

Ari Haverinen

# Aurinkoenergia asuinrakennuksissa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

17.1.2013

Tekijä Otsikko	Ari Haverinen Aurinkoenergia asuinrakennuksissa
Sivumäärä Aika	39 sivua 17.1.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Koneautomaatio
Ohjaaja	TkT Jari Savolainen
<p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia auringonsäteilyenergian keräämistä ja käyttöä asuinrakennuksissa. Työssä tarkastellaan Tampereella sijaitsevaan omakotitaloon asennetun aurinkolämpökeräinjärjestelmän toimintaa ja etsitään toimenpiteitä, joilla keräinten tuottoa voitaisiin parantaa.</p> <p>Työn alussa tutkittiin teoreettisella tasolla aurinkoenergian syntyä sekä maan ilmakehän eri kerrosten ja niiden sisältämien erilaisten aineiden vaikutusta säteilyyn, sen kulkiessa ilmakehän läpi. Lisäksi tutustuttiin Auringon korkeuskulman muutoksiin ja niiden vaikutukseen aurinkoenergian hyödyntämisessä.</p> <p>Työssä tutustuttiin asuinrakennuskäytössä oleviin aurinkokeräinjärjestelmiin ja niiden toimintaperiaatteisiin, sekä energian siirtotapoihin eri sovelluksissa. Aurinkokeräimelle etsittiin sopivaa asennuskulmaa ja arvioitiin 2-akseliseurantaa hyödyntävän aurinkoenergiasovelluksen toimintaa ja tuottoa.</p> <p>Lopuksi teoreettisen tutkinnan ja asennetun aurinkokeräinjärjestelmän tarkastelun jälkeen esitettiin ehdotukset, joilla voitaisiin parantaa tarkasteltavana olleen järjestelmän tuottoa.</p>	
Avainsanat	Aurinkoenergia, aurinkokeräin, akseliseuranta

Author Title	Ari Haverinen Solar Energy in Residential Buildings
Number of Pages Date	39 pages 17 January 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Machine Automation
Instructor	Jari Savolainen, D. Sc. (Tech.)
<p>The objective of this graduate study was to examine the different methods of collection and usage of solar energy in residential buildings. In this study a solar energy collector was examined that has been installed in a residential building located in Tampere.</p> <p>The graduate study was carried out as follows: Firstly, the theory of solar radiation and impact of the Earth's atmosphere as solar radiation travels through it were studied. Furthermore, the changes of the sun's declination angle and its effect on the solar energy collector were calculated. The differences in solar energy collector's applications on residential buildings were investigated as well. In addition, the utilization of a 2-axis solar tracker and its benefits in production were studied.</p> <p>Finally, after examining the installed solar energy collectors and the theoretical study, recommendations were suggested to improve the system's efficiency.</p>	
Keywords	Solar energy, solar collector, axial tracking

## ALKUSANAT

Nuoresta miehenalusta, joka aikanaan ammattikoulussa opintojensa alkuvaiheessa haaveili opiskelevansa insinööriksi, on nyt tullut insinööri. Tähän insinööriyöhön päättyy minun puurtamiseni sen unelman eteen, nyt elän sitä.

Opintoihin vierähtäneiden vuosien aikana olen oppinut paljon matematiikasta, fysiikasta, mekaniikasta, kielistä, jne. Sitäkin enemmän olen oppinut ihmisistä, inhimillisyydestä ja itsestäni. Toivon oppimallani voivani olla toisia kannustamassa ja tukemassa, opettamassa ja kasvattamassa, kehittämässä ja rohkaisemassa, palvelemassa ja johtamassa.

Kiitos teille ystävät, jotka kuljitte kanssani kappaleen matkaa. Kiitos teille opettajat, jotka opetitte minua, toivon teille voimia ja virkeyttä jatkaa.

Jag vill tacka er alla mina kära vänner för minnesvärda stunder vi har haft. Låt oss fortsätta.

Erityiskiitokseni osoitan iki-ihanalle ja rakkaalle vaimolleni Eevalle, kiitos, sinäkin olet aarre.

Björnberget 17.1.2013

Ari Haverinen

## Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkoenergia	2
2.1	Sähkömagneettinen säteily	2
2.1.1	Ultraviolettisäteily	3
2.1.2	Näkyvä valo	3
2.1.3	Infrapunäsäteily	3
2.2	Säteilyn aallonpituusjakauma	4
2.3	Auringonsäteily maassa ja ilmakehän vaikutus	5
3	Deklinaatio	8
4	Auringon energian hyödyntäminen	10
4.1	Aurinkokeräin	11
4.1.1	Tasokeräin	11
4.1.2	Tyhjiöputkikeräin	13
4.1.3	Kuumailmakeräin	14
4.2	Aurinkopaneeli	15
4.2.1	Valosähköinen ilmiö	15
4.2.2	Epäpuhtausjohtavuus	16
4.2.3	Aurinkopaneelityypit	17
5	Energian siirtäminen	19
5.1	Lämmön siirtäminen	19
5.2	Sähkön siirtäminen	21
6	Asennuskulma	22
7	Akseliseuranta	24
8	Tarkasteltava järjestelmä	26
8.1	Lähtötilanne	26
8.2	Korjausehdotuksia	28

9	Aurinkoenergian tulevaisuudennäkymät	30
10	Yhteenveto ja pohdintaa	31
	Lähteet	32

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä selvitetään aurinkoenergian hyödyntämistä asuinrakennuksissa, sekä tarkastellaan asennetun järjestelmän toimintaa. Aurinkoenergian hyödyntäminen talojen lämmitys- ja sähköjärjestelmissä on lisääntynyt viimeisten vuosien aikana. Sähköverkon ulkopuolella olevissa vapaa-ajan asunnoissa aurinkosähköjärjestelmiä on hyödynnetty jo pidempään. Aurinkopaneelien kehityksen myötä järjestelmistä on tullut melko yleisiä mm. purjeverneilijöiden ja karavaanareiden keskuudessa. Uudet asuinrakennukset varustetaan usein aurinkokeräimillä, joten aurinkoenergian hyödyntäminen myös asuinrakennuksissa on yleistynyt.

Ihmisten kasvanut tietoisuus ja huoli ympäristön tilasta yhdessä jatkuvasti kohoavan sähkönhinnan kanssa on antanut lisäpotkua uusiutuvien energialähteiden kysynnälle ja kehitykselle. EU:n ilmasto- ja energiastrategia, jossa mm. asetettiin tavoitteeksi nostaa uusiutuvan energian osuus keskimäärin 20 %:iin loppukulutuksesta vuoteen 2020 mennessä, sekä EU:n kasvihuonepäästöjen päästökauppajärjestelmä vaikuttavat sähköntuotannon kustannuksia nostavasti.

Tässä työssä keskityttiin asuinrakennuksissa soveltamiskelpoisiin ratkaisuihin, sekä tutkittiin jo olemassa olevan järjestelmän toimintaa sekä esitettiin toimenpiteitä, joilla sen tuottavuutta voitaisiin nostaa.

