

AURINKOENERGIA SUOMEN OLOSUHTEISISSA JA SEN POTENTIAALI ILMASTOMUUTOKSEN TORJUNNASSA

Tekes-projekti 594/480/00
Road-map for solar energy technology and markets in Finland

SOLPROS
kesäkuu 2001



ABSTRACT

The objective of the Tekes project "Road-map for solar energy technology and markets in Finland (Solar Road Map)" is to prepare a action plan for solar energy in Finland as a part of the national promotion programme for renewable energy sources. The project is part of the Climtech-programme and is coordinated by Solpros.

This report analyses give an overview of the possibilities for solar energy utilization in Finland and discusses relevant applications. Domestic industries are presented as also their products.

National goals for solar energy utilization are finally presented and corresponding environmental effects and GHG reduction potential is analyzed.

National goals for solar energy utilization by year 2010 in Finland are 0.05 TWh/yr for solar thermal and 0.05 TWh/yr for PV, respectively.



ESIPUHE

Tekes -projektin 594/480/00 "Road-map for solar energy technology and markets in Finland (Solar Road Map)" tavoitteena on laatia aurinkoenergialle toimenpidesuunnitelma kauppa- ja teollisuusministeriön uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman tavoitteiden saavuttamiseksi. Edistämishojelma on osa kansallista ilmastostrategiaa.

Solar Road Map-hanke on osa Tekesin Climtech-ohjelmaa (1999-2002). Sen tavoitteena on selvittää ilmastonmuutosta rajoittavan teknologian kehittämistarpeita ja mahdollisuuksia ja tätä kautta tukea suomalaisen teknologian käyttöönottoa ja kaupallistamista. Solpros koordinoi Solar Road Map-projektia ja sen tukena on eri toimijoista koostuva yhteistyöryhmä.

Käsillä oleva raportti on Solar RoadMap-projektin analyysiraportti, jossa on analysoitu aurinkoenergiaa kotimaisessa ympäristössä ja sen potentiaalia ilmastonmuutoksen torjunnassa. Raportissa käsitellään myös aurinkoenergian kaupallistamisnäkökohtia.

Raportin on laatinut Solpros.

Helsingissä, 1.6.2001

SOLPROS AY



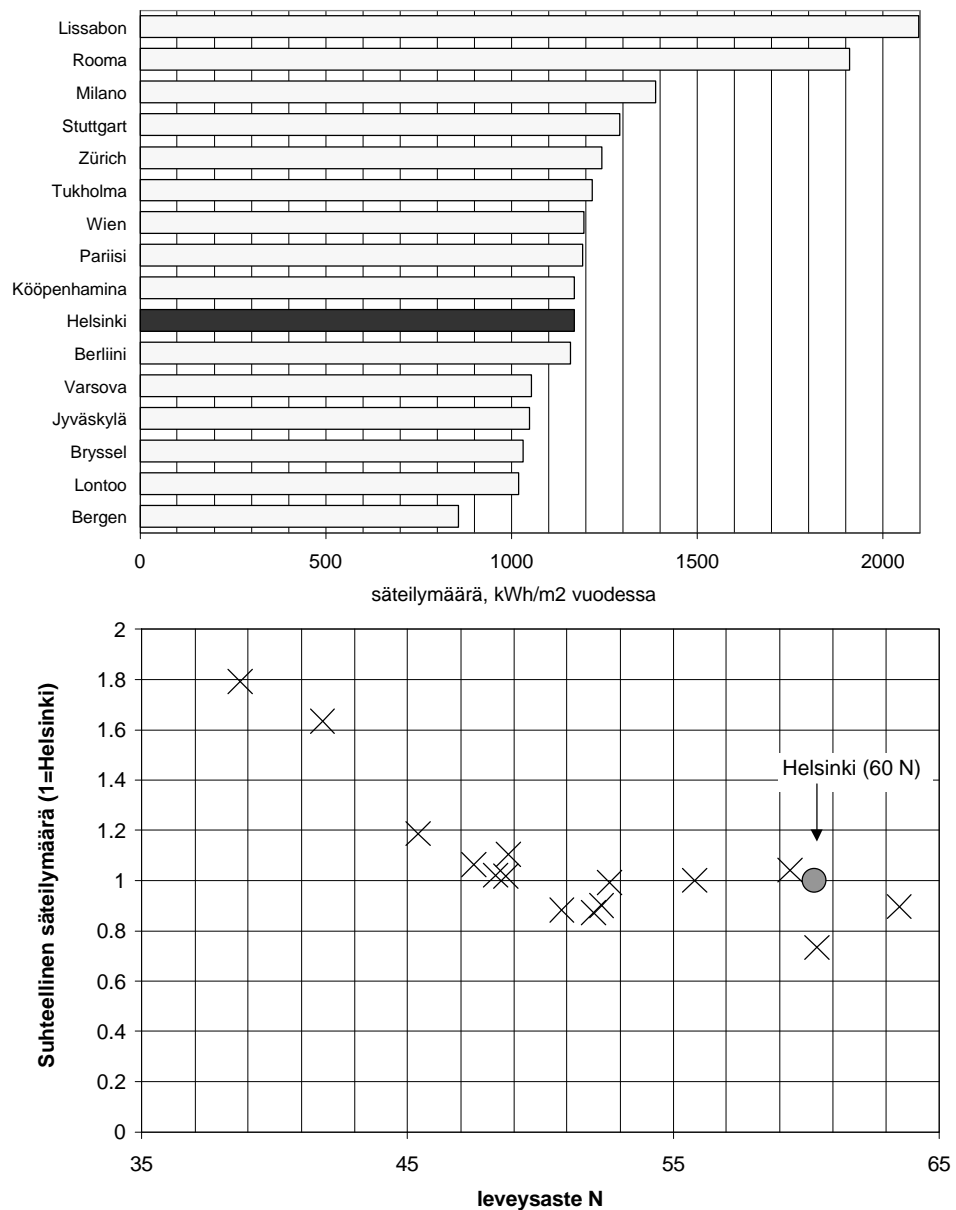
SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|-----------|
| ABSTRACT | 1 |
| ESIPUHE | 2 |
| SISÄLLYSLUETTELO | 3 |
| 1. AURINGON SÄTEILYN SAATAVUUS JA VAIHTELU..... | 4 |
| 2. AURINKOSÄHKÖ..... | 6 |
| 2.1 SUOMEN KANNALTA KIINNOSTAVIA TEKNISIÄ RATKAISUJA..... | 6 |
| 2.2 PV:N POTENTIAALI JA HINTA SUOMESSA | 8 |
| 3. AURINKOLÄMPÖ | 11 |
| 3.1 AURINKOLÄMMÖN TEKNISIÄ RATKAISUJA | 11 |
| 3.2 AURINKOLÄMMÖN POTENTIAALI JA HINTA SUOMESSA..... | 15 |
| 4. AURINKOENERGIAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET | 17 |
| 4.1 AURINKOLÄMPÖJÄRJESTELMÄT | 17 |
| 4.2 AURINKOSÄHKÖTEKNOLOGIAT | 18 |
| 5. ILMASTOTORJUNNAN POTENTIAALI | 20 |



