haitallisten tukiaisten alasajon kautta, ja markkinamekanismien laajempi hyödyntäminen ympäristöpolitiikassa lainsäädännöllisten ja tiedollisten keinojen rinnalla etenee asteittain. Avoimessa taloudessa toimiminen asettaa kansallisvaltioille myös uusia verotuspohjaan liittyviä haasteita. Todennäköisesti niihin vastataan tulevaisuudessa entistä enemmän siten, että verotuksen painopistettä siirretään haitallisten ulkoisvaikutusten suuntaan.

Pelikentän muutokset luovat lisäksi pohjaa ympäristökustannusten ja -hyötyjen eksplisiittiselle huomioimiselle ja sisäistämiselle yritysten laskentajärjestelmiin. Tämä auttaa yrityksiä tunnistamaan paremmin ympäristötoiminnasta saatavia kustannussäästöjä sekä kilpailukykyetuja. Kiristyvää ympäristölainsäädäntö on edelleen selkeästi merkittävin ympäristöteknologioiden markkinoita katalysoiva voima, mutta kasvava määrä yrityksiä on tunnistanut selkeitä yhteyksiä hyvän ympäristöasioiden hallinnan ja positiivisen tuloksen tai osakearvon kehityksen välillä (Morgan Stanley & Oekom 2004, UNEP 2004, World Economic Forum 2004).

## Ympäristöasiat osana kestäväää kehitystä

Kestävän kehityksen ympäristövaateet saavat nykyään rinnalleen entistä useammin vaateen sosiaalisesti kestävämmästä ja globaalisti tasa-arvoisemmasta kehityksestä. Kansainvälisellä tasolla nämä vaateet on kirjattu YK:n vuosituhattavoitteissa (Millennium Development Goals 2000), joihin maailman kansakunnat ovat sitoutuneet. Talouselämän sidosryhmien vastauksia näihin haasteisiin on usein käsitelty liike-elämän yhteiskuntavastuu (Corporate Social Responsibility) -käsitteen avulla. Kansalaisjärjestöt niin teollisuus- kuin kehityksimaissaakin toimivat entistä verkottuneemmin ja nostavat aktiivisesti esiin kysymykset luonnon monimuotoisuudesta, peruuttamattomien muutosten välttämisestä, luonnonresurssien oikeudenmukaisesta jaosta sekä ympäristön ja yhteiskuntien hyvinvoinnin välisistä yhteyksistä.

Ympäristökoulutuksen ja -viestinnän selkeä yleistyminen Rio de Janeirosa vuonna 1992 järjestetyn YK:n ympäristö- ja kehityskonferenssin jälkeen on yleisesti lisännyt eri sidosryhmien ympäristötietoisuutta. Kuitenkin sidosryhmien väliset erot ovat merkittäviä (esimerkiksi eri maitten välillä, eri sukupolvien välillä ja eri sosioekonomisten luokkien välillä), eikä lisääntynyt ympäristötietoisuus automaattisesti johda muutoksiin ihmisten kulutustavoissa.

## Teknologian kehitys

Vaikka käytössä olevat teknologiat ovat esimerkiksi ei-toivottujen sivuvaikutusten tai lyhytnäköisten sovellusten kautta monien ympäristöongelmien keskiössä, uusia ja parempia ympäristöteknologioita pidetään usein myös ongelmien

ratkaisuina. Tiedeyhteisön ja poliittisten päättäjien keskuudessa on voimistunut näkemys siitä, että ympäristöongelmien ratkaisemiseen tarvitaan kokonaisvaltaisempia lähestymistapoja. Voidaankin olettaa, että ympäristöteknologioiden painopiste siirtyy tulevaisuudessa piipunpääteknologioista enemmän prosessiteknologioihin ja ympäristöä vähemmän rasittaviin palvelu- ja toimintakonsepteihin, joiden lähtökohtana on välttää ylipäänsä ympäristöongelmien syntyminen. Esimerkiksi Japanin seitsemännessä delphi-ennakointitutkimuksessa Earth and Environment koettiin tärkeimmäksi teknologiateemaksi pitkällä aikavälillä tarkasteltuna. Keskeisinä kehityskohteina pidettiin muun muassa jätteiden käsittelyä, kierrätystä, ajoneuvojen päästöjen vähentämistä sekä torjunta-aineiden käytön optimointia. Myös ekotehtaan konseptilla nähtiin olevan merkittäviä mahdollisuuksia. (NISTEP 2000)

Tiedeyhteisön työ myös muilla aloilla voi avata kokonaan uusia keinoja vastata ympäristöhaasteisiin. Esimerkiksi informaatioteknologia, nanoteknologia, bioteknologia ja geenitekniologia voivat tarjota aivan uusia vastauksia teknologian rooliin yhteiskunnassa – ja synnyttää samalla uusia haasteita mutta myös ratkaisuja ympäristöongelmiin.

## **Ympäristöteknologian markkinanäkymät**

Ympäristöteknologioiden markkinat ovat viime vuosina kehittyneet yleistä markkinakehitystä nopeammin, ja nopean kasvun odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa (ECOTEC Research and Consulting Limited 2002, European Commission 2005a). Positiivisen kehityksen taustalla voidaan nähdä ympäristöteknologioille avointen markkinoiden laajentuminen muun muassa siitä syystä, että 25 jäsenmaan EU-markkinat laajenevat ja globaalit markkinat asteittain avautuvat. Myös teollisuusmaiden monien niin sanottujen perinteisten markkinoiden kypsyminen johtaa kasvun hakemiseen uusilta ”ympäristömarkkinoilta” niin kehittyvistä kuin kehitysmaistakin.

Ympäristöteknologioiden markkinat muodostuvat hyvin erilaisista tuotteista ja palveluista, joiden kasvuennusteet poikkeavat toisistaan. Tiettyillä markkinasegmenteillä esimerkiksi Länsi-Euroopassa, Yhdysvalloissa tai Japanissa voidaan havaita selkeää siirtymistä piipunpääteknologioista puhtaampiin teknologioihin, jotka huomioivat prosessit kokonaisuutena. Silti etenkin kehittyvissä ja kehitysmaissa pääosa teknologisista ratkaisuista on edelleen vanhaa piipunpääteknologiaa. Ympäristöteknologioiden markkinoita voidaan myös kuvata voimakkaasti muuttuviksi markkinoiksi. Niin kansainvälisillä kuin Suomen markkinoilla tapahtuu paljon rakenteellisia muutoksia, kun alan yritykset hakevat kilpailukykyä yritysostojen ja fuusioiden myötä.

## Kansainväliset markkinat

Ympäristöteknologioiden maailmanmarkkinat on arvioitu reiluksi 500 miljardiksi euroksi, josta EU:n osuus on noin kolmannes (ECOTEC Research and Consulting Limited 2002, European Commission 2005a). Markkinoiden suurimpiin toimijoihin kuuluvat EU:n lisäksi Yhdysvallat ja Japani. Aasian ympäristöteknologiemarkkinoiden ennustetaan kehittyvän tulevaisuudessa suotuisasti, etenkin kun Kiina vetää investointeja puoleensa. Toisaalta EU:n laajentuminen luo selkeää tilaa uusille ympäristöteknologioiden markkinoille myös Euroopassa.<sup>5</sup>

Kun otetaan huomioon teollisuusmaissa 1970–1990-luvuilla tehdyt suuret investoinnit vesihuoltoon ja ilmansuojeluun, jätehuoltomarkkinat kasvavat nykyään globaalisti näitä sektoreita nopeammin. Kunnianhimoiset uusiutuvien energialähteiden lisäämiseen tähtäävät ohjelmat ajavat ympäristöteknologioita voimakkaaseen kasvuun energiasektorilla. Kioton pöytäkirjan ratifiointi sekä EU:ssa vuonna 2005 käynnistynyt päästökauppa kiihdyttävät entisestään nopeaa markkinakehitystä sekä luovat kokonaan uusia ympäristöteknologioiden ja -palvelujen markkinoita. Esimerkiksi tuulivoiman vuosittaisen markkinakasvun odotetaan lähivuosina pysyvän keskimäärin 20 %:ssa ja bioenergiaan liittyvien teknologioiden markkinoiden arvioidaan Euroopan vetämänä kasvavan noin 10 %:n vuosivauhtia.

Vuonna 2004 käynnistetyn ympäristöteknologioita edistävän toimintasuunnitelmansa (Environmental Technologies Action Plan, ETAP) avulla EU pyrkii tehostamaan ympäristöteknologioiden markkinoille pääsyä, parantamaan markkinaolosuhteita ympäristöteknologioille suotuisammiksi sekä vaikuttamaan globaalisti ympäristöteknologian siirtymiseen kehittyviin ja kehitysmaihin. Kasvatavat yhteismarkkinat tarjoavat myös entistä paremman mahdollisuuden EU-maille saavuttaa suurtuotannon etuja innovatiivisille ympäristöteknologioille ja -palveluille.

## Suomen ympäristöteknologiasektori

Suomalaisten yritysten ympäristöteknologiasta saama liikevaihto vuonna 2003 oli noin 3,4 miljardia euroa, josta reilu kolmannes syntyi yritysten ulkomaan-toiminnoista (Tilastokeskus 2005). Ympäristöteknologiasektorin kasvu on ollut kokonaisuudessaan maltillista. Sen työllistävä vaikutus ei ole viime vuosina merkittävästi kasvanut Suomessa.

Pienten yritysten osuus liikevaihdosta ja työllisyydestä on kasvanut ja palvelujen osuus liikevaihdosta on kasvanut merkittävästi viimeksi kuluneiden

---

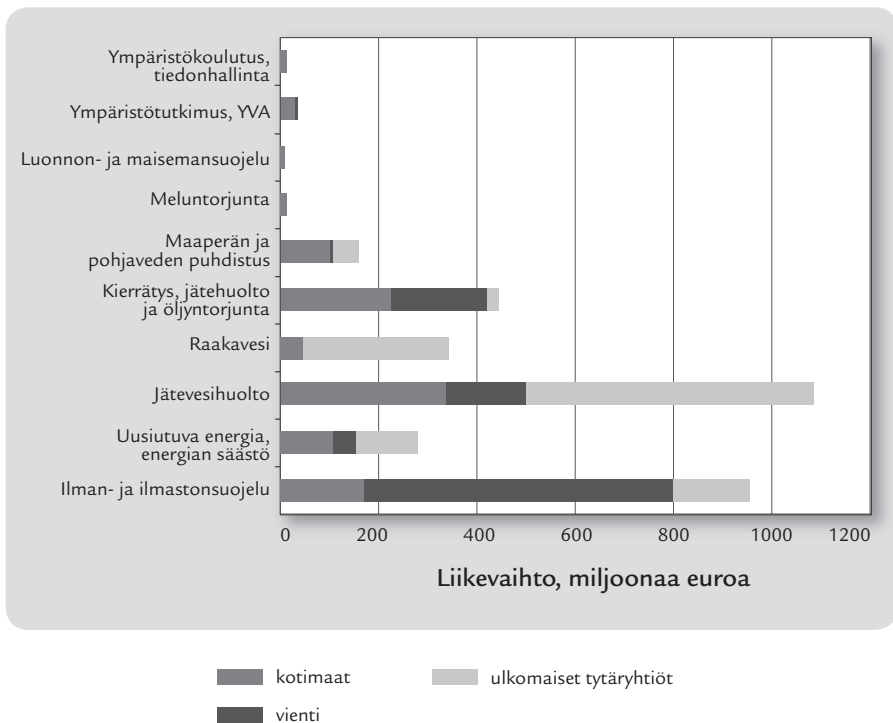
<sup>5</sup> EU:iin toukokuussa 2004 liittyneille jäsenmaille uusien ympäristösäännösten noudattaminen maksaa arviolta 50–80 miljardia euroa, mikä luo suuret ympäristöteknologian markkinat (Euroopan komissio 2004).

viiden vuoden aikana. Pääosa alan yrityksistä toimii edelleen teollisuuden ja energiahuollon toimialoilla, ja 80 % alan liikevaihdosta syntyy neljänneksessä alan suurimmista yrityksistä. Kuviossa 1 esitetään liikevaihdon jakautuminen ympäristöteknologioiden eri sektoreiden kesken. Suurimpia sektoreita ovat jätevesihuolto sekä ilman- ja ilmastonsuojelu.

## Suomen ympäristöalan SWOT-analyysi

Seuraavassa esitetty Suomen ympäristöteknologian SWOT-analyysi (vahvuuksien, heikkouksien, mahdollisuuksien ja uhkien tunnistaminen) on tehty työryhmän yhteistyönä. Analyysi tehtiin ensin tarkastelemalla poliittista, taloudellista, teknologista ja yhteiskunnallista näkökulmaa erikseen. Sen jälkeen analyysistä tehtiin yhteenveto kokoamalla ryhmän kustakin näkökulmasta tärkeimmiksi katsomat näkökohdat, jotka esitetään kuviossa 2.

**Kuvio 1.** Ympäristöteknologiamarkkinat sektoreittain ja markkina-alueittain (Tilastokeskus 2005).



**Kuvio 2.** Raportin laatineen työryhmän yhteenveto Suomen ympäristötekniikan vahvuuksista, heikkouksista, mahdollisuuksista ja uhista.

#### VAHVUUDET

- Yritysten, tutkimuksen ja hallinnon yhteistyö on hyvää
- Vaativat kotimarkkinat pakottavat tehokkuuteen ja innovatiivisuuteen
- Monella ympäristösektorilla on vahvaa teknologista osaamista
- Ympäristön tila on hyvä verrattuna muihin maihin (kansainvälisissä vertailuissa)
- Suomen tavoitelähtöinen, joustava sääntelypolitiikka on luonut hyvän innovaatioympäristön

#### MAHDOLLISUUDET

- Poliittisesti ympäristötekniikka nähdään mahdollisuutena edistää kilpailukykyä
- Pk-yritysten kansainvälistymisessä voi olla iso mahdollisuus
- Järjestelmäosaaminen ja integrointimahdollisuudet (esim. IT) ovat hyvät
- Suomen hyvää ympäristömainetta voidaan hyödyntää

#### HEIKKOUEDET

- Hallinnollisesti ympäristöasiat ovat useiden ministeriöiden alla
- Kasvuyrityksiltä puuttuu rahoitusta
- Kotimarkkinat ovat suppeat
- Teknologiaan liittyviä palveluja on vähän
- Ympäristöstä ei olla valmiita maksamaan
- Puuttuu halua ottaa riskejä ja kansainvälistyä

#### UHAT

- Poliitiikka on lyhytjänteistä/liian vahva aluepoliittinen painotus
- Jäädään kiinni vanhoihin menestysaloihin ja yhtiöihin
- Yritysten t&k-panokset vähenevät lyhyen tähtäimen voiton maksimoinnissa
- Ei osata erottaa ympäristön kannalta isoja ja pieniä asioita

## 3 Ympäristöteknologia ja sijoitustrendit

*“We are investing in environmentally cleaner technology because we believe it will increase our revenue, our value and our profits... Not because it is trendy or moral, but because it will accelerate our growth and make us more competitive.”*

*Jeff Immelt, CEO of GE Corp.*

### Ympäristöteknologia investointikohteena

Sijoituspuolella ympäristöteknologialle (cleantech) on määritetty seuraavat piirteet:

- tehokkaampi luonnonvarojen hyödyntäminen
- pienempi ekologinen jalanjälki kuin perinteisillä ratkaisulla
- merkittävät vähennykset teknologian käyttökustannuksissa
- korkeampi tuottavuus kuin perinteisillä teknologioilla.

Erityisesti Yhdysvalloissa sijoittajien ja uusien ympäristöteknologiayritysten parissa on kolmen viime vuoden aikana ryhdytty käyttämään termiä ”cleantech” ympäristöteknologian sijaan. Pääomasijoitukset ympäristöteknologiaan ovat keskittyneet sekä yrityksiin, joissa kehitetään uutta teknologiaa (kuten uusia materiaaleja), että ratkaisuihin, jotka parantavat nykyteknologioiden tehokkuutta ja puhtautta kustannustehokkaasti. Liiketoimintaehdotukset, jotka perustuvat sääntelymekanismien synnyttämiin markkinoihin tai valtion tukipoliittikkaan ympäristöteknologialle, eivät ole vakuuttaneet sijoittajia.

Ympäristöteknologian sijoituksia edistävät megatrendeistä teknologinen kehitys, muutokset markkinavoimissa, geopoliittinen tilanne sekä valtiolliset ja kansainväliset ympäristövelvoitteet. Teknologiset läpimurrot informaatioteknologian, tehoelektroniikan, bioteknologian, materiaaliteknologian ja sensoriteknologian alueella auttavat aiempaa ympäristöystävällisempien ja kustannustehokkaampien ratkaisujen tuloa markkinoille.

Seuraavat markkinavoimien muutokset ovat herättäneet sijoittajien kiinnostuksen ympäristöteknologiaan:

- energiasektorin sääntelyn poistaminen
- öljy- ja kaasumarkkinoiden raju hinnannousu
- luonnonresurssien (puhdas vesi, ilma ja energia) rajallisuus
- vesi- ja energiainfrastruktuurin vanheneminen
- lisääntynyt kilpailu globaaleilla markkinoilla, joka ajaa painopistettä tehokkuuteen resurssien käytössä ja kustannustehokkuudessa
- kuluttajien huoli tuotteiden (erityisesti ruoan) alkuperästä
- vaateet tuotteiden elinkaaren hallinnasta.

Geopoliittinen tilanne sekä öljy- ja kaasuvarojen että toisaalta kasvihuonekaasupäästöjen jakautumisen suhteen on korottanut ympäristöteknologian asemaa erityisesti energiaratkaisuissa. Runsasväestöisten kehitysmaiden – kuten Intian ja Kiinan – nopean kasvun ansiosta energian, veden ja ilman laatua parantavat ratkaisut ovat saaneet aiempaa suuremman painoarvon.

Kansainväliset ja kansalliset ympäristösopimukset luovat osaltaan markkinoita puhtaammille teknologioille. Näitä sopimuksia ovat Kioton sopimus, G8-maiden Glendalen ilmastonmuutossitoumus, EU:n päästökauppa sekä eräiden Yhdysvaltain osavaltioiden itsenäisesti tekemät sitoumukset, jotka koskevat uusiutuvan energian ratkaisujen käytön lisäämistä.

## Sijoittajaryhmät

Pienyrityksiin tehtävät ympäristöteknologian sijoitukset voidaan jakaa pääasiallisesti kolmeen ryhmään:

- projektirahoitus
- bisnesenkelit
- pääomasijoittajat.

Tässä luvussa keskitytään pääomasijoittajien toimintaan ympäristöteknologia-alueella. Seuraavaksi käydään lyhyesti läpi itsenäisten pääomasijoittajien, korporaattorisijoitusrahastojen sekä muiden strategisten sijoittajien toiminta ympäristöteknologia-alueella.

### *Ympäristöteknologia ja itsenäiset riskisijoittajat (Venture Capital, VC)*

Ympäristöteknologiaan sijoittavat sekä perinteiset pääomasijoitusyritykset, kuten 3i, Apax ja Draper Fisher Jurvetson (DFJ), että ympäristöteknologiaan



erikoistuneet pääomasijoitusrahastot, joita on syntynyt viimeksi kuluneiden runsaan viiden vuoden aikana. Niistä keskeisimpinä mainittakoon Nth Power (Yhdysvallat), SAM Group (Sveitsi), Enertech Capital (Yhdysvallat) ja Bankinvest (Tanska). Yksittäiseen ympäristöteknologia-alueeseen, kuten aurinkoenergiaratkaisuihin tai polttokennoihin, keskittyneitä sijoittajia ovat muun muassa Chrysalix (Kanada) ja GoodEnergies (Sveitsi, Yhdysvallat). Erityisen merkittävää ympäristöteknologian kehittymiselle sijoitusalueena on ollut se, että kaikkein nimekkäimmät ja arvostetuimmat VC-rahastot ovat alkaneet sijoittaa alueelle kahden viime vuoden aikana. Tämä on ollut eräänlainen markkinasignaali sille, että ympäristöteknologia sijoitusalueena on alkanut herättää kiinnostusta laajemminkin ja että siitä ovat kiinnostuneita myös institutionaaliset sijoittajat. Yhtenä esimerkkinä mainittakoon ensimmäisen ympäristöteknologiaan keskittyneen indeksiosuusrahaston, Powershares Wilderhill Clean Energy ETF:n, perustaminen keväällä 2005.

Taulukossa 1 esitetään ympäristöteknologia-alan keskeisimpiä itsenäisiä pääomasijoitusyhtiöitä Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa (lista ei ole kattava).

### *Ympäristöteknologia ja korporaatorisijottajat (CVC)*

Korporaatorisijottajat ovat viimeksi kuluneiden kymmenen vuoden aikana tulleet merkittäväksi toimijaksi pääomasijoitusallalla. Vuonna 2000 korporaatorahastojen osuus oli jo noin 15 % kaikista pääomasijoituksista (Dushnitsky 2004). Näkyvimmit ympäristö- ja erityisesti energiateknologiaan sijoittavat CVC-rahastot ovat Chevron Technology Ventures (Yhdysvallat), Norsk Hydro Technology Ventures (Norja), Schneider-Electric Ventures (Ranska) sekä Siemens Venture Capital (Saksa). Eurooppalaiset voimayhtiöt perustivat erittäin aktiivisesti vuosituhatien vaihteessa omia CVC-rahastoja. Näistä lähes kymmenestä rahastosta mainittakoon Eon Venture Partners (Saksa), MW/Accera (Saksa), Vattenfall Europe Venture (Saksa), EdF Capital Investissement/EdF Business Innovation (Ranska) sekä RWE Dynamics (Saksa). Voimayhtiöiden CVC-rahastot ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ajautuneet vaikeuksiin sekä Yhdysvalloissa että Euroopassa. 1990-luvun lopussa perustetuista voimayhtiöiden CVC-rahastoista osa on lopettanut toimintansa kokonaan, osa on vaihtanut omistajaa ja osa on lopettanut aktiivisen sijoittamisen. TKK:n 2002–2005 tekemän tutkimuksen mukaan voimayhtiöiden CVC-rahastojen ongelmat ovat johtuneet pääasiassa kolmesta emoyhtiön organisaatiokulttuuriin liittyvästä piirteestä: 1) innovatiivisuutta ei ole totuttu näkemään tärkeänä voimayhtiöiden kilpailutekijänä, 2) energiasektorin murrosta ja muutoksen nopeutta ei ole sisäistetty emoyhtiössä ja 3) yrittäjyys on ollut sekä emoyhtiön henkilöstölle että emoyhtiön arvomaailmalle vierasta.

Yhtenä trendinä ympäristöteknologian sijoitusmarkkinoilla on nähtävissä se, että markkinoille on tullut CVC-rahastojen tai muiden sijoitusjärjestelyiden

**Taulukko 1.** Esimerkkejä cleantech-alan itsenäisistä pääomasijoittajista.

Rahaston nimi	Rahaston fokus	Sijainti
Apax Partners	Yleinen (general)	Eurooppa, useat maat
BankInvest	Cleantech	Tanska
Carbon Trust	Cleantech	UK
Conduit Ventures	Vetyteknologia	UK
GoodEnergies	Aurinkoenergia	Sveitsi
Nordstjernan Ventures	Yleinen	Ruotsi
SAM Private Equity	Cleantech	Sveitsi
WHEB Ventures	Cleantech	UK
Zouk Ventures	General	UK
Advent International	Yleinen	USA
Altira	Energia	USA
Braemar Energy Ventures	Energia	USA
Carlyle Group	Yleinen	USA
Chrysalix	Vetyteknologia	Kanada
Draper Fisher Jurvetson	Yleinen	USA
Enertech Capital	Energia	USA
Expansion Capital Partners	Cleantech	USA
Global Environment Fund	Cleantech	USA
Kleiner, Perkins, Caufield & Byers	Yleinen	USA
NGEN Partners	Cleantech	USA
NGP Energy Technology Partners	Energia	USA
Nth Power	Energia	USA
RockPort Capital	Cleantech	USA
Technology Partners	Yleinen	USA
Vantage Point Venture Partners	Yleinen	USA

kautta suuryrityksiä, joiden perusbisnes on muualla kuin energia- tai ympäristöteknologiassa. Omia ympäristöteknologiaan sijoittavia CVC-rahastoja on muun muassa BASF:lla (kemian ala, Saksa), Intelillä (puolijohteet, Yhdysvallat) ja GE:llä (monialayritys, Yhdysvallat).

Taulukossa 2 esitetään ympäristöteknologia-alan keskeisimpiä korporaatioriskisijoitusrahastoja Euroopassa ja Yhdysvalloissa (lista ei ole kattava).

**Taulukko 2.** Esimerkkejä cleantech-alan itsenäisistä pääomasijoittajista.

Rahaston nimi	Rahaston fokus	Sijainti
BASF Venture Capital GmbH	Kemia, energia, cleantech	Saksa
Chevron Technology Ventures	Energia	USA
EdF Capital Investissement / EdF Business Innovation	Energia	Ranska
Eon Venture Partners	Energia	Saksa
Hydro-Quebec	Energia	Kanada
MVV/Accera	Energia	Saksa
Norsk Hydro Technology Ventures	Cleantech	Norja
RWE Dynamics	Energia	Saksa
Schneider Electric Ventures	Cleantech, myös muuta	Ranska
Siemens Venture Capital	Yleinen	Saksa
Suncor Energy	Energia	USA
Vattenfall Europe venture	Energia	Saksa

### *Muut strategiset sijoittajat*

Strategiset sijoittajat ovat viime vuosina sijoittaneet kasvavissa määrin ympäristöteknologiaan yritysostojen ja -fuusioiden, yksityisten pääomasijoitusyritysten, uusien tuotekehitysohjelmien ja perustutkimusohjelmien kautta. Tämä sijoittajaryhmä koostuu sekä yrityksistä että institutionaalisista sijoittajista, joiden liiketoiminnan pääpaino on valtaosin ympäristöteknologian ulkopuolella.

Esimerkkejä yritysostoista ja -fuusioista ovat General Electricin (GE) vuonna 2004 hankkima Astropower ja vuonna 2002 Enronin konkurssipesästä ostettu EnronWind.

Yksityisten pääomasijoittajien kautta ympäristöteknologiarahastoihin ovat sijoittaneet monet muilla teollisuudenaloilla toimivat suuryritykset. Tästä on esimerkkinä kanadalainen polttokenno- ja muuhun vetytalouteen kuuluvaan teknologiaan sijoittava Chrysalix, jonka taustasijoittajista löytyvät muun muassa Ballard, Boeing, Shell, Mitsubishi ja Boeing Corporation. Myös institutionaaliset sijoittajat ovat aiempaa aktiivisemmin sijoittaneet ympäristöteknologiaan. Tästä näkyvin ja toistaiseksi rahamääräisesti suurin esimerkki on Kalifornian kahden eläkerahaston, CalSTRS:n ja CalPERS:n, yhdessä käynnistämä GreenWave-aloite, jonka aikana yksityisten pääomasijoittajien kautta kanavoidaan puoli miljardia Yhdysvaltain dollaria ympäristöteknologiasijoituksiin. Eurooppalaisista institutionaalisista sijoittajista ovat ympäristöteknologiamarkkinoilla mukana muun muassa Robeco (Hollanti), SwissRe (Sveitsi) ja WestLB (Saksa). Valtiollisella

rahalla ovat ympäristöteknologiamarkkinoilla mukana muun muassa Carbon Trust (Iso-Britannia), SDTC (Kanada) ja Sitra (Suomi).

Esimerkkejä ympäristöteknologian laajoista tuotekehitysprojekteista suuryrityksissä ovat Toyotan Prius-hybridiauto, Sharp Electronicsin aurinkokennoliiketoiminta, joka arvioitiin vuonna 2004 yhden miljardin Yhdysvaltain dollarin arvoiseksi, ja GE:n keväällä 2005 käynnistämä Ecomagination-ohjelma. Suuryritykset ovat aiempaa aktiivisemmin rahoittaneet myös ympäristöteknologia-alueen perustutkimusta. Tämän strategisena hyötynä saadaan tietoa markkinakehityksestä ja eräissä tapauksissa oikeudet mahdollisesti syntyviin patentteihin. Eräs suurimmista perustutkimusprojekteista on Exxonin, Toyotan, Schlumbergerin ja General Electricin rahoittama Stanford Global Climate and Energy Project.

### *Muita tärkeitä toimijoita ympäristöteknologiaan sijoittamisessa*

Ympäristöteknologian sijoitusmarkkinoita tukemaan on syntynyt useita paikallisia verkostoja ja muutama kansainvälisellä fokuksella toimiva yritys. Niistä huomattavimmat ovat pohjoisamerikkalaiset Cleantech Venture Network (CVN) ja CleanEdge.

Tärkeimmät sijoittajien ja ympäristöteknologiayrittäjien kohtaamispaikat ovat toistaiseksi erittäin Pohjois-Amerikka-vetoisia. Monet eurooppalaiset aloittelevat ympäristöteknologiayritykset osallistuvat pohjoisamerikkalaisiin tapahtumiin etsiessään kasvurahoitusta ja pääomasijoittajaa. Kolme tärkeintä tapahtumaa ovat Cleantech Venture Forum (Yhdysvallat, Eurooppa 2005 alkaen), NREL Industry Growth Forum (Yhdysvallat) ja European Energy Venture Fair (Sveitsi).

## **Ympäristöteknologian sijoitusmarkkinan kehitys ja trendit**

### *Ympäristöteknologiainvestointien jakautuminen*

Ympäristöteknologiaan tehdyt investoinnit ovat keskittyneet seuraaville kolmelle pääalueelle:

- puhtaamman energiateknologian ratkaisut (yli 40 % sijoituksista)
- uudet materiaalit ja nanoteknologia (17 %)
- materiaalien kierrätysratkaisut ja puhtaampi valmistusteknologia (22 %).

Veden puhdistukseen liittyvät ratkaisut ovat saaneet osakseen vain 4 % kaikista ympäristöteknologiasijoituksista, mutta lähivuosina juuri tämän segmentin suhteellisen osuuden odotetaan kasvavan. Näiden pääalueiden lisäksi myös

ilmanlaatuun, ympäristöinformaatioteknologiaan ja liikenneratkaisuihin on tehty sijoituksia.

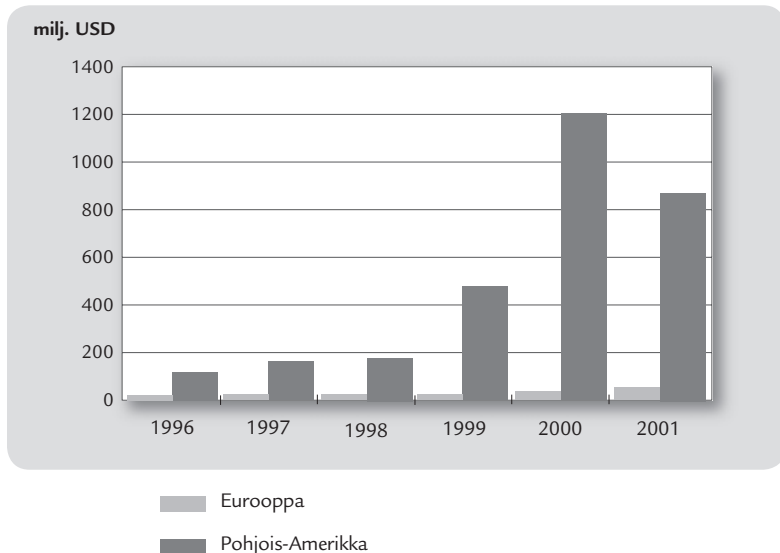
### *Sijoitusvolyymit*

Cleantech Venture Networkin (CVN) mukaan kolmen viime vuoden aikana ympäristöteknoologiaan on sijoitettu 3,6 miljardin Yhdysvaltain dollarin arvosta. Tämä koostuu lähes 700 sijoittajan tekemistä noin 500 sijoituksesta. CVN:n määritelmä ympäristöteknoologia-alueesta lienee hieman laajempi kuin eräiden muiden alan kehitystä seuraavien organisaatioiden, kuten CleanEdge, Nth Power, SAM-group ja Venture Economics, mutta CVN:n laskelmien mukaan edellä mainittu sijoitusvolyymi nostaa ympäristöteknologian kuudennelle sijalle, kun vertaillaan suurimpia pääomasijoitusaloja. Suhteellinen osuus kaikista pääomasijoituksista on vuosittain 5–7 % vuodesta riippuen.

### *Sijoitusten maantieteellinen jakautuminen*

Euroopassa tehtyjen sijoitusten määrä suhteessa Pohjois-Amerikkaan on varsin vaatimaton, kun otetaan huomioon sekä sijoitusten kokonaismäärä että yksittäisen sijoituksen keskikoko (kuvio 3). Pääomasijoittajien vaikutus ympä-

**Kuvio 3.** Puhtaaseen energiateknologiaan tehdyt pääomasijoitukset (Eurooppa/Pohjois-Amerikka) (SAM / Venture Economics (Europe)).



ristöteknologiamarkkinoiden kehitykseen on huomattava, kun verrataan Yhdysvaltain pääomasijoittajien energiasektoriin vuosittain sijoittamaa summaa energiasektorin tekemiin tuotekehityspanoksiin: pääomasijoittajien rahoitus energiategnologiaan on suunnilleen samansuuruinen kuin energiayritysten rahoitus tuotekehitysprojekteihinsa. (Kammen and Nemet 2005)

Maantieteellisesti sijoitukset eivät ole kohdistuneet tiettyyn alueeseen Euroopassa, vaan sijoituksia on tehty yli kansallisten rajojen, sillä ympäristöteknologiayritykset sijoittuvat ympäri Eurooppaa. Pohjois-Amerikan itärannikolle on tehty länsirannikkoa enemmän sijoituksia ympäristöteknologiaan, joskin sijoittajat ovat olleet useimmiten Piilaaksosta, Yhdysvaltain länsirannikolta, käsin toimivia pääomasijoittajia.

## Esimerkki ympäristöteknologian sijoitustuotosta

TKK:n ja St. Gallenin yliopiston (Sveitsi) tekemässä yhteistutkimuksessa selvitettiin ympäristöteknologiayritysten tuottoa niihin sijoittaneille pääomasijoittajille. Vertailuun valittiin neljä energiategnologiayritystä, joiden kasvatamisessa pääomasijoittajat ovat olleet aktiivisesti mukana: Evergreen Solar (aurinkokennot), Active Power (energian varastointi), Beacon Power (energian varastointi) ja PlugPower (polttokennot).

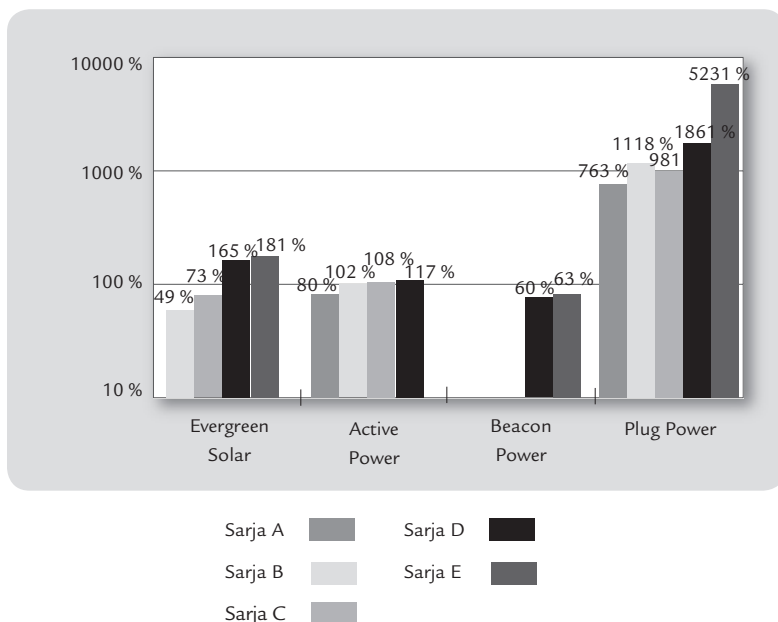
**Kuvio 4.** Neljän esimerkkiyrityksen pörssiaron kehitys 1999–2004.



Kyseiset neljä yritystä listautuivat vuosina 1999–2000. Kuviosta 4 näkyy niiden pörssi-arvon kehitys vuosina 1999–2004 (9/2004 asti). Lähes kaikkien yritysten pörssi-arvo syyskuussa 2004 oli 63–95 % listautumishintaa alempana. Tämän voidaan kuitenkin katsoa johtuvan pitkälti vuonna 2000 alkaneesta pörssin rajusta alamäestä, joka koski kaikkia toimialoja. Vuoden 2005 aikana kyseisten yritysten kurssit kuitenkin lähtivät uuteen nousuun Yhdysvaltain voimakkaan hurrikaanikauden ja korkean öljynhinnan siivittäminä.

Yritysten pörssi-arvon kehitys ei kuitenkaan kuvasta pääomasijoittajien saamaa tuottoa ympäristöteknologian yrityksistä, sillä sijoittajat ovat investoineet yritykseen vuosia ennen listautumista ja yleensä listautumishintaa huomattavasti alhaisemmalla hinnalla. Pääomasijoittajan saaman sijoitustuoton mittaaminen on ongelmallista, koska osakkeesta irtautumisen ajankohta ei useinkaan ole julkista tietoa. Kuviossa 5 esitetään teoreettisia tuottoarvioita (IRR) pääomasijoittajille, olettaen että karenssi-aika on päättynyt 180 päivää listautumisen jälkeen. Ostohinta on määritetty kyseisen yrityksen listautumisesitteestä. Siitä käy ilmi, mitä kukin sijoittaja on maksanut yrityksen osakkeista eri sijoituskierröksillä.

**Kuvio 5.** Neljän esimerkkiyrityksen tuomat vuosituotot (IRR) pääomasijoittajille.



Alhaisin tuotto pääomasijoittajalle on tullut sijoituksesta Evergreen Solar -yrityksen B-sarjan osakkeisiin, mutta se on kuitenkin tuonut sijoittajilleen 49 %:n vuosittaisen tuoton. Pääomasijoittajan vaade tuotolle on vuodessa yleensä 30–50 %. Korkein tuotto on tullut PlugPower-yrityksen E-sarjan osakkeista, joista sijoittaja on saanut itselleen 5 231 %:n vuosituoton. PlugPower-yrityksen tapaus on sinänsä poikkeuksellinen, koska oletettu 180 päivän karensijakso päättyi juuri vuosituhannen vaihteen teknologiahuuman huippuun, huhtikuuhun 2000. Dot-com-kauden sijoituskuplan pullistuminen näkyy myös siinä, että myöhemmän vaiheen sijoituskiirroksista on saanut paremman tuoton, joka ei sinänsä vastaa yleisiä riski-tuotto-oletuksia. Neljän ympäristöteknologia-yrityksen tarkastelu osoittaa kuitenkin, että erinomaista tuottoa sijoitukselle voidaan saada myös informaatioteknologia- ja bioteknologiasektorin ulkopuolelta.



## 4 Ympäristöteknologioiden nykytila ja tulevaisuus

### Uusiutuva energia

Kansainvälisen energiajärjestön (IEA) mukaan uusiutuvilla energialähteillä tuotettiin vuonna 2002 noin 13,4 % maailman primaarienergiasta. Tästä bioenergia ja jätteet kattoivat 10,8 prosenttiyksikköä ja vesivoima 2,2 prosenttiyksikköä. Uusien teknologioiden, kuten aurinko-, tuuli- ja geotermisen energian osuus oli vain 0,5 prosenttiyksikköä. Maailman sähkötuotannosta uusiutuvien energialähteiden osuus oli vuonna 2000 noin 18,8 %, josta vesivoiman osuus oli noin 91 %.

Uusiutuvien energialähteiden merkityksestä tulevaisuudessa esiintyy erilaisia näkemyksiä. Konservatiivisen IEA:n ennustuksen mukaan vuoteen 2030 mennessä uusiutuvien energialähteiden osuuden ei ennusteta sähkötuotannossa kasvavan lainkaan. Syynä tähän on vesivoiman kasvuvauhdin jääminen selvästi alle keskimääräisen sähkötuotannon kasvuvauhdin (ks. taulukko 3). Uusien uusiutuvien teknologioiden tuotantomäärän puolestaan arvioidaan kasvavan peräti 5,5-kertaiseksi vuoteen 2030 mennessä. Tämä vastaa noin 5,8 %:n keskimääräistä vuosikasvua, kun sähkötuotannon keskimääräinen kasvuvauhti on 2,4 % vuodessa (RWE 2004).

Vaikka oletetaan, että uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön osuus pysyy koko maailman energiantuotannossa noin 20 %:ssa, tilanne vaihtelee markkina-alueittain huomattavasti – esimerkiksi (Renewable Energy World 2004a):

- Kalifornian tavoitteena on lisätä uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön osuus 12 %:sta (vuonna 2002) 20 %:iin vuoteen 2017 mennessä.
- Kiinan tavoitteena on nostaa tuulivoiman tuotanto 570 MW:sta (2003) 4 000 MW:iin vuoteen 2010 mennessä ja 20 000 MW:iin vuoteen 2020 mennessä.
- EU:n tavoitteena on nostaa uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön osuus 14 %:sta (1999) 22 %:iin vuoteen 2010 mennessä.

**Taulukko 3.** Maailman ennustettu sähköntuotanto energialähteittäin, TWh (International Energy Agency 2002).

	2000	2010	2020	2030
Hiili	5 989	7 143	9 075	11 590
Öljy	1 241	1 348	1 371	1 326
Kaasu	2 676	4 947	7 696	9 923
Vety/polttokennot	0	0	15	349
Ydinvoima	2 586	2 889	2 758	2 697
Vesivoima	2 650	3 188	3 800	4 259
Muut uusiutuvat	249	521	863	1 381
Maailma yhteensä	15 391	20 036	25 578	31 525

- Japanissa on tavoitteena nostaa aurinkosähköjärjestelmien teho 887 MW:sta (2003) 4 830 MW:iin vuoteen 2010 mennessä.
- Saksan tavoitteena on nostaa uusiutuvista energialähteistä tuotetun sähkön määrä 6,8 %:sta (2002) 20 %:iin vuoteen 2020 mennessä ja 50 %:iin 2050 mennessä.

## Bioenergia

Bioenergia kattaa laajan joukon erilaisia energialähteitä ja tuotantoteknologioita eri kokoluokissa. Suomen kannalta kiintoisin bioenergian alue on puuperäinen biomassa, mutta viime vuosina kiinnostus on lisääntynyt myös biokaasuihin, peltobiomassoihin ja liikenteen biopolttoaineisiin. EU:n valkoisessa kirjassa on asetettu tavoitteeksi lisätä biomassan käyttöä 8,5 %:iin energian kokonaiskulutuksesta vuoteen 2010 mennessä. Tämä tarkoittaa biomassasta saatavan energian lisäämistä 90 Mtoe, josta 15 Mtoe saataisiin biokaasusta, 45 Mtoe energiakasveista ja 30 Mtoe maa- ja metsätalouden jätteistä.

Jaakko Pöyry Consultingin arvion mukaan maailman bioenergiatekniologioiden markkinoiden odotetaan kasvavan nykyisestä 6 miljardista eurosta vuodessa 11–16 miljardiin euroon vuodessa vuoteen 2010 mennessä ja 22–32 miljardiin euroon vuodessa vuoteen 2020 mennessä. Suurin kasvu on odotettavissa bioenergian poltto- ja jalostustekniikan markkinoilla. Myös biopolttoaineiden tuotantoteknologioiden markkinat ovat kasvussa, mutta niiden osuus kokonaismarkkinoista säilyy vähäisenä. Markkinoiden suurin kasvu tapahtuu Euroopassa (Saksa, Ranska, Ruotsi, Italia ja Iso-Britannia). Aasiassa

(Kiina ja Intia) biomassan kaupallinen hyödyntäminen energiantuotannossa on vähäistä verrattuna kotitalouksien kuluttaman biomassan määrään, eikä tässä odoteta tapahtuvan suuria muutoksia lähivuosina (Jaakko Pöyry Consulting 2003).

