

TIEDONKERUU VIITASAAREN UUSIUTUVAN ENERGIAN HANKKEEN  
PILOTTIKOHTTEESSA

Jyväskylän yliopisto  
Bio- ja ympäristötieteiden laitos  
Uusiutuvan energian koulutusohjelma  
pro gradu -tutkielma  
Jukka Väkeväinen  
3.3.2005



## JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO

**Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta**  
**Bio- ja Ympäristötieteiden laitos**  
**Uusiutuvan energian koulutusohjelma**

<b>Väkeväinen, Jukka:</b>	<b>Tiedonkeruu Viitasaaren uusiutuvan energian hankkeen pilottikohteessa</b>
<b>Pro gradu:</b>	<b>100 s., 4 liitettä (15 s.)</b>
<b>Ohjaajat:</b>	<b>Yliassistentti Ari Lampinen</b> <b>Tutkija Jussi Maunuksela</b>
<b>Tarkastajat:</b>	<b>Yliassistentti Ari Lampinen</b> <b>Tutkija Jussi Maunuksela</b>

**Maaliskuu 2005**

---

**Avainsanat:** aurinkoenergia, aaltoenergia, bioenergia, geoterminen energia, ilmastonmuutos, tietojenkeräysjärjestelmä, tuulivoima, UE-projekti, uusiutuva energia, vuorovesienergia.

### **TIIVISTELMÄ**

Uusiutuvan energiantuotannon edistäminen ja sen käytön lisääminen on maapallon nykyisten elinolojen säilyttämiseksi välttämätöntä. Viitasaarelle valmistunut ABC-liikennemyymälä toimii Suomen mittakaavassa eräänlaisena pilottihankkeena, jonka tarkoitus edistää uusiutuvaa energiantuotantoa. Liikennemyymälässä sijaitsevassa infopisteessä esitellään yleisesti uusiutuvaa energiantuotantoa sekä liikennemyymälän omia energiaratkaisuja. Tässä pro gradu -työssä on selvitetty Viitasaaren UE-hankkeen mittaustietojen tietojenkeräämismahdollisuuksia. Selvitys on tehty tutkimalla sekä valmistajien materiaaleja että laitteisiin kuuluvia ohjelmistoja yhteistyössä hankkeesta vastaavien kanssa. Tietojenkeräysjärjestelmä toteutettiin kokoamalla erillisten järjestelmien omien tietojenkeräysyksiköiden tallentamat tiedot MySQL-tietokantaan, josta myös tietojen esitys tapahtuu keskitetysti. Lukuun ottamatta vaaka-akselista tuuliturbiinia ja auringon säteilytehoa mittaavaa pyrheliometriä kaikki liikennemyymälän laitteistot sisältävät tietojen mittauksen ja tallennuksen vaatimat ominaisuudet. Vaaka-akseliselle tuuliturbiinille ja pyrheliometrille ohjelmisto tullaan toteuttamaan LabVIEW-sovelluksella. Tietojenkeräysjärjestelmän selvityksen lisäksi kirjallisuusosion tietojen pohjalta on kirjoitettu UE-hankkeen infopisteessä olevat energiantuotantoa koskevat infosivut.

**JYVÄSKYLÄ UNIVERSITY****Faculty of Mathematics and Science****Department of Biological and Environmental Science****Master's Program in Renewable Energy**

**Väkeväinen, Jukka:** **Data acquisition of renewable energy project at Viitasaari**

**Master of Science Thesis:** **100 p., 4 appendixes (15 p.)**

**Supervisors:** **Associate prof. Ari Lampinen**  
**Researcher Jussi Maunuksela**

**Inspectors:** **Associate prof. Ari Lampinen**  
**Researcher Jussi Maunuksela**

**March 2005**

---

**Key words:** bioenergy, climate change, data acquisition, geothermal energy, renewable energy, RE-project, solar energy, tidal energy, wave energy, wind energy.

**ABSTRACT**

Promotion of renewable energy and increase of its use is necessary to save the Earth's current living conditions. There is a new ABC gas station at Viitasaari, which has undertaken, in Finnish perspective a new project to promote knowledge of renewable energy. The information desk of the station exhibits general information of renewable energy production and station's own energy solutions. This thesis concerns renewable energy project of Viitasaari and its data acquisition solutions. This study has been made in co-operation with the corresponding persons of the project by examining the system's manufactures manuals and software. Data acquisition system operates by collecting measured information from individual systems to a MySQL-database, from which the information can be presented concentratedly. All the systems, except the vertical axis wind turbine and the pyrhelimeter, include own data acquisition systems. The required quality of these systems is to measure and save data. For the vertical axis wind turbine and the pyrhelimeter data acquisition systems will be made with LabVIEW-software. In addition to the study of data acquisition system, info pages about renewable energy production, which are located in RE-information desk, has been collated by using literature.

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
SISÄLLYSLUETTELO .....	4
KUVAT JA TAULUKOT.....	6
MÄÄRITELMÄT, LYHENNYKSET JA KONVERSIOT.....	7
1 JOHDANTO.....	8
2 MAAPALLON ILMASTO JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT .....	9
2.1 MAAPALLON LÄMPÖTALOUS JA LUONNOLLINEN KASVIHUONEILMIÖ .....	9
2.2 KASVIHUONEKAASUT JA AEROSOLIT .....	11
2.2.1 Hiilidioksidi .....	11
2.2.2 Metaani .....	13
2.2.3 Dityypiksiidi .....	13
2.2.4 Halogenoidut hiilivedyt.....	13
2.2.5 Otoni.....	13
2.2.6 Aerosolit.....	14
2.3 ILMASTONMUUTOS JA KASVIHUONEILMIÖN VOIMISTUMINEN .....	14
2.3.1 Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä.....	14
2.3.2 Säteilypakotteen muutos.....	16
2.3.3 Maapallon kasvihuonekaasupäästöjen kehitys tulevaisuudessa sekä niiden vähennyskeinot.....	18
2.3.4 Kasvihuoneilmiön nopeutumisen vaikutukset maapallolla .....	19
2.3.5 Maapallon keskilämpötilan kohoaminen .....	19
2.3.6 Ilmastonmuutoksen muut vaikutukset maapallolla .....	20
2.3.7 Kasvihuoneilmiön nopeutumisen aiheuttamat uhkakuvat .....	21
2.3.8 Ilmastonmuutos Suomessa .....	22
3 ENERGIA .....	24
3.1 YLEISTÄ .....	24
3.2 ENERGIANLÄHTEET .....	25
3.3 MIKSI TULISI KÄYTTÄÄ UUSIUTUVIA ENERGIANLÄHTEITÄ?.....	27
4 UUSIUTUVAN ENERGIAN LÄHTEITÄ.....	30
4.1 AURINKOENERGIA .....	32
4.1.1 Johdanto.....	32
4.1.2 Erilaiset aurinkolämpötekniikat ja niiden ominaisuudet .....	34
4.1.2.1 Passiivinen aurinkoenergia .....	34
4.1.2.2 Rakennusten ja käyttöveden lämmitys aurinkolämpökeräimillä .....	35
4.1.2.2.1 Käyttö ja potentiaali .....	36
4.1.2.2.2 Tekniikka .....	36
4.1.2.2.3 Taloudellisuus .....	39
4.1.2.2.4 Vaikutukset ympäristöön.....	39
4.1.2.3 Lämpöpumppulämmitys.....	40
4.1.2.3.1 Käyttö ja potentiaali .....	41
4.1.2.3.2 Lämmönlähteet ja lämmönottoputkiston asennus.....	42
4.1.2.3.3 Lämpöpumppu .....	43
4.1.2.3.4 Taloudellisuus .....	45
4.1.2.3.5 Vaikutukset ympäristöön.....	46
4.1.2.4 Terminen aurinkosähkö.....	46
4.1.2.4.1 Käyttö ja potentiaali .....	47
4.1.2.4.2 Tekniikka .....	47
4.1.2.4.3 Taloudellisuus .....	49
4.1.2.4.4. Vaikutukset ympäristöön.....	49
4.1.3 Aurinkosähkökennot.....	50
4.1.3.1 Käyttö ja potentiaali .....	51
4.1.3.2 Aurinkokennon toiminta.....	52
4.1.3.3 Taloudellisuus .....	55
4.1.3.4 Vaikutukset ympäristöön.....	55
4.2 TUULIVOIMA – ENERGIAA TUULESTA .....	56
4.2.1 Johdanto.....	56
4.2.2 Käyttö ja potentiaali .....	58

4.2.3 Tekniikka.....	60
4.2.4 Taloudellisuus.....	62
4.2.5 Vaikutukset ympäristöön.....	62
4.3 BIOENERGIA .....	63
4.3.1 Johdanto.....	63
4.3.2 Käyttö ja potentiaali .....	63
4.3.3 Bioenergian hyödyntämistavat ja tekniikat.....	64
4.3.3.1 Biomassan poltto.....	65
4.3.3.2 Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttö ja tuotanto .....	67
4.3.3.3 Nestemäisten biopolttoaineiden käyttö ja tuotanto .....	68
4.3.4 Taloudellisuus.....	70
4.3.5 Vaikutukset ympäristöön.....	70
4.4 VESIVOIMA, AALTOENERGIA, VUOROVESI SEKÄ GEOTERMINEN ENERGIA.....	71
4.4.1 Johdanto.....	71
4.4.2 Käyttö, potentiaali ja resurssit.....	72
4.4.3 Hyödyntämistekniikka.....	74
4.4.4 Talous .....	75
4.4.5 Vaikutukset ympäristöön.....	76
5 VIITASAAREN UE-HANKE.....	78
5.1 HANKKEEN KUVAUS JA SISÄLTÖ .....	79
5.1.1 Informaatiopiste.....	79
5.1.2 Hankitut laitteet sekä niiden ominaisuudet.....	81
5.2 SELVITYS VIITASAAREN UE -HANKKEEN TIETOJENKERÄYSJÄRJESTELMÄSTÄ.....	83
5.2.1 Viitasaaren UE -hanketta edeltävä tilanne.....	84
5.2.2 Tietojenkeräysjärjestelmän rakenne ja toteutus.....	85
5.2.2.1 Hankittujen UE-laitteiden sisältämät omat tietojenkeräysjärjestelmät.....	86
5.2.3 Yhteenveto.....	89
6 TYÖN JA TULOSTEN TARKASTELU .....	91
6.1 INFORMAATIOPISTE .....	91
6.2 TIETOJENKERÄYSJÄRJESTELMÄ .....	92
6.3 YHTEENVETO.....	93
LÄHTEET.....	94
LIITTEET.....	101
LIITE 1: AURINKOENERGIA - AURINKOSÄHKÖ .....	101
LIITE 2: AURINKOENERGIA – AURINKOLÄMPÖ .....	104
LIITE 3: BIOENERGIA .....	108
LIITE 4: TUULIENERGIA .....	113

## KUVAT

KUVA 1. Maapallon vuotuinen globaali energiatase.....	10
KUVA 2. Hiilen kierto maapallolla.....	12
KUVA 3. Pitkäaikaisvaihtelut ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudessa.....	16
KUVA 4. Maapallon säteilypakotteeseen vaikuttavat tekijät.....	17
KUVA 5. Keskilämpötilan pitkäaikainen kehittyminen maapallolla.....	20
KUVA 6. Lämpötilan muutos osassa Pohjois-Eurooppaa vuoteen 2100 mennessä .....	23
KUVA 7. Energiankulutuksen jakautuminen maapallolla henkilöä kohden.....	25
KUVA 8. Energianlähteiden osuudet globaalissa primäärienergiantuotannossa .....	26
KUVA 9. Eri energialähteiden tuottamat hiilidioksidipäästöt elinkaarensa aikana. ....	28
KUVA 10. Uusiutuvia energianlähteitä ja niiden energiantuottomenetelmiä. ....	31
KUVA 11. Auringon säteilytehon vuotuinen jakautuminen maapallolla.....	32
KUVA 12. Kuukausittainen auringon säteily määrä 30° kallistetulle kattotasolle Helsingissä, Wienissä sekä Roomassa .....	33
KUVA 13. Aurinkolämpökeräinjärjestelmän toimintaperiaate.....	35
KUVA 14. Tasokeräimen rakenne .....	37
KUVA 15. Rakennekuva tyhjiöputkikeimestä, jossa heat pipe .....	39
KUVA 16. Maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate .....	41
KUVA 17. Lämmönkeräys pintamaasta, kalliosta sekä vesistöstä .....	42
KUVA 18. Lämpöpumpun toimintakaavio .....	44
KUVA 19. Termisen aurinkosähkön tuotantotavat keskittävillä aurinkokeräimillä .....	48
KUVA 20. Termisen aurinkosähkön tuotantojärjestelmä aurinkotornivoimalalla.....	49
KUVA 21. Aurinkopaneelien (PV-kennojen) kapasiteetin vuosittainen lisäys maailmassa.....	51
KUVA 22. Aurinkokennon toimintaperiaate .....	52
KUVA 23. Eräs Suomen sosiaalinen tuulivoimapotentiaali .....	58
KUVA 24. Tuulivoimakapasiteetin kehitys ja vuosittainen lisäys maailmassa .....	59
KUVA 25. Tuuliturbiinien ominaisuuksien kehittyminen viime vuosikymmeninä .....	61
KUVA 26. Biomassan hyödyntämisen pääreitit energiantuotannossa.....	65
KUVA 27. Viitasaaren UE-pisteen multimediaesityksen etusivu.....	80
KUVA 28. Viitasaaren ABC-liikennemyymälän UE-järjestelmän informaatiopisteen vuokaavio. ....	80
KUVA 29. Esimerkkialiohjelma cum laude -ohjelmointityönä LabVIEW-ohjelmistolla tehdystä tietojenkeräysohjelmistosta .....	85
KUVA 30. Alkuosa laajasta aurinkokeräimen tietoja esittävästä tekstitiedostosta, joka on kerätty RESOL-järjestelmällä Vaajakosken tutkimuslaboratoriosta.....	87
KUVA 31. Osa Viitasaarelta joulukuussa 2004 Davis-sääasemalla mitatuista ja tekstitiedostoon tallennetuista sääparametreista.....	88

## TAULUKOT

TAULUKKO 1. LÄMPÖPUMPPULÄMMITYKSESSÄ YLEISIMMIN KÄYTETTÄVÄT LÄMMÖNLÄHTEET JA NIIDEN LÄMPÖTILA-ALUE.....	42
TAULUKKO 2. ERI LÄMMITYSMUOTOJEN VERTAILU UUDESSA SUOMALAISESSA 150 M <sup>2</sup> OMAKOTITALOSSA. ....	46
TAULUKKO 3. NESTEMÄISTEN BIOPOLTTOAINEIDEN ENERGIASISÄLTÖJÄ.....	70
TAULUKKO 4. ERÄS ARVIO ENERGIAMUOTOJEN OSUUKSISTA LIIKENNEMYYMÄLÄN ENERGIANTUOTANNOSSA. ....	78
TAULUKKO 5. VIITASAAREN ABC-LIIKENNEMYYMÄLÄN YHTEYDESSÄ SIJAITSEVAT UUSIUTUVAA ENERGIAA TUOTTAVAT LAITTEISTOT SEKÄ NIIDEN OMINAISUUDET.....	82
TAULUKKO 6. VIITASAAREN UE -PROJEKTISSA KÄYTETTÄVÄT LAITTEET, MITTAUSKOHTEET JA LAITTEIDEN TIEDONKERUUTARVE. ....	89

## Määritelmät, lyhennykset ja konversiot

UE	Uusiutuva energia
RE	Renewable energy
ppm	(part per million) miljoonasosa
ppb	(part per billion) miljardisosa
K	Kelvin, lämpötilan SI-yksikkö
W	Watti, tehon yksikkö
$W_e$	Sähkötuottoteho watteina
$W_p$	Huipputeho watteina
$W_t$	Lämmöntuottoteho watteina

Etuliitteitä, energiayksiköitä ja energiayksiköiden välisiä muuntokertoimia.

Etuliitteet	Tärkeimmät yksiköt	Muuntokertoimet
k kilo $10^3$	J, joule	1 toe = 11,63 MWh = 41,868 GJ
M mega $10^6$	Wh, Wattitunti	1 MWh = 0,086 toe = 3,6 GJ
G giga $10^9$	toe, ekvivalenttinen öljytonni	1 GJ = 0,2778 MWh = 0,02388 toe
T tera $10^{12}$	cal, kalori	1 Gcal = 0,00419 TJ = 0,00115 GWh
P peta $10^{15}$		
E eksa $10^{18}$		

$$\text{Energiaa tuottavan laitteen hyötysuhde } \eta = \frac{\text{laitten tuotto}}{\text{laitteen saama energiamäärä}}$$



## 1 Johdanto

Energiansaanti on perusedellytys kaikelle toiminnalle maapallolla. Sen tuotannon tärkeys ja siihen vaikuttavat asiat heijastuvat sekä nykyiseen politiikkaan, talouteen, tasa-arvon tilaan että näiden kehitykseen ja maapallolla tulevaisuudessa vallitseviin elinoloihin. Nykyinen energiantuotanto perustuu vielä pitkälti uusiutumattomiin energianlähteisiin kuten öljyyn, hiileen, maakaasuun ja ydinvoimaan, joiden käyttö aiheuttaa kuitenkin monia kansallisia ja globaaleja ongelmia.

Energiantuotantoa uusiutumattomilla energianlähteillä rajoittaa niiden lähteiden rajallisuus. Maailman elintason ja väkimäärän kasvun myötä maailman energiantarve on kuitenkin rajussa kasvussa. Nykykulutuksella laskettuna fossiilisten energiavarojen riittävyys on vain muutamia kymmeniä (öljy, maakaasu) tai muutamia satoja (hiili) vuosia.

Fossiilisten energianlähteiden käyttö vapauttaa ilmakehään hiilen nopeasta luonnollisesta kierrosta poistunutta hiilidioksidia, joka johtaa kasvihuoneilmaston voimistumiseen sekä ilmastomuutokseen. Kansainvälinen tiedeyhteisö on laajasti yksimielinen siitä, että tulevaisuudessa maapallon ilmasto tulee muuttumaan haitallisesti, ja se näkyy mm. maapallon keskimääräisen lämpötilan nousuna, sateiden määrän lisääntymisenä, vuoristojäätiköiden sulamisena, merenpinnan kohoamisena ja sään ääri-ilmiöiden lisääntymisenä. Nämä merkitsisivät huomattavia negatiivisia vaikutuksia nykyisen kaltaiselle elämälle maapallolla.

Uusiutuvat energialähteet mahdollistavat puhtaan ja kestävästi energiantuotannon, jolla pystyttäisiin tyydyttämään moninkertaisesti maailman nykyinen energiantarve. Tässä ympäristötieteiden pro gradu -työssä käsitellään uusiutuvia energialähteitä hyödyntäviä energiantuotantotekniikoita sekä Viitasaarelle ABC-liikennemyymälän yhteyteen vuoden 2004 lopussa valmistunutta UE-pilottiprojektia, jolla pyritään lisäämään ihmisten mielenkiintoa uusiutuvaa energiantuotantoa kohtaan. ABC-liikennemyymälän yhteyteen on asennettu erilaisia uusiutuvasti energiaa tuottavia järjestelmiä, joiden lisäksi liikennemyymälän sisällä on asiakkaille suunnattu informaatiopiste. Tässä työssä on selvitetty Viitasaaren UE-projektin laitteille tarvittavan tiedonkeruujärjestelmän toteutusta sekä kirjoitettu kirjallisuusosion pohjalta informaatiopisteessä olevat infosivut energiajärjestelmien osalta.

## 2 Maapallon ilmasto ja siihen vaikuttavat tekijät

Tämä luku käsittelee maapallolla vallitsevaa ilmastoa, siihen vaikuttavia tekijöitä sekä ilmastomuutosta. Tarkastelu kohdistuu nykyisen kaltaiset elinolot mahdollistaviin tekijöihin maapallolla, ilmastomuutosta aiheuttaviin tekijöihin sekä ilmastomuutoksesta aiheutuviin ongelmiin.

Alueellisella *ilmastolla* tarkoitetaan tietyllä alueella vallitsevien sääparametrien pitkäaikaista vaihtelua, joiden tyypillinen vertailuaika on ainakin muutaman vuosikymmenen pituinen. Ilmastoa kuvataan lämpötilan, tuulen, pilvisyyden sekä muiden sääparametrien arvoilla. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat ilmakehän koostumus sekä ilmakehän alapuolisten kerrosten jatkuvat monimutkaiset vuorovaikutukset, jotka toistensa kanssa muodostavat *vallitsevan ilmaston*. *Ilmastojärjestelmä* koostuu ilmakehästä eli atmosfääristä, maapallon vesistöistä eli hydrosfääristä, kiinteän maan pedosfääristä, elollisen luonnon biosfääristä sekä jäätiköiden muodostamasta kryosfääristä (Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a).

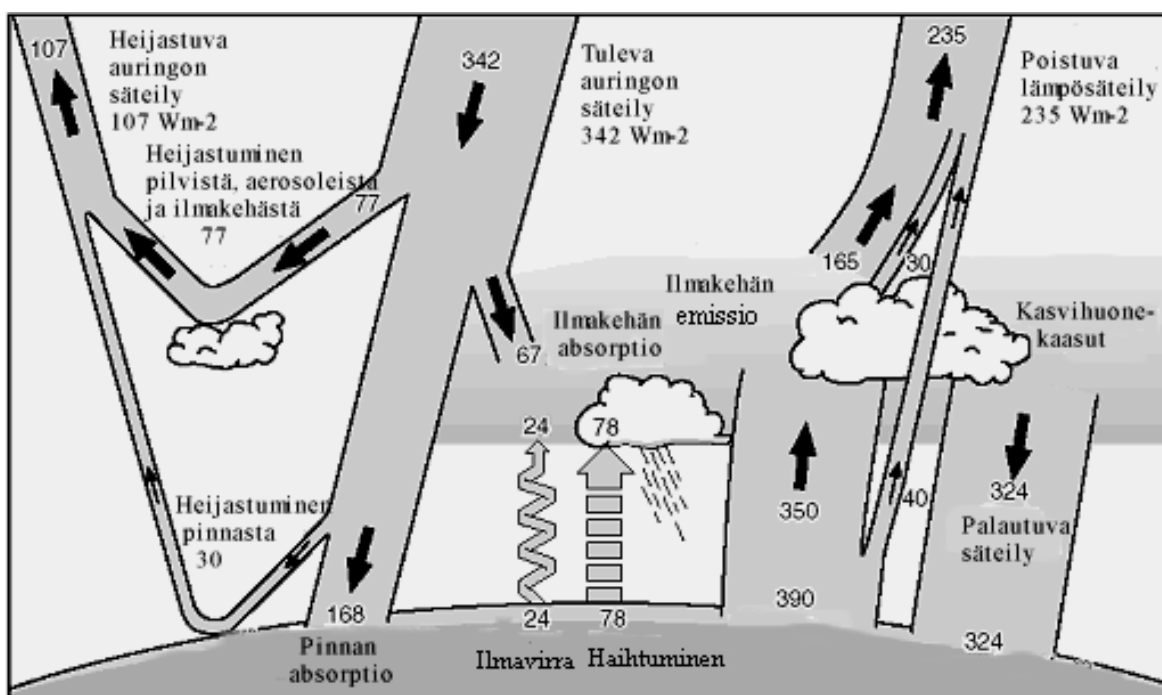
### 2.1 Maapallon lämpötalous ja luonnollinen kasvihuoneilmiö

Aurinko on maapallon tärkein energianlähde. Sen lähettämä säteily on perusedellytys kaikelle elämälle maapallolla. Säteily on myös kaikkien ilmastomme vaikuttavien tekijöiden perusenergianlähde. Auringon säteily muistuttaa olemukseltaan sellaisen mustan kappaleen säteilyä, jonka lämpötila on noin 5 700 kelviniä. Tällaisen kappaleen säteily on voimakkainta näkyvän valon alueella. Auringon säteilyn kokonaisteho pinta-alamittaa kohden eli intensiteetti on noin  $1\,367\text{ W/m}^2$  Maan keskietäisyydellä siitä. Tämä teho säteilee kohtisuoraan aurinkoa vasten olevalle pinnalle. Lukua kutsutaan *aurinkovakioksi*. Auringon säteilemä säteily on aallonpituuksiltaan laajaspektrisestä sähkömagneettista säteilyä, josta ilmakehän suojaava vaikutus estää kuitenkin suurimman osan pääsemästä maan pinnalle. Tarkemmin maapallolle säteilevää aurinkoenergiaa käsitellään aurinkoenergiailuvussa 4.1 (Boeker & van Grondelle 1995, Karttunen ym. 1998).

Kuvassa 1 on esitetty auringon säteilyenergian jakautuminen maapallolla. Ilmakehän yläosaan saapuvan auringon keskimääräinen säteilyintensiteetti on noin  $342\text{ W/m}^2$ , koska pallomaisen maapallon pinta-ala on nelinkertainen ympyrään nähden. Ilmakehän yläosaan tulevasta säteilystä vain osa pääsee lopulta Maan pinnalle asti. Pilvet ja ilmakehän sisältämät hiukkaset ja kaasut heijastavat noin 31 % säteilystä takaisin avaruuteen. Osa

säteilystä imeytyy pilviin, ilmakehän kaasuihin ja hiukkasiin, osa säteilystä siroaa eli muuttaa etenemissuuntaansa ilman kaasumolekyyleistä ja hiukkasista, ja osa säteilystä heijastuu takaisin Maan pinnalta mm. jäätiköistä. Maan pintaa päätyy lopulta lämmittämään noin  $168 \text{ W/m}^2$  (Boeker & van Grondelle 1995, Karttunen ym. 1998, IPCC 2001a).

Ilmaan ja maahan sitoutunut energia ei jää pysyvästi Maahan. Jos näin kävisi, maapallon lämpötila kasvaisi suunnattomasti. Maapallo toimiikin kuin musta kappale ja säteilee saamansa energian takaisin avaruuteen. Maapallolle tulevan ja siltä lähtevän energian määrän on pysyttävä vakiona, jotta nykyiset olosuhteet säilyvät (Boeker & van Grondelle 1995, Karttunen ym. 1998, IPCC 2001a).



KUVA 1. Maapallon vuotuinen globaali energiataase [ $\text{W/m}^2$ ] (IPCC 2001a).

Maapallo toimii samoin kuin kasvihuone, jossa on lämpimämpää kuin ympäristössä. Maapallolla toimivan *luonnollisen kasvihuoneilmion* ansiosta maapallon nykyinen keskilämpötila  $+15 \text{ }^\circ\text{C}$  olisi noin  $33 \text{ }^\circ\text{C}$  alhaisempi eli noin  $-18 \text{ }^\circ\text{C}$ . Maapallolla vaikuttavan kasvihuoneilmion mahdollistavat ns. *kasvihuonekaasut*, joiksi kutsutaan kaikkia sellaisia ilmakehän atomeja ja molekyylejä, jotka absorboivat eli imevät maapallolta avaruuteen suuntautuvaa infrapunasäteilyä ja näin hidastavat lämpösäteilyn poistumista maapallolta (Karttunen ym. 1998, IPCC 2001a).

Maapallolle ilmakehän läpi pääsevä auringon tulosäteily on aallonpituusalueeltaan pääosin noin 0,3 – 2,3  $\mu\text{m}$  välillä olevaa sähkömagneettista säteilyä. Maapallon emittoima infrapunäsäteily, joka on pääosin 10 – 40  $\mu\text{m}$  välillä olevaa säteilyä, absorboituu kuitenkin ilmakehässä oleviin kasvihuonekaasuihin. Ne säteilevät absorboimaansa lämpösäteilyä eteenpäin, mutta säteily lähtee satunnaiseen suuntaan, jolloin osa siitä päätyy takaisin lämmittämään Maan pintaa ja alailmakehä lämpenee. Kasvihuoneilmiöstä aiheutuvasta alailmakehän lämmönoususta 21 °C aiheutuu vesihöyrystä, 7 °C hiilidioksidista, 2 °C otsonista ja loput muista kasvihuonekaasuista (IPCC 2001a, Tiwari 2002, Ilmatieteen laitos 2005).

## 2.2 Kasvihuonekaasut ja aerosolit

Kasvihuonekaasuja ovat siis kaikki atomit ja molekyylit, jotka vaikuttavat ilmakehän lämpösäteilyn absorptioon. Maapallon ilmakehä koostuu pääosin typestä  $\text{N}_2$  (78 %) ja hapesta  $\text{O}_2$  (21 %), jotka eivät kuitenkaan vaikuta lämpösäteilyn absorptioon. Tärkeimmät maapallon luonnollisen kasvihuoneilmiön ja näin vallitsevat olosuhteet mahdollistavat kasvihuonekaasut ovat vesihöyry ja hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), joiden vuoksi ilmakehä on melko läpinäkymätön infrapuna-alueella muutamia kapeita aallonpituusalueita lukuun ottamatta (Houghton 1997, Karttunen ym. 1998).

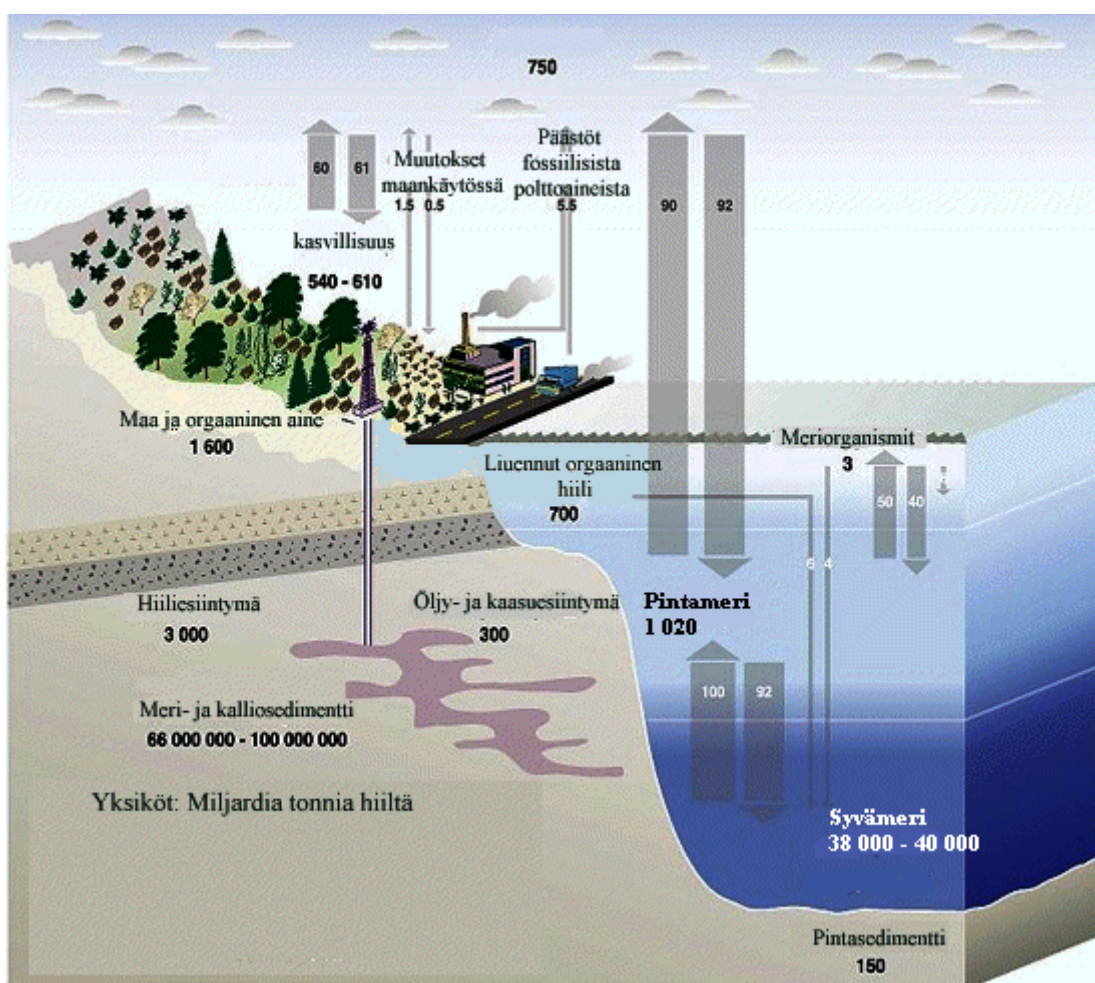
Seuraavassa on esitelty kasvihuoneilmiöön vaikuttavia kasvihuonekaasuja, niiden lähteitä sekä ilmakehässä olevia pieniä leijuvia partikkeleita eli aerosoleja, jotka myös vaikuttavat ilmakehän energiataseeseen absorboimalla ja sirottamalla auringon säteilyä. Vesihöyryn määrä ilmakehässä riippuu pääosin merien pintalämpötilasta, mihin ihmisen toiminnalla ei pystytä suoranaisesti vaikuttamaan, minkä vuoksi sen käsittely on tässä yhteydessä sivuutettu (Houghton 1997, Karttunen ym. 1998).

### 2.2.1 Hiilidioksidi

*Hiilidioksidi* ( $\text{CO}_2$ ) on väritön, hajuton ja ilmaa raskaampi kaasu, jota syntyy luonnossa elollisten organismien hajotessa sekä soluhengityksessä. Kasvit puolestaan kuluttavat sitä yhteyttämisessä. Hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on vain noin 0,037 %, mutta silti se on vesihöyryn ohella tärkein kasvihuonekaasu. Ihmisen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt painottuvat maapallon teollistuneisiin osiin. Päästöistä 75 % syntyy energiantuotannossa käytettävien fossiilisten polttoaineiden (öljy, maakaasu sekä hiili) polttamisesta. Fossiilisten polttoaineiden poltosta syntyi maailmanlaajuisesti 1990-luvulla vuosittain noin

$6,3 * 10^9$  tonnin hiilipäästöt. Energiantuotannon lisäksi ihmistoiminnan seurauksena syntyviä hiilidioksidipäästöjä tapahtuu vapautettaessa biosfääriin sitoutuneita hiilivaroja nopeammin kuin hiiltä niihin sitoutuu. Näin tapahtuu mm. peltoja ja laidunmaita raivattaessa sekä hiiltä sitovien metsien hävityksessä (Kanninen 1992, Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a).

Hiilidioksidin pitoisuuteen ilmakehässä vaikuttaa pitkällä aikavälillä syntynyt hiilen jatkuva kiertokulku maapallon elollisen ja elottoman luonnon välillä (Kuva 2). Suurin osa maapallon hiilivarannoista on sitoutunut maaperään karbonaateiksi ja fossiiliseksi hiilikertymiksi. Luonnon kierrossa olevasta hiilestä suurin osa on sitoutunut meriin, joissa sitä on noin 40 000 mrd. tonnia eli viisikymmenkertainen määrä ilmakehään nähden. Maaperään on sitoutuneena noin kaksi kertaa ilmakehän hiilimäärä (Houghton 1997, Karttunen ym. 1998, IPCC 2001a, Harvey 2002).



KUVA 2. Hiilen kierto maapallolla, yksiköt miljardia tonnia (UNEP 2004).

### 2.2.2 Metaani

*Metaania* (CH<sub>4</sub>) syntyy orgaanisen aineen hajotessa hapettomissa olosuhteissa bakteeritoiminnan seurauksena. Tärkeimpiä metaanin lähteitä luonnossa ovat kosteikot, tundra sekä termiitit. Ihmisen toimintaan liittyviä metaanin lähteitä ovat mm. riisinviljely, karjankasvatus, kaatopaikat sekä eräät fossiilisiin polttoaineisiin liittyvät toiminnot. Hiukan yli puolet nykyisistä metaanipäästöistä on ihmisen aiheuttamia (Kuusisto ym. 1996, Houghton 1997, IPCC 2001a).

### 2.2.3 Dityppioksidi

*Dityppioksidia* (typpioksiduuli, N<sub>2</sub>O) syntyy maaperän ja vesistöjen mikrobitoiminnan seurauksena. Sen tärkeimpiä luonnollisia lähteitä ovat valtameret sekä todennäköisesti trooppinen sademetsä. Ihmistoiminta (mm. maanviljelysmaat, karjanruoka ja kemikaaliteollisuus) aiheuttavat noin puolet nykyisistä N<sub>2</sub>O-päästöistä (Kanninen 1992, Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a).

### 2.2.4 Halogenoidut hiilivedyt

*Halogenoidut hiilivedyt* ovat hiilivetyjä, joissa yksi tai useampi vetyatomeista on korvattu halogeeneilla eli kloorilla, fluorilla, bromilla tai jodilla. Täysin halogenoiduilla hiilivedyillä ei ole luonnollisia lähteitä, vaan ne kehitettiin ihmisen toimesta 1960-luvulla lähinnä kylmälaitteiden jäähdytysaineiksi. Halogenoidut hiilivedyt toimivat ilmakehässä kasvihuonekaasuina, mutta osa niistä myös tuhoaa otsonia (O<sub>3</sub>) ja näin viilentää ilmakehää (Kanninen 1992, Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a).

### 2.2.5 Otsoni

*Otsoni* (O<sub>3</sub>) on hapen kolmiatominen molekyyli. Sitä syntyy stratosfäärissä 25 - 30 km korkeudella sekä troposfäärissä lähellä maanpintaa, jossa sitä muodostuu pääasiassa ihmistoiminnasta peräisin olevista epäpuhtauksien päästöistä (mm. typen oksidit ja hiilimonoksidi). Noin 90 % kaikesta otsonista sijaitsee 10 - 40 km korkeudella ja loput noin 10 % troposfäärissä alle 10 km korkeudella. Stratosfäärin otsoni vähentää biologiselle elämälle haitallisen ultraviolettisäteilyn pääsyä maanpinnalle (IPCC 2001a).

## 2.2.6 Aerosolit

*Aerosolit* ovat ilmakehässä lejuvia, ihmistoiminnan synnyttämiä tai luonnon omasta toiminnasta peräisin olevia, pieniä hiukkasia. Ne vaikuttavat ilmakehän lämpötasapainoon sirottamalla ja absorboimalla tulevaa auringon säteilyä. Sulfaattiaerosolit ja biomassan poltossa syntyvät aerosolit viilentävät lähellä maanpintaa olevia ilmakerroksia vähentämällä maanpinnalle tulevan säteilyn määrää. Fossiilisten polttoaineiden poltossa syntyvät nokihiukkaset puolestaan lisäävät lämpösäteilyn absorptiota ja lämmittävät ilmakehää. Aerosolien aiheuttama viilentävä vaikutus on useimmiten kuitenkin voimakkaampaa kuin lämmittävä vaikutus, joten aerosolihiukkasten kokonaisvaikutus alailmakehään on viilentävä (Kanninen 1992, IPCC 2001a).

## 2.3 Ilmastonmuutos ja kasvihuoneilmiön voimistuminen

Luonnollinen kasvihuoneilmiö mahdollistaa nykyisen kaltaisen elämän maapallolla. Ihmisten toiminta on kuitenkin aiheuttanut muutoksia ilmakehän koostumuksessa. Kasvihuonekaasujen (hiilidioksidin, metaanin, typpioksiduulin, troposfäärin otsonin ja halogenoitujen hiilivetyjen) pitoisuudet ilmakehässä ovat kasvaneet, jolloin lämpösäteilyn absorptio ilmakehässä on lisääntynyt ja johtanut maapallolta poistuvan lämpösäteilyn määrän hidastumiseen ja siten maapallon lämpötilan muuttumiseen. Ilmiötä kutsutaan *voimistuvaksi kasvihuoneilmiöksi* (Boeker & van Grondelle 1995; IPCC 2001a,d).

Maailman ilmastotutkijat ovat laajalti yksimielisiä siitä, että maapallon ilmasto on lämpenemässä haitallisesti ja että tähän on pääasiassa syynä ihmisen toiminta. Maailman keskimääräinen lämpötila on noussut vuodesta 1861 lähtien. Kriitikoiden mielestä tähän on luonnollisia syitä kuten auringon säteilyintensiteetin muutos. Ne eivät kuitenkaan yksinään pysty selittämään ilmaston lämpenemistä, mistä on vahvana todisteena esimerkiksi yläilmakehän jäähtyminen samaan aikaan, kun alailmakehä on lämminnyt (IPCC 2001a,d).

### 2.3.1 Kasvihuonekaasujen lisääntyminen ilmakehässä

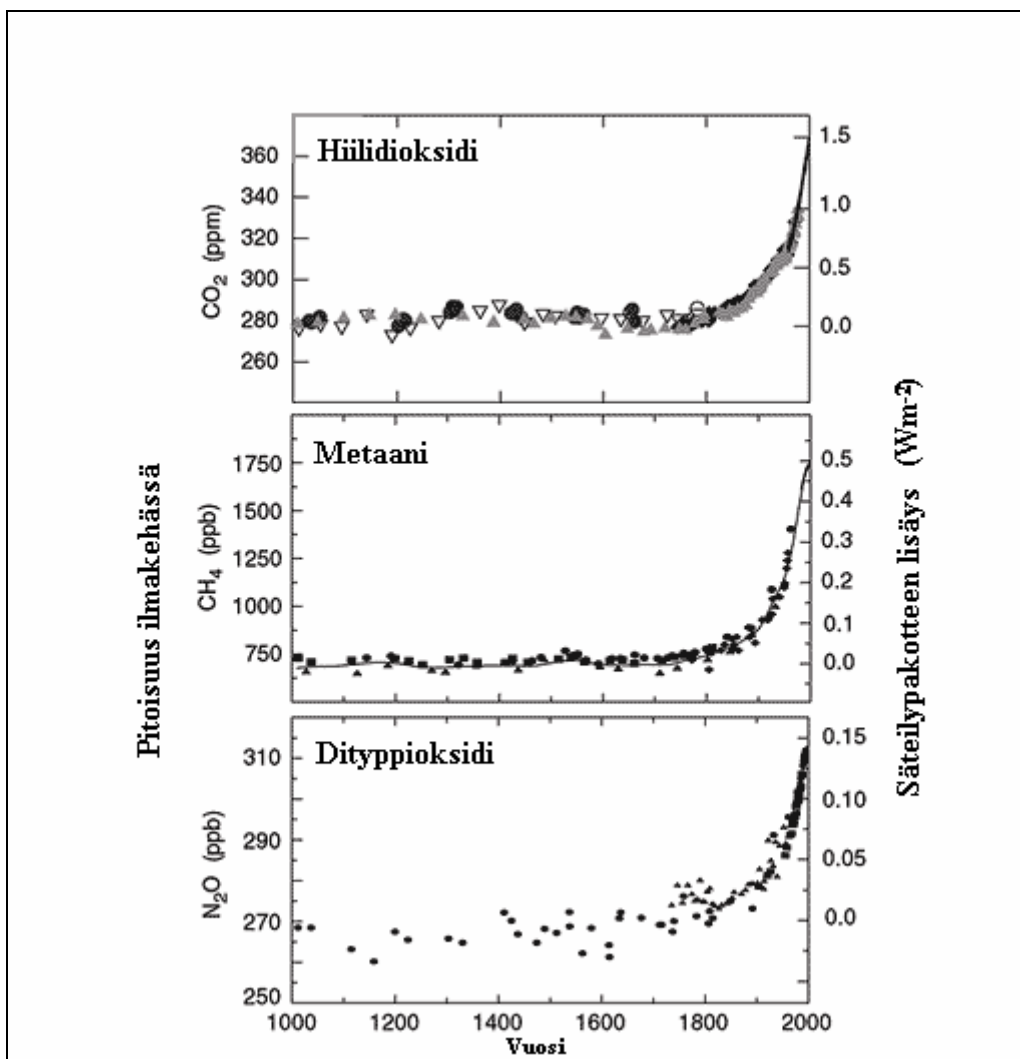
Kasvihuoneilmiön voimistumisen käsittelyssä on tärkeää keskittyä kasvihuonekaasuihin, joiden pitoisuuteen pystytään ihmistoiminnalla suoraan vaikuttamaan. Tällaisia kasvihuonekaasuja ovat hiilidioksidi ( $\text{CO}_2$ ), metaani ( $\text{CH}_4$ ), typpioksiduuli ( $\text{N}_2\text{O}$ ), halogenoidut hiilivedyt ja otsoni ( $\text{O}_3$ ). Tähänastisesta kasvihuoneilmiön voimistumisesta

hiilidioksidin vaikutuksen osuus on ollut n. 70 %, metaanin 24 %, ja typpioksiduulin noin 6 % (Houghton 1997).

Ihmisen toiminnan seurauksena hiilen luonnollinen kiertokulku on viimeaikoina järkkynyt ja hiilidioksidin pitoisuus ilmakehässä on noussut kiihtyvällä tahdilla (Kuva 3). Hiilidioksidin pitoisuus oli 1800-luvun alussa 280 ppm (parts per million, miljoonasosa), mutta teollisen kehityksen, fossiilisten polttoaineiden käytön ja maatalouden muutosten vuoksi pitoisuus oli vuonna 2002 jo 374 ppm (WMO 2004). Pitoisuus on siis noussut yli 30 % esiteollisen ajan jälkeen ja kasvaa edelleen 0,4 %:n vuosivauhdilla. Nykyistä hiilidioksidipitoisuutta ei ole ylitetty viimeiseen 420 000 vuoteen eikä todennäköisesti 20 miljoonaan vuoteen. Nykyinen hiilidioksidipäästöjen kasvunopeus on suurempi kuin kertaakaan viimeiseen 20 000 vuoteen. Hiilen kiertoon vaikuttavia tekijöitä, kuten merien hiilidioksidin sitomiskykyä, ei tarkasti pystytä vielä selvittämään ja se onkin yksi ilmastomuutoksen vaikuttavien tekijöiden tutkituimpia kohteita (NRCS 1999) (IPCC 2001a).

Myös metaanin pitoisuus ilmakehässä on lisääntynyt merkittävästi. Pitoisuus on noussut 151 % (1 060 ppb, part per billion, miljardisosa) vuodesta 1970, ja se nousee edelleen, mutta kasvunopeus saatiin kuitenkin hidastumaan 1990-luvulla (Kuva 3). Metaanin nykyistä pitoisuutta ei ole ylitetty viimeisen 420 000 vuoden aikana. Dityppioksidin pitoisuus ilmakehässä on noussut 17 % (46 ppb) vuodesta 1750, ja sen määrä on edelleen nousussa. Otsonikerrosta tuhoavien halogeeniyhdisteiden määrä ilmakehässä on vuodesta 1995 lähtien pysynyt vakiona tai laskenut vuonna 1987 tehdyn kansainvälisen Montrealin sopimuksen sekä sen liitännäissopimusten seurauksena. Korvaavien aineiden (esim. CHF<sub>2</sub>Cl ja CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F), jotka myös ovat kasvihuonekaasuja, pitoisuudet ovat edelleen nousussa. Otsonin määrä stratosfäärissä on hieman laskenut, mutta troposfäärissä pitoisuus on noussut 36 % vuodesta 1750 (Houghton 1997, IPCC 2001a).