1. AURINGON SÄTEILYN SAATAVUUS JA VAIHTELU

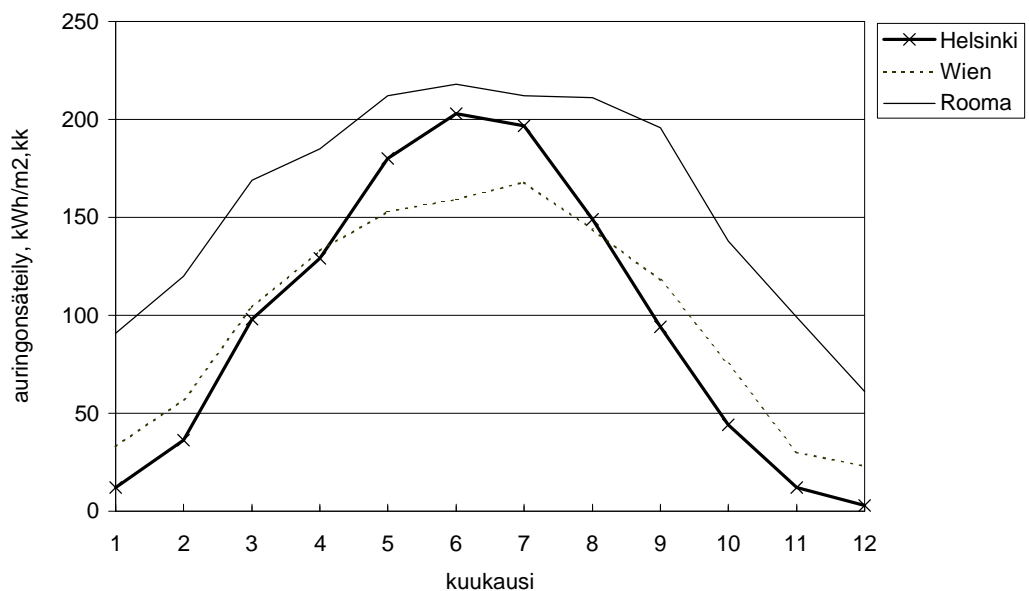
Paikalliset olosuhteet vaikuttavat suoraan aurinkoenergiajärjestelmän energiantuottoon. Auringon liikeradasta johtuen säteilyn määrä vähenee pohjoiseen mentäessä, mutta suotuisampi mikroilmasto kompensoi tätä selvästi. Kuvassa 1 on esitetty vuodessa saatava auringon säteily määrä eri puolilla Eurooppaa ja eri leveysasteilla. Alppien pohjoispuolelta pohjois-Suomeen säteilymäärät ovat noin $\pm 20\%$:n sisällä. Etelä-Suomen (Helsinki, 60 °N) säteilymäärät ovat samaa suuruusluokkaa kuin keski-Euroopassa. Kattotasolle (30° kallistus) saadaan meillä noin 1160 kWh/m² vuodessa. Suomen säteilymäärät ovat yli 50% pienemmät etelä-Eurooppaan verrattuna.



Kuva 1. Auringon säteilyn Euroopassa 30° kallistetulle kattotasolle vuodessa.



Auringon säteilyn vuodenaikavaihtelut ovat huomattavat ja kasvavat pohjoiseen mentäessä (kuva 2). Siten Suomessa saadaan kesällä yleensä enemmän auringon säteilyenergiaa kuin keski-Euroopassa, mutta talvella tilanne on päinvastainen. Etelä-Suomessa talviminimin ja kesämaksimin ero (heinäkuu=joulukuu) on yli 50, kun sen sijaan keski-Euroopassa se on selvästi alle 10 ja etelä-Euroopassa 3-5. Etelä-Suomessa auringon säteilyenergiasta saadaan 90% maalisi-syyskuun välisenä aikana. Meillä aurinkoenergia on siten täydentävä energianmuoto. Sen käyttö painottuu kevään ja syksyn väliseen kauteen ja ympärivuotinen hyödyntäminen edellyttäisi aurinkoenergian varastointia kesästä talveen.



Kuva 2. Auringon säteily kuukausittain 30° kallistetulle kattotasolle.

Suomen kannalta keskeisiä aurinkoenergian markkinasegmenttejä ovat rakennukset, rakennetun ympäristön ja kesäajan sovellukset sekä syrjäseutujen aurinkosähkösovellukset. Nämä ovat myös keskeisiä globaaleja markkinasegmenttejä. Aurinkoenergia sijoittuu energiaketjussa tyypillisesti loppukäyttäjän päähän.



2. AURINKOSÄHKÖ

Aurinkosähkön perinteinen käyttömuoto Suomessa on ollut kesämökin sähköistyspaketti (n 40.000 kpl) ja syrjäseutujen erikoissovellukset (loistot, erämaapuhelimet, yms). Aurinkosähköä on käytössä noin 2 MW_p (1,5-2 GWh/v). Energiämielessä tämä markkinasegmentti on kuitenkin pieni.

2.1 Suomen kannalta kiinnostavia teknisiä ratkaisuja

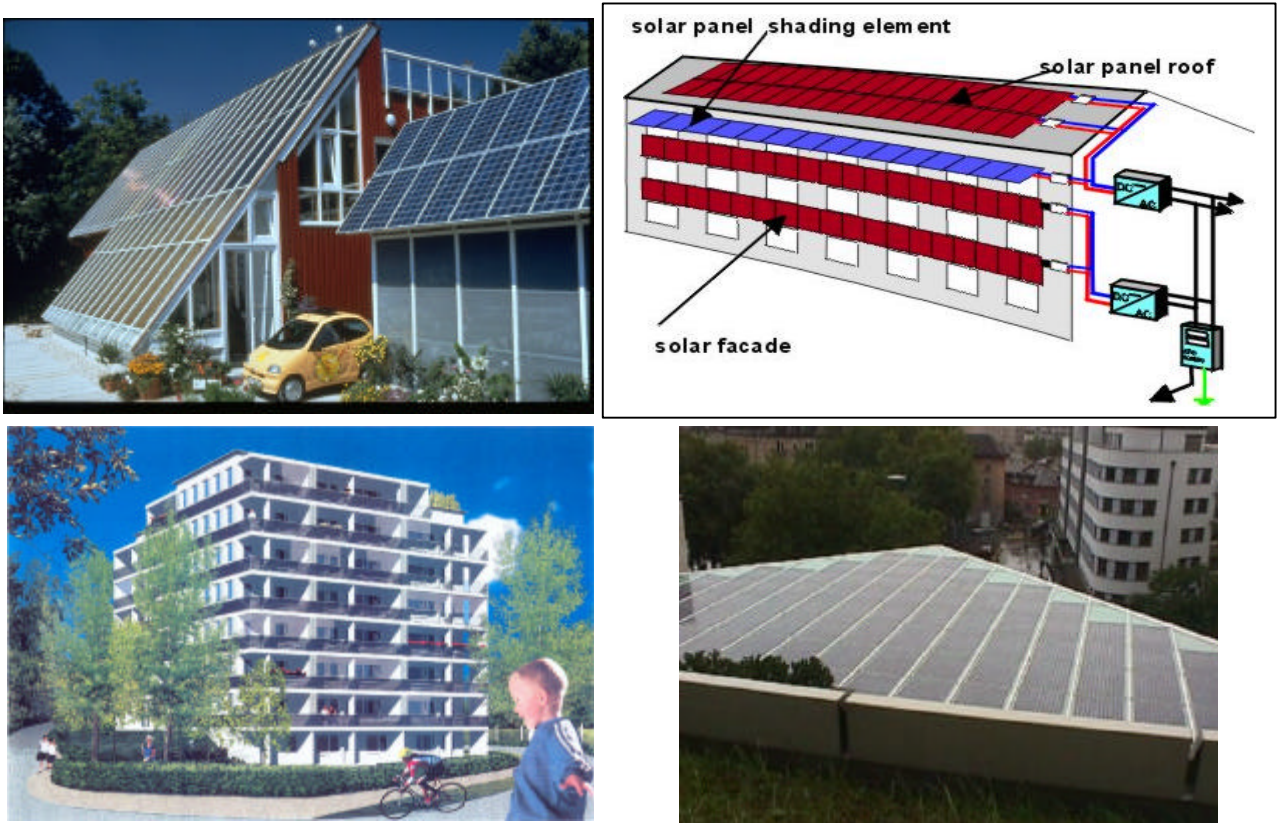
Rakennettu ympäristö ja rakennusten energiajärjestelmät on PV:n tärkein tulevaisuuden markkinasegmentti kehitysmaiden energiahuoltoratkaisujen ohella. Toimisto- ja julkisten rakennusten julkisivut tai pientalojen katot voivat olla potentiaalisia PV-paneelien integrointikohteita. Kansainvälisessä selvityksessä (IEA Task 7) on äskettäin arvioitu, että Suomesta löytyy 118 km² kattopintaa ja 34 km² julkisivua aurinkosähkölle erilaiset rajoitukset ja vaatimukset huomioon ottaen.

Kun aurinkosähköjärjestelmän energiantuottomoduulit integroidaan rakennukseen, voivat moduulit korvata rakenneosia, esimerkiksi julkisivupinnoitteita. Sähkön tuotannon ohella aurinkosähkömoduulit hoitavat samalla korvattavien rakenneosien tehtäviä.