Vuonna 2004 julkaistussa The World Biomass Report -tutkimuksessa markkinoiden koko on arvioitu selvästi edellä mainittua pienemmäksi. Raportin mukaan biomassamarkkinoiden koko oli vuonna 2004 noin 1,3 miljardia Yhdysvaltain dollaria, ja sen odotettiin olevan vuonna 2013 noin 2,1 miljardia. Kaikkiaan seuraavien kymmenen vuoden aikana odotetaan yhteensä 13,9 miljardin dollarin investointeja suuren kokoluokan lämpövoimaloihin ja 4,0 miljardin dollarin investointeja biokaasujärjestelmiin (Knight et al. 2004).

Suomalaisten yritysten bioenergiateknologian osaaminen on vahvaa. Merkittävimmät teknologia-alueet ovat kiinteän biopolttoaineen tuotanto- ja käsittelyteknologiat sekä kattilat erityisesti suuressa kokoluokassa. Suomalaisen bioenergiateknologian viennin on arvioitu kasvavan 0,3 miljardista eurosta (vuonna 2000) lähes 1 miljardiin euroon vuonna 2010 (Monni 2003).

On myös esitetty, että metsäteollisuuden rakennemuutoksen myötä suomalaisista sellutehtaista saattaa tulevaisuudessa kehittyä monituotetehtaita, joiden primaaritehtävä on energiantuotanto ja tämän rinnalla sellun- ja kemikaalien tuotanto tiettyihin erityistarpeisiin (SEPET 2005).

## Tuulivoima

Tuulienergian rakentaminen on kasvanut maailmassa viiden viime vuoden aikana keskimäärin 15,8 % vuodessa (Renewable Energy World 2005). Vuoteen 2009 asti ulottuvissa ennusteissa keskimääräisen kasvuvauhdin oletetaan olevan 16,6 % vuodessa (BMT Consult ApS). Pääsyyinä markkinoiden kasvuun on ollut tiettyjen Euroopan maiden (muun muassa Saksa ja Espanja) voimakas tukipolitiikka, minkä seurauksena 74 % vuoden 2004 uudesta tuulivoimakapasiteetista rakennettiin Eurooppaan. Vuonna 2004 tuulivoimaa rakennettiin maailmassa yhteensä 8 000 MW, joka vastaa noin 8 miljardin euron markkinoita. Vuonna 2010 markkinoiden on arvioitu olevan 11–16 miljardia euroa vuodessa; vuonna 2020 voitaisiin saavuttaa kasvuennusteista riippuen 25–75 miljardin euron markkinat (Jaakko Pöyry Consulting 2003).

Markkinakehitystä on osaltaan auttanut myös teknologian kehitys – on siirrytty yhä suurempiin kokoluokkiin ja suurempiin valmistusmääriin. Tois- taiseksi tuulivoimaa on rakennettu lähinnä mantereelle ja tuulipuistojen koot ovat maankäyttösyistä jääneet vielä varsin pieniksi. Seuraavien kymmenen vuoden aikana tapahtunee suuri murros, kun tuulivoiman tuotanto siirtyy merten matalikoille. Tämä mahdollistaa tuulipuistojen koon kasvattamisen kertaluokkaa suuremmiksi. Samalla tuotantoyksikköjen koon odotetaan kasvavan nykyisistä 2–3 MW:n yksiköistä 5 MW:iin ja jopa 10 MW:iin.

Tuulivoimaloiden valmistajien kesken on tapahtunut viiden viime vuoden aikana voimakasta konsolidoitumista. Neljä suurinta valmistajaa – Vestas (34 %), Gamesa (17 %), Enercon (15 %) ja GE Wind (11 %) – hallitsevat yli kolmea neljäsosaa koko markkinasta. Koska tuotekehityspanokset ovat vielä suuria, pienten toimijoiden asema markkinoilla on vatedeskin haastava.

Suomalaisten vahvuutena tuulivoima-alalla on ollut komponenttivalmistus. Vuonna 2001 suomalaisen tuulivoimateollisuuden viennin arvo oli noin 200 miljoonaa euroa. Mikäli suomalaiset komponenttivalmistajat pystyvät säilyttämään nykyisen markkinaosuutensa ja markkinat kasvavat oletettua vauhtia, arvioidaan viennin arvon olevan 0,8–1,2 miljardia euroa vuonna 2010 (Peltola & Holttinen 2001). Suuresta komponenttivalmistuksesta huolimatta Suomessa on toistaiseksi vain yksi kokonaisjärjestelmiä tarjoava tuulivoimatoimittaja. Tutkimusmaailmassa suomalaiset ovat profiloituneet kylmän ilmaston vaikutusten tutkijoina.

## Aurinkoenergia

### *Aurinkosähkö*

Aurinkosähkömarkkinat ovat toistaiseksi varsin pienet, vaikka kasvu on erittäin voimakasta. Vuonna 2004 asennettiin yhteensä 955 MW aurinkosähköjärjestelmiä, mikä oli 57 % enemmän kuin edellisenä vuonna. Viime vuosina kasvu on ollut voimakkainta verkkoon kytketyissä järjestelmissä, joiden osuus vuonna 2004 oli 64 % kaikista aurinkosähköjärjestelmien asennuksista (Renewable Energy World 2005). Eniten uusia asennuksia tehtiin Japanissa ja toiseksi eniten Euroopassa. Markkinoita ovat synnyttäneet erilaiset valtiolliset ohjelmat, kuten Japanissa. Saksassa markkinoita on aktivoitunut ostovelvoite, jonka ansiosta aurinkosähkön tuottaja saa tuotetusta sähköstä 45–62 snt/kWh.

Aurinkosähköpaneelien valmistus on keskittynyt harvoin yhtiöihin. Neljätöistä suurinta yhtiötä hallitsee 87 %:a maailmanmarkkinoista – kahden suurimman Sharpin ja Kyoceran markkinaosuudet ovat 31 % ja 10 %. Vallitseva teknologia on tällä hetkellä kiteiseen piihin perustuvat kennot, joiden osuus markkinoista on noin 85 %. Vaikka odotukset ovat suuret, ei amorfiseen piihin perustuvien kennojen odoteta uhkaavan kiteiseen piihin perustuvien kennojen asemaa useaan vuoteen.

### *Aurinkolämpö*

Maailman aurinkolämpömarkkinoita dominoi Kiina. Vuonna 2004 Kiinassa asennettiin yli 10 miljoonaa m<sup>2</sup> uusia aurinkolämpökerääjiä, mikä vastaa noin 78 %:a maailmanmarkkinoista. Kiinan aurinkolämpömarkkinoiden odotetaan

kasvavan 15 %:n vuosivauhdilla ja saavuttavan 20 miljoonan m<sup>2</sup>:n tuotannon vuoteen 2010 mennessä. Huolimatta suurista määrästä Kiinan markkinaa pidetään vielä kehittymättömänä Euroopan markkinoihin verrattuna, sillä sen osuus uusista asennuksista vuonna 2004 oli vain noin 9 %. Euroopan merkittävimmät markkina-alueet olivat Saksa (47 %), Kreikka (14 %), Itävalta (12 %), Espanja (6 %) ja Italia (4 %).

Aurinkolämpöteknologiaa voidaan pitää varsin kypsänä teknologiana. Uudet ratkaisut – kuten heijastamattomat lasit, selektiiviset pinnoitteet ja maalit, uudet eristemateriaalit ja varastointiratkaisut – parantavat vielä ratkaisujen hyötysuhdetta. Kehittyneillä markkinoilla, kuten Euroopassa, myös aurinkolämpöjärjestelmien integrointi rakennusten muuhun arkkitehtuuriin on tärkeää. Aurinkolämpöjärjestelmien valmistus on vaatinut perinteisesti varsin paljon työvoimaa, mikä on nostanut niiden kustannuksia. Valmistustekniikassa tapahtunut kehitys on kuitenkin mahdollistamassa täysin automaattisten tuotantolinjojen rakentamisen.

## Vesivoima

Vesivoima on merkittävin uusiutuva energialähde sähköntuotannossa. Uusien suurten vesivoimahankkeiden toteuttaminen on kuitenkin vaikeaa suurten yhteiskunnallisten ja ympäristöllisten vaikutusten vuoksi. Siksi huomio onkin kohdistunut viime vuosina pienvesivoimaan, jolla tarkoitetaan yleensä alle 10 MW:n voimaloita. Vuonna 2000 maailmassa oli pienvesivoimakapasiteettia 37 GW ja vuonna 2004 arviolta noin 56 GW. Tämä sisältää edellä mainitun määritelmän lisäksi myös alle 25 MW:n voimalat Intiassa ja alle 30 MW:n voimalat Kiinassa (Renewable Energy World 2004b, Renewable Energy World 2005).

EU:n vanhoissa jäsenmaissa (EU 15) on yhteensä noin 14 000 pienvesivoimalaa, joiden keskikoko on noin 0,7 MW. Uusissa jäsenmaissa (EU 10) pienvesivoimaloita on 2 800, ja niiden keskiteho on 1,6 MW. Eurostatin mukaan EU 25:n kapasiteetista 17 % on Ranskassa ja 16 % Espanjassa. Vanhoissa jäsenmaissa 82 % taloudellisesti kelvollisesta potentiaalista on jo hyödynnetty. Uusissa jäsenmaissa ja hakijamaissa (etenkin Turkissa) potentiaalia on tätä enemmän – tuotantona se on noin 26 TWh/vuosi. Pienvesivoimateknologiasa Eurooppa on johtavassa asemassa ja ainoastaan pieni osa eurooppalaisesta pienvesivoimasta perustuu Euroopan ulkopuoliseen tuotantoon.

## Muut uusiutuvat energialähteet

Muista uusiutuvista energialähteistä voidaan nostaa esille muun muassa geoterminen energia, vuorovesi- ja aaltovoima sekä maan, vesistöjen ja ilman lämmön hyödyntäminen lämpöpumppujen avulla.

Geotermisen energian hyödyntäminen on rajoittunut maantieteellisesti. Vuonna 2003 sitä hyödynnettiin sähköntuotantoon yhteensä noin 8 000 MW kaikkiaan 27 valtion alueella; markkinoiden kasvuvauhti on ollut viimeksi kuluneiden 30 vuoden aikana noin 7 % vuodessa. Lämmöntuotantoon geotermistä energiaa puolestaan hyödynnettiin noin 27 000 MW yli 70 valtiossa. Lämmöntuotannon kasvuvauhti on ollut keskimäärin 11 % 30:n viime vuoden aikana (Renewable Energy World 2005).

Vuorovesivoimaa on nykyisin käytössä noin 260 MW. Määrän ei odoteta kasvavan vuoteen 2010 mennessä, sillä käynnissä ei ole tällä hetkellä uusia hankkeita (ATLAS 2005). Rakennetusta kapasiteetista 240 MW on Ranskassa (yksi suuri laitos). Tällä hetkellä käynnissä ei ole myöskään suuria kehityshankkeita, sillä lyhyellä aikavälillä aaltovoimaloiden ei uskota saavuttavan riittävää kannattavuutta. Aaltovoiman osalta tilanne on samankaltainen: tekninen potentiaali on valtava ja perusteknologia on jo olemassa, mutta taloudellinen kannattavuus on vielä liian kaukana tulevaisuudessa.

Maaperään, vesistöön ja ulkoilmaan sitoutunutta lämpöä voidaan hyödyntää lämpöpumppujen avulla esimerkiksi asuntojen ja muiden tilojen lämmittämiseen. Lämpöpumppujen markkinat ovat kasvaneet viime vuosina varsin nopeasti Pohjoismaissa. Vuonna 2003 Suomessa myytiin noin 5 700 lämpöpumppua, mikä oli lähes 60 % enemmän kuin edellisenä vuonna. Lämpöpumppumarkkinoiden johtavassa maassa eli Ruotsissa on asennettu jo yli 400 000 lämpöpumppua.

## Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Suomen energiateknologian vientimarkkinat olivat vuonna 2002 arvoltaan 3,2 miljoonaa euroa. Maailmanlaajuisien biopolttoaineiden käyttöön perustuvien CHP-markkinoiden on arvioitu vuonna 2010 olevan noin 3–10 miljoonaa euroa, jolloin tämän teknologian vientimarkkinoiden arvo nousisi 1–3 miljoonaa euroon. Samaan aikaan sijoitusten arvo olisi noin 0,3 miljoonaa euroa (Soimakallio & Savolainen 2002).

Yli puolet maailmanlaajuisista energiateknologioiden markkinoista on kehitysmaissa. Tämän lisäksi näiden valtioiden energiantarve on jatkuvasti kasvussa. Yhdistetty lämmön ja sähkön tuotantoteknologia sopii tulevaisuudessa (10–30 vuoden kuluttua) erityisesti kehitysmaissa yleiseen hajautettuun energiantuotantoon. Pääoman puutetta voidaan mahdollisesti korvata esimerkiksi CDM-järjestelmän kautta (Clean Development Mechanism) (Soimakallio & Savolainen 2002). Lyhyemmällä aikavälillä (10 vuotta) merkittävimmät markkinat ovat uusien EU-jäsenmaiden alueella, Venäjällä ja Ukrainassa. CHP-direktiivin edistämä sähkön ja lämmön yhteistuotanto on erittäin tärkeä Keski- ja Itä-Euroopan uusille jäsenmaille, joissa yhteistuotanto ja kaukoläm-

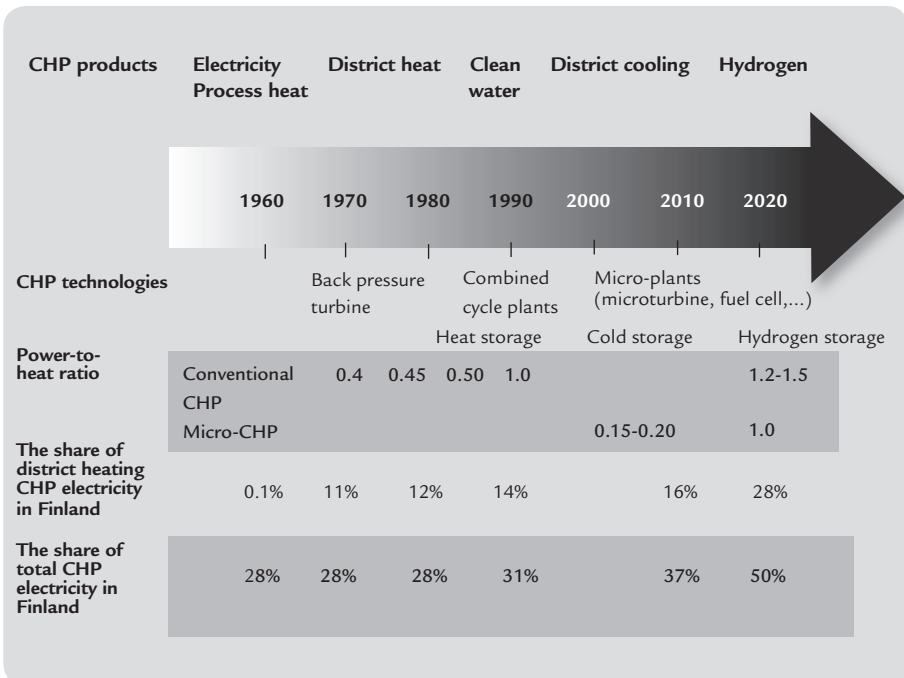
pö ovat olleet monen vuoden ajan tärkeitä energiajärjestelmän osia (Cogen Europe 1999).

Uudet jäsenmaat pystyvät tulevaisuudessa parantamaan energiantuotannon tehokkuuttaan modernisoimalla kaukolämpöverkkoja ja siirtymällä yhteistuotantoon lämpökattiloiden käytön sijaan. Korkeatasoinen suomalainen teknologia soveltuu hyvin näihin kohteisiin. Suomalaiset energia-alan yritykset ovat arvioineet kaukolämpömarkkinoiden tarpeita (liite 1) ja kehittäneet näille markkinoille soveltuvan koottavan kaukolämpöverkkojärjestelmän (MODiS) (Sipilä et al. 2000, Electrowatt-Ekono Oy 2005). Itäisen Euroopan lisäksi myös Kaukoidässä ja erityisesti Kiinassa on laajat kaukolämpömarkkinat, joilla on tarvetta sekä vanhojen verkkojen kunnostukseen että uusien rakentamiseen. Lisäksi Pohjois-Korea on yksi voimakkaimmin kasvavista kaukolämmön markkina-alueista.

## Teknologian kehitys

Kuvio 6 esittää Suomen CHP-laitosten historiaa ja tulevia kehityshankkeita.

**Kuvio 6.** CHP-teknologian tähänastinen ja ennakoitu kehitys. (VTT Energy 2001).



Yhtenä kehityssuuntana on nostaa CHP-laitosten tehoa ja tuotetun sähkön määrää, jolloin saavutetaan korkeampi sähkön ja lämmön tuotantosuhde. Kattilalaitosten ylikriittisen höyryprosessin on havaittu parantavan laitoksen tehokkuutta. Lupaavia tuloksia on saatu myös biopolttoaineita käyttävien kattiloiden kehitystyöstä. Sopivia polttoaineita ovat muun muassa puulastut, hakkuujätteet, teollisuuden puujätteet, kierrätyspolttoaineet (REF) sekä biokaasut (Alakangas & Flyktman 2001). Pitkällä aikavälillä kiinteän polttoaineen kaasutus on merkittävin vaihtoehto parantaa CHP-laitosten tehokkuutta. Kaasutus-tekniologian avulla voidaan saavuttaa myös tiukkenevat päästörajat. Kaasutus tarjoaa mahdollisuuden epäpuhtauksien poistoon pienemmillä kustannuksilla kuin perinteisissä polttoon perustuvissa laitoksissa (Kalmari 2002).

Biopolttoaineen kaasutustekniikan (IGCC = integrated gasification combined-cycle) suurimmat markkinat ovat keskikokoisissa 30–100 MW<sub>el</sub> tuotavissa CHP-laitoksissa. Tässä kokoluokassa IGCC-tekniologia, joka perustuu happikaasutukseen ja monivaiheiseen märkäerotukseen, ei ole kuitenkaan taloudellisesti houkutteleva. Lupaavin vaihtoehto kustannusten laskemiseksi on yksinkertaistettu IGCC, jossa on ilmakaasutus ja jälkikäteen tehtävä savukaasujen puhdistus. Kaukolämmön tuotannossa tällaisen prosessiratkaisun sähkön ja lämmön tuotannon suhde on 0,8–1,2, sähköntuotannon teho 40–45 % ja kokonaisteho 85–90 %. Tulevaisuudessa voidaan saavuttaa entistä korkeampi sähkön ja lämmön suhde yhdistämällä korkeissa lämpötiloissa toimiva poltto-kenno IGCC-laitokseen. Puun kaasutukseen perustuvassa prosessissa voidaan saavuttaa 60 %:n sähköntuotannon teho. Maakaasua käyttävissä polttokenolaitoksissa sähköntuotannon teho voi olla jopa 70 % (Kara et al. 2003).

Sähkön ja lämmön tarpeen vuodenaikavaihtelua voidaan tasoittaa CHP-laitoksen yhteydessä olevan lämpövaraston avulla. Tehokkaan lämpövarastointijärjestelmän avulla voidaan lisätä sähköntuotantoa, säännöstellä sähkön määrää ja vähentää ylimääräisten lauhduttimien käyttöä, jolloin hukkalämmön ja lämpökuorman määrä pienenee. Lisäksi lämpövarastoa voidaan käyttää sähköntuotannon säännöstelyyn vapautuneilla sähkömarkkinoilla. Kaukolämpöverkko voi toimia myös lyhytaikaisena varastona.

Sähkön ja lämmön yhteistuotanto voidaan laajentaa myös niin sanotuksi kolmoistuotannoksi, jos kaukojäähdytys (CHP/DHC) ja puhtaan veden tuotanto (CHP/DHCW) tai molemmat yhdistetään järjestelmään. Tässä merkittävä kasvualue ovat suolanpoistomarkkinat. Suolanpoistolaitosten vuosittainen kapasiteetti on tällä hetkellä 1,0–1,4 milj. m<sup>3</sup> päivässä, ja sen on ennustettu kasvavan 10 % vuodessa vuoteen 2030 asti.

Jo nykyisin Suomen CHP-laitokset ovat varsin suuria. Lähes kaikki suurimmat kaukolämpöverkostot on yhdistetty CHP-laitoksiin. Tulevaisuudessa pienen mittakaavan yhteistuotanto tarjoaa uusia mahdollisuuksia, kuten luvusta Pienen kokoluokan yhteistuotanto (sivu 40) ilmenee.



## *Esimerkkejä korkeatasoisesta suomalaisesta CHP-teknologiasta*

Helsingin Vuosaaren maakaasua käyttävä CHP-laitos B aloitti toimintansa vuonna 1998. Laitos koostuu kahdesta kaasuturbiinista, kahdesta poisto-kaasukattilasta ja yhdestä höyryturbiinista, joka toimii kahdella painetasolla. Laitoksen kokonaislämpöteho on 92 % (netto / polttokaasun alempi lämpöarvo), ja tuotetun sähköenergian ja lämmön suhde on 1,1. Tyypin vuosipäästöaraja 80 mg/MJ saavutetaan kaasuturbiineissa olevien Low-NOx-polttimien avulla. Laitos tuottaa 463 MW<sub>e</sub> sähköenergiaa ja 416 MW kaukolämpöä, ja sen investointikustannukset olivat noin 460 euroa/kW<sub>e</sub>. Voimalaitoksen yhteydessä sijaitsee sylinterimäinen lämpövarasto, jota käytetään tasaamaan kaukolämmön kulutuksessa tapahtuvia muutoksia (Energia 1997).

Alholmens Kraftin vuonna 2001 toimintansa aloittanut Pietarsaaren voimalaitos on tällä hetkellä yksi suurimmista biopolttoaineen kiertoilmaleijupetikattila-CHP-laitoksista maailmassa. Laitoksessa käytetyt polttoaineet ovat puu (40 %), turve (45 %) ja hiili (15 %), mutta se on suunniteltu toimivaksi joustavasti erilaisilla polttoaineilla (esimerkiksi biopolttoaineet 100 % tai hiili 100 %). Laitos tuottaa sähkön lisäksi myös kaukolämpöä sekä Pietarsaaren kaupungille että UPM-Kymmenen paperitehtaalle. Energialaitos tuottaa 250 MW sähköä, 100 MW prosessihöyryä sekä 60 MW kaukolämpöä. Prosessihöyryn käyttäjä on UPM-Kymmenen paperitehdas ja kaukolämmön Pietarsaaren kaupunki.

Isalmen pienen mittakaavan biopolttoaineita käyttävä CHP-laitos aloitti toimintansa vuonna 2002. Laitoksessa on kerrosleijukattila, jonka polttoaineteho on 48 MW, sähköteho 14,7 MW ja kaukolämpöteho 30 MW. Sähkö-lämpösuhde (0,49) on huomattavasti korkeampi kuin yleensä tämänkoisissa voimalaitoksissa. Polttoaineena käytetään jrsinturvetta (70–100 %) ja puuperäisiä polttoaineita, kuten puulastuja, sahanpurua ja puunkuorta (0–27 %). Kattilassa on uudenmallinen yksirunkoinen ja kaksivaiheinen höyryturbiini. Sen etuna on, että lisäenergiaa, joka saavutetaan kaksivaiheisella kaukolämpöveden esilämmityksellä, ei menetetä myöskään talviaikaan (1 MW:n suuruinen lisäenergiakapasiteetti verrattuna tavanomaiseen rakennevaihtoehtoon). Laitoksen savukaasut puhdistetaan sähkösuodattimella.

## **Pienen kokoluokan yhteistuotanto**

Pienen kokoluokan sähkön ja lämmön yhteistuotannolla tarkoitetaan paikallista (on-site) tuotantoa kulutuskohteen yhteydessä tai sen välittömässä läheisyydessä. Tällaisen laitoksen teho voi vaihdella omakotitalon parista kilowatista pienen teollisuuslaitoksen muutaman megawatin laitokseen. Kiinnostusta pienen kokoluokan yhteistuotantoon on lisännyt yhtäältä energiamarkkinoiden vapautuminen ja toisaalta teknologian kehittyminen. Diesel- ja kaasumootorit sekä kaasuturbiinit ovat jo teknologisesti koeteltua teknologiaa.

Niiden kehityksessä panostetaan puhtaaseen palamiseen ja vaihtoehtoisten, esimerkiksi biopohjaisten, polttoaineiden hyödyntämiseen. Mikroturbiinien markkinat ovat parhaillaan avautumassa, ja stirling-moottoreiden sekä poltto-  
kennojen odotetaan kaupallistuvan lähivuosina.

### *Kaasu- ja dieselmoottorit sekä pienet kaasuturbiinit*

Kaasu- ja dieselmoottorien sekä kaasuturbiinien maailmanmarkkinat ovat nykyisin varsin suuret. Kaasu- ja dieselmoottoreiden tilauksia tehtiin kokoluokassa 1–30 MW vuoden 2003 ja 2004 kesä-toukokuussa yhteensä noin 13 000 MW. Suurin osa tilauksista (7 813 MW) tehtiin kokoluokassa 1–2 MW. Vastaavasti kaasuturbiineja tilattiin 1–30 MW:n kokoluokassa yhteensä noin 3 600 MW, josta merkittävin osa (1 634 MW) oli 20–30 MW:n kokoluokassa. Sekä moottoreiden että kaasuturbiinien myynti kasvoi voimakkaasti 1990-luvulla ja saavutti huippunsa vuonna 2000. Sen jälkeen markkinat olivat kaksi vuotta laskusuunnassa, minkä jälkeen suunta kääntyi jälleen kasvavaksi (Diesel & Gas Turbine Worldwide 2004). Molemmat teknologiat ovat täysin kypsiä, ja viime vuosina teknistä kehitystä ovatkin ohjanneet tiukentuneet päästövaatimukset.

Edellä mainitussa tarkastelussa on huomioitava, että suurin osa tilatuista moottoreista on tarkoitettu stand-by-sovelluksiin. Varsinaiseen jatkuvaan käyttöön – ja siten myös yhteistuotantoon – soveltuvia ratkaisuja oli noin 35 % moottoreista – näistäkin suurta osaa käytetään vain sähköntuotantoon ilman lämmön talteenottoa. Kaasuturbiineista jatkuvaan käyttöön oli tarkoitettu 68 % tilatuista ratkaisuista; erityisesti pienessä kokoluokassa stand-by-ratkaisujen määrä oli suuri.

Mikroturbiinien, joilla tarkoitetaan yleensä alle 100 kW:n tuotantoyksiköitä, kehitys on edennyt siihen pisteeseen, että niiden markkinat ovat avautuneet valikoiduissa sovelluskohteissa. Markkinajohtaja Capstone on toimittanut syyskuuhun 2005 mennessä yli 3 000 mikroturbiinia. Päämarkkina-alueita ovat olleet Yhdysvallat, Japani ja Eurooppa (Capstone 2005). Osa järjestelmistä on ollut yhteistuotantoon tarkoitettuja, ja osassa on hyödynnetty vain tuotettu sähkö ilman lämmön talteenottoa. Mikroturbiinien markkinoiden odotetaan kasvavan nopeasti, vaikka varsinaisen läpimurron uskotaan tapahtuvan hieman hitaammin kuin vielä muutama vuosi sitten ajateltiin.

### *Stirling-moottorit*

Kun kaasumoottoreiden kokoluokka on alle 50 kW, niiden huoltokustannukset ovat varsin suuret tuotettuun energiamäärään nähden. Tämän vuoksi alle 50 kW:n kokoluokassa on viime vuosina panostettu stirling-moottoreiden kehitykseen. Niiden huoltotarve on selvästi vähäisempi, sillä palaminen tapahtuu ulkoisessa polttotilassa. Stirling-moottoreiden markkinat ovat toistaiseksi vielä

pienet ja toimitukset ovat olleet lähinnä yksittäiskappaleita. Kaupallisia tuotteita tarjoavat muun muassa WhisperTech ja Solo Kleinmotoren. Markkinoiden päänavauksena uusiseelantilainen WhisperTech julkisti elokuussa 2004 noin 300 miljoonan dollarin sopimuksen E.ON UK:n kanssa kotitalouksiin toimitettavista maakaasukäyttöisistä yhteistuotantolaitteista (WhisperTech 2005).

### *Polttokennot*

Polttokennot ovat vielä voimakkaan kehityksen vaiheessa. PricewaterhouseCoopersin tekemän selvityksen (2004) mukaan polttokennoteollisuuden myynti oli vuonna 2003 noin 240 miljoonaa Yhdysvaltain dollaria, mikä oli 41 % enemmän kuin edellisenä vuonna. Merkittävää on kuitenkin huomata, että alan tutkimus- ja kehityspanostukset olivat 859 miljoonaa dollaria eli 3,5-kertaiset myyntiin verrattuna. Alan markkinat ovat siis vielä esikaupallisessa vaiheessa, ja niiden odotetaan kasvavan voimakkaasti. Vuoden 2004 lopussa maailmassa oli rakennettu yli 11 000 erilaista polttokennojärjestelmää, joista yli 6 000 oli erilaisia kannettavia piensovelluksia. Liikennesovelluksia oli yhteensä yli 800, ja pieniä, paikallaan olevia (stationary) sähköntuotantolaitteita oli noin 2 000 (Fuel Cell Today 2004). Merkittävä osa näistä sovelluksista oli yhteistuotantolaitteita.

### *Virtuaalivoimalaitokset*

Virtuaalivoimalaitos on useista pienistä, erillään olevista hajautetuista tuotantoyksiköistä koostuva energiantuotantoverkosto, jota ohjataan yhtenä isona kokonaisuutena. Virtuaalivoimalaitos mahdollistaa sitä käyttävän palveluntarjoajan toimimisen loppukäyttäjämarkkinoilla, joilla energian hinta on korkeampi kuin tukkumarkkinoilla. Tämän lisäksi palveluntarjoaja pystyy käymään kauppaa myös sähkön ja polttoaineen tukkumarkkinoilla optimoidessaan kokonaishankintaa. Toistaiseksi tällaiset ratkaisut ovat vielä pääosin pilotti- ja demonstraatiovaiheessa.

Suomessa pienen kokoluokan tuotantolaitteiden kehitystyötä tehdään varsin vähän lukuun ottamatta muutamia polttokenno- ja stirling-hankkeita. Mielenkiinto on kohdistunut ennen kaikkea kokonaisten tuotantolaitosten ja -järjestelmien kehittämiseen sekä niiden optimaaliseen käyttöön erilaisissa sovelluskohteissa.

## **Vety- ja polttokennoteknologia**

Vedystä oletetaan tulevan 2000-luvun merkittävin polttoaine, kun fossiiliset polttoainevarat ehtyvät. Toistaiseksi vetyyn liittyvä liiketoiminta on vielä varsin

pientä tulevaisuuden odotuksiin nähden. Yhdysvaltain vetyliiketoiminnan arvioidaan olevan noin 800 miljoonaa dollaria ja sen odotetaan kasvavan vuoteen 2010 mennessä noin 1 600 miljoonaan dollariin. Vastaavasti Euroopan vetyliiketoiminnan arvo on nykyisin noin 370 miljoonaa dollaria ja sen odotetaan kasvavan 15 %:n vuosivauhtia, joten se saavuttaisi vuonna 2010 noin 740 miljoonan dollarin arvon (Multimedia Research Group 2005).

Vetyteknologian kehittämisellä ja käyttöönnotolla on laaja poliittinen tuki erityisesti Yhdysvalloissa, Japanissa ja Kanadassa. Myös EU haluaa varmistaa asemansa kehityksen kärjessä tällä alueella (ks. Amorelli et al. 2005; Tzimas et al. 2004). Suomessa ja muissa Pohjoismaissa on hyvät edellytykset löytää omia keihäänkärkialueita toteutettujen ja käynnissä olevien tutkimus- ja kehityshankkeiden pohjalta (ks. Copper 2004; [www.h2foresight.fi](http://www.h2foresight.fi)).

## Vedyn tuotantoteknologiat

Vetyä on tuotettu suuressa mittakaavassa jo vuosikymmeniä muun muassa kemianteollisuuden tarpeisiin. Tärkeimmät vedyntuotantotavat ovat metaanin höyryreformointi, osittaishapetus öljystä tai kivihiilestä ja elektrolyttinen valmistus vedestä. Vetyä voidaan tuottaa myös biomassasta. Tunnetuimmat menetelmät ovat kaasutus ja pyrolyysi. Biomassan kaasutuksessa syntyvästä kaasuseoksesta vety voidaan erottaa, ja pyrolyysissä syntyvää bioöljyä jatkokäsittelmällä voidaan tuottaa vetyä. Muita tuotantomenetelmiä ovat muun muassa fotoelektrolyttinen ja fotobiologinen vedyntuotanto.

Kun vetyä tuotetaan höyryreformaamalla, kaasuttamalla tai osittaishapettamalla fossiilisia polttoaineita, tärkeitä tekijöitä ovat vedyn erotus, puhdistus ja hiilidioksidin talteenotto. Toistaiseksi ratkaisut ovat vielä varsin kalliita, ja monilta osin tehdään edelleen alan perustutkimusta. Elektrolyysereitä kehitettäessä panostetaan muun muassa korkean painetasen saavuttamiseen, jolloin voitaisiin välttää varastointiin tarvittava erillinen kompressointiyksikkö.

Uusista tuotantomenetelmistä tarvitaan vielä perustutkimusta: fotoelektrolyttisen vedyntuotannon hyötysuhdetta on parannettava ja puolijohdekennot on saatava kestävämmän veden korroosivaikutusta paremmin; myös erilaisten fotobiologisten tuotantomuotojen perustutkimusta tarvitaan. Eräs mahdollinen keino vedyn massatuotantoon tulevaisuudessa on veden termokemiallinen halkaisu korkean lämpötilan ydinreaktoreissa.

## Vedyn siirto- ja varastointiteknologiat

Vedyn siirtoon tuotantopaikalta kulutuspaikalle on käytettävissä periaatteessa kaksi vaihtoehtoista tapaa: pumppaaminen putkia pitkin tai varastoiminen johonkin muotoon ja kuljettaminen varastosäiliössä. Silloin kun vetyä on tarpeen siirtää suuria määriä, paras tapa on kaasun pumppaaminen putkistoja

pitkin (National Hydrogen Energy Roadmap 2002). Vedyn nesteyttäminen kuljetusta varten kuluttaa enemmän energiaa kuin kaasuna pumppaaminen – noin kolmanneksen nesteytetyn vedyn energiasisällöstä. Nesteytyslaitoksia ei myöskään kannata rakentaa vähäiseen tarpeeseen, koska ne vaativat kallista tekniikkaa, jonka yksikkökustannus nesteytettävä vety määrää kohti laskee laitostekapasiteetin kasvaessa. Lisäksi kuljetuskalusto on kallista kryptotekniikkaa, koska pysyäkseen nesteenä vedyn lämpötilan on oltava alle  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nestevety soveltuukin lähinnä putkistojen ulottumattomissa olevien kohteiden polttoainehuoltoon sekä kevytensä ansiosta erityisesti lentoliikenteen polttoaineeksi. Pienten vety määräiden siirtoon perinteinen ja toistaiseksi ainoa kaupallinen ratkaisu on painekaasupullot. Siirtoteknologioihin kuuluvat myös liikennepolttoaineen jakeluasemat, joita maailmassa oli vuoden 2004 loppuun mennessä noin sata (Fuel Cell Today 2005).

Vedyn riittävän tehokas varastointi ( $\text{kWh/m}^3$  ja  $\text{kWh/kg}$ ) etenkin liikennesektorilla on yksi suurimpia vetyteknologioiden yleistymisen pullonkauloista. Vedyn varastointi paineistettuna kaasuna on koeteltua, kaupallista tekniikkaa, mutta paineistetun kaasun energiatiheys tilavuusyksikköä kohti on kuitenkin perinteisillä säiliörakenteilla (kaasun paine 200–300 bar) varsin alhainen. General Motors on äskettäin ilmoittanut testanneensa menestyksekkäästi 700 barin hiilikomposiittisäiliön vetytankkina polttokennoautossa (HyWeb 2005). Saavutetulla varastointipaineella lähennellään jo US DoE -liikennetavoitetta (U.S. Department of Energy 2005) vedyn varastointitiheydelle ( $62\text{ kg/m}^3 = 2\text{ kWh/l}$ ).

Nestemäisenä vetyä voidaan varastoida joko sellaisenaan tai runsaasti vetyä sisältävien kemiallisten yhdisteiden muodossa (esimerkiksi metanoli). Vedyn nesteytys on valmista ja koeteltua tekniikkaa, eikä sen tutkimiseen panosteta nykyisin merkittävästi: nesteyttäminen on fysikaalisesti paljon energiaa vaativa prosessi, ja se osataan. Merkittäviä parannuksia energian varastointitiheyden tai nesteytykseen kuluvaan energiamäärään osalta ei silti ole näköpiirissä. Lentoliikenteessä nestemäinen vety on kuitenkin kevytensä ansiosta tulevaisuuden polttoaine.

Nesteen ja kiinteän välimaastoon sijoittuu vedyn varastointi pumpattavana lietteenä (slurry) (CEO Roundtable 2005). Tässä ratkaisussa sakean maalin kaltainen kemiallinen yhdiste (hydridi) toimii vedyn varastona ja kantaja-aineena. Kun vetyä halutaan vapauttaa varastosta, lietteeseen lisätään vettä, jolloin vapautuu erittäin puhdasta vetyä. Menetelmä on tutkimusvaiheessa; tärkeimpiä tutkimusaiheita ovat turvallisten, stabiilien ja pumpattavien hydriidien etsiminen sekä käytetyn lietteen regenerointi ja uudelleenkäyttö. Kiinteässä olomuodossakin vetyä voidaan varastoida, esimerkiksi kiinteinä kemiallisina yhdisteinä, metallihydrideissä ja epäorgaanisissa nanorakenteissa (carbon nanostructures). Erityisesti jälkimmäinen on vielä perustutkimuksen tasolla.

Vedyn tuotannon, varastoinnin, jakelun ja käytön kehitysnäkymiä on tarkasteltu Pohjoismaiden näkökulmasta vuosina 2003–2005 toteutetussa ennakointiyhteistyöhankkeessa (Nordic H2 Energy Foresight; [www.h2foresight.com](http://www.h2foresight.com)).

**Taulukko 4.** Vedyn tuotantoon, varastointiin ja jakeluun liittyvä teknologia – pohjoismaisia kehitysnäkymiä 2005–2030 (Nordic H2 Energy Foresight; Andersen et al. 2005).

Aika-jänne	2005–2010	2010–2015	2015–2020	2020–2025	2025–2030
Ennakoitu teknologia-kehitys Pohjoismaissa	<p>Demonstraatioita maakaasuun pohjautuvasta hajautetusta vedyntuotannosta ja vedyn varastoinnista painesäiliöihin</p> <p>Elektrolyysidemonstraatioita paikallisilla huolto-/tankkausasemilla</p> <p>Demonstraatioita biomassan kaasutukseen pohjautuvasta vedyntuotannosta</p> <p>Demonstraatioita vety- maakaasuseoksen käyttämisestä nykyisissä maakaasuverkoissa</p>	<p>Demonstraatioita maakaasupohjaisesta vedyn tuotannosta yhdistettynä hiilidioksidierotukseen</p> <p>Maakaasuverkon laajentaminen</p> <p>Ensimmäiset markkina- sovellukset vedyntuotannosta elektrolyysillä paikallisilla huolto-/tankkausasemilla</p> <p>Ensimmäiset biomassan kaasutukseen perustuvat markkina- sovellukset vedyntuotannosta</p>	<p>Maakaasuverkkoa laajennetaan edelleen</p> <p>Vetyverkon ja vedyntankkausasemien rakentaminen</p> <p>Suuret biomassan kaasutukseen pohjautuvat vedyntuotantolaitokset</p> <p>Suuret maakaasun reformointilaitokset yhdistettynä hiilidioksidin erotukseen</p> <p>Laajamittaiset elektrolyysidemonstraatiot käyttäen vetyä ja/tai metanolia tuulienergian puskuri- varastona</p>	<p>Pohjoismaista vetyverkkoa laajennetaan edelleen</p> <p>Vety-Nord-Pool perustetaan</p> <p>Laajamittaista vedyntuotantoa perustuen maakaasun reformointiin, biomassan kaasutukseen ja elektrolyysiin</p> <p>Laajamittainen vesivoiman käyttö nestemäisen vedyn tuotantoon aloitetaan Grönlannissa ja Islannissa</p> <p>SOEC-elektrolyysimetelmän käyttöönotto vedyntuotannossa (metanoli/metaani)</p>	<p>Ensimmäinen suuren mittaluokan kaupallinen vedynvarastointisovellus</p> <p>Ensimmäiset aurinkoenergiaan (PV) + elektrolyysiin perustuvat vedyntuotantosovellukset</p> <p>Kehittyneet valokemialliset ja biologiset vedyntuotantoprosessit</p>

info). Siihen osallistui yhteensä 16 organisaatiota viidestä Pohjoismaasta (tutkimuslaitoksia, yrityksiä, järjestöjä ja rahoitusorganisaatioita Tanskasta, Suomesta, Ruotsista, Norjasta ja Islannista). Hankkeessa tarkasteltiin vetyenergian kehitysnäkymiä pohjoismaisessa kontekstissa seuraavien 25 vuoden kuluessa. Taulukkoon 4 on koottu hankkeeseen osallistuneiden asiantuntijoiden tulevaisuusnäkemyksiä vedyn tuotannosta, varastoinnista ja jakelusta.

## Vedyn käyttötieteologiat

Tärkeimmät vedyn loppukäyttötieteologiat energiasektorilla ovat polttokennot, polttomoottorit, kaasuturbiinit ja katalyyttiset polttimet. Polttomoottorit ja turbiinit ovat vanhaa tieteologiaa, eikä vedyn käyttäminen niissä vaadi merkittäviä tutkimus- ja kehityspanostuksia. Katalyyttiset polttimet puolestaan ovat käytännössä ainoa loppukäyttötieteologia, jolla vedystä tehdään pelkästään lämpöä. Niiden rooli on nykyisin ja todennäköisesti tulevaisuudessaakin vähäinen, koska vetyä ei kalliina energian kantajana yleensä kannata muuttaa pelkäsi lämmöksi.

Polttokennot ovat tulevaisuudessa tärkein vedyn loppukäyttötieteologia. Toistaiseksi kehityksen kohteena ovat erityyppiset polttokennot: alkalinen (AFC), fosforihappo- (PAFC), polymeeri- (PEM), sulakarbonaatti- (MCFC), kiinteä oksidi- (SOFC) ja metanolipolttokenno (DMFC). Kullakin polttokennotyyppillä on omat vahvuutensa ja heikkoutensa sekä suunnitellut sovelluskohteet.

Polttokennojen kehitys ja testaus etenevät nopeaan tahtiin ympäri maailmaa. Autoissa testattavat kennot ovat nykyisin lähes kaikki PEM-tyyppisiä. Lisäksi PEM-kennoja käytetään muutaman kilowatin kokoisissa sähköntuotantolaitteissa. PAFC-tieteologia on teknologisesti kaikkein kypsintä, mutta sen kehityspotentiaalia pidetään rajallisena. SOFC-kennoja kehitetään ja demonstroidaan ennen kaikkea erilaisissa liikkumattomissa sovelluksissa (teollisuus, palvelut ja asuinkiinteistöt). Yksi SOFC-tieteologian johtava kehittäjä on suomalainen Wärtsilä. Sen tavoitteena on kehittää SOFC-tieteologiaan perustuvia CHP-ratkaisuja, joiden voimanlähteenä olisi 50–250 kW:n yksikkökennoja.