KUVA 3. Pitkäaikaisvaihtelut ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudessa. Päästöjen lisääntyminen on ollut varsin nopeaa esiteolliselta ajalta lähtien. Hiilidioksidin määrä ilmakehässä on noussut yli 31 %, metaanin yli 151 % ja typen oksidien yli 17 % (IPCC 2001a).

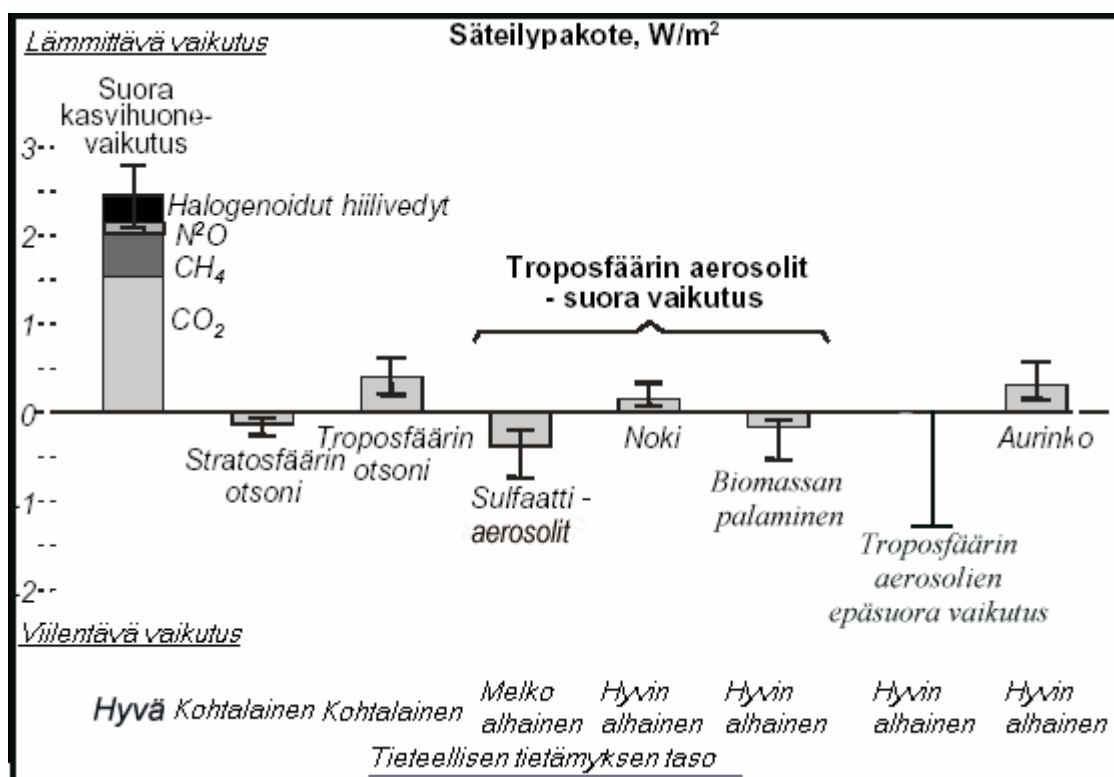
Hiilidioksidin, metaanin, typpioksiduulin, otsonin ja halogenoitujen hiilivetyjen lisäksi kasvihuoneilmaston voimistumiseen vaikuttavat epäsuorasti myös eräät muut kaasut, joko lisäämällä kasvihuonekaasujen muodostumista tai vähentämällä niitä. Näitä epäsuorasti kasvihuoneilmistöön vaikuttavia kaasuja ovat mm. hiilimonoksidi (CO), hiilivedyt ja typen reaktiiviset oksidit (NO<sub>x</sub>). CFC-yhdisteet toimivat itse kasvihuonekaasuina, mutta ne myös hajottavat toista kasvihuonekaasua otsonia (O<sub>3</sub>) (IPCC 2001a).

### 2.3.2 Säteilypakotteen muutos

Kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusta voidaan kuvata ns. *säteilypakotteella*, joka kuvaa sitä muutosta, jonka ne aiheuttavat maapallon energiataseeseen muuttamalla avaruuteen suuntautuvan säteilyn määrää. Säteilypakotetta mitataan yleensä tehon suhteena pinta-alayksikköä kohden eli intensiteettinä [W/m<sup>2</sup>]. Positiivinen säteilypakote lämmittää

ilmakehää ja negatiivinen viilentää. Kuvassa 4 on esitetty ihmisen toiminnan seurauksena tapahtunut maapallon säteilytasapainon muutos 1990-luvun lopulla verrattuna esiteolliseen aikaan. Kuvassa ylöspäin esitetyt pylväät kuten kasvihuonekaasut, alailmakehän otsoni, polton nokipäästöt ym. kuvaavat lämmittävää vaikutusta. Näistä tarkimmin tunnetaan kasvihuonekaasupäästöjen noin  $2,5 \text{ W/m}^2$  lämmitysvaikutus (IPCC 2001a).

Alaspäin laskevat pylväät osoittavat viilentävää vaikutusta eli säteilypakotetta pienentäviä tekijöitä. Niitä ovat yläilmakehän otsonikato, sulfaattiaerosolit, biomassan poltosta syntyvät hiukkaspäästöt sekä aerosolien epäsuora vaikutus pilviin, joka tekee pilvet heijastavimmiksi ja saattaa pidentää niiden elinikää (IPCC 2001a,d).



KUVA 4. Maapallon säteilypakotteeseen vaikuttavat tekijät, säteilypakotteen muutos 1990-luvulla verrattuna esiteolliseen aikaan sekä arvio säteilypakotteeseen vaikuttavien tekijöiden tieteellisen tietämyksen tasosta (IPCC 2001a, Savolainen ym. 2003).

Kasvihuonekaasujen määrän lisääntymisellä ilmakehässä on merkittävä vaikutus säteilypakotteen muutokseen. Pelkästään ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kaksinkertaistuminen lisää säteilypakotetta  $4 \text{ W/m}^2$ , joka johtaisi Maan pintalämpötilan  $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$  nousuun. Olettaessa huomioon vesihöyryn määrän lisääntyminen ilmakehässä, ja sen aiheuttama lämmitysvaikutus, todellinen nousu olisi  $1,5 - 4,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mallissa on huomioitu maan ja merien mukanaan tuomat takaisinkytkennät sekä epävarmuustekijät (IPCC 2001a).

### 2.3.3 Maapallon kasvihuonekaasupäästöjen kehitys tulevaisuudessa sekä niiden vähennyskeinot

Tuleviin kasvihuonepäästöihin vaikuttaa useat maailman kehityksessä tapahtuvat seikat, joita ovat mm. maailman väestönkasvu, taloudellinen kehitys, energian kysyntä ja tuotantotavat, tekniikan kehittyminen sekä maankäytön muutokset. Näistä väestönkasvu ja elintason nousu ovat tärkeimpiä päästökehitykseen vaikuttavia tekijöitä. Päästöjen pitkäaikainen ennustaminen onkin useiden tekijöiden vuoksi lähes mahdotonta. Tämän takia arvioitaessa päästöjen kehitystä joudutaan käyttämään erilaisia *skenaarioita*, jotka arvioivat tulevaisuuden kehitystä tietyin oletuksin (IPCC 2001a).

Hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) hiilen kiertokulkua ennustavien mallien mukaan ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden odotetaan nousevan vuoteen 2100 mennessä 540 – 970 ppm:ään (90 – 250 % verrattuna 1750-luvun 280 ppm:n pitoisuuteen). Mallit, jotka koskevat muita kasvihuonekaasujen pitoisuuksia ilmakehässä vuonna 2100, arvioivat myös merkittäviä nousuja (Kuusisto ym. 1996; IPCC 2000, 2001a,d).

Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien hallinta on erittäin tärkeää ilmastonmuutoksen hidastamiseksi. Koska ilmastoon vaikuttava järjestelmä on hyvin hidas muutoksille, arvioidaan nykyisillä päästöillä olevan vaikutusta vielä vuosisatojen ajan. Esimerkiksi tärkeimmän ihmisperäisen kasvihuonekaasun eli hiilidioksidin pitoisuuden tasapainottaminen tasolle 450, 650 tai 1 000 ppm vaatisi maailmanlaajuisten päästöjen pudottamista vuoden 1990 päästöjen tasolle alle vuosikymmenessä (450 ppm), vuosisadassa (650 ppm) tai muutamassa vuosisadassa (1000 ppm). Tämän jälkeen pitoisuuksia pitäisi edelleen alentaa, ja lopulta hiilidioksidipäästöjen tulisi olla vain pieni osa nykyisistä päästöistä (IPCC 2001a,d).

Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää ja rajoittaa monin erilaisin keinoin kuten kansainvälisin sopimuksin (Kioto ym.). Suurin osa nykyisistä päästöistä syntyy käytettäessä fossiilisia polttoaineita energiantuotannossa. Tämän vuoksi on siirryttävä vähähiilisimpiin polttoaineisiin tai kokonaan uusiutuviin energialähteisiin, joiden käyttö ei juuri aiheuta kasvihuonekaasupäästöjä. Energiantuotannossa on myös pyrittävä parempaan hyötysuhteeseen, ja energian siirtoa sekä jakelua on tehostettava. Tuotannossa syntyviä kasvihuonekaasuja voidaan myös poistaa syntyvistä savukaasuista. Ihmiset voivat vaikuttaa myös omilla kulutustottumuksillaan kasvihuonekaasujen kehitykseen esimerkiksi välttämällä turhaa materiaalien-, palveluiden- ja energiankulutusta sekä käyttämällä

mahdollisimman hyvää teknologiaa. Muita päästöjen vähennyskeinoja ovat mm. kaatopaikkojen ja maatalouden metaanipäästöjen rajoittaminen sekä hiilinielujen, kuten esimerkiksi sademetsien, elinvoimaisuuden säilyttäminen tai lisääminen (IPCC 2001c, Savolainen ym. 2003, Boyle 2004).

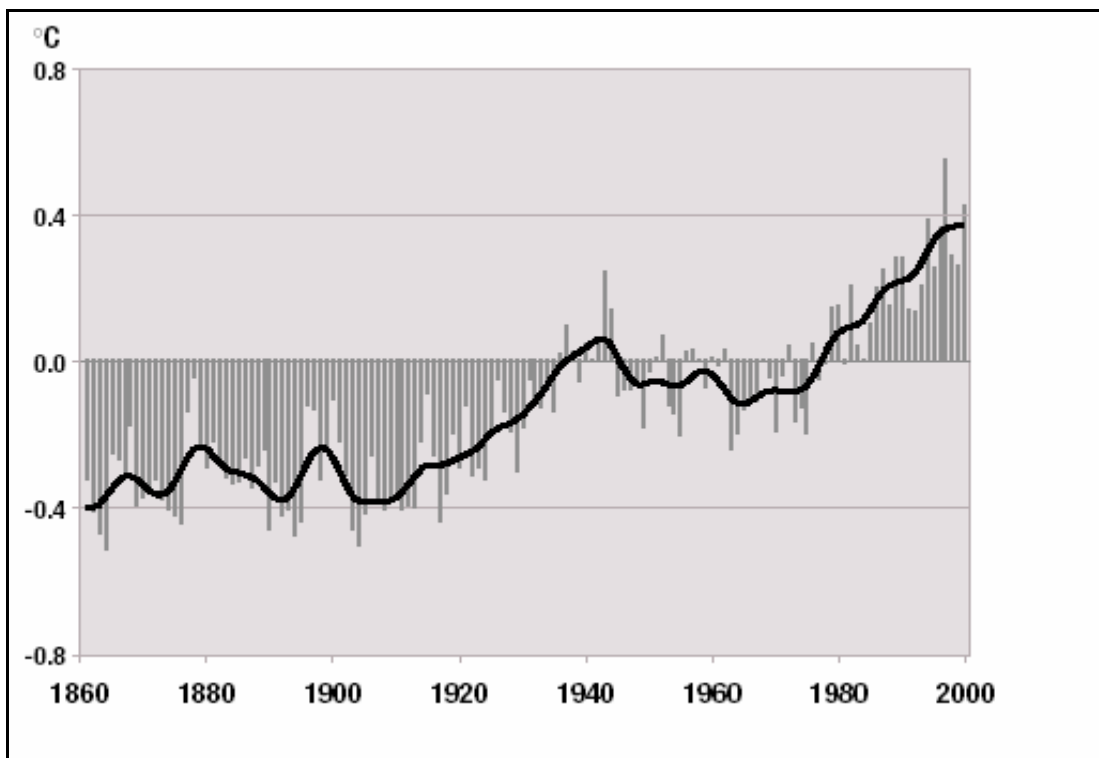
### **2.3.4 Kasvihuoneilmion nopeutumisen vaikutukset maapallolla**

Seuraavissa luvuissa on arvioitu muutoksia, joita tulevaisuudessa tulee tapahtumaan maapallon ilmastossa. Tulevaisuuden ilmastoa arvioitaessa tulee ottaa huomioon sekä menneet että nykyiset kasvihuonekaasupäästöt sekä tulevaisuuden arviot niistä. Tällöin ilmastomallit sisältävät tähänastiset arviot lämpenemisestä sekä päästöihin perustuvat tulevaisuuden arviot (Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a).

### **2.3.5 Maapallon keskilämpötilan kohoaminen**

IPCC arvioi maapallon keskilämpötilan tulevaisuudessa nousevan. Pääsyy tähän on kasvihuonekaasujen lisääntyminen, jotka yhä tehokkaammin estävät Maan vastasäteilyn palautumisen avaruuteen. Vuoden 1861 jälkeen maapallon keskimääräinen pintalämpötila on noussut  $0,6\text{ °C} \pm 0,2\text{ °C}$ , ja nousun odotetaan edelleen jatkuvan. Tulevaisuudessa ilmaston lämpeneminen on ennusteiden mukaan selvästi nopeampaa kuin 1900-luvulla, ja maailman keskilämpötilan arvioidaan nousevan vuoteen 2100 mennessä  $1,4 - 5,8\text{ °C}$ . Paleoklimatologisten havaintojen mukaan tämä lämpeneminen on todennäköisesti nopeampaa kuin kertaakaan viimeisen 10 000 vuoden aikana. Arvioitu lämpenemisväli pohjautuu hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) SRES-skenaarioihin (IPCC 2000).

Ilmaston lämpenemisen ei odoteta tapahtuvan tasaisesti maapallolla, vaan vaikutusten odotetaan olevan suurimpia pohjoisella pallonpuoliskolla varsinkin talvisin. Viimeisten vuosikymmenien aikana arktisten alueiden keskilämpötila on noussut noin kaksinkertaisella nopeudella verrattuna muuhun maapalloon ja seuraavan 100 vuoden aikana lämpötilan odotetaan kohoavan jopa  $4 - 7\text{ °C}$  (IPCC 2000, 2001a,d; ACIA 2004). Kuvassa 5 on esitelty maapallon tähänastinen lämpeneminen vuoteen 2000 asti (IPCC 2001a).



KUVA 5. Keskilämpötilan pitkäaikainen kehittyminen maapallolla (IPCC 2001a).

### 2.3.6 Ilmastonmuutoksen muut vaikutukset maapallolla

Ilmastonmuutos ja maapallon keskilämpötilan kohoaminen aiheuttaa lukuisia muutoksia maapallon ekosysteemeihin ja elinoloihin. Muutoksia tulee tapahtumaan mm. sademäärissä, sään ääri-ilmiöiden esiintymisessä sekä merenpinnan korkeudessa.

Maapallon sademäärien odotetaan lisääntyvän ja sateiden jakautuman muuttuvan seuraavan sadan vuoden aikana, jolloin etenkin rankkasateiden prosentuaalinen osuus kasvaa. Alueellisen sademäärän jakautumisen odotetaan voimistuvan niin, että sademäärät kasvavat varsinkin talvisin pohjoisen pallonpuoliskon korkeilla leveysasteilla ja keskileveysasteilla sekä Etelämantereella. Matalilla leveysasteilla sademäärien odotetaan sekä lisääntyvän että vähentyvän. Sademäärän vaihtelun odotetaan kasvavan varsinkin alueilla, joissa sademäärän odotetaan kasvavan. Vaikka maapallon sademäärät keskimäärin kasvavat, monia Afrikan ja Aasian tiheästi asuttuja alueita uhkaa entistä pahempi kuivuus ja vesipula kuivien kausien ja veden laatua heikentävien tulvien yleistyessä. Myös Välimeren maissa kuivuus lisääntyy entisestään (Houghton 1997, IPCC 2001b).

Ilmastossa vaikuttavien ääri-ilmiöiden odotetaan yleistyvän tulevaisuudessa. Erilaisten ilmastosimulointien perusteella on hyvin todennäköistä, että maksimi- ja minimilämpötilat nousevat ja hellepäivien määrä kasvaa lähes kaikilla maa-alueilla. Lisäksi on todennäköistä

trooppisten pyörremyrskyjen lisääntyminen, tuulen maksiminopeuden kasvaminen sekä rankkasateiden ja tulvien lisääntyminen ainakin joillakin alueilla (IPCC 2001a-b).

Merenpinnan odotetaan nousevan keskimäärin 0,09 - 0,88 metriä vuosien 1990 ja 2100 välillä. Tähän on pääasiallisena syynä lämpötilan noususta johtuva veden lämpölaajeneminen sekä vuoristojäätiköiden sulaminen. Etelämantereen jäätikön odotetaan kuitenkin kasvavan sademäärän lisääntyessä. Pohjoisella pallonpuoliskolla sijaitsevan lumipeitteen ja merijääalueen ennustetaan kuitenkin vähenevän edelleen (IPCC 2001a-b).

### **2.3.7 Kasvihuoneilmion nopeutumisen aiheuttamat uhkakuvat**

Ilmastonmuutos aiheuttaa riskejä maapallon luonnolle ja ihmisille. Luonnossa havaittavia muutoksia ovat esimerkiksi jäätiköiden sulaminen, koralli- ja atolliriuttojen tuhoutuminen, muutokset boreaalisissa ja trooppisissa ekosysteemeissä sekä rannikoilla tapahtuvat muutokset vedennousun, eroosion sekä ääri-ilmiöiden seurauksena. Kasvisto ja eliökunta kokevat myös muutoksia elinolosuhteiden muuttuessa, jolloin osa kasveista ja eläimistä levittäytyy uusille alueille. Osalle lajeista elinot muuttuvat kuitenkin niin huonoiksi, että ne kuolevat sukupuuttoon. Sukupuuttoon kuoleminen uhkaa mm. jääkarhua. Yleisesti ottaen voidaan sanoa, että mitä suurempi tuleva muutos on, sitä suuremmiksi ongelmat kasvavat (Kuusisto ym. 1996, IPCC 2001a-b, ACIA 2004).

Ihmiskunnan kokemia suuria riskejä ilmastonmuutoksen seurauksena ovat (Houghton 1997, IPCC 2001b):

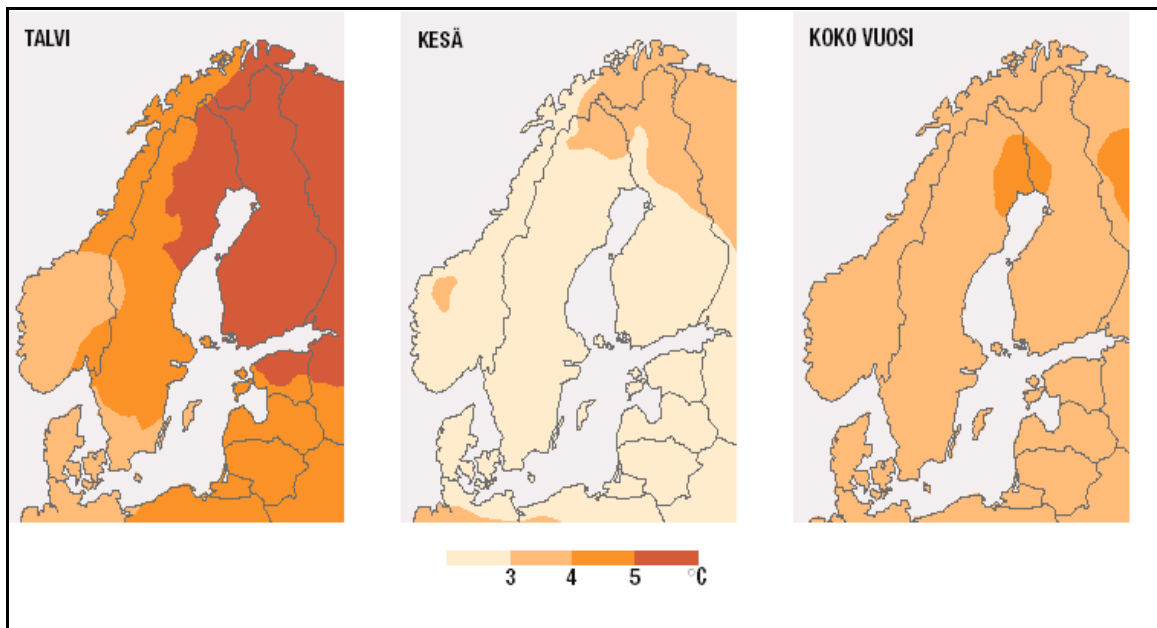
- i) Kolmasosalla ihmiskunnasta eli 1,7 miljardilla ihmisellä on nykyisin hankaluuksia tyydyttää vedentarpeensa. Määrän odotetaan nousevan jopa viiteen miljardiin vuoteen 2025 mennessä. Veden puutetta tullaan kokemaan esimerkiksi Aasiassa, Afrikassa sekä Välimeren maissa. Vedenkulutus tulee lisääntymään kehitysmaissa väestönkasvun sekä talouskasvun seurauksena.
- ii) Ilmastonmuutoksen odotetaan vähentävän maailmanlaajuisia ruokavarastoja ja näin nostavan ruuan hintatasoa. Jotkut alueet voivat hyötyä pitemmästä kasvukaudesta ja lisääntyneestä sademäärästä, mutta kuivemmilla alueilla tulee olemaan hankaluuksia ruokkia kasvava väestömäärä.

- iii) Ilmastomuutoksen odotetaan vaikuttavan heikentävästi ihmisten terveyteen. Lämpenevä ilmasto tulee esimerkiksi aiheuttamaan eräillä alueilla lämpöstressiä, joka yhdistettynä lisääntyneen ilmankosteuden ja ilmansaasteiden kanssa tulee aiheuttamaan lämpötilariippuvia sairauksia ja kuolemia. Muutokset ilmastossa tulevat todennäköisesti myös lisäämään erilasten tuholaiten ja tautien määrää, jolloin esimerkiksi malarian ja Denguekuumeen odotetaan lisääntyvän.

Ilmastomuutoksen taloudellisten vaikutusten on kehitysmaissa arvioitu olevan negatiivisia. Esim. Kiinan lisääntyvä energiankulutus pyritään tyydyttämään fossiilisilla polttoaineilla, mutta samanaikaisesti Maailmanpankki on kuitenkin arvioinut, että maan bruttokansantuotteesta jopa 13 % menee vuonna 2020 ympäristö- ja terveyshaittojen kattamiseen. Kehittyneiden maiden talouden kehittyminen riippuu ilmastomuutoksen suuruudesta. Jos lämpötila kohoaa paljon, on kehitys negatiivista. Muutoksen jäädessä pieneksi ovat taloudelliset vaikutukset sekä myönteisiä että kielteisiä (Houghton 1997, IPCC 2001b, Sawin 2004).

### **2.3.8 Ilmastomuutos Suomessa**

Ilmastomuutoksen vaikutuksesta Suomen ilmasto lämpenee, talvet lyhenevät ja sateiden määrä kasvaa. Erilaisten oletusten perusteella on laskettu, että Suomen lämpötila kohoaa 1,8 – 5,2 °C vuoteen 2050 ja 2,4 – 7,4 °C vuoteen 2080 mennessä verrattuna jaksoon 1961 - 1990. Kuvassa 6 on esitetty lämpötilan ennustettu muutos osassa Pohjois-Eurooppaa vuoteen 2100 mennessä. Suomen sademäärän arvioidaan kasvavan 1 – 28 % vuoteen 2050 ja 6 - 37 % vuoteen 2080 mennessä verrattuna jaksoon 1961–1990. Lämpötilan ja sademäärän perusteella Suomi alkaa muistuttaa nykyistä Keski-Euroopan pohjoisosaa. Tämän myötä myös kasvisto kokee muutoksia, jolloin esimerkiksi metsien kasvu paranee, lehtipuut lisääntyisivät ja havumetsäalue siirtyvät 400 – 500 km pohjoiseen. Lämpenemisen aiheuttamia haittavaikutuksia ovat mm. tuholaiten lisääntyminen, nykyisten kasvien ja eläinten elinolojen huonontuminen sekä merien ja järvien lisääntyvä rehevöityminen (Kuusisto ym. 1996, Heino 2001, Figure 2002).



KUVA 6. Lämpötilan muutos osassa Pohjois-Eurooppaa vuoteen 2100 mennessä (SWECLIM 1998).



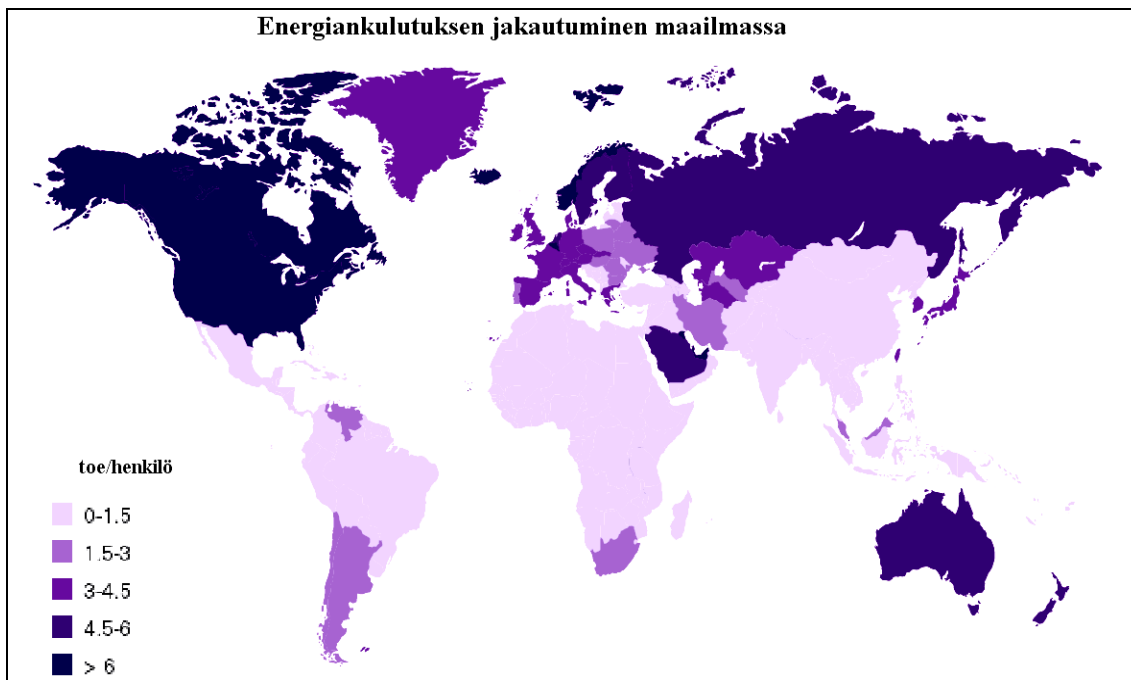
### 3 Energia

Maapallolla tapahtuvat toiminnot ovat riippuvaisia energiasta ja sen tuotannosta. Energiaan liittyviä tarpeita ovat mm. ruoka, asumisolosuhteet, liikkuminen sekä työskentely. Boylen (2004) mukaan energiankäyttö voidaan jakaa neljään pääryhmään: liikenteen, kotitalouksien, kaupalliseen ja instituutioiden sekä teollisuuden kulutukseen. Tässä energiaa esittelevässä kappaleessa käsitellään energian ilmenemistä, maailmanlaajuisista energiankulutusta sekä uusiutumattomien ja uusiutuvien energianlähteiden eroja.

#### 3.1 Yleistä

Energiaa tarkoittava sana tulee kreikankielisestä sanasta ergon, joka tarkoittaa työtä. Energialla tarkoitetaan siis kykyä tehdä työtä. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei voida luoda eikä hävittää, jolloin se muuttuu vain muotoaan. Energiamuotoja on monenlaisia kuten esimerkiksi sähkömagneettista säteilyenergiaa, termistä energiaa, kineettistä energiaa, sähköenergiaa, kemiallista energiaa ja gravitaatioenergiaa. Koska energialla on monenlaisia ilmenemismuotoja, on käytössä myös useita energiayksiköitä kuten joule (J), ekvivalenttinen öljytonni (toe) ja kalori (cal). Yksiköt perustuvat suurelta osalta polttoaineiden ominaisuuksiin.

Vuonna 2003 maailmanlaajuinen energiankulutus oli  $114,5 * 10^9$  MWh (9 841 milj. toe), josta saa paremman käsityksen vertaamalla sitä suomalaisen omakotitalon vuotuisen lämmitysenergian tarpeeseen, joka on n. 20 MWh. Maailman energiankäyttö on jakautunut hyvin epätasaisesti maantieteellisen sijainnin perusteella (Kuva 7) (BP 2004). Maailman suurin energiankuluttaja vuonna 2003 oli Yhdysvallat, joka kulutti 23,6 % maailmalla tuotetusta primäärienergiasta. Henkilöä kohden laskettuna Yhdysvaltojen energiankulutus oli yli kymmenkertainen Afrikan kulutukseen nähden. Suomessa vuonna 2003 henkilöä kohden kulutettu primäärienergia oli noin 5,6 toe, joka on myös erittäin korkea (Kara ym. 1999, BP 2004).

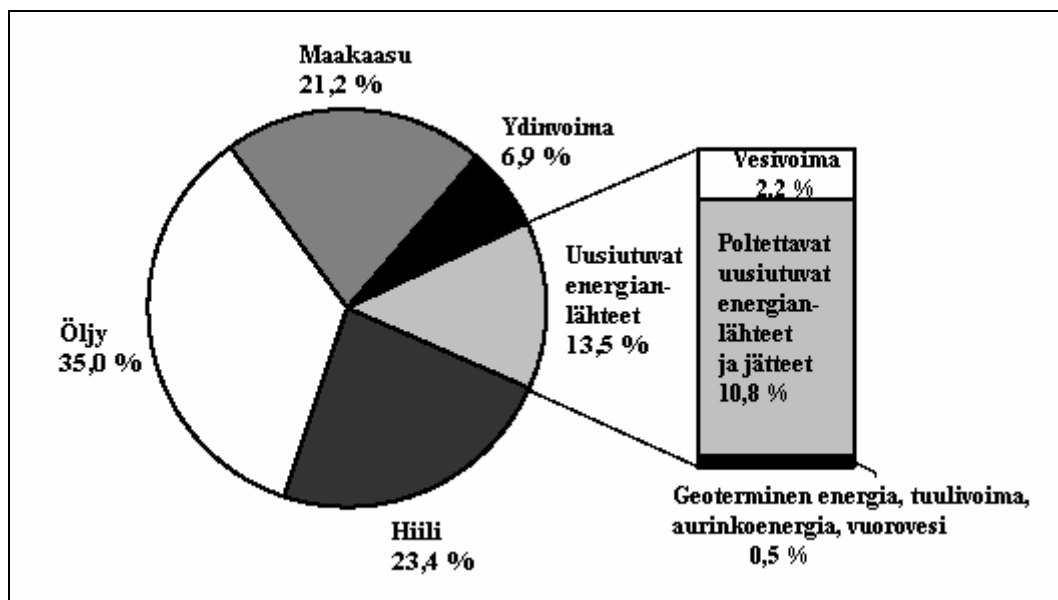


KUVA 7. Energiankulutuksen jakautuminen maapallolla henkilöä kohden (BP 2004).

Maailman energiankulutus on ollut nopeassa kasvussa. Viimeisen vuosisadan aikana primäärienergian kulutus on yli kymmenkertaistunut, ja vuonna 2003 se kasvoi 2,9 %. Nykyisen yli 2 % energiankulutuksen vuotuisen kasvuvauhdin pysyessä ennallaan maailman energiankulutus kaksinkertaistuu vuoteen 2035 mennessä ja kolminkertaistuu vuoteen 2055 mennessä verrattuna vuoden 1998 tasoon. Suurin osa energiasta kulutetaan nykyisin teollistuneissa maissa, mutta suurin kasvunopeus on tällä hetkellä kehitysmaissa kuten Kiinassa, jonka energiankulutuksen raju 14 %:n kasvu kiihdytti koko maailman energiankulusta ja kysyntää vuonna 2003 (UNDP 2000b, BP 2004).

### 3.2 Energianlähteet

Energianlähteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään: uusiutumattomiin ja uusiutuviin. Uusiutumattomia energianlähteitä ovat öljy, hiili, maakaasu ja ydinenergia, jotka hallitsevat vielä yli 80 % maailman energiantuotannosta (Kuva 8). Öljy, hiili ja maakaasu ovat muodostuneet vuosimiljoonien kuluessa biomassasta sitoen suuria määriä hiiltä itseensä. Kun näitä energialähteitä hyödynnetään, vapautetaan samalla suuri määrä kasvihuoneilmiötä voimistavaa hiilidioksidia (UNDP 2000b, Boyle 2004).



KUVA 8. Energianlähteiden osuudet globaalissa primäärienergiantuotannossa vuonna 2001 (IEA 2003b).

Uusiutuvat energianlähteet voidaan määritellä esimerkiksi siten, että ne ovat energianlähteitä, jotka uusiutuvat samalla tahdilla kuin niitä käytetään, eivätkä ne sisällä luonnon pitkäaikaisvarastoimaa hiiltä. Käytettäessä ne eivät aiheuta rasitteita ympäristölle. Uusiutuvia energianlähteitä ovat mm. aurinkoenergia, tuulivoima, bioenergia, vesivoima, vuorovesi, geoterminen energia sekä aaltoenergia (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Primäärinen energianlähde lähes kaikille uusiutuville energiamuodoille on aurinko, jonka säteilemä energiamäärä maapallolle on valtava. Yksi kolmasosa maapallon ulkolaidalle tulevasta auringonsäteilystä heijastuu suoraan takaisin avaruuteen, mutta 47 % muuntuu lämmöksi (ilmakehä, vesistö ja maaperä), 23 % menee veden kiertoon ja 1 % fotosynteesiin. Tämä aurinkoenergian jakautuminen maapallolle luo meille mahdollisuuden uusiutuvien energianlähteiden käyttöön. Auringosta maapallolle absorboituva energiamäärä on yli 10 000 kertaa energiamäärä, mikä kulutettiin vuonna 2002 käyttämällä fossiilisia polttoaineita sekä ydinenergiaa (=370EJ) (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Uusiutuvat energianlähteet voidaan jakaa sen mukaan, mistä niiden energia on peräisin (Kuva 10). Auringosta suoraan tai välillisesti energiansa saavia uusiutuvia energianlähteitä ovat aurinkoenergia, tuulivoima, bioenergia, vesivoima ja aaltoenergia. Kaksi muuta uusiutuvan energian lähdettä, geoterminen energia ja vuorovesi, eivät ole riippuvaisia auringon säteilystä. Vuorovesi syntyy Kuun ja auringon vetovoimasta maahan nähden, ja geoterminen energia puolestaan Maan kuoressa olevien radioaktiivisten aineiden hajotessa

syntyvästä energiasta, sekä Maan sulasta ytimeistä johtuvasta lämmöstä (Sørensen 2000, Boyle 2004).

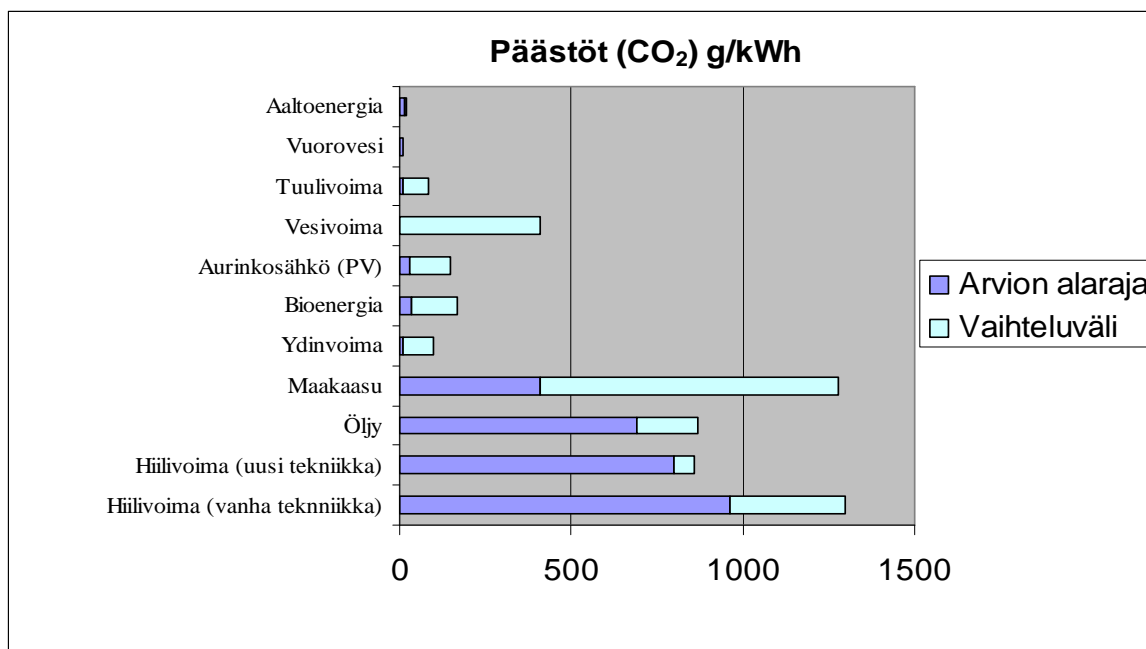
Maailman energiantuotannosta vasta pieni osa tuotetaan uusiutuvilla energianlähteillä (kuva 8) (IEA 2003b). Uusiutuvien energiamuotojen tekniset hyödyntämismenetelmät ovat kuitenkin kehittyneet niin paljon, että maailman primäärienergiankulutus voitaisiin ylittää niillä kuusinkertaisesti. Taloudellinen kilpailukyky on vielä osittain perinteisiä energialähteitä huonompi, mutta otettaessa huomioon perinteisten energialähteiden ilmastonmuutokseen, terveysongelmiin, sotilasmenoihin sekä sosiologisiin ja ympäristöön kohdistuvat vaikutukset ja kustannukset (katetaan yleensä verorahoin), uusiutuvat energialähteet ovat jo kilpailukykyisiä (Boyle 2004, WCRE 2004).

### **3.3 Miksi tulisi käyttää uusiutuvia energianlähteitä?**

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2001a) mukaan ilmastonmuutoksen torjumiseksi tulisi maailmanlaajuisia kasvihuonekaasupäästöjä vähentää nopeasti 60 - 80 %. Suurin osa nykyisistä hiilidioksidipäästöistä syntyy käytettäessä fossiilisia energianlähteitä energiantuotannossa. Siirtymällä käyttämään uusiutuvia energianlähteitä energiantuotannossa maapallon kasvihuonekaasupäästöt vähenevät huomattavasti (Kuva 9). Esimerkiksi korvattaessa nykyisin käytössä olevia hiili-laudevoimaloita Suomen sähköntuotannossa uusiutuvilla energiamuodoilla, hiilidioksidipäästöt vähenisivät 700 000 tonnia/TWh (Helynen ym. 2002).

Maapallon ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden kohoamista ja sen vaikutuksia ilmastonmuutokseen on käsitelty luvuissa 2.3.1 ja 2.3.2. Ilmakehän hiilidioksiditason kohoamisen pysäyttämiseksi sekä tason stabiloimiseksi on nopeasti siirryttävä käyttämään uusiutuvia energianlähteitä. Yksimielisyyttä hyväksyttävästä ilmakehän hiilidioksiditasosta ei ole, mutta hiilidioksiditason stabilointi esimerkiksi 550 ppm:n (kaksinkertainen pitoisuus esiteolliseen kauteen nähden) tai 750 ppm:n (kaksinkertainen pitoisuus nykyiseen nähden) vuoteen 2100 mennessä vaatii suuria ja pikaisia toimia. Yhdysvaltain energiaministeriön energia-asioiden tiedotushallinnon (EIA) arvioiden mukaan tavoitteiden saavuttamisessa merkittävimmissä osassa ovat uusiutuvat energialähteet (muut kuin vesivoima), kun taas ydinenergian ja vesivoiman käytön osuus pysyy nykyisellä tasolla. Ilmakehän hiilidioksiditason stabilointi edellä mainituille tasoille vaatii uusiutuvan energiantuotannon kapasiteetin ja käytön lisäystä päivittäin 450 MW (750 ppm) ja 920 MW (550 ppm) seuraavien vuosikymmenien ajan. Tämä tarkoittaisi maailman kokonaisenergiantuotannon tapahtuvan 49 prosenttisesti (550 ppm) ja

35 prosenttisesti (750 ppm) uusiutuvilla energiamuodoilla vuonna 2050 (Aitkien ym. 2004).



KUVA 9. Eri energialähteiden tuottamat hiilidioksidipäästöt elinkaarensa aikana. Tietoihin liittyy epävarmuuksia, joita ei tarkasti pystytä laskemaan. Esim. ydinvoiman loppusijoituksesta aiheutuu päästöjä, joiden suuruutta ei pystytä tarkasti vielä arviomaan (IEA 1998, UNDP 2000b).

Uusiutumattomien energiavarojen käyttöä pitkällä aikavälillä rajoittaa kasvihuonekaasupäästöjen lisäksi niiden rajalliset resurssit. Arvioiden mukaan järkevästi saatavilla olevien fossiilisten polttoaineiden varannot nykykulutuksella eivät ole suuret: Öljyä oletetaan riittävän vain noin 40 vuodeksi, maakaasua noin 60 vuodeksi ja hiiltä noin 200 vuodeksi (BP 2004). Kehittyvän tekniikan ja taloudellisten seikkojen vuoksi varoja saatetaan pystyä hyödyntämään hieman kauemmin (IPCC 2001c, BP 2004, Boyle 2004).

Fossiilisten polttoainevarantojen ehtyminen ja maailman energiankulutuksen jatkuva kasvu nostaa vääjäämättä myös uusiutumattomilla polttoaineilla tuotetun energian hintaa. Esimerkiksi öljyn hinta oli vuonna 2003 korkeimmillaan 20 vuoteen, ja vuonna 2004 hinta on edelleen noussut (OPEC 2004). Uusiutumattomien energiavarojen käytön ongelmana on myös se, että suurin osan jäljellä olevista fossiilisista polttoainevaroista sijaitsee tiettyjen epävakauten taipuvaisten maiden alueilla, mikä saattaa aiheuttaa suuria muutoksia energian hintatasoon sekä lisätä maiden välille taloudellisia, poliittisia ja sosiaalisia jännitteitä ja konflikteja ja johtaa jopa sotiin Näin ollen energian saannin varmuus nousee yhä tärkeämmäksi kysymykseksi (UNDP 2000b, WCRE 2004).

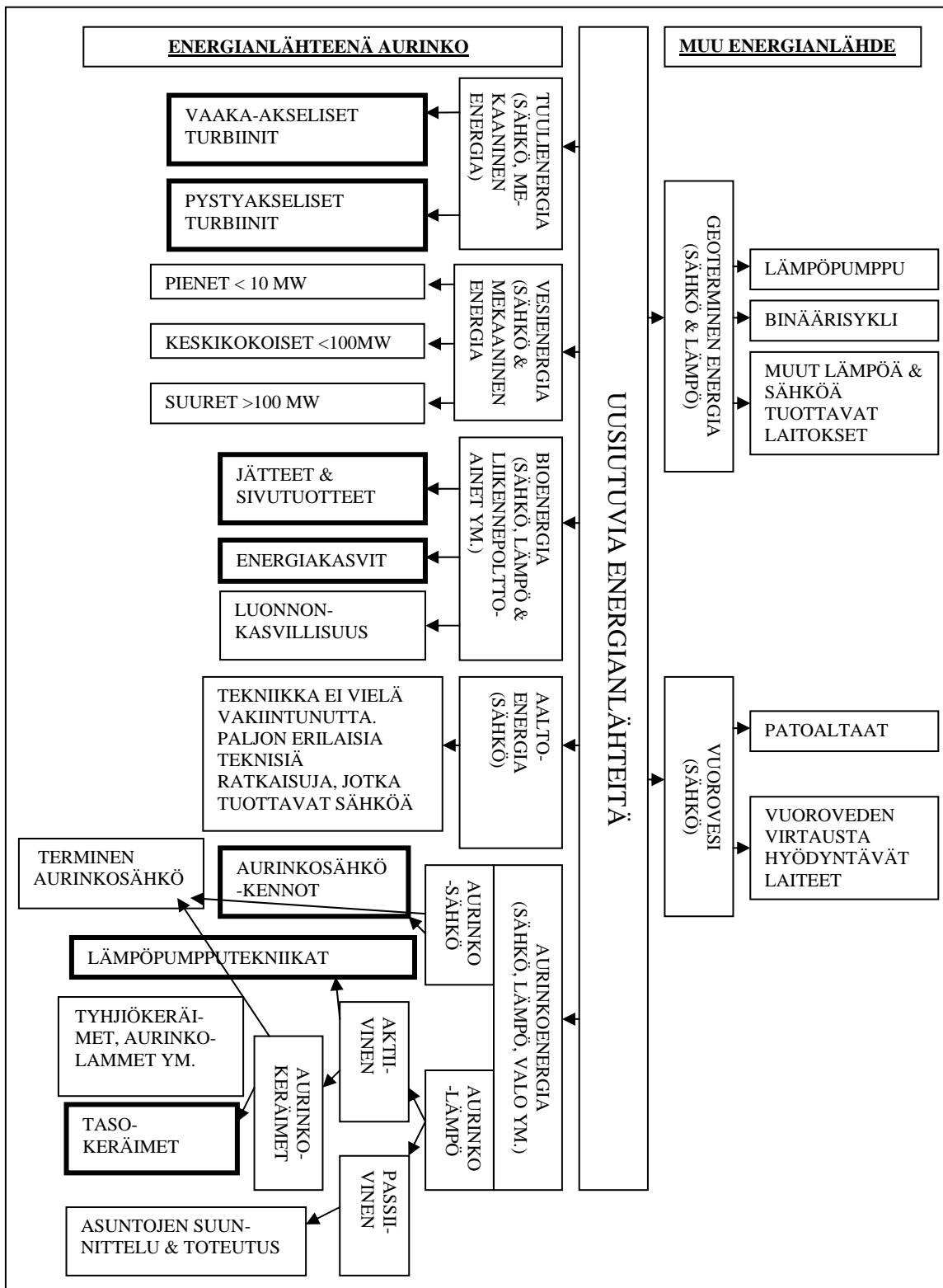
Nykyinen energiapolitiikka turvaa energiansaantiamme vain aivan lähitulevaisuudessa. Pitimmällä aikavälillä energian huoltovarmuuden ja taloudellisen kilpailukyvyn takaamiseksi on siis siirryttävä käyttämään uusiutuvia energianlähteitä. Uusiutuvilla energialähteillä tulee olemaan tärkeä asema vähennettäessä energian tuontia, ja samalla ne vaikuttavat myös myönteisesti kauppataaseeseen ja energiantuotannon varmuuteen. Esimerkiksi Euroopassa nykyisin käytettävästä energiasta jo yli 50 % on tuontienergiaa, ja ilman uusiutuvien energianlähteiden tehokasta lisäämistä tuontienergian määrän arvioidaan lisääntyvän vuoteen 2020 mennessä 70 %:n. Tämä koskee erityisesti öljyä ja kaasua, joita tuodaan tulevaisuudessa entistä kauempana sijaitsevista lähteistä. Suomessa kulutetusta energiasta yli 70 % on jo nykyisin peräisin Suomen ulkopuolella sijaitsevista lähteistä (Tilastokeskus 2005) (EC 1997, UNDP 2000b).