Pvm-moduuleille asetetaan korkeat toimintavarmuus- ja kestävyysvaatimukset. Sertifioitu PV-moduuli sopii hyvin rakennuksen sääsuojaksi. Aurinkosähkömoduulit voidaan integroida rakennukseen, rakennuksen osiin tai rakenteisiin. Sopivia integrointikohteita ovat esimerkiksi

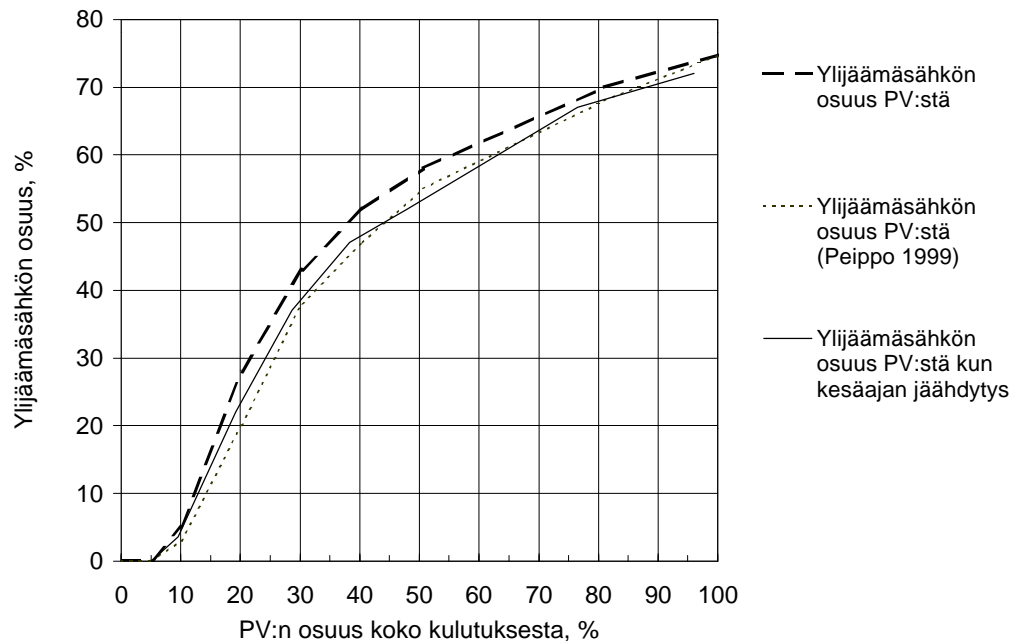
- julkisivu tai seinärakenteet;
- lasinalaisen tilan elementteinä;
- kattorakenteet ja katokset joko vesikattona tai katon päälle asennettuna;
- erilaisina erillisrakenneosina (esimerkiksi parvekkeet, pielet, lippaat).

Alla olevassa kuvassa on esimerkkejä aurinkosähköstä rakennuksissa. Aurinkosähköjärjestelmä kytketään suoraan sähköverkkoon vaihtosuuntaajan avulla. Rakennuksen oman sähkötarpeen yli menevä aurinkosähkön tuotto voidaan siten syöttää verkkoon ja verkko toimii virtuaalisena energiavarastona.



Kuva 3. Aurinkosähkö rakennuksissa. Yllä vasemmalla kattointegrointi /IEA Task 7/, alla vasemmalla PV-paneeli on osa parvekeratkaisua (Helsingin Ekoviikki) /YIT/. Yllä oikealla on periaatekaavio /NAPS Systems Oy/. Alla oikealla on tyypillinen PV-elementti/NAPS Systems Oy/

Ylijäämäsähkön hallinta on PV:n taloudellisuuden kannalta olennainen kysymys. Kuvassa 4 on esitetty arvioita ylijäämäsähkön osuudesta PV:n osuuden kasvaessa koko rakennuksen sähkönkulutuksesta. Esimerkiksi jos koko kulutus tuotettaisiin PV:llä, 1/4 aurinkosähkön tuotosta voitaisiin hyödyntää suoraan ja 3/4 siitä (ylijäämäsähkö) täytyisi syöttää ensin sähköverkkoon ja ottaa takaisin myöhemmin. Jos PV:n osuus on alle 20-25% koko vuosikulutuksesta, voidaan pääosa aurinkosähköstä käyttää suoraan. Ylijäämäsähköstä maksettava hinta riippuu verkon omistajan hintapolitiikasta. EU:ssa suosituksena olisi ns. nettomittarointi eli ylijäämäaurinkosähkö olisi samanarvoista kuin verkkosähkö. EU-maista löytyy erilaisia käytäntöjä: esim. Ranskassa PV:n hyvityshinta on 0 ja Saksassa 3 mk/kWh. Edistettäessä aurinkosähkön markkinoille tuloa ja sen osuuden ollessa vielä pieni olisi nettomittarointi kohtuullinen lähtökohta Suomessa. Näin on mm. käytäntö Helsingin Ekoviikin PV-koekohteessa.



Kuva 4. Ylijäämäsiähkön osuus aurinkosähkön tuosta vuositasona.

Aurinkosähkön asennusyksikkönä on ns. piikkiwatti (W_p) eli PV-paneelin tuottama huipputeho. Aurinkosähkön vuosituotto on etelä-Suomessa parhaimmillaan $1 \text{ kWh}/W_p$ ja vaihteluväli on $0,6\text{-}1 \text{ kWh}/W_p$. Paneelin hyötysuhteesta riippuen pinta-alaan nähden saadaan $120\text{-}150 \text{ } W_p/m^2$. Tulevaisuudessa piiteknologian yläraja olisi 200 ja ohutkalvoteknologialla $150 \text{ } W_p/m^2$.

2.2 PV:n potentiaali ja hinta Suomessa

Suomessa löytyy yli 150 km^2 aurinkosähkölle soveltuvaa katto- tai julkisivupintaa. Jos ko. pinta olisi aurinkosähköpaneelia, tuotto olisi $14 \text{ TWh}/v$. Energijärjestelmän asettamien tehorojoitusten kautta aurinkosähkön huipputehon ylärajana voidaan pitää 1.500 MW_p ($1,5 \text{ TWh}/v$). Suuremmat määrät edellyttävät varatehojärjestelyjä ja pitemmällä tähtäimellä myös tehokkaita energianvarastointiratkaisuja. Taulukossa 1 on yhteenvetoarvio aurinkosähkön teoreettisesta potentiaalista Suomessa. Kansallisen aurinkoenergian toimenpideohjelman tavoitteena on 40 MW_p aurinkosähköä vuonna 2010 ja noin 500 MW_p vuonna 2025, joka mahtuu hyvin potentiaaliarvion sisään.

Taulukko 1. PV:n teoreettinen potentiaali Suomessa.

| Sovellus | Teho | Sähkö |
|-------------------------|-------------------|------------------|
| Kesämökäit ja lomakylät | 10 MW_p | 10 GWh |
| Erytissovellukset | 10 MW_p | 10 GWh |
| Julkiset rakennukset | 4 MW_p | 4 GWh |



| | | |
|--|-----------------------|---------|
| (20% kunnista, a' 50 kW _p) | | |
| Rakennusten katot | 14000 MW _p | 11 TWh |
| Rakennusten julkisivut | 4000 MW _p | 3TWh |
| PV verkossa ilman lisävaratehoja | 1500 MW _p | 1,5 TWh |

Aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus on tällä hetkellä 6,5-10 EUR/W_p. Vuoteen 2010 3-5 EUR/W_p voisi olla mahdollista. Alle 2 EUR/W_p saavutettaisiin vuoteen 2025 mennessä. Alemmat arvot ovat pienemmille ja ylempät arvot suuremmille järjestelmille.

Jos aurinkopaneeli integroidaan rakennusprosessiin ja rakennukseen, sillä voidaan korvata muuta rakennusmateriaalia, esimerkiksi katto- tai julkisivumateriaaleja. Asuintaloissa korvattava materiaali voisi olla parvekekaide, julkisivupinnoitus, kattokate, autosuojan katto ja saavutettava materiaalisäästö 100...< 300 mk/m² (0,15-0,4 EUR/W_p). Arvo- tai toimistorakennusten julkisivumateriaalit ovat arvokkaampia ja tällöin kustannussäästö voi olla merkittävä. PV:n kautta saavutettava materiaalisäästö voi olla jopa 500-1200 mk/m² (0,7-1,7 EUR/W_p). Tapauksesta riippuen rakennusintegroinnista saatava lisähyöty on muutamasta prosentista jopa 25%:iin investoinneista.