## 2 Aurinkoenergia

Aurinko on pääasiassa vedystä ja heliumista koostuva kaasupallo, jonka pitää koossa sen oma paino. Kaasu on täysin ionisoitunutta, eli elektronit ovat irronneet atomiydinten ympäriltä. Kuumuuden ansiosta nämä hiukkaset liikkuvat niin nopeasti, että törmäyksissäkään ydinten ja elektronien välinen sähköinen vetovoima ei riitä pysäyttämään niitä toistensa luo ja yhdistämään niitä atomeiksi. Tällaista ionisoitunutta kaasua kutsutaan plasmaksi.

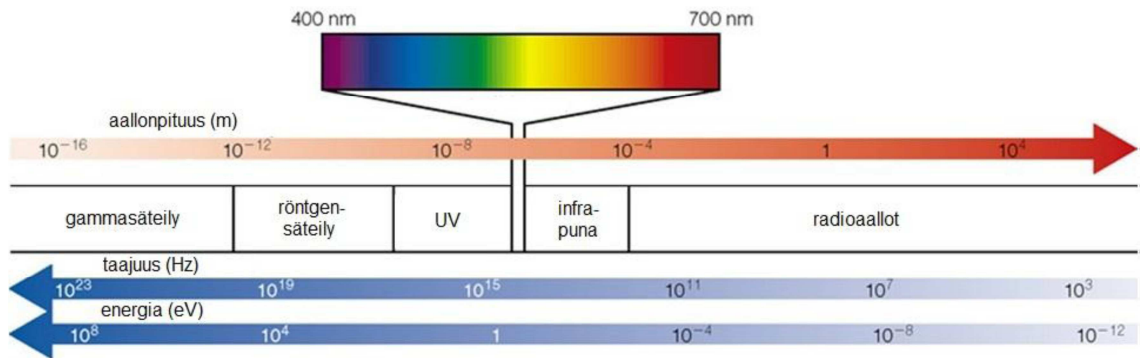
Auringon säteilemä energia syntyy sen ytimessä. Siellä lämpötila eli hiukkasten keskimääräinen liike-energia on niin suuri, että pienimmät atomiytimet voivat törmätessään voittaa keskinäisen sähköisen poistovoimansa ja yhtyä raskaammaksi ytimeksi. Tämä fuusioprosessi voi edetä monien eri välivaiheiden kautta, mutta lopputulos on aina sama: neljä vety-ydintä eli protonia yhtyy yhdeksi heliumytimeksi. Auringossa fuusioituu joka sekunti 600 miljoonaa tonnia vetyä 596 miljoonaksi tonniksi heliumia. Neljä miljoonaa tonnia massaa muuttuu energiaksi, suhteellisuusteorian kaavan  $E=mc^2$  mukaan. Energia vapautuu suurienergisiinä fotoneina ja kulkeutuu vähitellen auringon pinnalle. Matkalla se muuttuu vähä-energisemmäksi ja sen aallonpituus pitenee. Pinnalle päästyään se säteilee edelleen avaruuteen sähkömagneettisena säteilynä (näkyvänä valona, infrapunäsäteilynä sekä ultraviolettisäteilynä). [1; 2; 3; 4.]

Auringon kokonaisenergian tuotto on  $3,8 * 10^{20}$  MW, mikä jaettuna kohti pinta-alayksikköä tekee 63 MW/m<sup>2</sup>. Maapallo vastaanottaa vain murto-osan auringon kokonais säteilyenergiasta, vain  $1,7 * 10^{11}$  MW. On laskettu, että 84 minuutin aikana maahan tuleva säteily riittäisi kattamaan koko maailman energiantarpeen. [12, s. 49.]

### 2.1 Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettisella säteilyllä tarkoitetaan sähkömagneettista aaltoa, joka kuljettaa mukanaan sähkö- ja magneettikentän varastoimaa energiaa. Sähkömagneettinen säteily jaetaan syntytapansa perusteella aallonpituus- ja taajuusalueisiin, jotka muodostavat sähkömagneettisen säteilyn spektrin, kuvassa 1. Alueet menevät osittain päällekkäin, eivätkä niiden väliset rajat ole tarkkoja. Ihmissilmä havaitsee spektristä vain osan, näkyvän valon alueen. [5; 6, s. 313.]





Kuva 1. Sähkömagneettisen säteilyn spektri (näkyvän valon alue suurennettuna) [5].

### 2.1.1 Ultraviolettisäteily

Näkyvää valoa lyhytaaltoisempaa säteilyä kutsutaan ultraviolettisäteilyksi (UV). Aallonpituusalue UV-säteilyssä on  $\lambda \approx 30$  nm -  $\lambda \approx 400$  nm. UV-säteilyä syntyy näkyvää valoa synnyttävien atomien ja molekyylien siirtymiä suuremmissa energianmuutoksissa. [6, s. 317.]

### 2.1.2 Näkyvä valo

Auringon valo voidaan hajottaa prisman avulla eri aallonpituuskomponentteihin, eli väriin. Kukin väri vastaa tiettyä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituutta. Näkyvän valon alue on aallonpituuksien  $\lambda \approx 400$  nm ja  $\lambda \approx 700$  nm välillä, tämä onkin koko spektriin verrattuna erittäin kapea. Näkyvää valoa syntyy elektronien siirtyessä atomeissa sopivalta energiatasolta toiselle. [6, s. 316.]