Uusiutuvien energiavarojen lisääntyvän käytön ja siihen liittyvän teollisuuden kehityksen myötä lisääntyy myös taloudellinen kiinnostavuus uusiutuvaan energiantuotantoon. Uusiutuvasta energiantuotannosta on tulossa maailmanlaajuisesti miljardiluokan liiketoimintaa, jonka taloudelliset vaikutukset ulottuvat uusina työpaikkoina uusien energiajärjestelmien teollisuuden ja huollon aloille. Lisäksi terveydenhuollossa, maataloudessa sekä metsäteollisuudessa saavutetaan myönteistä taloudellista kehitystä. Uusiutuvat energianlähteet lisäävät myös sähköntuotannon joustavuutta kysynnän vaihtelun mukaisesti, sekä parantaa kansallista taloutta valtioiden energiatuoton omavaraisuuden kasvaessa ja tuontienergian tarpeen vähentyessä. Uusiutuvalla energiantuotannolla pystyttäisiin vastaamaan myös kehitysmaiden kasvaviin energiantuotannon haasteisiin. Kehitysmailla ei useimmiten ole fossiilisia energialähteitä, mutta hyvä potentiaali uusiutuvalla energiantuotannolle sekä paljon työväkeä, jolloin uusiutuvien energiavarojen hyödyntäminen on erittäin hyvä vaihtoehto. Samalla kehitysmaihin syntyisi miljoonia uusia työpaikkoja (Sawin 2004, WCRE 2004).

IPCC on vuonna 2000 arvioinut maapallon tulevaisuuden näkymiä yli neljälläkymmenellä kehityspolulla. Vuonna 2100 kaupallisista energiamuodoista yli 80 prosenttisesti uusiutuvilla menetelmillä tuottava kehitysarvio tuotti alimmat kasvihuonekaasupäästöt sekä rikkipäästöt. Arvion mukaan kehityspolku merkitsisi myös pienimpiä tuloeroja, hitaimman väestönkasvun sekä suurimman bruttokansantuotteen kasvun (IPCC 2000).

## 4 Uusiutuvan energian lähteitä

Tässä luvussa esitellään uusiutuvia energianlähteitä sekä niiden hyödyntämismenetelmiä. Tarkastelussa keskitytään Viitasaaren ABC-liikennemyymälällä käytettäviin uusiutuviin energianlähteisiin: aurinkoenergiaan, tuulivoimaan, maalämpöön sekä bioenergiaan. Vesivoima, aaltoenergia, vuorovesi sekä geoterminen energia on esitelty luvussa 4.4. Tarkastelussa edetään siten, että ensin keskitytään energianlähteiden yleisiin asioihin, jonka jälkeen siirrytään niiden käyttöön ja resursseihin, hyödyntämistekniikkaan, taloudellisiin kysymyksiin sekä ympäristövaikutuksiin. Kuvassa 10 on esitetty uusiutuvia energialähteitä ja energiantuottomenetelmiä. Kuvassa on merkitty tummennetulla ne uusiutuvat energiantuotantomuodot, joita käytetään tai tullaan käyttämään Viitasaaren UE-projektissa.



KUVA 10. Uusiutuvia energianlähteitä ja niiden energiantuottomenetelmiä. Kuvassa on merkitty tummennetulla ne uusiutuvat energiantuotantomuodot, joita käytetään Viitasaaren ABC-liikennemyymälällä.

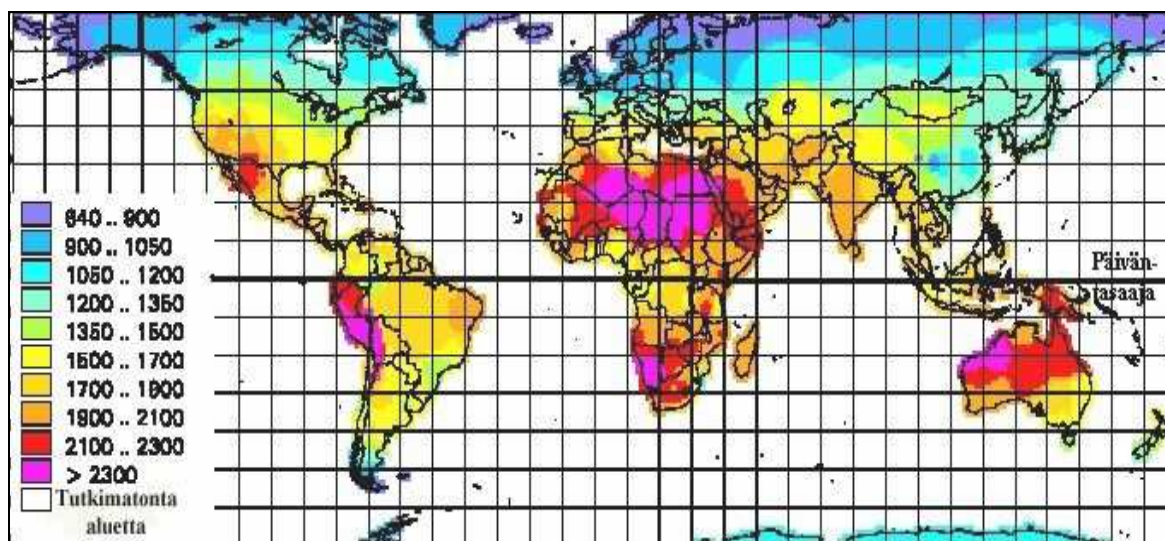


## 4.1 Aurinkoenergia

### 4.1.1 Johdanto

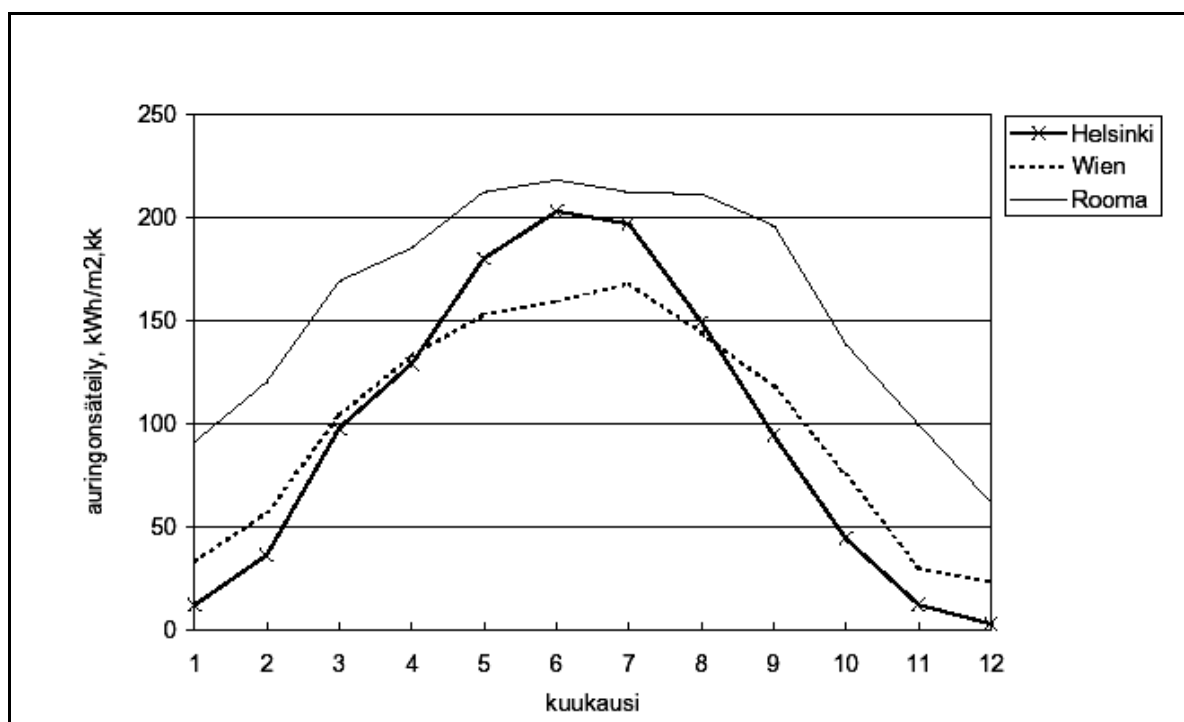
Aurinkoenergiaa pidetään yhtenä tulevaisuuden merkittävämmistä energianlähteistä. Aurinko on kuuma, kaasumainen ”pallo”, jonka halkaisija on 1,39 milj. kilometriä ja keskietäisyys maasta noin 150 milj. kilometriä. Auringossa tapahtuvan ydinfuusion, jossa vety-ytimet fuusioituvat heliumiksi, seurauksena sen avaruuteen säteilemä teho on noin  $3,8 \cdot 10^{26}$  W. Maapallon ulkolaidalla auringon säteilyteho on  $1,7 \cdot 10^{17}$  W eli pinta-alamittaa kohden noin  $1\,367$  W/m<sup>2</sup>. Maapallon pinnalla keskimääräinen säteilyintensiteetti on noin  $240$  W/m<sup>2</sup>. Säteilyn aallonpituusalue levittäytyy lyhytaaltoisesta gammasäteilystä pitkäaaltoisiin radioaaltoihin, mutta lähes 100 % energiasta on UV-C:n ja lähi-infrapunäsäteilyn (0,3 – 3 µm) välisellä alueella. Auringon pintalämpötila on n. 6 000 °C, jolloin sen säteilyn intensiteetin maksimi on noin 580 nanometrin ( $10^{-9}$  m) kohdalla (Duffie & Beckman 1991, Erat ym. 2001).

Maanpinnalle saapuva auringon säteily voidaan jakaa *suoraan auringonsäteilyyn, hajasäteilyyn* sekä *ilmakehän vastasäteilyyn*. Vuotuinen säteily määrä ja -teho maapallolla määräytyvät maantieteellisen sijainnin mukaan. Talvella pohjoinen pallonpuolisko vastaanottaa paljon vähemmän säteilyä kuin kesällä, koska maapallon akseli on 23,5° kulmassa aurinkoon nähden. Kuvassa 11 on esitetty säteilyenergian jakautuminen maapallolla. Kuvasta näkyy, että auringon säteilyteho on suurimmillaan kääntöpiirien kohdalla, jonka alueen maissa vuodessa saatava auringon säteily määrä pinta-alamittaa kohden on 2 000 – 2 500 kWh/m<sup>2</sup>. Euroopassa säteily määrä on luokkaa 800 – 1700 kWh/m<sup>2</sup> ja Yhdysvalloissa 1 100 – 2 500 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.



KUVA 11. Auringon säteilytehon vuotuinen jakautuminen maapallolla [kWh/m<sup>2</sup>] (Meteotest 2004).

Kuvassa 12 on esitelty auringon vuotuisen säteily määrän jakautuminen eri kuukausille Helsingissä, Wienissä ja Roomassa (Solpros 2001). Suomen vuotuinen säteily määrä pinta-alamittaa kohden on maan eteläosissa n. 1 000 kWh/m<sup>2</sup> ja keskiosassa n. 900 kWh/m<sup>2</sup>. Saatavan säteilyn määrä painottuu maaliskuun ja marraskuun väliseen aikaan, jolloin Etelä-Suomen vuotuisesta säteilytehosta saadaan 90 %. Pohjoisempänä luku on vielä suurempi (Duffie & Beckman 1991, UNDP 2000b, Erat ym. 2001, Solpros 2001).



KUVA 12. Kuukausittainen auringon säteily määrä 30° kallistetulle kattotasolle Helsingissä, Wienissä sekä Roomassa (Solpros 2001).

Aurinkoenergiaa on hyödynnetty jo kauan moniin eri käyttötarkoituksiin ja käyttökohteisiin. Nykyisen energiantuotannon kannalta aurinkoenergian tärkeimmät hyödyntämis muodot ovat lämpö, sähkö ja valo. Lämpöenergiana auringon energiaa voidaan hyväksikäyttää aktiivisesti ja passiivisesti. *Passiivinen lämpöenergian hyödyntäminen* tapahtuu ilman erillisen lisäenergian käyttöä. *Aktiivisella auringon lämpöenergian hyödyntämisellä* tarkoitetaan erillistä pumppausenergiaa käyttäviä menetelmiä, joissa auringon lämpöä hyödynnetään erilaisilla laitteilla kuten *aurinkolämpökeräimillä* tai *lämpöpumpuilla*. Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää lämpöenergiana mm. huoneistojen ja käyttöveden lämmityksessä sekä veden puhdistuksessa. Lisäksi *keskittävillä aurinkokeräimillä* pystytään tuottamaan erittäin korkeita lämpötiloja, joita voidaan hyödyntää teollisuusprosesseissa tarvittavan kuumen veden tuotantoon, tai tuotettu lämpö voidaan hyödyntää lämpövoimakoneilla *termisen*

*aurinkosähkön* tuotantoon. *Aurinkokennoilla* tuotetaan aurinkosähköä suoraan auringon valosta (Boyle 2004).

## **4.1.2 Erilaiset aurinkolämpötekniikat ja niiden ominaisuudet**

### **4.1.2.1 Passiivinen aurinkoenergia**

Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen tarkoittaa ilman lisäenergian käyttöä tapahtuvaa aurinkoenergian hyödyntämistä, joka toteutetaan mm. rakenteellisin ratkaisuin, aurinkokuivureilla ja aurinkokeittimillä. Passiivinen aurinkoenergian käyttökohteita ovat mm. rakennusten lämmitys, viilennys, ilmastointi ja valaistuksen lisäys. Lisäksi sitä käytetään ruuan lämmityksessä ja jäädytyksessä sekä veden puhdistuksessa. Rakennuksissa passiivista aurinkoenergiaa hyödynnetään hyvän suunnittelun, toteutuksen ja materiaalien valinnan avulla, joilla voidaan lisätä rakennusten energiatehokkuutta 30 - 50 %. Uusissa rakennuksissa tämä tarkoittaa rakentamisen kokonaiskustannusten kasvua alle 2 %, joka säästettyinä energiakustannuksina saadaan takaisin alle viidessä vuodessa (Erat ym. 2001, ISES 2003).

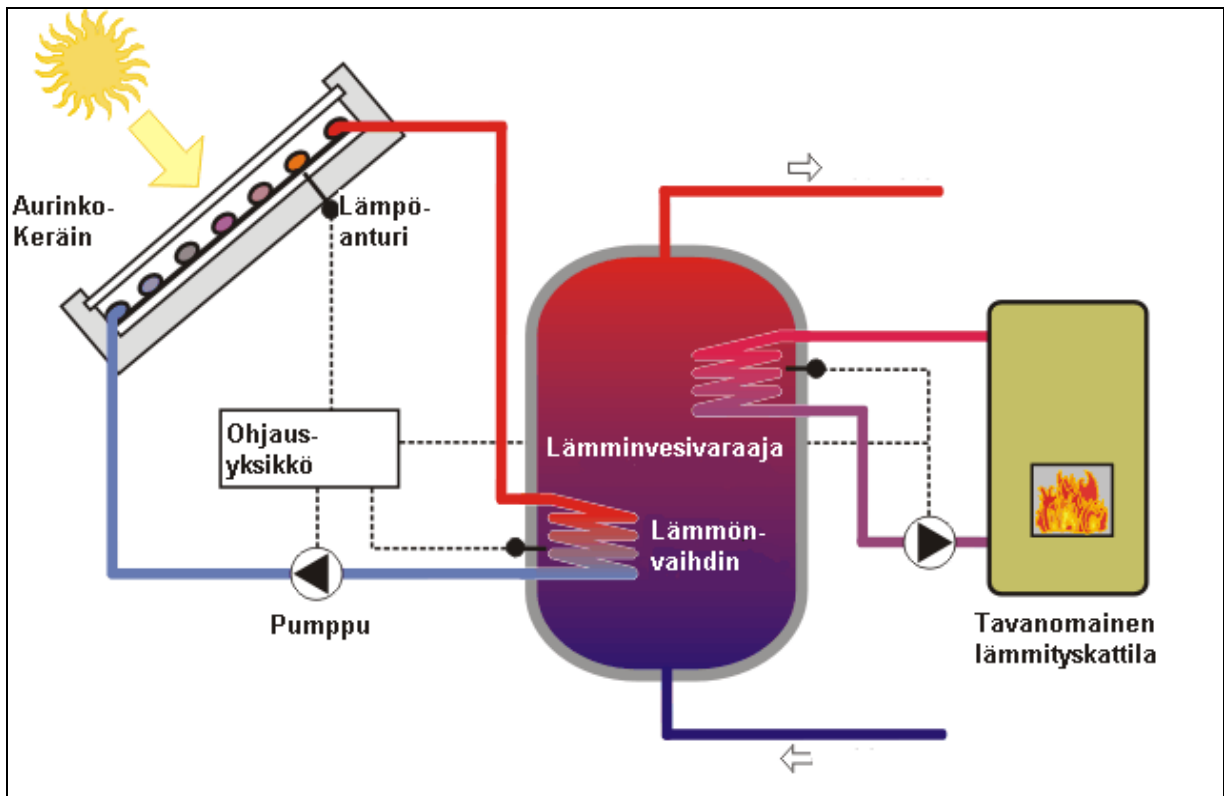
Asuntojen passiivisella lämmityksellä pyritään maksimoimaan sisään tulevan auringon lämpösäteily ja minimoimaan poistuva lämpösäteily. Kaikkiin rakennuksiin varastoituu jonkin verran auringon säteilyenergiaa lämpönä, mutta määrää saadaan lisättyä rakennusten sijoituksen, suuntauksen, muodon, ikkunoiden koon ja sijoittelun sekä rakennusmateriaalien avulla. Aurinkoenergian hyödyntämisen kannalta edullisin sijainti rakennukselle on etelärinne. Lämpöhäviöiden estämiseksi rakennuksen on oltava suojassa tuulelta, johon voidaan käyttää mm. maaston muotoja sekä kasvistoa. Muita rakennusten passiivisen lämpöenergian hyödyntämisen tunnusmerkkejä ovat suurimman ikkunapinta-alan sijoittaminen kohti etelää, hyvä eristys, lämpöä varaavien materiaalien käyttäminen, lasitetut kuistit ja viherhuoneet sekä rakennuksen suunnittelu niin, että eniten lämmitystä vaativat alueet ovat asunnon keskellä (Erat ym. 2001, ISES 2003, Boyle 2004).

Huoneistojen jäädytyksessä käytettävä passiivinen jäädytys tapahtuu mm. suunnitteleamalla ja valmistamalla rakennus siten, että kesäisin estetään liiallisen lämpösäteilyn pääsy rakennuksiin. Tämä voidaan toteuttaa lisäämällä rakennusten ympärille varjostavia elementtejä kuten esim. lehtipuita, lisäämällä ikkunoihin varjostimia tai käyttämällä erikoislaseja. Myös katto- ja räystäsrakennelmat voidaan suunnitella siten, että ne varjostavat kesäkuukausien aikana, mutta eivät estä kevättalvella matalalta tulevan

auringonsäteilyn pääsyä rakennuksiin. Kyseisillä menetelmillä voidaan vähentää merkittävä osa rakennuksiin sisään tulevasta säteilystä, mutta saadaan kuitenkin riittävästi viileää luonnonvaloa. Rakennusten hyvällä suunnittelulla, suuntauksella ja valaistavien tilojen tilankäytöllä voidaan parantaa luonnonvalon käyttöä ja näin vähentää tarvetta erillisen lisävalaistuksen käyttöön. Paras hyöty luonnonvalosta saadaan, kun käyttö optimoidaan tietokoneella (EERE 1994, Boyle 2004).

#### 4.1.2.2 Rakennusten ja käyttöveden lämmitys aurinkolämpökeräimillä

Rakennusten ja käyttöveden lämmityksessä voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa erilaisilla aurinkolämpökeräimillä. Aurinkolämpökeräinjärjestelmä koostuu yleensä aurinkolämpökeräimistä, putkistosta, lämmönvaraajasta, lämmönsiirtoaineesta, lämmönvaihtimesta, säätölaitteista ja pumppuyksiköstä (Kuva 13) (Quaschnig 2004). Lisäksi järjestelmän yhteyteen voi olla kytkettynä tavanomainen lämmityskattila, jota voidaan käyttää aurinkolämpökeräinten rinnalla, kun aurinkolämpökeräinten tuotto ei ole riittävä. Lämmitysjärjestelmissä yleisimmin käytetty aurinkokeräintyyppi on ns. *tasokeräin*, mutta myös ns. *tyhjiöputkikeräimiä* ja *heat pipe -keräimiä* käytetään (Erat ym. 2001, Boyle 2004, Quaschnig 2004). Viitasaaren pilottikohteessa aurinkolämpöä hyödynnetään tasokeräimillä. Niiden ominaisuudet ja käyttö on esitelty luvussa 5.1.



KUVA 13. Aurinkolämpökeräinjärjestelmän toimintaperiaate (Quaschnig 2004).

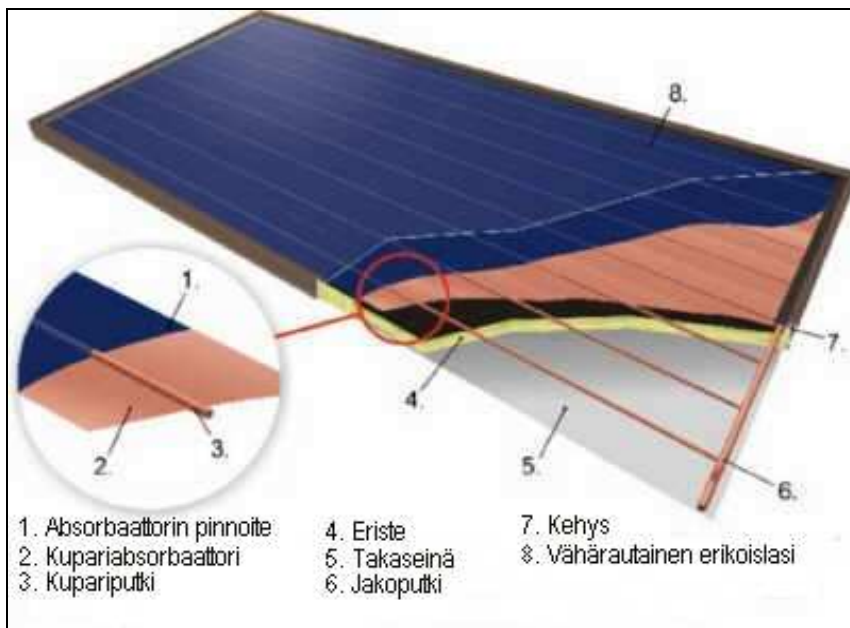
#### 4.1.2.2.1 Käyttö ja potentiaali

Aurinkolämpökeräimiä oli vuonna 2001 maailmanlaajuisesti asennettu yli 100 milj. m<sup>2</sup>. Niiden vuotuinen energiantuotanto oli noin 42 TWh, joka fossiilisia polttoaineita korvaamalla vähentää hiilidioksidipäästöjä 18,2 milj. tonnia vuodessa. Vastaavasti vuoteen 2000 mennessä Euroopan alueelle asennettujen aurinkolämpökeräimien kokonaispinta-ala oli noin 11,4 milj. m<sup>2</sup>, mistä pääosa sijaitsee Saksan, Itävallan sekä Kreikan alueella. Näillä kerätty vuotuinen energiamäärä oli noin 4 600 GWh, mikä vastaa vuosittain säästettyä 704 milj. litraa öljyä ja vältettyä 1,9 milj. tonnin hiilidioksidipäästöä ilmakehään. Suomessa aurinkokeräimiä on asennettu varsin vähän. Vuoteen 2001 mennessä niitä oli asennettu noin 12 000 m<sup>2</sup> pääasiassa pientaloihin. Lisäksi maataloudessa käytettyihin kylmäilmakuivureihin on asennettu 70 000 m<sup>2</sup> reikälevytyyppistä absorptiopintaa. Euroopan komission tavoitteiden mukaan Euroopan alueella olisi 100 milj. m<sup>2</sup> keräinala vuoteen 2010 mennessä (EC 1997, Weiss & Faninger 2002, Weiss ym. 2004).

#### 4.1.2.2.2 Tekniikka

Yleisimmin käytetty aurinkokeräintyyppi on tasokeräimet, joita käytetään käyttöveden (60 – 80 °C) tai huoneistojen (30 - 60 °C) lämmittämisessä. Tasokeräimet toimivat siten, että ne vastaanottavat auringon säteilemää energiaa, jolloin keräimen putkistossa oleva nestemäinen tai kaasumainen lämmönsiirtoaine lämpenee. Kierrätettävän nesteen tai kaasun mukana lämpö kulkeutuu edelleen lämmönvaihtimelle ja lämminvesivaraajaan, josta lämpö hyödynnetään nestekiertoisessa lämmityksessä (Duffie & Beckman 1991, Erat ym. 2001).

Tasokeräinten materiaalit, lämmönsiirtotavat, pintojen muodot sekä elementtien koot vaihtelevat. Tavallisimmin tasokeräin koostuu säteilyä vastaanottavasta mustasta absorbaattorista, putkista, lämpöeristyksestä, lasista sekä kehyksestä (Kuva 14). Tasokeräimen päällä käytetään lasia, koska se estää lämpimän ilman karkaamisen ja kasvihuoneilmion avulla lämpösäteilyn poistumista, jolloin mahdollisimman paljon tulevasta auringonsäteilystä saadaan hyödynnettyä (Duffie & Beckman 1991, Erat ym. 2001, Preuser ym. 2002).



KUVA 14. Tasokeräimen rakenne (YE 2004).

Tasokeräimen pääelementti on musta keräinelementti, *absorbaattori*, joka lämpenee vastaanottaessaan auringonsäteilyä. Absorbaattori on väriltään musta, koska musta väri absorboi parhaiten saapuvaa auringonsäteilyä. Yleensä se on metallirakenteinen, mutta myös lämpöä hyvin kestävä muovia voidaan käyttää. Kerätyn lämmön siirrossa käytetään nestettä, ilmaa sekä tyhjiöputkessa höyrystyvää nestettä. Valtaosa maailmassa nykyisin käytössä olevista keräimistä on ns. *nestekiertoisia tasokeräimiä*, joissa lämpö siirtyy absorptioelementistä putkistossa virtaavaan nesteeseen, joka edelleen kuljettaa sen käyttökohteeseen tai varastoon. Lämmön siirtoon käytetään yleensä vettä, jonka lämmönsiirto-ominaisuudet ovat muita nesteitä parempia. Jos keräintä käytetään paikoissa, joissa on jäätymisvaara, on käytettävä jotakin jäänestöainetta kuten vesi-glykoliseosta (Sukhatme 1996, Erat ym. 2001).

Kaupallisissa aurikolämpökeräimissä käytetään selektiivisiä absorbaattoreita, joilla päästään mahdollisimman hyvään hyödyntämistehokkuuteen. Tällainen pinnoite absorboi hyvin tulevaa lyhytaaltoista valosäteilyä ( $0,3 - 2\mu\text{m}$ ), mutta emittoi huonosti pitkäaaltoista ( $4 - 25\mu\text{m}$ ) lämpösäteilyä. Näin keräin pysyy lämpimämpänä ja hyötysuhde paranee noin 15 - 20 %. Tyypillisiä selektiivisiä pinnoitteita ovat elektrolyytisesti valmistetut mustakromi- ja mustanikkelipinnoitteet sekä tyhjiötekniikan avulla valmistetut pinnat (Duffie & Beckman 1991, Erat ym. 2001, Preuser ym. 2002).

Aurinkolämpökeräinten tuottoon vaikuttavista tekijöistä merkittävimpiä ovat aurinkokerääjän suuntaus ja kaltevuus, katteen ominaisuudet (lämmöneristys ja tiiviys), absorptio- ja lämmönsiirtokyky, käyttölämpötila, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet sekä ulkolämpötila ja tuulisuus. Nykyisillä aurinkolämpöjärjestelmillä pystytään hyödyntämään 30 – 60 % aurinkokerääjälle saapuvasta säteilystä. Hyödynnettävä energiamäärä  $Q_u$ , joka aurinkokerääjällä pystytään tuottamaan, voidaan laskea kaavalla

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)], \quad (1)$$

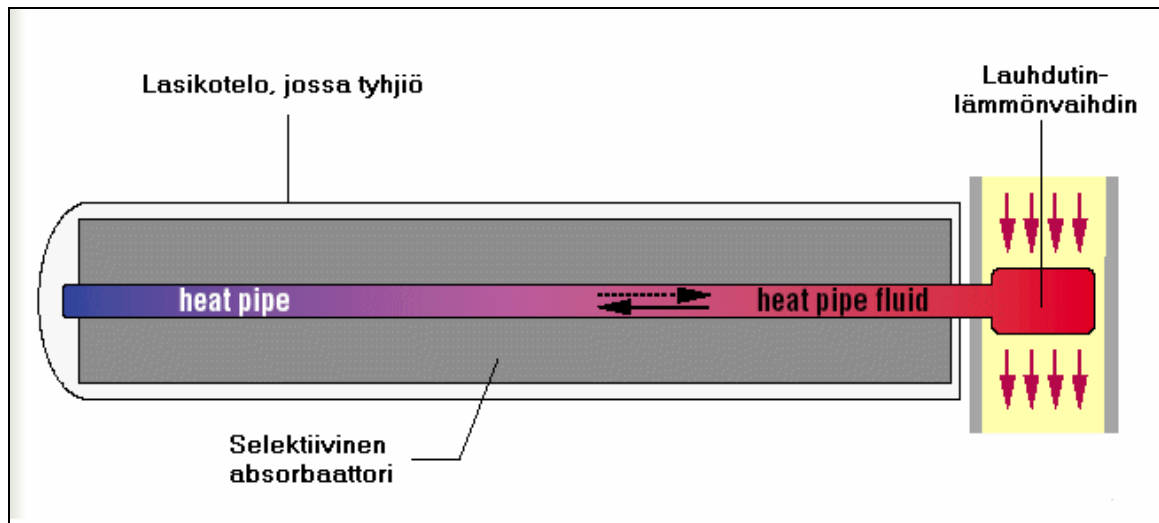
missä  $A_c$  on keräimen pinta-ala,  $S$  on absorboitu energia neliometriä kohden,  $U_L$  on lämpöhäviökerroin,  $T_{pm}$  aurinkolämpökeräimen pintalämpötila ja  $T_a$  ympäristön lämpötila.

Aurinkolämpökeräinten sijoittelulla ja suuntauksella on merkitystä niiden toiminnan ja tuoton kannalta. Suuntaus kannattaa tehdä kohti etelää, jolloin mahdollisimman suuri määrä auringonsäteilyä pääsee aurinkolämpökeräimelle päivän aikana. Aurinkolämpökeräimen kallistuskulma riippuu käytettävästä sovelluksesta sekä maantieteellisestä sijainnista. Kun Suomessa halutaan saada paras vuosituotto, keräin kannattaa asetta noin  $45^\circ$  kulmaan. Painotettaessa kesällä tapahtuvaa tuottoa kulma voi olla pienempi. Usein keräin kannattaa asentaa katon suuntaisesti, jolloin käyttö on edullisempaa ja esteettisempää kuin keräintelineiden ja tukirakenteiden kanssa. Aurinkokeräin on mahdollista myös integroida rakenteisiin eli rakentaa osaksi rakennuksen vaippaa. Tämä on helpointa tehdä jo rakennusvaiheessa (Duffie & Beckman 1991, Erat ym. 2001, Preuser ym. 2002, Rannila 2004).

Tavanomaisten tasokeräinten lisäksi käytössä on ns. tyhjiöputkikeräimiä, joiden absorbaattori on asennettu lasiseen koteloon, jossa on tyhjiö. Näin pystytään vähentämään merkittävästi konvektiosta aiheutuvia lämpöhäviöitä. Tyhjiöputkikeräimet koostuvat lasisesta tyhjiöputkesta ja metallisesta absorptiolevystä, jonka sisällä on lämmönsiirtoputki ja lämmönsiirtoainetta kuten metanolia (Quaschnig 2004).

Tavanomaisten tyhjiöputkikeräinten lisäksi käytössä on heat pipe -keräimiä, jotka tehostavat lämmönsiirtoa faasimuutoksen avulla (Kuva 15). Ne toimivat siten, että saapuva auringonsäteily saa lämmönsiirtoaineen höyrystymään absorbaattorissa, jolloin kaasumainen lämmönsiirtoaine nousee keräimen lauhdutin-lämmönvaihtimelle. Siellä

kaasumainen lämmönsiirtoaine luovuttaa lämpönsä, tiivistyy takaisin nesteeksi ja valuu sen jälkeen takaisin absorbaattorille.



KUVA 15. Rakennekuva tyhjiöputkikeimestä, jossa heat pipe (Quaschnig 2004).

Tavanomaisiin tasokeräimiin verrattuna tyhjiöputkikeräimillä päästään merkittävästi parempaan hyötysuhteeseen (50 – 70 %) ja lämmöntuotto on parempaa varsinkin vuoden kylmimpinä aikoina. Tyhjiöputkikeräimet tarvitsevat myös vähemmän tilaa. Sen huonona puolena voidaan pitää korkeampaa hintaa (Quaschnig 2004).

#### 4.1.2.2.3 Taloudellisuus

Aurinkolämpökeräimillä tuotetun lämpöenergian hinta riippuu pääosin asennettavan tekniikan vaihtelevista investointikustannuksista ja tuotosta. Karkeiden arvioiden mukaan tuotetun lämpöenergian hinnaksi tulee hyvillä tuotantoalueilla 2,5 – 10 snt/kWh ja huonoilla tuotantoalueilla 6 – 20 snt/kWh. Tekniikan kehittyessä ja yleistyessä investointikustannukset pienentyvät (UNDP 2000b).

#### 4.1.2.2.4 Vaikutukset ympäristöön

Aurinkolämpöjärjestelmä ei aiheuta toimiessaan päästöjä, mutta välillisiä päästöjä ja ympäristövaikutuksia syntyy mm. aurinkolämpöjärjestelmän materiaalien ja laitteiston valmistuksessa, asennustyöstä ja käytön aikana mm. pumppuihin tarvittavasta sähköstä (riippuu tuotantotavasta). Suomessa aurinkolämpöä käytetään lähinnä täydentämään pientalojen öljy- ja sähkölämmitysjärjestelmiä. Aurinkolämmöllä aikaansaatava suora kasvihuonekaasujen vähennyspotentiaali on parhaimmillaan noin 300 - 455 g CO<sub>2</sub>/kWh (Solpros 2001).



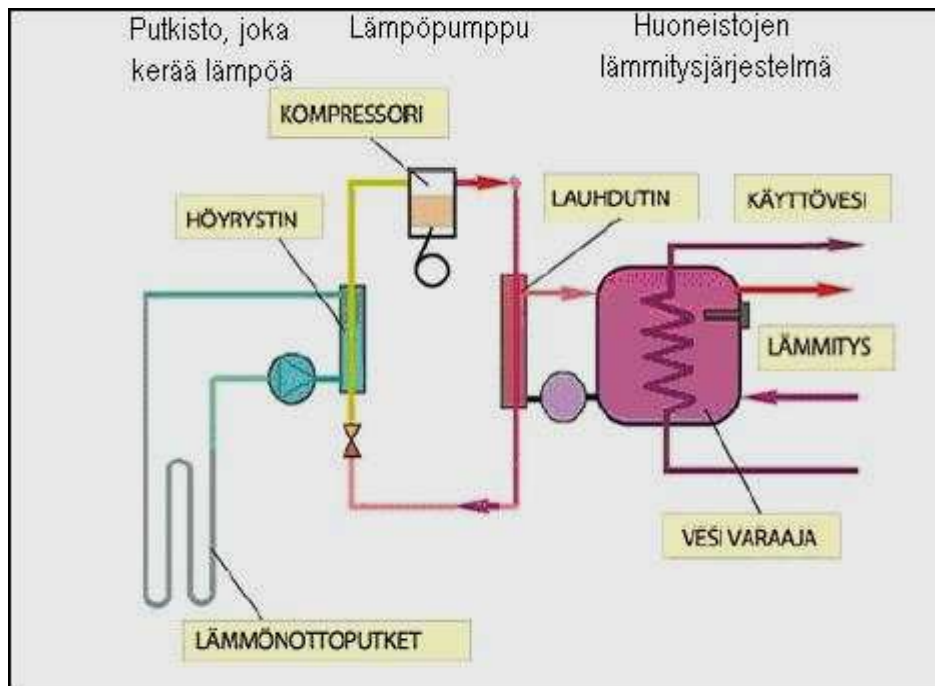
### 4.1.2.3 Lämpöpumppulämmitys

Lämpöpumppulämmityksellä tarkoitetaan huoneistojen lämmitysmenetelmää, jossa hyödynnetään kesän aikana auringonsäteilystä maan pintakerrokseen kuten pintamaahan, vesistöihin, kallioihin ja ilmaan varastoitunutta lämpöenergiaa. Tätä varastoitunutta lämpöenergiaa pystytään hyödyntämään lämmityksessä ympäri vuoden siirtämällä sitä rakennuksiin ns. *lämpöpumpuilla*. Lämpöpumppulämmityksen toimintaperiaate on täsmälleen sama kuin jääkaapissa, jossa lämpöä siirretään jäädytettävästä sisätilasta lämpimään ulkotilaan. Lämmönsiirto on mahdollista, kun sekä lämpöä kylmästä lämmönlähteestä otettaessa että huoneistojen lämmitysjärjestelmään siirrettäessä lämmön annetaan johtua lämpimämmästä kylmempään. Lämpötilan nostaminen lämmönlähteen ja huoneiston välillä tapahtuu lämpöpumpulla (Juva 1982, Sørensen 2000, SULPU 2004).

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energiaa ei synny tyhjästä eikä sitä voida hävittää. Lämpöpumppulämmitys perustuukin vain lämpöpumpun kykyyn siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpövarastosta korkeampaan lämpövarastoon. Lämmönsiirto lämpöpumpulla tapahtuu mekaanisen työn avulla, jonka tekemiseen käytetään usein sähköä. Kaikki lämpöpumpulla tuotettu energia on siis peräisin matalalämpövarastosta sekä mekaanisesta työstä, jonka suuruus riippuu ensisijaisesti käyttökohteen ja lämmönlähteen lämpötilaerosta. Jos haluttu lämpötila ei ole kovin korkea, eikä lämpötilaero lämpövaraston ja korkeamman lämpötilan välillä ole kovin suuri, niin vaadittava lisäenergia on vain pieni osa saatavasta lämpöenergian määrästä (Erat ym. 2001, SULPU 2004).

Lämpöpumppulämmitysjärjestelmä koostuu lämpöpumpusta, lämmönottoputkistosta ja useimmiten huoneistojen vesikiertoisesta lämmitysjärjestelmästä. Ilmalämpöpumput eroavat tästä hieman lämmönotossa ja lämmönjaossa. Hyödynnettävä lämpö saadaan lämmönlähteisiin asennetuista muovisista putkistoista, joissa kiertävä jäätymätön neste sisältää lämpöä (Luku 4.1.2.3.2). Nesteestä lämpö siirtyy johtumalla lämpöpumpun höyrystin-lämmönsiirtimelle ja edelleen lämpöpumpussa kiertävään kylmäaineeseen. Kylmäaineen lämpötilaa nostetaan lämpöpumpulla (Luku 4.1.2.3.3), josta lämpöenergia luovutetaan johtumalla lauhdutin-lämmönsiirtimen kautta eteenpäin huoneistojen lämmitysjärjestelmään (Juva 1982, Sørensen 2000, Erat ym. 2001).

Tässä yhteydessä keskitytään tarkastelemaan maalämpöä (Kuva 16) (SULPU 2004), mutta muitakin lämpöpumppujen lämmönlähteitä on sivuttu (Taulukko 2). Viitasaaren pilottikohteessa käytettävän järvilämpöjärjestelmä on esitelty luvussa 5.1.



KUVA 16. Maalämpöjärjestelmän toimintaperiaate (SULPU 2004).

#### 4.1.2.3.1 Käyttö ja potentiaali

Kansainvälisen energiajärjestön IEA:n (2002) mukaan maailmassa oli vuonna 2002 käytössä noin 500 000 maalämpöpumppua ja vuosittain lisätään noin 45 000 maalämpöpumppua. Lukuihin on laskettu mukaan kaikki maaperän lämpöä hyödyntävät lämpöpumput (myös geoterminen). Suomessa maalämmön käyttö on toistaiseksi vähäistä. Vuonna 1997 vain 1 % uusista taloista käytti lämpöpumppua lämmityksessään. Korkea energiantarve ja energian kallistunut hinta ovat kuitenkin lisänneet kiinnostusta maalämpöä kohtaan. Vuonna 2002 lämmityksessä käytettyjen lämpöpumppujen osuus oli jo 15 %, joista pääosa oli maalämpöpumppuja. Kaikkiaan lämpöpumppuja oli Suomessa 2002 noin 35 000 kappaletta (Hirvonen 2002, IEA 2002).

Lämpöpumppujen käyttöpotentiaali on suuri, koska maapallon pintakerroksissa on runsaasti auringon lämpöenergiaa. Ohjeellisina arvoina Suomen pintamaasta vuotuisesti saatavalle energiamäärälle voidaan antaa Etelä-Suomessa 30 - 60 kWh, Keski-Suomessa 20 - 45 kWh ja Pohjois-Suomessa (Lappia lukuun ottamatta) 10 - 30 kWh putkimetriä kohden. Porakaivon energiansaanti on noin kaksinkertainen näihin verrattuna. Vesistöistä saatava lämpöteho on noin 70 - 80 kWh asennettua putkimetriä kohden (SULPU 2004).

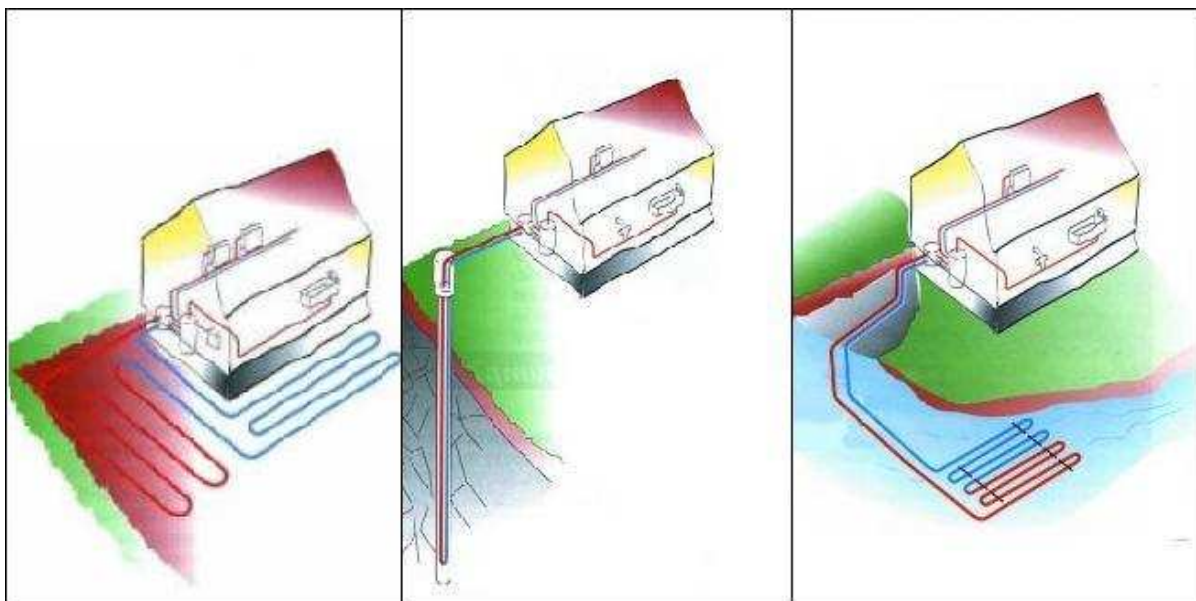
#### 4.1.2.3.2 Lämmönlähteet ja lämmönottoputkiston asennus

Yleisimmät lämpöpumppulämmityksessä käytettävät lämmönlähteet on listattu taulukoon 1. Tässä yhteydessä on keskitytty käsittelemään maaperän, kallioiden sekä vesistöjen käyttöä lämmönlähteinä (Kuva 17) (SULPU 2004). Geoterminen energia käsitellään kappaleessa 4.4.

TAULUKKO 1. Lämpöpumppulämmityksessä yleisimmin käytettävät lämmönlähteet ja niiden lämpötila-alue (IEA 2004c).