Aurinkosähköjärjestelmästä ja -paneeleista voi olla tämän lisäksi joukko muita, toisin vaikeasti arvioitavissa olevia hyötyjä. Näitä ovat mm. määrätty energiaomavaraisuus, kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen, imago, PV varjostus- ja melusuojana, rakennuksen parempi terminen suorituskyky (esim. lumen sulatus, jäähtytys, katon eliniän kasvattaminen), yms. Kuvassa 5 on esimerkki tämänsuuntaisesta ajatuksesta, jossa pelkästä kattolevystä syntyy energiakattotuote, jolla on useita funktioita.



Kuva 5. Energiakatto /Rautaruukki Oy/.

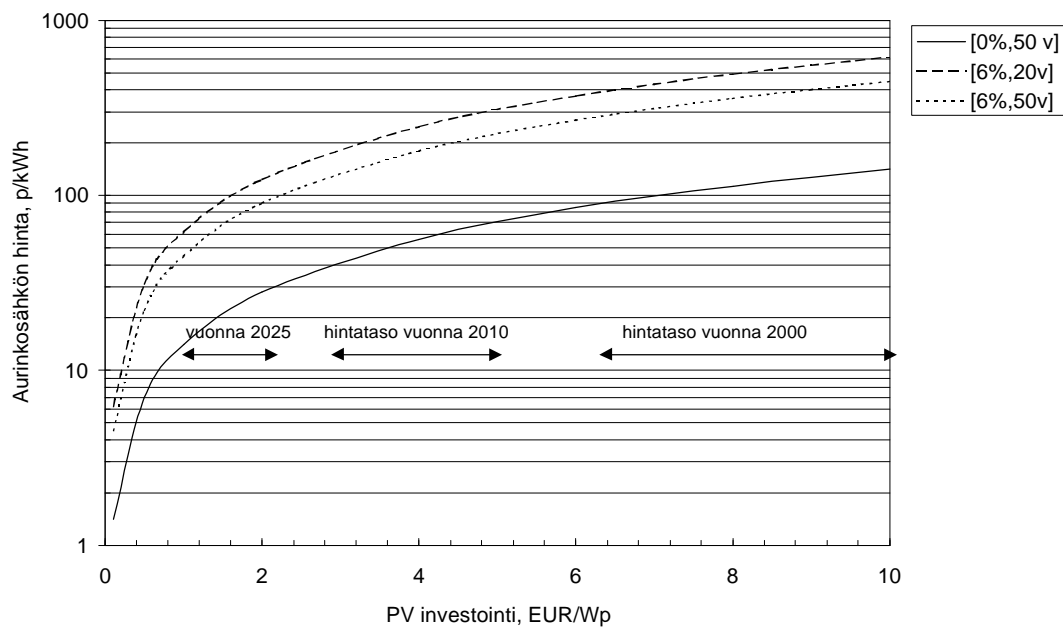
Aurinkopaneelien toimintaperiaate perustuu valosähköiseen ilmiöön, jossa auringonsäteily synnyttää prosessoidussa puolijohteessa sähköä. Paneelissa ei ole liikkuvia osia, jota kautta myöskään kuluvia osia ei ole.



Tätä kautta aurinkopaneelien tekninen takuu on jo nyt jopa 25 vuotta ja mahdollinen elinikä 40-50 vuotta. Eliniällä on myös merkitystä taloudellisuuteen. Kuvassa 5 on arvioitu tuotetun aurinkosähkön hintaa eri taloudellisuusoletuksilla ja investointikustannuksilla. Ekologinen lähestymistapa, jossa PV on osa rakennusta, puoltaisi 0% korkoa ja 50 vuoden elinikäodotusta. Energiataloudellinen lähestymistapa vastaavasti 6% korkoa ja 20 vuoden taloudellista käyttöä.

Ekologisella laskentatavalla laskettuna PV:n hinta Suomessa olisi 100-150 p/kWh koosta ja integrointiratkaisusta riippuen. PV:n lisähyödyt voisivat vielä pudottaa hintaa jonkin verran (max 25%). Vuonna 2010 hintataso voisi olla 40-70 p/kWh ja vuonna 2025 päästään alle 30 p/kWh tason.

Energiataloudellisella laskentatavalla PV:n hinta Suomessa on 400-500 p/kWh ja vuonna 2010 päästäisiin tasolle 200-300 p/kWh. Vuoden 2025 hinta voisi olla tasolla 70-100 p/kWh.



Kuva 6. Aurinkosähkön hinta Suomen olosuhteissa ilman mahdollisia lisähyötyjä ja investointitukia.

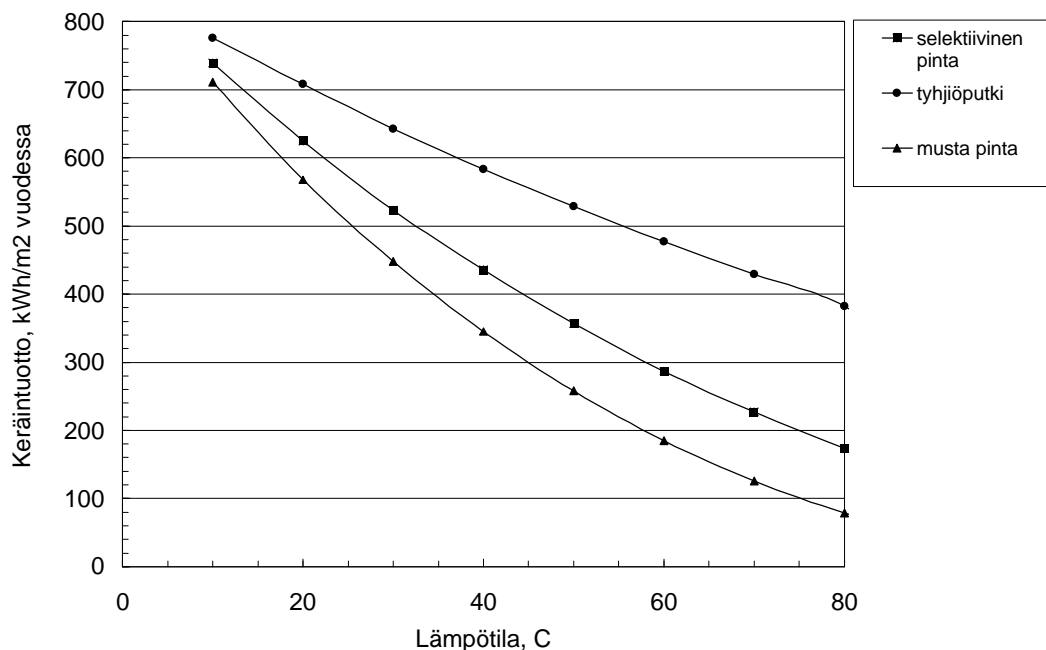


3. AURINKOLÄMPÖ

Aurinkolämpöä on Suomessa pääosin hyödynnetty rakennusten lämpimän käyttöveden valmistamisessa ja kylmäilmakuivureiden esilämmitysasteena. Maassamme on asennettu noin 10.000 m² aurinkokeräimiä rakennuksissa ja 70.000-100.000 m² kuivureissa (80-luvulla). Energiavaikutus on 4 GWh/v.

3.1 Aurinkolämmön teknisiä ratkaisuja

Aurinkolämmön asennusyksikkönä on keräineliömetri (m²). Aurinkokeräimen lämmöntuotto riippuu auringonsäteilyn saatavuuden lisäksi lämpötilatasoista siten, että aurinkolämmön tuotto kasvaa lämpötilan pienentyessä (kuva 7). Korkeimpiin lämpötiloihin mentäessä tarvitaan tehokkaita teknologisia ratkaisuja, kuten selektiivisiä absorptiopintoja tai tyhjiöputkikeräimiä. Erilaiset matalalämpötilaratkaisut ovat aurinkolämmölle edullisia, esimerkiksi lämpimän käyttöveden tuottaminen. Tyypillinen aurinkolämpöjärjestelmä perustuu selektiivisiin aurinkokeräimiin. Lämpimän käyttöveden tuottamisessa päästään meillä 300-400 kWh/m² vuosituottoon ja tulevaisuuden teknologialla (vuonna 2010) 500 kWh/m² voisi olla mahdollista.



Kuva 7. Aurinkolämmön tuotto etelä-Suomessa erityyppisillä keräinteknologioilla ja lämpötilatasoilla.