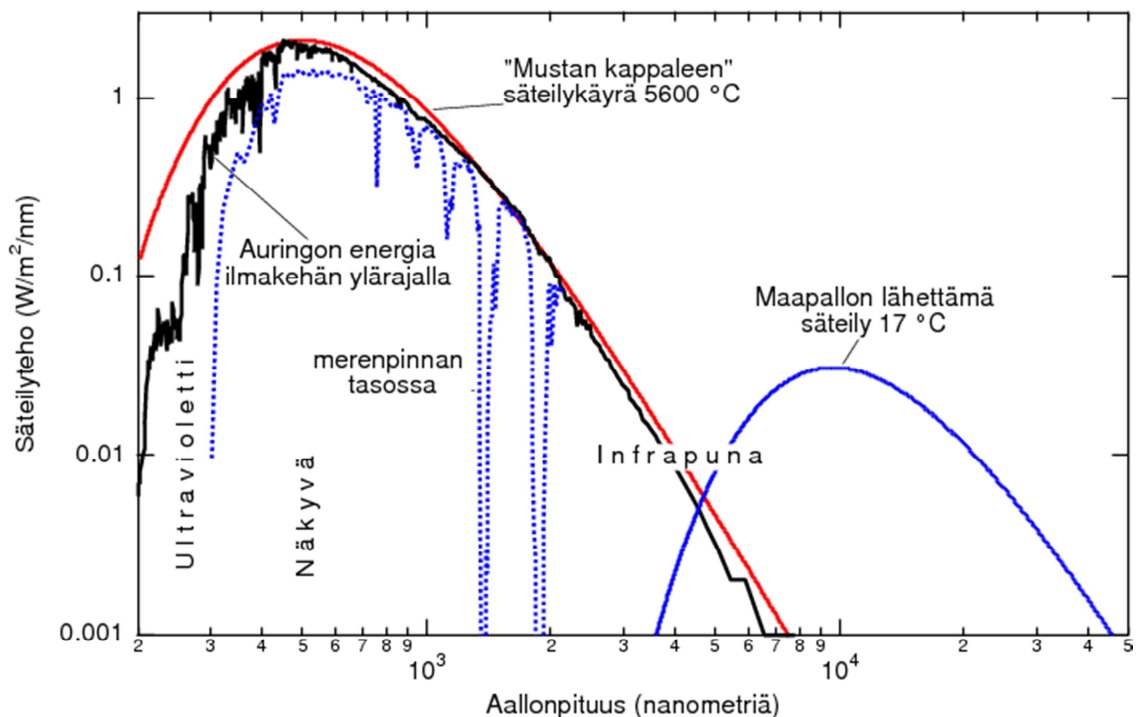
### 2.1.3 Infrapunasäteily

Infrapunasäteilyn aallonpituusalue ulottuu näkyvän valon alueelta  $\lambda \approx 700$  nm:stä millimetrialueelle, mennen osittain päällekkäin mikroaaltoalueen kanssa. Atomien ja molekyylien lämpöliikkeen muutoksissa syntyy infrapunasäteilyä, joten sitä kutsutaankin usein lämpösäteilyksi. [6, s. 314.]

## 2.2 Säteilyn aallonpituusjakauma

Auringon säteilemä energia on suurimmillaan näkyvän valon alueella, tarkasteltaessa energian määrää aallonpituusväliä kohden. Auringon säteilemästä energiasta noin puolet on näkyvän valon alueella, hieman alle puolet infrapuna-alueella ja loput, varsin pieni osa ultraviolettisäteilyn alueella.

Auringon säteilytehon jakauma, eli spektri, eri aallonpituuksilla on havainnollistettu kuvassa 2. Ns. mustan kappaleen spektri, joka kuvastaa 5600 °C lämpöisen kappaleen säteilyn teoreettinen aallonpituusjakauma on piirretty kuvassa punaisella. Mittauksiin perustuva auringon säteilykäyrä on kuvassa mustalla, se noudattaakin varsin tarkasti teoreettista mallia, mutta on ultraviolettialueella teoreettista säteilytehon mallia pienempi. Auringon mitattu spektri maanpinnalla on kuvassa sinisellä katkoviivalla. Joitakin aallonpituuksia infrapunasäteilystä ja suuri osa ultraviolettisäteilyä on suodatunut maan ilmakehään. Sininen käyrä on teoreettinen malli maapallon lämpöisen kappaleen lähettämästä säteilystä. Sinisen käyrän huippu on pitkäaaltoisella infrapunasäteilyn alueella ja aivan liian viileä säteilläkseen näkyvää valoa, kuten Aurinko. [8.]



Kuva 2. Auringon säteilemän energian aallonpituusjakauma [8].

### 2.3 Auringonsäteily maassa ja ilmakehän vaikutus

Maanpinnalla auringonsäteily on alle aurinkovakion, koska suuri osa siitä siroaa, hajaantuu, heijastuu takaisin avaruuteen ja absorboituu ilmakehään. Osa sironneesta säteilystä päätyy lopulta maanpinnalle koko taivaankannen alueelta, tätä kutsutaan hajasäteilyksi. Auringonsäteilyä, joka tulee suoraan ilmakehän läpi maanpinnalle, kutsutaan suoraksi säteilyksi.

Auringonsäteilyn voimakkuuteen maanpinnalla vaikuttavat:

- otsonikerroksen paksuus
- säteilyn ilmakehässä kulkema matka
- ilmakehän utuisuus (pölyhiukkaset, vesihöyry, jne.)
- pilvipeitteen laajuus.

Maan ilmakehä sisältää erilaisia kaasumaisia aineita, leijuvaa pölyä ja muita pieniä kiinteitä ja nestemäisiä hiukkasia sekä erityyppisiä pilviä. Säteilyn kulkiessa ilmakehän läpi, lyhytaaltainen säteily, kuten röntgen- ja gammasäteily absorboituu ionosfääriin. Stratosfäärissä UV-säteily vuorostaan absorboituu otsonikerrokseen. Alemmissa ilmakehän kerroksissa lyhytaaltoista infrapunasäteilyä absorboituu vesihöyryyn ja hiilidioksidiin. Pitkäaaltoinen säteily absorboituu tehokkaasti veteen ja hiilidioksidiin. Auringonsäteily siis heikkenee ennen pääsyään maanpinnalle. Auringonsäteilyn heikentyminen sen matkatessa maan ilmakehän halki riippuu sen ilmakehässä kulkeman matkan pituudesta. Auringon ollessa zenitissä sen kulkema matka merenpinnan tasolle on määriteltä yhdeksi ilmamassaksi, korkeuskulman laskiessa ilmamassan luku muuttuu suuremmaksi. Korkeuskulman vaikutus voidaan laskea kokeellisesti määritellystä yhtälöstä

$$I = 1100W / m^2 e^{-0,17 / \sin \alpha} \quad (1)$$

missä  $\alpha$  on auringon korkeuskulma horisontista.

Maan ilmakehän kaasut ja aerosolit muovaavat auringonsäteilyä eri tavoin. Tällaisia ovat mm. sironta, absorptio, refraktio ja skintillaatio.

*Sironnassa* säteily muuttaa suuntaansa kohdatessaan esteen tai tiheyden muutoksen aineessa, jossa se kulkee. Ilmamolekyylit typpi, happi, otsoni ja muut kaasumaiset aineet sirottavat säteilyä. Sironnan voimakkuuteen vaikuttavat säteilyn aallonpituus ja kohdatun esteen koko ja muoto. Mitä lyhyempi on säteilyn aallonpituus, sitä voimakkaampaa on sironta, tämä on niin sanottua Rayleigh-sirontaa. Pilvien vesipisarot, savu, tulivuoren kaasut ja muut pienhiukkaset aiheuttavat Mie-sirontaa, jossa säteily siroaa aallonpituudesta riippumatta.

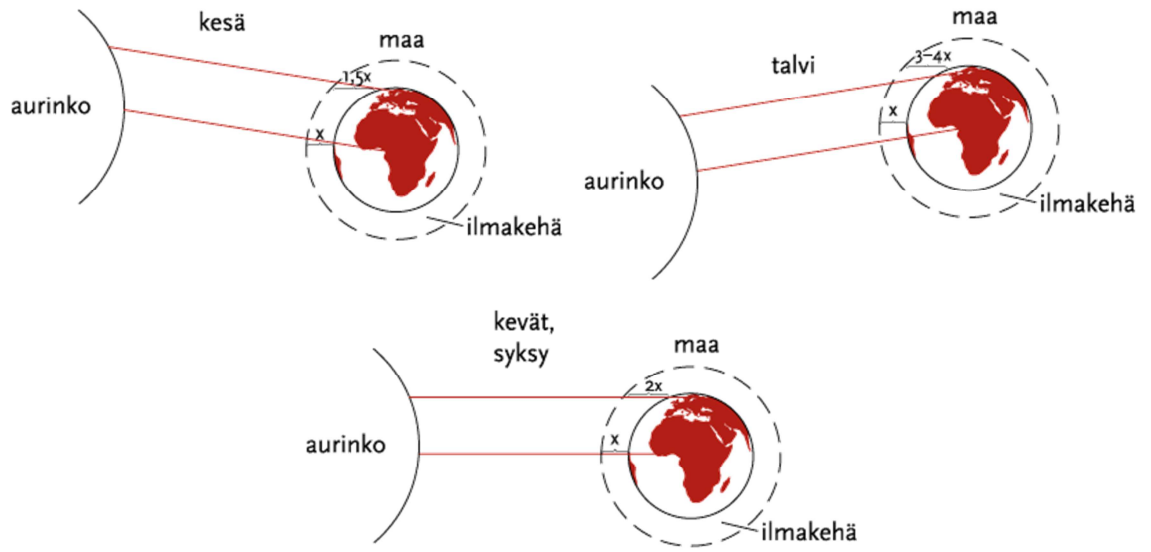
*Absorptiossa* säteily imeytyy ilmakehän kaasumaisiin molekyyliin ja pienhiukkasiin, kuten savuun, pilvien vesihöyryyn ja aerosoleihin. Otsoni absorboi tehokkaasti ultraviolettisäteilyä.