Yleisimmät lämmönlähteet								
Lämmönlähde	Ulkoilma	Poistoilma	Pohjavesi	Järvi- vesi	Jäte- vesi	Maa- perä	Kallio	Meri- vesi
Lämpötila- alue ° C	-10 – 15	15 - 25	4 - 10	0 - 10	> 10	0 – 10	0 - 5	3 – 8

Maalämmöllä tarkoitetaan auringon säteilystä pintamaahan kerääntynyttä lämpöä, jota hyödynnetään maahan asennetulla vaakaputkistolla. Putkisto kaivetaan routarajan alapuolelle eli noin 0,7 - 1,2 m syvyyteen, noin 1,5 m päähän toisistaan, jolloin ne eivät jäädy eivätkä jäähdytä toisiaan. Putkea tarvitaan karkeasti arvioiden 1 - 2 m lämmitettävää rakennuskuutiota kohti. Tarkka putkiston pituus riippuu lämmöntarpeesta, maalajista sekä maantieteellisestä sijainnista. Maalämmön keruu pintamaasta vaatii riittävän suuren pinta-alan eli noin 1,5 m<sup>2</sup> tonttimaata keräysputkimetriä kohti. Esimerkiksi 100 - 150 m<sup>2</sup> talossa keräilyputkistolle tarvitaan 300 - 500 m<sup>2</sup> ala. Keräysputkiston asennus on käytännöllisin tehdä jo uudisrakennusvaiheessa, mutta se onnistuu myös vanhaan taloon (Aittomäki 2001, SULPU 2004).



KUVA 17. Lämmönkeräys pintamaasta, kalliosta sekä vesistöistä (SULPU 2004).

Kalliosta lämpöä kerätään maahan tai kallioon tehtyyn porakaivoon sijoitetulla lämmönkeruuputkistolla. Porakaivo on hyvä vaihtoehto, kun tonttimaata ei ole riittävästi, sillä tilaa tällainen pystyputkisto ei vaadi kuin muutaman neliömetrin. Porakaivon etuna on myös (i) vähintään kaksinkertainen lämpöenergian saanti vaakaputkistoon verrattuna, (ii) pitkäikäisyys ja (iii) toimintavarmuus, sillä porakaivo ei roudi kovinakaan talvina. Porakaivon haittapuolena on sen korkea hinta. Lämmönkeruu porakaivosta tapahtuu samalla menetelmällä kuin vaakaputkistossa eli suljetulla kierrolla nesteen välityksellä. Kaivo porataan normaalisti noin 100 - 200 metrin syvyiseksi riippuen lämmönsiirto-ominaisuuksista, lämmitystarpeesta sekä kallion vedentuottokyvystä (Aittomäki 2001, Erat ym. 2001, SULPU 2004).

Lämmönkeruu vesistöistä tapahtuu siten, että lämmönkeräysputkisto asennetaan vesistön pohjaan painojen avulla. Kokemusten mukaan parhaiten lämmönlähteiksi soveltuvat järvet, lammet ja merenrannat, jotka ovat vähintään kaksi metriä syviä jo rannan läheisyydessä. Putkisto ankkuroidaan pohjaan, jolloin sillä voidaan hyödyntää myös pohjasedimenttiin varastoitunutta lämpöä, eikä se jäädy tai vaurioitu kovin helposti. Putkistoja ei juurikaan asenneta virtaaviin vesiin, koska ne voivat vaurioitua niissä helpommin esim. jäiden lähtiessä. Lämpöhäviöiden estämiseksi putket eristetään rakennuksesta rantaveteen saakka. Hinnaltaan vesistöön asennettava lämmönkeräysjärjestelmä asettuu maaperäjärjestelmän ja porakaivon välille (Erat ym. 2001, SULPU 2004).

#### **4.1.2.3.3 Lämpöpumppu**

Lämpöpumppujen kaksi päätyyppiä ovat sähköä tai mekaanista energiaa käyttävä *kompressorilämpöpumppu* (Kuva 18) ja lämpöä prosessin ylläpitämiseksi käyttävä *absorptiolämpöpumppu*. Kompressorilämpöpumpussa yleisimmin käytetyt osat ovat prosessin kiertojärjestyksessä i) höyrystin, ii) kompressori, iii) lauhdutin ja iv) paisuntaventtiili. Lämpöpumpun toiminnan parantamiseksi lämpöpumpuissa hyödynnetään koneistossa kiertävän kylmäaineen faasimuutosta eli höyrystymistä nesteestä kaasuksi ja lauhtumista kaasusta nesteeksi (Sørensen 2000, Aittomäki 2001, Aye & Charters 2003).

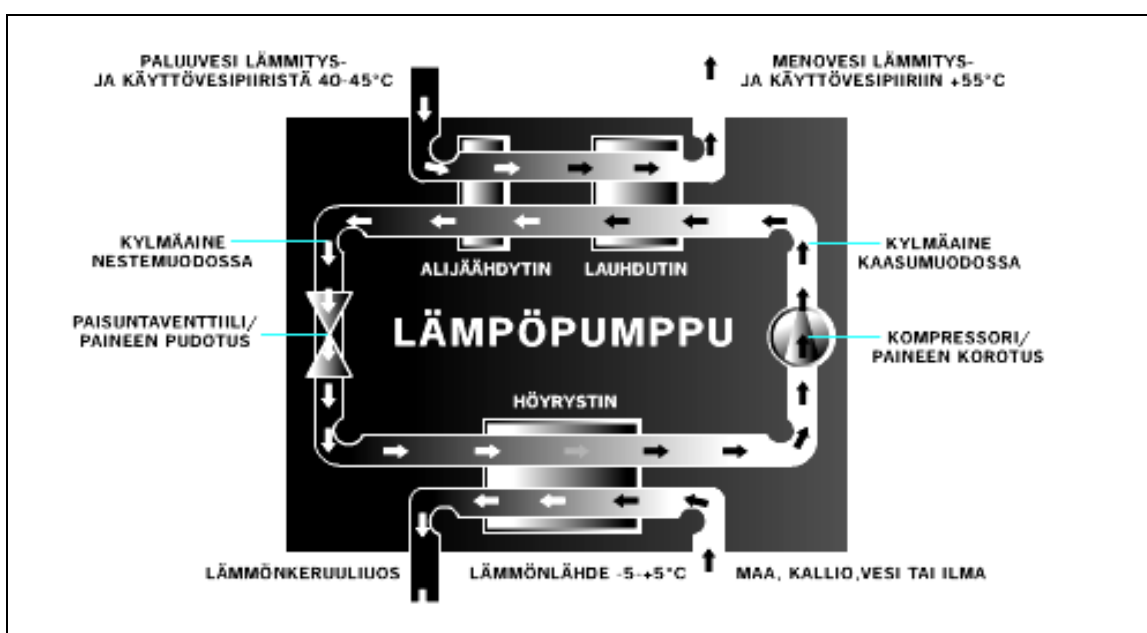
i) Höyrystin on lämmönvaihdin, jossa saadaan kiertoprosessiin kaikki sen matalalämpövarastosta keräämä energia. Höyrystimessä systeemissä kiertävä kylmäaineen kaasuuntuminen vaatii runsaasti energiaa.

ii) Kompressorin tehtävä on aiheuttaa alipainetta höyrystimeen ja ylipainetta lauhtuttimeen. Imuvaiheessa mäntä liikkuu alas, ja kompressori imee kylmää kaasua

säiliöön. Puristusvaiheessa kaasun tilavuus pienenee ja paine ja lämpötila kasvavat. Tällä tavalla saavutetun paine-eron vuoksi kaasuuntunut kylmäaine kulkeutuu höyrystimestä lauhduttimeen.

iii) Lauhdutin on lämmönvaihdin, jossa höyrystetty kaasu jäädytetään takaisin nesteeksi. Faasimuutoksen yhteydessä vapautuva energia kerätään talteen ympärillä kiertävään veteen ja johdetaan siitä eteenpäin huoneistojen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään.

iv) Paisuntaventtiilissä kylmäaineen paine pudotetaan höyrystymistilaa vastaavaan paineeseen, jolloin osa kylmäaineesta höyrystyy.



KUVA 18. Lämpöpumpun toimintakaavio (Thermia 2004).

Lämpöpumpun toiminta voidaan kuvata seuraavasti: Lämpöpumpussa kiertävän kylmäaineen höyrystyminen vaatii energiaa, mikä otetaan lämmönlähteestä höyrystimessä. Kylmäaineen höyrystyttyä höyry puristetaan suurempaan paineeseen, jolloin sen lämpötila kohoaa. Korkeapaineinen lämmin höyry siirretään lauhduttimeen, jossa se kondensoituu takaisin nesteeksi, ja siitä vapautuu lämmönlähteestä siihen sitoutunut energiamäärä. Jäähtynyt kylmäaineneste palautetaan paisuntaventtiilin kautta takaisin höyrystimeen, jolloin paine taas laskee. Vapautunut lämpöenergia siirtyy lauhduttimen läpi virtaavaan nesteeseen tai ilmaan, jonka jälkeen se johdetaan eteenpäin lämmitysjärjestelmässä. Lämpöpumpun putkistossa kiertävän kylmäaineen on siis kylmänpään lämmönvaihtimessa eli höyrystimessä oltava lämmönlähdettä kylmempää ja lämpimämpään lämmönvaihtimessa eli lauhduttimessa lämmityskohdetta lämpimämpää. Lämmön

johtumisen maksimoimiseksi lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine ja paine valitaan siten, että lämmönlähteen lämmönvaihtimessa tapahtuu höyrystyminen nesteestä kaasuksi ja huoneiston lämmönvaihtimessa tiivistyminen kaasusta nesteeksi. Olomuodon muutokset nimittäin sitovat tai vapauttavat erittäin paljon energiaa. Lisäenergiaa tarvitaan kompressorissa kaasun puristumisvaiheessa, kylmäainetta kierrätettäessä sekä hieman säätölaitteissa (Juva 1982, Sørensen 2000, Aittomäki 2001).

Lämpöpumpun tuottoa kuvataan *ns. lämpökertoimella*, joka kuvaa paljonko lämpöpumput tuottavat lämpöä kuluttamaansa lisäenergiaa kohti. Lämpökertoimet ovat maalämpöpumpuilla tavallisesti luokkaa 2,5 – 4,8. Tämä tarkoittaa sitä, että lämpöpumput tuottavat käyttämäänsä lisäenergiaa kohti 2,5 - 4,8 -kertaisen määrän lämpöenergiaa (Juva 1982, Sørensen 2000, Erat ym. 2001).

#### **4.1.2.3.4 Taloudellisuus**

Lämpöpumppulämmityksen taloudellisuus riippuu vaihtoehtoisten energioiden hinnoista, jonka vuoksi sen kustannuksia vertaillaan usein suoraan sähkölämmitykseen sekä öljylämmitykseen. Hintojen vertailussa tulee ottaa huomioon kunkin lämmitysmuodon investointikulut sekä käyttökustannukset. Tässä yhteydessä on tulkittu maalämmön taloudellisuutta (Taulukko 2).

Tavallisen suomalaisen omakotitalon vuotuinen lämmitysenergian sekä lämpimän käyttöveden energiantarve on noin 20 000 kWh. Suora sähkölämmitys tulee nykyisellä sähkön hinnalla (6,9 snt/kWh) (EMV 2004) maksamaan vuodessa n. 1 400€. Saman energiantarpeen tyydyttämiseen normaali maalämpöpumppu käyttää noin 70 % eli noin 14 000 kWh ilmaista aurinkoenergiaa ja vain 30 % sähköä. Tämä tarkoittaa noin 1 000 €:n vuosittaista säästöä sähkölaskussa. Toisaalta maalämpö on kertainvestointina huomattavasti kalliimpi kuin muut lämmitysvaihtoehdot, mutta maksaa itsensä takaisin alhaisina käyttökustannuksina yleensä reilusti alle kymmenessä vuodessa. Kokemusten perusteella maalämpö on osoittautunut taloudellisesti erittäin kilpailukykyiseksi lämmitysmuodoksi (Aittomäki 2001, Hirvonen 2002).

TAULUKKO 2. Eri lämmitysmuotojen vertailu uudessa suomalaisessa 150 m<sup>2</sup> omakotitalossa. Energian kulutus, hinta, investoinnit ja markkinaosuudet vuosina 1995 ja 2001 ja ennuste vuodelle 2005 (Hirvonen 2002, EMV 2004).

Lämmitysmuoto	Energiankulutus	käyttökustannus €/vuosi	Investointi- kustannus	Markkinaosuus (%)		
				1995	2001	2005
Suora sähkölämmitys	20 000 kWh	1 380	7 500 €	60	45	10-30
Öljylämmitys	2 500 litraa	1250	12 000€	20	8	0-5
Maalämpö	6 500 kWh	448	16 000€	<1	13	20-40

\* sähkön kokonaishinta 6.9 snt/kWh (EMV 2004), öljyn hinta (kevyt polttoöljy, kesälaatu) 0,5 €/l (ÖKK 2004).

#### 4.1.2.3.5 Vaikutukset ympäristöön

Maalämpöpumppujen lämpökertoimet ovat tavallisesti 2,5 – 4,8. Tämä tarkoittaa sitä, että ne tuottavat saamaansa energiakustannusta kohti 2,5 - 4,8 -kertaisen määrän lämpöenergiaa. Saadusta energiasta suurin osa on puhdasta aurinkoenergiaa, joka johtaa pienentyneeseen sähkön tai öljyn tarpeeseen sekä pienempiin energiantuotannon päästöihin (Erat ym. 2001, IEA 2002).

Lämpöpumppujen tarvitsemat kylmäaineet olivat aiemmin haitallisia otsonikerrokselle. Nykyisin otsonihaitallisten kylmäaineiden käyttö on kiellettyä, ja käytössä olevat kylmäaineet ovat otsonihaitattomia. Lämmönkeräysputkistossa kiertävän nesteen haitallisuus ympäristölle vuotojen sattuessa on myös huomioitu. Vuodot ovat nykyaikaisissa järjestelmissä erittäin harvinaisia, ja liuospiirissä käytetään yleensä jäätymätöntä ja myrkytöntä teollista alkoholia (Aittomäki 2001, Erat ym. 2001, SULPU 2004).

#### 4.1.2.4 Terminen aurinkosähkö

*Terminen aurinkosähkö* tarkoittaa sähköntuotantoa, jossa auringon lämpöenergiaa hyödynnetään sähköntuotantoon lämpövoimakoneilla. Idea aurinkolämmöllä toimivasta höyryturbiinista kehitettiin jo 1860-luvulla Ranskassa, jonka jälkeen tekniikkaa on kehitetty ja käytetty erilaisissa sovelluksissa. Ensimmäiset suuren luokan termiset aurinkovoimalaitokset rakennettiin vuonna 1912 Egyptissä.

Terminen aurinkosähkötekniikka voidaan jakaa korkean (300 – 2 000 °C) lämpötilan tekniikoihin sekä matalan (< 300 °C) lämpötilan tekniikoihin. Korkean lämpötilan tekniikalla tarkoitetaan menetelmää, jossa suoraa auringonsäteilyä kohdistetaan

keskittävien aurinkokeräinten peileillä suurelta alueelta viivamaiselle tai pistemäiselle alueelle, jolloin saavutetaan suuri energiatiheys ja korkea lämpötila. Lämpö hyödynnetään perinteisillä lämpövoimakoneilla, joilla tuotetaan sähköä ja/tai mekaanista energiaa. Sähköntuotanto tapahtuu esimerkiksi siten, että keskittävillä aurinkokeräimillä tuotetun lämmön annetaan johtua nesteeseen, jonka annetaan höyrystyä höyrystimessä. Syntynyt höyry ohjataan höyryturbiineihin tuottamaan sähköä. Erilaisia korkean lämpötilan aurinkosähkötekniikoita ovat mm. *kouruvoimalat*, *paraboloidivoimalat* ja *aurinkotornit*. Matalan lämpötilan tekniikoita ovat mm. *aurinkopiiput* sekä *aurinkolammet*. Käsittelyssä keskitytään korkean lämpötilan tekniikoihin (ISES 2003, Boyle 2004, Mills 2004).

#### 4.1.2.4.1 Käyttö ja potentiaali

Maapallolle saapuvaa aurinkoenergian määrää on käsitelty luvussa 4.11. Keskittävät aurinkokeräimet pystyvät hyödyntämään vain suoraa auringonsäteilyä, joten niiden käyttö on edullisinta paikoissa, joissa sitä on paljon saatavilla. Suotuisimmat paikat tuotantoon sijaitsevat päiväntasaajan ja 40°-leveyspiirin välillä pohjoisella ja eteläisellä pallonpuoliskolla. Hyviä paikkoja ovat mm. arot, savannit ja aavikot, joissa ilmakehän suhteellinen kosteus ei ole kovin suuri. Pinta-alamittaa kohden termisen sähköntuotantokyky on monissa paikoissa maapalloa noin 100 – 200 GWh/km<sup>2</sup> (GP 2003).

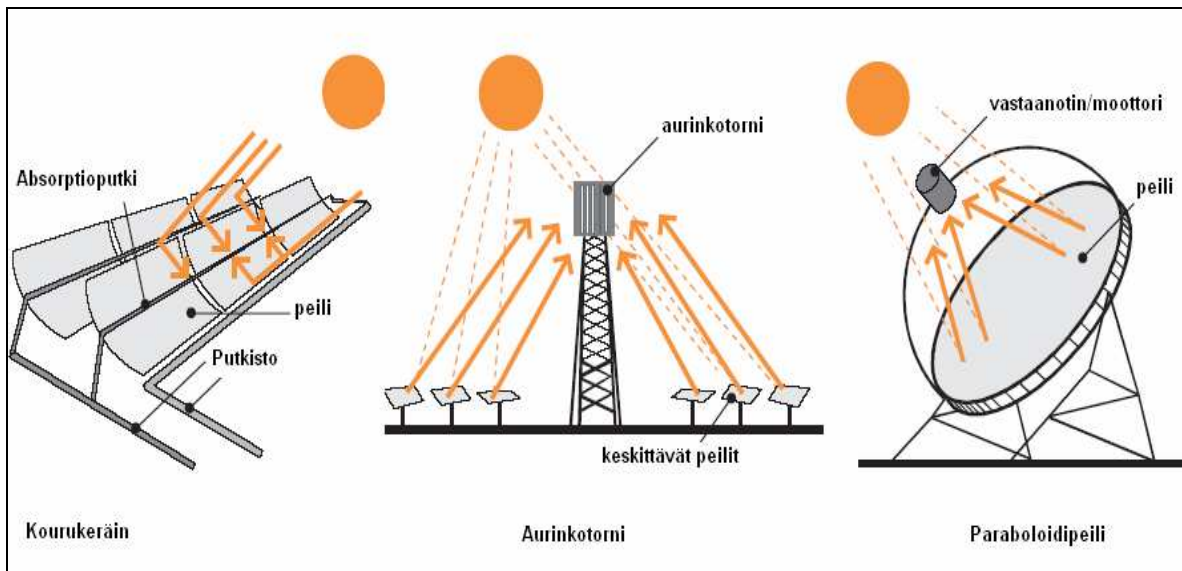
Nykyinen termisen aurinkosähkön tuotantokapasiteetti on noin 400 MW<sub>e</sub>, joka koostuu lähes yksinomaan (90 - 95 %) kouruvoimalaitoksista. Kansainvälinen Greenpeace ja Euroopan termisen aurinkosähkijärjestö ESTPIA ovat 2003 arvioineet termisen aurinkosähkön tulevaisuutta. Heidän mukaan vuoteen 2015 mennessä tuotantokapasiteetti olisi noin 5 000 MW, jonka jälkeen tuotantokapasiteetti kasvaisi vuosittain n. 4 500 MW. Vuoteen 2020 mennessä tämä tarkoittaisi noin 22 GW termisen aurinkosähkön tuotantokapasiteettia ja 55 TWh sähkön vuosituottoa. Vuonna 2040 vastaavat arvot olisivat 630 000 MW ja 1 573 TWh, joka vastaisi 5 % maailman sähköntarpeesta. UNEP (2000b) arvioi termisen aurinkosähkön käytön hieman varovaisemmin (GP 2003).

#### 4.1.2.4.2 Tekniikka

Terminen aurinkosähkijärjestelmä koostuu pääsääntöisesti auringon säteilyn keskitysmenetelmästä, keskityksen vastaanottajasta, lämpösiirtomenetelmästä sekä varastointi ja voimantuottolaitteistosta. Korkean lämpötilan tekniikoilla sähköntuotanto tapahtuu varsin suoraviivaisella prosessilla, joka muistuttaa pääpiirteiltään tavanomaista

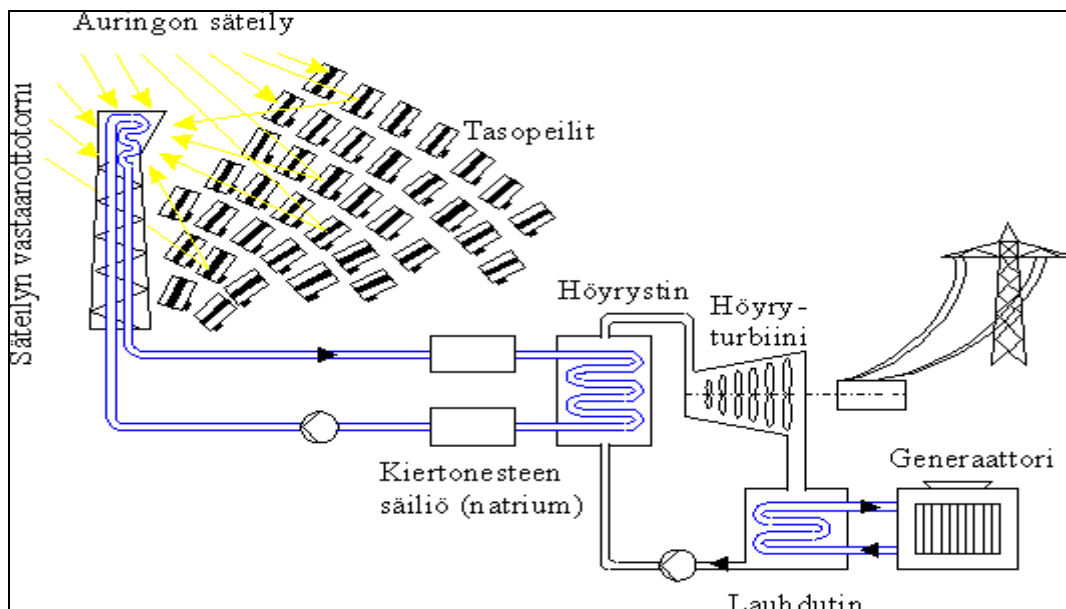


fossiilisia polttoaineita käyttävää voimalaitosta. Samankaltaisuudesta johtuen järjestelmällä onkin mahdollista käyttää aurinkoenergian rinnalla myös fossiilisia polttoaineita. Kolme lupaavinta auringon säteilyn keskitysmenetelmää ovat *kourupeilit*, *paraboloidipeilit* sekä *aurinkotornit* (Kuva 19) (GP 2004) (GP 2003, IEA 2003a, Boyle 2004).



KUVA 19. Termisen aurinkosähkön tuotantotavat keskittävillä aurinkokeräimillä (GP 2004).

Kourupeilijärjestelmät käyttävät nimensä mukaisesti kourumaisia peilejä, joilla tuleva auringonsäteily keskitetään viivamaiselle vastaanottoputkistolle. Putkiston sisällä kiertävä lämmönsiirtoaine lämpenee jopa 400 °C:ksi ja kuljettaa lämmön höyrystimelle, jossa tuotetaan höyryä. Aurinkotornivoimalat koostuvat peleistä, jotka on suunnattu heijastamaan saapuvan auringonsäteilyn aurinkotorniin, joka toimii säteilyn vastaanottajana (Kuva 20) (TUT 2002). Siellä lämpö siirretään lämmönsiirtoaineella eteenpäin lämpövoimakoneelle. Paraboloidilautasia käyttävät järjestelmät toimivat siten, että lautasmainen paraboloidipeili heijastaa sille saapuvan auringonsäteilyn lautasen polttopisteeseen, jossa lämpö hyödynnetään lämpövoimakoneilla (Stirling-koneilla). Paraboloiditekniikalla on päästy parhaaseen termisen sähköntuotannon hyötysuhteeseen, sähköä auringon säteilystä on tuotettu jopa lähes 30 % hyötysuhteella (GP 2003, IEA 2003a).



KUVA 20. Termisen aurinkosähkön tuotantojärjestelmä aurinkotornivoimalalla (TUT 2004).

#### 4.1.2.4.3 Taloudellisuus

IEA:n (2003a) mukaan investointikustannukset termiselle aurinkosähkövoimalalle on kourupeilivoimaloilla noin 2 800 – 3 200 €/kW, aurinkotorneilla 4 000 - 4 500 €/kW ja paraboloidipeilijärjestelmällä noin 10 000 – 12 000 €/kW. Tuotetun sähkön hinta riippuu pääosin investointikuluista (25 – 40 %), mutta myös toiminta- ja ylläpitokustannukset ovat suhteellisen suuret (10 - 15 %) verrattuna muihin uusiutuviin energiantuotantomuotoihin. Loppuosa tuotantohinnasta määräytyy pääosin saatavan auringonsäteilyn määrästä. IEA:n (2003a) mukaan nykyinen sähköntuotantohinta prototyypitekniikoilla hyvillä tuotantoalueilla (>1 700 kWh/m<sup>2</sup>) on kouruvoimaloilla 0,12 – 0,15 €/kWh, aurinkotornivoimaloilla 0,15 - 0,20 €/kWh ja paraboloidivoimaloilla 0,20 – 0,25 €/kWh. Termisen aurinkosähkön tuotantohinnan arvioidaan laskevan jatkuvan kehitystyön, tutkimuksen, laskevien toiminta- ja ylläpitokustannusten sekä lisääntyvien markkinoiden ja kiinnostuksen myötä viidessä vuodessa tasolle 0,08 €/kWh ja 15 tai 20 vuodessa tasolle 0,04 €/kWh (IEA 2003a, SL 2003).

#### 4.1.2.4.4. Vaikutukset ympäristöön

Termisen aurinkosähkön potentiaali kasviuonekaasupäästöjen ja muiden saasteiden vähentäjänä on merkittävä. Esimerkiksi kansainvälisen Greenpeace:n ja ESTPIA:n 2003 tekemän selvityksen mukaan neliömetrin suuruinen ala termistä aurinkosähköjärjestelmää vähentää kasviuonekaasupäästöjä vuosittain noin 200 kg. Jos arvioitu käyttö (54,7 TWh)

vuoteen 2020 mennessä toteutuu, tarkoittaa se vuosittain 32,7 milj. tonnin säästöjä hiilidioksidipäästöissä. Termisen aurinkosähkövoimalan rakennukseen kulutetun energian takaisinmaksuaika on noin viisi vuotta. Järjestelmien käyttöikä on noin 25 – 30 vuotta, jonka jälkeen lähes kaikki valmistusmateriaalit voidaan kierrättää uusissa voimaloissa (GP 2003).

Negatiivisia ympäristövaikutuksia termisen aurinkosähköntuotannossa voivat aiheuttaa i) kouruvoimaloiden lämmönsiirtoaineina käytettävät aromaattiset hiilivedyt, jotka maahan päästyään voivat liata maaperää, ii) voimalaitosten höyryturbiinien tarvitseva vesi (vuodessa 15 000 – 20 000 m<sup>3</sup>/MW), jonka saanti voi olla vaikeaa tuotantoalueilla sekä iii) termiset aurinkovoimalaitoksen tarvitsema pinta-ala, jota ei voida käyttää muuhun tarkoitukseen. Tarvittava pinta-ala on kuitenkin vain samaa suuruusluokkaa kuin muillakin energiantuotantomenetelmillä, kun otetaan huomioon esimerkiksi biomassan tuotanto tai fossiilisten polttoaineiden öljynporauksien ja kaivostoiminnan vaatima tila (IEA 2003a).

#### **4.1.3 Aurinkosähkökennot**

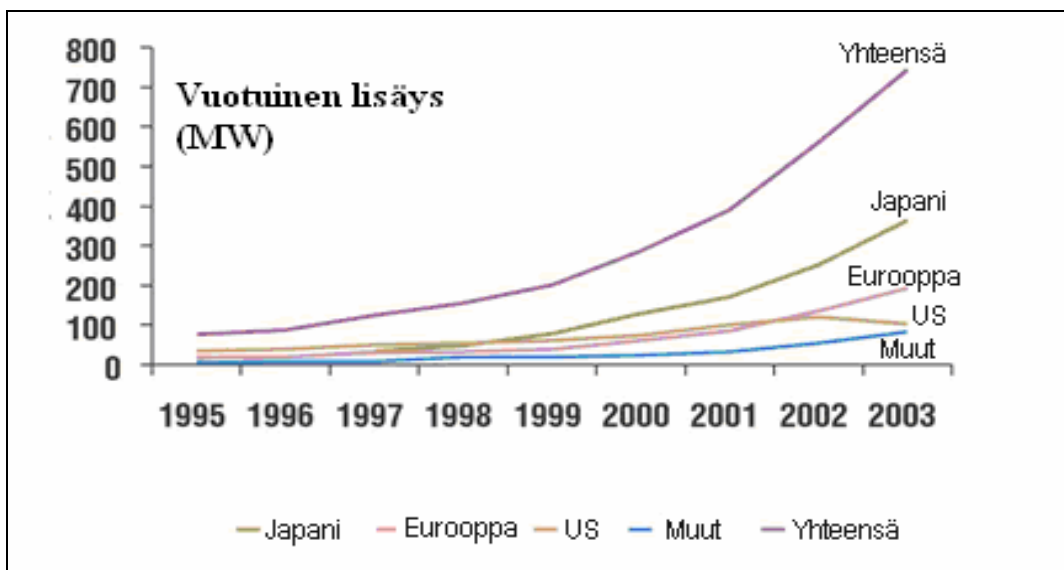
Yleisimmin aurinkosähköä tuotetaan muuttamalla auringon valoenergiaa suoraan sähköenergiaksi ns. *aurinkosähkökennoilla* eli *PV-paneeleilla*. Lyhenne PV tulee sanasta *photovoltaics*. *Photos* on kreikkaa ja tarkoittaa valoa, sana *volt* puolestaan tulee italialaisen fyysikon Voltan mukaan ja on jännitteen yksikkö. Sana *photovoltaics* merkitsee yleisesti laitetta, jossa auringon valoenergia muuttuu sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön kautta.

Sähköntuotanto aurinkosähkökennoilla perustuu *valosähköiseen ilmiöön*, jossa auringon valon hiukkasmaisilla energiapaketeilla eli fotoneilla on kyky vapauttaa elektroneja materiaaleissa osuessaan niihin. Valosähköinen ilmiö toimii parhaiten metalleissa, joissa elektronien liikettä on kuitenkin vaikea saada yhdensuuntaiseksi eli sähkövirraksi. Tämän vuoksi pääosa aurinkokennoista on useimmiten piistä valmistettuja puolijohdekomponentteja, joissa vapautuneet elektronit saadaan liikkumaan yhdensuuntaisesti eli aikaansaamaan sähkövirta. Näiden fysikaalisten kennojen lisäksi on käytössä myös kemiallisia ja biologisia aurinkosähkökennoja (Sørensen 2000, Boyle 2004).

#### 4.1.3.1 Käyttö ja potentiaali

Perinteisiä aurinkosähkön käyttökohteita ovat pienimuotoista kulutusta vaativat sovellukset kuten kesämökit, veneet, asuntovaunut sekä kulutuselektroniikka. Myös avaruusteknologia käyttää aurinkosähkötekniikkaa mm. satelliittien energiantuotossa. Aurinkopaneelit mahdollistavat myös syrjäseutujen sähköistämisen. Kehitysmaissa käyttökohteita ovat mm. vesipumput, valaistus, radioyhteydet, jääkaapit ja tietotekniikka. Esimerkiksi vuonna 2002 Intiassa 5 083 vesipumppua ja 2 400 kylää saivat sähkönsä aurinkopaneeleilla. Aurinkosähköjärjestelmä vaatii jatkuvassa käytössä sähköön varastoinnin esimerkiksi akkuihin (Erat ym. 2001, ISES 2003).

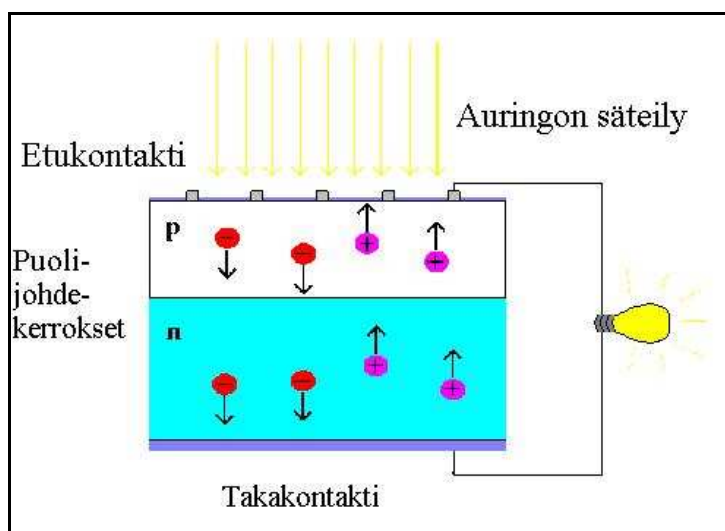
Aurinkosähkökennojen käytön lisääntyminen on ollut viime vuosina nopeaa (Kuva 21) (Maycock 2004). Vuonna 2002 valmistettujen ja myytyjen aurinkokennojen sähkön-tuotantokapasiteetti oli maailmanlaajuisesti yli 560 MW<sub>p</sub> (W<sub>p</sub> = huipputeho) (IEA 2004a). Vuotta myöhemmin saavutettiin jälleen uusi ennätys valmistuksen ollessa jo 744 MW<sub>p</sub> (Maycock 2004). Keskimääräinen kasvuvauhti on ollut tällä vuosituhanella yli 30 %, ja tuotanto on edelleen kasvussa etenkin Japanissa ja Euroopassa. Suomessa vuoteen 2003 mennessä oli asennettu 3,41 MW<sub>p</sub> aurinkosähkön tuotantokapasiteetti. Kauppa- ja teollisuusministeriön tavoite on 40 MW<sub>p</sub> vuoteen 2010 mennessä, mikä olisi 20-kertainen määrä vuoden 1998 tilanteeseen nähden (KTM 1999, IEA 2004a, Maycock 2004).



KUVA 21. Aurinkopaneelien (PV-kennojen) kapasiteetin vuosittainen lisäys maailmassa (Maycock 2004).

#### 4.1.3.2 Aurinkokennon toiminta

*Aurinkokennot*, aurinkopaneelin peruselementit ovat useimmiten *puolijohdekomponentteja*, jotka toimiessaan tuottavat tasasähköä. Sähkö syntyy auringonsäteilyn sisältämien fotonien vapauttaessa kennomateriaalissa elektroneja. Fotonien sisältämä energia siirtyy positiiviselle ja negatiiviselle varauksenkuljettajalle, jotka synnyttävät sähköä siirtyessään kennon kahden puolijohdemateriaalin välillä. Aurinkokenno koostuu siis kahdesta tasaisesta, useimmiten piistä valmistetuista, puolijohdekomponentista, joista toinen on *n-tyyppinen* (negatiivinen) ja toinen *p-tyyppinen* (positiivinen) (Kuva 22) (HUT 2004). Näiden kahden puolijohdekomponentin välillä on ns. *rajapinta* (Sørensen 2000, Boyle 2004).



KUVA 22. Aurinkokennon toimintaperiaate (HUT 2004).

Tavallinen kiteinen pii muodostaa kuutiollisen kidehilan, jossa jokainen piiatomi on sitoutunut naapuriinsa neljän sidokseen luovutetun elektronin avulla. Auringonvalon osuessa kidehilaan irtoaa siinä kiinni olevasta atomista elektroni. Fotonin sisältämän energian siirtyessä elektronille, elektroni vapautuu kyseisestä sidoksesta ja on vapaa liikkumaan kiteessä kunnes sitoutuu uudelleen. Elektronin liikkuessa se jättää jälkeensä ns. *aukon*. Elektronin vapaata ja sidottua olotilaa kutsutaan niin sanotuilla *energiavöillä*, jotka kuvaavat elektronin energiatilaa. Tilaa, jossa elektronien energiatila on matala eli ne ovat kiinni sidoksessa, kutsutaan valenssivyöksi. Tilaa, jossa elektronit ovat vapaita liikkumaan, kutsutaan *johtavuusvyöksi* (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Riittävä määrä auringon fotonien energiaa, noin 1,1 eV (lähi-IR-alueella), mahdollistaa elektronin siirtymisen valenssivyöltä johtavuusvyölle. Elektronin siirtyessä vyöltä toiselle, jää lähtöatomille positiivinen varaus. Aukko voi liikkua ympäri valenssivyötä kuin positiivinen varauksenkuljettaja. Positiivisten aukkojen ja negatiivisten elektronien liike mahdollistaa kennon sähköntuoton. Tavallinen puolijohdemateriaali palautuu kuitenkin ennalleen niin, että johtavuusvyöllä sijaitseva elektroni palautuu takaisin täyttäen jättämänsä aukon (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Jotta pystyisimme hyödyntämään auringon sisältämää energiaa, on meidän erotettava elektroni ja aukko toisistaan. Tämä tapahtuu seostamalla piin kidehilan *seosatomia*. Lisäämällä piihin atomeja, joilla on viisi ulointa elektronia kuten fosforilla, saadaan aikaan n-puolijohde, jolla on ylimäärä elektroneja eli negatiivinen varaus. Kun kidehilan seostetaan booria tai muita atomeja, joilla on kolme ulointa elektronia, syntyy p-puolijohde. p-puolijohdeilla on siis elektronivajaus eli positiivinen varaus. Kun n- ja p-puolijohdemateriaalit tuodaan kosketuksiin keskenään, kulkeutuvat n-puolen ylimääräiset elektronit p-puolelle täyttäen p-puolella sijaitsevat tyhjät aukot sekä päinvastoin, jolloin n-puolella on positiivisempi varaus kuin normaalisti ja p-puolella negatiivisempi varaus kuin normaalisti. Rajapinnalle syntyy depletion zone, varauksista vapaa vyöhyke, jonka läpi virta ei kulje. Valon osuessa yhdistettyjen puolijohdeiden n-p-rajapinnalle elektroni siirtyy johtavuusvyölle ja samalla valenssivyölle syntyy aukko. Syntyy siis kaksi varauksenkuljettajaa. Rajapinnan käänteisestä vaikutuksesta elektroni pyrkii n-puolelle ja aukko p-puolelle, jolloin syntyy virtapiiri. Liittämällä metallijohtimet kerrosten välille synnyttää sähkövirran (Sørensen 2000, Erat ym. 2001, Boyle 2004).

*Aurinkokennojen hyötysuhde* tarkoittaa sitä osuutta, jonka kenno pystyy hyödyntämään sille tulevasta säteilyenergiasta. Parhaimpien laboratoriopiikkennojen hyötysuhde voi olla jopa 25 %, kaupallisten piistä valmistettujen paneelien 10 – 14 % (Erat ym. 2001, Boyle 2004).

Maailman aurinkokennojen tuotanto perustuu pääosin piiteknologiaan. Piiteknologian raaka-aineina käytetään nykyään yksikiteistä piitä (crystalline silicon, c-Si), monikiteistä piitä (multicrystalline silicon, mc-Si) tai amorfista piitä (amorphous silicon, a-Si). Muita käytettyjä kennotyyppejä ovat mm. gallium arsenidikennot (GaAs), kupari – indium – diselenidi kennot (CIS) sekä kadmium – telluridi kennot (CdTe). Näiden kennotyyppien hyötysuhde voi olla parempi kuin piistä valmistettujen kennojen (Boyle 2004, Maycock 2004).

Yksikiteisestä piistä valmistetut kennot ovat pitkään olleet yleisin kennojen raaka-aine. Niiden valmistus on kuitenkin erittäin kallista ja vaativaa, koska kennot valmistetaan puhdistamalla ja jalostamalla luonnossa esiintyvää piitä, joka vaatii paljon energiaa, tietotaitoa sekä aikaa. Polykiteisten kennojen valmistusmenetelmä on edullisempi ja helpompi kuin yksikidekennoilla. Materiaali koostuu satunnaisen kokoisista ja muotoisista piin partikkeleista, jotka valetaan isoksi kokonaisuudeksi. Tästä sahataan ja hiotaan noin 0,2 – 0,6 mm:n paksuisia levyjä. Polykiteisten kennojen hyötysuhde on noin 10 %. Amorfisissa kennoissa piiatomien välinen sitoutuminen on satunnaisempaa kuin kiteisissä kennoissa, jolloin p-n-kenttä heikkenee. Virheet korjataan kerrostamalla valmistusprosessissa samanaikaisesti piitä, vetyä ja booria, jolloin vety toimii puuttuvien atomien sijaisina. Amorfinen pii on edullisempaa valmistaa kuin kiteinen pii (Boyle 2004).

Viitasaaren pilottikohteessa käytettävät ohutkalvotekniikkaan perustuvat aurinkosähkökennot on esitelty luvussa 5.1. *Ohutkalvotekniikan* perustuva aurinkokennojen valmistus tapahtuu kerrostamalla erittäin ohuita kennomateriaaleja lasille, teräkselle tai muoville. Ohutkalvotekniikka mahdollistaa edullisemmat tuotantohinnat kuin kiteisellä piillä, koska valmistuksessa ei tarvita niin paljon puolijohdemateriaaleja eikä työstäminen ole niin vaikeaa. Eniten käytetty materiaali ohutkalvoteknologiassa valmistetuissa moduuleissa on amorfinen pii (a-Si), mistä valmistettujen aurinkokennojen hyötysuhde on nykyisin noin 7 %. Paras hyötysuhde ohutkalvotekniikalla valmistettuihin kennoihin saadaan valmistamalla moduulit monikerroksisesti puolijohdemateriaaleista, kuten esimerkiksi amorfisesta piistä ja germaniumista (a-Si/a-SiGe/a-SiGe), jolloin hyötysuhteeksi on saatu jopa 13,5 %. Muita materiaaleja, joita voidaan käyttää ohutkalvoteknologiassa, ovat monikiteinen pii, kadmium-telluridi (CdTe) ja kupari-indium-diselenidi (CIS). Ohutkalvotekniikka avaa myös mahdollisuuden integroida aurinkosähköjärjestelmät osaksi rakennuksia. Rakennuksiin integroitava BIPV-kennot (Building Integrated Photovoltaics) tarjoavat mahdollisuuden käyttää aurinkokennostoja ilman tukirakenteita osana kattoa tai muuta rakennetta, jolloin ei tarvita erillistä tilaa, ja samalla aurinkokennosto korvaa muita tarvittavia rakennusmateriaaleja (Leppänen 1996, Bennemann 2001, IEA 2004b).

Piikennon koko on tavallisesti pieni, esimerkiksi 10 cm \* 10 cm, ja paksuus 0,1 – 0,4 mm. Jännite määräytyy rajapinnan sähkökentästä ollen tavallisesti noin 0,5 V. Yksittäisten kennojen antama virta on noin 2,5 A ja teho 1,25 W. Kytettäessä monta kennoa sarjaan muodostuu suurempi jännitetaso. Vakiopaneeli mitoitetaan yleensä lataamaan 12 V akku, jolloin paneeliin kytketään yleensä 30 – 36 kennoa sarjaan 12 V jännitteen

saavuttamiseksi. Kytkemällä paneeleja rinnan ja sarjaan nk. *paneelistoksi* saadaan toteutettua käyttökohteen vaatima teho ja jännitetaso. Näin voidaan toteuttaa samoja peruskomponentteja käyttäen haluttu järjestelmä muutamista wateista useisiin megawatteihin (Erat ym. 2001).

#### **4.1.3.3 Taloudellisuus**

Aurinkosähkön (PV-tekniikka) tapauskohtainen kustannusten vaihtelu on merkittävää. Hintaan vaikuttavat järjestelmän koko ja sen sijainti, asiakassuhde, verkkoliitäntä ja tekniset yksityiskohdat. Tuotetun sähkön hinta määräytyy pääasiassa investointikustannusten suuruudesta ja tuotetun sähkön määrästä, jolloin tuotanto-olosuhteilla (saatavalla auringon säteilyn määrällä) on varsin merkittävä vaikutus. Vuoden 2002 lopussa investointikustannukset olivat sähköverkkoon kuuluvissa järjestelmissä keskimäärin n. 4 – 7,5 €/W ja sähköverkkoon kuulumattomissa järjestelmissä (tarvitsevat sähkön varausjärjestelmän) 8 – 15 €/W. Suomessa kapasiteetin asennus maksoi 7- 19 €/W vuonna 2002. Halvimpia olivat verkkoon yhdistetyt järjestelmät ja kalleimpia olivat sähköverkkoon kuulumattomat järjestelmät (pienissä yksiköissä päinvastoin). Tuotetun sähkön hinta voi maapallon parhaimmilla tuotantoalueilla olla nykyisin alle 16 snt/kWh. Tulevaisuudessa kysynnän ja sarjatuotannon lisääntyessä, tekniikan ja materiaalien kehittyessä ja parantuneen tuotannon myötä myös tuotantokustannukset laskevat. Littlen (2001) mukaan moduulien hinnat voivat laskea noin 50 % vuoteen 2010 mennessä verrattuna vuoden 2000 hintoihin nähden. Negatiivisen hintakehityksen mahdollistavia tekijöitä ovat skaalaedun muutos (20 – 30 %), materiaalikehitys (5 - 20 %), hyötysuhteen parantuminen (15 – 25 %) ja lisääntynyt tuotto (5 – 20 %) (IEA 2003a, 2004d).

#### **4.1.3.4 Vaikutukset ympäristöön**

Aurinkosähkökennot eivät tuota päästöjä käytön aikana, mutta kennojen tuotantovaiheessa syntyy ympäristövaikutuksia mm. tuotannossa käytettävän sähkön tuotannossa. Aurinkokennojen kasvihuonekaasujen vähentämispotentiaali riippuu pääosin valmistuksessa käytettävästä primäärienergiasta. Sähköverkkoon kuulumattomissa järjestelmissä on sähkön varastointia varten akkuja, joiden hävittäminen saattaa aiheuttaa ympäristöhaittoja, jos kierrätyksestä ei huolehdita. Elinkaarilaskelmien mukaan kokonaisen PV-kattojärjestelmän elinkaaripäästöt ovat nykyteknologialla luokkaa 30 - 50 g CO<sub>2</sub>/kWh. Rakennukseen integroitu aurinkosähkøjärjestelmä voi vähentää Suomen kasvihuonekaasupäästöjä jopa 870 g CO<sub>2</sub>/kWh (IEA 1998, Solpros 2001).