MCFC:n sovelluksista voidaan esimerkkinä mainita Michelinin rengas-  
tehtaalle asennettu 250 kW<sub>e</sub>:n laitteisto, joka tuottaa maakaasusta tehtaan tarpeisiin sähkön lisäksi 180 kW:n edestä 200-celsiusasteista höyryä renkaiden vulkanisointiprosessiin (HyWeb 2005). Alkaliset polttokennot ovat polttokennoista vanhimpia. Niitä on käytetty avaruusalusten energiantuotantoon jo pitkään. Valtavirrasta poikkeava Apollo Energy Systems pitää AFC-kennoja edelleen parhaana ratkaisuna muun muassa liikennesovelluksiin ja kehittää polttokennovoimaitoksia ja muita sovelluksia tästä lähtökohdasta (Apollo Energy Systems 2005). Suoraan nestemäistä metanolia hyödyntäviä polttokennoja kehitetään ennen kaikkea kannettaviin piensovelluksiin.

Polttokennojen suurimpia ongelmia ovat kustannukset, kestävyys ja luotettavuus. Näihin ongelmiin ei ole näköpiirissä nopeaa ratkaisua, vaan edelleen tarvitaan huomattava määrä perus- ja soveltavaa tutkimusta, jotta moninaiset materiaali- ja muut ongelmat saataisiin ratkaistua. Mittavia käyttötieteestä tarvitaan myös kestävyiden ja luotettavuuden varmistamiseksi. PEM-polttokennojen osalta tarvitaan edelleen perustutkimusta muun muassa grafiitilta vaadittavasta puhtaudesta, PEM-kalvojen kestävydestä, kaasun diffuusiokerroksesta, bipolaarilevyistä sekä kennojen pitkän aikavälin saastumisesta, joka johtuu

vedyn ja ilman epäpuhtauksista. Myös veden hallinta (PEM-kalvon kosteana pitäminen) on tärkeä PEM-polttokennojen suunnitteluun liittyvä ongelma. SOFC-kennojen osalta tutkijoita työllistävät erityisesti korkeasta lämpötilasta johtuvat materiaaliongelmat ja erilaisten materiaalien liittäminen toisiinsa (liitokset, tiivistet ja tiivistysaineet).

Vetykäyttöiset kaasumootorit ja -turbiinit täyttävät vielä nykyään huomattavasti paremmin kestävyys-, luotettavuus- ja kustannustasovaatimukset kuin yksikään polttokennotyyppi. Tämän vuoksi osa alan asiantuntijoista pitää näitä perinteiseen teknologiaan nojaavia sovelluksia lupaavimpina vaihtoehtoina vetyteknologian eteenpäinviemisessä: esimerkiksi polttomoottoriin perustuvien vetyautojen massatuotanto voidaan aloittaa nopeasti kysynnän kasvaessa. Lisäksi varastointi-, siirto- ja jakeluteknologioiden kehitys ja demonstrointi saisivat tehokasta vetoapua, kun kustannuksiltaan kilpailukykyiset vetyautot tulevat markkinoille. Kehitys- ja testaustyötä tarvitaan kuitenkin vielä muun muassa moottori- ja turbiinimateriaalien korroosiokestävyyden ja korkean lämpötilan hyötysuhteen parantamiseksi, kestävämpien ja halvempien vetysensoreiden valmistamiseksi sekä vety-maakaasuseoksia polttavien laitteiden optimoimiseksi kyseisiin tarkoituksiin. Taulukoihin 5 ja 6 on koottu pohjoismaiseen Nordic H2 Energy Foresight -hankkeeseen osallistuneiden asiantuntijoiden näkemykset vetyenergian käyttöön liittyvistä pohjoismaisista kehitysnäkymistä (liikenteeseen ja kulkuneuvoihin liittyvä kehitys sekä lämmitykseen ja sähkön tuotantoon tai jakeluun liittyvä kehitys).

## Vety- ja polttokennoteknologiaan liittyviä uusia liiketoimintamahdollisuuksia

Vetyteknologian käyttöönotto merkitsisi myös suomalaisille yrityksille uusia liiketoimintamahdollisuuksia, mikäli Pohjoismaat (Suomi mukaan lukien) pysyttäytyvät kehityksen kärjessä vetyenergiaan ja polttokennoteknologiaan liittyvillä avainalueilla. Uusia liiketoimintamahdollisuuksia liittyy vedyn tuotantoon, varastointiin, jakeluun, käyttöön ja tarvittavaan infrastruktuuriin: kaikilla näillä alueilla tarvitaan energiatoimittajia, laitevalmistajia ja palvelujen tuottajia, jotka osaavat vastata muuttuvien laite- ja energiamarkkinoiden tarpeisiin.

Suomessa huomio on kohdistunut lähinnä polttokennoteknologiaan (Jørgensen 2003; Copper 2004). Tällä alueella ollaankin kehityksen etulinjassa. Vetyenergian käyttöönotto voisi kuitenkin merkitä myös muita uusia mahdollisuuksia suomalaiselle liiketoiminnalle. Taulukkoon 7 on koottu Nordic H2 Energy Foresight -hankkeeseen osallistuneiden asiantuntijoiden näkemyksiä laite- ja energiamarkkinoihin liittyvistä pohjoismaisista liiketoimintamahdollisuuksista.

Liiketoimintamahdollisuuksien realisoituminen edellyttää kuitenkin kansainvälistä yhteistyötä sekä hyvää koordinoitua tutkimus- ja kehitystoiminnan avainryhmien välillä (yritykset, tutkimuslaitokset, rahoittajat ja julkishallinto).



**Taulukko 5.** Vetyenergiateknologia liikenteessä ja kulkuneuvoissa – pohjoismaisia kehitysnäkymiä 2005–2030 (Nordic H2 Energy Foresight; Andersen et al. 2005).

Aikajänne	2005–2010	2010–2015	2015–2020	2020–2025	2025–2030
Ennakoitu teknologia-kehitys Pohjoismaissa	<p>Eryiskulkuneuvot</p> <p>Demonstraatioita vedyn käytöstä bussi- ja taksiliikenteen polttoaineena</p> <p>Demonstraatioita vetykäyttöisistä apuvoimajärjestelmistä rekoissa, laivoissa ja lentokoneissa</p>	<p>Demonstraatioita merenkulun ja junaliikenteen polttokenno-sovelluksista</p> <p>Vetykäyttöisiä kulkuneuvoja linja-autoliikenteeseen</p> <p>Ensimmäiset vetypolttokenno-/ ICE-polttomootori-henkilöautot markkinoilla</p> <p>Ensimmäiset rekkujen, laivojen ja lentokoneiden polttokenno-apuvoimajärjestelmät markkinoilla</p>	<p>Vetypolttokennot/ ICE-polttomootorit kulkuneuvojen massamarkkinoilla</p> <p>Polttokenno-apuvoimajärjestelmät rekkujen, laivojen ja lentokoneiden vakiovarusteina</p> <p>Ensimmäiset merenkulun polttokenno-sovellukset markkinoilla</p>	<p>Vetykäyttöiset kulkuneuvot valtaavat markkinoita</p> <p>Merenkulun polttokenno-sovellukset markkinoilla</p>	<p>Vetykäyttöiset kulkuneuvot kaupallisilla markkinoilla tie-, vesi-, kisko- ja ilmailienteessä</p>

Tässä tärkeitä ja ajankohtaisia toimenpiteitä ovat vetyenergiateknologiaa ja sen vaikutuksia koskevan relevantin tiedon tuottaminen ja jakaminen, tietoisuuden lisääminen päättäjien keskuudessa, kansallisesti potentiaalisten keihäänkärkialueiden ja markkinarakojen identifiointi, innovaatiotoiminnan tukeminen valituilla fokusalueilla sekä osallistuminen kansainvälisten standardien, koodien ja normistojen rakentamiseen (Andersen et al. 2005a, 2005b; Eerola 2004).

## Energian käytön tehostaminen

### Rakennukset ja rakentaminen

Rakennukset käyttävät keskimäärin 40–45 % kokonaisenergian kulutuksesta. EU:n jäsenvaltioissa suurin osa kulutetusta energiasta menee lämmitykseen

**Taulukko 6.** Lämmitykseen ja sähköjakeluun liittyvien vetyenergiasovellusten teknologia-kehitys ja käyttöönotto – pohjoismaisia kehitysnäkymiä 2005–2030 (Nordic H2 Energy Foresight; Andersen et al. 2005).

Aika- jänne	2005–2010	2010–2015	2015–2020	2020–2025	2025–2030
Enna- koitu tekno- logia- kehitys Pohjois- maissa	Maakaasu- ja vetykäyttöisten poltto- kennojen ja polttokenno- järjestelmien demonstraatioita kotitalouksissa ja hajautetussa lämmön- ja sähköntuotannossa  Ensimmäiset vara- ja apuvoimajärjestelmien polttokenno- sovellukset markkinoille  Ensimmäiset syrjäseutujen sähköntuotantojärjestelmiin soveltuvat polttokennot markkinoille	Ensimmäiset sähkön- ja lämmön- tuotantoon soveltuvat maakaasupolttokennot (SOFC) markkinoille  Vetypolttokennot markkinoille (PEMFC)  Vara- ja apuvoimajärjestelmien polttokenno- sovellukset markkinoilla  Syrjäisten seutujen sähköntuotantoon soveltuvat polttokennot markkinoilla	Lämmön- ja sähköntuotantoon soveltuvat maakaasupolttokennot markkinoilla  Polttokenno- pohjaiset vara- ja apuvoimajärjestelmät valtaavat markkinoita  Syrjäisten seutujen sähköntuotantoon soveltuvat polttokennot valtaavat markkinoita	Hajautettuun ja kotitalouksien sähkön- ja lämmön- tuotantoon soveltuvat PEMFC-vety- polttokennot ja SOFC- maakaasupolttokennot kaupallisilla markkinoilla	Kotitalouksien käyttöön sekä hajautettuun ja keskitettyyn lämmön- ja sähköntuotantoon soveltuvat polttokennot kaupallisilla markkinoilla

(57 %). Lämpimän veden (25 %) sekä sähkölaitteiden ja valaistuksen (11 %) energiankulutus on vähäisempää. Palvelusektorilla lämmityksen osuus on pienempi (52 % kokonaiskulutuksesta), kun taas valaistuksen (14 %) ja toimistolaitteistojen (16 %) osuudet ovat suuremmat (European Commission 2004).

Rakennusala on aiemmin pidetty paikallisena toimintana. Kuitenkin Suomen kiinteistöklusterin tuotosta jo yli 20 % tulee viennistä ja kansainvälisestä toiminnasta (RAKLI 2005). EU:n markkinat tarjoavat uusia vientimahdollisuuksia, joskin samalla ulkomainen tarjonta Suomessa lisääntyy. Muun muassa EU:n yhtenäistyvä tuotehyväksyntä parantaa suomalaisyritysten asemaa Euroopan markkinoilla. Ala on myös kehitymässä suuntaan, jossa tieto-

viestintä- ja energiateknologian innovaatioiden hyödyntämismahdollisuudet paranevat ja palvelutuotteiden markkinat kasvavat.

EU:n jäsenvaltioissa merkittävä vaikutus on rakennusten energiatehokkuutta säätelevällä direktiivillä (2002/91/EY), jonka mukaan rakennusten on vastedes täytettävä energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset. Lisäksi edellytetään rakennusten energiatehokkuuden sertifiointia sekä rakennusten lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteistojen säännöllisiä tarkastuksia. Direktiivi on saatettava jäsenmaissa voimaan vuonna 2006. Valtiot, jotka eivät pysty toteuttamaan vaatimuksia, voivat saada toteutusta varten kolme vuotta lisääaikaa. Direktiivin täytäntöönpanon jälkeen kaikilla rakennuksilla, joitakin direktiivissä lueteltuja poikkeuksia lukuun ottamatta, on oltava energiatehokkuustodistus. Jokaisen jäsenvaltion on myös asetettava omat kansalliset rajat tehokkuusstandardeille, koska niitä ei ole annettu yleisellä tasolla.

### *Teknologiat*

Eurooppalaisen energia-alan tulevaa kehitystä arvioivan delphi-tutkimuksen mukaan rakennusten energiatehokkuuden parantamiseksi tarvittava teknologia on jo saatavissa (EurEnDel 2004). Siksi vuoteen 2030 mennessä 50 % rakennettavista uusista asuinrakennuksista voisi olla matalaenergiataloja. Suurimpana esteenä tutkimuksessa pidettiin uuden teknologian korkeampia investointikustannuksia. Vuonna 2040 arviolta 60 % maailman kokonaisenergian kulutuksesta tapahtuu kehitysmaissa.

Merkittävimpiä mahdollisuuksia rakennusten energiatehokkuuden parantamiseen tuovat muun muassa ympäristöystävällinen energiantuotanto, laitteistojen kehittäminen, kehittyneet rakennusmateriaalit, automaattiset ohjauksjärjestelmät, suunnittelu- ja rakennusprosessin hallintajärjestelmät sekä näihin liittyvät palvelutuotteet.

Ympäristöystävällinen energiantuotanto voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: uusiutuvat energialähteet, sähkön ja lämmön yhteistuotanto (CHP) ja lämpöpumput (tulevaisuudessa polttokennot). Suomessa merkittävää osaaamista on muun muassa CHP-teknologiasta ja bioenergian hyödyntämistekniikoista. Myös polttokennoteknologia on kehittymässä.

Rakennusmateriaaleja kehittämällä voidaan parantaa sekä materiaali- tuotannon että rakennusten energiatehokkuutta. Esimerkkejä ovat kehittyneet puumateriaalit, komposiittimateriaalit ja funktionaaliset materiaalit, kuten likaa hylkivät pinnat. Energiatehokkuuden kannalta lupaavana voidaan pitää sisäänrakennettua vaiheistinta, joka muuttaa materiaalin lämpökapasiteettia (Feustel & Stetiu 1997).

Suomen näkökulmasta niin sanottu älykäs talo on hyvin lupaava mahdollisuus. Siinä rakennuksen toimintoja, kuten turvallisuutta, viihtyvyyttä ja

**Taulukko 7.** Vetyenergiaan liittyviä pohjoismaisia liiketoimintamahdollisuuksia (Nordic H2 Energy Foresight, Andersen et al. 2005b).

	Vedyn tuotanto ja jakelu	Vedyn käyttö liikenteessä ja kulkuneuvoissa	Vedyn käyttö lämmityksessä ja sähkönjakelussa
Laitemarkkinat	<p>Maakaasureformerit</p> <p>Biomassan kaasutukseen ja biopolttoaineiden tuotantoon tarvittavat laitteet</p> <p>Tuulivoiman ja vetyenergian integroimiseen tarvittavat laitteet ja järjestelmät</p> <p>Elektrolyysilaitteet</p> <p>Infrastruktuurin laitteet, automaatio, kompressorit, putkistot</p> <p>Pidemmällä tähtäyksellä myös:</p> <p>Nestemäisen vedyn pitkien matkojen kuljetukseen tarvittavat laitteet (esim. kylmäsäiliöt)</p> <p>Hiilidioksidin erotukseen tarvittavat laitteet</p>	<p>Eryityskulkuneuvot (käyttökohteen mukaiset markkinat)</p> <p>Vetyenergialiikenteen infrastruktuuriin liittyvät laitteet</p> <p>Liikennesovellusten apuvoimajärjestelmät (laivat, rekat)</p> <p>Pidemmällä tähtäyksellä myös:</p> <p>Merenkulun vetyenergia- ja polttokennosovellukset</p>	<p>Maakaasukäyttöiset polttokennot ja polttokennojärjestelmät kotitalouksien sähkön- ja lämmöntuotantoon (CHP)</p> <p>Polttokennopohjaiset vara- ja apuvoimajärjestelmät</p> <p>Syrjäseutujen sähköistykseen liittyvät polttokennopohjaiset apuvoimayksiköt</p> <p>Polttokennopohjaiset hajautetut sähkön- ja lämmöntuotantojärjestelmät (CHP)</p>
Energiamarkkinat	<p>Maakaasu</p> <p>Biomassa energiakäytössä</p> <p>Tuulisähkö</p> <p>Muu uusiutuva energia</p> <p>Pidemmällä tähtäyksellä myös:</p> <p>H2 NordPool -toiminta/ vetykauppa</p> <p>Nestemäisen vedyn laivakuljetukset</p>	<p>Polttoaineen jakeluun ja tankkaukseen liittyvä uusi infrastruktuuri</p> <p>Pidemmällä tähtäyksellä myös:</p> <p>Liikenteen liittäminen päästökaupan piiriin 2012 =&gt;</p>	<p>Energian tuotannon ja kulutuksen vaihtelua puskuroidaan polttokenno- ja vetyenergiajärjestelmät (esim. tuulienergian varastointi vetyyn)</p>

tehokkuutta, säädellään tietotekniikan avulla. Esimerkkejä ovat LVI-järjestelmien hallinta, ympäristön seuranta, hälytysjärjestelmät, sisäänpääsyn hallinta, videoseuranta ja polttoainesäiliön tilan seuranta (EurEnDel 2004). Rakennusten elinkaaren ja energiatehokkuuden hallinta ja elinkaariedullisuus sekä suunnittelu- ja rakennusprosessin ohjaus ja mallintaminen, joissa voidaan hyödyntää informaatioteknologialähtöistä lähestymistapaa, tulevat rakentamisessa ja investointeja koskevassa päätöksenteossa yhä tärkeämmiksi (Imperial College London 2005, Tekes 2005).

## Tuotteet ja laitteet

Energiaa käyttävien tuotteiden ekosuunnittelua koskevan (EuP KOM (2003)453) puitedirektiivin tavoitteena on ympäristöasioiden huomioon ottaminen energiaa käyttävien ja tuottavien laitteiden sekä niiden osien suunnittelussa. Tuotteita koskevat sitovat määräykset annettaisiin komission täytäntöönpanosäädöksinä (EK 2005). Direktiivi astui voimaan elokuussa 2005 ja on pantava toimeen jäsenmaissa kahden vuoden kuluessa.

Lisäksi valmisteilla on energian loppukäytön tehokkuutta ja energiapalveluita koskeva direktiiviehdotus KOM(2003)739. Se asettaa jäsenvaltioille 1 %:n vuotuisen säästö tavoitteen direktiivin kattamien toimintojen loppuenergian käytölle. Säästöt on todennettava luotettavasti. Energiapalvelumarkkinoita tulee kehittää siten, että energiatehokkuus liitetään olennaiseksi osaksi energia-alan sisämarkkinoita.

Direktiivien vaikutuksesta kasvavat esimerkiksi seuraavien toimintojen markkinat: energiapalvelut, energiakonsultointi, energiaa säästävät moottorit ja energiaa säästävien laitteiden kehitys.

## Vesi

Vesiala käsittää tässä puhtaan veden tuotannon, jäteveden puhdistamisen sekä puhtaiden prosessien kehittämisen (muun muassa vesien käsittely- ja kierrätysjärjestelmät). Vuonna 2003 Suomen vesisektorin kaupan arvo oli 575 miljoonaa euroa. Vesialan toimijoiden joukko on Suomessa iso ja monipuolinen, mutta toiminta on rakentamispainotteista, vakiintuneisiin tekniikoihin ja tuotteisiin pohjautuvaa (Hyötyläinen et al. 2004). Alalla on paljon perusosaaamista ja isojakin yrityksiä, mutta toimintaympäristö ei viime vuosina ole ollut kovin innovaatio- ja kehitysmuuntoinen. Uuden teknologian kehitys on liittynyt lähinnä teollisuuden prosesseihin.

EU:n vesisäädösten täytäntöönpano vauhdittaa merkittävästi ympäristöteknisten sovellusten markkinoita. Muun muassa yhdyskuntajätevesien käsittelyä koskevan direktiivin viimeinen, pieniä kuntia koskeva vaihe tulee voimaan

vuoden 2005 lopussa. Kymmenellä uudella EU-maalla on kuitenkin direktiivin lopulliseen toteutukseen vielä kymmenen vuotta lisääaikaa. Tämä tarjoaa suuria mahdollisuuksia markkinoida EU-vaatimukset täytettäviä kustannustehokkaita teknisiä ratkaisuja.

IPPC-direktiivin täytäntöönpano tuo myös lähivuosina uusia mahdollisuuksia vettä säästävien prosessien, haitallisia kemikaaleja korvaavien menetelmien ja parannettujen jätevesien käsittelymenetelmien tarjoajille. Komissio on julkaissut 16 eri toimialojen BREF-vertailuasiakirjaa, ja lisää julkaistaan lähiaikoina (katso myös kohta Puhtaat prosessit). Teollisuudella on kahdeksan vuotta aikaa asiakirjojen julkaisusta täyttää niiden vaatimukset.

Vesipuitedirektiivi edellyttää hoitosuunnitelmien tekemistä vesipiireille vuoteen 2009 mennessä. Hoitosuunnitelmassa määritellään tarvittavat keinot hyvän tilan saavuttamiseksi eurooppalaisissa vesimuodostelmissa vuoteen 2015 mennessä. Vesien tilan parantaminen ja vesistöseuranta edellyttävät uusia investointeja. Myös ehdotus pohjavesidirektiiviksi (KOM(2003)550) on ministerineuvoston käsiteltävänä. Siinä pohjavesien suojelulle asetetaan yksityiskohtaisia tavoitteita, kuten raja-arvot tietyille haitallisille aineille sekä haitallisten aineiden pitoisuuksien nousevan suunnan kääntäminen laskuun.

Jos kaikki vesisäädökset toteutetaan sekä uusissa että vanhoissa EU-maissa, ne muodostavat tulevana vuosina erittäin suuret markkinat vesiteknologialle Euroopassa. EU:n ympäristölainsäädännön uusissa ja tulevissa jäsenmaissa aiheuttamista investoinneista noin kolmasosa (eli 55 miljardia euroa) on vesijätevesisektorilla. (World Bank 2002, ISPA 2000, NEAP Croatia, NEAP Albania). Markkinoiden laajentuminen vähentää taloudellisia esteitä innovatiivisten teknologioiden leviämislle. Tilanne tarjoaa myös hyvät mahdollisuudet tarjota kokonaisvastuu-urakoita.

Merkittäviä mahdollisuuksia on lisäksi esimerkiksi Kaakkois-Aasiassa, Kiinassa ja Etelä-Amerikassa (European Commission 1999). Johannesburgin kestävä kehityksen maailmankongressissa asetettiin tavoitteeksi puolittaa sekä vailla puhdasta vettä olevien että vailla sanitaatioita olevien ihmisten lukumäärät (1,1 miljardia ja 2,6 miljardia) vuoteen 2015 mennessä. Eurooppalaisen ACCP-maiden (Agricultural Chemical Cleanup Program) rahaston tavoitteena on tukea innovatiivisen ja tarkoituksenmukaisen ympäristöteknologian soveltamista. Puhtaan veden puutteen lisäksi lähitulevaisuudessa ratkaisua odottavia ongelmia ja tarpeita ovat muun muassa seuraavat (WSSTP 2005):

- ilmastomuutoksen vaikutukset, kuten tulvat ja myrskyt toisaalla, kuivuus toisaalla
- vesi-sanitaatioinfrastruktuurin vanheneminen ja siitä seuraavat vauriot, joiden korjaamiseen ei riitä resursseja
- LVI-alan houkuttelevuuden heikkeneminen ja pula ammattitaitoisista työntekijöistä kehittyneissä maissa



aa, että vesiongelmiin ratkaisuun ei ole yhtä ratkaisua, vaan tavoitteena tulisi olla ratkaisutyökalupaketin kehittäminen. Veden kierrätystä ja uudelleenkäyttöä sekä suolanpoistoa pidettiin kansallisesti tärkeimpinä keinoina varmistaa turvallisen veden saanti. Tärkeimmiksi tulevaisuuden teknologia-alueiksi luokiteltiin seuraavat:

- kalvotekniikat, tavoitteena muun muassa tehokkaampi ja vähemmän energiaa kuluttava kalvotekniikka, joka poistaa epäpuhtaudet vedestä eikä vettä epäpuhtauksista
- lämpökäsittelyyn perustuvat tekniikat, joiden ongelmana on kalleus; kustannustehokkaampana vaihtoehtona mainitaan CHP-teknologian ja vedenpuhdistuksen yhdistäminen
- vaihtoehtoiset uudet vedenpuhdistusteknologiat (muut kuin kalvoerotus ja lämpökäsittely); nämä teknologiat voivat tarjota suuria mahdollisuuksia pitkällä aikavälillä (vuoteen 2020), mutta raportin mukaan näköpiirissä ei ollut selkeästi lyhyellä aikavälillä markkinoille tulevaa lupaavaa teknologiaa
- vedenkäsittelyssä syntyvien lietteiden käsittelytekniikat, jotka tulevat vedenkierrätyksen ja suolanpoiston yleistyessä yhä tärkeämmiksi
- veden kierrätys- ja uudelleenkäyttöteknologiat, jotka voivat perustua kalvotekniikkaan tai uusiin teknologioihin. Käyttökohteet asettavat teknologioille erityisvaatimuksia, joita voivat olla esimerkiksi suuria epäpuhtauspitoisuuksia tai monia epäpuhtauksia sisältävien vesien käsittely tai puhdistus juomavedeksi. Tarvitaan myös teknologiaa talteen otetun veden varastointiin.

Liitteessä 2 on esimerkkejä innovatiivisista tekniikoista, niiden sovellusaloista, niiden suurimmista ongelmista ja tulevasta kehityksestä (ETAP Group Report 2003, ETAP Discussion Paper 2003a). Suomen osaamista voidaan hyödyntää monilla vedenpuhdistuksen osa-alueilla. Suomen näkökulmasta automaatio- ja hallintajärjestelmät, informaatioteknologian soveltaminen ja on-line-mittaukset vaikuttavat huomionarvoisilta mahdollisuuksilta. Myös edistyneet hapetusprosessit ja parannetut biologiset prosessit ovat suomalaisten ydiosaamista sovelletussa teknologiassa. Uudenlaisten toimintamallien ja palvelukonseptien luonti parantaa lisäksi niiden yritysten menestystä markkinoilla, jotka perustavat toimintansa perinteiseen teknologiaan. Puhdasta veden tuotannon liittäminen sähkön ja lämmön yhteistuotantoon (CHP/DHCW) ja teknologian käyttö muun muassa suolanpoistoon on sekin mahdollinen kasvualue. Suolanpoistolaitosten vuosittainen kapasiteetti on tällä hetkellä 1,0–1,4 miljoonaa m<sup>3</sup> päivässä, ja sen on ennustettu kasvavan 10 % vuodessa vuoteen 2030 asti.



## Jätteet ja kierrätys

Seuraavassa tarkastellaan sekä yhdyskuntien että teollisuuden jätteiden käsittelyyn, hyötykäyttöön ja loppusijoitukseen sekä jätteiden synnyn ehkäisyyn liittyvän teknologian kehitystä ja siihen liittyviä liiketoimintamahdollisuuksia.

### *EU-maat*

EU:n tasolla jätehuollon kehitystä ohjaavat erityisesti seuraavat direktiivit: direktiivi ympäristön pilaantumisen ehkäisemisen ja vähentämisen yhtenäistämiseksi, kaatopaikkadirektiivi ja jätteenpolttodirektiivi. Näiden direktiivien täytäntöönpano tapahtuu vaiheittain, ja siksi ne vaikuttavat jätehuollon liiketoimintaan merkittävästi tällä ja joiltakin osin vielä ensi vuosikymmenelläkin. Edellä mainittujen säännösten lisäksi useille jätevirroille on asetettu keräämis- ja hyödyntämistavoitteet (pakkaukset, romuajoneuvot sekä sähkö- ja elektroniikkaromu), mikä edistää kierrätys- ja hyödyntämistoimintaa. Myös EU:n yhdenmety tuotepolitiikka (IPP, Integrated Product Policy) ja siihen liittyvät kestävään tuotekehitykseen ohjaavat säännökset vaikuttavat osaltaan jätehuollon kehitykseen.

EU:n jätealan tulevan kehityksen suuntaviivoja viitotetaan EU:n teema-kohtaisessa jätestrategiassa. Strategiassa keskitytään erityisesti jätteiden synnyn ehkäisyyn ja kierrätyksen tehostamiseen (European Commission 2003b). Tavoitteena on kokonaisvaltainen ja elinkaaripohjainen lähestymistapa. Mahdollisia toimenpiteitä ovat esimerkiksi kierrätystavoitteet tärkeimmille materiaaleille, kierrätystä painottavat kriteerit jätteenkäsittelylaitoksille sekä jätteiden synnyn ehkäisytoimenpideperiaatteiden määrittely.

EU-lainsäädännön vaikutukset investointeihin vaihtelevat maittain, koska joissakin maissa ollaan jo melko lähellä edellä mainittujen direktiivien vaatimaa tasoa, kun taas tähän asti kaatopaikkasijoituksesta riippuvissa maissa (Suomi, Englanti, Espanja, Kreikka ja uudet EU-maat) joudutaan tekemään investointeja erityisesti jätteiden polttoon ja siihen liittyviin teknologioihin, osittain myös kaatopaikkojen parantamiseen. Uusissa ja tulevaisuudessa EU-maissa tavoitteena on lisätä tuntuvasti jätteiden kierrätystä ja hyötykäyttöä. Jätteen laadun muuttuminen, kuten elektroniikkajätteen määrän voimakas kasvu, luo uusia markkinoita kierrätysteollisuudelle muissakin maissa. Arvioita jätehuollon markkinoista ja jätehuoltotoimenpiteiden suuntautumisesta uusissa EU-maissa esitetään liitteessä 4.

### *Kehitys- ja transitiomaat*

Kehitysmaissa syntyvien jätemäärien ja jätteisiin liittyvien liiketoimintamahdollisuuksien arviointi on usein hankalaa, koska järjestettyä jätteiden keräilyä ei välttämättä ole tai se rajoittuu vain joihinkin keskuksiin. Suuri osa hyödyntämiskelpoisesta materiaalista palautuu kiertoon. Kansantuotteen kasvu johtaa

sekä jätteen laadun muutokseen että jätemäärien kasvuun. Samalla käynnistyy yleensä myös vähittäin jätteenkäsittely- ja loppusijoitusjärjestelmän rakentaminen, joka tuo uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Ensimmäisenä tavoitteena on jätteiden keräilyn järjestäminen. Kehitysmaissa voidaan hyödyntää myös muun muassa CDM (Clean Development) -mekanismeja. Kaatopaikkakaasun keräily ja talteenotto on yksi taloudellisesti kannattavimmista CDM-kohteista metaanin suuren kasvihuonekaasupotentiaalin takia.

Yksi lähitulevaisuuden mahdollisista suurista markkina-alueista on Kiina, jossa syntyy vuosittain noin 500 miljoonaa tonnia yhdyskuntajätettä (China Waste Management 2004). Tämä on herättänyt myös maan hallituksen huomion, ja yhdyskuntajätteen käsittelykapasiteettia pyritään lisäämään erityisesti suurkaupungeissa. Suurimman osan jätteiden keräilystä ja loppusijoituksesta hoitavat pienet paikalliset toimijat, joilla on rajallisesti teknologiatuntemusta. Muutamilla kansainvälisillä jätealan yrityksillä on keräily-, kaatopaikka- ja jätteenpolttotoimintaa suurkaupungeissa. Suurimpiin kaupunkeihin ollaan rakentamassa muun muassa kaatopaikkoja ja polttolaitoksia. Odotettavissa on, että pienemmät kaupungit seuraavat tulevaisuudessa. Uuden jätteenkäsittelyteknologian ylläpidon vaatiman taitotiedon kasvattaminen on Kiinassa lähivuosien tärkeä toiminta-alue. Markkinoilla lienee poltto- ja kaatopaikkateknologian ohella tarvetta myös jätteiden keräily- ja kuljetuskalustolle sekä -järjestelmille ja kaatopaikkalaitteistoille.

### *Tilanne Suomessa*

Viimeaikaisen kehityksen valossa näyttää siltä, että Suomessa on onnistuttu purkamaan yhteys kansantuotteen kasvun ja yhdyskuntajätteen määrän kasvun välillä. Tämä on kansainvälisestikin merkittävä, mutta vielä hyvin harvinaista. Alan kehitykseen on viime vuosina vaikuttanut muun muassa Tekesin Streams-ohjelma, jonka tuotekehityshankkeissa erityisesti pienet ja keskiuuret yritykset olivat aktiivisia. Ohjelmassa kehitetyistä lupaavista tuotteista voidaan mainita Ecomondin jätelegistiikan ohjausjärjestelmä (joka on Suomessa otettu käyttöön jo 60 kunnassa), uuteen teknologiaan perustuva biokaasulaitos sekä RFID-tunnistinteknologian uusien käyttösovellusten ja kaatopaikkakaasujen mikrometeorologisen mittauksen kehittäminen (Tekes 2005). Biokaasulaitosten lisäksi suomalaisella kaasutus- ja leijupolttoteknologialla sekä niihin liittyvällä kaasujen käsittelytekniikalla on mahdollisuuksia sekä uusissa EU-maissa että kehitysmaissa. Suomessa on myös pitkät perinteet jätteiden kierrätyksessä, esimerkiksi pullonpalautusjärjestelmät. Uudempiin teknologioihin kuuluvat elektroniikkaromun käsittelyteknologiat, joilla voi olla vientimahdollisuuksia esimerkiksi kehittyviin maihin.

Streams-ohjelmassa vuonna 2003 tehty Euroopan markkinoiden kartointus päätyi siihen johtopäätökseen, että suomalaisista teknologioista Euroopan markkinoita ajatellen potentiaalisimpia ovat imukeräilyjärjestelmät, elektrooniikkaromun kierrätysjärjestelmät ja mekaanis-biologinen käsittely (Christoph Genter 2003). Näiden lisäksi mahdollisina mainittiin logistiikan ohjauksjärjestelmät, automatisoidut lajittelulaitokset ja palautusautomaatit.

#### *Jätealan trendejä ja niihin liittyviä mahdollisuuksia suomalaiselle teollisuudelle*

(Hietanen et al. 2005, Manninen 2004, Thematic Strategy for Soil Protection, Hongisto et al. 2003).

Loppusijoitettavan jätteen määrän vähentäminen kehittämällä kierrätysteknologiaa sekä toisaalta teknologiaa ja palveluja, jotka edistävät jätteiden synnyn ehkäisyä, on luokiteltu tärkeäksi kehityskohteeksi muun muassa Japanin NESTEPin kuudennessa delphi-kyselyyn perustuvassa ennakoitintutkimuksessa vuodelta 2001 (Hongisto et al. 2003). Vastaavia tuloksia on ennakkotietojen mukaan saatu myös NESTEPin seitsemännessä kyselyssä, josta ei vielä ole raporttia saatavilla. Materiaalivirtojen ja tuotteiden koko elinkaaren hallinta sekä ekologinen tuotesuunnittelu ovat tulleet ennakkoinneissa esiin voimakkaasti jätteiden syntyyn ja jätehuoltoon liittyvinä kehitysalueina. Seuraavassa luuteloidaan vielä yksityiskohtaisemmin alan trendejä ja niihin liittyviä mahdollisuuksia:

- Alan kansainvälistyminen jatkuu ja lisääntyy. Kun markkinat kasvavat muun muassa Aasiassa ja Venäjällä, suomalaisille yrityksille syntyy uusia mahdollisuuksia jätehuoltopalvelujen markkinointiin. Toisaalta vaihtoehtona voi olla, että Suomen jätehuollon peruspalvelut siirtyvät lähes kokonaan ulkomaisten yritysten hoidettaviksi.
- Kaupungistuminen mahdollistaa tehokkaamman jätteiden hyötykäytön ja luo mahdollisuuksia muun muassa markkinoita älykkäisiin mallinnus-, ohjauks- ja tiedonsiirtomenetelmiin perustuvia jäteologiikkajärjestelmiä.
- Kehitykseen ja kaupungistumiseen liittyvä yksilöllistyminen kasvattaa jätteen määrää ja vaikeuttaa tuotteiden kierrätystä tuomalla markkinoille erityistuotteita.
- Teknologian kehitys (materiaali-, bio-, nano- sekä informaatio- ja viestintäteknologiat) tuo uusia mahdollisuuksia jätteiden synnyn ehkäisyyn. Toisaalta syntyy uudenlaisia, mahdollisesti entistä hankalammin kierrätettäviä ja käsiteltäviä jätteitä. Esimerkkejä ovat informaatio- ja viestintäteknologian mukanaan tuomat suuret elektroniikkajättemäärät, komposiittimateriaalit ja nanoteknologiaan liittyvä pienhiukkassaltistumisen riski. Näiden jätteiden kierrätys, käsittely ja loppusijoitus edellyttävät uusia teknologioita tai entisten teknologioiden kehittämistä ja uudenlaisia käsittelykokonaisuuksia.

- Teollisuudelle asetettavat jätteiden hyötykäyttö- ja materiaalinkäytön tehostamistavoitteet sekä materiaalien hintojen kasvu luovat mahdollisuuksia kierrätys- ja hyötykäyttöliiketoimintaan sekä tähän liittyvien palveluiden kehittämiseen. Toisaalta EU-maissa lainsäädännön jätekäsittelyn tiukka tulkinta vaikeuttaa hyötykäyttöä. Valmisteilla olevat End of Waste -kriteerit mahdollisesti parantavat tilannetta.
- Muun muassa EU:n jätelainsäädäntö ohjaa jätteiden keräily- ja loppusijoitustoiminnasta siihen, että jätehuolto integroituu yhä selvemmin materiaali- ja energiavirtojen hallintaketjuihin. Teollinen ekologia tai materiaalivirtojen hallinta ja jätteiden synnyn ehkäisy luo uusia palvelutarpeita ja liiketoimintamahdollisuuksia. Suomalaisten kannalta mahdollisuuksia tarjoaa materiaali- ja energiavirtoihin liittyvä tiedonhallinta, kuten etätunnisteiden (muun muassa RFID-tunnistinteknologian) hyödyntäminen materiaaliketjujen hallinnassa sekä jätteiden keräilyohjausjärjestelmät.
- Uuden jätehuoltoteknologian käyttöönotto kehitysmaissa ja materiaalivirtojen hallinnan kehittyminen teollisuusmaissa luovat tarpeita koulutus-, neuvonta-, suunnittelu- ja kehittämisspalveluille sekä jätehuoltoketjujen kokonaishallintaan liittyville palveluille.
- Maatalousjätteen ja lietteiden käsittely-, kierrätys- ja hyödyntämisteknologioiden tarve kasvaa. Siihen ohjaa toisaalta sekä energian hyödyntämismahdollisuus että tarve palauttaa orgaaninen hiili ja ravinteet maaperään (eroosio, maaperän köyhtyminen).
- Suomalaisten kaasutus- ja leijupoltteknikoiden hyödyntäminen teollisuus-, yhdyskunta- ja muiden jätteiden poltossa.
- Keräyspaperin ja -kartongin polttoa on viime aikoina taas tarkasteltu kierrätyksen reaalisenä vaihtoehtona (SEPET 2005).

Materiaalitekniikoiden innovaatioita odotetaan muun muassa seuraaville osaluueille (Naumanen 2005):

- taloudelliset ja ympäristöystävälliset menetelmät muovien polttamiseen (polymeerit ja polymeerikomposiitit)
- muovi-, elektroniikka- ja muun kulutushyödykejätteen halvat ja nopeat erottelumenetelmät kierrätyksen tarpeisiin
- hiilikuitujen kierrätysmenetelmien kehittäminen (esimerkiksi polymeerikomponentin erottelu)
- rakennusmateriaalien kierrätettävyyden ja uusiokäytön kehittäminen
- valmistuksen sivuvirtojen parempi hyödyntäminen (esimerkiksi pölyt ja sakat)
- ympäristömyötäiset ja terveyttä edistävät pinnoitteet
- keveyden, kestävyuden ja kierrätettävyyden yhtäaikainen optimointi esimerkiksi kehittyneiden liittämismenetelmien avulla

- rakennus- ja pakkausmateriaalien kosteus- ja ikääntymisvaurioiden minimointi mallinnusmenetelmien avulla
- uusiutuvien raaka-aineiden käyttömahdollisuuksien laajentaminen (esimerkiksi luonnon polymeerit, kasviöljyt, puu, sellu ja ligniini).

## Maaperän suojelu

Maaperän huonontuminen on merkittävä maailmanlaajuinen ongelma. Maaperän laatua voivat heikentää muun muassa eroosio, aavikoituminen, orgaanisen aineen väheneminen, maaperän pilaantuminen (sisältää happamoitumisen), maaperän peittyminen ja suolaantuminen. EU:ssa on parhaillaan valmisteilla ehdotus maaperän suojelun teemakohtaiseksi strategiaksi (Thematic Strategy for Soil Protection) ja maaperän suojelua koskevaksi direktiiviksi (EK 2005). Niiden toteuttaminen ohjaa aiheeseen liittyviä toimenpiteitä lähitulevaisuudessa. Ensimmäisen vaiheen päätavoitteiksi asetetaan maaperän suojelu eroosiolta ja pilaantumiselta. Myös Thematic Strategy on the Urban Environment asettaa yhdeksi tavoitteeksi suunnata rakentamista jo käytössä olleille alueille (brownfields) uusien luonnonvaraisten alueiden sijasta. Pohjavesien suojelun puitedirektiivi vaikuttaa sekin maaperän pilaantumisen hallintatoimenpiteiden tarpeeseen (ConSoil 2005).

Maaperän pilaantuminen on yleistä kaikkialla maailmassa. Markkinat keskittyvät kuitenkin vielä suurelta osin kehittyneisiin maihin, koska kehittyvässä maissa muun muassa ilmansuojelu ja jätehuolto ovat toimenpidehierarkiassa pilaantuneiden maiden edellä. Joissakin kehittyvässä maissa, kuten Kiinassa, on suunnitteilla tai valmisteilla kohteiden tutkimus- ja inventointiohjelman käynnistäminen (ConSoil 2005). Kunnostuksia toteutetaan lähinnä niin sanotuissa megakohteissa (esimerkiksi vanhat kaivosalueet ja laajamittaisen teollisuustoiminnan pilaamat alueet) kansainvälisellä rahoituksella.

Euroopassa pilaantuneiden alueiden lukumääräksi on arvioitu 0,3–1,5 miljoonaa aluetta ja niiden käsittelyn kokonaiskustannuksiksi 59–109 miljardia euroa (European Commission 2003c). Maaperän ja pohjavesien pilaantumisen lisäksi huomiota on entistä enemmän kiinnitetty myös pilaantuneiden sedimenttien aiheuttamiin ongelmiin.

Vanhoissa EU-maissa pilaantuneiden maiden kunnostus on suhteellisen vakiintunutta. Maaperän kunnostukseen liittyvän liiketoiminnan kehittymistä rajoittaa yleiseksi käytännöksi muodostunut pilaantuneiden maiden kaato- paikkasijoitus, jonka osuus usein on 60–90 % kaikista kunnostettavista maista. Tähän on päädytty, koska maa-ainesten käsittelyn kustannukset ovat korkeat ja toisaalta maa-ainesten, haitta-aineiden ja kohteiden heterogeenisuuden vuoksi kunnostusmenetelmien käyttöalue voi jäädä kapeaksi. Lukuisista kehi-

tetyistä kunnostusvaihtoehdoista suhteellisen harvat (poltto, pesu, kompostointi, joissakin maissa stabilointi, huokoskaasukäsittely) ovat saavuttaneet laajemmin jalansijaa markkinoilla. Yleisimmin käytettyjä in-situ-tekniikoita ovat hapetus ja huokosilmatekniikka. Useimmat in-situ-menetelmät eivät tois-taiseksi ole täytäneet niihin kohdistuneita liiketoiminnallisia odotuksia, koska niiden soveltaminen vaatii ominaisuuksiltaan ”hyvää” kohdetta. Lisäksi maaperän kunnon paranemisen seuranta on vaativaa.