*Refraktio* on ilmiö, jossa valonsäde taittuu optisesti eri tiheyttä olevien aineiden rajapinnassa tai taitekertoimen muuttuessa. Refraktio- eli taittumisilmiöt syntyvät valon taittuessa ja heijastuessa eri lämpöisten ilmakerrosten rajapinnoista. Ilmakehässä tapahtuva refraktio riippuu ilman tiheydestä, johon vaikuttaa sen paine, lämpötila, kosteus, valon aallonpituus ja valon ilmakehässä kulkema matka. Refraktio on suurimmillaan horisontissa ja pienimmillään zenitissä, eli suoraan pystysuorassa ylhäällä.

*Skintillaatioksi* kutsutaan ilmiötä, joka muodostuu ilmakehän lämpötilaltaan ja tiheydeltään erilaisten kerrosten välissä syntyvässä väreilyssä. Väreily syntyy virtauksista ja pyörteisyydestä. Kun valo läpäisee väreilevän ilmakerroksen, tapahtuu nopeita refrakti- on erisuuntaisia muutoksia, tällöin näyttää siltä kuin valo vaihtelisi ja tuikkisi. [15; 16.]

*Hajasäteilyn* osuus auringonsäteilystä maanpinnalla vaihtelee merkittävästi. Kirkkaalla säällä hajasäteilyn osuus on noin 20 %, kun taas pilvisellä säällä se voi olla jopa 80 %. Keskimäärin hajasäteilyä on puolet kokonaissäteilystä. [20.]

Kuvassa 3 havainnollistetaan auringonsäteilyn kulkeman matkan vaihtelua eri vuodenaikoina.



Kuva 3. Auringonsäteilyn ilmakehässä kulkema matka eri vuodenaikoina.

### 3 Deklinaatio

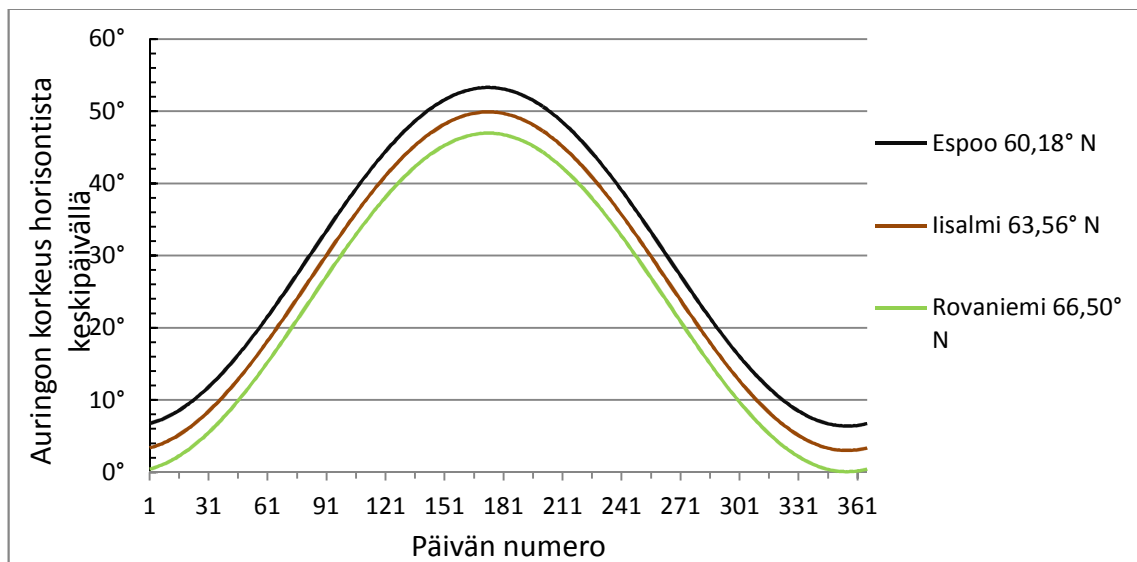
Kiertäessään aurinkoa maapallo pyörii samalla oman kallistuneen akselinsa ympäri, tästä johtuen auringon korkeus taivaalla vaihtelee eri vuodenaikoina. Auringon korkeuskulmaa päiväntasaajaan nähden kutsutaan deklinaatioksi. Kevät- ja syyspäiväntasauksena deklinaatio on  $0^\circ$ , kesäpäivänseisauksena auringon ollessa kravun kääntöpiirillä deklinaatio on  $+23,5^\circ$  ja talvipäivänseisauksena auringon ollessa kauriin kääntöpiirillä  $-23,5^\circ$ . (Kuvat 4 ja 5.) Auringon deklinaatio voidaan laskea yhtälöstä, jossa  $\delta$  on deklinaatio ja  $N$  päivän numero

$$\delta = 23,45 * \sin\left[\frac{360}{365}(284 + N)\right] \quad (2)$$

Auringon korkeuskulmaan  $\alpha$  vaikuttaa sijainnin leveyspiiri  $\phi$ , auringon deklinaatio  $\delta$  ja kellonaika (tuntikulma  $h$ )

Auringon maksimikorkeus horisontista voidaan laskea yhtälöstä

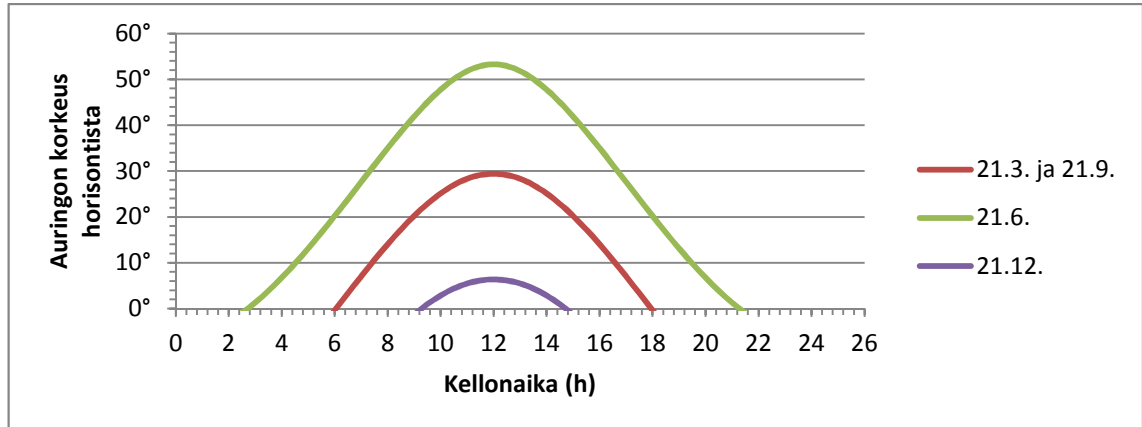
$$\alpha_{\max} = 90^\circ + \delta - \phi \quad (3)$$



Kuva 4. Auringon maksimikorkeuskulma vuoden eri päivinä.