Aurinkosähköteollisuudessa kuten muissakin kemianteollisuudessa on käytössä joitakin myrkyllisiksi ja haitallisiksi määriteltyjä aineita, mutta valmistajat vastaavat etteivät ne pääse ympäristöön. Kokonaisuudessaan aurinkokennoteollisuuden haittavaikutukset ympäristöön ovat pienet (IEA 1998).

## 4.2 Tuulivoima – Energiaa tuulesta

Tuulienergiaa eli tuulen liike-energiaa on hyödynnetty moneen eri tarkoitukseen kuten esim. veden pumppaamiseen sekä viljan jauhamiseen jo ainakin 3 000 vuoden ajan. Nykyään se tarjoaa myös puhtaan sähköntuotantotavan, mikä tapahtuu muuttamalla tuulen liike-energia tuulivoimaloilla mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi ja siitä edelleen sähköksi. Sähköä tuottavien *tuuliturbiinien* merkittävä kehitys alkoi 1970-luvulla öljykriisin jälkeen. Nykyään tuulivoima nähdään yleisesti yhtenä lupaavimmista sähköntuotantotekniikoista (Kara ym. 1999, Manwell ym. 2002, EWEA 2004).

### 4.2.1 Johdanto

*Tuuli* syntyy ilmakehän paikallisten painemuutosten seurauksena, kun auringon säteily määrä vaihtelee eri osissa maapalloa. Auringon säteilyn vaikutuksesta maanpinta lämpenee ja säteilee lämpöä takaisin avaruuteen, jolloin maanpinnan lähellä oleva ilmassa lämpenee sekä laajenee pyrkien kohoamaan ylöspäin. Ylöspäin kohoava ilmassa jättää jälkeensä matalapaineen, joka pyrkii täyttymään vetämällä spiraalimaisesti kylmempää ilmaa puoleensa. Tästä ilmakehän lämmön ja paineen tasapainoilusta syntyy tuuli sekä vallitsevat *tuuliolosuhteet*. Tuuli on siis ilman liikettä maapallon pintaan nähden. Yksinkertaisessa mallissa voidaan ajatella, että ilma nousee päiväntasaajalla ja laskee navoille. Todelliset tuuliolosuhteet muodostuvat kuitenkin monimutkaisesti mm. maan pyörimisen, paine-erojen, paikallisten pinnanmuotojen sekä muiden tekijöiden seurauksena. Tuulivoiman perustava energianlähde on siis Aurinko, jonka tuottama lämpöenergia saa aikaiseksi ilmassojen liikettä eli kineettistä energiaa (Manwell ym. 2002, Boyle 2004).

Teoreettinen yläraja tuulen sisältämän energian hyödyntämiselle tuuliturbiineilla voidaan laskea kaavalla

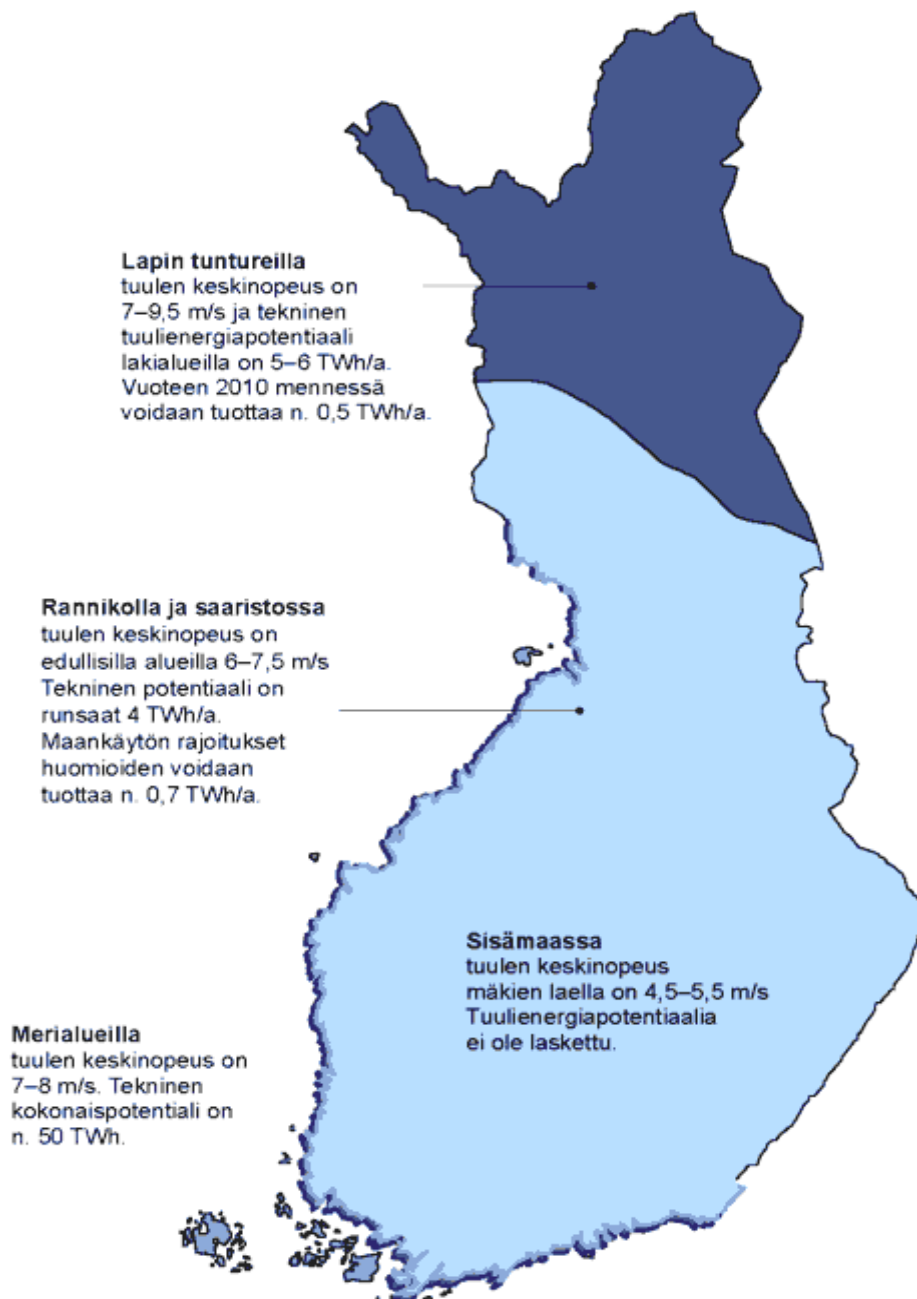
$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3, \quad (2)$$

missä  $\rho$  on ilman tiheys,  $A$  roottorin pinta-ala ja  $V$  tuulen nopeus. Tuuliturbiinista saatava teho on siis verrannollinen roottorin pinta-alaan, ilman tiheyteen sekä tuulen nopeuden

kolmanteen potenssiin. Tuulivoimalaitoksen roottorin läpi virtaavan ilmassan tehosisällöstä saadaan teoriassa ideaalisilla roottoreilla hyödynnettyä Betzin lain mukaan noin 59 %, joka on näin ollen tuulivoimalaitoksen teoreettinen maksimihyötysuhde. Todellinen tuotantoteho on maksimihyötysuhdetta alhaisempi, parhailla turbiineilla noin 45 % teoreettisesta tehosta. Häviöitä syntyy, koska roottorit eivät pysty hyödyntämään kaikkea tuulen sisältämää energiaa sekä mm. sähköntuotannon mekaanisissa hävikeissä. Koska tuulivoimalaitoksen teho on suoraan verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin, tuuliolosuhteilla on erittäin merkittävä vaikutus tuulienergian tuotantomääriin ja laitosten kustannuksiin, jonka vuoksi vuotuisia tuuliolosuhteita kartoitetaan mm. tekemällä tilastoja tuuliolosuhteista (Burton ym. 2001, Manwell ym. 2002, Boyle 2004, DWIA 2004).

Tuulivoimalat käynnistyvät yleensä tuulen voimakkuuden ollessa 3 - 5 m/s, jonka jälkeen tuotanto nousee varsin jyrkästi tuulen nopeuden kasvaessa. Esimerkiksi tuulen pitkäaikaisen keskinopeuden nousu 6 m/s:sta 10 m/s:n (67 %) nostaa energiantuotantoa 134 % eli yli kaksinkertaistaa energiantuotannon. Tuulen nopeuden noustessa yli 15 m/s aletaan laitoksen tehoa rajoittaa ylikuormituksen ja laakeririkkojen estämiseksi ja nopeuden noustessa yli 25 m/s nykyiset laitokset yleensä pysähtyvät automaattisesti (Boyle 2004, EWEA 2004).

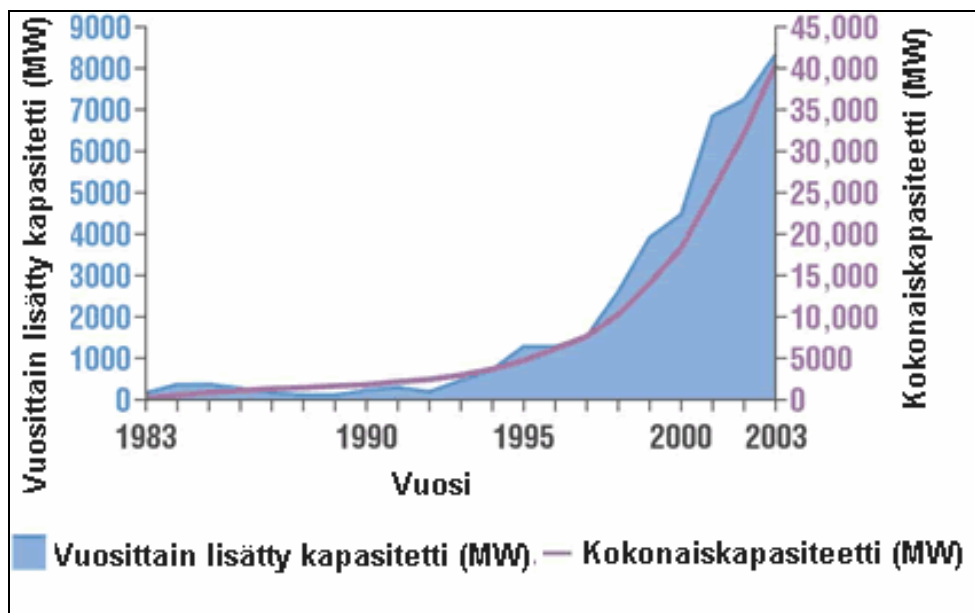
Suomen tuulioloihin vaikuttaa merkittävästi Atlantilta maahamme suuntautuvat matalapaineet, jolloin vaihtelu eri vuosina, vuodenaikoina ja lyhyinäkin jaksoina on suurta. Suomessa parhaat tuuliolosuhteet tuulivoiman kannalta sijaitsevat rannikolla, merellä, saaristoissa sekä Lapin tuntureilla (Kuva 23) (STY 1999). Tuntureiden päällä tuuliolosuhteet ovat Euroopan mittakaavassa huippuluokkaa ja rannikoillakin hyvää keskitasoa. Sisämaan tuotanto-olosuhteet eivät ole yhtä suotuisat, koska Suomen suuri metsäpinta-ala alkaa lähes poikkeuksetta heti rantaviivalta, ja suuremmat yhtenäiset peltoaukeat ovat yleensä kauempana sisämaassa. Suomen merialueilla tuulen tyypillinen vuotuinen keskinopeus 50 m:n korkeudella on noin 7,5 - 8 m/s, avoimilla peltoalueilla sisämaassa 3,5 - 4,5 m/s ja mäkien lailla noin 5,5 m/s sekä puurajan yläpuolelle ulottuvilla tuntureilla 7,5 - 9 m/s. Tavallisen kuusimetsän yläpuolella tuulen nopeus kasvaa korkeusvälillä 50 - 100 m noin 27 - 28 %, mutta merialueilla vain noin 5 %. Merialueilla tuulen nopeudet, jotka ovat yli 30 m/s, ovat varsin harvinaisia, mutta tuntureilla niitä esiintyy joka talvi. Tuulivoimalan *huipunkäyttöaika*, sen tuotanto jaettuna nimellisteholla (kWh/kW), on rannikolla ja saaristossa 1800 - 2500 h/a ja Lapin tuntureilla lähes 3000 h/a (Tammelin 1991, Ilmatieteen laitos 2004).



KUVA 23. Eräs Suomen sosiaalinen tuulivoimapotentiaali (STY 1999). Tekninen potentiaali ylittää maailman sähkönkulutuksen.

#### 4.2.2 Käyttö ja potentiaali

Tuulivoiman hyödyntäminen on ollut viime vuosina huimassa kasvussa (Kuva 24) (Jones 2004). Se onkin tällä hetkellä yksi maailman nopeimmin kasvavista energiamuodoista. Esimerkiksi Euroopassa vuotuinen kasvuvauhti on ollut viime vuosikymmeninä noin 30 % suuruinen. Maapallolla oli käytössä vuonna 2003 noin 40 000 MW tuulivoimakapasiteetti, josta Euroopan osuus oli yli 70 % (28 000 MW). Johtavia maita tuulivoiman käytössä vuoden 2003 lopussa olivat Saksa (14 612 MW), Espanja (6 420 MW), USA (6 361 MW) ja Tanska (3 076 MW) (EWEA 2004, Jones 2004).



KUVA 24. Tuulivoimakapasiteetin kehitys ja vuosittainen lisäys maailmassa (Jones 2004).

Suomeen asennettuja tuulivoimaloita on varsin vähän. Vuoden 2004 loppuun mennessä Suomeen oli asennettuna vain 86 laitosta, joiden tuotantokapasiteetti oli vain 82 MW. Vuonna 2003 Suomen tuulivoimaloilla tuotettiin sähköä 85,8 GWh, joka oli vain 0,1 % Suomen sähkönkulutuksesta. Tämä on erittäin vähän verrattuna esimerkiksi Tanskaan, missä tuulivoimalat tuottavat noin 20 % maan sähkönkulutuksesta vuonna 2004 (EWEA 2004, Laakso 2004, VTT 2004).

Maailman tuulivoimapotentialiaali on valtava. Maailman energianeuvosto (WEC) on vuonna 1994 arvioinut maailman tuulivoimapotentialiksi jopa 483 000 TWh vuodessa. Hyödyntämällä vain 4 % hyvätuulista alueista pystytään tuottamaan sähköä 19 000 TWh vuodessa. Osa tästä tuulivoiman hyödyntämispotentiaalista sijaitsee merien tuulisilla matalikoilla. Tulevaisuudessa ns. *Offshore -tuulivoimalaitokset* ovatkin tulossa enenevässä määrin käyttöön (UNDP 2000b).

Tuulivoimaloita odotetaan lisättävän edelleen nopeasti. Euroopan tuulienergiajärjestön (EWEA) arvioiden mukaan vuoteen 2020 Euroopassa olisi 180 000 MW tuulivoimakapasiteetti, josta 70 000 MW olisi Offshore-laitoksia (EWEA 2004). Kansallisista tavoitteista hyvinä esimerkkeinä ovat mm. Kanada, jonka tavoite on 25-kertaistaa nykyinen kapasiteetti noin 10 000 MW:n vuoteen 2010 mennessä ja Englanti, jonka tavoite on lisätä vuoteen 2010 mennessä tuulivoimakapasiteettia 6 500 MW:a (Riddell 2004, Wood 2004). Suomen tavoite on UE-edistämishojelman mukaan 500 MW vuoteen 2010 mennessä (Helynen ym. 2002, EWEA 2004).

Tuulivoiman hyödyntämisen kehittyminen ei rajoitu tuuliresursseihin eikä tuulivoiman rakentamiseen tarvittavaan pinta-alaan, vaan kehittyminen seuraa tuulivoiman tuotantokustannusten kehittymistä verrattuna muihin sähköntuotannon kustannuksiin sekä muiden maankäytön tarpeiden kannalta sopivien rakentamisalueiden löytymiseen (Helynen ym. 2002).

### 4.2.3 Tekniikka

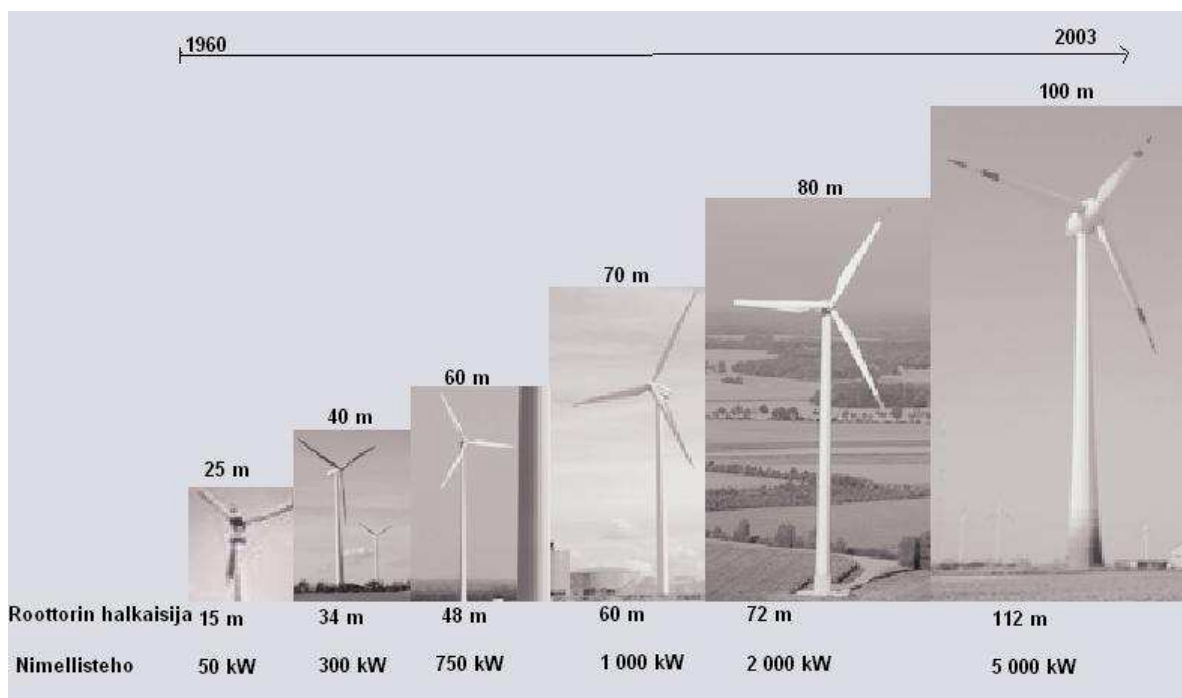
Tuulivoimaa hyödyntävien laitteiden tekninen rakenne sekä sähköntuotantokyky ovat vaihdelleet paljon. Nykyisin sähköntuotantokyky vaihtelee muutamista kymmenistä tai sadoista wateista aina 5 megawatin kokoluokkaan saakka. Tuuliturbiinien suurin ulospäin nähtävä rakenne-ero on vaihtelu vaaka- ja pysty akselisiin tuuliturbiineiden välillä. Muitakin teknisiä ratkaisuja on lukuisa määrä käyttötarkoituksesta ja valmistajasta riippuen. Mahdollisia vaihtoehtoja suunnittelu- ja valmistusvaiheessa ovat mm. akselisuunta, lapojen lukumäärä ja valmistusmateriaali sekä suuntautuneisuus tuulen alatai yläpuolelle sekä navan toteutus. Yleisin rakennetyyppi sähköntuotannossa on vaaka-akselinen turbiini, joka sisältää seuraavat komponentit: torni, roottori kaksi tai kolme lapaisena, konehuone (sisältäen ylennysvaihteen, generaattorin sekä levyjarrun), kääntöjärjestelmä sekä ohjausjärjestelmä. Tässä yhteydessä käsitelläänkin vain vaaka-akselisia tuuliturbiineja. Viitasaaren pilottikohteessa käytettävät tuuliturbiinit on esitelty luvussa 5.1 (Manwell ym. 2002, Boyle 2004).

*Roottoria* käsitellään usein tuuliturbiinin tärkeimpänä osana toiminnan ja kustannusten kannalta. Se koostuu *navasta* ja siihen kiinnittyvistä *lavoista*, joiden rakenne sekä aerodynamiikka ovat erittäin tärkeä osa laitoksen hyötysuhdetta ja tuottoa ajatellen. Lavat valmistetaan nykyään useimmiten komposiittimateriaaleista, joissa käytetään ensisijaisesti lasikuidulla vahvistettua muovia, mutta joskus myös puuta yhdessä epoksin kanssa. Roottorin tehtävänä on muuttaa tuulen kineettinen energia pyörimisenergiaksi. Roottorin suuruus vaihtelee turbiinien kokoluokan mukaan merkittävästi. Nykyisissä useiden megawattien kokoluokan laitoksissa roottorin lavat ovat yli 30 metrin pituisia. Lavat toimivat myös laitoksen pysäytys- ja tehonsäätömekanismina, joka tapahtuu sakkauksella tai lapakulmaa säätämällä (Manwell ym. 2002, DWIA 2004).

*Konehuoneessa* sijaitsevat tuuliturbiinin pyörivät osat eli *vaihteisto*, *generaattori* sekä *säätö-* ja *ohjausjärjestelmät*. Vaihteiston tehtävänä on muuntaa roottorin matala kierrosluku generaattorille sopivaksi. Generaattori, jonka tehtävänä on muuttaa mekaaninen energia sähköenergiaksi, on yleisimmin induktio- tai epätahtigeneraattori. Nykyaikaisten generaattoreiden yleisin sähköntuotantoteho on noin 600 – 3 000 kW (Manwell ym. 2002, DWIA 2004).

*Tornin* tehtävänä on kannatella roottoreita ja konehuonetta. Betoniseen perustukseen kiinnitettävät tornit valmistetaan teräksestä joko ristikkomallisiksi tai yleisemmin putkirakenteiseksi. Tornin korkeuteen voidaan yleisesti ajatellen vaikuttavan, että mitä korkeampi torni on, sen paremmat tuuliolosuhteet ovat. Suomessa suurin muutos on metsäisillä alueilla ja pienin avoimilla merialueilla. Nykyisten turbiinien tornit ovat jopa 100 metrin korkuisia (DWIA 2004).

Tuulivoimalaitosten tekninen kehittyminen on ollut viime vuosikymmeninä varsin nopeaa, jonka myötä myös tuotantoyksiköt ja laitoskoot ovat kasvaneet nopeasti. Kaupallisten laitosten sähköntuotantokyky on kasvanut noin satakertaiseksi verrattuna 1980-luvun alkuun (Kuva 25). Kehityksen myötä myös turbiineiden tekninen käytettävyys on nykyisin parhaimmilla jopa 98 – 99 %. Suomessa vuonna 2003 toimivien laitosten käytettävyys oli Laakson (2004) mukaan 95,3 % (EWEA 2004).



KUVA 25. Tuuliturbiinien ominaisuuksien kehittyminen viime vuosikymmeninä (Manwell 2002, EWEA 2004).

#### 4.2.4 Taloudellisuus

Tuulivoimalla tuotetun sähkön hinta on laskenut vakaasti tekniikan ja tuotantomäärien kehittyessä. Tuulisähkön hinta on pudonnut yli 50 % kuluneessa 15 vuodessa, ja tulevaisuudessa tuotantohinnan odotetaan edelleen laskevan. Vuonna 2003 tuulisähkön tuotantohinta oli hyvällä tuotantoalueella noin 4-5 snt/kWh ja vähemmän tuulisilla alueilla 6-8 snt/kWh. Edellä olevat laskelmat on tehty olettaen turbiinin kooksi 850 - 1 500 kW, investointikustannuksiksi 900 – 1 100 €/kW, huolto- ja operointikustannuksiksi 20 vuoden aikana 1,2 snt/kWh sekä korkotasoksi 7,5 % vuodessa (EWEA 2004).

Euroopan tuulijärjestön (EWEA) laskelmien mukaan kapasiteetin kaksinkertaistuksessa sähkön tuotantohinta laskee 9 – 17 %. Jos kapasiteetti kaksinkertaistuu EWEA:n arvioiden mukaisesti viiden vuoden sykleissä, niin tuotantokustannukset voivat laskea tasolle 3,1 snt/kWh vuoteen 2010 mennessä. Tämä on varsin kilpailukykyinen hinta verrattuna ns. perinteiseen fossiiliseen teknologiaan perustuvaan sähköntuotantoon, vaikka jätetään niiden ympäristölle ja yhteiskunnalle aiheuttamat ulkoiset kustannukset laskematta (EWEA 2004).

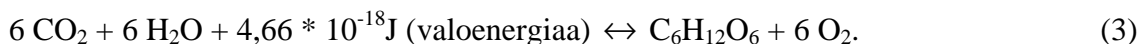
#### 4.2.5 Vaikutukset ympäristöön

Tuulivoimalla tuotettu energia on varsin ympäristöystävällistä, sillä se ei tuota hiilidioksidipäästöjä ilmakehään energiantuotantovaiheessaan. Tuulivoimalan rakentaminen ja huolto sitovat energiaa ja aiheuttavat ympäristövaikutuksia, mutta nykyiset laitokset tuottavat alle vuodessa sen rakentamiseen ja materiaaleihin tarvittavan energiamäärän. EWEA:n tekemien laskelmien mukaan vuonna 2000 tuulivoimaa käyttämällä vältyttiin Euroopassa 15 milj. tonnin hiilidioksidipäästöiltä. Tuulivoiman huonoina puolina voidaan pitää sen aiheuttamia visuaalisia ja meluhaittoja sekä elektromagneettista häiriötä. Lisäksi lintuja kuolee törmätessään turbiineihin, mutta määrä on varsin pieni verrattuna muihin ihmisen aiheuttamiin lintukuolemiin (EWEA 2004).

## 4.3 Bioenergia

### 4.3.1 Johdanto

*Bioenergia* on yleinen termi energialle, joka on peräisin kasveista tai eläimistä koostuvasta *biomassasta*. Bioenergia on lähiaikoina syntynyttä eloperäistä ainesta verrattuna fossiilisiin polttoaineisiin ja turpeeseen, jotka ovat syntyneet biomassasta ja sen jälkeen varastoituneet. Biomassa, maapallon elävä materiaali, esiintyy maapallolla sen pintakerroksessa eli *biosfäärissä*. Se on vain pieni osa maapallon massasta, mutta kuitenkin valtava energiavarasto. Biomassaa syntyy fotosynteesin seurauksena, jossa kasvit, levät ja useat bakteerit muuttavat ympäristöstään ottamansa hiilidioksidin ja veden yhteyttämällä sokereiksi, selluloosaksi, tärkkelykseksi ym. kasvikunnan materiaaleiksi, jotka toimivat varastoina auringon säteilemälle ja edelleen yhteyttämiseen käytetylle energialle. Fotosynteesin kokonaisreaktio, jossa syntyy myös happea, on esitetty reaktioyhtälöllä



Fotosynteesi on riippuvainen sekä valon että hiilidioksidin määrästä. Kasvin kasvaessa reaktio menee oikealle ja energiaa varastoituu. Öisin reaktiosuunta menee vasemmalle kasvien hengittäessä. Kasvin hajotessa tai palaessa syntyy lämpöä ja vapautuu kasvin sitoma määrä hiilidioksidia (Slesser & Lewis 1979, Boeker & van Grondelle 1995, Sørensen 2002, Boyle 2004).

### 4.3.2 Käyttö ja potentiaali

Bioenergian käytöllä on merkittävä rooli maailman energiantuotannossa. Kehitysmaiden energiantuotannosta 35 % ja maailman köyhimpien maiden energiantuotannosta jopa 90 % tapahtuu biomassalla. Maailmanlaajuisesta kokonaisenergiankulutuksesta noin 10 % katetaan bioenergialla, mikä vastaa noin 40 – 60 EJ:n energiamäärää vuodessa. Suomessa hyödynnetään biomassaa melko hyvin muihin teollistuneisiin maihin nähden: Suomen kokonaisenergiantuotannosta noin 20 % ja sähköntuotannosta 10 % tuotetaan bioenergialla. Suomen mahdollisuudet ovat kuitenkin vielä paljon suuremmat. Tavoitteena onkin, että bioenergian osuus Suomen kokonaisenergiantuotosta on 30 % vuoteen 2025 mennessä (UNDP 2000b, Kara ym. 2002, Boyle 2004).



Maailman bioenergiavarannot ovat suuret. Arvioiden mukaan maapallolla on 2 000 miljardia tonnia orgaanista ainetta, johon on sitoutunut energiaa 25 000 EJ. Fotosynteesissä arvioidaan vuosittain sitoutuvan noin 3 000 - 4 500 EJ energiamäärä. Tästä energiamäärästä oletetaan pystyttävän hyväksikäyttämään teoriassa 2 900 EJ ja teknisestikin 270 EJ. Parikan (2003) tekemien arvioiden mukaan kestävästi bioenergiaa voitaisiin hyödyntää biopolttoaineina n. 100 EJ. Maailmanlaajuiseen energiankulutukseen suhteutettuna (451 EJ vuonna 2002) tämä merkitsee, että maailmalaajuisesta energiankulutuksesta varsin merkittävä osa pystytään tyydyttämään bioenergialla (Boyle 2004) (UNDP 2000b, IEA 2003b).

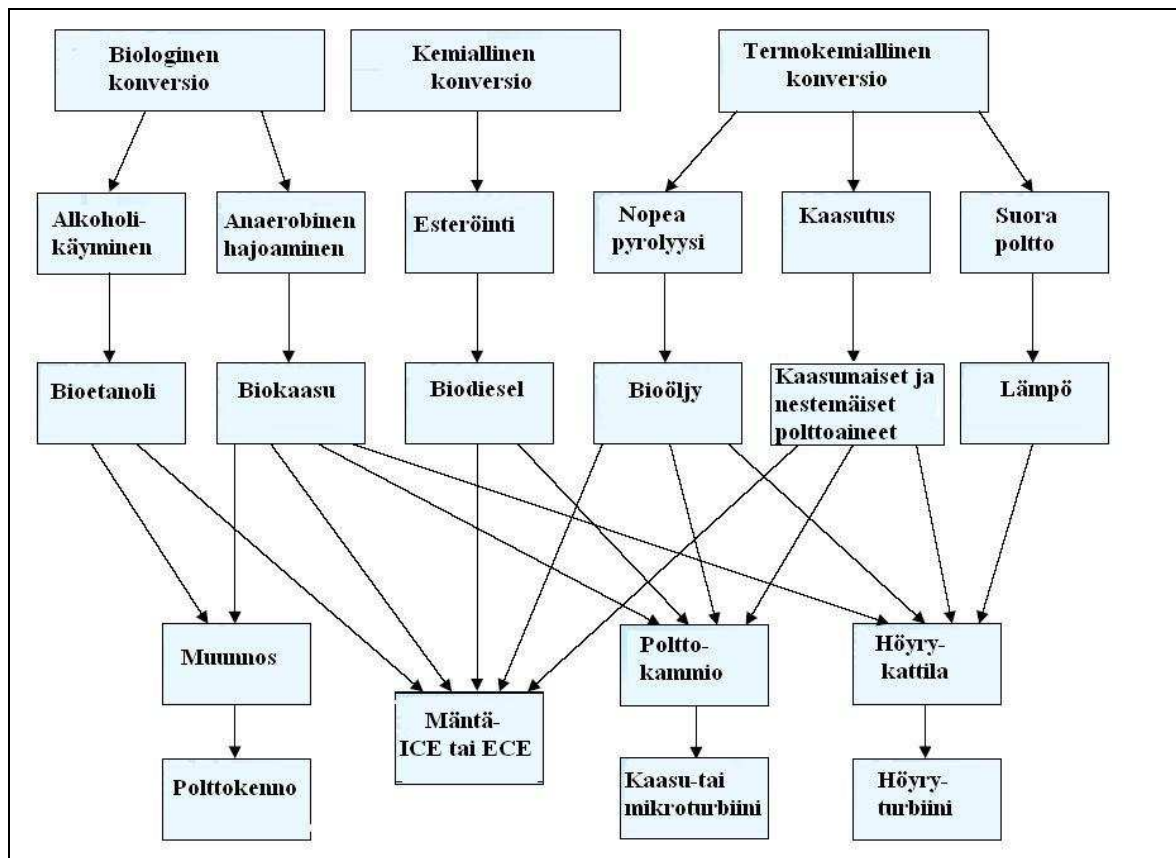
### 4.3.3 Bioenergian hyödyntämistavat ja tekniikat

Bioenergian lähteitä on erilaisista biomassatyypeistä johtuen paljon. Ne voidaan yleisesti jakaa kolmeen eri luokkaan: i) *sivutuotteisiin ja jätteisiin*, ii) *viljeltyihin energiakasveihin* ja iii) *luonnon kasvillisuuden hyväksikäyttöön*. Kontrollioimaton luonnonkasvien käyttö, kuten kehitysmaiden avohakkuut, aiheuttaa ekologisia ja ympäristöllisiä ongelmia, joten sen käsittely on tässä yhteydessä sivuutettu (UNDP 2000a).

Viljeltyt energiakasvit ovat kasveja, joita viljellään energiantuotantoa varten. Ne voidaan jaotella joko metsä- tai maatalousperäisiin kasveihin. Kestävästi hoidettu metsä tarjoaa merkittävän energianlähteen, joka kasvuvaiheessa sitoo ympäristöstään hiilidioksidia sekä toimii lisääntyvänä energiavarastona. Maataloudessa viljellyistä energiakasveista sokeriruoko ja maissi ovat maailmanlaajuisesti yleisimmät. Suomessa pellolla viljeltävien energiakasvien viljely ja käyttö on vielä vähäistä, mutta esimerkiksi ruokohelpin viljelyä on kokeiltu mm. turvesoiden jälkihoitona (Kara ym. 2002, Pahkala ym. 2002, Boyle 2004).

Erilaiset metsätalouden, maatalouden ja ihmisten sekä eläinten toiminnasta syntyvät jätteet ja sivutuotteet muodostavat toisen bioenergian lähderyhmän. Jäteperäistä biomassaa arvioidaan syntyvän maailmassa vuosittain noin 110 EJ:n energiamäärän verran, josta hyväksikäytetään vain noin 10 %. Jätteiden ja sivutuotteiden bioenergiantuotantopotentiaali on merkittävää varsinkin tiheästi asutuilla alueilla, missä maa-alueiden pääasiallinen käyttötarkoitus on ruoantuotannossa (UNDP 2000a).

Biopolttoaineita käytetään energianlähteenä useimmiten (yli 90 %) sellaisenaan polttamalla. Suoran polton lisäksi on muitakin menetelmiä, joiden avulla biomassaa voidaan käyttää modernisti mm. sähköntuotannossa sekä liikenneajoneuvoissa (Kuva 26) (Lensu & Alakangas 2004). Tuotekehitys tulee panostamaan erityisesti uusien tai parannettujen ympäristöystävällisten biopolttoaineiden ja niitä hyödyntävien polttomenetelmien kehittämiseen. Näillä uusilla ominaisuuksilla saadaan lisäkayttöä ja joustavuutta kiinteiden biomassojen hyödyntämiseen. Esimerkiksi Euroopan Unioni on asettanut tavoitteeksi, että nykyisistä tieliikenteen polttoaineista olisi korvattava 20 % vaihtoehtoisilla polttoaineilla vuoteen 2020 mennessä. Biopolttoaineiden osuus tästä on 5,75 % vuoteen 2010 mennessä. Viitasaaren pilottikohteessa bioenergiaa hyödynnetään lämmön- ja sähköntuotannossa ja myöhemmin mahdollisesti myös ajoneuvopolttoaineena. Liikennemyymälän bioenergiaratkaisut ja on esitelty luvussa 5.1.2 (EC 2001, 2003).



KUVA 26. Biomassan hyödyntämisen pääreitit energiantuotannossa (Lensu & Alakangas 2004).

#### 4.3.3.1 Biomassan poltto

Biomassan hyödyntäminen perustuu edelleen 90 %:sesti suoraan polttamiseen, joka tapahtuu monenlaisilla polttomenetelmillä monessa eri käyttötarkoituksessa. Tuotteena syntyvää lämpöä ja/tai höyryä hyödynnetään mm. lämmitykseen, ruuanlaittoon,

teollisuusprosesseihin tai sähköntuotantoon. Voimalaitosten kiinteiden polttoaineiden polttotekniikoita ovat *arinapoltto*, *leijupoltto*, *pölypoltto* sekä *kaasutuspoltto*, joissa biomassaa hyödynnetään usein yhdessä fossiilisten polttoaineiden kanssa. Kestävän kehityksen ja energiantuotannon kannalta on järkevää tuottaa energiaa mahdollisimman hyvällä hyötysuhteella, jolloin hyödynnetään mahdollisimman suuri osa polttoaineen potentiaalisesta energiamäärästä, säästetään energiavaroja sekä vältetään turhilta kasvihuonekaasupäästöiltä (Khartchenko 1998, Sørensen 2000, Lensu & Alakangas 2004).

Arinapoltoissa poltto tapahtuu kiinteällä tai liikkuvalla alustalla. Yleisimmin arinapolttajärjestelmä koostuu arinasta, tulipesästä sekä polttoaineen ja polttoilman syöttölaitteistosta. Polttoaineiden ominaisuuksien erilaisuudesta johtuen poikkeavat myös arinarakenteet ja tulipesät toisistaan. Arinapoltto on ollut kivikauden alusta lähtien pienten- ja keskisuurten yksiköiden käytetyin polttotekniikka kiinteiden polttoaineiden poltossa. Nykyisinkin arinapoltto on yleisin alle 5 MW laitoksissa, ja biomassan käytön lisääntymisen seurauksena, se on myös yleistynyt etenkin Keski- ja Etelä-Euroopassa alle 20 MW<sub>e</sub> lauhdevoimaloissa (Kara 2002, Raiko ym. 2002, IEA 2003a).

Leijupoltto tapahtuu joko kerrosleiju- tai kiertoleijutekniikalla. Molemmissa tekniikoissa polttoaine poltetaan arinan yläpuolella alhaaltapäin puhtaalla ilmalla leijutetussa petihiekassa. Leijupolton etuja ovat mm. mahdollisuus käyttää erilaisia polttoaineita hyvällä hyötysuhteella, halpa rikinpoisto sekä vähäiset hiilivetyjen ja typenoksidien päästöt. Siitä onkin tullut yksi tärkeimmistä tavoista polttaa kiinteitä polttoaineita ympäristöystävällisesti, ja se on korvannut arinapolton lähes kokonaan yli 5 MW laitoksissa (Kara 2002, Raiko ym. 2002, IEA 2003a).

Kaasutuspoltoissa kiinteästä tai nestemäisestä polttoaineesta muodostetaan kaasumaista palamiskelpoista palamisseosta. Palamisseos syntyy, kun kaasuttavana aineena toimiva ilma, happi, vesihöyry tai jokin muu hapen kantaja reagoi polttoaineen kanssa. Kaasutuspoltoilla voidaan parantaa polttoprosessin hyötysuhdetta ja vähentää päästöjä (Kara 2002, Raiko ym. 2002, IEA 2003a).

Pölypoltoissa polttoaine (turve, puuhiili, kivihiili, maatalousjätteet ym.) pölytetään ja puhalletaan polttimelle (Kara 2002, Raiko ym. 2002).

*Kombivoimalaitosprosessi* on energiantuotantotekniikka, johon kuuluu sekä kaasua että höyryturbiini. Järjestelmällä voidaan parantaa sähköntuotannon hyötysuhdetta sekä

energiantuotannon tehokkuutta verrattuna tavanomaisiin joko kaasui- tai höyryturbiiniin perustuviin voimalaitosprosesseihin. Ensimmäisessä vaiheessa sähköä tuotetaan kaasuturbiinilla, jonka aikana syntyvä lämpö käytetään höyryntuotantoon, jolla toisessa vaiheessa tuotetaan sähköä höyryturbiinissa. Kombivoimalassa sähköntuotannon hyötysuhde nousee jopa 60 %:n (Khartchenko 1998).

Biomassan poltossa käytetään myös *kaasutuskombivoimaloita* (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle), joissa kiinteä biomassa kaasutetaan ja hyödynnetään kaasu/diesel – höyryturbiini – kombivoimalaitoksella, jolloin sähköntuotannon hyötysuhteeksi saadaan 30 – 50 % (Boyle 2004).

*Yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa* polttoaineen energiasisältö hyödynnetään tuottamalla sähköä sekä lämpöä, jolloin polttoaineen energiasisältö hyödynnetään tehokkaasti polttoainevaroja säästäen. CHP-laitoksella (Combined Heat and Power) saavutetaan erittäin korkea 85 - 90 % kokonaishyötysuhde (vrt. tavanomainen sähköntuotanto, n. 30 %). Esimerkiksi pienen mittakaavan CHP-laitos voi tuottaa sähköä 30 % ja lämpöä 50 % hyötysuhteella. Tuotettu lämpö voidaan hyväksikäyttää esim. teollisuuden prosesseissa tai kotitalouksien lämmityksessä esimerkiksi kaukolämpöverkolla (Khartchenko 1998).

#### **4.3.3.2 Kaasumaisten biopolttoaineiden käyttö ja tuotanto**

Mielenkiinto kaasumaisten biopolttoaineiden kehittämiseen ja käyttämiseen on ollut jatkuvassa kasvussa niiden monikäyttöisyyden vuoksi. Kaasumaisten biopolttoaineiden hyviä puolia on mm. niiden käyttö sellaisenaan polttomooottoreissa ja CHP-laitoksissa, helppo kuljetus, ympäristöystävällisyys puhdistettuina sekä tuotantotehokkuutta parantava vaikutus. Tärkeimmät kaasumaisten biopolttoaineiden tuotantotavat ovat *termokemiallinen kaasutus* korkeassa lämpötilassa ja biologinen *anaerobinen hajoaminen* (Boyle 2004).

Kaasutuksella tarkoitetaan useimmiten termokemiallista kaasutusta, jossa kiinteä aine esim. biomassa muutetaan pääosin hiilimonoksidista (CO) ja vedystä (H<sub>2</sub>) koostuvaksi kaasuksi. Kaasuseoksessa on lisäksi mukana metaania (CH<sub>4</sub>), jonka määrä riippuu tuotanto-olosuhteista ja ylempiä hiilihydraatteja sekä pikeä. Syntyneen kaasun energiasisältö on yleensä 3 – 5 MJ/m<sup>3</sup>. Kaasutusmenetelmiä on useita, mutta pääprosessi tapahtuu useimmiten yhdistämällä kuumaa höyryä ja happea kiinteän biomassan kanssa korkeassa lämpötilassa ja paineessa (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Biokaasu tarkoittaa anaerobisessa eli hapettomassa tilassa syntyvää kaasua, jota syntyy kun useat omiin biokemiallisiin prosesseihinsa erikoistuneet anaerobiset bakteerit hajottavat orgaanista ainetta. Hajotuksen lopputuotteena syntynyt biokaasu sisältää metaania (CH<sub>4</sub>) 55 - 75 % ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 25 - 45 %. Kaasun lisäksi syntyy lannoitteeksi soveltuvaa kiinteää mädätysjäännöstä. Biokaasutuksesta on tulossa tärkeä ekologinen tapa tuottaa energiaa. Biokaasun sisältämän metaanin energiasisältö on noin 36 MJ/m<sup>3</sup> (50 MJ/kg). Puhdistettuna biokaasu soveltuu käytettäväksi moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Paras hyöty siitä saadaan liikenteen polttoaineena sekä yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa. Biokaasua käyttävien ajoneuvojen päästöt ovat yli 90 % pienemmät kuin tavanomaisia liikennepolttoaineita käyttävien ajoneuvojen. Biokaasumetaani onkin tutkimuksissa todettu puhtaimmaksi liikennepolttoaineeksi. Biokaasujoneuvojen aiheuttama melutaso on myös alhaisempi kuin bensiini- ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen (IEA 2000, Sørensen 2000, Lampinen 2003).

Biokaasua tuotetaan yleensä reaktoreilla eläinten lannasta, jäteveden puhdistamoiden lietteestä tai yhdyskunta- ja teollisuusjätteistä, mutta myös maatalouden kasvijätteistä ja energiakasveista. Reaktoreilla tapahtuva tuotanto oli Suomessa vuonna 2002 Suomen Biokaasukeskuksen tietojen mukaan 25,1 milj. m<sup>3</sup> biokaasua. Tuotettua kaasua hyödynnettiin lämpö- ja sähköenergiana sekä mekaanisena energiana yhteensä 119,9 GWh. Anaerobista hajoamista tapahtuu myös luonnossa ja paikoissa, joissa orgaanista ainetta hajoaa hapettomissa tiloissa kuten esim. kaatopaikoilla. Lakisääteinen biokaasun talteenotto on lisännyt biokaasun hyödyntämistä Suomessa. Vuonna 2002 kaatopaikoilta kerättiin biokaasua noin 75 milj. m<sup>3</sup>, josta 25,3 milj. m<sup>3</sup>:lla tuotettiin sähköä ja lämpöä yhteensä noin 84,6 GWh. Talteen otetun biokaasun ylijäämäpoltossa hukattiin lämpöenergiaa 90 % hyötysuhteella laskettuna 213,9 GWh (Sørensen 2000, Kuittinen ym. 2003, Boyle 2004).

#### **4.3.3.3 Nestemäisten biopolttoaineiden käyttö ja tuotanto**

Nestemäisiä biopolttoaineita valmistetaan biomassasta mm. alkoholikäymisellä, esteröinnillä, pyrolyysillä sekä nesteyttämällä synteetikaasuja. Syntyneitä tuotteita voidaan käyttää moneen eri tarkoitukseen kuten esimerkiksi liikennepolttoaineiksi tai sähkön- ja lämmöntuotantoon CHP-voimaloissa. Taulukossa 3 on esitetty nestemäisten biopolttoaineiden energiasisältöjä (Boyle 2004).

Öljykasvien (rypsi, oliivi, auringonkukka yms.) siemenistä *mekaanisesti puristettua öljyä* voidaan hyödyntää diesel-moottoreissa joko sellaisenaan tai seoksena dieselin kanssa. Puristetun öljyn energiasisältö on noin 37 – 39 MJ/kg, joka on vain vähän pienempi kuin dieselillä (42 MJ/kg). Puristetusta öljystä voidaan valmistaa *biodieseliä* esteröimällä öljy metanolilla tai etanolilla. Reaktiossa syntyy metyyli- tai etyyliesteriä sekä glyserolia. Glyseroli poistetaan ja jäljelle jää biodiesel, joka sopii sellaisenaan diesel-moottoreiden polttoaineeksi (Tickell & Tickell 1999, Boyle 2004).