Myös uusissa EU-maissa vanhojen sotilas- ja teollisuusalueiden, teollisuus- ja ongelmajätteiden kaatopaikkojen ja sijoitusalueiden sekä muiden pilaantuneiden kohteiden lukumäärä on suuri. Toistaiseksi niiden tutkimukseen ja kunnostukseen on kiinnitetty melko vähän huomiota, mutta vastaisuudessa maaperän suojelun painottuminen EU:ssa vauhdittanee tähän liittyvää toimintaa. Pilaantuneet alueet ovat yleinen ongelma myös Venäjällä sekä yleensä kehitysmaissa, missä kuitenkin kunnostushankkeita toteutetaan lähinnä vain kansainvälisellä rahoituksella. Suomalaisten maaperän kunnostuksia tekevien yritysten luontevin markkina-alue on lähialueilla ja Pohjoismaissa.

Useimmissa EU-maissa samoin kuin muun muassa Yhdysvalloissa ja Kanadassa on maaperän kunnostuksessa asetettu tavoitteeksi riskipohjainen päätöksenteko aiemman ohjearvojen tiukan soveltamisen sijasta. Syynä ovat olleet erityisesti kunnostustoiminnan korkeat kustannukset. Strategian seurauksena riskinarviointiin, alueiden tutkimiseen ja muihin konsultointipalveluihin liittyvät markkinat ovat kasvaneet tai kasvamassa. Esimerkiksi kustannuksiltaan kohtuullisille, mutta toimiville in-situ-analysimenetelmille voi löytyä tilaa kilpailuilta markkinoilta. Yleensäkin monitorointi- ja tiedonhallintajärjestelmät, jotka kattavat myös esimerkiksi kaukokartoituksen, GIS-järjestelmät ynnä muut, ovat mahdollisia kehitysalueita.

Eroosio ja maaperän orgaanisen aineksen väheneminen ovat merkittäviä ongelmia lähes maailmanlaajuisesti. Maaperän eroosion ja köyhtymisen hallinta liittyy erityisesti maatalouden ja metsänhoidon kehittämiseen. Tavoitteena on tuotannon kokonaisvaltainen hallinta, jossa orgaaninen aines (kuten lanta, komposti ja olki) ja ravinteet pyritään palauttamaan maaperään. ”Vihreä” lannoitus on yksi mahdollisista kehitysalueista. Yhdysvalloissa vuonna 2000 julkaistussa GW Forecastin ennakoititutkimuksessa mainittiin yhtenä kymmenestä tulevaisuuden painoalueesta täsmämaatalouden kehittäminen. Sillä tarkoitetaan informaatio- ja viestintäteknologialla ohjattua kasvinviljelyä, joka ottaa huomioon kunkin tilan maaperän ominaispiirteet (Teknisk Framsyn 2004).

# Ilmansuojelu ja ilmastonmuutoksen hillitseminen

## Ilmansuojeluteknologia

### *Nykytila ja perinteisten ilmansuojeluteknologioiden markkinat*

Ilmansuojeluteknologiamarkkinoiden tärkeimpiä tuotteita ovat mekaaniset savukaasujen käsittelylaitteistot, kuten kuitusuodattimet ja sähkösuodattimet sekä rikinpoistolaitteet, savukaasupesurit ja SCR-laitteet (selektiivinen katalyyttinen pelkistys), joista pääosa on niin sanottua perinteistä teknologiaa. Osassa Länsi-Eurooppaa markkinat ovat jo saavuttaneet huippunsa. Suomessa ilman- ja ilmastonsuojeluteknologia-alan kaupan arvo oli 798 miljoonaa euroa vuonna 2003 (KTM 2005). Kansainväliset markkinat kasvavat merkittävästi erityisesti Aasiassa, Lähi-idässä, Etelä-Amerikassa ja Itä-Euroopassa (Frost & Sullivan 1999).

EY-säädökset takaavat Etelä- ja Itä-Euroopan markkinoiden kasvun jatkumisen. Tärkeimmät tähän liittyvät säännökset ovat ilmanlaatudirektiivi (40–45 miljardia), suuria polttolaitoksia (LCP), ympäristönsuojelun yhtenäistämistä (IPCC) ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) vähentämistä koskevat direktiivit (yhteensä noin 40 miljardia) sekä jätteenpolttodirektiivi. (Suluissa on karkea arvio niiden täytäntöönpanokustannuksista uusissa ja tulevilla EU-maissa (World Bank 2003)). Perinteisen teknologian markkinoihin vaikuttaa myös hiilen ja muiden fossiilisten polttoaineiden käytön kehitys. Monet EU:n uusista jäsenmaista pyrkivät ympäristöohjelmissaan vähentämään hiilen käyttöä ja korvaamaan sen maakaasulla, mikä vähentää tulevaisuudessa suodatinteknologian tarvetta. Toisaalta muun muassa Baltian maissa ei haluta jäädä Venäjän kaasutoimitusten varaan ja siksi hiilen käyttöä pyritään jossain määrin kasvattamaan.

Kiinassa ilman pilaantuminen on vakava ongelma, johon myös hallitus kiinnittää huomiota. Ajoneuvokannan räjähdysmäinen kasvu yhdistyy Kiinan kaupungeissa energiantuotannon ja teollisuuden päästöongelmiin, kuten hiilen polton rikkidioksidi- ja pölypäästöt. Vuoteen 2006 mennessä Kiinan ilmansuojelumarkkinoiden arvo saavuttaa 4,23 miljardin dollarin arvon kasvaen keskimäärin yli 16 %:n vuosivauhdilla. On arvioitu, että vuonna 2001 ilmansuojelulaitteistojen ja -tuotteiden markkinat olivat 1,98 miljardia dollaria. Tähän arvioon on laskettu rikki- ja pölypäästöjen hallinta sekä ajoneuvopäästöjen vähentäminen (katalyysattorit) (Business Communications Company, Inc 2005).

Myös Yhdysvalloissa on tulossa uusia ilmansuojelusäädöksiä. Merkittävään ilmansuojeluun liittyvä aloite on niin sanottu ”Clear Skies Act”, joka edellyttää yli 40 miljardin dollarin investointeja vuoteen 2020 mennessä. Muun muassa noin 75 % nykyisestä hiilivoimalakapasiteetista tarvitsee uusia laitteistoja (ICF 2005).

Suuren mittakaavan ilmansuojelujärjestelmiä markkinoidaan yhä laajemmin kokonaisvastuu-urakoina (avaimet käteen). Perinteisiä laitteistoja voima-

laitoksiin tuottaneiden yritysten on markkinoilla menestyäkseen sopeuduttava tilanteeseen ja tarjottava ostajille entistä enemmän kokonaisvaltaisia palveluratkaisuja. Liittoutumalla muiden yritysten kanssa perinteiset laitetoimittajat pystyvät laajentamaan tuote- ja palveluvalikoimaansa ja siten paremmin sopeutumaan asiakkaiden uudentilaisiin vaatimuksiin. (Frost & Sullivan 1999, ICF 2005)

### *Teknologisia kehitysnäkymiä*

EU:n syyskuussa 2005 julkistetussa ehdotuksessa ilmanlaatustrategiaksi (The thematic strategy on air pollution) kiinnitetään erityistä huomiota pienhiukkaspäästöihin ja alailmakehän otsoniin, joiden todetaan olevan ihmisten terveydelle haitallisimpia ilmanlaadun epäpuhtauksia (European Commission 2005b). Pienhiukkasille (PM<sub>2,5</sub>) esitetään myös ilmanlaadun raja-arvoa. Tämä kasvattaa sekä pienhiukkasten hallintateknologioiden että pienhiukkasten mittauksiin ja monitorointiin soveltuvan teknologian markkinoita.

Suomessa pienhiukkasosaamiseen on panostettu erityisesti Tekesin FINE-ohjelmassa, jossa on kehitetty mittaus-, mallinnus- ja vaikutusten arviointimenetelmiä sekä puhdistusmenetelmiä. Suomessa onkin syntynyt merkittävää mittaus- ja mallinnusteknistä osaamista (Tekes 2005d).

Tieliikenne on sekä otsoninmuodostusta aiheuttavien päästöjen että pienhiukkaspäästöjen merkittävä lähde. Ilmanlaatustrategiassa kiinnitetäänkin erityistä huomiota liikenteen päästöjen vähentämiseen ajoneuvoja ja vaihtoehtoisia polttoaineita kehittämällä. Uusissa EU-maissa myös investoinnit kaupunkien julkiseen liikenteeseen ovat välttämättömiä liikennemäärien nopean kasvun vuoksi (Wirtschaftskammer Österreich 2004). Niin ikään pienet (alle 50 MW) voimalat sekä puun tai muiden kiinteiden polttoaineiden pienpoltto ovat hiukkaspäästölähteitä, joihin vastedes kiinnitetään lisääntyvää huomiota.

Paineita elohopeapäästöjen vähentämiseen EU:n alueella asettaa tuleva elohopeastrategia, josta toimitettiin tiedonanto neuvostolle ja parlamentille tammikuussa 2005. Valmisteilla olevassa ilmanlaatudirektiivissä esitetään ilmanlaadun raja-arvoja myös arseenille, kadmiumille, nikkelille ja bentso(a)pyreenille, mikä taas vaikuttaa näiden aineiden monitorointi- ja päästöjen hallintateknologioiden markkinoihin.

Päästöjen vähentäminen tuotantoteknisin menetelmin jo tuotteen valmistusprosessissa (cleaner production) tulee yhä tärkeämmäksi, kun päästöraajat tiukentuvat ja ”piipunpääteknologian” tuki vähentyy muun muassa saatavissa olevan rahoituksen ohjaamana (Wirtschaftskammer Österreich 2004). Tästä syystä esimerkiksi ETAP ei ole katsonut tarpeelliseksi laatia erillistä raporttia päästöjen käsittelytekniikoista. Modernin ympäristöystävällisen teknologian käyttöönotto voi tuoda suomalaisille yrityksille uusia mahdollisuuksia. Esimerkiksi puhdas hiilen poltto voi jatkossa olla merkittävä teknologivaihtoehto. Suomalaisista teknologioista mainitsemisen arvoisia ovat muun muassa lei-



jukerrospoltto- (CFB) ja kaasutustekniikat, niiden päästöjen käsittelytekniikat sekä jatkuva- ja epäjatkuva päästöjen monitorointitekniikat ja -kokonaisuudet. Kaasun- ja kaasutuskaasujen puhdistusteknologian kotimaisia toimittajia ovat Foster Wheeler ja Condens Oy. Edistynyttä kaasunpuhdistusteknologiaa käyttävien kaasutuslaitosten ja toisen sukupolven IGCC-kaasutusteknologian odotetaan olevan markkinoilla ensi vuosikymmenen puolivälin jälkeen.

Uutta ja innovatiivista ilmanpuhdistusteknologiaa on esitelty muun muassa U.S. EPA:n tukemalla Internet-sivustolla NEET (2005). Tietokanta sisältää tietoa sekä kaupallisesti saatavilla että kehitteillä olevista päästöjen ehkäisy-, käsittely-, näytteenotto-, mittaus- ja mallinusteknologioista. Suomalaisia jo markkinoille päässeitä laitteistoja ovat Alstomin NID-teknologia jätteenpolton savukaasujen puhdistukseen sekä Ion-Blast Oy:n kehittämä perinteistä kevyempi ja yksinkertaisempi sähkösuodatin, josta on tehty maailmanlaajuinen lisenssisopimus suuren saksalaisen yhtiön kanssa.

## Monitorointi ja tarkkailu

### *Ympäristötiedon hallinta*

EU-säädöksissä, kuten ilmanlaadun puitedirektiivissä (96/62/EY, uusi ehdotus vuodelta 2003), määritellään väestömäärään ja -tiheyteen perustuvat ilmanlaadun tarkkailun ja seurannan perusvaatimukset. Ilmanlaadun arviointiin voidaan direktiivin mukaan käyttää menetelmiä, joilla mitataan, lasketaan, ennustetaan tai arvioidaan *ympäri-ilman* epäpuhtaustasoa. Myös direktiivissä 96/82/EY (vaarallisista aineista aiheutuvien suuronnettomuusvaarojen torjunta) on määritelty joukko erityisiä luokittelukriteereitä komissiolle tapahtuvaa onnettomuuksien raportointia varten.

Pakollinen arviointi, raportointi ja mallinnus osana tietojen analyysia vaativat uusia lähestymistapoja ja työvälineitä. Suomen näkökulmasta moderni informaatioteknologia ja erityisesti mittaus- ja tiedonhallintajärjestelmien yhdistäminen, GIS, simulaatiomallinnus ja asiantuntijajärjestelmät tarjoavat monia mahdollisuuksia tukea ympäristötiedon hallintaa nykyistä tehokkaammin. Kohteita voisivat olla muun muassa uudet jäsenmaat. Multimediategnologioiden avulla tai Internetiä välineenä käyttäen voidaan toteuttaa EU-direktiivien (90/313/EEC) edellyttämä helppo ja suora pääsy julkisten viranomaisten ylläpitämään ympäristötietoon samoin kuin tiedon levittäminen esimerkiksi ilmanlaadun hälytysrajojen ylityksistä.

### *Mittaustekniikat*

FTIR (= Fourier Transform Infrared Technique) -tekniikka mahdollistaa usei-

den erilaisten yhdisteiden (esimerkiksi CO, NO, NO<sub>2</sub>, HCHO, CH<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> ja muut hiilivedyt) samanaikaisen ppm -tason mittauksen kaasuvirroista, joiden vesi- ja CO<sub>2</sub>-pitoisuus voi kohota 30 %:iin ja ylikin. Etuna on myös se, että näytteen kuivausta ei tarvita. Tekniikalla on muun muassa mahdollista toteuttaa suora ja reaaliaikainen ammoniakkimittaus tasolle 100 ppb asti. Tarve tähän on syntynyt ammoniakkipäästöjen seurantaan vaativien SCR-typenpoistoteknologioiden käyttöönoton myötä. Suomessa FTIR-tekniikkaan perustuvia mittalaitteita on kehittänyt Temet Instruments Oy.

Jatkuvatoimiset elohopeamittaukset, joihin nykyisin on saatavilla kylmähöyry-AAS-tekniikkaan perustuvia mittalaitteita, ovat jo pakollisia Saksan jätteenpolttolaitoksissa ja todennäköisesti yleistyvät myös muualla Euroopassa. Suomessa on kehitteillä plasmaemissiotekniikkaan perustuva jatkuvatoiminen Hg-analysaattori, joka suunnitelmien mukaan kaupallistetaan viimeistään vuonna 2007 (Lehtomäki 2005).

Näköpiirissä, joskaan ei aivan lähitulevaisuudessa, olevia tekniikoita ovat muun muassa CEM-ICP-OES-tekniikka, jota käyttäen voidaan tehdä jatkuvatoimisia kaasujen metallipitoisuusmittauksia, ja yksittäisten PAH-yhdisteiden (polysykliset aromaattiset hiilivedyt) jatkuvaan mittaukseen soveltuva laserfotioionisaatioon perustuva Time of Flight Mass Spectrometry (CEM-TOF/MS). CEM-ICP-OES-tekniikka mahdollistaa useiden aerosoli- tai höyrymuodossa olevien metallien samanaikaisen analysoinnin. Metallien jatkuvatoiminen analysointi tekee tarpeettomaksi aikaa vievän ja työlään näytteenoton ja sulatusmenetelmät, jotka ovat välttämättömiä perinteisissä kaasumittauksissa (The University of Sheffield 2005).

Suomessa kehitettyä teknologiaa on myös akustinen savukaasumittari, jonka kaupallistamisesta käydään keskustelua kansainvälisesti (Lehtomäki 2005). Kehitteillä on myös menetelmä biohiilen mittaukseen savukaasuista <sup>14</sup>C-menetelmällä käytettäväksi muun muassa päästökaupan vaatimusten todentamiseen.

Pienhiukkasmittaukset ovat yksi mittalaitemarkkinoiden todennäköisistä kasvualueista. Esimerkki suomalaisesta teknologiasta on Dekati Oy:n pienhiukkasten mittaustilaite ELPI (Electrical Low Pressure Impactor). Koska laite on lähinnä tutkimuskäyttöön suunniteltu, sen myyntimäärät ovat pieniä. Markkinoille pyritään lähiaikoina tuomaan myös autojen pienhiukkasmittauksiin muun muassa katsastusten yhteydessä soveltuva anturipohjainen laitteisto (MASMO), jolle odotetaan laajoja markkinoita (Tekes 2005c).

### *Laadunvarmistus ja koulutuspalvelut*

Jätteenpolto- ja LCP-direktiiveissä on ensimmäistä kertaa asetettu vaatimuksia päästömittausten epävarmuudelle. Kiinteästi asennettujen mittalaitteiden laadunvarmistusstandardi (EN 14181) esittää käytännön työkalut ja edellyttää muun muassa akkreditoitun tai hyväksytyen laboratorion tekemiä vertailu-

mittauksia säännöllisin väliajoin (3–5 vuotta). Tämä asettaa vaatimuksia mittalaitteiden toiminnalle ja tuo kilpailuetua korkealaatuisille mittalaitteille. Laadunvarmistus synnyttää myös uusia mahdollisuuksia palveluliiketoimintaan.

Uusien teknologioiden käyttöönotto kehitysmaissa luo markkinoita teknologioiden käyttöönottoa ja ylläpitoa tukevalle koulutukselle sekä mahdollisesti myös teknologian markkinoijien huolto- ja ylläpitopalveluille.

## Ilmastonmuutoksen hillitseminen

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisteknologiat ovat pääosin uusiutuvan energian käyttökoneita sekä energiantuotannon ja -käytön tehostamisteknologioita, joita käsitellään muissa tämän raportin kohdissa. Liitteessä 4 esitetään ETAPin yhteenveto ilmastonmuutosta hillitsevistä teknologioista (ETAP Discussion Paper 2003b). Tässä yhteydessä voidaan kuitenkin mainita hiilen varastointi- ja talteenottoteknologiat. Mahdollisimman kustannustehokkaille talteenottoteknologioille on markkinoilla hyvät mahdollisuudet samoin kuin entistä tehokkaammille ja puhtaammille hiiltä käyttäville energiantuotantoteknologioille. Tämä johtuu siitä, että esimerkiksi kehittyvät Aasian maat eivät pysty kattamaan energiantarvettaan ilman hiilivoimaa, jonka käyttö edelleen kasvaa voimakkaasti. Yhtenä indikaattorina tulevasta kehityksestä on puhtaan hiiliteknologian palaaminen kehitysalueeksi suunnitteilla olevaan EU:n tutkimuksen puiteohjelmaan, jossa on mukana myös hiilidioksidin hyötykäyttö.

CDM-mekanismia voidaan hyödyntää markkinoitaessa kehitysmaihin esimerkiksi bioenergiateknologiaa, kaatopaikkakaasujen talteenotto- ja hyödyntämisteknologiaa, biokaasulaitteistoja ja muuta kasvihuonekaasuja vähentävää teknologiaa.

## Puhtaat ja ekotehokkaat prosessit

EU:n lainsäädäntö luo pohjan ympäristöteknologiamarkkinoille ja teknologioiden kehittämiseksi EU:n alueella. Uusien jäsenmaiden ja Kaakkois-Euroopan mahdollisten tulevien jäsenmaiden ympäristöinvestointikustannukset ovat yhteensä noin 175 miljardia euroa. IPPC-direktiivin (teollisuuden päästöjen vähentäminen) ja polttolaitosdirektiivin vaatimusten täyttäminen vie noin neljäsosan kustannuksista eli noin 43 miljardia euroa. (World Bank 2002, ISPA 2000, NEAP Croatia 2002, NEAP Albania 2002).

Euroopan komissio on julkaissut 16 BREF-asiakirjaa (best available technology document), ja useita muita on vielä valmisteilla. Teollisuudella on kahdeksan vuotta aikaa täyttää näiden asiakirjojen vaatimukset. BREF-asiakirjoja on julkaistu seuraaville aloille: metsäteollisuus, metalliteollisuus, sementin ja kalkin tuotanto, jäähdytysjärjestelmät, kloorialkalin valmistus, rautametallien

jalostus, ei-rautametallien jalostus, lasin valmistus, vuodan ja nahan parkitus, tekstiilien valmistus, valvontajärjestelmät, jalostamot, laaja-alainen orgaanisten kemikaalien tuotanto, pajat ja valimot, kemikaalialan jätevesien ja jätekaasujen käsittely, teurastamot ja eläinperäiset sivutuotteet, kaivosteollisuuden jätealueet, jätteenpoltto ja suuret polttolaitokset (JRC 2005). Uudistusten toteuttamiseksi tarvittavan pääoman saaminen on monessa jäsenmaassa ja erityisesti uusissa ja tulevaisuuden jäsenmaissa ratkaisevaa. Tulevaisuuden jäsenmaissa myös vastaanottavan ilmapiiirin luominen on hyvin merkittävä tekijä. Esimerkiksi koulutuksen, toimijoiden pätevyyden, johtamisen, valvonnan ja ylläpidon merkitys korostuu.

Merkittävä toiminta-alue on myös Kaakkois-Aasiassa, Kiinassa ja Etelä-Amerikassa (European Commission 1999). Lähitulevaisuuden markkinat kasvavatkin erityisesti Aasiassa, jossa kasvu on nopeampaa kuin muilla markkina-alueilla. Lisäksi bulkkituotteiden valmistus siirtyy lähelle markkina-alueita.

## Metsäteollisuus

ETAPissa on selvitetty kasvussa olevia puhtaita teknologioita erällä edellä mainituista teollisuudenaloista, muun muassa metsäteollisuudessa (European Commission 2004). Paperin ja kartongin valmistuksen odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Ensimmäisten kymmenen vuoden aikana keskimääräisen vuosittaisen kasvun on arvioitu olevan lähes 3 %. Uusien jäsenmaiden mukana markkinoille tulee lisää raaka-aineita, kuten puukuitua. Kierrätetyn paperin osuuden, joka on jo vähän yli 50 %, odotetaan nousevan 60–70 %:iin vuoteen 2030 mennessä (European Commission 2004).

Osa jo markkinoilla olevista tai markkinoille tulossa olevista metsäteollisuuden tekniikoista, jotka joissain tapauksissa vaativat merkittävää uudistamista tai muutosta suureen osaan prosessista, esitellään seuraavan sivun taulukossa.

EU:n kemikaalilainsäädäntö ja hiilidioksidipäästöjen hinnoittelu edellyttävät haitallisten kemikaalien käytön, energiankulutuksen ja päästöjen minimoimista. Asiantuntija-arvioiden mukaan esimerkiksi kartonginvalmistuksen energiankulutusta voisi pienentää jopa 30–40 % mekaanisen massan ja muiden prosessiosien osalta. Suljetut kierrot vaikeuttavat toisaalta prosessin hallintaa: tuotantokatkot lisääntyvät ja haitta-aineita sitoutuu paperiin. Tuotantokatkojen määrää voidaan kuitenkin pienentää kehittämällä tarkoitukseen sopivia diagnostiikkamenetelmiä ja -välineitä (SEPET 2005).

### *Pakkausteknologia*

Pakkauksen kosteudensieto ja lujuus ovat avainasemassa, kun ilmasto-olosuhteet vaihtelevat rahtikuljetuksen aikana. Kartongin hygroskooppisuuteen liittyvää ongelmaa voidaan lievittää muun muassa Condebelt-tekniikan avulla

(kartonki kuivataan lämmön ja puristuksen alaisena, jolloin ligniini muodostaa kosteutta hylkivän suojakerroksen kartongin pintaan). Tulevaisuudessa sama ominaisuus on mahdollista toteuttaa myös bioteknologisella modifiikaatiolla. Keskeinen tekijä ympäristöasioiden kannalta on kuitenkin koko pakkausketjun optimointi: pakkausten ekotehokkuutta tulee tarkastella yhdessä pakatun tuotteen kanssa (kartonkipakkauksia tarvitaan tuotteen pilaantumisen ja rikkoontumisen ehkäisemiseen, ja usein sisällön ympäristökuormitus on pakkauksen ympäristökuormitusta suurempi).

Painettava elektroniikka ja digipainatus mahdollistavat yhä monipuolisempien älypakkausten valmistamisen ja niiden joustavan räätälöinnin asiakkaan tarpeisiin. Muun muassa sisällön tuoreudesta kertovilla indikaattoreilla varustettuja älypakkauksia on jo nyt käytössä elintarviketeollisuudessa. Älypakkaukset vähentävät pakattavan tuotteen hävikkiä ja vaikuttavat tätä kautta ekotehokkuuden paranemiseen (eivät kuitenkaan välttämättä nimenomaan paperi- ja kartonkiteollisuuden ekotehokkuuteen). Digipainaminen ja kartonkipakkausten joustava räätälöinti asiakkaan kulloiseenkin tarpeeseen voi olla

<p><b>Voimapaperi</b></p>	<p><b>Metsäteollisuuden kasvussa olevat teknologiat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Mustalipeän käyttö kyllästeaineena keittoprosessissa (valkolipeän sijaan)</li> <li>■ Polysulfidin ja antrakininin yhdistelmäkäyttö keittovaiheen alussa tai jo kyllästysvaiheessa</li> <li>■ Tasaisen hydroksidipitoisuuden ylläpito keiton aikana</li> <li>■ Paineen alentaminen höyryturbiinin jälkeen ja höyryn lauhdutus lisäenergian saamiseksi</li> <li>■ Lämmön tarkempi talteenotto (ylijäämälämmön tunnistaminen)</li> <li>■ Sisäisen kierron lisääminen ja puulastu- ja ligniini-kidney-tekniikan käyttö veden kulutuksen ja päästöjen vähentämiseksi</li> <li>■ Energiankäytön tehostaminen paineistetulla mustalipeän kaasutuksella (ylijäämälämpö voidaan muuttaa energiaksi)</li> <li>■ NO<sub>x</sub>-päästöjen vähentäminen asentamalla SNCR soodakattilaan, jos soodakattilaa ei korvata mustalipeän kaasutuksella</li> <li>■ Sähkösuotimen pölyn kierrätys soodakattilan jälkeen, jos prosessiin kuulumattomien yhdisteiden määrä pystytään pitämään alhaisena</li> <li>■ Alkalisen sulfiitin ja antrakininin (AS-AQ) sekä antrakininin ja metanolin (ASAM) käyttö selluloosan keitossa (tämä tarjoaisi lähes hajuttoman prosessin, paremman saannon sekä parempilaatuisen sellun)</li> <li>■ Kelatoivien yhdisteiden poistaminen lievästi alkalista biologista prosessia tai kidney-tekniikkaa käyttämällä</li> </ul>
---------------------------	---

<b>Hiokepitoinen paperi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Uusien haihdutustekniikoiden, kuten kidney-tekniikan, käyttö prosessivesien sisäisessä käsittelyssä</li> <li>■ Uusi energiatehokas TMP-prosessi</li> </ul>
<b>Uusiopaperi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Sisäisen vesikierron vesien käsittely siistausyksikössä</li> <li>■ Kalvosuodatus ja otsonointi lupaavia ratkaisuja</li> <li>■ Kidney-tekniikka veden jatkokäsittelyyn ja uudelleenkäyttöön</li> <li>■ Jatkuva panostyypinen kuidun talteenottojärjestelmä uusiopaperin prosessointia varten</li> <li>■ Entsyymien käyttö siistauksessa (tämä on edelleen suunnitteluasteella, mutta voisi poistaa vetyperoksidin, natriumhydroksidin ja ehkä EDTA:n käyttötarpeen)</li> <li>■ Jätevesien käsittely otsonoinnin ja biologisen kiintopetireaktorin yhdistelmällä</li> <li>■ Membraanibioreaktori</li> </ul>
<b>Paperi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Impulssitekniologia vedenpoistoon</li> <li>■ Condebelt-prosessi</li> <li>■ Sisäiset lämpöpumput</li> <li>■ Järjestelmänhallinnan työkalut</li> </ul>

arkitodellisuutta jo 5–10 vuodessa. Siruteknologia otetaan laajamittaisesti käyttöön todennäköisesti 20 vuoden aikajänteellä. Massatuotanto edellyttää kuitenkin vielä tämän tekniikan halpenemista (SEPET 2005).

## Teräs- ja metalliteollisuus

Suomen *terästeollisuus* (Kara et al. 2003) on energiankäytön osalta kilpailukykyinen. Myös masuuneissa käytettävien pelkistimien määrä on pienimpiä Euroopassa. Kansainvälisesti terästeollisuuden teknologioiden kehitystarvetta aiheuttavat tarve vähentää pääomakustannuksia, raaka-aineiden tarjonnan vähäisyys, ympäristövaikutusten hallinta sekä asiakkaiden vaatimukset. Raudanvalmistuksessa näihin vaatimuksiin voidaan vastata rautamalmin suora- ja sulapelkistykseen avulla. Nämä prosessit poistavat koksivalmistuksen ja sintrauksen tarpeen sekä vähentävät pääomainvestointeja ja joitakin ympäristövaikutuksia. Edellä mainittujen prosessien tuotetta voidaan käyttää suoraan teräksen valmistukseen BOF- (basic oxygen furnace) ja EAF (electric arc furnace) -prosesseissa. Euroopassa ja Suomessa raudan suoraapelkistystä käytetään hyvin vähän. Energiantarve ja hiilidioksidipäästöt voivat uusissa raudanvalmis-

tusprosesseissa olla joissakin tapauksissa jopa suurempia kuin perinteisissä BF/BOF-prosesseissa. Muun muassa Raahen terästehtaalla käytössä oleva masuuni vaihdetaan uuteen vuoden 2010 tienoilla. Huolimatta uusien teknologioiden kehitystyöstä Raahessa käyttöön otettavasta prosessista tulee hyvin samankaltainen nykyisen masuunin kanssa (energiatehokkuus on parempi).

Pienet teollisuuslaitokset, jotka käyttävät paikallista metalliromua raaka-aineenaan, eivät ole todennäköisesti kilpailukykyisiä Suomessa, koska suurin osa Suomen tuotannosta menee vientiin.

EUROFER (1999) määrittää Euroopan terästeollisuuden tärkeimmiksi tutkimus- ja kehityskohteiksi seuraavat:

- metalliromun erotusprosessien parantaminen
- uudet teknologiat jatkuvatoimisiin toimintoihin kylmävalssaamoissa (peittäus, kylmävalssaus, lämpökäsittely, jälkivalssaus, päällystyslinjat)
- uudet koksivalmistusteknologiat
- uudet pelkistysprosessit.

Teräksen lisäksi Suomen *metalliteollisuus* tuottaa ferrokromia, kuparia, sinkkiä ja nikkeliä. Tuotantomäärät ovat kasvaneet merkittävästi viime vuosikymmenien aikana ja kasvavat myös tulevaisuudessa. ETAP on antanut joitakin esimerkkejä tämän sektorin puhtaista teknologioista. Teknologiaparannusten taustalla on tarve prosessien parantamiseen, säätötarve, tuottavuuden parantaminen ja pienempi ylläpitotarve. Näihin tavoitteisiin voidaan päästä kehittämällä uusia puhtaita teknologioita varastointiin ja käsittelyyn, prosessien hallintaan, savukaasujen keräilyyn ja jätevesien käsittelyyn. Värimetallien tuotannon tyypillisin ongelma ovat hajapäästöt. Ne voidaan saada hallintaan seuraavilla keinoilla:

- parantamalla prosessien optimointia ja päästöjen minimointia
- tiivistämällä reaktorit ja masuunit
- parantamalla savukaasujen keräystä.

*Värimetalliteollisuuden* BREF-asiakirja (2001) mainitsee Outokummun liekkisulatuksen BAT-vaatimusten mukaisena sulatusperiaatteena. Yhdistettynä sopiviin päästövähennysteknikoihin, kuten savukaasujen käsittelyyn sekä vesienkäsittelyyn, sulatusperiaate on toimiva, joustava ja ympäristöystävällinen. Lisäksi Outokumpu Technology Oy on kehittänyt bioliuotusmenetelmän, jolla voidaan valmistaa metallista kuparia kaivosalueen välittömässä läheisyydessä. Kuparin jalostus tehostuu ja kustannukset alenevat. Hyvä esimerkki kehittyvää kaasunpuhdistusteknologiasta on korkealaatuisista materiaaleista valmistetut muovisuodattimet.

Kierrätettyjen värimetallien uusiotuotannossa toimii tyypillisesti joukko pienehköjä yrityksiä. Kierrätys ja resurssien käytön tehokkuus ovat entistä tär-

keämpiä tulevaisuudessa. Ne teknologiat, jotka suosivat uusiometallien käyttöä, leviävät suhteellisen nopealla vauhdilla (European Commission 2004).

## Kemianteknologia

Kemianteollisuus on yksi merkittävistä Suomen teollisuutta ylläpitävistä aloista. Euroopan unioni rohkaisee ETAPin kautta yrityksiä muodostamaan teknologiakeskittyviä. Vuonna 2004 Cefic julkaisi aloitteen ”kestävän kemianteollisuuden” pohjaksi. Aloite keskittyy kolmelle alueelle: teollinen bioteknologia, materiaalitekhnologia sekä reaktio- ja prosessisuunnittelu. Strategisen tutkimuksen sisältö muotoillaan vuoden 2006 loppuun mennessä. Suomessa on käynnistetty kansallisella tasolla ohjelma, jonka tavoitteena on nanoteknologian kaupallistaminen.

Yhdysvaltain kemianteollisuus julkaisi nanomateriaaleihin liittyvän tulevaisuudenkuvan Vision 2020 on Nanomaterials by Design syyskuussa 2003 (US Chemical Industry 2003). Se ennustaa, että nanotieteessä ja nanoteknologiassa tehtävät läpimurrot muuttavat materiaalien toiminnan. Joku voisi määritellä esimerkiksi kemian nanomateriaalien suunnittelutieteeksi ja -teknologiaksi. Maailmanlaajuisesti näiden läpimurtojen arvellaan mahdollistavan kehityksen seuraavilla alueilla:

- terveydenhoito, kuten kohdistetut lääkkeet, diagnostiikka ja bioanturit
- tehokkaammat energianmuuntolaitteistot, kuten polttokennot, lämpösähkölaitteistot, akut ja aurinkokennot
- uudet materiaalit, jotka mahdollistavat nopeammat, halvemmat ja pienemmät elektroniset laitteet ja tietokoneet.

Tässä yhteydessä kannattaa mainita, että vuonna 2004 Suomen kemianteollisuuden innovaatiopalkinto annettiin Orion Pharmalle, jonka valmistamaa entacapone-perusteista lääkettä on käytetty menestyksellisesti Parkinsonin taudin hoitoon. Ympäristöön liittyviä nanoteknologian markkinamahdollisuuksia ovat muun muassa seuraavat (U.S. Chemical Industry 2003):

- kemialliset ja bioanturit
- anturit myrkyllisten aineiden ympäristömittauksiin
- vedenkäsittelytekniikat (nanosuodatus, ioninvaihto, sorptio)
- kaasunkäsittelyadsorbentit
- katalyytit
- polttokennoteknologiassa vedyn varastointi
- polttoaineiden laadun parantaminen (katalyyysi, erotustekniikat).



## Bioteknologian hyödyntäminen

Euroopan komissio laati Lissabonin prosessissa kattavan strategian ja toimintasuunnitelman bioteknologian kehittämiseksi yhdeksi tärkeimmistä taloudellisen kasvun ja kilpailukyyn lähteistä Euroopassa. (European Commission 2004)

Bioteknologia tarjoaa mahdollisuuden vähentää raaka-aineiden ja energian kulutusta, ympäristön pilaantumista sekä kierrätettävien ja biohajoavien jätteiden syntyä perinteisiin prosesseihin verrattuna. Sitä pidetään laajasti vaikuttavana teknologiana, joka mahdollistaa puhtaampien tuotteiden ja prosessien (esimerkiksi biokatalyysi) kehittämisen. Sen edut on osoitettu perinteisessä teollisuudessa, kuten tekstiili-, nahka- ja paperiteollisuudessa. Maataloudessa bioteknologian avulla on mahdollista parantaa ruuan laatua ja vähentää ympäristöhaittoja paranneltujen viljelyskasvien avulla.

Suomi on asettanut suuria odotuksia bioteknologisen tutkimuksen mukanaan tuomalle kasvulle. Vuonna 2003 bioteollisuus oli Suomessa edelleen kannattamatonta 330 miljoonan euron myynnillään. Liiketoiminnan tappiot olivat 60 miljoonaa euroa, ja kokonaistappio nousi 70 miljoonaan euroon. Tuottavinta oli entsyymiteollisuus, joka on yksi perinteikkäimmistä bioteknologian aloista maassamme. Seuraavaksi eniten tuli tuottoa lääke- sekä elintarvike- ja rehuutuotannosta. Entsyymit muodostavat lähes puolet koko bioteknologiasektorin liikevaihdosta (yli 150 miljoonaa euroa). Bioinformatiikka on aloista pienin vajaan 3 miljoonan euron liikevaihdolla (ETLA 2004). ETLAn arvion (2004) mukaan kestää 15–30 vuotta ennen kuin bioteknologia saavuttaa sellu- ja paperiteollisuuden tuotannon, jos kasvu pysyy samalla tasolla kuin on ennustettu vuosiksi 2001–2006.

OECD tutki kahdeksasta maasta valittujen 20 esimerkin perusteella bioteknologisten prosessien taloudellisia ja ympäristövaikutuksia. Valitut tutkimuskohteet kattoivat useita aloja: esimerkiksi lääke-, kemikaali-, elintarvike- ja rehu-, tekstiili-, paperi-, sellu-, energia- ja mineraaliteollisuuden (OECD 2001). Saatavilla oleva tieto teollisista sovelluksista on hyvin hajanaista. On vaikeaa verrata yksittäisiä tapaustutkimuksia ja muodostaa niiden perusteella käsitys alasta tai edes arvioida niiden pohjalta bioteknologian kehittymistä osaksi teollisuutta ja sen mahdollisuuksia vaihtoehtoiseksi teknologiaksi (European Commission 2004, OECD 2001).

### *Biokatalyysi ja geneettisesti muunnetut organismit*

Äskettäin julkaistun eurooppalaisen tutkimuksen (European Commission 2002) mukaan *korkea- ja matalariskisen tutkimuksen välistä tasapainoa tulee parantaa*, mikä mahdollistaa korkeariskisen katalyysitutkimuksen huomattavan kasvun. Samassa tutkimuksessa tarkastellaan myös prosessiin integroidun biokatalyyysin alakohtaisia trendejä (European Commission 2004, European Commission 2002):

*Elintarvikealan erikoistuotteiden (esimerkiksi terveysvaikutteiset elintarvikkeet) tuotannossa käytettävät entsyymit tarjoavat merkittävät kehitysmahdollisuudet. Liikevaihto kasvaa vuoden 1999 250 miljoonasta eurosta 320 miljoonaan euroon vuoteen 2006 mennessä, jolloin vuosikasvu on 3,2 %. Suurin osuus, noin 26,7 %, Euroopan elintarvike-entsyymimarkkinoista liittyy tarkkelyksen prosessointiin. Seuraavina tulevat meijeriala (25,8 %) ja leipomoala (20,5 %). Geneettisesti muunnettujen entsyymien käyttöä hankaloittavat eniten ihmisten asenteet ja lainsäädäntö, joka liittyy geneettisesti mikro-organismeista tuotettujen entsyymien käyttöön. Hienokemikaali- ja lääketieteellisuuden voittomarginaalit ovat huomattavasti korkeammat kuin sellu- ja paperiteollisuudessa tai tekstiiliteollisuudessa.*

Biokatalyyttimenetelmiä käytetään sekä hienokemikaali- että lääkealoilla ainesosien synteeseissä. Vertailukelpoisen tiedon saaminen biotransformaatiota hyödyntävien synteessimenetelmien kustannuksista verrattuna perinteisempään tekniikoihin on osoittautunut mahdottomaksi (European Commission 2002). Biotransformaatiossa kiinnostuksen kohteena ovat entsyymien ominaisuudet: spesifisyys/ selektiivisyys, laimeat olosuhteet, yksinkertaisemmat prosessit ja regulatiiviset/turvallisuusnäkökohdat. Toisaalta tutkimusta hankaloittavat katalyytin kustannukset ja epästabiilius, prosessiolosuhteiden tarkan säädön välttämättömyys, hidas nopeus / pitkä viipymäaika, heikko tuntemus sekä korkeat tutkimus- ja kehityskustannukset.

Eräässä tutkimuksessa selvitettiin tutkimus- ja kehitysvaiheessa olevia sekä tuotantoon tulossa olevia geneettisesti muunneltuja organismeja (GMO). Seuraavien viiden vuoden aikana markkinoille tulevien GMO:iden odotetaan sisältävän pääosin organismeja, joiden viljelytuotanto-ominaisuuksia (kasvimyrkkyjen kestävyys ja tuohyönteisten sietäminen) on parannettu. 5–10 vuoden kuluttua markkinoille tulevat GMO:t ovat vaihtelevampia: lisätyt ominaisuudet ovat edelleen hallitsevia, mutta jonkin verran tulee myös organismeja, joista on poistettu ominaisuuksia tuotteiden ja teollisten sovellusten parantamiseksi. Kolmas ryhmä ei ole yhtenäinen, ja jokainen tällä hetkellä kehitystasella oleva GMO on mahdollinen ehdokas tähän ryhmään. Erityisesti odotetaan kasvien geenimanipuloinnin kehityksen avulla saatavan hypoallergeenisia ja funktionaalisia ruoka-aineita. Myös puut, joiden ligniinipitoisuutta on säädelty, kuuluvat kolmanteen ryhmään.

The Science and Technology Foresight Centre (Japani) esitteli listan kehitteillä olevista geneettisesti muunnelluista kasveista, jotka tulevat Japanin markkinoille 2011–2019. Vuonna 2013 odotetaan geenimanipuloitujen viljelykasvien, jotka tuottavat suuremman sadon ja ovat taudin- ja kylmänkestäviä, leviävän laajalle. Funktionaalisia ainesosia ja elintarvikkeita odotetaan ajanjaksoilla 2013–2015. Kuivuutta ja suolaa kestävien kasvien jalostuksen arvioidaan kaupallistuvan 2018–2019 (Shoji et al. 2002).

ETAP-tutkimuksen (European Commission 2002) mukaan monet tekijät vaikeuttavat biokatalyyttisten menetelmien laajamittaista käyttöönottoa sellu-

ja paperialalla. Soveltuvuusarviointien perusteella menetelmien mahdollisuudet tuottaa tulevaisuudessa talous- ja ympäristöhyötyjä sellu- ja paperiteollisuudessa ovat kuitenkin hyvät. Suurimpina esteinä ovat konservatiivinen ajattelu tehtailla ja johdon riittämätön tieto biokatalyyteistä. Kemikaalit tunnetaan paremmin. Lisäksi tavarantoimittajat eivät käy tehtailla kuten kemikaalien toimittajat, näin ollen myös mainostus on pienempää. Muita hankaloittavia tekijöitä ovat hyötyjen pienuus verrattuna perinteiseen kemikaalien käyttöön (kustannukset, prosessin hallittavuus ja tuotteen laatu), biokatalyyttien avulla valmistettujen tuotteiden pieni kysyntä sekä se, että tiukka kansainvälinen kilpailu jättää vain vähän mahdollisuuksia uuden teknologian investointiin.

### *Biomateriaalit*

ETAP-raportin mukaan biopolymeerien tuotanto on ollut teknisesti mahdollista mutta taloudellisesti kannattamatonta. Termoplastiset tärkkelyspolymeerit muodostavat tällä hetkellä suurimman biopohjaisten polymeerien alaryhmän (European Commission 2004). Riippuen sovellusalueesta termoplastinen tärkkelys joko yhdistetään petrokemiallisten kopolymeerien kanssa (esimerkiksi polykaprolaktonin tai polyvinyylialkoholin) tai sitä käytetään niiden kanssa. Muita biopolymeerejä ovat polymaitohappo, polyhydroksialkanoaatit ja selluloosapolymeerit. Selluloosapolymeerien tulevaisuus on kiistanalainen. On viitteitä siitä, että petrokemiallisten materiaalien kanssa yhteensopivat biopohjaiset materiaalit voivat tuoda ympäristöhyötyjä. Jos tämä väite kyetään varmistamaan, biohajoavat materiaalit saattavat jäädä kapeille erikoismarkkinoille, kun biopohjaiset kierrätettävät polymeerit kehittyvät uudeksi ympäristöystävällisten materiaalien luokaksi.