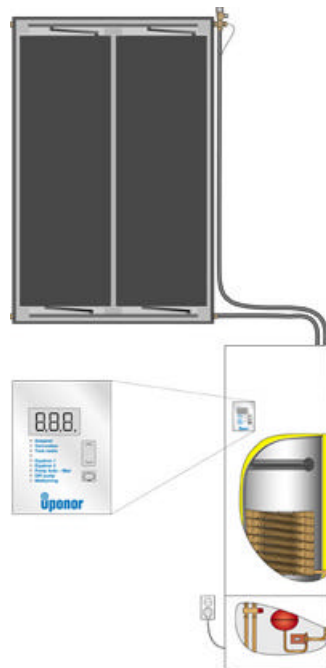


Aurinkolämmölle löytyy meillä joukko erilaisia sovelluskohteita, joista tärkein on rakennettu ympäristö. Erilaiset kesäajan erikoissovellukset erityisesti vapaa-aikaan, matkailuun ja maa- ja metsätalouteen liittyen ovat myös mahdollisia (taulukko 2).

Taulukko 2. Aurinkolämmön sovelluskohteita Suomessa.

| | | keräinala |
|---|--|--|
| Pien- ja asuintalojen lämmin käyttövesi | 40-60% koko vuoden lämpimän käyttöveden tarpeesta | 5-10 m ² /yksikkö (p) 20-200 m ² /yksikkö (a) |
| Pien- ja asuintalojen lämmin käyttövesi ja lämmitys | 15-20% koko rakennuksen vuosittaisesta lämpöenergian tarpeesta | <20 m ² /yksikkö (p) 20-200 m ² /yksikkö (a) |
| Ei-asuinrakennukset | Uima-altaat, maatalouden sovellukset, vapaa-aika (hotellit, urheiluhallit, leirintäalueet), kuivatus | 10-1.000 m ² /yksikkö |
| Aluelämpö | Esimerkiksi öljyn tai bioenergian yhteydessä kesäajan täydentävänä energialähteenä. | 200-2.000 m ² /yksikkö |

Pientaloissa aurinkolämpö täydentää kaikkia lämmitysmuotoja. Perusratkaisut ovat usein samantapaisia ja lähes standardoituja. Kuvassa 8 on esimerkki innovatiivisesta uudesta ratkaisusta, mutta perusjärjestelmä on edelleen standardi.



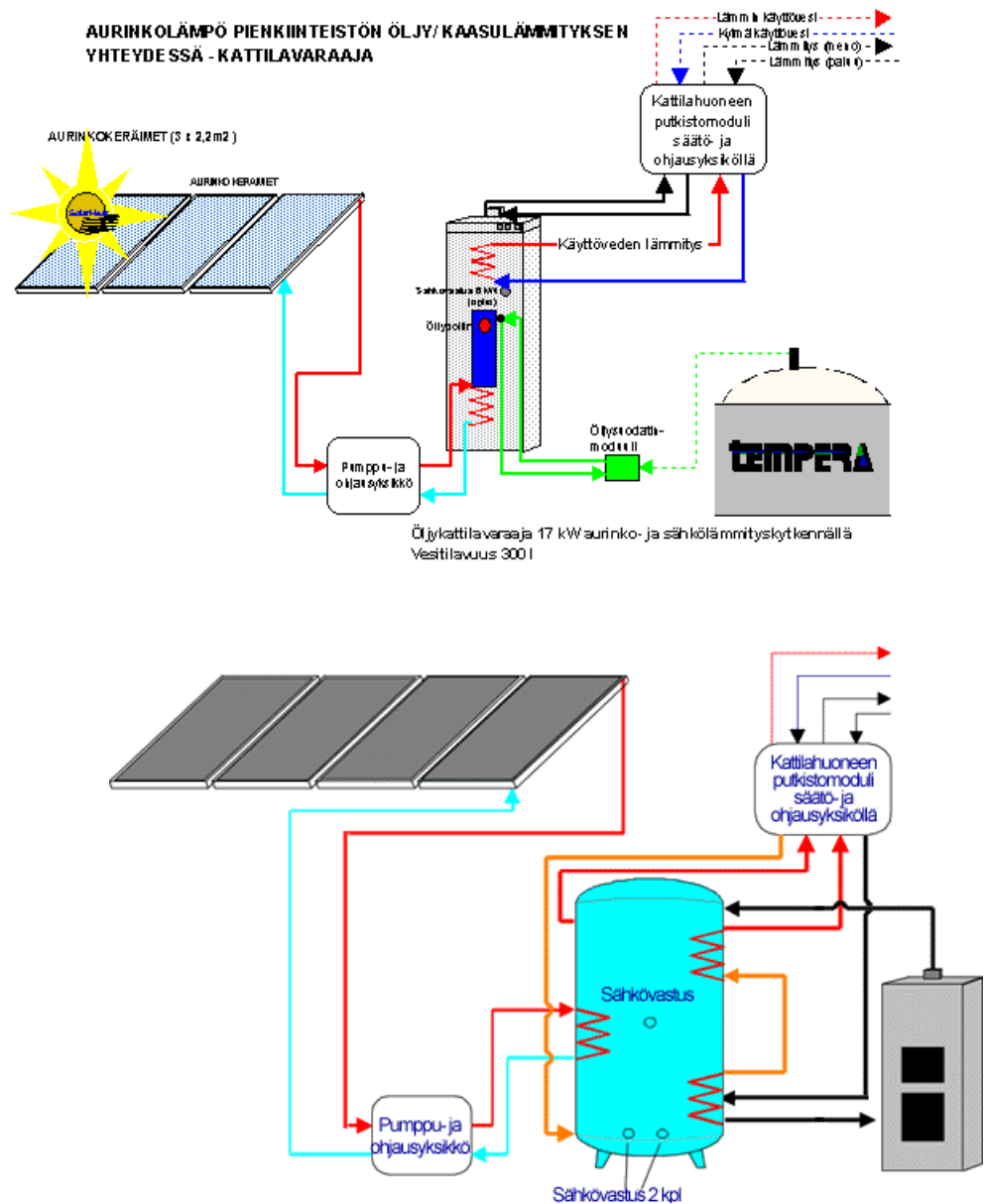
Kuva 8. Esimerkki kevyestä ja kompaktista aurinkolämpöjärjestelmästä, jossa aurinkokeräin on lämpöä kestävästä muovista /Uponor Sweden AB/. Tämä ratkaisu voitti äskettäin kansainvälisen IEA:n järjestämän aurinkolämmön hankintakilpailun.

Selektiiviseen keräimeen verrattuna tässä tarvitaan 1,3-1,4-kertainen keräinpinta-ala tuottamaan saman verran lämpöä.

Yhden aurinkokeräimen paino on 17 kg ja putkiliitännät on järjestetty pikaliitännöin.



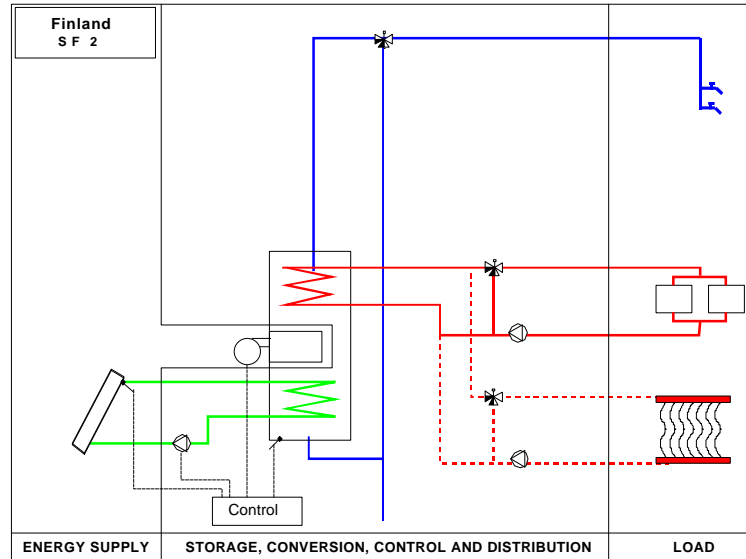
Öljy- ja puulämmitysjärjestelmissä aurinkolämpö tarjoaa huolettoman kesäajan energialähteen, jolloin päälämmitysjärjestelmä voidaan käytännössä sulkea kokonaan pois päältä. Aurinkolämpöjärjestelmä kytketään vesi- tai kattilavaraajaan, joihin tarvitaan ylimääräinen liitäntä ja lämmönvaihdin. Kuvassa 9 on esitetty tyypillisiä liitäntävaihtoehtoja. Käytännössä pelkän aurinko-option hankkiminen mahdollista myöhempää hankintaa silmällä pitäen maksaa muutamia tuhansia markkoja. Aurinkolämmitys vanhojen öljykattiloiden vaihdon yhteydessä on kiinnostava mahdollisuus, koska vanhoja kattiloita tulee vaihtoon kymmeniä tuhansia lähivuosina.