Alkoholikäymisessä sokeripitoisesta materiaalista syntyy bakteeritoiminnan lopputuotteena *bioalkoholeja*, jotka soveltuvat joko kokonaan tai seoksena liikenteen polttoaineiksi tai käytettäväksi sellaisenaan energiantuotannossa. Ihmisten parhaiten tuntemaa alkoholia eli etanolia (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) voidaan tuottaa monenlaisesta biomassasta kuten viljoista, ruohosta ja jopa puusta (Slessor & Lewis 1979, Sørensen 2000, Boyle 2004).

*Pyrolyysi* on yksinkertaisin ja vanhin tapa parantaa polttoainetta. Eräitä perinteisiä menetelmiä pyrolyysistä ovat tervan ja puuhiilen valmistus, jotka ovat kuitenkin energiaa kuluttavia menetelmiä. Nykyisellä pyrolyysillä tarkoitetaan menetelmää, jossa korkeassa (300 - 700 °C) lämpötilassa ja hapettomissa olosuhteissa kiinteän aineen haihtuvat osat pyritään kokoamaan ja tiivistämään nestemäiseksi polttoaineeksi eli bioöljyksi. Pyrolyysitekniikalla metsähakkeesta, sahanpuruista tai muusta soveltuvasta biomassasta voidaan valmistaa polttoaineeksi soveltuvaa nestemäistä pyrolyysiöljyä jopa 60 - 70 % hyötysuhteella. Pyrolyysiöljy sopii jalostettuna polttoaineeksi mm. polttomoottoreihin sekä kattiloihin. Lisäksi se mahdollistaa biopolttoaineen laaja-alaisen kuljetuksen ja korkean hyötysuhteen diesel-teknologian käytön myös pienissä kohteissa (Kara ym. 2002, IEA 2003a, Boyle 2004).

Synteetikaasulla tarkoitetaan kaasutuksen lopputuotteena syntynyttä kaasuseosta, joka sisältää pääosin vetyä (H<sub>2</sub>) ja hiilimonoksidia (CO) sekä metaania (yleensä 5 – 10 %). Tästä kaasumaisesta seoksesta voidaan valmistaa erilaisin menetelmin nestemäisiä polttoaineita (mm. metanolia, dimetyylieetteriä (CH<sub>3</sub>OCH<sub>3</sub>) ja Fischer-Tropsch dieselpolttoainetta), jotka soveltuvat erityisen hyvin mm. liikennepolttoaineiksi. Liikennepolttoaineiden valmistuksessa on synteetikaasuseoksen H<sub>2</sub> ja CO komponenttien osuus oltava 80 – 95 % (Zhang 2004).

TAULUKKO 3. Nestemäisten biopolttoaineiden energiasisältöjä (Alakangas 2000, Boyle 2004).

Nestemäinen biopolttoaine	Energiasisältö
Pyrolyysiöljy	15 – 19 MJ/kg
Metanoli (CH <sub>3</sub> OH)	18 MJ/kg
Etanoli (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	30 MJ/kg
Biodiesel	37 – 39 MJ/kg

#### 4.3.4 Taloudellisuus

Bioenergialla tuotetun energian hintaa on vaikea määrittellä yleisellä tasolla, koska bioenergian lähteet ja tuotantotavat vaihtelevat suuresti. Bioenergian hinnan voidaan ajatella riippuvan usein neljästä eri tekijästä: i) pääomakustannuksista, ii) polttoaineen hinnasta, iii) toiminta- ja ylläpitokustannuksista sekä iv) tuotannosta, joista pääomakustannusten osuus on merkittävin. Myös polttoaineen hinta voi olla merkittävä, mutta toisaalta siitä voidaan myös saada hyötyä esimerkiksi biojätteitä hävittämällä (Boyle 2004).

Bioenergian tuotannolla ja käytöllä on myönteisiä vaikutuksia kansalliseen työllisyyteen ja talouteen. Kansallisen energiaomavaraisuuden lisääntymisen myötä hyödyntäminen synnyttää myös työpaikkoja heijastuen näin kansalliseen turvallisuuteen ja taloudelliseen hyvinvointiin. Hyvänä esimerkkitapauksena bioenergian taloudellisesta hyödyntämisestä toimii Brasilia, jossa tuotetaan etanolia polttoaineeksi. Tuotanto käynnistettiin 1970-luvulla, jonka jälkeen tuotantokustannukset ovat laskeneet 4 - 5 % vuodessa. Nykyisin energiayksikköä kohden laskettu hinta on laskenut jo alle tavanomaisen bensiinin. Paikallinen tuotantoyhtiö Proalcool on luonut yli miljoona työpaikkaa, ja nykyään Brasilia myy etanolia myös ulkomaille saavuttaen myyntituloja. Arvioiden mukaan 27 vuoden aikana maa on säästänyt polttoaineiden maahan tuonnissa 52 miljardia yhdysvaltain dollaria, joka ylittää monin kerroin teollisuuteen investoidut kulut (Sawin 2004).

#### 4.3.5 Vaikutukset ympäristöön

Bioenergian hyödyntäminen on ympäristöystävällistä, koska biomassan muodostuminen sitoo yhtä paljon hiilidioksidia kuin käytöstä syntyy, jolloin hiilidioksidin nettopäästöt ovat nolla. Korvaamalla fossiilisia polttoaineita bioenergialla saavutetaan merkittäviä säästöjä hiilidioksidipäästöissä (UNDP 2000a).

## 4.4 Vesivoima, aaltoenergia, vuorovesi sekä geoterminen energia

Tässä luvussa esitellään uusiutuvia energianmuotoja (vesivoima, aaltoenergia, vuorovesi sekä geoterminen energia), joita Viitasaaren ABC-liikennemyymälällä ei ole käytössä. Käsittelyssä ovat energiamuotojen yleiset osiot, niiden käyttö ja hyödyntämispotentiaali, hyödyntämistekniikat, taloudellisuus sekä vaikutukset ympäristöön.

### 4.4.1 Johdanto

*Vesivoima* on epäsuoraa auringon energiaa, jonka käyttö energianlähteenä perustuu veden luonnolliseen kiertokulkuun: Auringon säteilemä energia haihduttaa vettä ilmakehään, vesihöyry tiivistyy ja sataa alas. Lopulta vesi valuu Maan vetovoiman johdosta takaisin jokia pitkin kohti meriä. Merenpinnan yläpuolella sijaitseva vesimassa sisältää potentiaalienergiaa, jonka suuruus voidaan laskea kaavalla

$$E = mgh, \quad (4)$$

missä  $m$  on veden massa,  $g$  on gravitaatiokiihtyvyyden arvo ( $\approx 9,81 \text{ ms}^{-2}$ ) ja  $h$  putouskorkeus. Vesimassan virratessa kohti meriä sen sisältämä potentiaalienergia muutetaan voimalaitoksissa turbiinien liike-energiaksi ja edelleen sähköksi (Sørensen 2000, Boyle 2004).

*Geoterminen energia* voidaan määritellä maan lämpöenergiaksi, joka on suurempi kuin normaali Maan kiinteän kuoren keskilämpötila. Geoterminen energia on peräisin maapallon ytimen kuumuudesta ja radioaktiivisten aineiden synnyttämästä lämmöstä. Sitä ei siis pidä sekoittaa maalämpöön, jonka lämpöenergia on peräisin auringon säteilystä. Maan ydin on noin  $7\,000\text{ °C}$  lämpöinen. Ydin lämpeni nopeasti maapallon muodostuessa noin 4 600 milj. vuotta sitten, kun suurella nopeudella liikkuvat hiukkaset törmäsivät toisiinsa ja kerääntyivät yhteen. Hiukkasten liike-energia muuttui lämpöenergiaksi, ja lämpöä varastoitui Maan ytimeen. Tämän lisäksi Maan sisus sisältää pieniä määriä pitkäikäisiä radioaktiivisia aineita ( $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ja  $^{40}\text{K}$ ), jotka hajotessaan luovuttavat lämpöä. Maan pinnan ja sen keskustan lämpötilaerosta johtuen lämpötila niiden välillä pyrkii tasoittumaan johtumalla maan pintaa kohti. Energiavirta, joka kulkee keskimäärin maan pinnan läpi, on noin  $0,06 \text{ W/m}^2$ . Mentäessä Maan sisustaan päin lämpötila kohoaa n.  $30\text{ °C}$  jokaista kilometriä kohden. Energiavirtaamat eivät ole kuitenkaan jakautuneet tasaisesti, jolloin keskittyneitä energiavirtoja voidaan käyttää suhteellisen helposti sähkö- sekä lämmöntuotantoon (EC 1999, Sørensen 2000, Boyle 2004).



Kuun (66 %) ja Auringon (33 %) vetovoiman vaikutuksesta kahdesti päivässä aiheutuvaa merien pinnan nousua ja laskua eli *vuorovettä* on käytetty energian lähteenä jo keskiajalta lähtien. Nykyisin vuorovettä käytetään pääasiassa sähköntuotantoon. Sen käyttö energiantuotannossa perustuu vedenpinnan korkeuden vaihtelussa syntyvään vesimassan potentiaalienergian hyödyntämiseen sekä virtaavan vuoroveden liike-energian hyödyntämiseen (Boyle 2004).

*Aaltoenergialla* tarkoitetaan aaltojen sisältämän liike- ja potentiaalienergian hyödyntämistä. Aallot syntyvät vedenpinnan ja tuulen vuorovaikutuksesta. Energiantuotannon kannalta aaltojen ominaisuuksista merkittävimmät ovat aallonpituus ( $\lambda$ ), aaltojen taajuus (T) sekä aallonkorkeus (H). Aalloista saatava teho aaltometriä kohden voidaan laskea kaavalla

$$P = \frac{\rho g^2 H^2 T}{32\pi} \text{ [W]}, \quad (5)$$

missä  $\rho$  on veden tiheys ja  $g$  gravitaatiokiihtyvyys (Boyle 2004).

#### 4.4.2 Käyttö, potentiaali ja resurssit

Vesivoima poikkeaa muista uusiutuvista energianlähteistä siten, että se on ollut jo pitkään merkittävässä osassa maailman energiantuotannossa. Sitä on hyödynnetty jo tuhansien vuosien ajan esimerkiksi myllyissä, ja jo sadan vuoden ajan se on tuottanut toimintavarmasti sähköä kilpailukykyiseen hintaan. Vesivoiman vuotuinen sähköntuotantomäärä on nykyisin noin 2 600 TWh, joka vastaa kuudesosaa maailman sähköntuotannosta ja jopa 90 % uusiutuvilla energiamuodoilla tuotetusta sähköstä. Suurimmat tuottajamaat ovat Kanada, USA, Brasilia, Venäjä ja Kiina (Boyle 2004, BP 2004).

Maailman teoreettinen vesivoimapotentiaali on noin 36 000 – 44 000 TWh/a, josta tekninen potentiaalin on noin 14 000 TWh/a. Suurimmat hyödyntämättömät varat sijaitsevat Afrikassa, Etelä-Amerikassa, Kanadassa ja Venäjällä, mutta muuallakin on vielä paljon tehtävissä. Taloudellisen potentiaalin, joka riippuu talouden, yhteiskunnan, ympäristön ja tekniikan kehityksestä sekä arvoista suuruudeksi on arvioitu 8 100 TWh/a. Vesivoiman tuotantomäärät voivat vaihdella suurestikin vuotuisen veden kierron mukaisesti (UNDP 2000b, Boyle 2004).

Suomessa parhaimmat tuotanto-olosuhteet on jo valjastettu vesivoiman käyttöön, mutta pienimuotoisen vesivoiman lisäys on edelleen mahdollista. Suomen nykyinen kapasiteetti on noin 2 900 MW, josta noin 320 MW on alle 10 MW laitoksia. Mahdollisuuksia uuden kapasiteetin rakentamiseksi arvioidaan olevan noin 950 MW, joista pääosa rajoittuu Pohjois-Suomen jokiin (Helynen ym. 1999). Suomessa tuotettiin vuonna 2002 sähköä vesivoimalla n. 10,8 TWh, joka kattoi n. 15 % sähköntuotannosta (Kara ym. 2002, IEA 2003b).

Geotermisen energian varannot ovat suuret. Vuotuinen energiamäärä, joka virtaa maankuoren läpi on n.  $10^{21}$  J. Arvioiden mukaan Maan kuoren kymmenen ylintä kilometriä sisältävät lämpöä yli 50 000-kertaisesti se energiamäärä, joka koostuu maapallon havaituista öljy- ja kaasuvarannoista. Teknisesti tästä energiamäärästä arvioidaan olevan mahdollista käyttää vuosittain noin 5 000 EJ ( $\approx 1\,390\,000$  TWh) (UNDP 2000b). Geotermistä energiaa hyödyntävien tekniikoiden tuotantokapasiteetti on lisääntynyt maailmanlaajuisesti viime vuosien kuluessa ollen vuonna 2002 sähkölle 8 000 MW<sub>e</sub> ja lämmölle 15 200 MW<sub>t</sub>. Näillä kyseisenä vuonna tuotettiin sähköä 50 000 GWh ja lämpöä 53 000 GWh (EC 1999, ISES 2003, Boyle 2004).

Vuoroveden potentiaali sijoittuu erittäin paikallisesti sinne, missä on mahdollista padota suuria määriä vuorovettä tai paikkoihin, joissa vuoroveden virtaus on vähintään 2 m/s (Pelc & Fujita 2002). Vuoroveden hyödyntämispotentiaalin määrästä on varsin erilaisia näkemyksiä. Arvioiden mukaan sen teoreettinen potentiaali on n. 22 000 TWh/a (UNDP 2000b). Käytettävissä olevaksi potentiaaliksi Pelc & Fujita (2002) arvioivat 500 – 1 000 TWh/a ja Boyle (2004) 300 TWh/a.

Aaltoenergian maailmanlaajuiseksi potentiaaliksi arvioidaan 17 500 - 18 000 TWh vuodessa (UNDP 2000b, Boyle 2004). Suurin potentiaali on siellä, missä tuuliolosuhteet ovat parhaimmat eli 40 – 60 leveyspiirin välissä sekä pohjoisella että eteläisellä pallonpuoliskolla (Pelc & Fujita 2002). Taloudellisesti järkevästi tästä potentiaalista voitaisiin hyödyntää noin 2 000 TWh vuodessa, mikä vastaa noin 10 % maailman sähkönkulutuksesta (Clement ym. 2002, ETNWE 2002). Suomen rannikolla vuodessa saatava teho aaltometriä kohden on keskimäärin 2 – 3 kW (Boyle 2004).

#### 4.4.3 Hyödyntämistekniikka

Sähköä tuottavien vesivoimaloiden tekniset ratkaisut vaihtelevat olosuhteiden ja tuotantokyvyn mukaisesti muutamista sadoista wateista yli 10 000 MW:n. Laitokset voidaan jaotella veden korkeuden, tuotantokyvyn, turbiinityypin ja sijainnin mukaan. Tuotantokykyyn perustuva jaottelu jakaa voimalat pieniin (<10 MW), keskisuuriin (< 100 MW) ja suuren kokoluokan laitoksiin (> 100 MW) (Sørensen 2000, Boyle 2004).

Vesivoimalaitoksen teho määräytyy vesimassan virtaamasta eli tilavuusvirrasta turbiiniin sekä veden nettoputouskorkeudesta, joka muodostuu vesivaraston pinnankorkeuden ja veden siirron häviöiden seurauksena. Saman tehon tuottavat voimalaitokset voivat olla hyvin erilaisia. Toinen voimala voi tuottaa sähköä käyttämällä vähäiset määrät nopeavauhtista vettä ja toinen voimala suuret määrät hidassuoksuista jokivettä. Voimalan maksimituotantokyvyn lisäksi on tärkeää taata myös jatkuva tuotantokyky, jonka vuoksi veden saannin on oltava tasaista vuoden ympäri. Tasaisen tuotannon takaamiseksi vesimassoja säännöstellään erilaisilla padoilla ja juoksutuksella (Boyle 2004).

Geotermiset resurssit voidaan jakaa lämmönlähteen mukaan korkean (>150 °C) lämpötilan (entalpian) resursseihin sekä matalan (<150 °C) lämpötilan (entalpian) resursseihin. Korkean lämpötilan resurssit sijaitsevat vulkaanisilla alueilla ja matalan lämpötilan resurssit sedimenttialtaissa sekä HDR-kivissä. HDR-kivet (Hot Dry Rocks) tarkoittavat lämpöä sisältäviä kallioperiä, joista puuttuvat väliaineet (vesi, höyry, magma), jotka voisivat kuljettaa kallioperien sisältämän lämmön maan pinnalle. Korkean lämpötilan lähteitä hyödynnetään geotermisillä voimalaitoksilla sähköntuotannossa ja matalan lämpötilan lähteitä lämmitykseen sekä nykyisin myös sähköntuotantoon (binäärisykli). Lämmöntuotantoa hyödynnetään suoraan lämmitykseen, teollisuuden prosessihöyryn tuotantoon ja mm. kasvihuoneiden lämmitykseen. Viime vuosien aikana on tapahtunut merkittävää kehitystä myös geotermisten lämpöpumppujen kehityksessä, joilla hyödynnetään matalan lämpötilan lähteitä (<20 °C) sekä lämmityksessä että jäähdytyksessä. Lämpöpumpun toiminta on esitelty lämpöpumppulämmitystä käsittelevässä luvussa 4.1.2.3.3 (EC 1999).

Vuorovettä hyödynnetään erilaisilla tekniikoilla, joista pääasiallinen menetelmä perustuu vuoroveden synnyttämän potentiaalienergian hyödyntämiseen. Vuorovesi synnyttää vedelle potentiaalia sekä noustessaan että laskiessaan. Nousuveden aikana kohoava

vesimassan annetaan virrata ns. patoaltaaseen. Sähköä virtaavasta vedestä tuotetaan joko veden noustessa patoaltaaseen tai sen virratessa pois siitä. Myös kaksisuuntainen hyödyntäminen on mahdollista. Sähköntuotanto tapahtuu samankaltaisesti kuin pienissä vesivoimaloissa eli juoksuttamalla vettä generaattoreihin. Myös vuoroveden aikaansaamaa veden vaakasuoraa liikettä eli kineettistä energiaa voidaan muuttaa mekaaniseksi energiaksi ja edelleen sähköksi kyseiseen tarkoitukseen kehiteltyjen erilaisten laitteiden avulla (Thorpe 1999, Boyle 2004).

Aaltoenergian hyödyntäminen on vasta aluillaan, joten hyödyntämistekniikka ei ole vielä vakiintunutta. Tarkoitukseen on patentoitu kaikkiaan yli 1 000 laitetta eri puolilla maapalloa. Vaihtelevat laitetypit voidaan jaotella energian hyödyntämismenetelmän perusteella i) veden liikkeen aiheuttaman ilmanpaineen muutoksen hyödyntäjiin (Oscillating water column), ii) patoaviin laitteisiin (Overtopping devices), iii) pisteabsorboijiin (Point absorbers) sekä iv) veden kuohuntaa hyödyntäviin laitteisiin (Surging devices). Näiden lisäksi on olemassa muutamia potentiaalisia laitteita, jotka eivät tekniikkansa puolesta vastaa mitään edellä mainittua. Aaltoenergian hyödyntäminen voidaan jakaa myös käyttökohteiden mukaan rantaviivalla sijaitseviin, rannan lähistöllä sijaitseviin sekä avomerillä sijaitseviin laitteisiin (ETNWE 2003, Boyle 2004).

#### **4.4.4 Talous**

Vesivoima on ollut taloudellisesti kilpailukykyinen energiantuotantomuoto jo pitkään. Nykyisin sillä tuotetun sähkön hinta on suuren mittakaavan (> 100MW) laitoksissa 3 – 5 snt/kWh ja pienen mittakaavan (< 10 MW) laitoksissa n. 6 – 9 snt/kWh. Kapasiteetin lisääminen maksaa suotuisissa olosuhteissa n. 800 – 1 250 €/kW ja normaaleissa olosuhteissa noin 2 500 €/kW. Pienen mittakaava laitosten asennus maksaa n. 1 200 €/kW. Tulevaisuudessa myös pienen mittakaavan laitosten tuotantohinnan arvioidaan laskevan parhaissa olosuhteissa tasolle 3 snt/kWh (UNDP 2000b, IEA 2003a).

Geotermisen energian taloudellisuus riippuu pääosin käytettävästä tekniikasta ja hyödynnettävästä resurssista. Energiantuotannon keskimääräinen hinta oli vuonna 2002 sähkölle noin 3 snt/kWh ja lämmölle 1,6 snt/kWh. Kapasiteetin lisääminen maksoi sähköntuotannossa 650 – 2 500 €/kW ja lämmöntuotannossa 150 – 1 500 €/kW. Laitosten käyttöikä oli vähintään 20 vuotta (EC 1999, UNDP 2000b).

Vuoroveden taloudellisuus riippuu pääosin laitoksen perustamisen pääomakustannuksista sekä laitoksen tuotosta. Pääomakustannukset ovat suhteellisen suuret, mutta laitoksen käyttöikäkin on vastaavasti erittäin pitkä (patoaltaan rakenteet 120 vuotta, laitteet 40 vuotta). Laitosten rakennusvaihe voi kestää kauan, ja tuotto voi olla epäsäännöllistä (suhteellinen kuormitus 22 – 35 %), jolloin korkotasolla on merkittävä vaikutus lopulliseen sähkön hintaan (Pontes & Calcao 2001, Boyle 2004).

Aaltoenergian taloudellisuus ei vielä ole kilpailukykyinen fossiilisille polttoaineille, mutta tekniikan kehittyminen ja käytön lisääntyminen laskevat hintoja nopeasti. Viime vuosien aikana uudet yritykset ovat kehittäneet tekniikkaa, joilla sähkön tuotantohinta olisi noin 5 snt/kWh (Pelc & Fujita 2002). Tämä tekisi aaltoenergiasta varsin kilpailukykyisen tekniikan. Laitteiden tyypillinen investointikustannus on 1 700 - 3 000 €/kW ja vuosituotto 4 000 - 8 000 kWh/kW (ETNWE 2003).

#### **4.4.5 Vaikutukset ympäristöön**

Vesivoiman käyttö fossiilisten polttoaineiden korvaajana vähentää haitallisia päästöjä ympäristöön. Syntyvät ympäristövaikutukset voidaan jakaa karkeasti luontoon kohdistuviin sekä sosio-ekologisiin vaikutuksiin. Luontoon kohdistuvia vaikutuksia ovat mm. hydrografinen ja hydrologinen muutos (mm. virtausten muuttuminen ja vedenpinnan muutokset), veden kemiallisten ja fysikaalisten arvojen muutokset (mm. lämpötila, happipitoisuus, suolaisuus), muutokset luonnon elinympäristössä (kasvit, eläimet), metaanin tuotanto sekä rehevöityminen. Sosio-ekologisia vaikutuksia ovat mm. maa-alueen jääminen veden alle (mm. asutus, maanviljely), jokien virtaaman vaihtelu (mm. kalakannat) sekä paikallisen talouselämän paraneminen (mm. kalatalouden paraneminen, infrastruktuuri) (Lahdelma & Ranne 2000, Boyle 2004).

Geoterminen energian on varsin ympäristöystävällistä. Mahdollisia haittoja ympäristöön voi syntyä rakennus- ja porausvaiheessa, kaasupäästöinä höyryn mukana sekä maan, pintaveden sekä pohjaveden saastumisesta. Haittavaikutukset jäävät kuitenkin vähäisiksi noudatettaessa huolellisuusperiaatetta. Positiivisia ympäristövaikutuksia syntyy fossiilisten polttoaineiden korvaamisesta sekä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä (IEA 1998, ISES 2003, Kristmannsdóttir & Ármannsson 2003).

Vuoroveden käyttäminen energiantuotannossa aiheuttaa sekä negatiivisia että positiivisia vaikutuksia paikallisiin ekosysteemeihin (Boyle 2004). Sen käyttö jokisuissa aiheuttaa samoja ympäristöuhkia kuin laajat padot vesivoimassa. Suolaisen veden luonnon liikuttelu padon avulla voi vaikuttaa herkkiin ekosysteemeihin haitallisella tavalla. Myös rakennusvaihe saattaa aiheuttaa merkittäviä haittoja. Vuoroveden ympäristöystävällisimpänä vaihtoehtona pidetään erillisiä patoaltaita käyttäviä järjestelmiä. Niilläkin voi ympäristöllisiä vaikutuksia esim. kaloihin ja muihin eläimiin, mutta hyvällä suunnittelulla ja toteutuksella vaikutukset saadaan vähäisiksi (Pelc & Fujita 2002).

Aaltoenergian ei aiheuta kaasumaisia, nestemäisiä tai kiinteitä päästöjä käytön aikana. Sen potentiaali fossiilisten polttoaineiden korvaajana ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentäjänä on myös suuri, jonka vuoksi sitä pidetään varsin ympäristöystävällisenä energiantuotantomuotona. Tulevaisuudessa tarvitaan kuitenkin parempia tutkimuksia sen vaikutuksista paikallisiin ekosysteemeihin. Pienen luokan tuotantolaitosten vaikutukset ympäristöön ovat erittäin pienet, mutta suuren kokoluokan laitokset voivat mahdollisesti vahingoittaa meren ekosysteemejä ja kalakantoja (Thorpe 1999, Pelc & Fujita 2002).

## 5 Viitasaaren UE-hanke

Maailman energiantuotanto tapahtuu vielä noin 80 %:sti uusiutumattomilla energialähteillä. Niiden käyttö aiheuttaa kuitenkin monia erilaisia ongelmia (ks. luvut 2 ja 3). Tulevaisuuden energiansaannin ja nykyisten elinolojen turvaamiseksi olisi siirryttävä käyttämään uusiutuvia energianlähteitä mahdollisimman nopeasti, jonka vuoksi uusiutuvien energialähteiden käyttöä on edistettävä mm. lisäämällä ihmisten tietoisuutta uusiutuvasta energiantuotannosta. Yksi tehokas tietoisuuden lisäämisen keino on tuoda niiden etuja ja tuotantotapoja konkreettisesti ja käytännönläheisesti ihmisten nähtäville.

Tässä luvussa käsitellään Viitasaarelle 31.12.2004 avattua ABC-liikennemyymälää, joka toimii Suomen mittakaavassa eräänlaisena uusiutuvan energiantuotannon pilottijärjestelmänä. Käsittelyssä keskitytään erityisesti liikennemyymälän UE-hankkeen tiedonkeräysjärjestelmän toteutukseen. Liikennemyymälän yhteydessä toimivan UE-hankkeen tarkoituksena on lisätä ihmisten mielenkiintoa uusiutuvia energiantuotantomuotoja ja niiden käyttöä kohtaan. Samalla kerrotaan mm. niiden eduista verrattuna tavanomaisiin fossiilisiin energialähteisiin.

Liikennemyymälän omat energiaratkaisut on toteutettu siten, että sen energiantarve katetaan lähes kokonaan uusiutuvalla energialla (Taulukko 4). ABC-liikennemyymälän yhteyteen toteutettu UE-piste esittelee asiakkaille uusiutuvan energian tuotantomenetelmiä ja -laitteita sekä antaa yleistä informaatiota uusiutuvista energialähteistä. Tämän lisäksi asiakkaat pääsevät näkemään käytännössä kuinka energiaa tuotetaan kestävästi, ja näin itsekkin kiinnostumaan käyttämään niitä. Liikennemyymälä avaa samalla Jyväskylän yliopistolle mahdollisuus käyttää liikennemyymälää tutkimuslaboratorionaan, jolla voidaan seurata uusiutuvan energiantuotantoa reaaliaikaisesti pohjoisissa olosuhteissa.

TAULUKKO 4. Eräs arvio energiamuotojen osuuksista liikennemyymälän energiantuotannossa.

Energianlähde	Puu (lämpö, sähkö)	Aurinko (lämpö, sähkö)	Tuuli (sähkö)	Öljy (lämpö)
Osuus energiantuotannosta	n. 70 - 71 %	27 - 28 %	n. 0,1 %	1 - 3 %

Viitasaaren ABC-liikennemyymälä on osa yhteistyöhanketta, jossa osapuolina ovat toimineet Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian koulutus- ja tutkimusohjelma, alueellinen S-ryhmä, Viitasaaren kaupunki sekä kauppa- ja teollisuusministeriö. Viitasaaren ABC-liikennemyymälän rakennuskustannukset olivat yhteensä noin kuusi miljoonaa euroa, joista ympäristötekniset ratkaisut toivat lisäkustannuksia noin 5 %, yhteensä noin 254 000 euroa. Kauppa- ja teollisuusministeriö on rahoittanut uusiutuvaan energiaa tuottavia laitteita 81 550 eurolla. Loppuosan ovat kustantaneet Keskimaa Osk, Viitasaaren kaupunki ja Jyväskylän yliopisto.

## **5.1 Hankkeen kuvaus ja sisältö**

Viitasaaren UE-pilottiprojektin voidaan ajatella koostuvan kahdesta erillistä osasta 1) ABC-liikennemyymälän yhteyteen sijoitetuista erilaisista uusiutuvaa energiaa tuottavista laitteista sekä 2) monipuolisesta liikennemyymälän asiakkaille suunnatusta uusiutuvaa energiantuotantoa esittelevästä informaatiopisteestä.

### **5.1.1 Informaatiopiste**

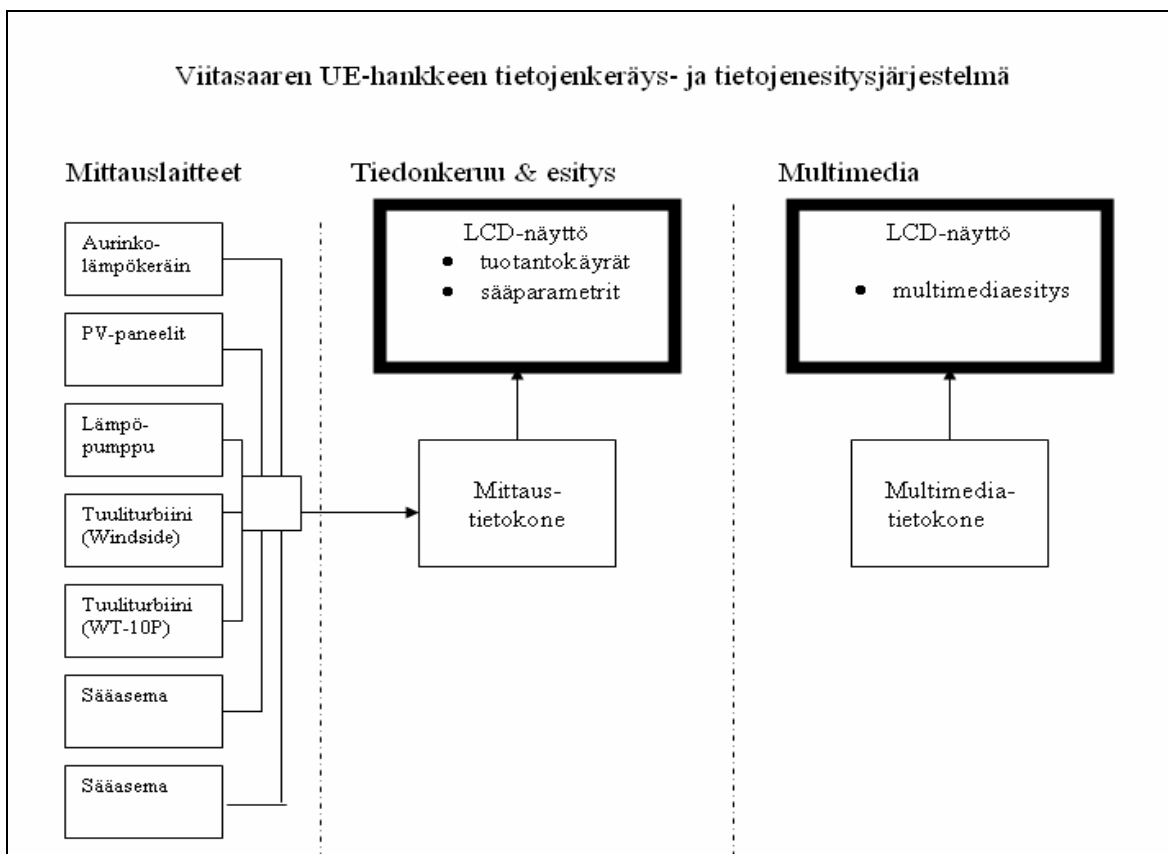
ABC-liikennemyymälän sisällä on asiakkaille suunnattu informaatiopiste, jossa esitellään uusiutuvaa energiantuotantoa. Informaatiopiste koostuu kahdesta suurikokoisesta näytöstä sekä kahdesta tietokoneesta. Toisella näytöllä esitetään multimediatietokoneen suorittamaa multimediaesitystä, jonka on toimittanut Done Information Oy (Kuva 27). Sillä esitetään asiakkaille liikennemyymälän uusiutuvaa energiaa tuottavia järjestelmiä sekä jaetaan myös yleisempää tietoa liikennemyymälän yhteydessä käytettävistä energiajärjestelmistä, kierrätyksestä sekä alaan liittyvistä globaaleista sekä EU:n kehitysnäkymistä. Multimediaesityksen tavoitteena on kuluttajien yleisen ympäristötietoisuuden kasvattaminen sekä ajatusten herättäminen siitä, miten omilla valinnoilla voidaan vaikuttaa ympäristöön sekä tulevaisuuden elinoloihin.





KUVA 27. Viitasaaren UE-pistein multimediaesityksen etusivu.

Toisella näytöllä esitellään mittaustietokoneella liikennemyymälän yhteydessä olevilta energiantuotantolaitteilta mitattuja tuotantotietoja sekä sääasemien ja pyrheleimetrin mittaamia paikallisia sääparametreja, jotka vaikuttavat merkittävästi liikennemyymälän energiantuotantoon. Kuvassa 28 on esitetty Viitasaaren UE-järjestelmän informaatiopisteen vuokaavio.



KUVA 28. Viitasaaren ABC-liikennemyymälän UE-järjestelmän informaatiopisteen vuokaavio.

Pro gradu -työhöni liittyi myös informaatiopisteessä sijaitsevan multimediaesityksen tekstisisällön laatiminen energiaratkaisujen osalta yhteistyössä pro gradu -työn ohjaajien kanssa. Infopisteessä olevien tietokojien alkuperäiset tekstit ovat tämän pro gradu -työn liitteinä. Näitä tekstejä on kuitenkin muokattu ja lyhennetty multimediaesityksen ulkoasuun sopivaksi sekä tuotantotietojen päivitysten yhteydessä.

### **5.1.2 Hankitut laitteet sekä niiden ominaisuudet**

Viitasaaren ABC-liikennemyymälän yhteyteen on hankittu erilaisia energiaa tuottavia laitteita, jotka liikennemyymälän uusiutuvan energiantuotannon lisäksi toimivat demonstraatioyksiköinä asiakkaille. Liikennemyymälän lämmitys tapahtuu lattialämmityksellä, johon lämpöä tuotetaan järvilämmöllä, aurinkolämpökeräimillä sekä kaukolämmöllä. Liikennemyymälän päälämmönlähteenä toimii Keiteleestä järvilämpöä hyödyntävä lämpöpumppu, jota voidaan kesällä käyttää myös jäähdytykseen. Lämmin käyttövesi tuotetaan osittain aurinkolämpökeräimillä, jotka on asennettu tankkauskatoksen päälle. Sähköä tuotetaan 10 kW:n tuuliturbiinilla sekä piiaurinkosähkökennoilla, joita on asennettu terassikahvilan katteeksi. Lisäksi rantaan on asennettu pieni pysty akselinen tuuliturbiini huvimajan sähköistykseen. Aseman suunnittelussa on myös varauduttu tulevaisuudessa biokaasutankkaukseen sekä puupellettien myyntiin.

Liikennemyymälän oman energiantuotannon lisäksi liikennemyymälälle toimitetaan verkkosähköä ja kaukolämpöä. Verkkosähkö on Jyväskylän Rauhalahden voimalaitoksessa keskisuomalaisesta metsähakkeesta valmistettua puusähköä, jonka vuotuiseksi kulutukseksi on arvioitu 930 MWh. Puuhakkeen poltto Rauhalahden CHP-voimalaitoksessa tapahtuu leijukerroskattilassa. Liikennemyymälän lämmityksessä käytetään Viitasaaren Lämpö Oy:n tuottamaa kaukolämpöä, joka on 95 %:sti tuotettu puuperäisestä polttoaineesta (jätepuu ja puu) arinapoltoilla ilman sähköntuotantoa. Kaukolämpöä käytetään talvisin, kun järvilämmön ja aurinkolämpökeräinten lämmöntuotto ei riitä tyydyttämään liikennemyymälän lämmitystarvetta. Kaukolämmön tarpeeksi on arvioitu noin 535 MWh vuodessa. Liikennemyymälän yhteyteen sijoitettavat laitteet ja niiden ominaisuudet on listattu taulukossa 5.

TAULUKKO 5. Viitasaaren ABC-liikennemyymälän yhteydessä sijaitsevat uusiutuvaa energiaa tuottavat laitteistot sekä niiden ominaisuudet.

Laite ja tyyppi	Ominaisuudet
Vaaka-akselinen tuuliturbiini: Windtower Deutschland WT 10P	Liikennemyymälän mainostornin päälle noin 30 m korkeuteen on asennettu vaaka-akselinen tuuliturbiini, jonka sähköntuotannon nimellisteho on 10 kW. Nimellisteho saavutetaan tuulen nopeudella 12 m/s. Tuotettu sähkö syötetään liikennemyymälän sähköverkkoon. Turbiinin tuotanto 17.12.2004 – 25.1.2005 välisenä aikana oli 360 kWh.
Pystyakselinen tuuliturbiini: WindSide WS-0,30C	Liikennemyymälän läheisyyteen 12 metrin korkuisen puupylvään päälle on asennettu suomalainen spiraalimainen tuuliturbiini. Turbiinin nimellisteho on 108 W, mikä saavutetaan tuulen nopeudella 15 m/s. Turbiinin arvioitu vuosituotto on 40 – 70 kWh. Tuotettu sähkö käytetään liikemyymälän huvimajan valaistukseen.
Aurinkolämpökeräinkenttä: Wagner Co. LB 7,6	Liikennemyymälän tankkauskatoksen päälle on asennettu viisi nestekiertoista Wagner Co. LB 7,6 aurinkokeräintä, joiden tehollinen kokonaispinta-ala on yhteensä 38 m <sup>2</sup> . Aurinkokeräinten keskimääräinen hyötysuhde on noin 40 %, piikkiteho 38 kW ja arvioitu vuosituotto noin 14,5 MWh lämpöenergiaa, joka käytetään liikennemyymälän käyttöveden lämmityksessä. Aurinkokeräinten asennuskulman (35°) vuoksi niiden tuotto painottuu kesään. Parhaan vuosituoton kannalta kallistuskulma tulisi olla Suomessa noin 45°.
Aurinkosähköpaneelisto: ASiTHRU - 30 – SG 154 kpl = 92,4 m <sup>2</sup>	Liikennemyymälän terassin kattoeseen on integroitu 154 kappaletta (92,4 m <sup>2</sup> ) ohutkalvotekniikkaan perustuvaa pii-aurinkosähkökennostoa, jonka nimellisteho on noin 4,1 kW <sub>p</sub> ja arvioitu vuosituotto on 3,0 MWh. Aurinkosähkökennoston tuottama 12 voltin tasavirta muutetaan vaihtosuuntaajalla 230 voltin vaihtovirraksi, joka syötetään liikennemyymälän sähköverkkoon.

TAULUKKO 5. Jatkuu.

<p>Järvilämpöä hyödyntävä lämpöpumppu: Carrier 30RW 300</p>	<p>Liikennemyymälän lämpö tuotetaan pääasiassa järvilämpöjärjestelmällä, joka on mitoitettu tuottamaan lämpöä 290 kW. Riittävän lämpömäärän saamiseksi Keiteleen pohjaan 2 – 7 metrin syvyyteen on asennettu 7 500 metriä muovista lämmönkeräysputkea (25 kappaletta 300 metrin pituista lenkkiä), jonka ulkohalkaisija on 50 millimetriä. Liikennemyymälällä käytettävän lämpöpumpun lämpökertoimeksi on alustavissa koeajoissa saatu 2,0. Kesällä järjestelmää voidaan käyttää jäähdytykseen.</p>
---	---

Taulukossa 5. mainittujen energiantuotantolaitteiden lisäksi liikennemyymälän yhteyteen on asennettu Davis Wireless Vantage Pro Plus® ja Davis Weather Monitor II sääasemat, joiden avulla kerätään noin kolmekymmentä erilaista mittaustulosta energiantuotantoon vaikuttavista sääparametreista (mm. tuulen nopeus ja suunta, lämpötila, kosteus, ilmanpaine) sekä pyrheliometri (Kipp & Zonen CH1), jolla mitataan auringon suoraa säteilytehoa.

## 5.2 Selvitys Viitasaaren UE -hankkeen tietojenkeräysjärjestelmästä

Erilaisten energiantuotantolaitteistojen tuotannon, käytettävyyden, taloudellisuuden ym. tekijöiden tutkimiseksi on välttämätöntä seurata laitteistojen toimintaa ja siihen vaikuttavia tekijöitä kuten esimerkiksi sääparametreja. Tehtävän suorittamiseksi käytetään tietojenkeräysjärjestelmiä, joilla voidaan mitata haluttuja suureita sekä tallentaa mittaustulokset myöhempää käyttöä varten. Automaattisen toiminnan mahdollistavien ominaisuuksien, suurten tietomäärien käsittelemiseksi sekä muun käytettävyyden vuoksi tietojenkeräysjärjestelmät ovat nykyaikana useimmiten tietokonepohjaisia järjestelmiä. Useimmiten UE-järjestelmissä käytettävät tietojenkeräysjärjestelmät sisältävät laitteistot, joilla voidaan haluttujen suureiden mittaamisen lisäksi myös tallentaa, analysoida sekä esittää (kuvaajat ym.) mittaustuloksia.

Myös Viitasaaren UE-kohteessa halutaan tutkia liikennemyymälän yhteydessä olevien UE-laitteiden toimintaa sekä esittää informaatiopisteessä havainnollistavia mittaustuloksi ja kuvaajia liikennemyymälän asiakkaille. Tehtävää varten tarvitaan siis

tietojenkeräysjärjestelmä, jolla mittaustulokset saadaan kerättyä tietokoneelle jatkotoimintoja varten.

### **5.2.1 Viitasaaren UE -hanketta edeltävä tilanne**

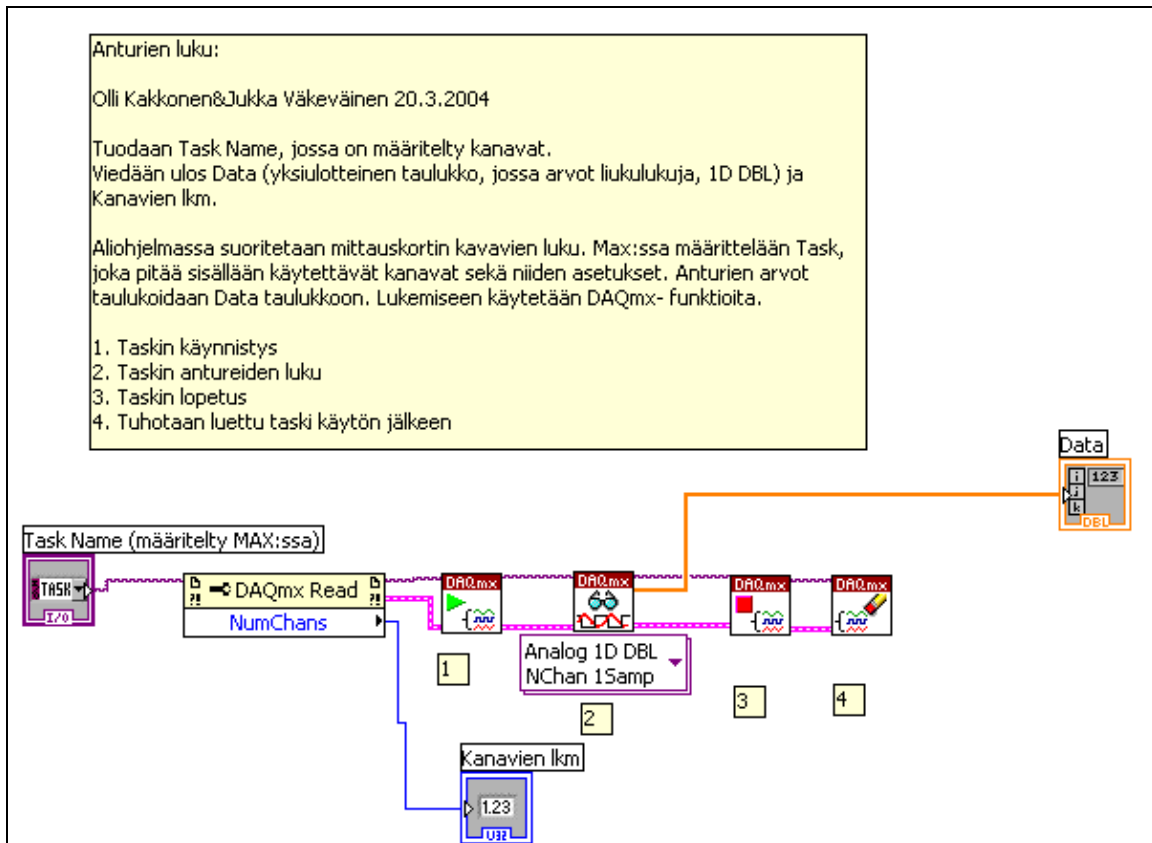
Jo ennen varsinaista Viitasaaren UE-hanketta tietokoneella suoritettavaa tietojenkeräysjärjestelmää alettiin suunnitella Vaajakoskella sijaitsevaan Jyväskylän yliopiston uusiutuvan energian tutkimuslaboratorion käyttöön. Vaajakosken tietojenkeräyksen toteutuksesta tehtiin opiskelijatyönä tietotekniikan cum laude -ohjelmointityö, joka koostui kahdesta eri osasta (Kakkonen & Väkeväinen 2003, 2004):

i) Ensimmäinen osa koostui esiselvityksestä, jossa kartoitettiin Vaajakosken laboratorion tiedonkeräysjärjestelmän toteutusvaihtoehtoja mm. tutkimalla erilaisten sovellustyökalujen soveltuvuutta kyseisen järjestelmän toteuttamiseksi ja niiden hintoja. Tämän lisäksi selvitettiin mahdollisuuksia muokata erilaista jo olemassa olevista sovelluksista tarkoitukseen sopiva ohjelmisto (Kakkonen & Väkeväinen 2003).

ii) Toinen osio koostui ohjelmointityöstä, jossa oli tarkoitus ohjelmoida tietojenkeräysjärjestelmä laboratorion tarpeisiin. Tätä varten uusiutuvan energian tutkimus- ja koulutusohjelman johtoryhmä päätti hankkia National Instrumentsin LabVIEW 7 -ohjelmiston, joka on sovellustyökalu laboratorio- ja teollisuussovellusten rakentamiseen. Ohjelmisto tarjoaa sovellusten kehittämiseen valmiin ja monipuolisen komponenttikirjaston, graafisen ohjelmointiympäristön sekä graafisen käyttöliittymän.