Auringon korkeus horisontista eri vuorokauden aikoina saadaan kaavalla

$$\sin \alpha = \sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos h \quad (4)$$



Kuva 5. Auringon korkeuskulma Espoossa tasaus- ja seisauspäivinä.

Maapallo pyörähtää akselinsa ympäri kerran vuorokaudessa, joten maapallo kiertyy  $360^\circ / 24h = 15^\circ / h$ . Tuntikulma  $h$  saadaan laskettua yhtälöstä

$$h = 15^\circ * (Kellonaika - 12) \quad (5)$$

Kesäaikana aurinko on etelässä klo 13, tämä voidaan huomioida laskelmissa, mutta käytännössä käytetään aurinkoaikaa, johon ihmisten määrittämä kellonaika ei vaikuta.

## 4 Auringon energian hyödyntäminen

Auringosta säteilyn muodossa saatava energia ylläpitää lähes kaikkea elämää maan päällä ja säätää sekä ilmastoa. Auringonvalo on maanpinnalla pääenergianlähde, joka voidaan valjastaa käyttöön erilaisten synteettisten ja luonnollisten prosessien avulla. Kaikkein tärkein on fotosynteesi, jota kasvit käyttävät vangitessaan auringon säteilyenergiaa muuntaen sen kemialliseen muotoon. Fotosynteesi on auringonvalon, hiilidioksidin ja veden yhdistymistä, jossa syntyy glukoosia ja happea. Yleisesti ottaen kaikki energiamuodot maailmassa, lukuun ottamatta ydinvoimaa, ovat peräisin Auringosta. Öljy, hiili, maakaasu ja puu ovat alkujaan syntyneet fotosynteettisissä prosesseissa, joita ovat seuranneet monimutkaiset kemialliset reaktiot. Tuuli ja virtaukset syntyvät auringon vaikutuksesta, maan alueittaisista lämpötilaeroista. Auringon avulla on myös kuivattu ruokaa, haihdutettu merivettä tuottaessa suolaa yms. [12, s. 1.]

Auringonsäteilyn teho maan pinnalla on 170 000 TW ( $17 \cdot 10^{16}$  W), tästä määrästä voidaan kuitenkin hyödyntää vain pieni osa. Aurinkoenergiasovellukset voidaan jakaa lämpöä ja sähköä tuottaviin, teknisesti sovellukset ovat täysin erilaiset. [7.]

Auringonsäteilyä voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti.

Aktiivisissa sovelluksissa auringonsäteilyn keräämisessä käytetään aktiivisia teknisiä laitteita, esimerkiksi sähkön tai lämmön keräämiseen kehitettyjä laitteita.

Passiivinen aurinkoenergian hyödyntäminen tarkoittaa auringonsäteilyn, sekä valon että lämmön, hyödyntämistä ilman laitteita tai mekaanisia keinoja, arkkitehtonisin keinoin. Yksinkertaisin tapa on hyödyntää päivänvaloa keinovalojen sijasta, tämä on yksi syy siihen, miksi rakennuksissa on ikkunoita. Rakennukset voidaan suunnitella siten, että ikkunoita on paljon etelään päin, jolloin auringonsäteily pääsee lämmittämään rakennuksen sisäpintoja ja absorboivia rakennusosia. Auringonsäteilyn passiivista hyödyntämistä rakennuksissa kutsutaan aurinkoarkkitehtuuriksi. [9; 17, s. 80; 18.]



## 4.1 Aurinkokeräin

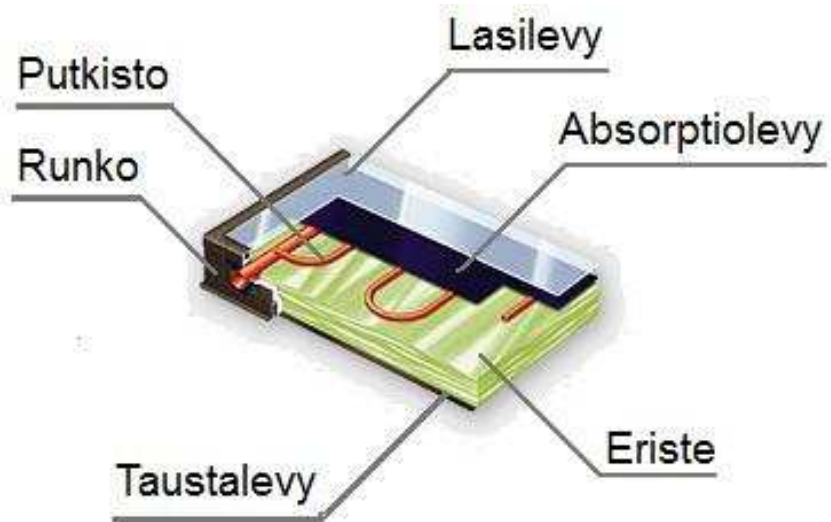
Aurinkokeräimen tarkoituksena on muuttaa auringon säteilemää energiaa lämmöksi. Keräin koostuu kotelosta, valoa läpäisevästä levystä, putkistosta, absorptiolevyistä ja eristeestä. Absorptiolevyt imevät auringon säteilemää energiaa itseensä ja lämpenevät. Lämmönsitovuuden parantamiseksi absorptiolevyllä on selektiivinen pinnoite. Selektiivinen pinnoite päästää auringosta tulevan lyhytaaltoisen säteilyn lävitseen ja estää pitkäaaltoista lämpösäteilyä johtumasta ulospäin, näin ollen pinnoitetun materiaalin lämmönsitomiskyky paranee. Absorptiolevyistä lämpö johdetaan keräimessä kiertävään putkistoon, jolloin putkissa virtaava neste tai kaasu lämpenee. Keräimestä lämpö siirretään lämpövarastoon tai suoraan käyttöön.

### 4.1.1 Tasokeräin

Tasokeräimessä (kuva 6) auringonsäteily lämmittää keräimen absorptiolevyä (kuva 7). Absorptiolevystä lämpö johtuu tasokeräimessä kiertävään putkistoon, jolloin putkistossa virtaava neste lämpenee. Keräimen kotelo ja kate estävät absorptiolevyn lämpöä johtumasta pois [9, s. 6].



Kuva 6. Tasokeräin [10, s. 14].