Yhdysvaltalainen Cargill Dow on jo kaksi vuotta tuottanut 140 000 tonnia polymaitohappoa vuodessa. Japanilainen Toyota suunnittelee useita kymmeniä tuhansia tonneja polymaitohappoa vuodessa tuottavan tehtaan avaamista lähiaikoina Indonesiaan, jossa raaka-aineena voidaan käyttää bataattia. Biomassan saatavuus on tärkeää. Cargill Dow käyttää maissia. Euroopassa mahdollisia biomassan raaka-aineita voisivat olla perunat, olki, ruoho ja jätepaperi. Erilaisia välituotteita voidaan käyttää polymaitohapon lisäksi myös muiden tuotteiden raaka-aineena. Ne soveltuvat muiden polymeerien, esimerkiksi polyuretaanien ja polyesterin, sekä elintarvikkeiden ja rehun lisäaineiden, kemikaalien ja lääkkeiden valmistukseen.

Biopolttoaineiden käytön lisäämistä Euroopassa tukee erityisesti biopolttoainedirektiivi (COM (2001),547,final). Suomessa on kehitetty prosesseja, jotka perustuvat sahanpurun ja hakkuujätteiden hyötykäyttöön. Puun sisältämästä biomassasta voidaan tuottaa polttoainetta, kemikaaleja ja energiaa sellu- ja paperitehtaiden yhteydessä olevissa biojalostamoissa (biorefinery).

Noin 40–60 % sellutehtaiden raaka-aineena käyttämästä puutavarasta saadaan muunnettua paperi- ja pahvituotteiksi. Jäljelle jäävästä biomassasta saadaan matalaenergistä polttoainetta, jota poltetaan energian talteen ottavissa kattiloissa. Sellutehtaan yhteydessä oleville biojalostamoille on kaksi toimintatapaa: a) hemiselluloosan erotus ennen sellun keittoa ja sen muuttaminen uusiksi tuotteiksi, esimerkiksi etanoliksi, ja b) energian, polttoaineiden tai kemikaalien tuotanto mustalipeästä saatavan synteettisen kaasun avulla. (Georgia Institute of Technology 2005)

VTT:n selvityksen mukaan kotimaisista raaka-aineista tuotettujen liikenteen biopolttoaineiden osuus tieliikenteen polttoaineista voitaisiin nostaa vuonna 2010 enintään 3 %:iin. Viime vuonna lähinnä tuontiin perustuvien biopolttoaineiden osuus oli vain 0,1 % tieliikenteen polttoaineiden kokonaiskulutuksesta. Koska biopolttoainevaihtoehdot eivät ole taloudellisesti kannattavia mineraaliöljyperäisiin polttoaineisiin nähden, biopolttoaineiden edistämiseksi tarvittaisiin viranomaisten toimenpiteitä, kuten markkinoille saattamisveloituksia ja niihin liittyviä taloudellisia ohjaukskeinoja tai tukia. VTT:n mukaan teknologiakehitykseen keskittymällä ja uusien raaka-ainekäyttäjien ja tuotantosovelluksien kehittämällä voitaisiin liikenteen biopolttoaineiden osuutta Suomessa kasvattaa kustannustehokkaammin kuin perinteisillä biopolttoainevaihtoehdoilla. VTT ehdottaa panostusta valittujen uusien tekniikoiden kehittämiseen ja hyödyntämiseen Euroopan vientimarkkinoille (Mäkinen et al. 2005).

Uudet EU:n jäsenmaat pystyvät saavuttamaan sisäiset tavoitteet biopolttoaineiden käytölle. Niiden tuottama biopolttoaineiden määrä on kuitenkin riittämätön, sillä se on pienempi kuin maille tasavertaisuuden perusteella (maatalousalueiden määrään suhteutettuna) kuuluva osuus eurooppalaisesta tuotannosta (European Commission 2003).

## Logistiikka

Teollisuuden on nykyään huomioitava valinnoissaan myös sidosryhmiensä arvot ja asenteet. Erityisesti kansainvälisiltä markkinoilta tulevat asiakasvaatet ja ympäristöjärjestöjen aktiivisuus pakottavat kiinnittämään entistä enemmän huomiota logistiikkaan ja sen ekotehokkuusvaikutuksiin (esimerkiksi osan paperiteollisuuden kansainvälisistä asiakkaista vaatii jo nykyään tilaamilleen tuotteille lyhyitä kuljetusmatkoja viitaten ympäristövaikutuksiin – lähinnä hiilidioksidipäästöihin – tinkimättä kuitenkaan toimitusvarmuudesta ja aikataulusta). Vaativalle asiakkaalle ei välttämättä kuitenkaan löydy kaikkia hänen toivomiin tuotteita lähiympäristöstä eikä ekotehokasta toimitustapaa.

Asiakaspaineet sekä ympäristöpolitiikka ja -sääntely asettavat yhä tiukempia reunaehtoja logistiikalle. Päästökaupan ulottaminen kansainvälisiin kuljetuksiin lisäisi edelleen paineita ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin

(Kioton jälkeiseen sopimukseen ovat tulossa mukaan kuljetusten alueelta myös meri- ja lentoliikenne vuonna 2012). Ekotehokkaiden logistiikkaratkaisujen kehittämiselle ja käyttöönotolle on tässä tilanteessa selkeä yhteiskunnallinen tilaus, mikä luo myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia kehityksen etulinjassa oleville suomalaisille yrityksille. Esimerkiksi informaatio- ja viestintäteknologian ja logistiikkaa tukevien informaatioteknologiajärjestelmien avulla voidaan pienentää kuljetustarpeita ja -matkoja sekä pienentää tavarankäsittelyyn liittyvää energiankulutusta ja päästöjä. Edullisimmat kuljetustavat ja -reitit voidaan jo nykyisin käytössä olevien optimointimallien avulla laskea joustavasti myös poikkeustilanteissa. Tavoitteena on kuitenkin yleensä ollut kustannusten minimointi, ei niinkään ekotehokkuuden maksimointi. Myös kuljetuskalusto sekä näiden käyttämät polttoaineet kehittyvät. Logistiikan päästöt ja energiankulutus voivat siten tulevaisuudessa pienentyä tätäkin kautta (teknologiatehityksen ajureita ovat tässä mielessä ennen kaikkea CO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>-, ja pienhiukkas-päästöjä sekä meluhaittoja koskevat kansainväliset sopimukset). Kuljetussäiliöiden turvallisuudella on lisäksi oma merkityksensä ympäristöriskien eliminoinnissa (SEPET 2005).

Oman näkökulmansa logistiikkaongelmaan tuo suomalaisen metsäteollisuuden rakennemuutos: lehtipuusellun tuotantoa siirtyy Etelä-Amerikkaan ja havupuusellun tuotantoa Venäjälle. Erityisesti Etelä-Amerikan tai eteläisen pallonpuoliskon lisääntyvä selluntuotanto kasvattaa sellunkuljetusmatkoja ja laivakuljetuksia, mikäli paperin- ja kartongintuotanto keskittyy edelleen pohjoiselle pallonpuoliskolle (Eurooppa ja Pohjois-Amerikka). Tämä vaikuttaa teollisuuden ekotehokkuuteen lisääntyneiden logistiikkapäästöjen ja -energiakulutuksen muodossa. Sama trendi on näkyvissä päällystys- ja täyteaineiden osalta (SEPET 2005). Metsäteollisuuden kuljetusten aiheuttamaan ympäristökuormitukseen kiinnitetään vastaisuudessa entistä enemmän huomiota (myös energian hinnannousu vaikuttaa osaltaan tähän). Suomalaista ympäristöteknologiaosaamista voidaan hyödyntää sekä ekotehokkaiden logistiikkaratkaisujen että uusien liiketoimintamallien kehittämisessä.

Polttokenno-, akku- ja materiaaliteknologian kehittyminen tuo lisäksi uusia mahdollisuuksia liikenteen aiheuttaman melun torjuntaan. Sähkö- ja vetikäyttöiset autot, kulkuneuvot ja työkoneet ovat houkuttelevia vaihtoehtoja, kun käyttäjä arvostaa ”äänettämyyttä”. Uudet tienpäällystys-, kisko- ja rengas-materiaalit sekä erityistarkoituksiin kehitetyt kevytkulkuneuvot vähentävät melukuormitusta myös ympäristön osalta.

## Meluntorjunta

Meluntorjunnan kehitystä Euroopassa ohjaavat erityisesti direktiivi (2002/29/EY) ympäristömelun hallinnasta sekä direktiivit liikennevälineiden melupääs-

töistä, rengasmelusta (2001/43/EY) ja ulkona käytettävien laitteiden melupäästöistä. Kansainvälisesti merkittävä on niin ikään WHO:n ohjekirja yhdyskuntien melusta.

Suomesta löytyy merkittävää ympäristöteknologiaosaamista myös meluntorjunnan alueelta. Tätä osaamista voidaan hyödyntää erityisesti urbaanien alueiden ja teollisuuden logistiikkasovelluksissa, missä meluntorjuntaan kiinnitetään kasvavaa huomiota.

# 5 Ympäristöteknologia ja yrittäjyys

TKK:lla vuosina 2002–2005 tehdyssä tutkimuksessa cleantech-sijoitusmarkkinoista selvitettiin muun muassa pääomasijoittajan riskikarttaa ympäristöteknologian sijoitusten suhteen ja ympäristöteknologian alalla toimivien pienyritysten haasteita. Tulokset perustuvat runsaan 30:n energiasektoriin sijoittaneen pääomasijoittajan henkilökohtaisiin haastatteluihin Yhdysvalloissa ja Euroopassa sekä vajaan 170:n aloitus- ja kasvuvaiheessa olevan energiateknologiayrityksen parissa tehtyyn globaaliin kyselytutkimukseen.

## Pääomasijoittajat ja ympäristöteknologian riskikartta

Seuraavassa käydään läpi tutkimuksessa esille tulleet tärkeimmät riskit, joita pääomasijoittajat näkevät ympäristöteknologiasijoituksissa.

### *Markkinakäynnän muodostuminen (kesto ja laajuus)*

Pääomasijoittajia huolestutti ympäristöteknologioissa tarvittavan muutoksen laajuus; monessa heille esitetystä ympäristöteknologiayrityksen liiketoimintasuunnitelmassa usean merkittävän tekijän tulee muuttua ennen kuin liiketoiminta muuttuu niche-alueesta merkittäväksi bisnekseksi. Toiseksi markkinatilannetta erityisesti energiasektorilla hallitsevien energia-yhtiöiden liiketoimintamallit ovat erittäin vahvoja ja markkinaosuudet ovat keskittyneet harvoihin käsiin. Pääomasijoittajat suhtautuivat myös epäilevästi loppukäyttäjien toimintatapojen muutokseen; kuluttajamarkkinat eivät ole tottuneet tekemään valintoja perushyödykkeiden suhteen, ja tämän muuttumiseen voi kulua pitkäkin aika.

### *Ympäristöteknologiayrityksen ja riskisijoitusmallin yhteensopivuus*

Pääomasijoitusrahaston elinikä on yleensä 10 vuotta, kun yksittäisen sijoituksen kesto on 3–5 vuotta. Ympäristöteknologiayrityksiin sijoittaneet pääoma-

sijoittajat olivat kohdanneet ongelmia sijoituksen pitkän keston ja pääoman suuren tarpeen takia. Tämän lisäksi ympäristöteknologiatuotteen ”monistetavuutta” verrattuna esimerkiksi bioteknologia- tai informaatioteknologiasektorin tuotteisiin pidettiin usein huonompana.

### *Teknologiset haasteet*

Ympäristöteknologiatuotteiden puutteellinen patenttisuojaus ja tietyissä tapauksissa, kuten polttokennot, riittämätön teknologinen kypsyyssaste olivat vähentäneet sijoittajien kiinnostusta esitettyyn liiketoimintasuunnitelmaan. Esimerkiksi bioteknologiaratkaisuissa varhaisen vaiheen keksintöihin voidaan sijoittaa ja sijoituksista irtautua helpommin patenttisuojan ansiosta.

### *Riippuvuus sääntelymekanismeista*

Silloin kun liiketoimintasuunnitelma on vahvasti sidottu valtiolliseen tai kansainväliseen sääntelymekanismiin, kontrolli siirtyy pääomasijoittajalta valtiolliselle taholle, mikä vaikuttaa pääomasijoittajan investointihalukkuuteen erittäin negatiivisesti.

### *Sijoituksista luopuminen*

Pääomasijoittajilla on kaksi päätapaa irrottautua sijoituksesta: myydä sijoitus edelleen siitä kiinnostuneelle yritykselle tai toiselle sijoitusryhmälle tai listata yritys pörssiin. Pääomasijoittajien mielestä rajoitteita oli molemmissa irtautumistavoissa. Potentiaalisia ostajia, kuten suuryrityksiä, on rajallinen määrä ympäristöteknologiamarkkinan keskittymisen vuoksi. Ympäristöteknologiayritysten listautuminen on vielä niin alussa, että todellisia menestystarinoita ei ole syntynyt riittävästi markkinamielenkiinnon herättämiseksi.

### *Aiemmin tehtyjen (ympäristöteknologia)sijoitusten menestyminen*

Pääomasijoittajien investointihalukkuuteen vaikutti kaksi päätekijää. Ensimmäkin usealla sijoittajalla oli tuoreessa muistissa kokemukset vuoden 2000 dot-com-kuplan puhkeamisesta, mikä johti ylivarovaisuuteen uusissa sijoituksissa. Toiseksi sijoittajat, joilla ei ollut henkilökohtaista kokemusta sijoituksista ympäristöteknologiaan, turvautuivat helposti anekdootteihin muiden sijoittajien tekemistä epäonnistuneista sijoituksista ympäristöteknologiaan. Sijoituksissaan epäonnistuneet syytivät herkemmin markkinavoimia eivätkä niinkään omaa arvostelukykyään sijoituspäätöksen suhteen. Toisaalta ympäristöteknologiaan menestyksekkäästi sijoittaneet pääomasijoittajat suhtautuivat alaan hyvin toiveikkaasti, referoiden omia menestyksekkäitä sijoituksiaan.



### *Pääomasijoittajan riskienhallinta*

Vaikka pääomasijoittajia usein kutsutaan riskisijoittajiksi, heidän tavoitteenaan on löytää vielä hyödyntämättömiä mahdollisuuksia, ei niinkään riskialttiita sijoituksia. Haastatellut riskisijoittajat kartoivat sijoitusta ympäristöteknologiaan, jos he pitivät itseään liian varhaisina pioneereina alueella (”Olet väärässä ollessasi edellä aikaasi”) tai jos ympäristöteknologiayritykset olivat liian varhaisessa kehitysvaiheessa.

### *Sijoittajan kokemus ja ymmärrys ympäristöteknologiasta ja -markkinoista*

Pääomasijoittajatoimintaa voidaan kuvata lauseella ”money goes where money knows” eli raha hakeutuu aloille, joita sijoittajat ymmärtävät. Monen pääomasijoittajan kokemustausta ja ymmärrys markkinoista on keskittynyt informaatioteknologiaan, bioteknologiaan ja lääketieteellisuuteen. Ympäristöteknologiasovellusten parissa työskennelleitä ja alueelle sijoituksia tehneitä pääomasijoittajia on hyvin rajallinen määrä.

### *Liiketoimintasuunnitelman esitys ja vakuuttavuus*

Monet pääomasijoittajat katsoivat ympäristöteknologiayrittäjien olleen liian ”ympäristöhenkisiä” liiketoimintasuunnitelmaa kuvatessaan. Painotukset kustannustehokkuuteen ja muihin taloudellisiin tekijöihin toimivat eettisiä ja ympäristöargumentteja paremmin investointimahdollisuutta perusteltaessa.

## **Ympäristöteknologiayrittäjien haasteet**

Aiemmat tutkimukset ympäristöteknologia-alan tai kestäväen kehityksen mukaisen teollisen sektorin muodostumisesta ovat perustuneet makrotason analyysiin. Monet tutkimuksista ovat keskittyneet eri sääntelymekanismien toimivuuteen ja systeemitason, kuten teollisen infrastruktuurin, hidastavaan vaikutukseen.

TKK:n tutkimuksessa keskityttiin ruohonjuuritason ongelmiin eli aloittelevan, cleantech-alan yrityksen ”selviytymistaistelun” analysointiin. Tutkimuksessa kerättiin kyselytutkimuksen avulla tietoa vajaan 170:n alle 10-vuotiaan energiateknologiayrityksen perustamisesta, rahoitustaustasta sekä suurimmista haasteista. Lähes kaikki kyselyyn vastanneet yritykset toimivat Euroopassa tai Pohjois-Amerikassa.

Seuraavassa käydään läpi kolme tärkeintä tutkimuksessa esille tullutta cleantech-yritysten haastetta:

- rahoitus
- kuluttajamarkkinan tietotaso
- kasvun hallinta.

Ympäristöteknologiayrittäjien ongelmat ja tarpeet ovat hyvin samantyyppisiä kuin muillakin toimialoilla. Ympäristöteknologia-alan aloittelevia yrityksiä auttaisikin se, että sääntelymekanismien lisäksi toteutettaisiin ohjelmia ja rakennettaisiin verkostoja, joiden avulla ympäristöteknologiayritysten yritysrahoitukseen, kuluttajamarkkinoiden tietotason nostamiseen ja yrityksen kasvun hallintaan saataisiin tukea.

### *Rahoitus*

Suurimmaksi kompastuskiveksi kyselyyn vastanneilla puhtaan energiateknologian yrityksillä oli muodostunut rahoituksen hankinta. Tämä haaste muodostuu tutkimuksen perusteella kahdesta elementistä:

- sopivan sijoittajan löytäminen
- sijoittajien vakuuttaminen ympäristöteknologiasta sijoituskohteena.

Kuten edellä esitetystä pääomasijoittajien riskikartasta ympäristöteknologia-yritysten suhteen käy ilmi, on yrittäjälle haasteellista löytää sijoittaja, jolla on aiempaa sijoituskokemusta ja näkemystä ympäristöteknologiamarkkinoista. Tutkimukseen osallistuneitten puhtaan energiateknologian pienyritysten rahoitus koostuikin suurelta osin yrittäjien henkilökohtaisista pääomista (omat, perheen ja ystävien rahat). Pääomasijoittajat olivat (kuvio 7, kuviossa mukana 119 yrityksen tiedot) toiseksi tärkein rahoituksen lähde puhtaan energiateknologian pienyritysten toteutuneelle rahoituspohjalle.

### *Kuluttajamarkkinan tietotaso*

Ympäristöteknologian yrittäjien mielestä kuluttajamarkkinoiden haasteet koostuivat seuraavista kolmesta tekijästä:

- suhtautuminen ympäristöteknologiaan yleensä
- uuden teknologian käyttöön liittyvät ennakkoluulot
- ymmärrys markkinoilla olevista teknologioista (teknologioiden vertailu) ja uusista ratkaisuista.

### *Kasvun hallinta*

Kasvun hallinta oli muodostunut monessa alkuvaiheen ympäristöteknologia-yrityksessä haasteeksi. Se koostui seuraavista osa-alueista:

**Kuvio 7.** Kyselytutkimukseen osallistuneitten yritysten rahoitustausta.

	None	Less than ½	About ½	More than ½	Most	Respondent Total
Founder's personal funds	8 % (9)	55 % (58)	8 % (9)	10 % (11)	19 % (20)	106
Friends and family	27 % (19)	59 % (41)	6 % (4)	4 % (3)	4 % (3)	70
Bank loans	56 % (31)	38 % (21)	2 % (1)	4 % (2)	0 % (0)	55
Angel investors	37 % (26)	39 % (28)	10 % (7)	8 % (6)	6 % (4)	71
Venture capitalists	48 % (32)	19 % (13)	6 % (4)	18 % (12)	9 % (6)	67
IPO	84 % (36)	5 % (2)	0 % (0)	9 % (4)	2 % (1)	43
Government (grants)	27 % (19)	53 % (37)	10 % (7)	7 % (5)	3 % (2)	70
Corporations	57 % (31)	24 % (13)	7 % (4)	7 % (4)	4 % (2)	54
Other	73 % (30)	17 % (7)	0 % (0)	5 % (2)	5 % (2)	41
<b>Total Respondents</b>						<b>119</b>

- sopivien partnereiden löytäminen, verkottuminen
- rekrytointi ja henkilöstön sitouttaminen
- nopean kasvun hallinta (erityisesti kaksinumeroista kasvuvauhtia kasvavissa yrityksissä)
- markkinoiden nopea muuttuminen.

## Esimerkkejä ympäristöteknologiayrityksistä

Taulukkoon 8 on kerätty muutamia esimerkkejä eurooppalaisista alku- ja kasvuvaiheessa olevista ympäristöteknologiayrityksistä, joita pääomasijoittajat ovat esittäneet lupaavina esimerkkeinä sijoitustapahtumissa. Kaikissa yrityksissä on mukana joko yksi tai useampi pääomasijoittaja. Yksikään yrityksistä ei ole vielä listautunut tai sitä ei ole myyty eteenpäin. Taulukossa olevista yrityksistä Enginion nimettiin vuonna 2002 Yhdysvalloissa järjestetyssä Energy Venture Fairissa vuoden lupaavimmaksi yritykseksi. Yrityksistä Q-cells on parhaillaan listautumassa pörssiin Saksassa, jossa sen listautumisanti on jo yllimärkitty (Economist-lehti, lokakuu 2005).

**Taulukko 8.** Esimerkkejä alku- ja kasvuvaiheen eurooppalaisista ympäristöteknologiayrityksistä.

Yritys	Sijainti	Perustamisvuosi	Lyhyt kuvaus yrityksestä	Web-osoite
ClimateWell	Ruotsi	2001 (fuusion kautta)	Aurinkoenergialla toimiva ilmastointilaitte (kylmennys ja lämmitys)	www.climatewell.com
Enginion	Saksa	2000	Kompakteja ratkaisuja yhdistettyyn sähkön- ja lämmöntuotantoon (CHP)	www.enginion.com
EffPower	Ruotsi	1999	Kustannustehokasta akkuteknologiaa hybridiautoihin	www.effpower.com
Ocean Power Delivery	Skotlanti	1998	Aaltoenergiateknologiaratkaisu	www.oceanpd.com
Oxis Energy	UK	2004	Akkuteknologiaratkaisu	www.oxisenergy.com
Q-Cells	Saksa	1999	Maaailman suurin yksi- ja monikiteisten aurinkokennojen valmistaja	www.q-cells.com

Vuonna 2004 Cleantech Venture Network myönsi amerikkalaiselle Powerlight Corporationille Cleantech Emerging Enterprise of the Year -palkinnon. Vuoden 2005 kesällä Ernst & Young myönsi yritykselle Vuoden yrittäjä 2005 -palkinnon (Entrepreneur of the Year 2005) yhteiskuntavastuun kategoriassa. Ohessa lyhyt case-kuvaus Powerlight Corporationista ja yrityksen liiketoiminnasta.

#### *Case Powerlight Corp (Yhdysvallat)*

Powerlightin päätuotteet koostuvat aurinkoenergiaratkaisuksista, joita yritykset voivat asentaa toimitilojensa katoille vähentääkseen sähkönkulutustaan ja siten kustannuksiaan. Powerlight on perustettu vuonna 1991, ja sillä on taustalla useita pääomasijoittajia. Yritys on kaksinkertaistanut liikevaihtonsa joka vuosi vuodesta 1997 lähtien. Yhdysvalloissa myynti lähti erityisesti nousuun vuoden 2001 sähkökatkosten jälkeen. Yritys toimii Berkeleyssä, Kalifornian osavaltiossa.

Yritys painottaa mainonnassaan erityisesti kustannustehokkuutta ympäristöargumenttien sijaan. Myyntiargumenttina käytetään kuvausta, joka lupaa 20 %:n säästöt säh-

könkulutuksessa 30 vuoden ajan. Lisämyyntiargumenttina yritys käyttää sähkön hinnan nousupaineita Yhdysvalloissa: Powerlightin mukaan tuotteita käyttämällä asiakasyritys pystyy suojautumaan tulevaisuuden hinnannousuja vastaan ja siten ennakoimaan kustannuksiaan paremmin.

Markkinoilta löytyy useita merkittävään kokoluokkaan kasvaneita ympäristöteknologiayrityksiä, joiden voidaan sanoa kuvaavan menestystarinoita ympäristöteknologian (cleantech) alueella. Taulukosta 9 löytyvät yritykset ovat jo suuryrityksiä, mutta niiden avulla saa kuvan ympäristöteknologia-alan markkinapotentiaalista.

**Taulukko 9.** Merkittävän kokoluokan ympäristöteknologiayrityksiä.

Yritys	Sijainti	Lyhyt kuvaus yrityksestä	Web-osoite
Ballard Power Systems	Kanada	Polttokennoratkaisut	<a href="http://www.ballard.com">www.ballard.com</a>
Xantrex Technology	Kanada	Tehoelektroniikan komponentit	<a href="http://www.xantrex.com">www.xantrex.com</a>
Vestas/NEG Micon	Tanska	Tuulivoimateknologia	<a href="http://www.vestas.com">www.vestas.com</a>
Zenon	Kanada	Jätevesienkäsittelyteknologiaa	<a href="http://www.zenon.com">www.zenon.com</a>
USFilter	USA	Jätevesienkäsittelyteknologiaa	<a href="http://www.usfilter.com">www.usfilter.com</a>
Pall Corp.	USA	Suodatinteknologiaa eri aloille (vesi, kemikaalit jne.)	<a href="http://www.pall.com">www.pall.com</a>

## 6 Yhteenveto

Suomen itsenäisyyden juhlarahasto Sitra on käynnistänyt Ympäristöohjelman, jonka tavoitteena on nostaa suomalaisen Ympäristöteknologiaan pohjautuvan liiketoiminnan tasoa ja parantaa sen kilpailukykyä kansainvälisillä markkinoilla. Tämä taustaselvitys on tehty Ympäristöohjelmaan liittyvää ennakointiprosessia käynnistettäessä. Tavoitteena oli koota yhteen olemassa olevaa ennakointitietoa ympäristöalan teknologioista ja liiketoiminnasta. Ympäristöteknologian määritelmänä on tässä hankkeessa käytetty ETAPin (Environmental Technologies Action Plan for the European Union) määritelmää. Sen mukaan ympäristöteknologioita ovat teknologiat, jotka aiheuttavat vähemmän haitallisia ympäristövaikutuksia kuin vaihtoehtoinen teknologia.

### *Ympäristöalan kehitysnäkymät*

Ympäristökysymykset ovat viime vuosina tulleet vahvasti osaksi poliittista keskustelua ja päätöksentekoprosesseja. Kansainvälisten sopimusten (muun muassa YK:ssa ja EU:ssa) ja kiristyvän lainsäädännön kautta pyritään kääntämään huolestuttavien ympäristötrendien suuntaa. Uusia ja paremmin sovellettuja teknologiaratkaisuja pidetään usein keskeisenä ympäristöongelmien ratkaisuna. Vaikka kiristynyt ympäristölainsäädäntö on edelleen merkittävin ympäristöteknologioiden markkinoita katalysoiva voima, kasvava määrä yrityksiä tunnistaa selkeitä yhteyksiä hyvän ympäristöasioiden hallinnan ja positiivisen tuloksen tai osakearvon kehityksen välillä.

Ympäristöteknologioiden maailmanmarkkinat on arvioitu reiluksi 500 miljardiksi euroksi. Suurimpiin toimijoihin kuuluvat EU, Yhdysvallat ja Japani. Suomalaisen yritysten ympäristöteknologian liikevaihto oli vuonna 2003 noin 3,4 miljardia euroa. Ympäristöteknologioiden markkinat ovat viime vuosina kehittyneet yleistä markkinakehitystä nopeammin, ja nopean kasvun odotetaan jatkuvan myös tulevaisuudessa. Eri tuotteiden ja palveluiden kasvuennusteet poikkeavat kuitenkin toisistaan. Esimerkiksi Länsi-Euroopassa, Yhdysvalloissa

ja Japanissa voidaan havaita selkeää siirtymistä puhtaampiin, prosesseja kokonaisuutena huomioiviin teknologioihin, kun taas etenkin kehittyvässä ja kehitysmaissa pääosa teknologisista ratkaisuista on edelleen vanhempaa päästöjen käsittelyteknologiaa.

Suomen ympäristöteknologian vahvuuksia ovat yritysten, tutkimuksen ja hallinnon hyvä yhteistyö sekä vahva teknologinen osaaminen, jota on edistänyt tavoitelähtöinen, joustava sääntelypolitiikka. Vaativa kotimarkkina ja poikkeukselliset luonnonolot ovat pakottaneet tehokkuuteen. Toisaalta heikkouksiimme ovat suppea kotimarkkina, pienten yritysten riskinottohaluttomuus ja rahoituspuute sekä teknologiaan liittyvien palveluiden vähäisyys. Suomen mahdollisuutena on hyödyntää hyvää ympäristömainettaan kansainvälisillä markkinoilla entistä paremmin, sillä pienen ja keskisuuren yrityssektorin mahdollisuuksia ei ole vielä täysimääräisesti hyödynnetty ja suuryrityksillä on edellytyksiä tarjota yhä suurempia integroituja kokonaisuuksia. Uhkana on, että yritysten lyhyen aikavälin voiton tavoittelu johtaa ympäristöteknologian tuotekehityksen vähentämiseen ja sitä kautta rapauttaa osaamista nykyisillä vahvuusalueillamme.

### *Ympäristöteknologioiden kehitysnäkymiä*

Uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen on yksi nopeimmin kasvavista ympäristöteknologioiden markkinoista. Viimeksi kuluneiden viiden vuoden aikana tuulivoiman rakentaminen on kasvanut keskimäärin 16 % vuodessa ja markkinoiden koko on lähes 10 miljardia euroa vuodessa. Tuulivoiman kasvun painopiste on Euroopassa. Aurinkoenergian hyödyntämisen kasvuvauhti on vieläkin suurempaa, mutta voimakkain kasvu on kohdistunut muutamalle markkina-alueelle – aurinkosähkömarkkinoita hallitsee Japani ja lämpömarkkinoita Kiina. Myös bioenergian hyödyntämisen kasvu on merkittävää. Vuoteen 2012 mennessä bioenergian käytön oletetaan kaksinkertaistuvan nykyisestäään ja nelinkertaistuvan vuoteen 2020 mennessä. Pienimuotoisen yhteistuotannon kasvua rajoittaa toistaiseksi vielä teknologia. Mikroturbiinit ovat jo tunkeutuneet markkinoille, mutta polttokennojen todellisen läpimurron odotetaan tapahtuvan vasta vuoden 2010 jälkeen. Tällä hetkellä vetyteknologian ja polttokennojen kehitykseen panostetaan vielä yli kolme kertaa niin paljon kuin alan liikevaihto on. Vetyteknologian markkinat ovat Yhdysvalloissa noin kaksinkertaiset Euroopan markkinoihin verrattuna.

Vesi- ja jätevesialalla on merkittäviä markkinamahdollisuuksia kehittyvässä maissa, uusissa EU-maissa ja monissa kehittyneissä maissa, joissa vanhenevan vesi-infrastruktuurin rappeutuminen alkaa olla merkittävä ongelma. Kehitysmaissa puhtaan veden ja sanitaatiojärjestelmien puuttuminen luo tarpeita kohtuuhintaisille teknologioille, joilla saadaan käyttöön uusia vesilähteitä (esimerkiksi suolanpoisto ja sadeveden kierrätys) ja pystytään käsittelemään vettä uudelleenkäyttöön soveltuvaksi. Tärkeimpiä tulevaisuuden teknologioita

ovat nykyistä tehokkaammat ja vähemmän energiaa kuluttavat kalvoerotus-tekniikat, lämpökäsittelyyn perustuvat tekniikat, joista kiinnostavana voidaan mainita yhdistetyn sähkön ja lämmöntuotannon (CHP) ja vedenpuhdistuksen yhdistäminen, sekä kokonaan uudet innovatiiviset teknologiat, joita toivotaan markkinoille pitkällä aikavälillä (vuoteen 2020). Innovaatioita toivotaan myös teollisuuden suljettujen kiertojen kehittämiseen, nykyhetkellä yhdyskuntajätevesiin päätyvien virtojen erottamiseen ja käsittelyyn syntypaikoilla sekä veden kierrätyksessä syntyvien lietteiden käsittelyyn.

Ilmansuojelutekniikan markkinat kasvavat erityisesti Aasiassa, Etelä-Amerikassa, Itä-Euroopassa ja uusissa EU-maissa. Näissä maissa suurin markkinaosuus on alkuvaiheessa perinteisellä teknologialla ja kokonaisvaltaisilla palveluratkaisuilla. Kehittyneissä maissa sekä myöhemmin myös edellä mainituissa kehittyvissä maissa panostuskohteita ovat ajoneuvojen ja puun pienpolton pienhiukkaspäästöjen vähentäminen, pienhiukkas-, on-line- ja monikomponenttimittausteknologiat sekä mittaus- ja tiedonhallintajärjestelmien yhdistäminen.

Ilmastonmuutoksen hillintäteknologioiden tarve on edelleen suuri. Teknologiset vaihtoehdot ovat pääosin uusiutuvien energialähteiden käyttöön sekä energiantuotannon ja -käytön tehostamiseen liittyviä teknologioita. Koska maailman energiantuotannon riippuvuus hiilestä on edelleen merkittävä, markkinoilla on hyvät edellytykset mahdollisimman kustannustehokkaille hiilidioksidin talteenototeknologioille ja entistä puhtaammille hiilienergian tuotantoteknologioille.

Kansainvälisissä ennakointitutkimuksissa on nostettu esiin jätehuollon kierrätysteknologiat sekä jätteiden synnyn ehkäisyä edistävät teknologiat ja palvelut samoin kuin materiaalivirtojen koko elinkaaren hallinta ja ekologinen tuotesuunnittelu. Kehittyvissä maissa on runsaasti markkinoita myös jätehuollon perusteknologioille sekä jätehuollon taitotiedon kasvattamiseen liittyville palveluille. Huomionarvoisia ovat myös uusien teknologioiden aiheuttamat uudet jätteiden käsittely- ja kierrätystarpeet.

Suomalaisten vahvoja osaamisalueita ovat muun muassa

- puhtaat energiateknologiat, erityisesti puupohjaisen bioenergian hyödyntämisketjun kaikki osa-alueet, sähkön ja lämmön yhteistuotanto ja tuuli-voimaloiden komponenttitoimitukset
- energiatehokas rakentaminen
- pienhiukkaspäästöjen rajoittaminen
- mittaustekniikka ja ympäristötiedon hallinta
- puhdas prosessitekniikka, esimerkiksi metsäteollisuuden prosessit
- jätteiden kierrätys ja hyötykäyttö.

Koska suomalaiset yritykset ja toimijat ovat kansainvälisesti katsoen pieniä, on tärkeää keskittää resurssit riittävän tehokkaasti sekä verkottua. Uusia rahoitusinstrumentteja tarvitaan etenkin pienten kasvuyritysten kansainvälistymiseen.



## *Sijoitustrendit ja yrittäjyys*

Erityisesti Yhdysvalloissa sijoittajat ja uudet ympäristöteknologia-yritykset ovat kolmen viime vuoden aikana alkaneet käyttää termiä ”cleantech” ympäristöteknologian sijaan. Cleantech Venture Networkin (CVN) mukaan ympäristöteknologia-alaan on kolmen viime vuoden aikana sijoitettu 3,6 miljardin dollarin arvosta. Tämä koostuu lähes 700 sijoittajan noin 500 sijoituksesta. CVN:n laskelmien mukaan ympäristöteknologia on kuudennella sijalla, kun vertaillaan suurimpia pääomasijoituskategorioita. Suhteellinen osuus kaikista pääomasijoituksista on 5–7 % vuodesta riippuen.

Ympäristöteknologiaan kohdistuneet investoinnit ovat keskittyneet seuraaville kolmelle pääalueelle:

- puhtaamman energiateknologian ratkaisut (yli 40 % sijoituksista)
- uudet materiaalit ja nanoteknologia (17 %)
- materiaalien kierrätysratkaisut ja puhtaampi valmistusteknologia (22 %).

Vedenpuhdistusratkaisut ovat saaneet osakseen vain 4 % kaikista ympäristöteknologiasijoituksista, mutta tämän segmentin suhteellisen osuuden odotetaan kasvavan lähivuosina. Myös ilmanlaatuun, ympäristöinformaatio-tekniikkaan ja liikennetarkeisiin on tehty sijoituksia.

Ympäristöteknologiaan sijoittavat sekä perinteiset pääomasijoitusyritykset, kuten 3i, Apax ja Draper Fisher Jurvetson (DFJ), että ympäristöteknologiaan erikoistuneet pääomasijoitusrahastot, joista keskeisimpiä ovat Nth Power (Yhdysvallat), SAM Group (Sveitsi), Enertech Capital (Yhdysvallat) ja BankInvest (Tanska). Yksittäiseen ympäristöteknologia-alueeseen, kuten aurinkoenergiaratkaisuihin tai polttokennoihin, keskittyneistä sijoittajista mainittakoon Chrysalix (Kanada) ja GoodEnergies (Sveitsi, Yhdysvallat). Kahden viime vuoden aikana myös nimekkäimmät ja arvostetuimmat riskisijoitusrahastot ovat alkaneet sijoittaa ympäristöteknologia-alueelle. Yksityisten pääomasijoittajien lisäksi korporaatioriskisijoitusrahastot ovat olleet aktiivisia ympäristö- ja erityisesti energiateknologian sijoittajia. Näkyvimpiä toimijoita ovat olleet Chevron Technology Ventures (Yhdysvallat), Norsk Hydro Technology Ventures (Norja), Schneider-Electric Ventures (Ranska) sekä Siemens Venture Capital (Saksa). Yhtenä trendinä ympäristöteknologiasijoitusmarkkinoilla on nähtävissä, että markkinoille tulee korporaatioriskisijoitusrahastojen tai muiden sijoitusjärjestelyiden kautta sellaisia suuryrityksiä, joiden perusliiketoiminta on muualla kuin energia- tai ympäristöteknologiassa. Omia ympäristöteknologiaan sijoittavia korporaatioriskisijoitusrahastoja on muun muassa BASF:lla (kemian ala, Saksa), Intelillä (puolijohdeet, Yhdysvallat) ja GE:llä (monialayritys, Yhdysvallat).

## 7 Lähteet

**Alakangas, E., Flyktman, M.** 2001. Biomass CHP technologies, VTT Energy Reports 7/2001, 54 p. + app. 8 p.

**Amorelli, T., Naumanen, M., Walton, J., Wietschel, M., Hernandez, H. (editor), Lonza, L. (editor)** 2005. Assessing the International Position of EU's Research and Technological Development and Demonstration (RTD&D) on Hydrogen and Fuel Cells. EUR No: 21685 EN, 2005. ISBN 92-894-9745-9.

**Andersen, P.D., Joergensen, B.H., Eerola, A., Koljonen, T., Loikkanen, T., Eriksson, E.A.** 2005. Building the Nordic Research and Innovation Area in Hydrogen - Summary Report, January 2005. ISBN 87-550-3401-2. [www.h2foresight.info](http://www.h2foresight.info)

**Andersen, P.D., Jørgensen, B.H., Eerola, A., Koljonen, T., Loikkanen, T., Eriksson, A.E.** 2005. Nordic H2 Energy Foresight - Policy Summary. May 2005. [www.h2foresight.info](http://www.h2foresight.info)

Apollo Energy Systems 2005. [www-sivut: http://www.electricauto.com/home.html](http://www.sivut: http://www.electricauto.com/home.html)

ATLAS 2005. Tidal Energy - Worldwide market and potential. [www-sivut: http://europa.eu.int/comm/energy\\_transport/atlas/htmlu/world-wide\\_market\\_and\\_potential.html](http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/world-wide_market_and_potential.html)

BMT Consult ApS.

**Bodo, P., Nemeskeri, R.L., Tielens, T., Hoogendoorn, J., Wahlstrom, M., Mroueh, U.-M., Vestola, E., Vilimaite, K., Morotz, A., Szlezak, J., Simpson, J., Luo, Z., Eder, P., Bidoglio, G.** 2004. Techno-Economic Outlook on Waste Indicators in Enlargement Countries (TEO-WASTE), Final Report. European Commission, Joint Research Centre (DG JRC), Institute for Prospective Technological Studies. EUR 21205 EN.

Business Communications Company, Inc. 2005. Industry Research and Technical Market Analysis. [www-sivut: www.bccresearch.com](http://www.sivut: www.bccresearch.com)

Capstone 2005. [www-sivut: http://www.capstoneturbine.com](http://www.sivut: http://www.capstoneturbine.com)

CEO Roundtable 2005. [www-sivut: http://www.ceo-roundtables.com/MBRsaHydroNews.html](http://www.sivut: http://www.ceo-roundtables.com/MBRsaHydroNews.html)

China Waste Management, Working Paper for Streams Technology Programme. 17.5.2004.

Cogen Europe 1999. The European Cogeneration Review.

Commission of the European Communities. Towards a Thematic Strategy on the Urban Environment. COM (2004) 60 Final.

ConSoil 2005. Proceedings of the 9th International FZK/TNO Conference on Soil-Water Systems. 3-7 October 2005, Bordeaux convention Centre, France.

**Cropper, M.** 2004. Fuel Cells and Hydrogen in Scandinavia – A survey of current developments. Fuel Cell Today – 10 March 2004. [www.fuelcelltoday.com](http://www.fuelcelltoday.com)

Diesel & Gas Turbine Worldwide 2004. October 2004.

**Dushnitsky, G.** 2004. Limitations to inter-organizational knowledge acquisition: The paradox of corporate venture capital. Best Paper Proceedings of the 2004 Acad. of Management Conf. <http://www-management.wharton.upenn.edu/dushnitsky>

ECOTEC Research and Consulting Limited 2002. EU Eco-industries: Trade and international markets. A Final Report to DG Environment C1961.

**Eerola, A.** 2004. Nordic H2 Energy Foresight – Action Report. ISBN 87-550-3437-3. [www.h2foresight.info/Publications/Publications\\_Reports.htm](http://www.h2foresight.info/Publications/Publications_Reports.htm)

EK 2005. Elinkeinoelämä ja EU - ympäristö. <http://www.ek.fi/eu-edunvalvontakohteet/ymparisto/index.php>. Luettu 12.10.2005.

Electrowatt-Ekono Oy 2005. MODiS System Folder of products by Electrowatt-Ekono Oy.

Energia 1997. Vuosaari B, Helsinki Energy gas combined-plant, Energia (Energy), 1997, 27 p.

ETAP Discussion Paper 2003a. Environmental Technologies Action Plan (ETAP) Discussion Paper. Report from the Water issue group as a contribution to the Environmental Technologies Action Plan, August 2003.

ETAP Discussion Paper 2003b. Environmental Technologies Action Plan (ETAP) Discussion Paper. Report from the Climate Change issue group as a contribution to the Environmental Technologies Action Plan, July 2003.

ETAP Group Report 2003. Environmental Technologies Action Plan (ETAP) Discussion Paper. Report from the Water issue group as a contribution to the Environmental Technologies Action Plan, August 2003.

ETLA 2004. Survey on the Finnish Biotechnology Industry, ETLA no 978, 2004.

EurEnDel 2004. Technology and Social Visions for Europe's Energy Future. A Europe-wide Delphi study. Final report. Report of an European Union Research Project. [http://www.izt.de/eurendel/survey\\_results/](http://www.izt.de/eurendel/survey_results/)

EUROFER 1999. The Technology road map to determine the research priorities of the European steel industry (1999).