Kuva 9 Aurinkolämpö öljy- tai puukattilan yhteydessä.
/Fortum Oil and Gas Oyj/



Aurinkolämpö voidaan kytkeä erilaisiin lämmönjakotapoihin. Pientalojärjestelmässä aurinkolämpö tuottaa pääosin lämmintä käyttövettä, mutta huonetilan lämmitys keväältävesta syksyyn ajoittuvalla jaksolla on mahdollista. Lattialämmitys on matalalämpöratkaisuna hyvä aurinkolämmölle. Märkätilojen lattialämmitykseen tarvitaan vuoden ympäri lämpöä, joka sopii erinomaisesti aurinkolämmölle.



Kuva 10. Tyypiesimerkkejä suomalaisiin pientaloihin /IEA SHC Task 26/.

Uutena kehityssuuntana ovat kattointegroidut aurinkokeräimet. Tässä tapauksessa keräin muodostaa vesikaton ja itse moduulit ovat suuria kooltaan. Asuintaloihin tarkoitetut aurinkolämpöjärjestelmät voisivat olla tällaisia.



Kuva 11. Esimerkkejä kattointegroiduista aurinkokeräimistä Ekoviikissä, jossa on Suomen suurin aurinkolämpöhanke. Vasemmalla 250 m² kattointegroitu järjestelmä asuintaloon, oikealla keräimet muodostavat ulkorakennuksen katon (120 m²) /Solpros/.



3.2 Aurinkolämmön potentiaali ja hinta Suomessa

Kansallisen aurinkoenergian toimenpideohjelman tavoitteena on 100.000 m² aurinkolämpöä vuonna 2010. Vuonna 2025 noin 1.000.000 m² voisi kuvastaa käytön ylärajaa. Taulukossa 3 on esitetty potentiaaliarvioita aurinkolämmölle Suomessa ja em. luvut mahtuvat hyvin näiden sisään. Pitkän tähtäimen mahdollisuus liikkuneen muutamassa TWh:ssa per vuosi. Mahdollisuuksien yläraja ylipitkällä aikavälillä (2050) liikkuu noin kymmenessä TWh:ssa (3 viimeistä riviä taulukossa 3). Käytännön potentiaali on luonnollisesti näitä lukuja alhaisempi.

Taulukko 3. Aurinkolämmön tekninen potentiaali Suomessa.

| Markkinasegmentti | Keräinala | Energia |
|---|---------------------------|---------|
| Erikoiskohteet (uimalat, urheiluhallit, leirintäalueet, pikaruokaketjut, yms.) | 50.000 m ² | 20 GWh |
| Julkiset rakennukset (20% kunnista, a' 500 m ²) | 40.000 m ² | 20 GWh |
| Aurinkolämpö öljylämmityksen täydentäjänä (10% uusittavista vanhoista öljykattiloista) | 90.000 m ² | 30 GWh |
| Pientalojen lämmin käyttövesi | 1.500.000 m ² | 0,6 TWh |
| RPÖn korvaaminen kesäaikana | 280.000 m ² | 0,1 TWh |
| Biomassan kuivatus | 5.000.000 m ² | 2-3 TWh |
| Kesäajan alue- ja kaukolämpö | 5.000.000 m ² | 2-3 TWh |
| Aurinkolämmön kausivarastointi | 10.000.000 m ² | 4-5 TWh |

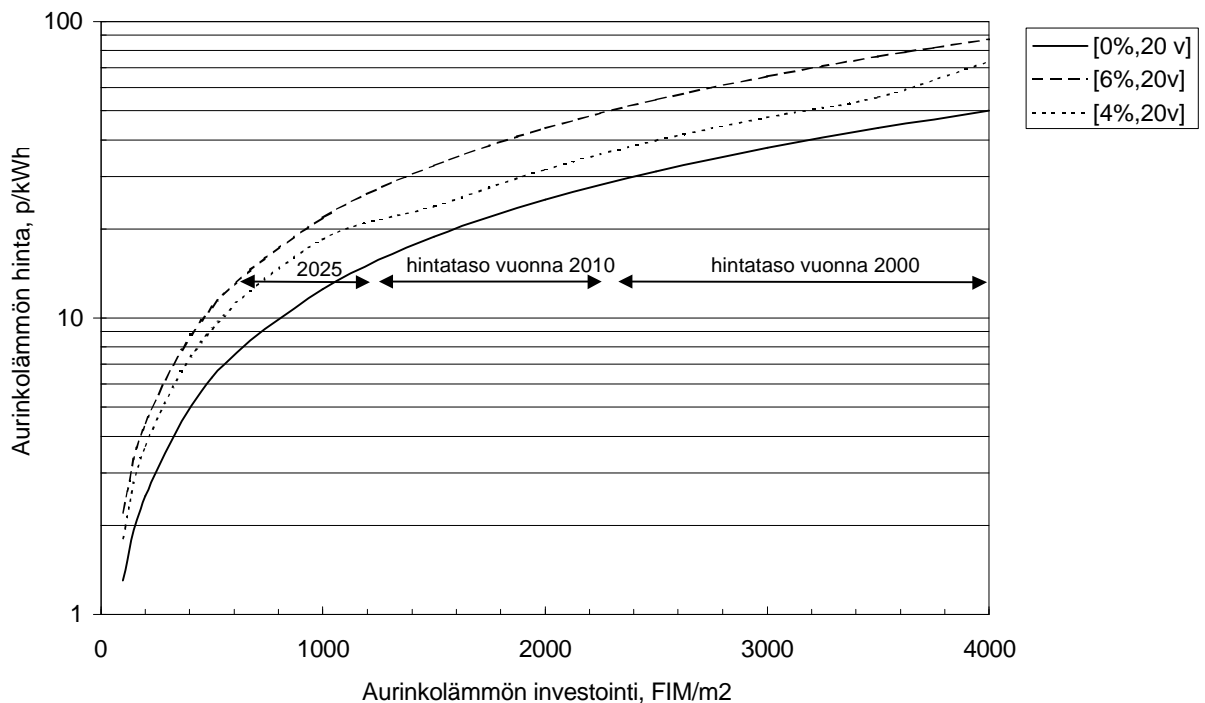
Aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannus vaihtelee runsaasta 2.000 mk/m² noin 4.000 mk/m² järjestelmän koosta ja kokoonpanosta riippuen. Suuremmat järjestelmät ovat yleensä halvempia. Jos voidaan liittää aurinkolämpöjärjestelmä olemassa olevaan vesivaraajaan, säästetään huomattavasti kustannuksissa. Vuoteen 2010 mennessä tavoitteena on päästä investointikustannuksissa selvästi alle 2.000 mk/m². Taulukossa 4 on arvioitu miten kustannuksia voitaisiin vähentää Suomessa nykyisestä tasosta, kun aurinkolämmön volyyymi kasvaa.

Taulukko 4. Arvio mahdollisuuksista pudottaa aurinkolämmön hintaa.

| Hintatekijä | Hintavaikutus | Toimenpiteet |
|---|---------------|--|
| Projektointi-, suunnittelu- ja asennuskokemus | 10-20% | Informaatio, koulutus, volyymin lisääminen |
| Järjestelmien standardoituminen | 10-20% | Kilpailu, volyymin lisäys |
| Logistiikan kehittyminen | 10% | Yhteistyö |
| Kansainvälisen kehityksen (EU) vaikutus, teknologian kehittäminen | 20-30% | Teknologia- ja tiedonsiirto, yhteistyö |



Aurinkolämmöllä tuotetun energian hinta riippuu paitsi investointikustannuksista myös taloudellisesta tarkastelunäkökulmasta. Ekologisella tarkastelutavalla laskettuna aurinkolämmön hinta on tällä hetkellä 30-50 p/kWh (korko 0%, pitoaika 20 vuotta) ja energiataloudellisella tavalla (6%, 20 vuotta) laskettuna 50-90 p/kWh. Vuoden 2010 hintataso voisi parhaimmillaan tulla tasolle alle 20 p/kWh-30 p/kWh (ekologinen) /30-50 p/kWh (energiataloudellinen). Kuva 12 havainnollistaa aurinkolämmön hintaa. Aurinkolämmöstä saatavia muita mahdollisia lisähyötyjä ei ole laskettu tässä mukaan (esim. vesikattorakennelma). Nämä ovat korkeintaan 300 mk/m² eli nykyhinnoin noin 10% ja vuonna 2010 15% koko aurinkolämpöjärjestelmän investointikustannuksista.