Ohjelmointityönä rakennetun sovelluksen tarkoituksena oli kerätä tietoa eri laitteilta, analysoida sekä esittää ja/tai julkaista kerätyt tiedot. Ohjelmoinnin ideana oli tehdä yleiskäyttöisistä aliohjelmista tietojenkeräysjärjestelmä yksinkertaista mittaussovellusta varten, joka olisi helposti muunnettavissa samanlaisia käyttötarkoituksia kuten Viitasaaren UE-hanketta ajatellen. Mittaussovellukselta vaadittuja ominaisuuksia olivat tietojenkeräys useilta antureilta, mittaustietojen käsittely sekä kalibrointi, tallennus tiedostoon ja tietojen graafinen ja numeerinen esitys näytöllä. Lisäksi tiedostoon tallennuksen haluttiin tapahtuvan käyttäjän määrittelemien aikavälein, joita mahdollisesti olisi useampiakin. Jälkikäteen tavoitteeksi lisättiin myös sarjaporttiliikenteen kautta tulevan tiedon kerääminen ja käsittely (Kakkonen & Väkeväinen 2004).

Toteutettu mittausjärjestelmä koostuu antureiden liitäntälaatikosta, tietokoneella sijaitsevasta mittauskortista, Measurement & Automation -ohjelmasta, jolla määritellään mittauskortin asetuksia sekä LabVIEW-sovelluksella tehdystä mittausohjelmasta. Mittausohjelmistoon on toteutettu yleiskäyttöiset aliohjelmat annettujen vaatimusten mukaisesti. Aliohjelmat toteuttavat niille asetetut vaatimukset melko hyvin ja ovat uudelleen käytettävissä. Kuvassa 29 on esitetty eräs ohjelmointityönä tehdyistä aliohjelmissa (Kakkonen & Väkeväinen 2004).



KUVA 29. Esimerkkialiohjelma cum laude -ohjelmointityönä LabVIEW-ohjelmistolla tehdystä tietojenkeräysohjelmistosta (Kakkonen & Väkeväinen 2004).

### 5.2.2 Tietojenkeräysjärjestelmän rakenne ja toteutus

Viitasaaren UE-hankkeen alkuvaiheessa ei ollut vielä tarkkaa tietoa hankittavista laitteista tai niiden ominaisuuksista, joten tietojenkeräysjärjestelmän suunnittelu perustui siihen näkökulmaan, että mittaukset saatetaan suorittaa omalla tietojenkeräysjärjestelmällä. Tällöin tietojenkeräys olisi voitu toteuttaa käyttämällä cum laude -ohjelmointityönä tehtyjä aliohjelmiä. Projektin edetessä kävi kuitenkin ilmi, että vaaka-akselista tuuliturbiinia ja pyrheliometriä lukuun ottamatta hankitut järjestelmät sisältävät itsessään mittaustietoja tallentavat järjestelmät, jolloin niihin ei tarvitse tehdä erillistä tietojenkeräysohjelmaa. Useimmat järjestelmät sisältävät myös visualisoinnin ja ohjauksen hoitavan ohjelmiston.

Viitasaaren UE-kohteeseen hankittujen järjestelmien tietojenkeräysmenetelmät käsitellään tarkemmin luvussa 5.2.2.1.

Liikennemyymälän infopisteen tietojenkeräysjärjestelmä halutaan kuitenkin toteuttaa siten, että erillisten järjestelmien keräämät tiedot kootaan keskitetysti yhteen tietokantaan, jolloin myös mittaustulosten esitys voidaan tehdä keskitetysti. Tehtäväksi muodostuu siis erillisten järjestelmien tietojenkeräysyksiköiden tallentamien mittaustietojen lataaminen tietojenkeräysyksiköiden omista muisteista mittaustietokoneelle tehtävään valittuun MySQL-tietokantaan. Kuvaajien tai muiden esitysten toteutusmenetelmiä ei ollut vielä päätetty tämän pro gradu -työn tekohetkellä.

### **5.2.2.1 Hankittujen UE-laitteiden sisältämät omat tietojenkeräysjärjestelmät**

*Aurinkosähköjärjestelmään* on hankittu Fronius International GmbH:n DatCom-järjestelmä, joka toimii itsenäisenä tiedonkeräys- sekä tiedonvisualisointijärjestelmänä. Järjestelmä sisältää FRONIUS IG 15 ja FRONIUS IG 20 PV-vaihtosuuntaajat, niiden mittaustietoja keräävän tietojenkeräysyksikön sekä FRONIUS IG.access -ohjelmiston. FRONIUS IG.access -ohjelmisto toimii rajapintana tietokoneen ja tietojenkeräysyksikön välillä, ja sillä pystytään mm. ohjaamaan tietojenkeräysyksikköä sekä tekemään tiedoista erilaisia esityksiä. Tietojenkeräysyksikkö tallentaa kaikkien vaihtosuuntaajien keräämät tiedot halutuina väliajoin (5 – 30 minuuttia). Tietojenkeräysyksikön muistin on riippuvainen vaihtosuuntaajien lukumäärästä sekä tallennustiheydestä. Yhdeltä vaihtosuuntaajalta tietojenkeräysyksikön muisti riittää kolmeksi vuodeksi. Kun muisti on täynnä, vanhin tieto pyyhkiytyy pois sitä mukaan, kun uutta mittaustietoa tulee tilalle. Tietojenkeräysyksiköltä tiedot voidaan ladata tietokoneelle automaattisesti haluttuina viikonpäivinä tiettyyn aikaan. Lataaminen voidaan suorittaa haluttaessa myös manuaalisesti. Ladatut mittaustiedot tallentuvat FRONIUS IG.access -ohjelmiston omaan tietokantaan, josta aineistoa voidaan käsitellä, esittää ja arkistoida. Viitasaaren infopisteen esitysten kannalta ongelmana on, että kerätyt mittaustiedot tallennetaan omaan tietokantaan, jota ei voida käsitellä tavanomaisilla tekstieditoreilla. Kerätyt mittaustiedot voidaan viedä toisiin sovelluksiin ns. csv-muodossa, joita tukevat yleisimmät taulukkolaskentaohjelmistot sekä MySQL-tietokanta, mutta toimintoa ei voida kuitenkaan suorittaa automaattisesti.

*Aurinkolämpökeräinten* yhteyteen on hankittu Elektronische Regelungen GmbH:n toimittama tietojenkeräysyksikkö RESOL, joka tallentaa mittaustiedot halutuista kohteista. Saatavilla on siihen liittyvä ilmainen RESOLServiceCenter-ohjausohjelmisto (RSC), jolla

kerätyt mittaustiedot saadaan tallennettua halutuun väliajain tietokoneelle. Tallennuksen tiedostomuodoksi voidaan valita:

- i) ”Raakadatatiedosto”, missä tiedostoon tallennetaan kaikki mittaustiedot sellaisenaan ilman virhetarkastelua.
- ii) ”Raporttimuoto”, missä kaikki tiedot tallennetaan ajoittain.
- iii) ”Tekstitiedosto”, missä kaikki tiedot tallennetaan tiedostoon erotettuina tabulaattori-merkillä.
- iv) ”Valinnainen tekstitiedosto”, missä valitut tiedot tallennetaan tavanomaisen tekstitiedoston tapaan.

Saatavilla on myös maksullinen GetSolar-ohjelmisto, jolla tietojen visualisointi voidaan suorittaa. Jos sitä ei hankita ja kerätyistä tiedoista halutaan esittää kuvaajia ym. esityksiä, niin ne voidaan toteuttaa esim. Microsoft Excel- tai LabVIEW-ohjelmistolla. Tietojen tallentaminen infopisteen MySQL-tietokantaan onnistuu hyvin, koska RESOLServiceCenter-ohjelmalla pystytään tallentamaan mittaustiedot automaattisesti tekstitiedostoina. Kuvassa 30 on RESOL-järjestelmällä tallennettu esimerkkitiedosto.

Time	Temperature sensor 1 [ °C]			Temperature sensor 2 [ °C]				Temperature sensor 3 [ °C]			
12:00:57 AM	9	24.2	6.3	24	888.8	888.8	7.8	8.4	19.8	19.6	23.8
12:01:57 AM	9	24.3	6.3	24	888.8	888.8	7.7	7.2	19.8	19.6	23.8
12:02:57 AM	9	24.2	6.3	24	888.8	888.8	7.7	7	19.8	19.6	23.8
12:03:57 AM	8.9	24.2	6.2	24	888.8	888.8	7.8	8.8	19.8	19.6	23.8
12:04:57 AM	8.8	24.2	6.2	24	888.8	888.8	7.6	8.4	19.8	19.6	23.8
12:05:57 AM	8.8	24.2	6.2	24	888.8	888.8	7.6	6.7	19.8	19.6	23.7
12:06:57 AM	8.7	24.2	6.1	24	888.8	888.8	7.6	8.6	19.8	19.6	23.8
12:07:57 AM	8.7	24.2	6.1	24	888.8	888.8	7.5	7	19.8	19.6	23.7
12:08:57 AM	8.7	24.2	6	24	888.8	888.8	7.5	8.2	19.8	19.6	23.7
12:09:57 AM	8.6	24.1	6	23.9	888.8	888.8	7.4	7.5	19.7	19.5	23.7
12:10:57 AM	8.7	24.2	6.1	23.9	888.8	888.8	7.4	7.5	19.7	19.5	23.7
12:11:57 AM	8.6	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.4	6.7	19.8	19.5	23.7
12:12:57 AM	8.5	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.3	6.6	19.8	19.5	23.7
12:13:57 AM	8.4	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.3	6.5	19.7	19.5	23.7
12:14:57 AM	8.5	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.3	6.4	19.7	19.5	23.7
12:15:57 AM	8.4	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.2	8.2	19.7	19.5	23.7
12:16:57 AM	8.3	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.2	6.4	19.7	19.5	23.7
12:17:57 AM	8.3	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.2	7.6	19.7	19.5	23.7
12:18:57 AM	8.3	24.1	6.1	23.9	888.8	888.8	7.1	6.8	19.7	19.5	23.7
12:19:57 AM	8.2	24.1	6.2	23.9	888.8	888.8	7.1	7.3	19.7	19.5	23.7
12:20:57 AM	8.2	24.1	6.2	23.9	888.8	888.8	7.1	8	19.7	19.5	23.7
12:21:57 AM	8.2	24.1	6.2	23.9	888.8	888.8	7	6.9	19.7	19.5	23.7
12:22:57 AM	8.1	24.1	6.2	23.9	888.8	888.8	7	6.4	19.7	19.4	23.7
12:23:57 AM	8.1	24.1	6.2	23.9	888.8	888.8	7	7.5	19.7	19.4	23.7
12:24:57 AM	8.1	24.1	6.3	23.9	888.8	888.8	7	6	19.7	19.4	23.7
12:25:57 AM	8	24.1	6.3	23.9	888.8	888.8	6.9	7.4	19.7	19.4	23.7
12:26:57 AM	8	24.1	6.3	23.9	888.8	888.8	7	6.5	19.7	19.5	23.7
12:27:57 AM	8	24	6.3	23.8	888.8	888.8	6.8	5.9	19.6	19.5	23.7
12:28:57 AM	7.9	24.1	6.3	23.8	888.8	888.8	6.9	7.6	19.7	19.5	23.7

KUVA 30. Alkuosa laajasta aurinkokeräimen tietoja esittävästä tekstitiedostosta, joka on kerätty RESOL-järjestelmällä Vaajakosken tutkimuslaboratoriosta. Sarakkeet vasemmalta oikealle: keräysaika, keräimen lämpötila, varaajan alaosan lämpötila, ulkolämpötila, varaajan yläosan lämpötila, -, -, keräimeen menevän veden lämpötila, keräimestä palaavan veden lämpötila, varaajaan menevän veden lämpötila, varaajasta palaavan veden lämpötila ja patteriin menevän kiertoveden lämpötila. Kaikkien 44 anturin keräämät tiedot eivät mahtuneet kuvaan.



Järvilämpöä hyödyntävän *lämpöpumpun* tuottoa seurataan mittaamalla lämpöpumpun lämminvesivaraajalle menevän ja sieltä palaavan veden lämpötilaa. Kyseiseen tarkoitukseen käytetään samaa RESOL-tiedonkeräysjärjestelmää kuin aurinkolämpökeräimillä, joten tietojen tallentaminen infopisteen MySQL-tietokantaan hoidetaan myös samoin.

*Davis-sääasema* koostuu Wireless Vantage Pro Plus® -sääasemasta, DAVIS 6510c tietojenkeräysyksiköstä ja Weatherlink-ohjelmasta. Tietojenkeräysyksikön voi valita tallentamaan kerättyjä mittaustuloksia 1, 5, 10, 15, 30, 60 ja 120 minuutin välein. Tietojenkeräysyksikön kokonaiskapasiteetti on 2 560 arkistointitallennusta. Mittaustietojen lataus tietokoneelle sekä tietojenkeräysyksikön ohjaus suoritetaan Weatherlink-ohjelmistolla, jolla mittaustiedot voidaan ladata automaattisesti kerran tunnissa tai manuaalisesti aina kun halutaan. Ladatut mittaustiedot tallentuvat ohjelmiston omaan tietokantaan, mistä haluttuja tietoja voidaan viedä taulukkolaskentaohjelmiin, tietokantoihin sekä tekstinkäsittelyohjelmiin. Automaattinen tallennus voidaan tehdä myös paikalliselle verkkopalvelimelle, johon tallennettavan tiedoston muoto voidaan valita internet-asetusten avulla. Tiedoston tallennusmuodoksi voidaan valita tekstitiedosto (Kuva 31), joka mahdollistaa tietojen tallentamisen myös infopisteen MySQL-tietokantaan. Weatherlink-ohjelmalla voidaan myös mm. esittää kuvaajia arkistoiduista mittaustuloksista, näyttää reaaliaikaisia säätietoja sekä luoda halutuista tiedostoista tekstitiedostoja ja erilaisia raportteja muiden sovellusten käyttöön. Davis Weather Monitor II sääaseman tietojenkeräys tapahtuu samalla menetelmällä.

Date	Time	Temp Out	H1 Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed	Wind Dir
22.12.04	15:30	-0.4	-0.4	-0.5	87	-2.3	7.6	SSE
22.12.04	15:40	-0.5	-0.4	-0.5	87	-2.4	8.5	SSE
22.12.04	15:50	-0.4	-0.4	-0.4	87	-2.3	9.4	SSE
22.12.04	16:00	-0.5	-0.4	-0.5	87	-2.4	6.7	SSE
22.12.04	16:10	-0.5	-0.5	-0.5	87	-2.4	6.7	SSE
22.12.04	16:20	-0.5	-0.5	-0.5	87	-2.4	5.8	SSE
22.12.04	16:30	-0.5	-0.5	-0.5	87	-2.4	6.3	SSE
22.12.04	16:40	-0.5	-0.5	-0.5	89	-2.1	7.6	SE
22.12.04	16:50	-0.5	-0.5	-0.5	89	-2.1	8.0	SSE
22.12.04	17:00	-0.5	-0.5	-0.5	89	-2.1	7.6	SE
22.12.04	17:10	-0.4	-0.4	-0.4	88	-2.2	6.7	SSE
22.12.04	17:20	-0.4	-0.4	-0.4	88	-2.2	8.9	SSE
22.12.04	17:30	-0.3	-0.3	-0.4	88	-2.1	8.0	SSE
22.12.04	17:40	-0.4	-0.3	-0.4	88	-2.2	7.6	ESE
22.12.04	17:50	-0.4	-0.4	-0.4	89	-2.0	5.8	SE
22.12.04	18:00	-0.4	-0.4	-0.4	89	-2.0	8.0	SE
22.12.04	18:10	-0.3	-0.3	-0.3	87	-2.2	5.8	SSE
22.12.04	18:20	-0.3	-0.3	-0.3	87	-2.2	8.0	S
22.12.04	18:30	-0.3	-0.3	-0.3	87	-2.2	7.2	SE

KUVA 31. Osa Viitasaarelta joulukuussa 2004 Davis-sääasemalla mitatuista ja tekstitiedostoon tallennetuista sääparametreista. Sarakkeiden merkitys vasemmalta oikealle: päivämäärä, kellonaika, ulkolämpötila, mittausjakson korkein ulkolämpötila, mittausjakson matalin ulkolämpötila, ulkoilman kosteusprosentti, kastepiste, tuulen nopeus, tuulen suunta.

Pyrheliometrillä mitataan auringon suoraa säteilytehoa. Mittaustietojen välittämiseksi tietokoneelle ja edelleen tietokantaan tallennusta varten ei ole valmista menetelmää, vaan tehtävän suorittamiseksi ohjelmoidaan sovellus LabVIEW-ohjelmalla. Tämän pro gradu -työn tekohetkellä pyrheliometri oli vasta tilauksessa ja mittausohjelma vielä valmisteilla.

Tuuliturbiineilta mitataan niiden sähköntuotantomäärä [kWh]. *Vaaka-akseliselle* tuuliturbiinille on hankittu erillinen sähköntuottomittari, joka antaa tuotettua sähkömäärää kohden pulsseja (640 pulssia/kWh). Tiedon välittämiseksi tietokoneelle ja edelleen MySQL-tietokantaan tallennusta varten ei ole valmista menetelmää, vaan tehtävän suorittamiseksi ohjelmoidaan LabVIEW-sovellus. Tämän pro gradu -työn tekohetkellä ohjelma oli vielä valmisteilla. *Pystyakselisen* tuuliturbiinin tuoton mittaus tulee tapahtumaan tuuliturbiinin ohjausyksikön avulla, joka oli tämän pro gradu -työn tekohetkellä vasta tilattu Würth Oy:ltä. Tarkempaa tietoa tietojen tallentamisesta tietokoneelle ei siis ollut vielä saatavilla.

### 5.2.3 Yhteenveto

Viitasaaren UE-hankkeen tietojenkeräysjärjestelmän toteutus on päätetty suorittaa arkistoimalla erillisten järjestelmien omien tietojenkeräysyksiköiden tallentamat mittaustulokset keskitetyksi yhteiseen tietokantaan, josta myös esitys tapahtuu keskitetyksi. Taulukossa 6 on koottu yhteenveto käytettävistä laitteista, niiltä mitattavista suureista sekä niiden tietojenkeräysmenetelmistä.

TAULUKKO 6. Viitasaaren UE -projektissa käytettävät laitteet, mittauskohteet ja laitteiden tiedonkeruutarve.

UE -laite	Tyyppi	Mittauskohteet	Tietojenkeräys
Tuuliturbiini (pystyakselinen)	WindSide WS-0,30C	Sähköntuotto [kWh]	Hankittavassa ohjausyksikössä
Tuuliturbiini (vaaka-akselinen)	Windtower Deutschland WT 10 P	Sähköntuotto [kWh]	Sähköenergiamittari (640 pulssia/kWh) Itse rakennettu mittausohjelmisto (LabVIEW)
Sääasema	Davis Wireless Vantage Pro Plus®	Yhteensä n. 30, mm. lämpötila, tuulen nopeus ja suunta, ilmanpaine, sademäärä	Oma tietojenkeräys: Davis 6510c oma ohjelmisto: WeatherLink

TAULUKKO 6. Jatkuu.

Aurinkokeräinkenttä	Wagner Co. LB 7,6 5 kpl. Tehollinen pinta-ala 38 m <sup>2</sup> .	Veden lämpötila (menevä, tuleva), keräimen lämpötila, virtaus, varaajasta (menevä ja tuleva lämpötila sekä kerääjän lämpötila)	Oma tietojenkeräys: RESOL oma ohjelmisto: RESOLServiceCenter
Aurinkosähkökenno	ASiTHRU-30 - SG 154 kpl = 92,4 m <sup>2</sup>	Sähköntuotto [kWh]	Oma tietojenkeräys: FRONIUS IG 15 ja 20 oma ohjelmisto: FRONIUS IG.access
Pyrheliometri	Kipp & Zonen CH 1	Auringon suora säteilyteho	Itse rakennettu mittausohjelmisto (LabVIEW)
Lämpöpumppu (Järvilämpö)	Carrier 30 RW 300	Menevän ja palaavan veden lämpötilat	Oma tietojenkeräys: RESOL oma ohjelmisto: RESOLServiceCenter
Sääasema	Davis Weather Monitor II	mm. lämpötila, ilmanpaine, tuulen nopeus ja suunta, kosteus, kastepiste, minimi ja maksimit	Oma ohjelmisto: WeatherLink
Kaukolämpö	95 %:sesti puuta ja puujätettä, 5 % öljy	Lämmönkulutus	Toimittaja vastaa
Verkkosähkö	Puusähkö	Sähkönkulutus	Toimittaja vastaa

## 6 Työn ja tulosten tarkastelu

Tämä pro gradu -työn on tehty osana Viitasaarelle valmistunutta UE-pilottiprojektia, jonka tarkoituksena on edistää uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. Työn tarkoituksena oli selvittää pilottikohteeseen asennettujen laitteistojen tietojenkeräyksen toteuttamista sekä laatia liikennemyymälän UE-infopisteessä toimivaan multimediaesitykseen tekstisisällöt osioihin, jotka käsittelevät UE-projektissa tapahtuvaa uusiutuvaa energiantuotantoa (Liitteet 1 - 4).

### 6.1 Informaatiopiste

Viitasaaren ABC-liikennemyymälän uusiutuvaa energiaa esittelevän informaatiopisteen multimediaesityksen bioenergiaa, aurinkosähköä, aurinkolämpöä ja tuulivoimaa esittelevät osiot on laadittu kirjallisuusosioon pohjautuen osana tätä pro gradu -työtä. Työn tuloksena syntyneet tekstisisällöt pyrkivät antamaan tiivistetyn yleiskatsauksen liikennemyymälällä käytettävistä uusiutuvista energiamuodoista, niiden hyödyntämispotentiaaleista ja -tekniikoista sekä liikennemyymälällä tapahtuvasta energiantuotannosta ja -kulutuksesta.

Informaatiisivujen tarkoitus on antaa liikennemyymälän asiakkaille konkreettinen näkökulma uusiutuvasta energiasta ja sen käytön tärkeydestä, ja näin edistää UE-lähteiden tunnettavuutta ja käyttöönottoa. Laaditut tekstisisällöt antavat mielestäni tiivistetyn mutta kattavan yleiskatsauksen liikennemyymälällä käytettävistä energiantuotantomuodoista, joka yhdistettynä multimediasovelluksen visuaalisiin komponentteihin herättää huomiota ja mielenkiintoa käsiteltävää asiaa kohtaa. Näin saavutetaan UE-pilottiprojektille asetettujen tavoitteiden mukainen hyvä kokonaisuus, jolla edistetään uusiutuvia energianlähteitä.

Infosivuja koskevana jatkotoimenpiteenä olisi mielestäni harkittava tekstisisältöjen lyhentämistä entistä tiiviimpään muotoon, jolloin halutut pääkohdat tulisivat vielä paremmin esille. Nykyiset tekstisisällöt ovat suhteellisen pitkiä liikennemyymälällä nopeasti pistäytyville asiakkaille, jonka vuoksi osa energiamuodoista tai niiden tekstisisällöstä saattaa jäädä heiltä huomioimatta.

Yksityiskohtaisemman informaation antamiseksi asiakkaille multimediaesitykseen voitaisiin myös liittää ominaisuus, jolla halutut osiot yksityiskohtaisimmasta tai laajemmista infosivuista voitaisiin tulostaa tai lähettää sähköpostitse asiakkaille. Tällöin

heillä olisi tilaisuus tutustua asiaan paremmin ja yksityiskohtaisemmin. Lisäksi infosivuihin voitaisiin mielestäni liittää osio, jossa esiteltäisiin konkreettisesti uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja taloudellisuutta esimerkiksi omakotitalon energianlähteinä. Osiossa voitaisiin esimerkiksi vertailla eri energianlähteiden asennus- ja käyttökustannuksia ja niiden takaisinmaksuaikoja.

## 6.2 Tietojenkeräysjärjestelmä

Viitasaaren UE-pilottiprojektiin kuuluvien laitteiden tietojenkeräysjärjestelmän selvitystyö perustui pääosin laitevalmistajien tekemien käyttöohjeiden ja asennusmanuaalien tutkimiseen. Työn tuloksena selvisi, että hankituista järjestelmistä aurinkosähköjärjestelmä, aurinkolämpökeräinjärjestelmä ja molemmat sääasemat sisältävät oman tietojenkeräysyksikön sekä ohjelman, jolla mittaustiedot voidaan siirtää tietokoneelle esitystä ja arkistointia varten. Lisäksi järvilämpöjärjestelmän tietojenkeräys voidaan toteuttaa hyödyntämällä samoja tiedonkeräyskomponentteja kuin aurinkolämpökeräinjärjestelmässä. Pyrheliometrin ja vaaka-akselisen tuuliturbiinin tiedonkeruujärjestelmä voidaan toteuttaa suhteellisen helposti ohjelmoimalla niille LabVIEW-sovellus esimerkiksi muokkaamalla cum laude -ohjelmointityönä valmistuneita aliohjelmia. Pystyakseliselle tuuliturbiinille on tilattu tiedonkeräysjärjestelmä osaksi hankittavaa ohjausyksikköä.

Tiedonkeräysjärjestelmä on asennettujen järjestelmien osalta saatu toimimaan eräiden asennusviiveiden jälkeen hyvin. Kerätyt mittaustiedot tallentuvat halutuun väliajoin mittaustietokoneelle keskitetyksi arkistointipaikaksi valittuun MySQL-tietokantaan, jolloin tietojenkeräysjärjestelmä toteuttaa sille asetetun tehtävän. Poikkeuksena on aurinkosähköjärjestelmä, jonka ongelmana on, että sen tietojenkeräysjärjestelmän mittaustietoja ei saada tallennettua automaattisesti MySQL-tietokantaan, vaan mittaustulokset tallentuvat vain järjestelmän omaan tietokantaan. Aurinkosähköjärjestelmän mittaustietoja voidaan siis tutkia ja esittää esimerkiksi erilaisin kuvaajin, mutta arkistoinnin yhtenäisyyteen tämä aiheuttaa särön. Pyrheliometrille ja vaaka-akseliselle tuuliturbiinille rakenteilla olevissa LabVIEW-sovelluksissa tämänkaltaisia ongelmia ei ole luvassa, koska niiden mittaustiedot voidaan tallentaa tekstitiedostoina tietokantaan.

Tiedonkeräysjärjestelmän ja mittaustietojen esityksen kehittämiseksi tulisi mielestäni tehdä seuraavat jatkotoimenpiteet aikajärjestyksessä:

- i) Tiedonkeräyksen rakentaminen ja asentaminen valmiiksi puuttuvien osioiden osalta: pyrheliometrille ja vaaka-akseliselle tuuliturbiinille valmisteilla olevat LabVIEW-tietojenkeräyssovelluksella ohjelmoidaan valmiiksi. Pystyakselisen tuuliturbiinin tiedonkeräys asennetaan toimintaan.
- ii) Tiedonkeräysjärjestelmien keräämien mittaustietojen esitysten rakentaminen ja tulosten esittäminen: tehdään graafinen esitys kerätyistä mittaustiedoista.
- iii) Etäkäytön ja internet-palvelun rakentaminen: Rakennetaan kerättyjen mittaustietojen etäkäyttömahdollisuus, jolla voidaan seurata ja ladata mittaustietoja. Rakennetaan internet-palvelu, jossa säätiedot ja laitteiden tuotantotiedot on kaikkien nähtävillä internetin välityksellä.

UE-projektin alkuvaiheessa pohdittiin myös mahdollisuutta rakentaa tietojenkeräys kokonaan LabVIEW-sovelluksella. Käytännössä tämä olisi ollut mahdollista, mutta toteutus olisi vaatinut riittävästi aikaa ja osaavan henkilöstön. Laitevalmistajien tarjoamien valmiiden kokonaisuuksien eduksi voidaan laskea monivuotinen kokemus tehtävästä sekä valmistajien tarjoama tekninen tuki ongelmatilanteissa. Haittapuoleksi voidaan todeta järjestelmien kalleus ja joustamattomuus mahdollisesti haluttavien lisäominaisuuksien osalta.

### **6.3 Yhteenveto**

Viitasaaren UE-projektin merkitys uusiutuvan energiantuotannon markkinoinnissa on paikallisesti ja kansallisesti merkittävä ja suuntaa-antava. Vaikuttavaksi projektin tekee se, että merkittävän liikenneväylän vieressä sijaitseva fossiilisia liikennepolttoaineita myyvä ABC-liikennemyymälä esittelee ja hyödyntää uusiutuvia energianlähteitä varsin näyttävästi omassa toiminnassaan. Suomalaiset kuluttajat, jotka ovat havahtumassa tapahtuvan ilmastomuutoksen todellisuuteen ja muihin ympäristöongelmiin saavat erinomaista konkreettista esimerkkiä kestävästä kehityksen mukaisesta energiantuotannosta ja myönteistä vaikutusta myös omiin kulutustottumuksiinsa ja energiaa koskeviin valintoihinsa. Viitasaaren UE-projektin aikaansaamaa myönteistä mielikuvaa ja liikennemyymälällä tehtävien tutkimusten tuloksia voidaan tulevaisuudessa edelleen hyödyntää uusiutuvan energiantuotannon markkinoinnissa ja käytön lisäämisessä.

## LÄHTEET

ACIA 2004: Impacts of a Warming Arctic: Arctic Climate Impact Assessment. Cambridge University Press. <[www.acia.uaf.edu](http://www.acia.uaf.edu)>

Aitkien, D.W., Billman, L.L. & Bull, S.R. 2004: The climate stabilization challenge – Can renewable energy sources meet the target? - Renewable Energy World Vol. 6:56 - 69.

Aittomäki, A. 2001: Lämpöpumppulämmitys. Suomen lämpöpumppuyhdistys SULPU, Tampere. - 22 s.

Alakangas, E. 2000: Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. VTT Energia, Espoo. -172 s.

Aye L. & Charters W.W.S. 2003: Electrical and engine driven heat pumps for effective utilisation of renewable energy resources. – Applied Thermal Engineering 23: 1295-1300.

Benemann, J., Chehab, O. & Schaar-Gabriel, E. 2001: Building-integrated PV modules. - Sol. Energy Mater. Sol. Cells 67: 345-354.

BP 2004: BP Statistical Review of World Energy June 2004. - 44s. <<http://www.bp.com>>

Boeker, E. & van Grondelle, R. 1995: Environmental Physics. Wiley, Chichester. - 448 s.

Boyle, G. (toim.) 2004: Renewable Energy. Oxford University Press, Oxford. - 452 s.

Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N. & Bossanyi, E. 2001: Wind Energy Handbook. John Wiley & Sons, Chichester. - 617 s.

Clement, A., McCullen, P., Falcao, A., Fiorentino, F., Gardner, F., Hammarlund, K., Lemonis, G., Lewis, T., Nielsen, K., Petroncini, S., Pontes M-T., Schild, P., Sjöström, B-O., Sørensen, H.C. & Thorpe, T. 2002: Wave energy in Europe: current status and perspectives. – Renewable and Sustainable Energy Reviews 6: 405 – 431.

Duffie, J.A. & Beckman, W.A. 1991: Solar engineering of thermal processes. Wiley, New York. - 919 s.

DWIA 2004: Guided Tour on wind energy. Danish Wind Industry Association. <[www.windpower.org](http://www.windpower.org)> (15.7.2004)

EC 1997: Energy for the Future: Renewable Sources of Energy – White Paper for a Community Strategy and Action plan. European Commission, COM (97)599 (26.11.1997). - 55s.

EC 1999: Blue book on geothermal resources. European Commission, Luxembourg. - 527 s.

EC 2001: European transport policy for 2010: time to decide - White Paper for a Community Strategy and Action plan. European Commission, COM (2001)370 final (12.9.2001). – 124 s.

EC 2003: Directive 2003/30/EC of the European parliament and of the council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport. – 5 s.

EERE 1994: Cooling Your Home Naturally. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. DOE/CH10093-221 FS 186 October 1994.

EMV 2004: Sähkön hintavertailu. Energiamarkkinavirasto  
<[www.energiamarkkinavirasto.fi](http://www.energiamarkkinavirasto.fi)> (13.9.2004).

Erat, B., Erkkilä, V., Löfgren, T., Nyman, C., Peltola, S. & Suokivi, H. 2001: Aurinko-  
opas: aurinkoenergiaa rakennuksiin. Sarmela Oy, Rakennusalan Kustantajat RAK. - 219 s.

ETNWE 2002: Wave energy Utilization in Europe - Current Status and Perspectives.  
European Thematic Network on Wave Energy, Centre for Renewable Energy Sources  
(CRES), Pikermi, Kreikka. - 28 s. <[www.waveenergy.dk](http://www.waveenergy.dk)>

ETNWE 2003: WaveNet. Results from the work of the European Thematic Network on  
Wave Energy, E.E.S.D/ European Community. ERK5-CT-1999-20001 2000-2003. - 484 s.  
<[www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net)>

EWEA 2003: Wind Energy – The Facts. European Wind Energy Association. - 330s.  
<[www.ewea.org](http://www.ewea.org)>

EWEA 2004: European Installed Wind Capacity – End 2003. European Wind Energy  
Association. <[www.ewea.org](http://www.ewea.org)>

FIGARE 2002: Understanding the global systems - The Finnish perspective. Painosalama,  
Turku. - 232 s. <<http://figare.utu.fi/UGS/UGS.pdf>>

GP 2003: Solar Thermal Power 2020 - Exploiting the Heat from the Sun to Combat  
Climate Change. Greenpeace international, European Solar Thermal Power Industry  
Association. - 48 s. <[www.solarpaces.org/csp\\_docs.htm](http://www.solarpaces.org/csp_docs.htm)>

Harvey, L.D. 2002: Carbon Cycle. Teoksessa: Munn, T. (toim.): Encyclopedia of global  
environmental change. Vol. 2., Wiley, Chichester. ss. 97 – 106.

Heino, R. 2001: Ihminen lämmittää ilmastoa. - Tiede 3/2001, s. 22 - 27.

Helynen, S., Holttinen, H., Lund, P., Sipilä, K., Wolff, J. & Alakangas, E. 1999:  
Uusiutuvien energialähteiden taustaraportti. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia  
ja raportteja 24/1999. Edita, Helsinki. - 112 s.

Helynen, S., Sipilä, K., Peltola, E. & Holttinen, H. 2002: Uusiutuvat energianlähteet  
vuoteen 2030 Suomessa. VTT, Eduskunnan julkaisu 6/2002, Edita, Helsinki. - 51 s.

Hirvonen, J. 2002: Finland, a rapidly growing heat pump market. 7th International Energy  
Agency Heat Pump Conference 2002, Beijing, China, Finnish Heat Pump Association  
SULPU. <[www.ivtlampopumput.fi/eng.html](http://www.ivtlampopumput.fi/eng.html)> (15.9.2004)

Houghton, J. 1997: Global Warming: The Complete Briefing. Cambridge University Press,  
Port Chester, NY, USA. - 251 s.

HUT 2004: Miten aurinkokenno toimii? Helsinki University of technology.  
<[www.hut.fi/Units/AES/projects/renew/pv/pv-linkit.html](http://www.hut.fi/Units/AES/projects/renew/pv/pv-linkit.html)> (12.10.2004).



IEA 1998: Benign energy? The environmental implications of renewables. International Energy Agency, OECD/IEA. - 122 s. <[www.iea.org](http://www.iea.org)>

IEA 2000: Biogas Upgrading and Utilization. IEA Bioenergy, Task 24. – 20 s.  
< [www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf](http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf)>

IEA 2002: Closed Loop Ground-coupled Heat Pumps - Informative Fact Sheet.  
International Energy Agency Heat Pump Centre, HPC-IFS2, January 2002.  
<[www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)>

IEA 2003a: Renewables for power generation - Status & Prospects. International Energy Agency, OECD/IEA, Pariisi. - 189 s.

IEA 2003b: Renewables Information 2003. International Energy Agency Statistics, OECD/IEA. - 188s. <[www.iea.org](http://www.iea.org)>

IEA 2004a: Annual Report 2003. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. - 102 s. <[www.oja-services.nl/iea-pvps](http://www.oja-services.nl/iea-pvps)>

IEA 2004b: Basics of PV. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. <[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)> (15.10.2004)

IEA 2004c: Heat sources. International Energy Agency heat pump centre.  
<[www.heatpumpcentre.org](http://www.heatpumpcentre.org)> (3.11.2004)

IEA 2004d: International statistics. International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme. <[www.iea-pvps.org](http://www.iea-pvps.org)> (15.10.2004)

Ilmatieteen laitos 2004: Suomen tuulioloista.  
<[www.fmi.fi/tutkimus\\_yhteiskunta/yhteiskunta\\_9.html](http://www.fmi.fi/tutkimus_yhteiskunta/yhteiskunta_9.html)> (21.9.2004)

Ilmatieteen laitos 2005: Ilmakehä ABC.  
<<http://www.fmi.fi/abc/index.html?N=75#75>> (8.3.2005)

IPCC 2000: Special Report on Emission Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. - 570 s.

IPCC 2001a: Climate change 2001: The Scientific basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. - 881 s.

IPCC 2001b: Climate change 2001: Impacts, adaptation, and vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. - 1032 s.

IPCC 2001c: Climate change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. - 752 s.

- IPCC 2001d: Climate change 2001: Synthesis report: Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge. - 397s.
- ISES 2003: White Paper - Transitioning to a Renewable Energy Future. International Solar Energy Society. <www.ises.org>
- Jones, J. 2004: Onward and upward – Trends in BTM’s World Market Update. -Renewable Energy World Vol. 6:58 - 73.
- Juva, H. 1982: Maalämpö ja lämpöpumput. Rakennusalan kustannus, Talo ja Koti [11], Helsinki. - 95 s.
- Kakkonen, O. & Väkeväinen, J. 2003: Selvitys Vaajakosken UE-laboratorion tiedonkeruu- ja ohjauksjärjestelmästä. Tietotekniikan ohjelmointityön esiselvitys. – 23 s.
- Kakkonen, O. & Väkeväinen, J. 2004: Tietojenkeräysjärjestelmä uusiutuvan energian mittauslaitteille. Tietotekniikan ohjelmointityön työseloste. – 7 s.
- Kanninen, M. (toim.) 1992: Muuttuva ilmakehä. Ilmasto, luonto ja ihminen. Suomalainen Ilmakehänmuutosten Tutkimusohjelma (SILMU). VAPK-kustannus, Helsinki. - 163s.
- Kara, M., Hirvonen, R., Mattila, L., Viinikainen, S., Tuhkanen, S. & Lind, I. (toim.) 2002: Energy visions 2030 for Finland. 2. painos. VTT Energy, Edita, Helsinki. - 237 s.
- Kara, M., Mattila, L., Viinikainen, S., Wolff, J. & Lind, I. (toim.) 1999: Energia Suomessa - Tekniikka, talous ja ympäristövaikutukset. Edita, Helsinki. - 368 s.
- Karttunen, H., Koistinen, J., Saltikoff, E. & Manner, O. 1998: Ilmakehä ja sää. Ursan julkaisusarja 62. Helsingin tähtitieteellinen yhdistys Ursa. - 365s.
- Khartchenko, N.V. 1998: Advanced Energy Systems. Taylor & Francis, Washington (DC). - 285 s.
- Kristmannsdóttir, H. & Ármannsson, H. 2003: Environmental aspects of geothermal energy utilization. – Geothermics 32: 451 – 461.
- KTM 1999: Uusiutuvien energioiden edistämishjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriö, energiaosasto 4/1999, Edita, Helsinki. - 33s.
- Kuittinen, V., Huttunen M., J. & Leinonen S., 2003: Suomen Biokaasulaitosrekisteri VI. Tiedot vuodelta 2002. Biokaasukeskus ry. - 38 s.  
<www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus>
- Kuusisto, E. Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) 1996: Ilmastonmuutos ja Suomi. SILMU. Yliopistopaino, Helsinki. - 265s.
- Laakso, T. 2004: Tuulivoiman tuotantotilastot. Vuosiraportti 2003. Tutkimusselostus PRO2/5098/04. VTT Prosessit, Espoo. - 41s.  
<www.vtt.fi/pro/pro2/tuulitilastot/vuosi%202003.pdf>
- Lahdelma, R. & Ranne, A. 2000: Vesivoima Euroopassa: ympäristöluokituksen vaikutukset. VTT, Espoo. - 87 s.

- Lampinen, A. 2003: Jätteiden liikennekäyttöpotentiaali Suomessa. -Kuntatekniikka 1: 31 – 34.
- Lensu, T. & Alakangas, E. 2004: Small-scale electricity generation from renewable energy sources – A glance at selected technologies, their market potential and future prospects. OPET report 13, VTT Processes, Jyväskylä. – 127 s.
- Leppänen, J. 1996: Aurinkosähköä julkisivuihin. NEMO 2-tiedote 1/96, teknillinen korkeakoulu. <[www.hut.fi/Units/NEMO/Finnish/196.htm](http://www.hut.fi/Units/NEMO/Finnish/196.htm)>
- Little, A.D. 2001: Potential cost reduction in PV systems. UK Department of Trade and Industry 01/759. Energy Technology Support Unit (ETSU). - 125 s.
- Manwell, J. F., McGowan, J.G. & Rogers, A.L. 2002: Wind Energy Explained – Theory, Design and Application. John Wiley & Sons. - 577 s.
- Maycock, P. 2004: PV Market update. - Renewable Energy World Vol. 4: 86 – 101.
- Meteotest 2004: Maps of global horizontal radiation and temperature. <[http://www.meteotest.ch/en/mn\\_home](http://www.meteotest.ch/en/mn_home)> (27.9.2004)
- Mills, D. 2003: Advances in solar thermal electricity technology. - Solar Energy 76 19-31.
- NRCS 1999: Global Environmental Change: Research Pathways for the Next Decade. National Research Council Staff, National Academies Press, Washington (DC). - 621 s.
- OPEC 2004: Monthly Oil Market Report - July 2004. Organization of the Petroleum Exporting Countries. <[www.opec.org](http://www.opec.org)>
- Pahkala, K., Partala, A., Suokannas, A., Klemola, E., Kalliomäki, T., Kirkkari, A-M., Sahramaa, M., Isolahti, M., Lindh, T. & Flyktman, M. 2002: Ruokohelven viljely ja korjuu energian tuotantoa varten. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Jokioinen. - 20 s.
- Parikka, M. 2003: Global biomass fuel resources. - Biomass and Bioenergy 27: 613 – 620.
- Pelc, R. & Fujita, R.M. 2002: Renewable energy from the ocean. – Marine Policy 26: 471 – 479.
- Peuser, F. A., Remmers, K. & Schnauss, M. 2002: Solar thermal systems: successful planning and construction. Solarpraxis, James & James. - 364 s.
- Pontes, M.T. & Falcao, A. 2001: Ocean Energies: resources and utilisation. Proc. 18<sup>th</sup> World Energy Conference, Buenos Aires, Argentina, 21-25 October 2001 DS6 Research and Development and Information Technology, Paper 01-06-02. <[www.iea-oceans.org](http://www.iea-oceans.org)>
- Quaschnig, V. 2004: Solar thermal water heating. - Renewable Energy World 2: 95 - 99.
- Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. (toim.) 2002: Poltto ja palaminen. Teknillistieteelliset akatemiati, Helsinki. 2.painos. - 750s.
- Rannila 2004: Rannila Energiakatot, Mainoslehtinen. <[www.rannila.fi/pt-main2.html](http://www.rannila.fi/pt-main2.html)> (2.10.2004)

Rindell, R. 2004: Storming ahead – UK wind comes of age. - Renewable Energy World Vol. 6: 70 - 82.

Savolainen, I., Ohlström, M. & Kärkkäinen, A. (toim.) 2003: Ilmasto - Haaste teknologialle. Näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Tekes, Edita Prima Oy, Helsinki. - 208s.

Sawin, J. L. 2004: Mainstreaming renewable energy in the 21<sup>st</sup> century. - Renewable Energy World Vol. 4: 42 – 57.

SL 2003: Assessment of Parabolic Trough and Power Tower Solar Technology Cost and Performance Forecasts. Sargent & Lundy consulting Group.  
<[www.solarpaces.org/csp\\_docs.htm](http://www.solarpaces.org/csp_docs.htm)>

Slessor, M. & Lewis, C. 1979: Biological energy resources. Spon, Lontoo. - 192 s.

Solpros 2001: Aurinkoenergia Suomen olosuhteissa ja sen potentiaali ilmastonmuutoksen torjunnassa, projektin analyysiraportti. Tekes-projekti 594/480/00.  
<[www.kolumbus.fi/solpros](http://www.kolumbus.fi/solpros)>

STY 1999: Faktaa tuulivoimasta. Suomen tuulivoimayhdistys.  
<[www.tuulivoimayhdistys.fi](http://www.tuulivoimayhdistys.fi)>

Sukhatme, S.P. 2001: Solar Energy - Principles of Thermal Collection and Storage. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi. 2. painos. - 426 s.

SULPU 2004: Suomen lämpöpumppuyhdistyksen kotisivut. <[www.sulpu.fi](http://www.sulpu.fi)> (30.8.2004)

SWECLIM 1998: Klimatet i framtiden - Årsrapport 1998. Swedish Regional Climate Modelling Program. – 24 s.

Sørensen, B. 2000: Renewable energy – Its physics, engineering, environmental impacts, economics & planning. Academic Press, San Diego. 2. painos. - 912 s.

Tammelin, B. 1991: Suomen tuuliatlas. Ilmatieteen laitos, Helsinki. - 355s.

Thermia 2004: Miten lämpöpumppu oikeasti toimii? Thermia Oy.  
<[www.thermia.fi/default.asp?ownerid=1](http://www.thermia.fi/default.asp?ownerid=1)> (27.12.2004)

Thorpe, T. W. 1999: A Brief Review of Wave Energy. Energy Technology Support Unit (ETSU) Report R120. <[www.dti.gov.uk](http://www.dti.gov.uk)>

Tickell, J. & Tickell, K. 1999: From the Fryer to the Fuel Tank - The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel. GreenTeach Publishing, Sarasota. - 162 s.