Euroheat & Power. 1999. District Heat in Europe – 1999 Survey.

Euroheat & Power 2001. District Heat in Europe – Country by Country 2001 Survey.

Euroopan komissio 2004. Komission tiedonanto neuvostolle ja Euroopan parlamentille. Kestävän kehityksen teknologioiden edistäminen: Ympäristöteknologioita koskeva Euroopan unionin toimintasuunnitelma. KOM (2004) 38 lopullinen. Bryssel, 28.1.2004.

European Commission 1999. The EU ECO-Industry's export potential. Final Report to DGXI of the European Commission. EG/C1490/SO. September 1999.

European Commission 2002. The Assessment of Future Environmental and Economic Impacts of Process-Integrated Biocatalysts, European Commission, EUR 20407 EN, Sevilla 2002.

European Commission 2003. Biofuel production potential of EU candidate countries, EUR 20836 EN, Sevilla 2003.

European Commission 2003b. Kohti jätteiden syntymisen ehkäisemisen ja kierrätyksen teemakohtaista strategiaa. Komission tiedonanto. KOM (2003) 301 lopullinen.

European Commission 2003c. Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. COM (2003) 179 Final.

European Commission 2004. Promoting environmental technologies: sectoral analysis, barriers and measures. A Report from the Sustainable Production and Consumption Issue Group as a contribution to the Environmental Technologies Action Plan (ETAP). EUR 21002 EN, 2004, 242 p.

European Commission 2005a. Communication from the commission to the council and the European Parliament, 2004 Environmental Policy Review. COM(2005) 17 Final.

European Commission 2005b. Commission proposes clean air strategy to protect human health and the environment. European Commission Press release IP/05/1170, Brussels, 21 September 2005.

**Feustel, H., Stetiu, C.** 1997. CBS Newsletter. Fall 1997 pg. 6 Thermal Performance of Phase-Change Wallboard for Residential Cooling. [http://eetd.lbl.gov/newsletter/cbs\\_nl/](http://eetd.lbl.gov/newsletter/cbs_nl/)

NL16/Phase.html

Frost & Sullivan 1999. European Air Pollution Control Equipment Markets.

Fuel Cell Today 2004. Fuel Cell Systems: A survey of worldwide activity, Fuel Cell Today, December 2004.

Fuel Cell Today 2005. Fuel Cell Market Survey: Automotive Hydrogen Infrastructure, Fuel Cell Today, May 2005.

Gaia Group Oy 2004. Kestävän kehityksen teknologiaennakkoinnin esiselitys.

Georgia Institute of Technology 2005. www-sivut: [http://www.ipst.gatech.edu/faculty\\_new/faculty\\_bios/iisa/bio\\_iisa\\_kristiina.html](http://www.ipst.gatech.edu/faculty_new/faculty_bios/iisa/bio_iisa_kristiina.html)

**Genter, C.** 2003. Innovative Waste Management Products – European Market Survey. Technology Review 147/2003. Tekes.

**Hietanen, O., Lauttamäki, V., Vehmas, J., Heikkilä, J., Lehmann-Chadha, M.** 2005. Jätealan haasteet ja megatrendit Euroopassa. Tekesin Streams-ohjelmalle tehty selvitys.

**Hongisto, M., Eerola, A., Väyrynen, E., Ronde, H.** 2003. Ympäristöteknologia ja tulevaisuus. Kartoitus VTT:n tutkimustoiminnan tueksi. Luonnos 3.2.2003. Julkaisematon.

HyWeb 2005. Hydrogen and fuel cell information system. www-sivut: <http://www.hydrogen.org/index-e.html>

**Hyötyläinen, R., Rynänen, T., Mikkola, M.** Ympäristöalan miniklustereiden rakentaminen ja kehittäminen. InnoEnvi-hanke. Espoo 2004. VTT Tiedotteita 2233.

ICF 2005. Air Pollution Control Technology Market Assessment.

Imperial College London 2005. Department of Civil and Environmental Engineering. www-sivut <http://www.cv.ic.ac.uk/futurehome/Welcome.html>

International Energy Agency 2002. World Energy Outlook, 2002 Edition.

ISPA 2000. The Challenge of Environmental Financing in the Candidate countries, ISPA Management Committee.

Jaakko Pöyry Consulting 2003. Ilmastoaiheisen teknologiaohjelman taustaselvitys, Tekes.

**Joergensen, B.H.** 2003. H2 R&D activities in the Nordic Countries. Project report. ISBN 87-550-3432-2. [www.h2foresight.info](http://www.h2foresight.info)

JRC 2005. www-sivut: <http://eippcb.jrc.es/pages/FAactivities.cfm>

- Kalmari, A.** 2002. Innovative steam turbine application for domestic fuels. EuroHeat&Power, European Technology Review 2002, 2p.
- Kammen & Nemet** 2005 (luvun 3 kohta) Ympäristötekniikan -sijoitusmarkkinan kehitys ja trendit)
- Kammen, D.M., Margolis, R.M.** 1999. Underinvestment: The Energy Technology and R&D Policy Challenge. Science. 285 (5428) 690-692.
- Kara, M. (eds.)** 2003. Energy Visions 2030 for Finland, VTT Energy, Helsinki 2001, 237 p.
- Knight, B. et al.** 2004. The World Biomass Report, Douglas-Westwood Ltd. 2004.
- KTM 2005. Ympäristöteknologiatilasto 2004. Kauppa- ja teollisuusministeriö.
- Lehtomäki, J.** 2005. Tutkittua tietoa ja uusia innovaatioita yhteiskunnan ja elinkeinoelämän tarpeisiin. 30. Ilmansuojelupäivät, Lappeenranta 23.-24.8.2005.
- Manninen, H.** Suomalaisen jäteosaamisen SWOT. Seminaari ”Suomalainen osaaminen materiaalien tehokkaammassa käytössä ja jätteiden hyödyntämisessä”. Suomen ympäristökeskus 15.3.2004.
- Monni, S.** 2003. Arvioita energiateknologian markkinoista lähivuosikymmeninä. VTT Prosessit, 2003.
- Morgan Stanley & Oekom 2004. SustainAbility.
- Multimedia Research Group 2005. Hydrogen Market, Hydrogen R&D and Commercial Implication in The U.S. and E.U, May 2005.
- Mäkinen, T., Sipilä, K., Nylund, N.-O.** 2005. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttömahdollisuudet Suomessa - Taustaselvitys. VTT Tiedotteita 2288. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2288.pdf>
- National Hydrogen Energy Roadmap, DoE, US, November 2002.
- Naumanen, M.** 2005. Materiaalitekniikoiden kehityskohteita. Teknologiateollisuus ry, ISBN 951-817-889-5.
- NEAP Albania 2002. National Environmental Action Plan (NEAP), Republic of Albania.
- NEAP Croatia 2002. National Environmental Action Plan (NEAP), Republic of Croatia. Official Gazette No.46/02 29.4.2002.
- NEET 2005. New and Emerging Environmental Technologies. Clean Air Technologies Database. [www-sivut. http://neet.rti.org/](http://neet.rti.org/)

NISTEP 2002. Seventh Technology Foresight - Future technology in Japan toward the Year 2030, toteutus 1999–2000.

Nth Power reports and press releases. www-sivut: www.nthpower.com

OECD 2001. The Application of Biotechnology to Industrial Sustainability, OECD, Paris 2001.

**Peltola, E., Holttinen, H.** 2001. Tuulivoimamarkkinat suomalaisen teknologiaviennin kannalta. VTT Energian raportteja 45/2001.

PricewaterhouseCoopers 2004. Worldwide Fuel Cell Industry Survey.

RAKLI 2005. Kiinteistö- ja rakennusala. <http://www.rakli.fi/toimiala/Kiinteistorak.htm>, luettu 27.9.2005.

Renewable Energy World 2004a. July-August 2004.

Renewable Energy World 2004b. Sept-Oct 2004.

Renewable Energy World 2005. July-August 2005.

RWE 2004. World Energy Report, Opportunities and Risks of Future World Energy Supply.

SAM/Venture Economics (Europe).

SEPET 2005. SEPET-ennakointityöpaja 4.3.2005 ja osallistujille toimitettu ennakkomateriaali.

**Shoji et al.** 2002 (luvun 4. kohta Bioteknologian hyödyntäminen)

**Sipilä, K., Ranne, A., Koljonen, T.** 2000. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes: 2071. VTT Energy, Espoo. 142 s. + 20 s.

**Soimakallio, S., Savolainen, I. (toim.)** 2002. Technology and Climate Change (Climtech) Programme - Final Report. Modular district heating system MODiS. Finnish National Technology Agency (Tekes), Helsinki. Technology programme report 14/2002. 259 s.

Tekes 2005a. Rakennusalan teknologiaohjelmien (CUBE, SARA) www-sivut. <http://www.tekes.fi/ohjelmat/teknologiaohjelmat/kaikki.html>

Tekes 2005b. Esimerkkejä Streams-ohjelman tuloksista. <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/esimerkkeja-tuloksista.html>. Luettu 10.10.2005.

Tekes 2005c. Menestystarinoita. <http://www.tekes.fi/ajankohtaista/menestystarinoita/>.

Luettu 10.10.2005.

Tekes 2005d. Fine pienhiukkaset - teknologia, ympäristö ja terveys -ohjelman julkaisuja. <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/FINE/fi/julkaisutjalinkit.html>

Tilastokeskus 2005. Yrityskysely Kauppa- ja teollisuusministeriön ja Ympäristöministeriön toimeksiannosta.

**Tzimas, E., Soria, A., Peteves, S.** 2004. The Introduction of Alternative Fuels in the European Transport Sector: Techno-economic Barriers and Perspectives. Extended Summary for policy makers. EUR No: EUR 21173 EN, 2004.

**Tukker, A. et al.** 2003. Scenarios of household waste generation in 2020. ESTO Technical Report Series. EUR 20771 EN.

UNEP 2004. Standard and Poors.

University of Sheffield 2005. Unique CEM Laboratory (CEM-ICP-OES). [www-sivut: http://www.shef.ac.uk/~suwic/facil\\_cem.htm](http://www.sivut: www.shef.ac.uk/~suwic/facil_cem.htm)

U.S. Bureau of Reclamation/ Sandia National Laboratories 2003. Desalination and Water Purification Roadmap - A Report of the Executive Committee.

US Chemical Industry 2003. US Chemical Industry R&D roadmap for nanomaterials by design, from fundamentals to function. December 2003.

U.S Department of Energy 2005. Energy Efficiency and renewable Energy. <http://www.ere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/hydrogen/storage.html>

WhisperTech 2005. [www-sivut: http://www.whispergen.com](http://www.whispergen.com)

Wirtschaftskammer Österreich 2004. Umwelttechnikmärkte in Mittel- und Osteuropa, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Slowenien und Polen.

World Bank 2002. Meeting the EU Environmental acquis, cost estimates for accession candidates.

World Economic Forum 2004. Global Competitiveness Report 2004-2005.

WRc 2003. Sustainable water management. A Future View. [http://www.foresight.gov.uk/Previous\\_Rounds/Foresight\\_1999\\_\\_2002/Energy\\_and\\_Natural\\_Environment/Reports/Sustainable%20Water%20Management/Foresight\\_Future\\_View.pdf](http://www.foresight.gov.uk/Previous_Rounds/Foresight_1999__2002/Energy_and_Natural_Environment/Reports/Sustainable%20Water%20Management/Foresight_Future_View.pdf). Luettu 15.10.05.

WSSTP 2005. Water, safe, strong and sustainable. European vision for water supply and sanitation in 2030. Water Supply and Sanitation Technology Platform.



## Muuta raportin valmistelussa käytettyä aineistoa

**Berkhout, F.** 2002. Technological regimes, path dependency and the environment. *Global Environmental Change*, 12(1): 1-4.

Business Week 1999. The new venture capitalists – from corporate America. 10/14/99 BusinessWeek Online.

Business Week 1999. Hunting for venture capital? Don't ignore the corporate crowd. 10/14/99 BusinessWeek Online.

Clean Edge 2001. Cleantech: profits and potential. [www.cleandedge.com](http://www.cleandedge.com)

Clean Edge 2002. Clean energy markets: Five trends to watch in 2002. Available at [www.cleandedge.com](http://www.cleandedge.com)

Clean Edge 2005. Clean energy trends 2005. Available at [www.cleandedge.com](http://www.cleandedge.com)

Cleantech Venture Network reports, press releases and presentations. [www.sivut: www.cleantechventure.com](http://www.sivut.cleantechventure.com)

**Diefendorf, S.** 2000. The venture capital and environmental industry. *Corporate environmental strategy* 7, pp. 388-399.

European Commission 2003a. European Human Tissue-engineered products, EUR 21000EN, Sevilla 2003) (luku 4., kohta Bioteknologian hyödyntäminen).

Food Navigator Europe 2005. <http://www.foodnavigator.com/trends5.asp?id=155> (Linkki ei toimi) (luku 4., kohta Bioteknologian hyödyntäminen).

FTIR Temet Instruments Oy. (5. Ilmansuojelu ja ilmastomuutoksen hillitseminen).

IPTS. Genetically Modified Organisms (GMO's) under research and development and in the pipeline in Europe (IPTS, Sevilla, unpublished.) (luku 4., kohta Bioteknologian hyödyntäminen).

Journal of the Air & Waste Management Association, 48, 77-81 (1998) (4. Ilmansuojelu ja ilmastomuutoksen hillitseminen).

**Kemp, R., Schot, J., Hoogma, R.** 1998. Regime shifts to sustainability through processes of niche formation: the approach of strategic niche management. *Technology Analysis and Strategic Management* 10(2), pp. 175-195.

**Kolk, A., Pinkse, J.** 2004. Market strategies for climate change. *European Management Journal* 22(3), pp. 304-314.

- Kolk, A., Pinkse, J.** 2005. Business responses to climate change: identifying emergent strategies. *California Management Review* 47(3), pp. 6-20.
- Makower, J., Pernick, R., Wilder, C.** 2004. *Clean Energy Trends 2004*. Clean Edge. Available at [www.cleandedge.com](http://www.cleandedge.com)
- Moore, B., Wüstenhagen, R.** 2004. Innovative and Sustainable Energy Technologies: The Role of Venture Capital. *Business Strategy and the Environment* 13, 235-245.
- O'Rourke, A.** 2004. The potential for sustainable entrepreneurship by venture capital . Paper presented at the 2004 Academy of Management conference, New Orleans.
- Pfeuti, R., Flatz, A., Moor, M., Wüstenhagen, R., Zamboni, M.** 2002. *Changing Climate in the Energy Sector – a New Wave of Sustainable Investment Opportunities Emerges*. 2nd Ed. SAM Sustainable Asset Management: Zollikon-Zurich.
- Prudencio, R.** 2005. The next disruptive technology. *Public Utilities Fortnightly*, April issue.
- RedHerring 2005. Oil prices grease cleantech. *RedHerring*, March 22 issue.
- Russo, M.V.** 2003. The emergence of sustainable industries: building on natural capital. *Strategic Management Journal* 24, pp. 317-331.
- Sheahan, M.** 2004. VCs show off their green thumbs. *Venture Capital Journal*, May 1, 2004.
- Sonntag-O'Brien, V.** 2003. Mobilizing private investment in sustainable energy. *Renewable Energy World Review Issue 2003-2004, July-August 2003, Vol.6(4)*.
- Teknisk Framsyn 2004. Andra nationella framsyner. En jämförelse och analys. Rapport från Teknisk Framsyn 2004.
- Teppo, T.** 2005. Financing cleantech innovations: Investors, entrepreneurs and the clean energy venture capital market. Unpublished PhD dissertation, Helsinki University of Technology.
- Transport Policy in the Accession Candidate Countries, Institute for European Environmental Policy 2001. (4. Ilmansuojelu ja ilmastomuutoksen hillitseminen).
- Tsoutsos, T.D., Stamboulis, Y.A.** 2005. The sustainable diffusion of renewable energy technologies as an example for an innovation-focused policy. *Technovation* 25, pp. 753-761.
- VTT Energy 2001, *Energy vision 2030 for Finland*.
- Wüstenhagen, R., Teppo, T.** 2005. Risk, return, and time as factors determining the emergence of the European energy VC market. Forthcoming in *International Journal of Technology Management*, Special issue on venture capital.

Table 3. Worldwide district heating markets and technical information.

COUNTRY	Prod. TWh	Consum. TWh	Max. month. Capacity MW	Max. load MW	Heat cons. kJ	Length of net km	No of nets	Out Temp °C	Return temp °C	Pressure bar	Pump typ	Flow in net	Cons conn.	Skeletal year	grow pot		
															Energy TVWh/10 <sup>3</sup>	Net length km/10 <sup>3</sup>	
<b>Europe</b>																	
Austria	11.23	9.68	1800	5800	5600	40	2507	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1996	8.50	1650	
Belarus	80.00	71.73	2500	40000	32000		2500	150°	70	15	centrifug	constant	direct		93.00	2700	
Bosnia	5.50	4.77						150°	70	15	centrifug	constant	direct	1992	39.72	3300	
Bulgaria	29.82	27.14					2025	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1997	2.10	3300	
Greece	0.32	0.26					136	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1998	0.32	1500	
Croatia	2.46	2.10	2300	1918	921	1	258	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1998	3.00	10500	
Czech Rep	53.74	41.39	2300	42506	18230	1928	9000	150°	70	15	centrifug	regulated	indr/dlr	1998	55.62	10500	
Denmark	31.00	27.90	3300	15500	8500	425	23000	120/140	70/80	15	centrifug	regl./const	indr/dlr	1993	34.01	23300	
England	5.30	5.00						150°	70	15	centrifug	constant	direct	1992	19.90	9500	
Estonia	18.03	16.39	2500	5413	5650	127	8040	367	115	45	centrifug	regulated	indirect	1998	33.55	9500	
Finland	29.42	27.52	2632	17039	13600	372	2867	186	90	22	centrifug	regulated	indirect	1992	41.00	4800	
France	8.20	7.30	1939	53736	56560	248	18541	1133	150/130	70	25/16	centrifug	regl./const	indr/dlr	1998	102.64	18723
Germany	22.63	19.83	2361	17800	8400	175	2000	320	150	16	centrifug	regl./const	indr/dlr	1993	25.00	3000	
Hungary	5.00	4.40	1959	1306	1306	31	2970	100	100	16	centrifug	regl./const	indr/dlr	1997	4.86	3281	
Iceland	3.02	2.70					762	140	80	15	centrifug	constant	direct	1994	3.40	1320	
Italy	20.60	20.00	2300	2700	2300	980	980	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1994	20.66	1080	
Lithuania	21.28	15.41	2300	14064	9754	136	2846	52	150°	15	centrifug	constant	direct	1998	18.79	3200	
Moldova	6.42	5.32	4330	4385		13	2500				regulated			1998	5.87	2700	
Netherlands	1.44	1.27					320							1997	1.40	363	
Norway	140.09	114.71					16392	150°	70	(25)16	centrifug	constant	direct	1990	138.82	18000	
Poland	137.55	121.00	2921	47760	41430	1909	16380	150°	70	16	centrifug	constant	direct	1992	130.00	17000	
Romania	2659.50	2207.39					260000	150°	70	16	centrifug	constant	direct	1993	2207.00	261000	
Russia	3.81	3.22	2598	1973	1239	24	643	140	50	15	centrifug	regulated	direct	1993	3.90	710	
Switzerland	12.40	10.75						150°	70	15	centrifug	constant	direct	1996	64.12	500	
Serbia	7.0	6.1					463	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1993	2.60	500	
Slovakia	2.48	2.15	2268	1670	948	26	453	120	70	15	centrifug	regulated	indirect	1998	50.46	12000	
Slovenia	43.91	41.39	2100	15000	14100	164	10721	120	70	15	centrifug	regulated	indirect	1998	271.45	45100	
Sweden	273.0	241.99					44931	150°	70	15	centrifug	constant	direct	1997	3386.70	445237	
Ukraine	3066.97	3219.86					2016579										
							431371	1872									
<b>Asia</b>																	
China	290.00	250.00	2200	18000	13000			150°	70	16	centrifug	constant	direct	1990	300.00	2000	
Japan	1.70	1.50												1995	2.00		
Kazakhstan	6.00	5.00	2300	4800	1990	6	1300	6	120	70	15	centrifug	regulated	indirect	1994	8.50	2200
Korea	297.70	266.50						6							310.50	2200	
<b>America</b>																	
Canada	15.00	14.00	1400	11700	10000	1440	1500	1440	120	200	15	centrifug	regl./const	indr/dlr	1962	25.00	3000
USA #water	242.00	206.00	1400	175600	147143	2640	22800	2640	120	200	2	15	centrifug	direct	1962	260.00	24500
USA # steam	250.00	220.00						4080							285.00	27500	
							456671	5956							3882.20	474937.2	
total	4364.27	3636.18					2270879	549687	205611	456671	5956				0.06	0.04	

# new networks 130/70 °C, consumers with indirect connection, boilers with direct connection

## LIITE 2

Esimerkkejä vesialan innovatiivisista teknologioista (ETAP 2003, ETAP 2003a).

Tekniikka ja sovellusalue	Kasvualueet	Ongelmat	Kehityskohteita
<b>Kalvotekniikka</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Biologinen kalvo-reaktori kotitalous- ja teollisuuskäyttöön (esim. lääketieteellisyys)</li> <li>· Juomaveden käsittely: mikro-, ultra- ja nanosuodatus</li> <li>· Suolan poisto: käänteisosmoosi</li> <li>· Teollisuuden jätevesien käsittely (etenkin raskasmetallit)</li> <li>· Teollisuuden prosessivesien mikro-, ultra- ja nanosuodatus, käänteisosmoosi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kohdekohtainen talousveden käsittely</li> <li>· Jäteveden käsittelylaitosten tehostaminen vedenalaisia kalvoja käyttäen</li> <li>· Anaerobinen jäteveden käsittely; kiinteän aineen viipymääjän pidentäminen ja yleisen suorituskyvyn parantaminen</li> <li>· Veden puhdistus hyöty- ja uudelleenkäyttöön</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tehokkaan jäteveden esikäsittelyn tarve haitallisten hiukkasien, öljyjen, rasvojen ym. poistamiseksi</li> <li>· Suhteellisen korkeat energiakustannukset</li> <li>· Käyttö- ja huoltokustannukset riippuvat järjestelmän toiminnasta ja valituista toimintatavoista (kalvon rikkoutumisen, likaantumisen tai lohkeilun tarkkailu, kestävä puhdistuskemikaalien käyttö, ...)</li> <li>· Pääomakustannukset vielä melko korkeat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Hapon-, emäksen- ja liuotteenkestävät kalvot</li> <li>· Valikoivat, tehokkaan suolan- ja boorinpoiston yhdistävät kalvot</li> <li>· Kalvotekniikan ja muiden tekniikoiden yhdistäminen (flotaatio, zeoliitit, aktiivihiili, desinfiointi)</li> <li>· Hydrofiilisyyden</li> <li>· Kalvon ja järjestelmän kustannusten minimointi</li> <li>· Elinaika</li> <li>· Kemikaalien ja puhdistusaineiden käytön minimointi</li> <li>· Parannetut tarkkailu- ja valvontajärjestelmät toimintahäiriöiden havaitsemiseksi</li> </ul>
<b>Tehostettu biologinen jätevesien käsittely</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Biologiset ravinteiden poistomenetelmät alan state-of-the art</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uudet jätevedenpuhdistamot tai vanhojen uusiminen</li> <li>· Tehostettu käsittely tietyille hankalille ainesosille</li> <li>· Fosforinkestävä talteenotto lannoitteeksi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Käyttäjältä vaaditaan ammattitaitoa</li> <li>· Korkeat alkupääomakustannukset</li> <li>· Ulkoiset tekijät voivat vaikuttaa prosessin tehoon ja stabiiliuteen</li> <li>· Alan investointistrategiat: investointeja innovatiivisiin prosesseihin vaikea saada aikaan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Tehokkaan esikäsittelyn ja anaerobisen prosessin yhdistelmät</li> <li>· Jatkoparannukset, prosessin mallinuksen, tarkkailun ja valvonnan integrointi</li> <li>· Kalvotekniikoiden integrointi biologisiin prosesseihin</li> <li>· Luotettavat ja kestävät on-line- ja bioanturit (NH<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ym.)</li> <li>· Bioaugmentaatio</li> </ul>

Tekniikka ja sovellusalue	Kasvualueet	Ongelmat	Kehityskohteita
<b>Kehittyneet hapetusmenetelmät</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kattaa laajan joukon tekniikoita, jotka pystyvät tuottamaan veden epäpuhtauksia hajottavan hapettavan hydroksyyli- radikaalin</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Talousjätevesien käsittely</li> <li>· Jätevesien hyöty- ja uudelleen käyttö</li> <li>· Lietteen muodostumisen vähentäminen</li> <li>· Veden desinfiointi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Käyttökustannukset (energia, kemikaalit)</li> <li>· Ei-toivotut sivutuotteet kemikaalien reaktioissa</li> <li>· Sameus, kiinteä aines ja likaantuminen voivat heikentää UV-valoon perustuvien prosessien tehoa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Prosessien optimointi yhdistämällä biologinen käsittely ja luotettava valvonta</li> <li>· Auringonvalon käyttö energian ja valon lähteenä</li> </ul>
<b>Taloudelliset saniteetti- ja jäteveden puhdistusjärjestelmät</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Hajautetut saniteettijärjestelmät</li> <li>· Virtsien erottaminen</li> <li>· Anaerobinen yhdyskuntajätevesien käsittely</li> <li>· Kosteikot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Haja-asutusalueet ja pienet kunnat</li> <li>· Kotitalouksien harmaavesien uudelleen käyttö ja energian talteenotto</li> <li>· Käyttö kehitysmaissa, joissa on suotuisat sääolosuhteet</li> <li>· Jätevesien hyöty- ja uudelleen käyttö</li> <li>· Sovellukset kylmän ilmaston alueille</li> <li>· Yhdistetyt prosessit: anaerobinen käsittely/kosteikko</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nykyisen infrastruktuurin tavoitteet</li> <li>· Rakennettujen kosteikkojen luotettavuus</li> <li>· Yleinen mielipide suhtautuu negatiivisesti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Virtsien erottamisperiaatteen ja kohdekohtaisen ravinteiden talteenoton integrointi käsittelyjärjestelmään</li> <li>· Jätevesien desinfiointi uusiutuvaa energiaa hyödyntäen</li> </ul>

Tekniikka ja sovellusalue	Kasvualueet	Ongelmat	Kehityskohteita
<b>Automaatio- ja hallintajärjestelmät</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Automaation ja toimintavarmojen mittalaitteiden yhdistäminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Kapasiteetin optimaalinen hyödyntäminen</li> <li>· Älykkäiden on-line-antureiden ja kauko-ohjauksen käyttö</li> <li>· Ylivuotojen estäminen</li> <li>· Olemassa olevien energiansäästösuunnitelmien täytäntöönpano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Nykyiset investoinnit ja johtaminen</li> <li>· Usko valvontajärjestelmän luotettavuuteen</li> <li>· Henkilökunnan osaaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Langaton kaukovalvonta ja viestintäverkot</li> <li>· Viemäriverkon ja jätevedenpuhdistamon yhteen kytkeminen</li> <li>· Jäsennetty päätöshierarkia</li> </ul>
<b>IT-tekniikat verkostojen operointiin ja suojaamiseen</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Uudet IT-työkälyt yhdistettynä tehokkaaseen valvontaan tukevat verkostonhallintaa ja -käyttöä</li> <li>· Erityisesti huippuvirtaamien ja -kuormitusten säätely, tulvavesien keräys, käsittely ja johtaminen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Verkostojen ennakkoiva kunnostus</li> <li>· Vuotokohtien tunnistaminen</li> <li>· Onnettomuuksien hallinta</li> <li>· Turvallisen juomaveden varmistaminen</li> <li>· Tulvavesien keräys</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Investointikustannukset</li> <li>· Verkostojen infrastruktuuri vanhentunut</li> <li>· Investoinnin omistus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Huoltostrategiat</li> <li>· Asiantuntijajärjestelmän tukema energian säästö</li> <li>· Matemaattisten mallien optimointi</li> </ul>

**LIITE 3** Yhteenveto kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen soveltuvista tekniikoista eri toimialoilla (ETAP (2003b).

Energiahuolto	Energjankulutus		Liikenne	Maatalous	Jätteet
	Kotitaloudet, palvelut	Teollisuus			
<b>Energiatehokkuus</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Edistynyt makro-CHP</li> <li>• Mikro-CHP</li> <li>• Kivihiilikerrostumien metaani</li> <li>• Ultratehokkaat kaasuturbiinikombit</li> <li>• Tehokas puhdas hiiliteknologia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uudet rakennusmateriaalit</li> <li>• Integroitu rakennussuunnittelu</li> <li>• Ohjaustekniikka ja energianhallintajärjestelmät</li> <li>• Lämmitys-, jäähdytys- ja tuuletuslaitteet</li> <li>• Energiatehokkaat laitteet</li> <li>• Valaistus</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaihtoehtoiset laitteet</li> <li>• Polttotekniikat</li> <li>• Matalan lämpötilan prosessit</li> <li>• Materiaalit</li> <li>• Prosessin hallinta</li> <li>• Hukkalämmön talteenotto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parannukset polttomootoreihin (diesel ja bensiini)</li> <li>• Hybridiajoneuvot</li> <li>• Ilmailuteknologia</li> <li>• Liikenteen hallintajärjestelmät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eläinten ruokavalio, joka vähentää käymistä suolistossa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jätteen käsittelytekniikat</li> <li>• Kierrätys/ talteenotto (sisältää ympäristömyönteisen suunnittelun)</li> </ul>
<b>Uusiutuvat energialähteet</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suora aurinkovoima</li> <li>• Tuulivoima avomereillä ja rannikolla</li> <li>• Biomassa sähköntuotannossa</li> <li>• Geoterminen energia</li> <li>• Aalto- ja vuorovesienergia</li> <li>• Vesivoima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassa paikallisessa lämmöntuotannossa</li> <li>• Passiiviset aurinkovomajärjestelmät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassasta saatava prosessilämpö</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biopolttoaineet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassan tuotanto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biokaasun talteenotto</li> </ul>
<b>Hiilen varastointi</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO<sub>2</sub>:n talteenotto ja varastointi</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biologisen hiilen varastointi</li> </ul>	

Energiahuolto	Energiankulutus		Liikenne	Maatalous	Jätteet
	Kotitaloudet, palvelut	Teollisuus			
<b>Vety- ja polttokennot</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vedyn tuotanto uusiutuvista energialähteistä (sisältää fotoelektrolyysin), fossiilista polttoaineista hiilidioksidin talteenotolla</li> <li>• Polttokennot</li> <li>• Vedyn varastointi</li> <li>• Vetyinfrastruktuuri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polttokennot paikalliset CHP-laitokset</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teolliset polttokennot</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vetykäyttöiset polttomoottorit</li> <li>• Liikenteen polttokennot</li> <li>• Vedyn varastointi</li> <li>• Vetyinfrastruktuuri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biomassan tuotanto vedyn valmistusta varten</li> </ul>	



## Eurooppa: ympäristövaatimusten täyttäminen

Ympäristöteknologioiden edistämiskehitys perustuu EU:n tavoitteeseen tulla ”kilpailukykyisimmäksi ja dynaamisimmaksi tekniseen tietämykseen perustuvaksi talousalueeksi maailmassa vuoteen 2010 mennessä”. Tämä tavoite asetettiin vuonna 2000 pidetyssä huippukokouksessa Lissabonissa (Lisbon Summit). Vuonna 2001 Göteborgissa Euroopan neuvosto painotti, että ympäristöteknologioiden avulla voidaan lisätä kasvua ja työllisyyttä. Vuonna 2004 Euroopan komissio hyväksyi kunnianhimoisen toimintasuunnitelman, jolla pyritään parantamaan ympäristöteknologioiden kehitystä ja laajempaa käyttöönottoa (ETAP). Upeat uudet ympäristöteknologiat parantavat ympäristön hyvinvointia ja lisäävät samaan aikaan yritysten kilpailukykyä. Suunnitelman avulla EU:sta pyritään tekemään johtava toimija ympäristöteknologioiden alalla. Avainasemassa on tällöin sidosryhmien kanssa muodostettavien teknologiakeskittymien rakentaminen erityisesti vety- ja polttokeuhkojen, aurinkokennojen sekä vesihuollon osalta. Samalla tuotteille ja palveluille annetaan ympäristösuosituksia, rakennetaan rahoitusmalleja sekä luodaan yksityisiä ja julkisia hankintamalleja.

Tämänhetkisten EU-jäsenvaltioiden täytyy lisätä investointejaan keskimäärin 2–3 % bruttokansantuotteesta, jotta EU:n asettamat ympäristötavoitteet voidaan saavuttaa. Näiden tavoitteiden kustannukset ovat vähintään 100–120 miljoonaa euroa. Tulevat jäsenvaltiot pääasiassa itäisestä Euroopasta osallistuvat kustannuksiin 55 miljoonan euron edestä. (4, 5, 6)

EU:n uusissa jäsenvaltioissa sekä Itä- ja Kaakkois-Euroopan valtioissa on saavutettava tietyt ympäristöön liittyvät tavoitteet tietyn mittaisen siirtymäjaksoson aikana. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että näiden valtioiden on huomioitava ja pantava toimeen EU:n lainsäädännön vaatimukset omassa lainsäädännössään. Lainsäädäntö antaa siten suuntaa kyseisissä valtioissa vaadittavien toimenpiteiden määrästä ja laadusta. Lainsäädännön ja erityisesti EU:n direktiivien osalta merkittävimmät parannukset on tehtävä seuraavilla alueilla: vesi ja jätevesi (55–60 miljardia euroa), ilmanlaatu (40–45 miljardia euroa), jätehuolto (20–25 miljardia euroa), suuret polttolaitokset ja päästöjen hallinta (yhdessä noin 40 miljoonaa euroa). Suluissa olevat summat ovat karkeita arvioita niistä kustannuksista, joita EU:n direktiivien täytäntöönpano aiheuttaa uusille jäsenvaltioille ja ehdokasvaltioille (4, 5, 6).

Taulukoissa 1 ja 2 on yhteenveto ympäristöyritysten markkinamahdollisuuksista uusissa Keski- ja Itä-Euroopan EU-valtioissa (Tšekki, Slovakia, Unkari, Slovenia ja Puola) sekä Kaakkois-Euroopan ehdokasvaltioissa (Bulgaria, Romania, Kroatia, Makedonia, Serbia ja Montenegro, Albania sekä Bosnia ja Hertsegovina) (7, 8). Myös Baltian maille on saatavissa yksityiskohtaiset, mutta ehkä hieman vanhentuneet markkina-arviot (9).

**Taulukko 1.** Ympäristörytysten markkinamahdollisuudet uusissa EU:n jäsenvaltioissa.

	Tšekki	Slovakia	Unkari	Slovenia	Puola
<b>Energia ja ilmastonsuojelu</b>					
Kiotoa sopimuksen mukainen vähennysjakso 2008–2010	Vähennys 8 % (vuodesta 1990)	Vähennys 8 % (vuodesta 1990)	Vähennys 8 % (vuodesta 1990)	Vähennys 8 % (vuodesta 1990)	Vähennys 6 % (vuodesta 1988)
Jl-muistio Suomen kanssa JIP=joint implementaation projekt			Kyllä		Kyllä
Uusiutuvat energialähteet	Tuulivoima (minimimaksu 9,4 s/kWh), vesivoima	Biopolttoaineet, tuulivoima, vesivoima	Tuulivoima, biokaasu	Vesivoima, biopolttoaineet	Biopolttoaineet, tuulivoima, maaenergia
Energiatohkeus	Rakennusten saniteettijärjestelmät, sähkön ja lämmön yhteistuotanto	Rakennusten saniteettijärjestelmät, tuotantolaitokset, kaukolämpö, sähkön ja lämmön yhteistuotanto	Rakennusten saniteettijärjestelmät, kaukolämpö, sähkön ja lämmön yhteistuotanto	Rakennusten saniteettijärjestelmät, kaukolämpö	Rakennusten saniteettijärjestelmät
<b>Jätehuolto</b>					
Kaatopaikkasijoitus	Ei tärkeä	Pienten paikallisten kaatopaikkojen sulkeminen	Kaatopaikkojen rakentaminen (20 milj. m <sup>3</sup> )	Alueellisten yhdyskuntajätteiden kaatopaikkojen rakentaminen ja laajentaminen	Vanhojen yhdyskuntajätteen ja teollisuuden kaatopaikkojen kunnostaminen
Jätteenpolto	Lisäkapasiteetti n. 1,4 milj. t/a yhdyskuntajätteelle	Ei kovin tärkeä	Olemassa olevien laitosten modernisointi (esim. Budapest)	Tärkeä Uusien laitosten rakentaminen asutuskeskittyneen läheisyyteen	Ei kovin tärkeä
Kierrätys, jätekeräys	Keräys- ja hyödyntämisyjärjestelmien modernisointi, kompostointilaitokset	Keräys- ja hyödyntämisyjärjestelmien modernisointi, kompostointilaitokset	Keräys- ja hyödyntämisyjärjestelmien modernisointi, kompostointilaitokset	Biojätteen keräys, kompostointilaitokset	Keräys- ja hyödyntämisyjärjestelmien modernisointi, kompostointilaitokset
<b>Vesi/jätevesi</b>					
Jätevesien käsittely	Uusien jätevedenkäsittelylaitosten rakentaminen yli 2 000 asukkaan keskittymille vuoteen 2010 mennessä	Uusien jätevedenkäsittelylaitosten rakentaminen yli 10 000 asukkaan keskittymille vuoteen 2010 mennessä	Uusien jätevedenkäsittelylaitosten rakentaminen, tavoitteena järvien suojelu	Etusijalla juomaveden laatu (Karst) ja rannikko	Etusijalla juomaveden laatu, Itämeri
<b>Ilmanlaatu</b>					
Ilman saasteet	Siirtyminen hiilestä maakaasuun (suunnitelmassa hiilivoimaloiden lopettaminen)	Rikinpoisto lämpövoimalaitoksiin	Julkisen liikenteen modernisointi	Julkisen liikenteen modernisointi	Rikinpoisto lämpövoimalaitoksiin

**Taulukko 2.** Ympäristöyritysten markkinamahdollisuudet EU:n ehdokasvaltioissa.

	Kaakkois-Eurooppa	Albania	Makedonia	Bosnia ja Hertsegovina
<b>Energia ja ilmastonuojelu</b>				
Jl-muistio Suomen kanssa JIP=joint implementation project	Bulgaria, Romania, Kroatia			
Energiatehokkuus	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla energiahäviöiden vähentäminen ja rakennusten eristäminen	Etusijalla energiahäviöiden vähentäminen	Etusijalla energiahäviöiden vähentäminen
Lämpövoimaloiden kunnostaminen	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla vesivoima	Etusijalla vesivoima	Etusijalla vesivoima
Ydinvoimaloiden kunnostaminen	Bulgaria, Romania	Ei ensisijainen energialähde	Ei ensisijainen energialähde	Ei ensisijainen energialähde
<b>Jätehuolto</b>				
Kaatopaikat	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla viiden alueellisen kaatopaikan rakentaminen, pilaantuneiden alueiden kunnostaminen	Etusijalla kuuden alueellisen kaatopaikan rakentaminen, pilaantuneiden alueiden kunnostaminen	Etusijalla viiden alueellisen kaatopaikan rakentaminen, pilaantuneiden alueiden kunnostaminen
Kierrätys, jätteiden keräys	Bulgaria, Romania, Kroatia	Jälleenrakennus	Jälleenrakennus	Jälleenrakennus
Jätteenpolto	Bulgaria, Romania, Kroatia	Sairaalajätteen ja vaarallisen jätteen poltto	Sairaalajätteen ja vaarallisen jätteen poltto	Sairaalajätteen ja vaarallisen jätteen poltto

	Kaakkois-Eurooppa	Albania	Makedonia	Bosnia ja Hertsegovina
<b>Vesi/jätevesi</b>				
Vedenpuhdistamosten rakentaminen	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla suurten puhdistamoiden rakentaminen	Etusijalla suurten puhdistamoiden rakentaminen (Ohridsee)	Etusijalla suurten puhdistamoiden rakentaminen
Jätevesiverkostojen rakentaminen/vesihuolto	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla	Etusijalla	Etusijalla
Veden laatu	Bulgaria, Romania, Kroatia	Etusijalla	Etusijalla	Etusijalla
<b>Ilman laatu</b>				
Ilman saasteet	Bulgaria, Romania, Kroatia	Lämpövoimaloiden savukaasujen rikinpoisto; biopolttoaineet, aurinkoenergia, vesivoima	Lämpövoimaloiden savukaasujen rikinpoisto; pienet vesivoimalat	Lämpövoimaloiden savukaasujen rikinpoisto; pienet vesivoimalat

## Lähteet

- 1) COM (2004) 38 final
- 2) Internationale Technologieprognosen im Vergleich, VDI 2004
- 3) COM (2002) 122 final, and references therein
- 4) Meeting the EU Environmental acquis, cost estimates for accession candidates (World bank 2002)
- 5) The Challenge of Environmental Financing in the Candidate countries, ISPA Management Committee (2000)
- 6) NEAP of the republic of Croatia, 2002, NEAP of the republic of Albania, 2002
- 7) Umwelttechnikmärkte in Mittel- und Osteuropa, Tschechien, Slowakei, Ungarn, Slowenien und Polen, Wirtschaftskammer Österreich, 2004
- 8) Umwelttechnikmärkte in Südosteuropa, Bulgarien, Rumänien, Kroatien, Makedonien, Serbien und Montenegro, Albanien, Bosnien und Herzegowina, Wirtschaftskammer Österreich, 2005
- 9) The environmental technology market in Central and Eastern Europe, Estonia, Latvia and Lithuania, The Regional Environmental Center, 1998



# OSA 2

## Puheenvuoroja

Seminaariraportti Ympäristötekniikan

ennakointi 2015+



# Miten päästöjä vähennetään 100 % – Ilmasto, teknologia ja politiikka

Oras Tynkkynen  
kansanedustaja

Ilmastonmuutosta voidaan perustellusti pitää vuosisadan vakavimpana uhkana. Päästöjen vähentäminen ei ole yllälyä, johon voi satsata, jos sattuu olemaan varaa ja halua. Ilmastonsuojelu on ihmiskunnan elinehto.

Esimerkiksi mustassa Afrikassa sadot voivat ilmastonmuutoksen vuoksi huvia viidenneksen. Puolet Amazonasin sademetsistä saattaa muuttua ruohoaavikoiksi lämpenemisen ja kuivumisen takia. Ilmastonmuutos uhkaa tappaa sukupuuttoon ehkä jopa yli miljoona maaeliölajia vuosisadan puoliväliin mennessä. Kesän 2003 helleaalto tappoi Euroopassa 20 000–30 000 ihmistä, mutta 40 vuoden päästä useampi kuin joka toinen kesä voi olla vielä kuumempi.

Ilmastonmuutos ei ole vain kaukaisen tulevaisuuden uhka, vaan se näkyy jo nyt. Esimerkiksi Maailman terveysjärjestön WHO:n mukaan 150 000 ihmistä kuolee ilmastonmuutoksen takia joka vuosi. Kuivuudesta kärsivä maa-ala on tuplaantunut 30:n viime vuoden aikana. Puolet tästä johtuu lämpenemisestä, sillä korkeammat lämpötilat tarkoittavat enemmän haihtumista.

Niin ikään 30:n viime vuoden aikana trooppisten hirmumyrskyjen kesto ja tuulen nopeudet ovat kasvaneet puolella. Myrskyjen tuhoisuus seuraa meren pintaämpötilaa, joka on samassa ajassa noussut puoli astetta.