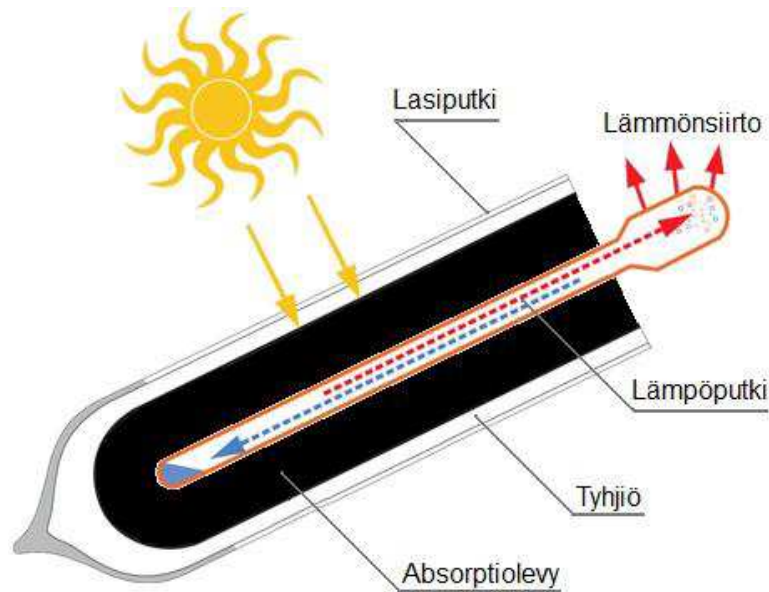
Kuva 7. Tasokeräimen rakenne.

#### 4.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräin (kuva 8) on rakenteeltaan erilainen kuin tasokeräin. Tyhjiöputkikeräimessä absorptiolevy lämpenee auringonsäteilyn vaikutuksesta ja lämmittää lämmönsiirtimenä toimivaa lämpöputkea (engl. heat pipe). Lämpöputken sisällä energia siirtyy nesteen jatkuvan haihtumis- ja lauhtumisprosessin avulla. Absorptiolevyn keräämä lämpö lämmittää lämpöputken sisällä olevaa nestettä, joka höyrystyy lämmön vaikutuksesta ja kulkeutuu putken viileämpään päähän (kuva 9). Viileässä päässä höyry luovuttaa lämpönsä seinämään ja tiivistyy nesteeksi. Neste palaa takaisin lämpöputken toiseen päähän, jossa se lämpenee ja höyrystyy uudelleen. Tyhjiöputkikeräin hyödyntää auringon hajasäteilyä huomattavasti paremmin kuin tasokeräin, joten tyhjiöputkikeräimen asennuskulman vaikutus sen tuottoon ei ole niin konkreettinen kuin tasokeräimellä tai aurinkopaneelilla.



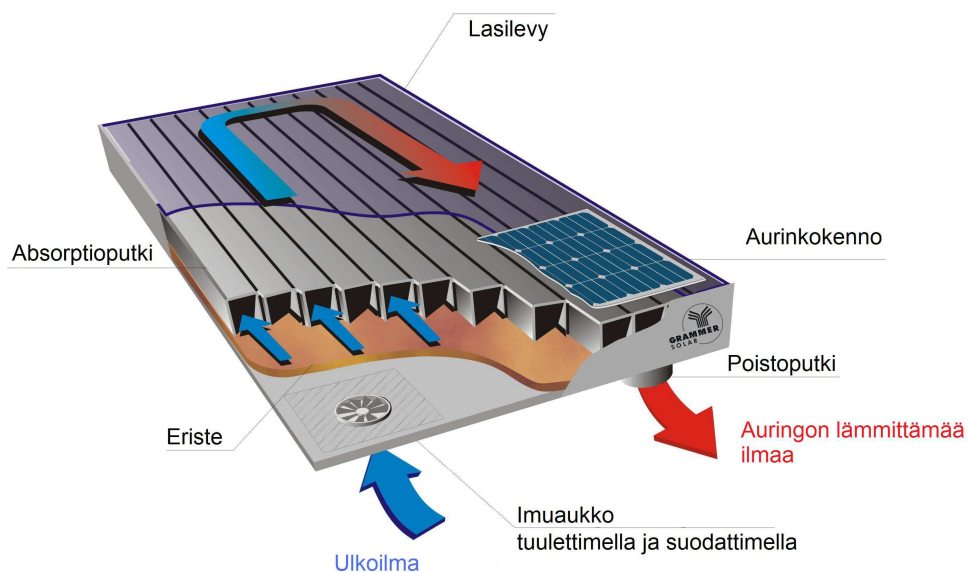
Kuva 8. Tyhjiöputkikeräin [10, s. 18].



Kuva 9. Tyhjiöputken rakenne.

#### 4.1.3 Kuumailmakeräin

Kuumailmakeräimessä on muiden lämpökeräimien tapaan musta absorptiopinta, joka sitoo itseensä auringon säteilyenergiaa ja lämpenee. Keräin on eristetty ja pinnoitettu lasi- tai muovilevyllä (kuva 10). Kun keräimen sisällä oleva ilma on lämmennyt auringon vaikutuksesta haluttuun lämpötilaan, käynnistyy puhallin ja siirtää lämmintä ilmaa valittuun kohteeseen.



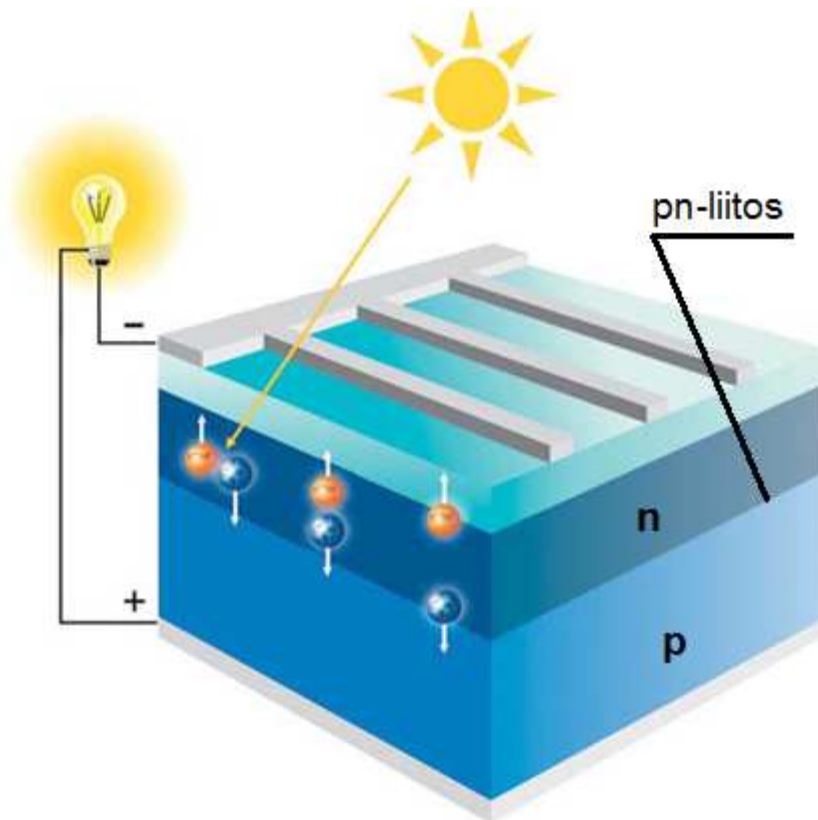
Kuva 10. Kuumailmakeräimen rakenne [11].