Tilastokeskus 2005: Energiankulutus. Suomen tilastokeskus.  
<<http://tilastokeskus.fi/til/ekul/index.html>> (15.2.2005)

Tiwari, G.N. 2002: Solar energy – Fundamental, Design, Modelling and Applications. Centre for Energy studies Indian Institute of Technology, Delhi. – 525 s.

TUT 2004: Sähkövoimalaitostekniikka opus. Tampereen teknillinen yliopisto.  
<<http://leeh.ee.tut.fi/svtopus/>>

UNDP 2000a: Bioenergy primer - Modernised biomass energy for sustainable development. United Nations Development Programme. - 133 s. <[www.undp.org](http://www.undp.org)>

UNDP 2000b: World Energy Assessment - Energy and the challenge of sustainability. United Nations Development Programme, United Nations Department of Economic and Social Affairs & World Energy Council. United Nations Development Programme, New York. - 508s.

UNEP 2004: Vital Climate Graphics - Introduction to climate change. United Nations Environment Programme /GRID-Arendal. <[www.grida.no](http://www.grida.no)> (20.9.2004)

VTT 2004: Suomen tuulivoimatilastot.  
<<http://www.vtt.fi/pro/pro2/tuulitilastot/tuulitilastot.htm>> (15.1.2005)

WCRE 2004: Civilization at the Turning Point: A Breakthrough for Renewable Energy -The World Renewable Energy Agenda. World Council for Renewable Energy.  
<[www.wcre.org](http://www.wcre.org)>

WEC 1994: New Renewable Energy Resources: A Guide to the Future.  
World Energy Council, Kogan Page Limited, Lontoo. (viitattu: UNDP 2000b)

Weiss, W., Bergmann, I. & Faninger, G., 2004: Solar Heating Worldwide - Markets and contribution to the energy supply 2001. IEA- Solar Heating and Cooling Programme, Gleisdorf, Itävalta. <[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)>

Weiss, W. & Faninger, G. 2002: Collector Market in IEA-Member Countries 2000. IEA-Solar Heating and Cooling Programme, Gleisdorf, Itävalta. <[www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)>

WMO 2004: WMO WDCGG Data Summary. World Meteorological Organization World Data Centre for Greenhouse Gases, Volume IV-Greenhouse Gases and Other Atmospheric Gases WDCGG No. 28. - 98 s. <[www.wmo.ch](http://www.wmo.ch)>

Wood, E. 2004: Caught on the breeze – Canada's grand goals for wind development. - Renewable Energy World Vol. 6: 32 – 42.

YE 2004: Aurinkokeräin. Ympäristöenergian mainossivut.  
<[www.y-energia.com/Aurinkolampo/Aurinkokerain/aurinkokerain.html](http://www.y-energia.com/Aurinkolampo/Aurinkokerain/aurinkokerain.html)> (12.10.2004)

Zhang, W. 2004: Transportation fuels from biomass via gasification. 2<sup>nd</sup> World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. 10 – 14.5 2004, Rooma. – 4 s.

ÖKK 2004: Suomen kuluttajahintaseuranta. Öljy- ja kaasualan keskusliitto.  
<[www.oil-gas.fi](http://www.oil-gas.fi)> (13.9.2004)

# LIITTEET

## LIITE 1: Aurinkoenergia - Aurinkosähkö

- Nopeasti kasvava energiantuotantomuoto, vuonna 2003 PV-tuotanto kasvoi 744 MW
- Japani ja Eurooppa lisäsivät vuonna 2003 käyttöä yli 40 %:a.
- Käytettävissä myös siellä, missä verkkosähköä ei käytettävissä.
- Voidaan hyvin integroida myös rakenteisiin.
- Liikennemyymälän terassin katteena olevien aurinkosähkökennojen tuotantokapasiteetti 4 kW eli likimain 43 W/neliometri, sähkökennostot on integroitu kahvilan katteeseen (huono kulma), jonka vuoksi tuotto ei ole optimaalista.

### Yleistä

Aurinkosähkö on sähköenergiaa, jonka tuottamiseen on käytetty auringon säteilyenergiaa. Sitä voidaan tuottaa joko suoraan auringon valosta tai lämpövoimakoneiden avulla auringon säteilyn sisältämästä lämpöenergiasta. Eniten käytetty tekniikka aurinkosähkön tuottamiseen perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringon säteily muutetaan aurinkosähkökennoilla suoraan sähköksi. Valosähköisellä ilmiöllä tarkoitetaan auringon valon hiukasmaisten energiapakettien eli fotonien kykyä materiaaleihin osuessaan vapauttaa niissä elektroneja. Fotonien sisältämä energia on tällöin siirtynyt varauksenkuljettajille, jotka taas ovat vapaita liikkumaan materiaaleissa. Albert Einstein sai ilmiön selittämisestä Nobelin palkinnon vuonna 1921. Valosähköinen ilmiö toimii parhaiten metalleissa, joissa elektronien liikettä on kuitenkin vaikea saada yhdensuuntaiseksi eli sähkövirraksi. Tämän vuoksi pääosa aurinkokennoista on useimmiten piistä valmistettuja puolijohdekomponentteja, joissa vapautuneet elektronit saadaan liikkumaan yhdensuuntaisesti eli synnyttämään sähkövirran. Näiden fysikaalisten kennojen lisäksi on olemassa myös kemiallisia ja biologisia aurinkosähkökennoja.

Aurinkosähköä voidaan tuottaa myös auringon säteilemästä lämpöenergiasta. Näin tuotettua sähköä kutsutaan termiseksi aurinkosähköksi. Terminen aurinkosähkötekniikka voidaan jakaa korkean (300 – 2 000 °C) lämpötilan tekniikoihin sekä matalan (< 300 °C) lämpötilan tekniikoihin. Korkean lämpötilan tekniikoilla tarkoitetaan menetelmiä, joissa suora auringonsäteily kohdistetaan keskittävien aurinkokeräinten peileillä suurelta alueelta viivamaiselle tai pistemäiselle alueelle, jolloin saavutetaan suuri energiatiheys ja korkea lämpötila. Syntyneellä lämmöllä tuotetaan perinteisillä lämpövoimakoneilla joko sähköä tai mekaanista energiaa. Erilaisia termistä sähköä korkean lämpötilan tekniikoilla tuottavia laitoksia ovat mm. kouruvoimalat, paraboloidivoimalat ja aurinkotornit. Matalan lämpötilan tekniikoita ovat mm. aurinkopiiput ja aurinkolammet.

## Pii-aurinkosähkökennot

Pii-aurinkosähkökennot koostuvat kahdesta piistä valmistetuista puolijohdekomponentista, jotka eroavat hieman atomien varausjakauman perusteella toisistaan. Toinen niistä on valmistettu negatiiviseksi (n-tyyppiseksi) ja toinen positiiviseksi (p-tyyppiseksi) lisäämällä piin kidehilan seosatomia, esim. fosforia (P) ja booria (B), joilla on eri määrä elektroneja kuin piillä. Tämä pieni ero saa aikaan sen, että kun n- ja p-puolijohdemateriaalit tuodaan kosketuksiin keskenään, syntyy niiden rajapinnalle sähkökenttä ja varauksista vapaa alue. Fotonien ko. alueella irrottamat elektronit kulkevat kaikki samaan suuntaan. Kun yhdistetään niiden välille metallijohto, saadaan aikaan virtapiiri.

Aurinkosähkökennoilla voidaan tuottaa nykyaikaisesti ja vaivattomasti puhdasta sähköenergiaa erilaisten käyttökohteiden sähköistämiseksi. Sähköistämisen kohde voi olla sähköverkon ulottuvissa tai ulottumattomissa. Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkosähköpaneelistä, ohjausyksiköstä sekä sähköä varastoivista akuista. Piikennon koko ja sen tuottama jännite ovat pieniä, mutta kytkettäessä monta kennoa sarjaan ns. aurinkopaneeliksi muodostuu suurempi jännitetaso. Kytkemällä paneeleja rinnan ja sarjaan nk. paneelistoksi, saadaan toteutettua käyttökohteen vaatima jännitetaso ja teho muutamista wateista useisiin megawatteihin.

Liikennemyymälän terassin katteeseen on integroitu 154 kappaletta (92,4 m<sup>2</sup>) ohutkalvotekniikkaan perustuvaa pii-aurinkosähkökennostoa, jonka nimellisteho on noin 4,1 kW<sub>p</sub> ja arvioitu vuosituotto on 3,0 MWh. Aurinkosähkökennoston tuottama 12 voltin tasavirta muutetaan vaihtosuuntaajalla 230 voltin vaihtovirraksi, joka syötetään liikennemyymälän sähköverkkoon. Aurinkosähkökennojen valmistus ohutkalvotekniikalla tapahtuu kerrostamalla erittäin ohuita kennomateriaaleja lasille, teräkselle tai muoville. Sähköntuotannon lisäksi se osana katetta korvaa kattomateriaaleja.

## **Kemiallinen aurinkokenno – keinotekoinen fotosynteesi (mahdollisesti tulossa)**

Kemialliset aurinkokennot ovat laitteita, jotka muuttavat auringon sisältämää valoenergiaa suoraan sähköenergiaksi. Niiden toiminta perustuu valosähkökemialliseen ilmiöön, jossa auringon valon sisältämät hiukkasmaiset partikkelit saavat aikaan kennostossa sähkövirtaa tuottavan reaktion. Kemiallisten aurinkokennojen kehittäminen alkoi, kun haluttiin löytää korvaavia ratkaisuja tavanomaisille puolijohdekennoille, jotka olivat vaikeita ja kalliita valmistaa. Ensimmäisen hyvällä hyötysuhteella toimivan kemiallisen aurinkokennon esittelivät M. Grätzel ja B. O'Regan 1990-luvun alussa Sveitsissä. Heidän johtamansa ryhmän kehittämä kemiallinen aurinkokenno matkii luonnon kasvien yhteyttämistä hoitavia kloroplasteja.

Kemialliset aurinkokennot koostuvat kahdesta sähköä johtavasta lasista ja näiden välissä olevista nanokiteisestä ( $10^{-9}$  m) puolijohdeesta, väriaineesta ja nestemäisestä elektrolyytistä. Sähkövirran syntyminen kemiallisessa aurinkokennossa voidaan kuvata seuraavalla toimintaketjulla:

- 1) Nanokiteisen puolijohteen pinnalla kiinni oleva väriaine absorboi (vastaanottaa) valoa, jonka sisältämät fotonit virittävät molekyylin sellaiseen energiatilaan, josta elektronin siirtyminen nanokiteiselle puolijohdeelle on mahdollista.
- 2) Väriainemolekyyli hapettuu eli luovuttaa elektronin puolijohdeelle.
- 3) Elektroni kulkeutuu pitkin nanokiteistä puolijohdetta sähköä johtavalle lasilevyllä.
- 4) Väriaine saa takaisin elektronin elektrolyyttiliuoksesta, joka hapettuu.
- 5) Väriaineelle elektronin luovuttanut elektrolyyttiliuoksen molekyyli kulkeutuu vastaelektrodille ja saa elektronin takaisin siellä, jolloin ollaan alkutilanteessa ja tapahtumaketju voi alkaa alusta.

Kemialliset aurinkokennot tuottavat sähköenergiaa auringonvalosta jopa 10 % hyötysuhteella. Kemiallisten kennojen valmistus sekä raaka-ainemateriaalit ovat erittäin edullisia verrattuna perinteiseen puolijohdetekniikkaan. Lisäksi ne toimivat hyvin pilvisellä säällä. Niiden käyttö onkin lupaavaa maissa, joissa kirkasta auringonvaloa ei ole runsaasti saatavilla.



## LIITE 2: Aurinkoenergia – Aurinkolämpö

- Maapallolle säteilee tunnissa aurinkoenergiaa enemmän kuin ihmiskunta kuluttaa energiaa vuodessa.
- Euroopan komission ohjelman mukaan Euroopan alueella olisi vuoteen 2010 mennessä asennettuja aurinkolämpökeräimiä 100 milj. m<sup>2</sup>.
- Aurinkokeräintekniikan hyödyntämisen johtavia alueita ovat Eurooppa (11,2 milj. m<sup>2</sup>), Kiina (32 milj. m<sup>2</sup>), Japani (12,1 milj. m<sup>2</sup>). Saksassa on 55 % Euroopan aurinkolämpökeräimistä.
- Vuoteen 2001 mennessä 26 maahan asennetut aurinkolämpökeräimet tuottivat lämpöä 42 TWh vastaten säästettyä 6,7 mrd. litraa öljyä ja 18,2 milj. tonnia CO<sub>2</sub>-päästöjä vuosittain.
- Tasokeräinten vuosituotto Suomessa 250 – 350 kWh/m<sup>2</sup>

### Yleistä

Aurinkoenergiaa pidetään yhtenä tulevaisuuden merkittävimmistä energianlähteistä, jota on hyödynnetty jo kauan moniin eri käyttötarkoituksiin ja -kohteisiin. Aurinko - aurinkoenergian lähde - on kuuma, kaasumainen 1,39 miljoonaa kilometriä halkaisijaltaan oleva ”pallo”, jonka keskietäisyys maasta on noin 150 miljoonaa kilometriä. Auringossa tapahtuvassa ydinfuusiossa syntyy valtava määrä energiaa vety-ydinten fuusioituessa heliumiksi, jonka seurauksena auringon avaruuteen säteilemä teho on noin  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW. Tästä maapallon ulkolaidalle tuleva säteilyteho on  $1,7 \cdot 10^{14}$  kW eli 1 367 W/m<sup>2</sup>. Maapallon pinnalla keskimääräinen säteilyintensiteetti on 240 W/m<sup>2</sup>.

Maapallolle tulevaa auringon energiaa voidaan hyödyntää aktiivisesti ja/tai passiivisesti lämpöenergiana. Passiivisessa aurinkoenergian hyödyntämisessä saadaan ilman erillistä lisäenergiaa auringon valo ja sen tuottama lämpö käyttöön. Passiivisen aurinkoenergian käyttökohteita ovat mm. rakennusten lämmityksen, viilennyksen, ilmastoinnin ja valaistuksen parantaminen. Lisäksi sitä käytetään ruuan valmistamisessa keittämiseen ja jäädyttämiseen sekä veden puhdistamiseen. Passiivisen aurinkoenergian hyödyntämiseen perustuvat mm. Trombe-seinä, aurinkokuivurit ja aurinkokeittimet.

Aktiivisessa aurinkolämmön hyödyntämisessä käytetään yleensä apuna ulkoista pumppausenergiaa, jolla lämpöenergiaa siirretään. Aktiivisen aurinkoenergian käyttökohteita ovat mm. rakennusten lämmitys, viilennys ja kosteus tai kosteuden poisto. Lisäksi sitä käytetään ruuan kuivatukseen, lämmitykseen ja viilennykseen sekä veden puhdistukseen, pumppaukseen ja sterilointiin. Aktiivista aurinkolämmityksessä käytettäviä laitteita ovat mm. aurinkokeräimet, aurinkolammet ja lämpöpumput. Lisäksi keskittävillä

aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan erittäin korkeita lämpötiloja, joita voidaan hyödyntää kuuman veden tuotantoon teollisuusprosesseja tai sähköntuotantoa varten.

## **Passiivinen aurinkoenergia**

Rakennusten passiivisella aurinkoenergian hyödyntämisellä tarkoitetaan ilman lisälaitteita tapahtuvaa rakennusten lämmityksen, jäähdytyksen ja valaistuksen parantamista hyvän suunnittelun, toteutuksen ja materiaalien valinnan avulla. Asuntojen passiivisella lämmityksellä pyritään maksimoimaan sisään tulevan ja minimoimaan poistuvan auringon lämpösäteilyn määrä. Hyvin sijoitetun ja rakennetun talon lämmityskustannuksista jopa 70 % pystytään tyydyttämään passiivisella aurinkolämmöllä. Passiivisella jäähdytyksellä pyritään estämään liiallisen lämpösäteilyn pääsy rakennuksiin kesäisin ja luonnonvalon käytöllä pystytään puolestaan vähentämään tarvetta lisävalaistukseen.

Seuraavassa on listattu rakennusten passiivisen aurinkoenergian käytön tunnusmerkkejä:

- Rakennuksen sijoitus: rakennusten pitkä sivu etelään, sijoitus etelärinteelle tai tasaiselle, tuulensuojat, ei esteitä etelään
- Rakennusten väri: tumma väri, joka absorboi mahdollisimman suuren osan valosta (vrt. vaalea väri lämpimissä maissa, koska se heijastaa mahdollisimman tehokkaasti valoa ja toimii viilentäjänä)
- Ikkunapinta-alan suuntaus: paljon lasipintaa etelään ja mahdollisimman vähän pohjoiseen
- Mahdollisimman hyvä eristys: seinät, katto, pohja ja lasit
- Luonnonvalon käytön maksimointi: ikkunat, heijastavat rakenteet
- Lämpöä varaavien massojen käyttö: paljon termistä massaa, joka vuorokausivarastoi lämpöä
- Viherhuoneiden ja lasitettujen parvekkeiden käyttö
- Tilojen ryhmittely lämpövyöhykkeiden mukaan: Eniten lämmitystä vaativien tilojen sijoitus asunnon keskelle
- Passiivinen viilennys kesällä estää liiallisen lämpösäteilyn pääsyn rakennuksiin: lehtipuusto, sädekaihtimet, varjostimet, passiivinen ilmanvaihto, räystäsrakenteet ym.

## Järvilämpö

Järvilämmöllä tarkoitetaan veteen varastoitunutta auringon lämpöenergiaa, jota voidaan lämpöpumppujen avulla hyödyntää huoneistojen lämmityksessä koko vuoden ajan. Veteen varastoitunut lämpö siirtyy johtumalla vesistön pohjaan asennettuun lämmönkeräysputkistoon, jossa kiertävä neste välittää sen edelleen lämpöpumpulle ja tämän kautta huoneistojen vesikiertoiseen lämmitysjärjestelmään. Näin vesistöstä vuodessa saatava energiamäärä on 70 - 80 kWh/metri putkea. Kokemusten mukaan lämmönlähteiksi soveltuvat parhaiten järvet, jotka ovat jo rannan lähellä vähintään kaksi metriä syviä. Viitasaaren ABC-liikennemyymälän järvilämpöjärjestelmä on mitoitettu tuottamaan lämpöä 290 kW, joka käytetään liikennemyymälän lämmityksessä. Riittävän lämpömäärän saamiseksi järven pohjaan 2 – 7 metrin syvyyteen on asennettu 7 500 metriä muovista lämmönkeräysputkistoa (25 kappaletta 300 metrin pituista lenkkiä), jonka ulkohalkaisija on 50 millimetriä.

Lämpöpumpun käyttö lämmityksessä perustuu sen kykyyn siirtää lämpöenergiaa matalammasta lämpötilasta korkeampaan. Toimintaperiaate on täsmälleen sama kuin jääkaapissa, jossa lämpöä siirretään kylmästä sisätilasta lämpimään ulkotilaan. Lämpöpumpun käyttö järvilämmölle on mahdollista, kun sekä lämpöä kylmästä järvestä otettaessa että huoneistojen lämmitysjärjestelmään siirrettäessä lämmön annetaan johtua lämpimämmästä kylmempään. Siis kylmän pään lämmönvaihtimessa kylmäaineen on oltava järvivettä kylmempää ja lämpimän pään lämmönvaihtimessa patterivettä lämpimämpää. Kylmäaineen lämpötilan nostaminen järven ja huoneiston välillä tapahtuu kompressorin avulla eli nostamalla kylmäaineena olevan kaasun painetta männällä puristamalla.

Lämmön johtumisen maksimoimiseksi lämpöpumpussa kiertävä kylmäaine ja paine valitaan siten, että kylmän pään lämmönvaihtimessa eli höyrystimessä tapahtuu höyrystyminen nesteestä kaasuksi ja lämpimän pään lämmönvaihtimessa eli lauhduttimessa tiivistyminen kaasusta nesteeksi. Olomuodon muutokset nimittäin sitovat tai vapauttavat erittäin paljon lämpöä. Lämpöpumpun tuottoa kuvataan lämpökertoimella, joka kuvaa paljonko lämpöpumput tuottavat lämpöä kuluttamaansa lisäenergiaa kohti. Tavallisesti lämpöpumppujen lämpökertoimet ovat noin 2,5 - 4,8. Lämpöä saadaan siis 2,5 – 4,8-kertainen määrä kompressorissa kulutettua sähkömäärää kohden ja loppu on aurinkoenergiaa. Viitasaaren ABC-liikennemyymälällä käytetään Carrier 30RW 300 lämpöpumppua, jonka alustavaksi lämpökertoimeksi on koeajossa saatu 2,0.

## Aurinkokeräimet (tasokeräimet)

Aurinkokeräimet ovat laitteita, joilla voidaan hyödyntää auringon säteilemää lämpöenergiaa mm. rakennusten lämmityksessä. Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu aurinkokeräimistä, putkistosta, lämmönvaraajasta, lämmönsiirtoaineesta, lämmönvaihtimesta, säätölaitteista ja pumppuyksiköstä. Yleisimmin käytetty aurinkokeräintyyppi on tasokeräin, joita käytetään käyttöveden (60 – 80 °C) tai huoneistojen (30 - 60 °C) lämmittämisessä. Tasokeräimet vastaanottavat auringon säteilemää energiaa, jolloin keräimen putkistossa oleva nestemäinen tai kaasumainen lämmönsiirtoaine lämpenee. Kierrätettävän nesteen tai kaasun mukana lämpö kulkeutuu edelleen lämmönvaihtimelle ja lämminvesivaraajaan, josta lämpö hyödynnetään nestekiertoisessa lämmityksessä.

Tavallisimmin tasokeräin koostuu säteilyä vastaanottavasta mustasta metalliabsorbaattorista, putkista, lämpöeristyksestä, lasista sekä kehyksestä. Absorbaattori on väriltään musta, koska musta väri absorboi parhaiten saapuvaa auringonsäteilyä. Keräimen päällä käytetään puolestaan lasia, koska se estää lämpimän ilman karkaamisen ja kasvihuoneilmiön avulla lämpösäteilyn poistumista. Näin mahdollisimman paljon tulevasta auringonsäteilystä saadaan hyödynnettyä.

Aurinkokeräinten suuntaus ja asennuskulma ovat oleellisia toiminnan ja tuoton kannalta. Aurinkokeräin kannattaa suunnata kohti etelää, jolloin mahdollisimman suuri määrä auringonsäteilyä pääsee aurinkokeräimelle päivän aikana. Tuottoon vaikuttavista tekijöistä merkittävimpiä ovat aurinkokeräijän suuntaus ja kaltevuus, katteen ominaisuudet (lämmöneristys ja tiiviys), absorptio- ja lämmönsiirtokyky, käyttölämpötila, lämmönsiirtoaineen ominaisuudet sekä ulkolämpötila ja tuulisuus. Usein keräin asennetaan katon suuntaisesti, jolloin käyttö on edullisempaa ja esteettisempää kuin keräintelineiden ja tukirakenteiden kanssa. Myös integrointi osaksi rakenteita on mahdollista.

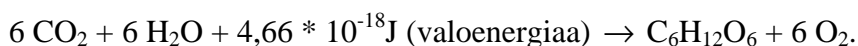
Viitasaaren ABC-liikennemyymälän tankkauskatoksen päälle on asennettu viisi nestekiertoista Wagner Co. LB 7,6 aurinkokeräintä, joiden tehollinen kokonaispinta-ala on yhteensä 38 m<sup>2</sup>. Aurinkokeräinten keskimääräinen hyötysuhde on noin 40 %, piikkiteho 38 kW ja arvioitu vuosituotto noin 14,5 MWh lämpöenergiaa, joka käytetään liikennemyymälän käyttöveden lämmityksessä. Aurinkokeräimet ovat 35° kulmassa, jolla niiden tuotto painottuu kesään. Parhaan vuosituoton kannalta kallistuskulma tulisi olla Suomessa noin 45°.

### LIITE 3: Bioenergia

- Fotosynteesin (kasvit) globaali kokonaisteho 40 TW, joka noin kolme kertaa suurempi kuin ihmiskunnan kokonaisenergiankulutus (12 TW).
- Biomassan pääasiallinen hyödyntäminen tapahtuu vielä (90 %:sti) polttamalla.
- Liikennemyymälän lämmityksessä käytetään kovilla pakkasilla puuperäistä kaukolämpöä. Pääasiallinen sähkönlähde on puusähkö.
- Suomessa pääasialliset biopolttoaineet ovat puu (CO<sub>2</sub>-neutraali) ja turve (ei CO<sub>2</sub>-neutraali).
- Potentiaalinen korvaaja tavanomaisille liikennepolttoaineille (vähentää hiilidioksidipäästöjä, melua ja riippuvuutta öljystä, parantaa ilmanlaatua ja ovat hiilidioksidipäästöjen suhteen neutraaleja).

#### Yleistä

Bioenergia on yleinen termi energialle, joka on peräisin kasveista tai eläimistä koostuvasta biomassasta. Biomassaa esiintyy maapallon pintakerroksessa eli biosfäärissä. Se muodostaa suuren energiavaraston ollen kuitenkin vain pieni osa maapallon massaa. Biomassaa syntyy fotosynteesin seurauksena, jossa kasvit, levät ja useat bakteerit muuttavat ympäristöstään ottamansa hiilidioksidin ja veden yhteyttämällä sokereiksi, selluloosaksi, tärkkelykseksi ym. kasvikunnan materiaaleiksi. Nämä toimivat siten auringon säteilemän ja edelleen yhteyttämiseen käytetyn energian varastoina. Fotosynteesin kokonaisreaktio, jossa syntyy myös happea, voidaan esittää reaktioyhtälöllä:



Bioenergialla on merkittävä rooli maailman energian tuotannossa. Maailmanlaajuisesta energiankulutuksesta yli 10 % ja maailman köyhimpien maiden energiantuotannosta jopa 90 % tapahtuu biomassalla. Suomen kokonaisenergiantuotannosta noin 20 % ja sähköntuotannosta noin 10 % tuotetaan bioenergialla. Biomassaa käytetään energianlähteenä useimmiten sellaisenaan polttamalla. Suoran polton lisäksi on muita menetelmiä, joiden avulla biomassaa voidaan käyttää modernisti mm. sähköntuotannossa sekä ajoneuvoissa. Tuotekehitys tulee panostamaan erityisesti uusien tai parannettujen ympäristöystävällisten biopolttoaineiden ja niitä hyödyntävien polttomenetelmien kehittämiseen. Näillä uusilla ominaisuuksilla voidaan saada lisäkäyttöä ja joustavuutta biomassan hyödyntämiseen.

## **Puukaukolämpö**

Kaukolämmitys tarkoittaa rakennusten lämmitysmenetelmää, jossa lämmitysenergia tuotetaan keskitetysti kaukolämpölaitoksessa ja tuotettu lämpö johdetaan lämmönvaihtimen avulla kaukolämpöverkon kiertoveteen sekä edelleen maahan asennettujen lämpöeristettyjen putkistojen avulla rakennusten lämmitysjärjestelmiin. Kaukolämmitys on Suomen yleisimmin käytetty lämmitysmuoto, jota käytetään lähes kaikissa kaupungeissa ja suurimmissa taajamissa sen taloudellisesti kannattavilla alueilla. Kaukolämpöverkon kokonaispituus Suomessa on noin 9 000 kilometriä ja se on n. 2,4 miljoonan suomalaisen keskitetty, helppokäyttöinen ja toimintavarma lämmitysmuoto.

Kaukolämpölaitokset voivat olla pelkästään lämpöä yhdyskunnalle tuottavia laitoksia. Paras hyöty kaukolämmöstä saadaan kuitenkin lämmön ja sähkön yhteistuotannossa. Samalla päästään hyvään polttoaineiden energiasisällön hyödyntämistehokkuuteen (70 – 90 %) eli pystytään säästämään polttoainevaroja sekä välttämään turhia ympäristöpäästöjä. Suomessa kaukolämmön tuotannosta 75 – 80 % perustuu lämmön ja sähkön yhteistuotantoon.

Kaukolämpöä voidaan tuottaa kiinteistä polttoaineista monilla erilaisilla polttotekniikoilla kuten mm. arinapoltolla, leijutuspoltoilla, pölypoltolla sekä kaasutuspoltoilla. Arinapoltto on yleisimmin käytetty tekniikka laitoksissa, joiden polttoaineteho on alle 5 MW. Leijutuspolto on syrjäyttänyt arinapolton lähes täysin yli 5 MW yksiköissä ja isoimmat kaupallisessa käytössä olevat biovoimalaitokset ovat tällä hetkellä n. 550 MW tehoisia. Pääosa biomassapohjaisista kaasutuslaitoksista on keskikokoisia laitoksia. Sähköhyötysuhteeltaan paras bioenergiateknologia eli kaasutuskombivoimalaitosteknologia (BIGCC) puuttuu Suomesta.

Liikennemyymälän lämmityksessä käytetään Viitasaaren Lämpö Oy:n tuottamaa kaukolämpöä, joka on 95 %:sti tuotettu puuperäisestä polttoaineesta arinapoltolla ilman sähköntuotantoa. Puun ja puujätteen hyödyntäminen energiantuotannossa on hiilidioksidipäästöjen osalta ympäristöystävällistä, koska puun poltossa ilmakehään vapautuu hiilidioksidia vain saman verran kuin puu on kasvaessaan itseensä sitonut. Jos metsäpinta-ala ei pienene, niin hiilidioksidin nettopäästö on nolla. Liikennemyymälässä kaukolämpöä käytetään talvisin, kun järvilämmön ja aurinkokeräinten lämmöntuotto ei riitä tyydyttämään lämmitystarvetta.

## **Puusähkö**

Liikennemyymälän vuotuiseksi sähköntarpeeksi on arvioitu 930 MWh. Käytettävä verkkosähkö on Jyväskylän Rauhalahden voimalaitoksen keskisuomalaisesta metsähakkeesta tuottamaa nk. puusähköä. Puusähkö on sähköä, jonka tuottamiseen on käytetty pelkästään puuperäistä energianlähdettä. Rauhalahdessa sähkön tuotanto tapahtuu polttamalla puuhake leijukerroskattilassa. Syntynyt lämpöenergia käytetään tuottamaan vedestä höyryä, joka johdetaan höyryturbiiniin. Höyryturbiini pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria. Puun poltto on hiilidioksidipäästöjen kannalta neutraalia, jos siitä ei synny metsäkatoa, koska kasvava puu sitoo saman määrän hiilidioksidia kun poltossa syntyy.

Puusähkön tuotanto perustuu yleisesti menetelmään, jossa kiinteä puuainees poltetaan voimalaitoksen kattilassa ja syntynyt lämpö hyödynnetään erilaisilla lämpövoimakoneilla sähköntuotantoon. Yleisimmät puun polttotekniikat ovat arinapoltto, leijupetipoltto ja kaasutuspolttto. Niitä on kehitetty kokoluokaltaan ja tyypiltään erilaisten polttolaitosten tarpeita vastaaviksi.

Yleisimmin käytetty voimalaitostyyppi sähköntuotannossa on höyryturbiinivoimala, joka on tyypiltään joko lauhde- tai vastapainevoimalaitos. Vastapainevoimalaitokset ovat teollisuuden tai yhdyskunnan voimalaitoksia, jotka tuottavat sähköä ja lämpöä ja/tai höyryä korkealla lähes 90 %:n kokonaishyötysuhteella. Suomessa vastapainevoimalaitoksen pääasiallinen energiatuote on lämpö ja laitokset mitoitetaan lämpökuorman mukaan, jolloin kokonaistehosta saadaan sähköä vain noin 20 % nykytekniikalla. Energiantuotto lauhdevoimalaitoksella perustuu pelkästään sähköntuotantoon, jolloin suuri osa polttoaineen käyttökelpoisesta energiasta, lämmöstä, menee hukkaan. Lauhduttimena käytetään Suomessa järviä tai merta.

Puusähköntuotannossa on mahdollista käyttää myös ns. BIGCC-voimalaa (Biomass Integrated Gasification Combined Cycle), jossa kiinteä biomassa kaasutetaan ja hyödynnetään kaasuturbiini/dieselkone – höyryturbiini – kombivoimalaitoksella, jolloin sähköntuotannon hyötysuhteeksi saadaan 30 – 50 %. Muita puuenergiapohjaisia sähköntuotantomenetelmiä ovat kaasutus-polttomoottori-tekknologia, kaasutus-mikroturbiini-tekknologia, ORC (Organic Rankine Cycle), Stirling-kone sekä höyrykone.

## Ihmislämpö

Aikuisen ihmisen normaali päivittäinen energiantarve on noin 2 000 – 3 000 kcal (8 400 – 12 600 kJ). Sen ihmiset tyydyttävät syömällä hiilihydraatteja, proteiineja sekä rasvoja sisältäviä ruokia eli bioenergiaa. Energiasisältö hiilihydraateilla on 17 kJ/g, proteiineilla 23 kJ/g ja rasvoilla 39 kJ/g. Näiden lisäksi ihminen tarvitsee vitamiineja, kivennäisiä ja hivenaineita.

Ihmisen energiantarve riippuu energian kulutuksesta. Suurin osa päivittäisestä energiankulutuksesta menee peruselintoimintojen, kuten hengityksen ja verenkierron ylläpitoon. Tätä energiankulutusta kutsutaan perusaineenvaihdunnaksi. Sen suuruuteen vaikuttavat sukupuoli, ikä, koko ja kehon koostumus. Aikuisilla miehillä se on luokkaa 70 – 90 W ja aikuisilla naisilla 55 – 75 W. Energiankulutusta lisää erilaiset kehon toiminnot. Esimerkiksi pelkkä seisominen kuluttaa energiaa 1,5-kertaisesti perusaineenvaihdunnan energiantarpeeseen nähden ja juokseminen tavallisesti 700 – 1 400 W. Ihmisen kehon tehokkuutta voidaan mitata mm. maksimaalisella tehon tuotolla ja energiantuotannon hyötysuhteella. Huippu-urheilijan lihaksisto pystyy tuottamaan noin 1,5 kW tehon. Energian muuttaminen lihaksistolla työksi tapahtuu lyhytkestoisessa suorituksessa 15 – 20 % ja pitkäkestoisessa suorituksessa 10 – 13 % hyötysuhteella.

Ihmisen elintoiminnot tuottavat lämpöä, joka lämmittää ympäristöä ja vähentää erillistä huoneistojen lämmitystarvetta. Lämmitysteho suuruus riippuu perusaineenvaihdunnan tasosta, aktiviteetistä sekä ympäristötekijöistä. Ilman aktiivista hikoilua aikuinen ihminen tuottaa lämpöä ympäristöön (20 °C) noin 100 W teholla. Lapsilla vastaava arvo on noin 60 W. Lihasvoimaa vaativassa työskentelyssä energiankulutus kasvaa ja kehon tuottama lämpömäärä lisääntyy. Kehon lämpötilan nousua ihminen pyrkii vakauttamaan hikoilemalla, jonka määrä voi olla tunnissa jopa 500 g/m<sup>2</sup> (aikuisen ihmisen ihon pinta-ala on 1,5 – 2 m<sup>2</sup>) vastaten 550 – 625 W lämmitystehoa. Esimerkiksi lämmitystä ja ilmastointia suunniteltaessa lasketaan ruumiillisesti työskentelevän ihmisen lämmitystekoksi lähes 600 W. Liikennemyymälällä työskentelevät ja vierailevat ihmiset tuottavat sisätiloihin lämmitysenergiaa kukin n. 100 W teholla eli yhteensä keskimäärin n. 5 kW.



## **Liikenteen biopolttoaineet (tulossa)**

### **Biokaasu**

Biokaasu tarkoittaa anaerobisessa eli hapettomassa tilassa syntyvää kaasua, jota syntyy kun useat omiin biokemiallisiin prosesseihinsa erikoistuneet anaerobiset bakteerit hajottavat orgaanista ainetta. Hajotuksen lopputuotteena syntynyt biokaasu sisältää metaania (CH<sub>4</sub>) 55 - 75 % ja hiilidioksidia (CO<sub>2</sub>) 25 -45 %. Lisäksi syntyy lannoitteeksi soveltuvaa kiinteää mädätysjäännöstä. Biokaasutuksesta on tulossa tärkeä ekologinen tapa tuottaa energiaa. Sen sisältämän metaanin energiasisältö on noin 36 MJ/m<sup>3</sup> (50 MJ/kg). Puhdistettuna biokaasu soveltuu käytettäväksi moniin erilaisiin käyttötarkoituksiin. Paras hyöty siitä saadaan liikenteen polttoaineena sekä yhdistetyssä lämmön- ja sähköntuotannossa. Biokaasua käyttävien ajoneuvojen päästöt ovat yli 90 % pienemmät kuin tavanomaisia liikennepolttoaineita käyttävien ajoneuvojen. Biokaasumetaani onkin tutkimuksissa todettu puhtaimmaksi liikennepolttoaineeksi. Biokaasujoneuvojen aiheuttama melutaso on myös alhaisempi kuin bensiini- ja dieselkäyttöisten ajoneuvojen.

Biokaasu muodostuu anaerobisessa hajoamisprosessissa, jonka vaiheet ovat:

- 1) Hydrolyysi eli veden avulla tapahtuva pilkkoutuminen, jossa haponmuodostajabakteerien entsyymitoiminnan toimesta kiinteät pitkäketjuiset yhdisteet (rasvat, proteiinit ja polysakkaridit ym.) muuttuvat liukoiksi pienimolekulaarisiksi yhdisteiksi.
- 2) Happokäyminen (mädätys), jossa haponmuodostajabakteerit hajottavat orgaanisia yhdisteitä liukoiksi lyhytketjuisiksi karboksyylihapoiksi.
- 3) Asetogeneesi, jossa asetaattia tuottavat bakteerit pilkkovat karboksyylihapoja asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi.
- 4) Metanogeneesi, jossa metaanibakteerit tuottavat metaania asetaatista (70 %) ja vedystä (30 %).

Reaktoreilla biokaasua tuotetaan yleensä eläinten lannasta, jäteveden puhdistamoiden lietteestä tai yhdyskunta- ja teollisuusjätteistä, mutta myös maatalouden kasvijätteistä ja energiakasveista. Luonnossa sitä syntyy eloperäisen aineen hajotessa hapettomissa olosuhteissa.

## LIITE 4: Tuulienergia

- Voimakkaasti kasvava energiantuotantomuoto: kapasiteetti yli kymmenkertaistunut vuoden 1993 tasosta.
- Globaali tuulivoimakapasiteetti vuonna 2003 oli 40 000 MW.
- Arvioitu tuulivoima vuonna 2020: Euroopassa 180 000 MW kapasiteetti, teollisuuteen investoitu maailmanlaajuisesti 80 miljardina euron, tuottaa 12 % maailman sähköstä, aikaansaa 2,4 miljoonaa työpaikkaa ja 10,7 miljoonan tonnin kumulatiiviset hiilidioksidisäästöt.
- Kansalliset asenteet: Kanadan tavoite 25-kertaistaa kapasiteetti viidessä vuodessa (lähes 10 000 MW 2010), UK 6 500 MW lisäys vuoteen 2010 ja jopa USA rajussa kasvussa.
- Tilanne 2003: Saksa (14 612 MW), Espanja (6 402 MW), US (6 231 MW)... Suomi 82 MW (2004).
- Tuulivoimapotentiaali Perämerellä 40 TWh/a, joka vastaa likimain neljää suuren ydinreaktorin tuotantoa.

### Yleistä

Tuuli on ilmakehän paikallisten painemuutosten seurauksena syntyvää ilman virtausta. Paikallisia paine-eroja syntyy auringon säteilemän energian jakautuessa epätasaisesti maapallolla. Auringon säteillä maanpinta lämpenee ja edelleen säteilee lämpöä takaisin avaruuteen, jolloin maanpinnan lähellä oleva ilmassa lämpenee ja laajenee pyrkien kohoamaan ylöspäin. Ylöspäin kohoava ilmassa jättää jälkeensä matalapaineen, joka pyrkii täyttymään vetämällä kylmempää ilmaa puoleensa. Tästä ilmakehän lämmön ja paineen tasapainoilusta syntyy tuuli sekä vallitsevat tuuliolosuhteet.

Tuulivoimalla, joka siis on epäsuoraa aurinkoenergiaa, tarkoitetaan tuulen sisältämän liike-energian mekaanista hyödyntämistä. Tuulivoimaa on hyödynnetty jo ainakin 5 000 vuoden ajan moniin erilaisiin tarkoituksiin. Nykyään se tarjoaa myös puhtaan sähköntuotantotavan, mikä tapahtuu muuttamalla tuulen liike-energiaa tuulivoimalalla mekaaniseksi pyörimisliikkeeksi ja siitä edelleen sähköksi. Sähköä tuottavien tuuliturbiinien merkittävä kehitys alkoi 1970-luvulla öljykriisin jälkeen. Nykyään tuulivoima nähdään yleisesti yhtenä lupaavimmista sähköntuotantotekniikoista. Tuuliturbiinin teho on riippuvainen roottorin pinta-alasta ja ilman tiheydestä sekä suoraan verrannollinen tuulen nopeuden kolmanteen potenssiin. Maapallolla oli vuonna 2003 käytössä noin 40 000 MW:n tuulivoimakapasiteetti. Johtavia maita tuulivoiman käytössä ovat Saksa (14 609 MW), Espanja (6 202 MW) ja Tanska (3 110 MW). Suomeen asennettuja tuulivoimaloita on varsin vähän. Vuoden 2004 lopussa Suomen tuulivoimakapasiteetti on 82 MW, 89 laitosta (syyskuu 2004).

Tuulivoimalla tuotettu energia on varsin ympäristöystävällistä, sillä se ei tuota energian tuotantovaiheessaan hiilidioksidipäästöjä ilmakehään. Tuulivoimalan rakentaminen ja sen huolto sitovat energiaa ja aiheuttavat ympäristövaikutuksia, mutta nykyiset laitokset tuottavat alle vuodessa sen rakentamiseen ja materiaaleihin tarvittavan energiamäärän.

### **Pysty akseliset tuulivoimalat**

Pysty akselisiä tuulivoimaloita on käytetty yli 2 000 vuoden ajan. Ensimmäiset nykyaikaiset laitteet patentoitiin vuonna 1925 Ranskassa, 1926 Suomessa (Savonius) ja 1931 Yhdysvalloissa (Darrieus). Suurin rakennettu pysty akselinen tuuliturbiini on Kanadaan rakennettu Darrieus-tyyppinen tuulivoimala ECOLE C, jonka tuottama teho on 4,2 MW. Suurin markkina-alue pysty akselisille tuuliturbiineille ovat kuitenkin pienet ilmastointimoottorit.

Pysty akseliset tuuliturbiinit eroavat vaakaa akselisista tuuliturbiineista siten, että niissä tuulen energiaa hyödyntävä mekanismi on asennettu pystysuoraan asentoon. Tästä on etuna se, että konehuone generaattoreineen voidaan sijoittaa maahan eikä mitään komponentteja tarvitse asentaa ylös akselin päähän. Muita etuja vaakaa akseliseen tuuliturbiiniin verrattuna on mm. että turbiinia ei tarvitse kääntää tuulen suuntaan, äänettömyys, toiminta alhaisillakin tuulen nopeuksilla (1-2 m/s) sekä myrskynkestävyys. Tekniikan huonoina puolina voidaan pitää joidenkin laitteiden huonoa hyötysuhdetta, maanpinnan tasolla puhaltavien tuulten pientä voimakkuutta sekä tehonvaihtelua, joka johtuu siipien asennon muuttumisesta tuulen suhteen pyörähdyksen eri vaiheissa.

Liikennemyymälän viereen on asennettu suomalainen spiraalimainen Windside WS-0,30C-tuuliturbiini 12 metrin korkuisen puupylvään päälle. Sen nimellisteho on 108 W, mikä saavutetaan tuulen nopeudella 15 m/s. Turbiinin vuosituotto riippuu vuoden keskimääräisistä tuulen nopeudesta. Jos oletetaan, että turbiinille puhaltavan tuulen keskimääräinen nopeus on 5 m/s, niin kyseinen tuuliturbiini tuottaa sähköä 60 kWh vuodessa. Tuotettu sähkö käytetään liikennemyymälän huvimajan valaistukseen.

## **Vaaka-akseliset tuulivoimalat**

Vaaka-akseliset tuuliturbiinit ovat sähkön tuotannossa yleisimmin käytetty tuuliturbiinityyppi. Hyvän hyötysuhteen takia ne vastaavat nykyään lähes 100 %:sti maailmalla tuotetusta tuulisähköstä. Vaaka-akseliset tuuliturbiinit sisältävät yleisimmin korkean metallirakenteisen tornin, jonka yläpäässä on kaksi- tai kolmilapainen roottori, konehuone, kääntöjärjestelmä sekä ohjausjärjestelmä. Turbiinien tekninen rakenne ei ole vakiintunutta, joten mahdollisia vaihtoehtoja suunnittelu- ja valmistusvaiheessa ovat mm. lapojen lukumäärä ja valmistusmateriaali, suuntautuneisuus tuulen ala- tai yläpuolelle, vaihteiden käyttö sekä navan toteutus.

Roottorin tehtävänä on muuttaa tuulen kineettinen energia pyörimisenergiaksi. Se koostuu navasta ja siihen kiinnittyvistä lavoista, jotka useimmiten valmistetaan lasikuidulla vahvistetusta muovista. Lapojen pituus on nykyisissä yli megawatin kokoluokan laitoksissa 30 m tai enemmän. Konehuoneessa sijaitsevat tuuliturbiinin pyörivät osat eli vaihteisto (jos sitä käytetään), generaattori sekä säätö- ja ohjausjärjestelmät. Generaattorit ovat yleisimmin induktio- tai epätahtigeneraattoreita ja niiden tehtävänä on sähkön tuotanto. Yleisin sähköntuotantoteho on nykyisin noin 600 – 3 000 kW. Tornit ovat teräsrakenteisia ja niiden tehtävänä on kannatella roottoreita ja konehuonetta. Vaaka-akselisten tuuliturbiineiden kehitysvauhti on ollut viime vuosina nopeaa. Laitoskoot ovat kasvaneet, ja sähköntuotantokyky on noin satakertaistunut 1980-luvun alkuun nähden.

Liikennemyymälän mainostornin huipulle noin 30 metrin korkeuteen on asennettu vaaka-akselinen tuuliturbiini Windtower Deutschland WT 10P, jonka sähköntuotannon nimellisteho on 10 kW. Nimellisteho saavutetaan tuulen nopeudella 12 m/s. Tuotettu sähkö syötetään liikennemyymälän sähköverkkoon.