## Kuinka paljon päästöjä pitää vähentää?

Euroopan unioni asetti jo vuonna 1996 tavoitteeksi rajoittaa lämpeneminen kahteen asteeseen esiteolliseen aikaan verrattuna. Jos lämpeneminen ylittää tuon riskirajan, ilmastonmuutoksen uhkat kasvavat dramaattisesti. Lämpötila on noussut jo noin 0,7 °C, joten pelivaraa on jäljellä enää runsaan asteen verran.

Kahden asteen tavoitteen saavuttaminen edellyttää maailman päästöjen kääntämistä laskuun ensi vuosikymmenen loppuun mennessä ja puolittamista vuosisadan puoliväliin mennessä. Teollisuusmaissa päästöjä on vähennettävä selvästi enemmän ja nopeammin: 30 % vuoteen 2020 ja 80 % vuoteen 2050 mennessä.



Useiden viime vuosina julkaistujen tutkimusten mukaan lämpeneminen saattaa kuitenkin olla aiemmin arvioitua nopeampaa. Esimerkiksi hiukkas-päästöjen lämpenemistä peittävä vaikutus poistuu vähitellen, ja ilmasto saattaa osoittautua arvioitua herkemäksi päästöille. Tutkijoiden mukaan kasvien hiilensitomiskyky on jo heikentynyt ja metaani alkanut vapautua Siperian ikiroudan alta.

Tasaisen ja ennustettavan lämpenemisen sijaan ilmasto saattaakin muuttua epälineaaraisesti ja peruuttamattomasti. Äkillisesti kiihtyvä ilmastomuutos on useimpien tutkijoiden mukaan low probability, high impact -tyyppinen riski; sen todennäköisyys on nykytietämyksen valossa pieni, mutta vaikutukset olisivat vanhatestamentillista mittaluokkaa.

Huonoimmassa tapauksessa saatamme kuitenkin vielä jossain vaiheessa joutua tilanteeseen, jossa ilmastokatastrofien välttämiseksi maailman päästöt on leikattava käytännössä nolnaan. Tällöin tarvitaan myös ratkaisuja, joilla voidaan päästä negatiivisiin päästöihin (esimerkiksi nielu, biokaasu sekä biomassassa yhdistettynä hiilen talteenottoon ja varastointiin).

## Tulevaisuuden lupaavat teknologiat

Päästöjen ripeä vähentäminen merkitsee paitsi huikeaa haastetta teollisille yhteiskunnille, myös valtavaa investointitarvetta erityisesti energia- ja liikennesektoreilla – ja samalla jättimäisiä markkinoita kestäväälle ilmastoteknologialle.

Ilmastokeskustelussa lasketaan osittain aiheellisesti paljon uuden teknologian varaan. Tulevaisuuden lupaaviksi teknologioiksi on nostettu erityisesti fuusioenergia, vetytalous sekä hiilen talteenotto ja varastointi (carbon capture and storage, CCS).

Hiilen talteenotossa ja varastoinnissa periaatteena on ottaa energiantuotannossa ja teollisuuden prosesseissa syntyvä hiilidioksidi talteen ja sitoa se niin, ettei se pääse vapautumaan ilmakehään. Hiiltä on ehdotettu varastoitavaksi muun muassa merien pohjaan, tyhjiin öljy- ja kaasulähteisiin sekä suolaisen veden täyttämiin, huokoiisiin kivikerroksiin.

Teknologialla on kuitenkin edessä vielä monia haasteita. Hiili voi vapautua takaisin ilmakehään, ja erityisesti merivarastointiin liittyy ekologisia riskejä. Pysyvään varastointiin sopivia turvallisia paikkoja ei välttämättä ole paljon suurten päästölähteiden läheisyydessä. Talteenotto myös lisää voimalan polttoaineen kulutusta 10–40 %.

Suurimmat ongelmat ovat kuitenkin tekniikan hinta ja hitaus. Hiilen talteenotto ja varastointi lisäisi fossiililla polttoaineilla tuotetun sähkön hintaa 20–90 %. Vältetyn hiilidioksiditonnin hinnaksi on arvioitu 20–90 Yhdysvaltain dollaria.

Hiilen talteenotto ja varastointi voisi olla käytössä ehkä seuraavina vuosikymmeninä, optimistisimpien arvioiden mukaan jo kymmenen vuoden sisällä.

Tekniikkaa käsittelevän Hallitustenvälisen ilmastopaneelin IPCC:n erityisraportin mukaan sitä hyödynnettäisiin kuitenkin laajassa mittakaavassa lähinnä tämän vuosisadan toisella puoliskolla.

Samat teknisten haasteiden, korkean hinnan ja hitauden perusongelmat liittyvät mutatis mutandis myös muihin lupaaviin teknologioihin. Ihmeratkaisuja ei siis ole näköpiirissä.

Aikaa viivyttelyyn ei ole. Kahden asteen tavoitteen saavuttamiseksi teollisuusmaiden on leikattava päästöjään 30 % jo seuraavien 15 vuoden sisällä.

Päästörajoitusten lykkääminen vain kymmenellä vuodella merkitsisi tarvittavan vuosittaisen päästöleikkaustahdin tiukentamista puolella, mikä puolestaan kasvattaisi leikkausten sosiaalisia ja taloudellisia kustannuksia olennaisesti. Pitkäjänteinen ja ennakoiva ilmastopolitiikka on myös ja ennen kaikkea talouden ja yritysten etu.

Lupaavat teknologiat eivät siis ehdi merkittävässä määrin apuun ilmastonsuojelun savotan ensi vuosikymmenillä. Niistä voi kuitenkin olla hyötyä pitkällä aikavälillä.

## Kestävää teknologiaa kaupallistettava ripeästi

Päästöjen vähentämiseksi on ensisijaisesti hyödynnettävä jo käytössä ja näköpiirissä olevia tekniikoita. Mikään yksittäinen ratkaisu ei pelasta meitä ilmastomuutokselta, vaan tarvitaan laajaa kirjoa erilaisia tekniikoita. Esimerkkejä teknis-taloudellisesti jo nyt tai lähitulevaisuudessa toteuttamiskelpoisista ratkaisuista ovat muun muassa

- matalaenergiatalot
- teollisuuden moottorien säästötekniikat (muun muassa taajuusmuuntimet)
- hajautettu energiantuotanto (muun muassa mikro- ja mini-CHP, integroitu aurinkoenergia, polttokennot)
- voimaloiden rakennusasteen nosto kaasutuksella (esimerkiksi teollisuuden prosessivoima)
- jäteperäinen biokaasu
- metsähake ja peltobiomassa
- tuulivoima.

Ilmastonsuojelun ongelma ei siis ole niinkään se, ettei tekniikoita päästöjen vähentämiseksi riittäisi jo nykyisellään yllin kyllin. Tekniikat on vain kaupallistettava ja otettava ripeästi käyttöön.

Gloobaalien päästövähennysten kannalta on tärkeää kehittää ratkaisuja, joita voidaan myös soveltaa globaalisti. Ydinvoiman sopivuudesta päästöjen vähentämiseen Suomen kaltaisissa maissa voidaan olla perustellusti monta

mieltä, mutta onnettomuusriskin ja ydinaseiden leviämisen vaaran takia harvempi tarjoaisi ydinvoimaa ratkaisuksi vaikka Pakistanin, Iranin ja Indonesian kaltaisten maiden energiaongelmiin.

Suomalaisten kannattaa myös miettiä, missä ratkaisuissa meillä olisi maailmalle eniten annettavaa ja mistä me voisimme eniten hyötyä. Vastaus ei tällöin taatusti ole ydinvoima.

Toisinaan on väitetty, että ilmastoteknologian kehittäminen olisi tehokkaampi ja taloudellisempi vaihtoehto Kioton pöytäkirjan jäykiksi haukutuille päästötavoitteille. Teknologiasta puhutaan ikään kuin se syntyisi neitseellisesti ilman poliittista ja taloudellista ohjausta.

Miksi yritysten kannattaisi kuitenkaan kehittää ilmastoteknologiaa ja ottaa sitä käyttöön, jos poliittisilla päätöksillä ei rajoiteta päästöjä? Miksi yritykset maksaisivat esimerkiksi hiilen talteenotosta ja varastoinnista 50 dollaria hiilidioksiditonnilta, jos päästöille ei ole markkinahintaa?

Pelkkä teknologian neitseellinen synnyttäminen ei tuota riittävän nopeita päästövähennyksiä. Teknologian ripeä käyttöönotto vaatii paitsi tutkimuksen ja kehittämisen työntöä, myös politiikan ja talouden vetoa.

Siksi tarvitsemme sitovia ja nopeasti tiukkeneviä päästötavoitteita. Päästövähennysten tarve ei häviä mihinkään riippumatta siitä, mitä Kioton pöytäkirjalle tai EU:n päästökaupalle tapahtuu. Päästövähennyksiä ei pääse pakoon.

## Suhteellisuudentaju muistettava

On ilmeistä, että maailman päästöjen puolittaminen väestön ja talouden kasvassa nopeasti on ennennäkemätön haaste. Muutos ei tapahdu itsestään, eikä se tapahdu ilmaiseksi. Kannattaa silti säilyttää suhteellisuudentaju.

Hirmumyrsky Katrina tappoi Yhdysvalloissa noin 1 300 ihmistä. Vakuutetut tuhot nousevat 34 miljardiin ja kustannukset liittovaltiolle 150–200 miljardiin dollariin.

Toisaalta tuulivoima voisi saavuttaa globaalisti täysin kilpailukykyisen aseman edullisimmillaan noin 100 miljardin euron satsauksella. Tuulivoiman kaupallisen läpimurron hinta voisi siis olla pienempi kuin yhden ainoan suurhurrikaanin kustannukset. Hyvä vertailukohta on myös ydinvoiman kehittämiseen käytetyt 335 miljardia dollaria julkista tukea.

Ilmastopolitiikan sadan miljardin euron kysymys kuuluukin: kummasta maksamme mieluummin, kestävästä ilmastoteknologiasta vai ilmastonmuutoksen tuhoista?

Kirjoittaja on vihreiden ilmasto- ja energiapolitiikkaan erikoistunut kansanedustaja.

oras.tynkkynen@eduskunta.fi  
www.oras.net

# Ympäristöteknologia ja kuluttajavaikutus

Ilkka Halava  
johtava konsultti  
MDC RISC International Oy

## Johdanto

Teknologian kaupallistamisen onnistuminen mitataan liikevaihtona, -voittona, asiakasmäärinä, markkinaosuuksina sekä markkinoille tulon nopeutena. Kaupallistamattomalla teknologialla ei ole olemisen oikeutta muualla kuin tutkimus- ja kehitysympäristössään. Onnistuminen riippuu siitä, miten hyvin teknologiset ratkaisut on sovitettu ostaja- ja käyttäjäkunnan tarpeisiin, toiveisiin, käyttöympäristöihin, -tilanteisiin sekä latenttina vaikuttaviin tärkeimpiin arvopäämääriin. Akuutit, asiakkaankin tunnistamat B2B-tarpeet ovat tuotekehittäjille helppo tuotekehitysprojektin kohde. Entä kun kyseessä on kuluttaja, jonka hahmottumattomiin tavoitteisiin vastaamalla teknologia voisi luoda poikkeuksellisen arvokkaita ratkaisuja? Tai kun teknologian levittämiseen tarvitaan monimutkaista ja -portaista kuluttajavaikutusta? Ympäristöteknologian tuotekehityshankkeiden tulevaisuus ei ole yksinomaan sitä, että asiakkaat toimittavat tuoteideat ja -konseptit kehittäjätiimin pöydälle valmiina. Niiden etsimiseen, tunnistamiseen ja tuotekehitysprosessin ohjaamiseen tarvitaan kasvavassa määrin kuluttajanäkökulman tuottavia ennakointivälineitä.

## Sosiokulttuuriset trendit ohjaavat yksilön valintoja ja toimintaa

RISC Monitor -tutkimusohjelma on 30 vuoden ajan syväluodannut kuluttajien käyttäytymisen syitä tutkimalla arvojen, asenteiden, tarpeiden, tavoitteiden, elämäntapojen ja hyvän elämän kuvan muodostumista. Tutkimusohjelma käyttää sosiaalitutkimuksen välineistöä eikä siten lukeudu markkinatutkimuksen piiriin. Sen metodiiikassa keskeisessä roolissa ovat sosiokulttuuriset trendit eli arvopäämääriä heijastavat ”asennekimput”, joita analysoimalla ja yhdis-

tämällä valintakäyttäytyminen voidaan loogisesti yhdistää yksilön arvoihin. Sosiokulttuuristen trendien avulla on mahdollista ennakoida merkittävintä yhteiskuntaa muuttavaa voimaa, kuluttajien hyvän elämän kuvaa toteuttavaa valintakäyttäytymistä. RISC-tutkimusverkosto kattaa yli 40 maata, käytännössä kaikki kaupallisesti mielenkiintoiset alueet maailmassa. Siten on mahdollista ymmärtää myös niitä virtauksia, jotka tulevat Euroopan, Aasian tai Yhdysvaltojen suunnalta Suomeen, samoin kuin virtauksia, jotka vahvuudestaan huolimatta eivät rantaudu Pohjolan perukoille. Ehkä ympäristötekniikan kannalta kaikkein kiinnostavinta on kuitenkin tunnistaa niitä sosiokulttuurisia piirteitä, trendejä tai muutosvoimia, joissa Suomi on muita maita edellä tai joissa etulyöntiasema voisi olla luonteva.

Sosiokulttuurinen muutos on hitaan jakson jälkeen 1990-luvun alusta nopeutunut merkittävästi. Elämäntapojen variaatioiden määrä, sosiokulttuurinen diversiteetti, on kasvanut vauhdilla. Tämä kertoo kasvavasta halustamme toteuttaa juuri sellaista elämää, joka omista toiveissamme piirtyy. Me olemme aina unelmoineet, mutta vasta kymmenen vuoden jaksolla olemme myös kiihkeästi muokanneet elämäämme kohti yksilöllistä toivetilaa. Aiemmin suomalaisen yhteiskunnan kehitystä ovat muovanneet kollektiiviset hyvän elämän toiveet, joihin ovat kuuluneet muun muassa turvallisuus, lasten terveys, hyvä koulutus ja kattava sosiaaliturva. Hyvinvoinnin kehittyessä yhtenäiskulttuuria vahvistaneet yhteiset tavoitteet ovat korvautuneet suurella joukolla erillisiä, pienryhmä- ja yksilökohtaisia tavoitteita. Tämä fragmentoituminen asettaa kaikelle kuluttajamarkkinoille tähtäävälle tuotekehitykselle uusia reunaehtoja samoin kuin B2B-markkinoille, sillä tuotekehityksestä, hankinnoista ja ostoista vastaavina sosiokulttuurinen taustamme vaikuttaa valintoihimme yritysten ja yhteisöjen prosessien sekä policyjen ohella.

## **Erilaiset kohderyhmät – ympäristötekniikan edelläkävijät**

RISC Monitor -tutkimusohjelma luo kaikesta tutkimustiedostaan työkaluja. Sosiokulttuuristen trendien ryhmittelyn avulla voidaan luoda keskeiset selittävät akselit. Niillä sosiokulttuurinen avaruus voidaan jakaa elämäntyyliyhmiiksi, joiden sisäinen samankaltaisuus on luonteeltaan pysyvää ja geneeristä. Kun sosiokulttuurinen avaruus jaetaan neljään osaan muutos-pysyvyys- sekä vastuu-nautinto-akseleilla, syntyy neljä sosiokulttuurista ryhmää, joita voidaan perustellusti käyttää jäsentämään elämäntyylien ja valintojen erilaisuutta:

### *Näkemyssuomalaiset (muutos ja vastuu)*

Leimallista näkemyssuomalaisille on vastuu ja välittäminen, kiinnostus yhteiseen hyvään liittyviin asioihin. Muutosta haetaan kyseenalaistamalla, koko-

naisvaltaista näkemystä hakemalla ja vaikuttamalla. Tälle ryhmälle on tyypillistä olla esimerkkinä ja joskus myös opastaa muitakin elämään periaatteittensa mukaisesti.

**Avainsanoja:**

*Syyt ja seuraukset*  
*Yhteiskunnallinen toiminta*  
*Sosiaalinen vastuu*  
*Kulttuuri*  
*Luonto, ympäristö*  
*Minä ja muut*  
*Henkisyys ja hyvinvointi*

*Ilmiösuomalaiset (muutos ja nautinto)*

Elämänrytmi on nopeatempoista, ja uutuudet ja uudet asiat kiinnostavat ennen kuin muut ovat niistä edes tietoisia. Uusiin haasteisiin tartutaan siis innolla, mutta sujuvasti vanhaa unohtaen. Muoti, teknologia ja yleensä kulutus ovat keinoja nauttia elämästä.

**Avainsanoja:**

*Uudet virikkeet ja vaihtelunhalu*  
*Kova vauhti, stressi*  
*Kilpailu, haasteet ja riskit*  
*Hauskuus, nautinto, muoti ja trendikkyys, kulutus*  
*Haasteet*  
*Tunne-elämykset*

*Perinnesuomalaiset (pysyvyys ja vastuu)*

Perinnesuomalaiset haluavat ensisijaisesti toimia säilyttääkseen ne hyvät asiat, joita yhteiskunnassa tällä hetkellä on. Muutosta ei siis aktiivisesti haeta, mutta siihen kyllä sopeudutaan. Perinteet ja rutiinit tekevät heille arjesta mukavan ja antavat suuntaviivat uusien asioiden omaksumiselle.

**Avainsanoja:**

*Ei suurta tarvetta muutokseen*  
*Käytännöllisyys ja faktat*  
*Järjestelmällisyys*

*Yhteistyö ja vastuuntunto  
Rutiinit ja perinteet, jatkuvuus  
Tuoteuskollisuus  
Välittäminen*

### *Mukavuussuomalaiset (pysyvyys ja nautinto)*

Jos ilmiösuomalaiset luovat uusia asioita, mukavuussuomalaiset seuraavat niitä innokkaasti. Nautintoa haetaan mielellään, mutta useimmiten niiden asioiden joukosta, jotka jo tunnetaan. Siksi he kokeilevat asioita vasta, kun ne ovat jo ehtineet vakiintua muidenkin käyttöön.

#### **Avainsanoja:**

*Vapaus, ei juurikaan vastuu  
Vähäinen kiinnostus yhteisöllisiin asioihin  
Elämä on tässä ja nyt  
Tunnekokemukset ja nautinto  
Kilpailu, riskit  
Päämäärätietoisuus*

Tätä niin sanottua RISC-nelikenttää on käytetty jo lähes kymmenen vuoden ajan yleisesti suomalaisten yritysten ja julkisen sektorin suunnittelutyössä, kun halutaan kohdentaa tuotekehitystä, markkinointia, mainontaa tai vaikkapa jäsenhankintaa. Nelikentän yleisyys tarjoaa ympäristötekniikan kehittäjille mahdollisuuden seurata erityisesti näkemysuomalaisten ryhmän kehitystä, sillä se on ympäristöajattelun edelläkävijäryhmä. Ryhmään kuuluvien suomalaisten ajattelussa erityisen tärkeitä asioita ovat kestävä kehitys, tasapainoinen elämä luonnon kanssa, kierrätys ja kulutuksen selektiivisyys sekä ympäristöinnovaatiot. Niinpä ympäristötekniikan innovaatioiden suhteen on olennaista saada näkemysuomalaisten hyväksyntä ja tuki uusille läpimurroille. Innovaatioiden leviämisen dynamiikkaan kuuluu myös se, että tämä ryhmä haluaa toimia ympäristölle hyödyllisten innovaatioiden aktiivisina puolestapuhujina ja levittäjinä.

### **Suomalaisten tunnusomaisia piirteitä**

Eurooppalaisessa vertailussa suomalaiset ovat erityisen joustava, autonomiaan pyrkivä kansa. Meille on tyypillistä ymmärtää hyvin asioiden kausaliteettia ajan ja paikan suhteen. Ymmärrämme poikkeuksellisen laajasti, miten tekemme vaikuttavat muualla sekä mikä niiden vaikutus on tuleville sukupolville. Tämä sosiokulttuurinen piirre on yksi niistä profiloivista piirteistä, minkä vuoksi

meidän on hyvä tiedostaa ympäristöteknologian ja siitä ponnistavan liiketoiminnan mahdollisuudet Suomessa.

## Ympäristöteknologian kaupallistaminen

Suomessa on hyvä maaperä ympäristöinnovaatioille, vaikka kiinnostuksemme käytännönläheiseen ympäristönsuojeluun ei ole sen paremmin vahva kuin nousevakaan trendi. Suomalaiset ovat valmiit vastaanottamaan innovaatioita, joilla on joko selkeä parantava merkitys tai konstailematon yhteys työhön ja työntekoon. Pelko ja epävarmuus muokkaavat markkinoita ympäristöinnovaatioille suotuisaksi, sillä haluamme entistä vahvemmin säilyttää sen, mikä meillä jo nyt on. Ympäristönsuojelu ei itsessään riitä innovaation kärjeksi, vaan lisäksi tarvitaan toiminnallisia, ymmärrettäviä parannuksia arkiseen elämäämme. Mikäli ympäristöteknologian uusiin, kuluttajia koskettaviin tuoteinnovaatioihin voidaan jollakin tavoin kytkeä helppous, status ja nautinto, niin tämä on suositeltavaa. Toisaalta RISC-tutkijat ovat jo 1990-luvulla suositelleet ympäristöajattelun kohdalla vaikuttamista lakien ja asetusten kautta.

Ilkka Halava toimi viiden vuoden ajan MDC RISC International Oy:n toimitusjohtajana. Halavalla on yli 17 vuoden työkokemus kuluttajamarkkinoinnin, myynnin, tuotekehityksen, tuotehallinnan, liikkeenjohdon konsultoinnin sekä divisioona- ja yritysjohtamisen alueella. Halava valmistele parhaillaan väitöskirjaa Turun kauppakorkeakoulun taloussosiologian laitokselle.



# Koillisväylä: navigointi teknologiakartalla

Petri Vasara  
toimialajohtaja  
Jaakko Pöyry Consulting

## Saapuuko laiva koskaan perille?

Osakeyhtiöiden syntyyn liittyy tiiviisti ”Itä-Intian kilpajuoksu”. Toisin sanoen etenkin Alankomaissa kerättiin pääomaa, varustettiin laiva kohti Itä-Intiaa mausteiden toivossa – ja lyötiin vetoa siitä, että laiva saapuu takaisin arvokkaan lastinsa kanssa.

Tämä historiallinen tapahtumasarja käy analogiaksi teknologian ennakoinnille. Teknologioita on yli kaiken hahmotuskyyvyn, ja kehitystahti kiihtyy. Ne lähtevät liikkeelle ison yrityksen kehitysosastolta, yliopiston spinoffista tai venturistin rahoittamasta pienyrityksestä ja pyrkivät satamaan. Useimmat ajavat karille tai uppoavat matkalla jäljettömiin. Osan ohittaa matkalla toinen, korvaava teknologia – ennen kuin ensimmäinenkään teknologia on ehtinyt korvata varsinaista kohdettaan, olemassa olevaa teknologiaa.

Ympäristöteknologiaan pätevät samat säännöt, mutta se läpäisee muut alueet. Näin ollen sitä voi verrata (myönteisessä, elinkelpoisuusmielessä) rottiin, jotka ovat kaikkien teknologiaalaivojen kyydissä. Saapui mikä tahansa teknologialasti perille, mukana on ympäristöteknologiaa.

## Ympäristöteknologian ennakkoinnin paradoksi

Ympäristöteknologian ennakkoinnissa pätee paradoksaalinen mutta hyvin perusteltavissa oleva peukalosääntö:

*Asiantunteva ympäristöteknologian ennakointi keskittyy vähemmän ympäristöön ja vähemmän teknologiaan.*

Miksi? Koska ympäristöteknologia on teknologiaa (langatonta teknologiaa, prosessiteknologiaa, kemianteknologiaa, bioteknologiaa, nanoteknologiaa, elektroniikkaa, automaatiota ja niin edelleen), jonka määrittelee tarkoitus, ei

luonne. Tämän takia ympäristöteknologian haku perinteisiltä ympäristöalueilta on tuomittu hukkaamaan suuren osan teknologiasta ja vielä suuremman osan markkinapotentiaalista. Koska ympäristö läpileikkaa kaikki klusterit, on lisäksi keskityttävä ongelmiin ja eri sektoreiden ominaispiirteisiin eikä siihen, mitä nyt on totuttu pitämään ympäristöteknologian tarkasti rajattuna alueena.

Eli ympäristöteknologia on teknologioiden Hamlet. Avonin bardin sanoja mukaillen

*there are more things in heaven and earth and environmental technology, Horatio, than are dreamt of in your philosophy.*

## Suuri konvergenssi

Teknologian ennakkoinnissa on oma suuri konvergenssinsa. Teknologian osaa-minen ei enää läheskään riitä. Ennakkoinnissa on otettava huomioon

- ympäristöasiat
- teknologia
- talous
- kuluttajatrendit ja sosiaaliset muutokset
- säädökset ja lait
- design

ja ymmärrettävä kukin alue tarpeeksi syvällisesti. Esimerkkinä teknologiasta, jonka suuryritys otti suurin toivein käyttöön unohtaen ympäristöasiat, ovat ”itsensä 48 tunnissa tuhoava” DVD ja Disney. Yhtiöstä DRM (Digital Rights Management) ja kuluttajan etu (ei tarvetta palauttaa DVD:tä vuokraamoon) olivat ilmeisesti niin vakuuttavat argumentit, että jätteen tahallinen synnyttäminen ilman kierrätysuunnitelmia ei painanut vaa’assa toisella puolella tarpeeksi. Pitkähkö taistelu jatkuu tätä kirjoitettaessa, mutta Disney on joutunut peräytymään suunnitelmistaan suuressa määrin.

## Miten navigoida teknologiakartalla

Näin suuret vaatimukset ennakkoinnille merkitsevät, että ihmisen kyky omak-sua kaikki tämä materiaali perinteisellä tavalla, lukemalla, ylittyy moninker-taisesti. Tarvitaan arsenaali apuvälineitä – teknologiakarttoja, trendikarttoja, barometreja (ei haastattelupohjaisia, vaan muuten saatavilla olevaan tietoon perustuvia), monipuolisia tietokantoja, integroivia ajatusmalleja ja runsas joukko muuta aseistusta. On palattu vanhaan karttatyylisiin, jossa löytyy tunte-mattomia alueita, vaarallisia alueita (”Here be monsters”) ja poikkeavuuksia. Tutkimusmatka näillä kartoilla on kuitenkin huomattavasti vaarattomampaa

kuin perinteinen tutkimusmatkailu, joskin aivokapasiteetti on suuremmassa käytössä. Ihmisen intuitio, kumuloitunut asiantuntemus, sormituntuma, ”mutu”: kaikki tämä on jatkuvasti yhtä ratkaisevassa asemassa, mutta se pääsee oikeuksiinsa vasta kun tietokonepalvelijat tekevät raskaimman rutiinityön.

## Suomen tie ympäristöteknologiakartalla

Miten Suomen tulisi navigoida ympäristöteknologiakartalla ollakseen eturivissä sekä oman maansa ympäristöongelmien selvittämisessä että viennissä? Valitkaamme kolme vaihtoehtoa, tutkimusmatkailijavertausa noudattaen:

- vaihtoehto A: Nordenskiöld
- vaihtoehto B: Vasco da Gama
- vaihtoehto C: Marco Polo.

### *Nordenskiöld-reitti*

Suomalaista Nordenskiöldiä kutsutaan yllättävän monessa lähteessä ”ruotsalaiseksi” tutkimusmatkailijaksi. Koska Venäjän valta karkotti Nordenskiöldin Suomesta poliittisten näkemysten takia, on Dalai Lamaa samalla periaatteella syytä kutsua intialaiseksi persoonallisuudeksi. Koska Nordenskiöldin koillisväyläreitti on ”harjoitelma siinä, miten ollaan mahdollisimman lähellä Venäjää mutta vältetään itse maa”, annetaan Nordenskiöld-vaihtoehdon tarkoittaa Venäjä- ja toksisuuspainotusta. Mukana on teknologiamarkkinointi, niin ettei suomalainen ympäristöteknologia muutu ruotsalaiseksi...

### *Vasco da Gama -reitti*

Länsimaiset turistit Goassa voivat kiittää da Gamaa kyseisen paikkakunnan sangen vapaasta ilmapiiristä ja erikoissemasta. Tämä ei kuitenkaan ollut katolilaisen da Gaman tarkoitus, vaan päämäärä oli merireitti Intiaan. Olkoon da Gama -vaihtoehdon merkitys Intia- ja vesipainotus.

### *Marco Polo -reitti*

Poloa on vaihtoehtoisesti pidetty joko Herodotoksen kilpailijana liioittelevan historiankirjoituksen saralla tai sitten yllättävän tarkkana havainnoitsijana, kun tekstin mielikuvituksellisimmat käänteet kuoritaan pois. Vaikka Polon matkat olivat hyvinkin laajat, taianomainen Kiina on Polon tunnusmerkki. Sama maallinen imago näyttää leijuvan Kiinan yllä villedimmissä investointisuunnitelmissä tälläkin hetkellä, ja jälleen täytyisi kaivaa esille totuus huumen takaa. Olkoon Polo-vaihtoehdon merkitys Kiina ja energia.

## Suomen valinta?

On selvää, että EU-rooppa on Suomen pääpainopiste ja kotimarkkina: yhteinen pohja, jolla seistä. Tältä pohjalta ponnistaen voimme, voimavarat järkevästi kohdistuen, yhdistää Nordenskiöld-, da Gama- ja Polo-reitit. Me olemme jo panostaneet ja panostamme ilmasto- ja energiateknologiaan esimerkiksi Tekesin ClimBus-ohjelman kautta. Meillä on vakaata osaamista vedenpuhdistuksen alalla. Kemian osaamisemme on huipputasoa, ja esimerkiksi toksisten alueitten puhdistaminen on osaamisaluettamme. Venäjä on naapurimme, Kiinassa olemme omalta osaltamme läsnä, Intiaa tunnustelemme. Oikeat valinnat teknologiakartalla ja oikeat reitit markkinoilla takaavat meille kokoamme suuremman roolin ongelmien ratkaisussa. Kyse on älykkäistä valinnoista ja tahdosta. Kumpikin on välttämätön osa; mikään ei estä meitä onnistumasta, paitsi ehkä me itse.

# Maailman ympäristömarkkinat

Jari Hietala  
aluejohtaja  
Finpro South East Asia

## Yleistä markkinoista ja tulevaisuuden kehityksestä

- Markkinat kasvavat 560 miljardista Yhdysvaltain dollarista vuonna 2003 744 miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuonna 2010.
- Bio- ja nanoteknologia kasvavat nopeimmin ja ottavat ison osan alan tutkimus- ja kehityspanostuksista.
  - Siirtyminen perinteisestä kohti NBNI-teollisuutta (Nano-Bio-Neural-Info).
- Tavoitteena ovat nollapäästöt.
- Aasian markkinat kasvavat nopeimmin, varsinkin "end of pipe" -bisnes.
- Eurooppa johtaa teknologista kehitystä.
  - Tiheä asutus ja ympäristötietoisuus ovat drivereita.
  - Yhdysvallat seuraa lähellä vahvan teollisuutensa ja Life Science -osaamisensa ansiosta.

## Markkinoiden jakautuminen

- Veden, jäteveden ja lietteen käsittelyn markkina on suurin ympäristöteknologiamarkkinoiden segmentti. Markkina kasvaa lähes 270 miljardiin Yhdysvaltain dollariin vuoteen 2010 mennessä. Kiinteiden jätteiden markkina on toiseksi suurin segmentti. Se kasvaa arvoltaan noin 200 miljardiin.
- Alueellisessa tarkastelussa Pohjois-Amerikan, Länsi-Euroopan ja Aasian markkinat ovat vuoteen 2010 mennessä lähes yhtä suuret ja arvoltaan noin 200 miljardia Yhdysvaltain dollaria. Nopeimmin kasvavat Aasian markkinat.
- Euroopassa Saksa on suurin ympäristöteknologian markkina ja noin puolta suurempi kuin esimerkiksi Ison-Britannian tai Ranskan markkinat.
- Perinteisen "end-of-the-pipe" -teknologian kysyntä jatkaa kasvuaan, mutta nopeimmin kasvavat alan korkean teknologian tuotteet.

## Uusiutuvan energian markkinat

- Uusiutuvan energiateknologian markkinat kasvavat noin 50 miljardin Yhdysvaltain dollarin tasosta noin 70 miljardiin vuoteen 2010 mennessä.
- Nopein kasvu tulee Aasian markkinoilta, joilla markkinavolyymin ennustetaan kaksinkertaistuvan.
- Nopeaa kasvua ennustetaan kaikille uusiutuvan energian sektoreille, vaikka vesivoima edustaakin lähes puolta alan markkinoista.

## Havaintoja ympäristöalan yrityksistä

### Suomi

- Yritykset ovat pääosin pieniä ja Suomen lähialueille suuntautuneita.
- Alalla on noin 200 yritystä, joista 15–20 % toimii kansainvälisesti ja näistä suurin osa Euroopassa.
- Ani harva kykenee tarjoamaan ulkomaisille loppuasiakkaille kokonaisvaltaista palvelua.
- Yritykset ovat keskenään heikosti verkottuneita.
- Yrityksillä on heikko tase ja uskottavuusongelma maailmalla.
- Yritykset ovat voimakkaasti teknologiasuuntautuneita kapean niche-alan toimijoita.
- Myyntikanavien rakentamisessa ja manageerausessa on toivomisen varaa.
- Globaalit menestystarinat ovat harvinaisia.

### Vientimarkkinat

- Loppuasiakkaat varsinkin suurilla markkinoilla ovat megaluokan pelureita. Suomalaisilla on aina uskottavuushaaste.
- Ympäristöbisnes on viime kädessä aina paikallista.
- Uuden (suomalaisen) teknologian vieminen on vaikeaa ilman lähellä olevia referenssejä.
- Useimmissa maissa liiketoiminta on vielä lainsäädäntövetoista paitsi muun muassa Saksassa ja Hollannissa.
- Ala on voimakkaassa murroksessa ja kasvaa kaikilla markkinoilla.
- Innovatiiviset toimijat kehittävät ja etsivät uusia teknologioita.

## Haasteet alan yrityksille Suomessa

### Faktat

- Kyseessä on nopeasti kasvava megabisnes.
- On tapahtumassa teknologinen murros – kovat tutkimus- ja kehityspainostukset kasvattavat riskiä.

- Globaaleja mahdollisuuksia on toistaiseksi huonosti hyödynnetty.
- Kotimarkkinat ovat liian pienet – on kansainvälistyttävä.

### **Mitä pitäisi tapahtua**

- Onko suomalaisilla alan yrityksillä halua kasvaa?
- Verkottuminen Suomessa ja maailmalla.
- Läsnäolo päämarkkinoilla oikein suunnitellulla strategialla.
- Toimialajärjestelyt ja yrityskoon kasvattaminen? Mahdollisuus riskirahoittajille!

# Itä-Euroopan ja Venäjän ympäristöbisneksen mahdollisuudet

Timo Hokkanen  
senior banker  
Euroopan jälleenrakennus- ja kehityspankki

Itä-Eurooppa ja entisen Neuvostoliiton alueet tarjoavat mittavia liiketoimintamahdollisuuksia ympäristöalalla. Jo yksistään Venäjän vesi- ja jätevesiverkostojen korjaaminen on Maailmanpankin arvion mukaan 55 miljardin dollarin urakka. Vesihuollon lisäksi energian tuotanto, jakelu ja käyttö sekä yhdyskuntajätteiden keräys ja käsittely vaativat mittavia investointeja.

Keskeisiä Itä-Euroopan ja entisen Neuvostoliiton ympäristömarkkinan kehitykseen vaikuttavia tekijöitä ovat säätely, kysyntä markkinoilla sekä rahoitus. Itä-Euroopan maat, jotka ovat joko jo liittyneet EU:n jäseniksi tai mukana liittymisprosessissa, poikkeavat jossain määrin Venäjän, Ukrainan ja muiden entisen Neuvostoliiton maista.

## Sääntely ja kansainväliset veloitteet

Sääntelyllä ja kansainvälisillä sopimuksilla (niin sanotut institutionaaliset tekijät) on merkittävä vaikutus ympäristöliiketoimintaan Itä-Euroopassa. Keskeisimpiä institutionaalisia tekijöitä ovat EU:n direktiivit, Kioton ilmasopimus ja kansainväliset ympäristöön liittyvät poliittiset aloitteet, kuten YK:n Millennium Development Goals (MDG) ja Venäjällä EU:n pohjoisen ulottuvuuden ohjelma.

YK:n Kioton ja Johannesburgin kokousten jälkeen vesihuoltoon on kiinnitetty erityistä huomiota. Vaikka Itä-Euroopassa suurin osa väestöstä on vesi- ja viemäriverkostojen piirissä, Maailmanpankin arvion mukaan alueella tarvitaan vuosittain kolme miljoonaa uutta vesiliittymää ja kaksi miljoonaa viemäri liittymää MDG-tavoitteiden saavuttamiseksi.

EU:n direktiivit velvoittavat itse EU:n jäsenvaltioita ja jäsen ehdokkaita harmonisoimaan ympäristölainsäädäntöään. Lisäksi ne ovat esimerkki ja vertailukohta muiden alueen maiden kehittäessä omaa sääntelyään. Esimerkiksi viiden uuden EU-jäsenmaan on vielä täytettävä vuoteen 2015 mennessä Urban Wastewater Treatment -direktiivin vaatimukset, jotka velvoittavat käsittelemään kaiken jäteveden.



## Keskeisiä ympäristöinvestointeja ohjaavat EU-direktiivit ovat seuraavat:

Vesihuolto ja jäteveden käsittely

- Urban Wastewater Treatment Directive
- Drinking Water Directive
- Dangerous Substances into Water Directives
- Nitrates Directive.

Yhdyskuntajätteen käsittely

- Landfill Directive
- Municipal Waste Incineration Directives
- Hazardous Waste Incineration Directive
- Packaging Waste Directive.

Ilmansaasteiden hallinta

- Large Combustion Plants
- Fuel Quality Directives
- Air Quality Directives.

Teollisuuden päästöjen hallinta

- Integrated Pollution Prevention and Control Directive (IPPC)
- VOC Solvents Directive.

Energiantuotanto

- Renewables Directive (RES-E)
- Green Paper on Renewable Energy Sources.

EU-direktiivien ohella Kioton ilmastosopimus ja sitä tukevat toteutusmekanismit, erityisesti Clean Development Mechanism (CDM) ja Joint Implementation (JI), avaavat Itä-Euroopassa uusia rahoitusmekanismeja erityisesti päästökaupan kautta.

## Markkinatekijät

Markkinatekijöiden vaikutuksesta ympäristösektorilla syntyy uusia investointimahdollisuuksia ja kysyntää ympäristötekniologialle. Ympäristömarkkinoiden kehitykseen eniten vaikuttava tekijä alueella on *energian tuotannon, jakelun ja käytön tehokkuus*. Raakaöljyn tynnyrihinnan arvioidaan vakiintuvan yli 40 dollariin pitkälti tulevaisuuteen. Keski-Euroopan energiantarpeen tyydyttäminen voi perustua pääosin vain maakaasun käytön lisäämiseen, mikä johtaa Venäjän ja valtion kaasuyhtiön Gazpromin otteen vahvistumiseen Keski- ja Itä-Euroopan energiamarkkinoilla. EU:n päästökauppajärjestelmä on lähtenyt kritiikistä huolimatta käyntiin.

Alueen markkinoiden kannalta on huomattava myös energiasektorin lähtötilanne. Energian käytön tehokkuus on kertaluokkaa alempi kehittyneisiin teollisuusmaihin verrattuna. Uusien EU-jäsenmaiden energiaintensiteetti on kaksinkertainen EU:n keskitasoon verrattuna ja Venäjällä nelinkertainen. Tämä johtuu perinteisesti alhaisesta energiahinnasta ja siitä seuraavasta tuhlaavasta energiankäytöstä. Sähkön- ja lämmöntuotanto on tehotonta, tuotantolaitosten käyttöasteet alhaisia ja jakeluverkostojen hävikit suuria.

Yhdyskuntapalvelujen osalta keskeisiä vaikuttavia tekijöitä ovat *palvelujen tuotannon hajauttaminen ja kaupallistaminen sekä niiden laadun ja tehokkuuden parantaminen*. Kunnan tai kaupungin tasolle hajauttamisen lisäksi yksityisten palveluntuottajien mukaantulo on alkanut muun muassa vesihuollossa. Kaupallistaminen tarkoittaa ensi vaiheessa tuotantokustannuksia vastaavien hintojen perimistä kuluttajilta ja sitten tariffien korottamista kattamaan myös investointien vaatimaa rahoitusta. Yksityissektorin mukaantulo palvelujen tuotantoon tai palvelujen ulkoistaminen yksityisille yrityksille on alkamassa erityisesti vesihuollossa ja yhdyskuntajätteen käsittelyssä.

## Rahoitus

Itä-Euroopan ympäristösektorin rahoituksesta ovat vastanneet pitkälti kansainväliset rahoituslaitokset, kuten Maailmanpankki-ryhmään kuuluva Kansainvälinen jälleenrakennus- ja kehityspankki (IBRD), Euroopan jälleenrakennus- ja kehityspankki (EBRD), Pohjoismaiden investointipankki (NIB) ja enenevässä määrin myös Euroopan investointipankki (EIP). Lisäksi EU:n ohjelmat, kuten ISPA, Phare, Tacis ja Separd, ovat merkittäviä ympäristösektorin rahoittajia. Kansallisen rahoituksen osuus on kuitenkin noussut merkittävämmäksi erityisesti Venäjällä.

EBRD on alueen ympäristöinvestointien suurin yksittäinen kansainvälinen rahoittaja. Vuosina 1996–2004 EBRD rahoitti 49 vesihuoltoprojektia noin 830 miljoonalla eurolla. Kaupallisten pankkien ja avustajien osuus hankkeissa oli yli 1,5 miljardia euroa. Yhdyskuntajätteen käsittelyä pankki on rahoittanut viidessä projektissa yhteensä 54 miljoonalla eurolla, ja kaukolämpöön pankki on investoinut 95 miljoonaa euroa viidessä projektissa.

Energiansäästö ja uusiutuvat energialähteet ovat eräs EBRD:n painopistealue. Vuosina 2000–2004 pankki rahoitti 42 projektia yhteensä noin 500 miljoonalla eurolla. Pankki pyrkii vastaisuudessa lisäämään rahoitusta muun muassa teollisuuden energiansäästöön sekä tuuli-, aurinko-, vesi-, maalämpö- ja bioenergiainvestointeihin.

## Esimerkki ympäristörahoituksesta: pohjoisen ulottuvuuden ympäristökumppanuus

EU:n pohjoisen ulottuvuuden toimintaohjelma sisältää yhtenä painopistealu-

eena ympäristöyhteistyön. Tärkein saavutus on Luoteis-Venäjän ympäristöongelmiin keskittyvä pohjoisen ulottuvuuden ympäristökumppanuus (PUYK), joka yhdistää alueella toimivat rahoituslaitokset, Euroopan komission ja Venäjän hallituksen yhteisen investointiohjelman taakse. PUYK järjesti vuoden 2005 loppuun mennessä rahoituksen yli miljardin euron arvoisiin ympäristöinvestointeihin Luoteis-Venäjällä (ks. taulukko). PUYK rahoittaa muun muassa juoma- ja jäteveden käsittelyyn, energiansäätöön sekä yhdyskuntajätteiden ja ydinjätteiden käsittelyyn liittyviä investointeja Luoteis-Venäjällä. PUYK:n tukena on 226 miljoonan euron rahasto, joka osallistuu investointien rahoitukseen muiden rahoittajien ohella.