## 4.2 Aurinkopaneeli

Aurinkopaneelit ovat puolijohdepiirejä, jotka muuntavat auringonvalon suoraan sähköksi, ilman lämpövoimakonetta tai pyörivää koneistoa. Prosessissa positiiviset ja negatiiviset varauksenkuljettajat vapautuvat kiinteästä aineesta valon vaikutuksesta. Aurinkopaneeleissa ei ole liikkuvia osia, minkä tuloksena se on lähes huoltovapaa ja pitkäikäinen, se tuottaa päästötöntä energiaa ja toimii äänettömästi. Aurinkopaneelijärjestelmiä voidaan rakentaa lähes minkä tehoisia tahansa, milliwateista megawatteihin. Järjestelmät ovat modulaarisia, toisin sanoen paneeleita voidaan lisätä järjestelmään saatavan tehon lisäämiseksi. Aurinkopaneelin antama teho riippuu sen lämpötilasta, viileä kenno antaa enemmän tehoa verrattuna kuumaan. [12, s. 469.]

### 4.2.1 Valosähköinen ilmiö

Kun fotoni saapuu fotosähköiseen materiaaliin, se voi heijastua, absorboitua tai kulkeutua sen lävitse. Fotonin absorboituttua atomin valenssikuoren elektroniin, elektronin energia kasvaa fotonin energian verran. Jos fotonin energia on suurempi kuin puolijohteen energiarako, elektroni, johon fotoni absorboitui, siirtyy johtavuusvyölle, jossa se pääsee liikkumaan vapaasti. Näin ollen, kun fotoni on absorboitunut, atomista vapautuu elektroni. Elektroni voidaan siirtää fotosähköisen materiaalin etu- ja takaseinän välisen sähkökentän avulla, tämä saadaan aikaan pn-liitoksen avulla, sähkökenttä syntyy kun seinät yhdistetään sähköjohtimella. Ilman vaikuttavaa sähkökenttää elektroni rekombinoituu takaisin atomiin; kun taas sähkökentässä se liikkuu, muodostaen sähkövirtaa (kuva 11). Jos fotonin energia on pienempi kuin energiarako, elektronilla ei ole riittävästi energiaa siirtyäkseen johtavuusvyölle ja ylimääräinen energia muuttuu elektronin kineettiseksi energiaksi, jolloin kennon lämpötila kohoaa. Huolimatta fotonin energian voimakkuuden suhteesta energiaraon energiaan, yhden fotonin vaikutuksesta voi vapautua vain yksi elektroni. Tämä on syynä aurinkokennojen matalaan hyötysuhteeseen. Kun aurinkopaneeli yhdistetään sähköjohtimella esim. lamppuun, syntyy virtapiiri, jossa sähkövirta kulkee. [12, s. 474.]



Kuva 11. Aurinkokennon toimintaperiaate [10, s. 28].

#### 4.2.2 Epäpuhtausjohtavuus

Puolijohteen johtavuutta voidaan muuttaa seostamalla siihen toista materiaalia, eli lisäämällä puolijohteeseen epäpuhtausatomeja.

Pii (Si) kuuluu jaksollisen järjestelmän ryhmään 14. Puolijohteita, joihin seostetulla materiaalilla on enemmän elektroneja valenssikuorella kuin puolijohteella, kutsutaan n-tyyppiseksi puolijohdeksi. N-tyyppinen puolijohde on sähköisesti neutraali, mutta sillä on ylimääräisiä elektroneja, jotka ovat vapaita sähkönsiirtoon. Tämä saavutetaan, kun piin atomit korvataan jaksollisen järjestelmän ryhmään 15 kuuluvilla aineilla, kuten arseenilla (As) tai antimonilla (Sb), näin tehtäessä muodostuu elektroneja, jotka voivat liikkua kiteessä. Jos nämä ylimääräiset elektronit poistetaan, jää jäljelle positiivisia varauksia.

Puolijohdeita, joihin seostetulla materiaalilla on vähemmän elektroneja valenssikuorella kuin puolijohdeella, kutsutaan p-tyyppiseksi puolijohdeksi. P-tyyppinen puolijohde on sähköisesti neutraali, mutta sillä on rakenteessaan aukkoja (siltä puuttuu elektroneja),

jotka voivat ottaa vastaan elektroneja. Tämä saavutetaan, kun piin atomit korvataan jaksollisen järjestelmän ryhmään 13 kuuluvilla aineilla, kuten galliumilla (Ga) tai indiumilla (In). Näin tehtäessä muodostuu positiivisia hiukkasia, joita kutsutaan elektroni-aukoiksi, jotka voivat liikkua kiteessä diffuusioitumalla tai ajautumalla.

Molemmat puolijohdetyypit, n- ja p-tyyppi, sallivat elektronien ja aukkojen liikkua helpommin puolijohteessa. Piillä pn-liitoksen ylittämiseen tarvittava energia on 1.11 eV. Tarvittava energia on erisuuruinen kullakin puolijohdemateriaalilla. Kun kaksi materiaalia liitetään yhteen, ylimääräiset elektronit n-tyypistä siirtyvät p-tyypin puolelle täyttämään elektroniaukkoja ja elektroniaukot p-puolelta siirtyvät n-puolelle, jättäen n-puolen positiivisesti varautuneeksi ja p-puolen negatiivisesti varautuneeksi. P-puolen negatiiviset varaukset estävät lisää elektroneja siirtymästä n-puolelta; kuitenkin ylimääräisten elektronien liike p-puolelta on helpompaa liitoksen n-puolen positiivisten varausten takia. Tämän vuoksi pn-liitos käyttäytyy kuten diodi. [12, s. 473.]

#### 4.2.3 Aurinkopaneelityypit

Nykyään on markkinoilla ja kehitteillä monella eri tekniikalla toimivia aurinkopaneeleita.

*Yksikiteinen piikkenno* valmistetaan puhtaasta piistä, kenno on kokonaan yhtä ja samaa kidettä. Yksikiteisten kennojen etuna on korkea hyötysuhde, joka on yleensä luokkaa 15 %. Haittapuolena on monimutkainen valmistusprosessi, josta johtuu korkeammat tuotantokustannukset kuin muilla tekniikoilla. [12, s. 486.]

*Monikiteinen piikkenno* valmistetaan käyttäen useita piikiteitä. Valmistusprosessissa sula monikiteinen pii valetaan sauvoiksi, jotka leikataan todella ohuiksi kidelevyiksi ja kootaan kokonaisiksi kennoiksi. Monikiteisiä kennoja on edullisempi valmistaa kuin yksikiteisiä, yksinkertaisen valmistusprosessin johdosta. Hyötysuhde on kuitenkin huonompi, keskimäärin 12 %. [12, s. 486.]