Kuva 12. Aurinkolämmön hinta Suomessa.



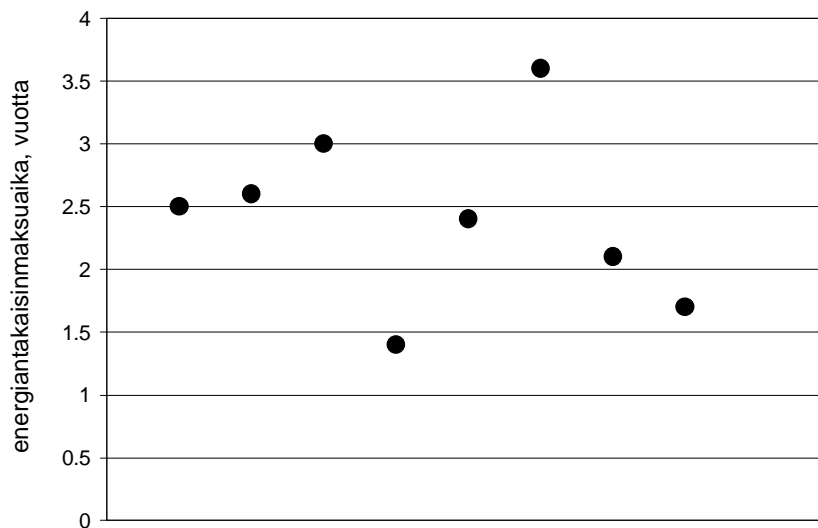
4. AURINKOENERGIAN YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

4.1 Aurinkolämpöjärjestelmät

Aurinkolämpöjärjestelmä ei sellaisenaan tuota päästöjä toimiessaan. Välilliset päästöt ja ympäristövaikutukset syntyvät aurinkolämpöjärjestelmässä tarvittavista materiaaleista, asennustyöstä ja käytön aikana mm. pumppuihin tarvittavasta sähköstä.

Keskeiset aurinkolämpöön liittyvät perusmateriaalit ovat kupari, teräs, alumiini ja lasi. Elinkaarianalyseissä on paikannettu kaikkiaan yli 30 erilaista käytettyä materiaalia. Aurinkolämpöjärjestelmän käyttö tarvitsee sähköä pumpun pyörittämiseen ja säätölaitteeseen. Sähkön kulutus riippuu järjestelmän koosta. Pientalon aurinkolämpöjärjestelmän sähkön kulutus on noin 100-170 kWh/v.

40-50% koko aurinkolämpöjärjestelmän elinkaaren ylitse tarvitsemasta primäärienergiasta kuluu aurinkokeräinten rakentamiseen. Vesivaraajaan osuus on 30-40%.



Kuva 13. Aurinkolämpöjärjestelmien energian takaisinmaksuaika (vuosi). Kuvassa erilaisia kaupallisia tuotteita.

Kuvassa 13 on esitetty kaupallisten aurinkolämpöjärjestelmien energian takaisinmaksuaikoja, jotka vaihtelevat alle 2 vuodesta vajaan 4 vuoteen. Energian takaisinmaksuaika määritellään seuraavana suhteena: (järjestelmän tuottamiseen tarvittu primäärienergia)/(aurinkolämmöllä säästetty primäärienergia - käytön



aikana kulutettu primäärienergia). Lyhyin takaisinmaksuaika (alle 2 vuotta) saadaan järjestelmällä, jossa käytetään suuria keräinmoduuleita, osin puuraameja sekä yhtä vesivaraajaa. Kuvan luvut ovat saksalaisista tuotteista, mutta pätevät myös Suomen olosuhteisiin. Energian takaisinmaksuajat ovat lyhyitä ja tätä kautta välilliset ympäristövaikutukset myös pienet.

Suomessa aurinkolämpö täydentää lähinnä pientalojen öljy- ja sähkölämmitysjärjestelmiä. Aurinkolämmöllä aikaansaattava suora GHG-säästö olisi parhaimmillaan 300-455 g CO₂/kWh. Jos otetaan huomioon välilliset päästöt, pienenevät em. luvut vajaat 10%.

4.2 Aurinkosähköteknologiat

Aurinkosähkö ei tuota päästöjä käytön aikana. Sen pääasialliset ympäristövaikutukset tulevat aurinkopaneelien tuotantovaiheessa. Esimerkiksi onnettomuustilanteissa voisi haitallisia kemikaaleja päästä ympäristöön. Ympäristövaikutukset riippuvat paljolti aurinkokennoteknologiasta (kiteinen ja monikiteinen pii, ohutkalvokennot amorfinen pii, CIS, CdTe ja GaAs). Esimerkiksi monikiteisten (m-Si) kennojen valmistuksessa ympäristön kannalta huomioitavia aineita ovat mm. fluori, kloori, nitraatti, isopropanoli, SO₂, CO₂, silica hiukkaset ja erilaiset liuottimet.

Aurinkokennojen valmistus on tyypillistä puolijohdeteollisuutta. Prosesseissa käsitellään myrkyllisiä ja terveydelle haitallisia kaasuja kuten silaania, myrkyllisiä metalleja kuten Cd ja Pb. CdTe-ohutkalvoaurinkokennot on kyseenalainen teknologiapolku kadmiumin vuoksi, vaikka kennot ovatkin hyvin kapseloitu. Vaarallisten aineiden ja jätteiden käsittely aurinkokennoteollisuudessa tapahtuu puolijohdeteollisuuden normien mukaan.

Aurinkokennojen ympäristö- ja terveysvaikutusten tarkka arviointi edellyttää yksityiskohtaisia elinkaaritarkastelua. Näitä on tehty runsaasti ja ne osoittavat, että aurinkokennovalmistuksen suorat terveysriskit ovat hyvin pienet ja hyvin hallittavissa. Tuotantoprosessien luonteesta johtuen turvallisuuskysymys on tärkeä jatkossakin.

Energian takaisinmaksuaika vaihtelee teknologioittain. Pääosa kaupallisista aurinkokennoista ovat yksi- tai monikiteisiä piikennoja. Raamittomien monikiteisten kennojen energiantakaisinmaksuaika on Suomen olosuhteissa 1,3 vuotta ja raamin lisäksi 0,4 vuotta. Kennon lisäksi tulevat erilaiset oheislaitteet, jotka riippuvat sovelluksesta. Yksikiteiset piikennot ovat energiavaltaisin aurinkokennoteknologia ja takaisinmaksuajat nousevat sillä jopa yli 5 vuoden. Ohutkalvokennojen takaisinmaksuajat ovat piiteknologiaan verrattuna alhaisemmat ja alle



1,5 vuotta voisi tulevaisuudessa olla mahdollista. Pääosa sitoutuvasta energiasta menee kennojen kapselointiin ja prosessiin.

Aurinkokennojen GHG-vähentämispotentiaali riippuu pääosin käytettävästä primäärienergiasta. Itse kennoprosessoinnissa saatetaan myös käyttää SF₆- ja CF₄-yhdisteitä reaktorikammioiden puhdistamiseen ja plasmaetsaukseen. Nämä ovat hyvin voimakkaita kasvihuonekaasuja (6.500 ja 24.000 × CO₂) ja tultaneen korvaamaan muilla aineilla tulevaisuudessa. LCA laskelmat osoittavat, että kokonaisen PV-kattojärjestelmän elinkaaripäästöt ovat nykyteknologialla luokkaa 30-50 g CO₂/kWh. Rakennukseen integroitu aurinkosähkö voisi Suomessa korvata päiväsähköä 870 g CO₂/kWh ja alarajana olisi Suomen sähköntuotannon keskimääräiset päästöt 250 g CO₂/kWh. Välilliset päästöt vähentävät PV:n ilmastomuutospotentiaalia siis 5-20%. Luku pienenee tulevaisuudessa.