Usean projektin rakennustyöt ovat käynnissä. Suomalaisyritykset ovat tähän mennessä voittaneet useita merkittäviä laitetoimituksia ja konsulttitoimiksiantaja. Ensimmäisenä käyttöön otetty PUYK-projekti, Pietarin lounaisen jätevedenpuhdistamon rakennusprojekti, oli suomalaisten urakoitsijoiden varassa. Useat suomalaiset alihankkijat toimittivat projektiin suunnittelupalveluja, rakennustarvikkeita ja laitteita. Myös jo käyttöön otetun lounaisen puhdistamon ja kahden muun Pietarin pääpuhdistamon fosforinpoiston tehostamista toteutetaan suomalaisvoimin.

**Taulukko.** PUYK:n vuoden 2005 loppuun mennessä rahoittamat ympäristöprojektit.

Projekti	Kokonaisinvestointi, miljoonaa euroa
Pietarin lounainen jätevedenpuhdistamo	188,8
Pietarin tulvapato	492,2
Pietarin pohjoinen lietteenpolttolaitos	90,35
Leningradin alueen kunnallissektorin investointiohjelma	23,26
Komin vesiprojekti (Syktyvkar)	31,80
Kaliningradin kaukolämpöprojekti	21,80
Arkangelin vesihuoltoprojekti	25,30
Murmanskin kaukolämpöprojekti	29,60
Kaliningradin vesihuoltoprojekti	110,0
Kaliningradin projektijohtoyksikkö	3,70
Gremihanlahden käytetyn ydinpolttoaineen välivaraston parannus, ydinjätteiden välivarastoinnin suunnittelu ja turvajärjestelmän parannus	6,00
Murmanskin alueen säteilyvaroitussjärjestelmä	5,10
<b>Yhteensä</b>	<b>1 352</b>

# Ohjaavatko asiakastarpeet liiketoimintaa?

Lassi Noponen  
toimitusjohtaja  
Proventia Group

## Ympäristötietoisuuden kasvu

Ympäristötekniikan viennin kasvumahdollisuudet ovat todelliset, niillä spekulointi on tarpeetonta. Ympäristöongelmat kasautuvat yhteiskuntien niskaan ja luovat omalta osaltaan markkinoita puhtaammille teknologioille. Kasvumahdollisuudet ovat suuret, mutta toimialan mahdollisuuksia arvioitaessa on hyödyllistä katsoa historiaan ja tarkastella, millaisesta ilmiöstä ympäristöteknologiamarkkinoiden kasvussa on kysymys.

Ympäristöalan kehitystä on tapana kuvata kahtena aaltona. Ensimmäisen aallon katsotaan alkaneen 1960-luvun lopulla. Siihen liittyi yleinen ympäristötietoisuuden lisääntyminen yhteiskunnassa. Rooman klubin teos Kasvun rajat vaikutti merkittävästi ensimmäisen aallon leviämiseen. Henkinen kasvusykäys tuli akateemisesta maailmasta, mutta yrityksissä kasvun takana oli yksinomaan ympäristönormien kiristyminen. Teknologia oli ”piipunpääteknologiaa”. Teollisuus piti ympäristöinvestointeja yksinomaan kiusallisena kuluna, jota pyrittiin välttämään. Ensimmäisen aallon katsotaan loppuneen 1980-luvun alussa.

Ympäristöyhtiöiden niin sanotun toisen aallon leviämiseen vaikuttivat monet tekijät. Ajassa vaikutti globaalin ympäristöhuolen kasvu, joka sai käyttövoimaa 1980-luvun suurista ympäristöonnettomuuksista: Bhopal, Exxon Valdez ja Tšernobyl. Vuonna 1987 Brundtlandin komitea toi ”kestävän kehityksen” käsitteen yleiseen tietoisuuteen. Tämä laajensi Suomessakin alun perin ympäristökysymyksiin keskittyneen kiinnostuksen kokonaisvaltaisen kestävän kehityksen tarkasteluksi. Tällä tarkoitetaan toimenpiteiden ympäristö-, taloudellisten ja sosiaalisten vaikutusten arviointia. Valtioiden poliittinen sitoutuminen ympäristöasioiden edistämiseen lisääntyi Rion 1992 ja Johannesburgin kokousten myötä. Ensimmäisessä kokouksessa painopiste oli ympäristössä ja kehityksessä, ja jälkimmäisessä erityisesti kestävä tuotanto ja kulutustavat nostettiin tavoitteeksi. Ympäristötietoisuuden kasvun ja epäilemättä myös kuluttajaliikkeen toiminnan kautta on ympäristöystävällisten kuluttajatuotteiden kysyntä lisääntynyt selkeästi 1990-luvun alusta alkaen.

Teollisuuden toimintaympäristöön vaikuttaa kaksi ympäristöasioiden megatrendiä: resurssien kasvava niukkuus ja lainsäädännön jatkuva lisääntyminen. Erityisesti luonnonvaroja kuluttavassa resurssiteollisuudessa tunnetaan luonnonvarojen niukkuuden kasvava vaikutus. Paineet resurssien tehokkaaseen käyttöön ja kierrätykseen ovat valtavat. Samaan aikaan yritystoimintaa on kohdannut vaatimus entistä suuremmasta läpinäkyvyydestä. Tämä vaatimus on pohjimmiltaan seurausta suuryritysten vaikutusvallan kasvusta, mutta myös paljon julkisuutta saaneista skandaaleista.

Näissä olosuhteissa kilpailuedun tavoittelu on yrityksissä noussut lainsäädännön kiristyvien vaatimusten rinnalle ympäristöalan kasvuajurina. Ympäristöystävällisyydestä tai -myötäisyydestä on muodostunut monille tärkeä kilpailuedun lähde. Eräässä Yhdysvalloissa suoritettussa haastattelututkimuksessa 49 % suurimpien yritysten johtajista piti ympäristöasioita mahdollisena kilpailuedun lähteenä omalle yritykselleen; monissa EU-maissa vastaava luku on vielä suurempi. Ympäristöinvestointeihin liittyvä kilpailuetu voi perustua esimerkiksi uuden teknologian aikaansaamiin tehokkuusparannuksiin, toiminnallisiin säästöihin ja riskienhallintaan, uusiin tai parannettuihin tuotteisiin, vastuulliseen imagoon tai avoimempaan dialogiin sidosryhmien kanssa. On syytä erityisesti huomioida, että moderni ympäristöystävällinen teknologia on usein myös tehokkuutta ja resurssien käyttöä parantavaa.

## Asiakastarpeiden muodostuminen

Lähtökohta ympäristöteknologiatarpeiden muodostumiselle on teollisen toiminnan ja talouden globaali kasvu, jonka takia ympäristöön kohdistuu jatkuvasti enemmän kuormitusta. Tämä puolestaan heijastuu erilaisina ympäristöongelmina. Kuormitusta pyritään hallitsemaan muun muassa teknologian avulla, ja ympäristöteknologiaiketoimintaan kohdistuukin maailmassa monenlaisia positiivisia odotuksia.

Yrityksissä ympäristöteknologiaan liittyvä asiakastarve vaihtelee yrityksittäin valitun strategian mukaan. Suurelle osalle yrityksiä tavoitteeksi riittää, että toiminnassa noudatetaan voimassa olevia lakeja ja muita ympäristönormeja. Tällöin yrityksen strategiassa ympäristöystävällisyydellä tai ympäristösuorituksella ei tavoitella yritykselle kilpailuetua vaan ympäristöinvestoinnit nähdään ”licence to operate” -tyyppisenä veloitteena. Kolikon toisella puolella on se suuri joukko yrityksiä, joka pitää ympäristöasioita kilpailuedun lähteenä.

Ympäristöteknologian kasvuajurit yrityksissä ovat toisaalta lainsäädäntö sekä toisaalta markkinaehtoinen kilpailuedun tavoittelu. Esimerkiksi Proventian tuottamien ympäristöjohtamisen tietojärjestelmien kysyntää kasvattaa useissa maissa luotu normisto, joka velvoittaa yritykset raportoimaan ympäristö- ja ”sustainability”-asioistaan talousraportointiin verrattavasti. Kasvua luo myös asiakasyrityksen sidosryhmien ja markkinoiden vaatimus toiminnan

läpinäkyvyydestä, jota yritys voi parantaa raportointijärjestelmän avulla. Vastaavasti pakokaasunpuhdistimien markkinoita kehittävät sekä kiristyvät vaatimukset pakokaasupäästöjen kontrolloimiseksi että kuluttajien ja kaupunkilaisien ”poliittinen” vaatimus puhtaammasta ilmastasta ja ympäristöstä vähemmän kuormittavista tuotteista. Vastaavat esimerkit voidaan esittää useimmista ympäristöteknologisista tuotteista. Ympäristöalan kasvun taustalla on perinteisesti ollut lainsäädännön kehitys, mutta markkinakysyntä muodostaa koko ajan tärkeämmän osan kysynnän ajureista.

Vaikka markkinakysynnästä tulee yhä merkittävämpi kasvuajuri, on lainsäädäntö edelleen keskeinen vaikutin. Lainsäädännön luonne on viime vuosikymmeninä muuttunut, kun voimaan on tullut runsaasti kansainvälistä ja globaalisti sitovaa lainsäädäntöä ja muuta sopimusperusteista normistoa. Tämä uusi lainsäädäntö on ominaisuuksiltaan erilaista kuin perinteinen kansallinen lainsäädäntö, joka vaikuttaa suppeammalla alueella mutta jonka luonne sillä alueella on normatiivisesti hyvin sitova. Lisääntyvä kansainvälinen säätely on yleensä tai se koetaan vähemmän sitovaksi kuin kansallinen lainsäädäntö. Markkinasyistä yritykset kuitenkin sitoutuvat siihen nopeasti, mikäli sen avulla voidaan saavuttaa kilpailuetua, jopa säädäntöä ennakoimalla.

## Asiakastarpeiden kanavoituminen yrityksille

Ympäristöasioiden hoitoon liittyvät asiakastarpeet kanavoituvat yrityksille kuluttajilta julkisen sektorin kautta. Pohjimmiltaan kuluttajat vaativat aiempaa puhtaampaa ympäristöä ja terveellisempiä tuotteita. Media ja kansalaisjärjestöt kanavoivat yhteiskunnan paineet lainsäätäjille, ja toisaalta kuluttajat voivat vaikuttaa tarjontaan myös kulutustottumuksillaan.

Julkinen sektori puolestaan pyrkii toiminnassaan pohjimmiltaan kansantalouden pitkän ajan optimointiin ja yhteiskunnan poliittisen vakauden säilyttämiseen. Valtio joutuu tässä toiminnassa ottamaan huomioon kansalaisten ympäristötoiveiden lisäksi kaikki yhteiskuntapoliittiset vaatimukset sekä kansainvälisen yhteistyön, lainsäädännön ja kansainvälisten sopimusten asettamat reunaehdot. Yhteiskunta kanavoi ympäristönhallintaan liittyvät muutospaineet yrityksille lainsäädännön tai esimerkiksi kannustimia luovan normiston muodossa.

Yrityksen näkökulmasta varsinaista tarvetta ympäristöteknologioille selaisenaan ei ole (lukuun ottamatta ”licence to operate”-tilanteita). Yrityksille on optimointiongelmia, joka liittyy niiden toimintaan kohdistuviin ristiriitaisiin vaatimuksiin. Yritysjohdo ei voi toiminnassaan keskittyä vain minimoimaan päästöjä! Se olisi helppo toteuttaa lopettamalla tuotanto, mutta yritykseen kohdistuvat vaatimukset kattavat nimenomaan tuotannon ja voiton tekemisen, kustannustehokkuuden, positiivisen imagon, ympäristöpäästöjen hallinnan ja monta muuta asiaa.

Erilaisten toimialojen liiketoimintaympäristöt vaihtelevat oleellisesti. Ympäristöteknologia-alan yritykset joutuvatkin laajasti seuraamaan ja ymmärtämään asiakastoimialoihin kohdistuvia paineita, jotta ne pystyisivät vastaamaan asiakkaansa optimointiongelmaan. Ympäristöyrityksen pitää usein luoda ratkaisu syntyvään tarpeeseen tai sellainen tapa ratkaista optimointiongelma, jota ei asiakasyrityksessä ole vielä tiedostettu. Lisäksi teknologian tarjoajan pitää rakentaa investointiin liittyvä business case ja myydä tai opettaa se asiakkaalle. Asian tekee haasteelliseksi se, että saman perusteknologian, esimerkiksi ympäristöraportointijärjestelmän, asiakastarve voi vaihdella asiakastoimialoittain. Niin sanotussa resurssiteollisuudessa keskeinen tarve on viestiä kuluttajalle oman toiminnan vähentyvästä ympäristöhaitasta. Tällainen on tilanne esimerkiksi metsäteollisuudessa, jonka ympäristöraportoinnin pääkohde on asiakkaan asiakas eli lehden lukija. Sen sijaan esimerkiksi lääke- ja elintarviketeollisuudessa keskeinen motiivi ympäristöraportoinnille on riskienhallinta ja sijoittajaviestintä. Ympäristöalan monimuotoisuus asettaa alan yrityksille tavanomaistakin suuremman haasteen ymmärtää asiakkaan tarpeita.

## **Miten asiakastarpeet pyritään huomioimaan? – Esimerkki Proventia Automation**

Seuraavassa tarkastellaan, miten Proventian automaatioyksikön toiminnassa on pyritty ennakoimaan ja vastaamaan asiakastarpeisiin. Yksikkö toimittaa erilaisia sovelluksia valituille asiakastoimialoille, muun muassa poiminta-, pakkaus- ja laatikointiteknologioita ja laadunvalvontajärjestelmiä pakkaavaan teollisuuteen, hionta- ja viimeistelysovelluksia sekä muottien valmistusjärjestelmiä metalli- ja lujitemuoviteollisuuteen, kuvaputkien kierrätysteknologiaa kierrätysteollisuuteen sekä kokoonpano-, pakkaus- ja laadunvalvontasovelluksia elektroniikkateollisuuteen.

Automaatioyksikön asiakkaiden ympäristökysymyksiin kiinteästi tai löyhemmin liittyviä asiakastarpeita ovat muun muassa työvoiman käytön vähentäminen ja vaarallisten työvaiheiden korvaaminen, laadun parantaminen ja kapasiteetin lisääminen, hygienian lisääminen sekä laitteiston tuottavuuden lisääminen modulaarisuuden kautta.

Tarkasteltaessa esimerkiksi elektroniikkateollisuuden asiakastarpeita pyritään ensimmäisessä vaiheessa identifioimaan muutokset, jotka liittyvät elektroniikka-alan toimintaympäristön ympäristökysymyksiin. Elektroniikkateollisuudessa näitä ovat lyhyellä aikavälillä esimerkiksi WEEE- ja ROHS-direktiivien voimaantulo, ROHS:iin liittyvät testausvaatimukset, tuotteiden koostumuksen jäljitettävyys sekä muilla tavoilla yleisen tuotevastuun voimistuminen ja konkretisoituminen.

Pidemmällä aikavälillä elektroniikka-alan toimintaympäristön muutoksiksi ennakoidaan esimerkiksi tuotteiden koko elinkaaren seuranta ja jäljitettävyys,

toimijoiden välisen tiedonsiirron kehittyminen, palonestoaineiden muutokset, ROHS:n aineiden laajentuminen sekä akkuihin liittyvät ympäristövaatimukset.

Prosessin toisessa vaiheessa identifioidaan oma relevantti osaaminen ja teknologia, joilla identifioituihin tarpeisiin voidaan vastata. Tässä sellaisia ovat muun muassa vankka tuotevastuuasioden osaaminen, valmiit tuotteet ja palveluratkaisut tuotevastuun tunnistamiseen, Design for Compliance -osaaminen sekä tuotevastuun strategisen konsultoinnin osaaminen.

Kolmannessa vaiheessa voidaan hahmotella syntyviin asiakastarpeisiin vastaavia mahdollisia tuotteita tai palveluja. Tässä esimerkkitapauksessa ne voivat olla esimerkiksi tuotteita tai palveluja, jotka liittyvät toimijoiden välisen tiedonsiirron suunnitteluun ja hallintaan tai yritysten sisäisen tiedonsiirron kehittämiseen ja muuttuvan ympäristölainsäädännön ennakointiin ja seurantaan.

Vastaavasti kierrätysteollisuudessa lyhyen aikavälin muutoksina nähdään esimerkiksi EU:n kaatopaikkadirektiivin asteittainen voimaantulo 2005–2016. Se kieltää kaiken esikäsittelemättömän jätteen päätyminen kaatopaikoille, ja asettaa rajoituksia jätteiden viennille. Toimintaympäristön muutoksia pidemmällä aikavälillä ovat esimerkiksi muutokset raaka-aineiden saatavuudessa (teknologiainvestoinnit riippuvat usein raaka-aineen saannista, joka on ristiriidassa yleisen jätteiden vähentämisen periaatteen kanssa), kierrättäjien laatuvaatimusten ja raportointitarpeen kasvu sekä kierrättäjien ja kierrätysteknologian erikoistuminen ja alan keskittyminen.

Kierrätysalalla Proventian relevanttia osaamista ovat esimerkiksi jätteisiin liittyvän kansallisen ja kansainvälisen lainsäädännön osaaminen sekä kokemus ympäristöselvitysten tekemisestä esimerkiksi jätteenkäsittelyteknologian investointipäätösten tueksi. Mahdollisia kehitettäviä palveluja tai tuotteita ovat muun muassa palvelut ja tuotteet kierrättäjien laatu-, ympäristö- ja turvallisuusstandardien tiukentamiseen, työkalut ympäristö- ja yhteiskuntavastuureportointiin sekä kustannus-hyötyanalyysit esimerkiksi raaka-aineiden keräyksen suunnittelussa ja teknologiainvestoinneissa.

## Lopuksi

Ympäristöteknologia on usein tuotantoa palvelevaa teknologiaa, joka auttaa asiakkaita ratkaisemaan omaan toimintaansa kohdistuvien ristiriitaisten vaatimusten optimointiongelman. Ympäristöteknologiat voivat olla korvaavia tai vaihtoehtoisia teknologioita, mutta ne ovat harvoin asiakkaalle primaareja suhteessa sen omaan toimintaan. Esimerkiksi paperitehtaalle paperikone on primaaria teknologiaa ja monet ympäristöteknologiat ovat sitä palvelevaa teknologiaa. Tällaisessa toimintaympäristössä ympäristöteknologioiden tehokkuuteen perustuva kilpailukyky on erittäin tärkeää. Mikäli ympäristöystävällinen teknologia parantaa myös asiakkaan toiminnan tehokkuutta, on bisnes casen rakentaminen asiakkaalle paljon helpompaa kuin pelkkää ympäristösuorituskykyä myyessä.



# Tulevaisuudenkuva ja teknologiaohjelmat

Martti Äijälä  
johtaja  
Tekes

## Teknologiaohjelmat työkaluina

Tekesissä on käynnissä lähes 30 teknologiaohjelmaa, joiden yhteinen laajuus on 1,7 miljardia euroa. Tästä karkeasti puolet on Tekesin rahoitusta ja toinen puoli osallistujien, siis lähinnä yritysten, rahoitusta. Ohjelmien kesto vaihtelee kolmesta kuuteen vuoteen; se on keskimäärin alle viisi vuotta. Ohjelmissa on mukana kaikkiaan 1 800 yritystä ja 500 tutkimusyksikköä. Ohjelmiin on allkoitu noin puolet Tekesin runsaasta 400 miljoonan euron vuosittaisesta rahoituksesta. Toinen puoli Tekesin rahoituksesta, eli ohjelmien ulkopuolinen rahoitus, kohdistuu osin strategiaohjautuvasti ja aina vaikuttavuusohjautuvasti elinkeinoelämälle suurimman hyödyn tuottaviin hankkeisiin. Myös teknologiaohjelmat koostuvat yksittäisistä hankkeista, jotka päätetään kukin erikseen.

Ohjelmat valitaan ja suunnataan strategialähtöisesti toimijakentän kanssa läpikäydyn vuorovaikutteisen prosessin perusteella. Tekes julkaisi maaliskuussa 2005 sisältölinjauksiaan Innovaatiosta hyvinvointia – Painopisteet tulevaisuuden rakentamiseksi -raportissa, jossa ennakoidaan yhteiskunnan ja elinkeinoelämän muutoksia ja linjataan tulevaisuuden painopistevalintoja. Tämä raportti tehtiin laajassa vuorovaikutuksessa elinkeinoelämän kanssa hyödyntäen muun muassa Tekesin vuosittain yritysten kanssa käymää runsasta tuhatta strategiakeskustelua ja kansainvälisten ennakointilaitosten työn tuloksia. Raportti muodostaa pohjan vastedes käynnistettävien uusien ohjelmien valinnoille.

Teknologiaohjelmat ovat vuosi vuodelta muuttuneet entistä liiketoimintalähtöisemmiksi. Ohjelmien valmistelua voikin usein luonnehtia liiketoimintalähtöiseksi kartoitukseksi siitä, mitä asian tai alan eteenpäinviemiseksi tulee yhdessä tehdä. Selvityksen perusteella muotoillut teknologiaohjelmat painottuvat sitten kukin omalla tavallaan sisältäen tutkimuksen, tuotekehityksen tai erilaisten liiketoimintatoimenpiteiden valikoiman. Ohjelman rahoitusta voi tulla eri julkisilta toimijoilta, tai ohjelma voi verkottua muiden tahojen toimenpiteiden suuntaan.

Ulkopuoliset ohjelmien arvioinnit ovat osoittaneet, että ohjelmilla on aktiivinen rooli muutoksen ja kehityksen käynnistäjinä; teknologiaohjelmat ovat monimuotoisia innovaatioympäristön ja innovaatioprosessien muutoskatalysaattoreita. Arviointien mukaan Tekesin teknologiaohjelmatoiminnasta onkin tullut kansallisen teknologiapolitiikkamme keskeinen strateginen työkalu.

## Teknologiaohjelmat ympäristöalueella

Ympäristöön laajasti liittyviä ohjelmia tai niihin verrannollisia toimenpiteitä on meneillään useita. Ne suuntautuvat ilmastonmuutoksen torjunnan liiketoimintamahdollisuuksiin (Climbus), pienihiukkasten hallintaan (FINE), rakentamiseen (CUBE) ja esimerkiksi puun pienkäyttöön ja korjuuseen. Lisäksi hajautetun energian tuotantoon liittyvä ohjelma, DENSY, sisältää vahvasti ympäristönäkökulmaa.

Äskettäin päättyneistä ympäristöasioihin liittyvistä ohjelmista voidaan mainita esimerkiksi Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa -ohjelma (STRE-AMS), biomassan energiakäytön ohjelmajatkumon kaksi viimeistä vaihetta eli Bioenergia-ohjelma ja sen fokusoitu jatkumo Puuenergian ohjelma sekä polttoon ja sen mallinnukseen liittyvät ohjelmat LIEKKI 1 ja 2 ja CODE.

Streams-ohjelmassa on luotu valmius vastata kirstyviin kaatopaikkamääräyksiin ja kierrätyksen vaateisiin sekä hyötyä niiden luomasta liiketoimintamahdollisuudesta niin Suomessa ja EU:n alueella kuin laajemminkin. Bioenergiaohjelmajatkumossa on luotu sitä osaamista ja niitä liiketoimintamalleja, joiden ansiosta metsähakkeesta on tullut merkittävä energiavaihtoehto Suomessa. Kysymys on ollut korjuuketjujen kehittämisestä ja korjuun kustannusten alentamisesta sekä lämpölaitosyrittäjätyyppisistä toimintatavoista. Polton ohjelmajatkumossa on luotu se osaaminen, joka näkyy suomalaisena vahvana kattilateollisuutena ja sen vientinä ja joka myös osaltaan mahdollistaa bioenergian ja muiden vaikeiden polttoainoiden energiakäytön. Osin työn tuloksena suomalaisten markkinaosuus maailman leijureroskattilamarkkinoilla on noin 60 % ja soodakattiloiden markkinoilla noin 85 %, vain pari esimerkkiä mainiten.

## Ympäristöalueen haasteita

Suomalainen ympäristömyönteinen tekniikka ja siihen perustuva liiketoiminta liittyvät suurelta osin Suomen vahvoihin teollisiin klustereihin ja palveluliiketoimintaan. Erityisen vahvaa osaamista ja siitä kumpuavaa liiketoimintaa on energiateknologia- ja metsäteollisuusklusterissa sekä energian käytön ratkaisuissa ja yleensä prosessiteollisuudessa. Näillä alueilla toimintaa ei aina mielletä ympäristöalueeseen kuuluvaksi. Esimerkiksi Tekesin ympäristöpuolen rahoituksesta lähes kolme neljäsosaa kohdistuu näille alueille. Omaksi alueeksi erottuu vielä Suomessa oleva vahva ympäristömittausten ja -havainnoinnin

alue, johon Tekesin rahoituksesta kohdistuu vajaat 10 %. Loput noin 20 % rahoituksesta menevät sitten perinteisille ympäristösektoreille eli vesi- ja jätehuollon, ilmansuojelun ja maaperän puhdistuksen alueille.

Edellä mainituilla vahvoilla suomalaisilla osaamisalueilla oma kansallinen kehitysympäristö ja vahvojen veturirytysten läsnäolo ovat turvanneet sekä kehitystoiminnan että tien markkinoille ja vientiin. Tilanne on jokseenkin tavanomainen näillä alueilla. Haasteet ovat perinteisten sektoreiden ja varsinkin metsäteollisuuden ja energian tuottajien kehityspanoksen ohuus ja pysyminen mukana innovaatiokokonaisuudessa.

Pääalojen ulkopuolisilla alueilla haasteena on usein veturirytysten puute ja se, että pienten kansallisesti toimivien ja usein yhden tuotteen yritysten on vaikea päästä kansainvälisille markkinoille. Yritykset on usein perustettu ratkaisemaan havaittu ongelma tai täyttämään tietty tarve, eikä tuotetta ole yleensä kehitetty laajemmin markkinoille. Pienten yritysten kyky päästä omin voimin maailmanmarkkinoille onkin rajallinen ja vaatisi erilaisia pääomarakenteeseen, omistukseen tai asenteeseen liittyviä muutoksia.

## Ympäristölähtöinen rahoitus ja esimerkkituloksia eri sektoreilla

Kaiken kaikkiaan Tekes rahoitti ympäristöratkaisuja tai sellaisia ratkaisuja, joissa ympäristö on vahvasti mukana, noin 75 miljoonalla eurolla vuonna 2004. Rahoitus on ollut kasvavaa niin, että vuosien 2002 ja 2003 rahoituksen keskiarvo oli 70 miljoonaa euroa.

Ympäristöalueen raja-alue on epämääräinen, ja se voidaan jakaa monella tavalla. Tekesissä käytössä oleva jakotapa on seuraavanlainen: yleiset ympäristömyönteiset laitteet, prosessit ja palvelut, energian tehokas käyttö, uusiutuvat energialähteet, materiaalien ja raaka-aineiden hallinta, ilmansuojelu, vesihuolto, vesien ja maaperän suojelu sekä mittaustekniikka.

Seuraavassa esitetään kultakin alueelta rahoituksen taso, listaus tärkeimmistä ajavista voimista ja joitain esimerkkituloksia asioista, joissa Tekes on ollut rahoittajana ja osin muutenkin toiminnallaan mukana. Näin se on ollut omalta osaltaan mahdollistamassa yritysten ja koko innovaatiojärjestelmän onnistumista tutkimuksessa, tuotekehityksessä ja liiketoiminnan luomisessa tai kehittämisessä. Osasta näitä hankkeita löytyy Tekesin verkkosivuilta lisäinformaatiota.

### *Yleiset ympäristömyönteiset laitteet, prosessit ja palvelut*

Yli neljäsosa kaikesta ympäristöalueen rahoituksesta kohdistuu tälle alueelle. Esimerkkeinä rahoitetuista kohteista voidaan mainita suljetut vesikierrot, soodakattilat, polttomoottorit, puhtaat liikennepolttoaineet, raskasmetallien korvaaminen elektroniikassa ja vaikkapa logistiikka ja automaattioratkaisut. Ajavia

voimia ovat regulaatio ja resurssien rajallisuus ja kallistuminen sekä ympäristötietoisuuden kasvu.

Suljettujen vesikiertojen hallinta on varsinkin metsäteollisuudessa laitosten hyväksyttävyyden edellytys ja siten myös vahva kilpailutekijä ratkaisujen toimittajille. Suomalaiset soodakattilat ovat saavuttaneet jo aiemmin artikkeleissa mainitun suuren markkinaosuuden maailmanmarkkinoilla. Isoissa määntämoottoriratkaisuissa kilpaillaan markkinoilla ympäristömyönteisyydellä. Pienissä moottoreissa taas tuotekehitystä ohjaavat asteittain ja hyvin ennakoitusti tiukkenevat ympäristömääräykset. Ympäristömääräysten ennakointi liikennepolttoaineiden kehityksessä on antanut etumatkaa ja kilpailuetua suomalaiselle toimijalle. Suomi on, niin yllättävältä kuin se tuntuukin, merkittävä pitkälle jalostettujen öljytuotteiden myyjä. Myös polttokennojen kehitys kuuluu tähän ryhmään.

### *Energiatohokkaat ratkaisut*

Lähes kolmasosa rahoituksesta käytetään energiatohokkaiden ratkaisujen ja alan palvelujen kehittämiseen. Alueen yritysten tuotekehitys on viime vuosina kasvanut voimakkaasti. Ilmeisesti taustalla ovat sekä energian hinnan nousu että tietoisuus ilmastonmuutoksen torjunnan vaikutuksista markkinoihin. Ajavia voimia ovat ennen kaikkea ilmastonmuutoksen hillinnän tarve, energialähteiden kallistuminen ja määräykset.

Tällä alueella erilaiset kiinteistöjen, prosessiteollisuuden ja liikenteen ratkaisut sekä niihin liittyvät laitteet ja palvelukonseptit ovat tärkeitä kehityskohteita. Matalaenergiatalo on Motivan markkinoille tuoma brändi, joka on lyönyt itsensä varsin laajasti läpi. Hyvä esimerkki toisesta laajenevasta liiketöiminnasta liittyy taajuusmuuttajiin, joiden tuotantoakin on Suomessa hiljakoin laajennettu.

### *Uusiutuvat energialähteet, paitsi jäte*

Uusiutuvien energialähteiden osuus on noin 15 % kaikesta ympäristötekniikan rahoituksesta. Tämän alueen rahoitus on energian tehokkaan käytön lisäksi ollut voimakkaassa kasvussa viime vuosina ja pääosin samoista syistä. Alueella on kehitetty poltto- ja kaasutustekniikkaa, metsätähteiden ja -hakkeen korjuutekniikkaa, pellettiratkaisuja, liikenteen biopolttoaineita ja tuulivoimaratkaisuja. Ajavia voimia ovat ilmastonmuutoksen hillinnän haasteet, energialähteiden rajallisuus ja hinta, energian saannin varmuus sekä muutamissa polttoaineryhmissä myös maatalouspolitiikka.

Polttotekniikan pitkäaikainen kehityspanos on nostanut suomalaisen osaamisen sekä teoriapuolella että teknologiaratkaisuissa maailman kärkeen. Tämä näkyy kattilatoellisuuden viennissä ja varsinkin leijukerrostekniikassa se-

kä vaikeiden polttoaineiden poltto- ja voimalaitosratkaisuisa. Myös ilmakehän puhdistustekniikassa Suomessa ollaan pitkällä. Metsähakkeen korjuutekniikkaa on kehitetty ja korjuun kustannuksia alennettu merkittävästi niin, että varsinkin päätehakuiden oksamassan ja vähitellen myös kantojen korjuuratkaisut alkavat olla kaupallisia ja niillä tuotettu polttoaine on kilpailukykyistä. Samalla esimerkiksi risutukeista on tullut puutavaralaji ja oksatähteen korjuu on osa sekä puun hankintaa että metsien uudistamista. Pelkästään korjuuketjuihin on syntynyt muutamassa vuodessa toistatuhatta työpaikkaa, ja kasvu jatkuu edelleen. Biodieselin tuotantoon on kehitetty uusi prosessi, ja tuotantolaitos on rakenteilla. Tuulivoimatekniikan vienti on laajenemassa komponenttitoimituksista kokonaistoimituksiin.

### *Materiaalien ja raaka-aineiden hallinta*

Materiaalien ja raaka-aineiden hallintaan käytetään rahoituksesta kymmenesosa. Alueelle on kehitetty ratkaisuja jätemateriaalien synnyn ehkäisemiseen, kierrätykseen ja tuotteiden kierrätettävyyteen, uusiomateriaalien käytön lisäämiseen, logistiikkaan ja jätemateriaalien polttoon ja kaasutukseen. Ajavia voimia ovat ennen kaikkea säädösten tiukkeneminen, tuottajavastuu sekä raaka-aineiden ja energian kallistuminen.

Kierrätysratkaisuihin on kehitetty erilaisia elektroniikkaromun, kemikaalien, öljyjen ja vaikkapa kuvaputkilasin kierrätysprosesseja. Jätehuoltoratkaisuihin on kehitetty erilaisia osaratkaisuja ja älykkyyttä sekä jätteenkeräysjärjestelmiä. Jäte- ja muiden vaikeasti poltettavien materiaalien kaasutusratkaisuja on kehitetty, jotta erilliskerätyn jätteen vaikeinta komponenttia voidaan hyödyntää energiaksi.

### *Ilmansuojeluratkaisut*

Ilmansuojeluratkaisuihin rahoituksesta käytetään vajaat 5 %. Rahoitus kohdistuu sekä sisä- että ulkoilman hiukkaskysymyksiin, liikenteen pakokaasujen ja niiden vaikutusten vähentämiseen sekä teollisuuden päästöihin ja niiden puhdistamiseen. Ajavia voimia on vahvistunut tietoisuus pienhiukkasten terveysvaikutuksista.

Pienhiukkastekniikan osaamisessa, hiukkasten vähentämisessä, niiden mittaustekniikassa ja terveysvaikutusten ymmärtämisessä Suomessa ollaan pitkällä. Osaaminen kohdistuu myös sisäilman puhdistamiseen. Tämä osaaminen on vahvasti liitetty rakentamisen vientihankkeisiin.

### *Vesihuolto sekä vesien ja maaperän suojeleminen*

Alueelle rahoituksesta käytetään kahdeskymmenesosa. Rahoitus painottuu

lietteiden käsittelyyn, vesien ja jätevesien puhdistustekniikkaan ja kemikaaleihin, putkistojen saneeraustekniikoihin, teollisten vesien kierrätykseen ja puhdistukseen, haja-asutusalueiden vedenkäsittelyyn, öljynpuhdistusratkaisuihin ja saastuneiden maiden puhdistukseen. Ajavia voimia ovat erityisesti ympäristömääräykset ja markkinamahdollisuudet varsinkin Itä-Euroopassa.

Haja-asutusalueiden vesiratkaisut ovat tulleet määräysten kautta tärkeiksi. Taustalla on Itämeren ja joidenkin Suomen jokien tila. Itä-Euroopan markkinoiden mahdollisuudet rohkaisevat tuotekehittelyyn ja erilaisten palvelukonseptien kehittämiseen. Maaperän puhdistukselle on merkittävästi markkinoita myös Suomen alueen ulkopuolella.

### *Mittaustekniikka*

Ympäristön mittaus- ja havainnointitekniikan rahoitus on noin viidestoistaosa ympäristötekniikan rahoituksesta. Tämän lisäksi tulee merkittävä rahoitus avaruustekniikkaan, jossa ympäristön havainnointi on merkittävässä roolissa. Ala kattaa moninaisia mittaus- ja havainnointiratkaisuja aina partikkelin mittauksesta sään havainnointiin. Ajavia voimia ovat määräysten valvonnasta tuleva todentamistarve ja tarve saada luotettavaa tietoa ympäristöstä ja sen tilasta sekä muutoksesta.

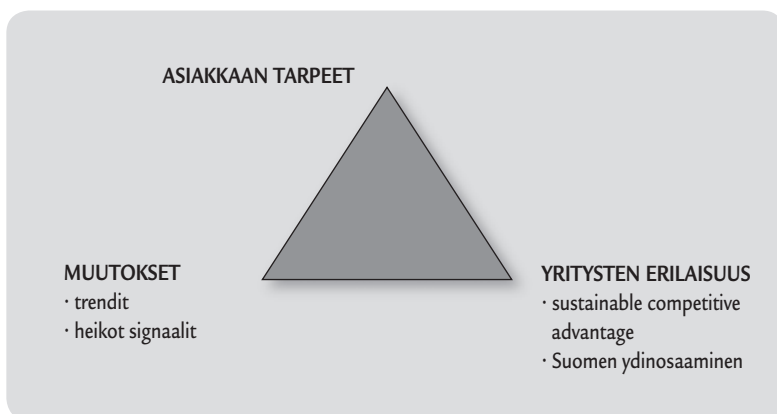
## **Ilmastonmuutoksen hillinnän tarve ajavana ja kokoavana voimana**

Ilmastonmuutoksen hillinnän haasteet ja tarve sekä niistä syntyvä markkinavoima ovat ajavina voimina kolmessa neljäsosassa kaikkea ympäristötekniikkaa. Kioton sopimuksen ja sen tuomien markkinavaikutusten kautta moni ympäristöasia menee eteenpäin ja saa taloudellista työntöä. Tämä markkinavoima on vahvistumassa kansallisten ja kansallisten päätösten ansiosta, ja sen vaikutus polttoaineiden ja energian hintoihin on merkittävä. Kioton sopimuksen mahdollinen kiristyvä jatko sekä Yhdysvaltojen ja Aasian valtioiden kumppanuussopimukset tukevat tätä kehitystä.

# Yhteenveto Vahvuuksista markkinoille – radikaalit innovaatiot yli rajojen -työpajaprosessin ideoista

Työpajaprosessin ryhmätyöt toteutettiin radikaalien innovaatioiden kolmiomenetelmän (RIK) mukaisesti. Tavoitteena on tuottaa yrityksen tai alueen omiin vahvuuksiin liittyviä ideoita, jotka tuottavat lisäarvoa ja ovat radikaalisti uusia.

Radikaalien innovaatioiden kolmiomenetelmän lähtökohtana on käsitys, että menestyksellisen kilpailun edellytyksenä on jokin erilaisuus tai poikkeama, jonka organisaatio tai alue pystyy kääntämään vahvuudekseen. Yrityksen ja alueen tai molempien keskeiset epäsymmetriat muodostavat kolmion ensimmäisen kulman. Kolmion toisen kulmapisteen määrää yritysten toimintaympäristön muutos, sillä muutokset todennäköisesti luovat vielä tiedostamattomia mahdollisuuksia. Kolmantena kulmana on mahdollinen asiakastarve.



Ennakointiseminaarin osallistujat oli jaettu kahdessa ryhmätyötilassa oleviin 3–4 hengen ryhmiin. Ryhmien vetäjinä toimivat Risto Linturi, Mikko Setälä, Torfinn Släen ja Pekka Salmi.

Ensimmäisessä vaiheessa ryhmät analysoivat organisaation tai alueen potentiaalisia vahvuuksia ja listasivat niitä. Virikkeenä käytettiin listoja, jotka oli työstetty M. Porterin kirjassaan National Competitive Advantage esittämän kansallisen timantin yksityiskohtaisista resurssi- ja ominaisuusluetteloista. Ryhmille oli annettu tehtäväksi listata konkreettisia erilaisuuksia.

Vaiheessa kaksi kartoitettiin noihin vahvuuksiin liittyviä trendejä ja heikkoja signaaleja. Ryhmät tuottivat ideapareja ensimmäisen vaiheen erilaisuuksista ja liiketoimintaympäristöä muuttavista trendeistä tai enableijista. Näillä vahvuuksien ja muutosten pareilla tuli olla kuviteltavissa oleva suora tai epä-suora ympäristökytkentä, joka ryhmien piti kuvata.

Vaiheessa kolme pyrittiin löytämään vahvuuksien ja trendien tai heikkojen signaalien pareihin kytkettyjä mahdollisia asiakastarpeita. Tehtävänä oli kuvata lisäarvoa ja huomioida samalla markkinan tai teknologisen mahdollisuuden avautumista sekä erilaisuudesta syntyvää kilpailuetua. Ryhmät etsivät edellisen harjoituksen korrelaatioihin sopivia tarpeita vahvuuden, trendin tai enableijan ja tarpeen muodostamiksi kolmioiksi. Lopuksi kukin ryhmä esitteli kaikille yhden laatimansa kolmion.

Tarve-vahvuus-trendikolmioita esiteltiin yhteensä 11 kappaletta. Ne liittyivät muun muassa seuraaviin asioihin:

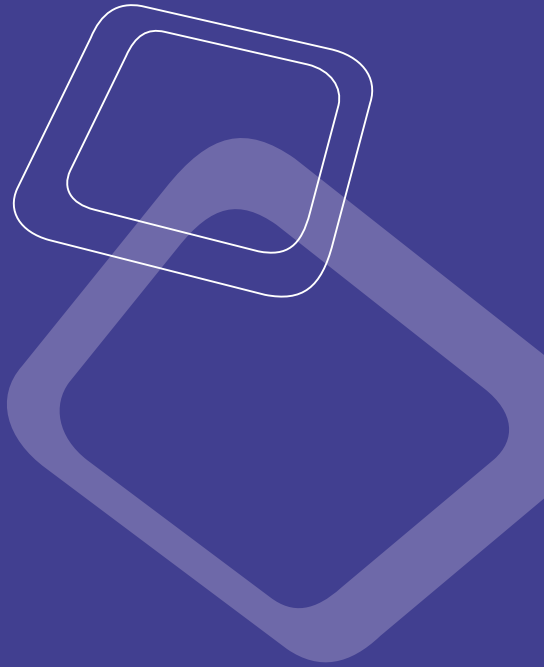
- ympäristöystävällinen arktinen öljyntuotanto
- biokaasun tuotanto maataloudessa
- Suomen ympäristöosaamisen vienti Venäjälle
- henkilökohtainen ympäristömittaus
- juomaveden puhdistus nanotekniikalla
- teknologian vienti yhdistettynä institutionaalisen osaamisen ja mallin vientiin
- suomalaisen puhtaan veden vienti Lähi-itään
- kasvatusetsien käyttö hiilinieluinä
- ympäristöteknologian kytkeminen Suomen ympäristöimagoon.

Prosessi tuotti monia varhaisen vaiheen ideoita ja ajatuksia, joita käytetään materiaalina Sitran ennakointiryhmän työssä.



Sitran Ympäristöohjelman tavoitteena on nostaa suomalaisen ympäristö-tekniologiaan pohjautuvan liiketoiminnan tasoa ja parantaa sen kilpailukykyä markkinoilla. Ympäristöalan kilpailukyvyyn voimistaminen edellyttää teknologioiden, markkinoiden ja lainsäädännön kehityksen ennakoitua. Ympäristöohjelman osana toteutettava ennakointi pyrkii tunnistamaan merkittäviä, uusia tulevaisuuden haasteita ja mahdollisuuksia. Näitä ovat ympäristötekniologian kasvualueet, kehitys- ja muutostrendit sekä Suomen vahvat osaamisalueet.

Tämä raportti on taustaselvitys Sitran Ympäristöohjelman ennakointityölle. Raportissa on koottu yhteen ennakointitietoa ympäristöalan teknologioista ja liiketoiminnasta. Ensimmäisessä osassa tarkastellaan ympäristöalan yleisiä kehitysnäkymiä, ympäristöalan tilannetta Suomessa sekä ympäristötekniologiaa investointikohteena ja yrittäjyysnäkökulmasta. Toiseen osaan on koottu Sitran Ympäristöohjelman ennakointityön aloittaneen Haikon seminaarin alustukset.



# SITRA

**Suomen itsenäisyyden juhlarahasto**

Itämerentori 2, PL 160, 00181 Helsinki, [www.sitra.fi](http://www.sitra.fi)  
Puhelin (09) 618 991, faksi (09) 645 072, [sitra@sitra.fi](mailto:sitra@sitra.fi)

ISBN 951-563-514-4  
ISSN 1457-571X