Taulukko 5. Yhteenveto aurinkosähköjärjestelmiin liittyvistä ympäristökysymyksistä.

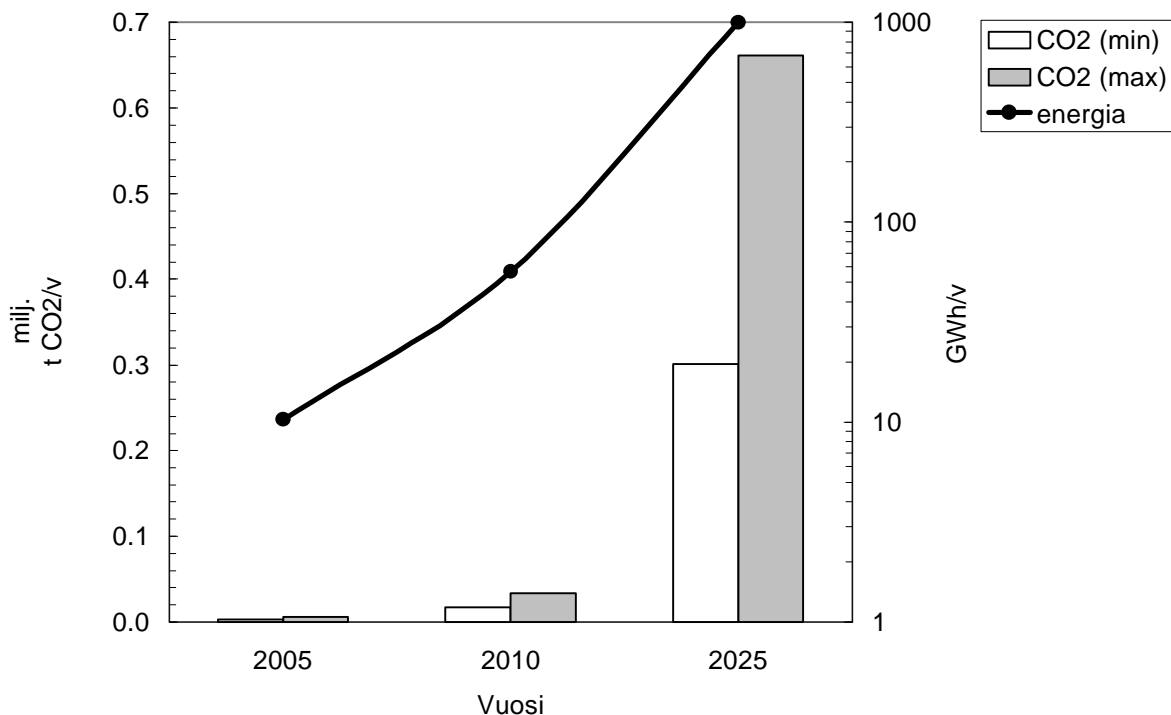
| Ympäristötekijä | Kysymys |
|-------------------------|---|
| Raaka-aineet | In/Ag/Ge/Te saatavuus Raaka-aineiden tehokas käyttö |
| Energian käyttö | Piikkennojen valmistuksessa tarvittava energia Aurinkopaneelien raamien valmistukseen tarvittava energia |
| Ilmastomuutos | Polttoainevalinnat aurinkopaneelien valmistuksessa CFC yhdisteiden päästöt plasmaprosessin yhteydessä |
| Terveys ja turvallisuus | Paineistettujen vaarallisten kaasujen käsittely Ns. mustan listan materiaalit (esim. Cd) |
| Jätteet | Poistettujen aurinkopaneelien jätekäsittely (esim. kierrätys) |
| Maan käyttö | Maanpinnalle rakennettavat vs kattointegroidut PV-järjestelmät |



5. ILMASTOTORJUNNAN POTENTIAALI

Kansallisen aurinkoenergiaohjelman tavoitteiden energia- ja hiilidioksidivaikutukset on esitetty kuvassa 14. Vuonna 2010 energiavaikutus on korkeintaan 0,1 TWh/v ja vuonna 2025 voitaisiin päästä tasolle 1 TWh/v. Kansallisen tavoite vuoteen 2010 vastaa 1/2 vuoden aurinkolämmön rakentamista Itävallassa tällä hetkellä.

Hiilidioksidipäästöjen väheneminen riippuu korvattavasta energialähteestä. Aurinkosähkön kohdalla yläraja tulee hiililauhteesta ja alaraja Suomen sähköntuotannon keskimääräisistä hiilidioksidipäästöistä. Aurinkolämpö korvaisi lähinnä kevyttä polttoöljyä. Vuonna 2010 aurinkoenergian ilmastomuutoksen torjuntapotentiaali olisi 0,02-0,04 ja vuonna 2025 0.3-0.7 milj. t CO₂. Laskelmien pohjana on tässä käytetty lähteessä /Teknologia ja kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen, KTM julkaisuja 1/2001/ esitettyjä päästökertoimia ja vertailukohtien kustannustietoja.

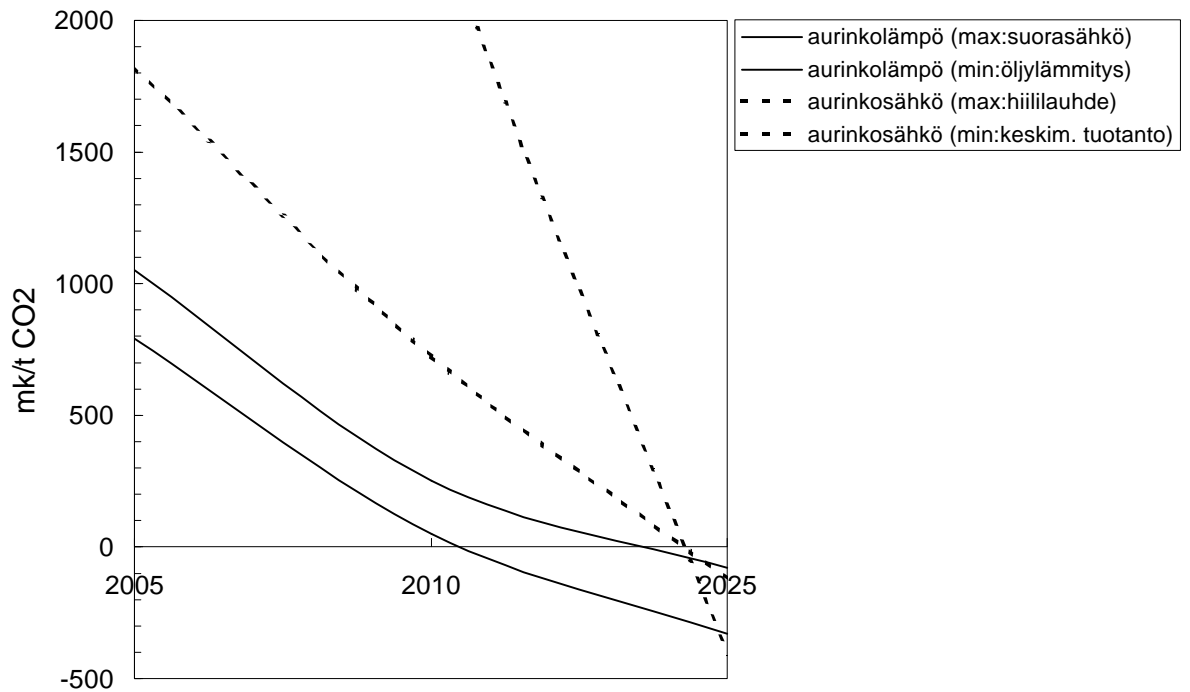


Kuva 14. Kansallisen aurinkoenergiaohjelman arvioitu energiavaikutus ja hiilidioksidipäästöjen väheneminen.

CO₂:n torjuntakustannus aurinkoenergian avulla on vielä lähivuosina vähintään 1.000 mk/t CO₂. Mikäli aurinkoenergian suotuisa hintakehitys jatkuu edelleen olisi vuonna 2010 aurinkolämmön kustannus 50-250 mk/t CO₂ ja PV:lle 700-2.500 mk/t CO₂. Vuoteen 2025



ulottuvalla tarkastelujaksolla kustannus olisi jo negatiivinen. Kuvassa 15 on lähemmin esitetty CO₂ vähentämiskustannuksia.



Kuva 15. CO₂ vähentämiskustannus aurinkoenergian avulla.