Kiteisen rakenteen sijaan *amorfinen pii* on valmistettu ohueksi homogeeniseksi kerrokseksi järjestetyistä piiatomeista. Amorfinen pii absorboi valoa paremmin kuin kiteinen pii, jonka ansiosta kenno on ohuempi. Kennojen suurin etu on, että ne voidaan panna monenlaisille alustoille, niin jäykille kuin joustavillekin. Hyötysuhde on kuitenkin heikko, ainoastaan noin 6 %. [12, s. 486.]

*Termovalosähköisessä konversiossa* kennot muuttavat lämpöä sähköksi, mutta toimivat muuten samalla tavalla kuin tavalliset aurinkopaneelit, jotka muuntavat valoa sähköksi. Ainoa ero termovalosähkökennon ja aurinkokennon välillä on, että termovalosähkökenno käyttää puolijohteita, jotka on suunniteltu hyödyntämään pidemmällä aallonpituudella säteilevää energiaa, esim. infrapunasäteilyä jota kaikki lämpimät kappaleet säteilevät. [12, s. 487; 13.]

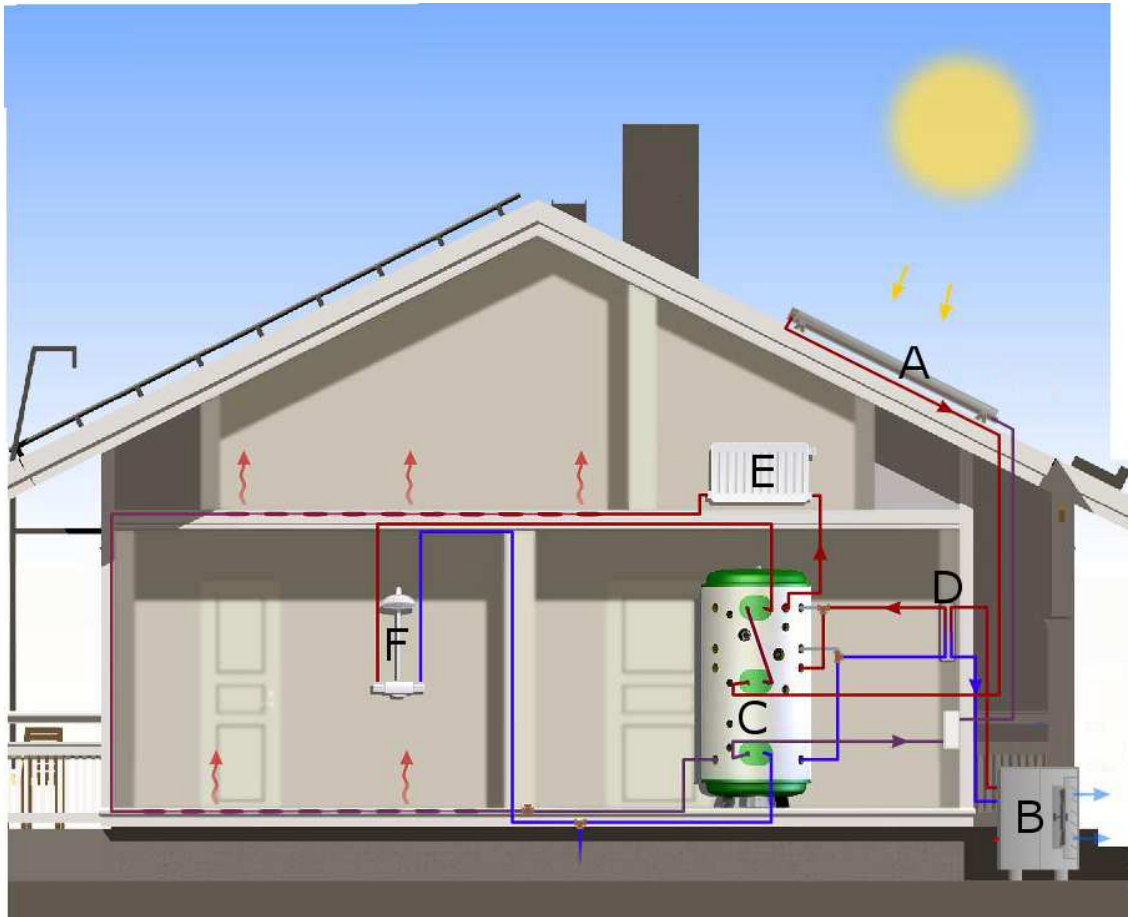


## 5 Energian siirtäminen

Auringonsäteilystä kerätyn energian siirtäminen vaatii kullekin energiamuodolle erilaisen siirtotavan. Tasokeräimen talteenottama lämpö siirretään nesteen tai kaasun avulla putkilla haluttuun kohteeseen, kun taas aurinkopaneelin tuottama sähkö siirretään virtajohtimen avulla.

### 5.1 Lämmön siirtäminen

Lämpökeräimillä tai paneeleilla kerätty energia siirretään joko suoraan käyttöön tai energiavarastoon. Lämpökeräimessä lämmitetty virtaava aine, yleensä neste, siirretään putkistoa pitkin lämminvesivaraajaan lämmittämään varaajan nestettä. Putkiston pituus, eristeen vahvuus ja lämpötilaero putkistossa virtaavan aineen ja ympäröivän ilman välillä vaikuttavat lämpöhäviöiden suuruuteen. Joissakin lähteissä suositellaan putkiston pituudeksi noin 10 m:ä, 20 m pitkä putkisto on varsin pitkä ja energiaa häviää paljon. Energiavarastona voi toimia asuinrakennuksissa vaikkapa maalämpökaivo, johon ylimääräinen lämpöenergia pumpataan, kun keräimet tuottavat lämpöä yli tarpeen. Kun lämmintä nestettä pumpataan kaivoon, kaivon lämpötila nousee ja kaivosta saadaan enemmän energiaa kun tarve vaatii. Tällaisista järjestelmistä on hyviä käyttökokemuksia. Kuvassa 12 havainnollistetaan lämpökeräimen käyttöä talojärjestelmässä.



Kuva 12. Aurinkolämpökeräin talojärjestelmässä.

Kuva 12: aurinko lämmittää katolla olevaa aurinkolämpökeräintä (A), josta kiertopumppu siirtää nesteen mukana energian lämminvesivaraajaan, kun keräimessä olevan nesteen lämpötila ylittää lämminvesivaraajansäiliön lämpötilan (C). Lämminvesivaraajan sisällä on putkikierukka, jossa aurinkolämpöpiirissä kiertävä neste luovuttaa energiansa lämmittämällä lämminvesivaraajan sisällä olevaa vettä. Ilmalämpöpumppu (B) lämmittää piirissään kulkevaa kaasua ja lämmönvaihdin (D) siirtää lämmön lämminvesivaraajan piiriin, jossa se luovuttaa energiansa lämminvesivaraajan veteen. Lämminvesivaraajalta lähtee lämmityspiiri, jossa on radiaattori (E) ja lattialämmitysjärjestelmät. Lämmin käyttövesi otetaan varaajalta omassa putkistossaan (F).

Asennetussa järjestelmässä, jota analysoidaan tässä insinöörityössä, on juuri yllämainitun kaltainen järjestelmä, jossa on tasokeräin sekä ilmalämpöpumppu.

## 5.2 Sähkön siirtäminen

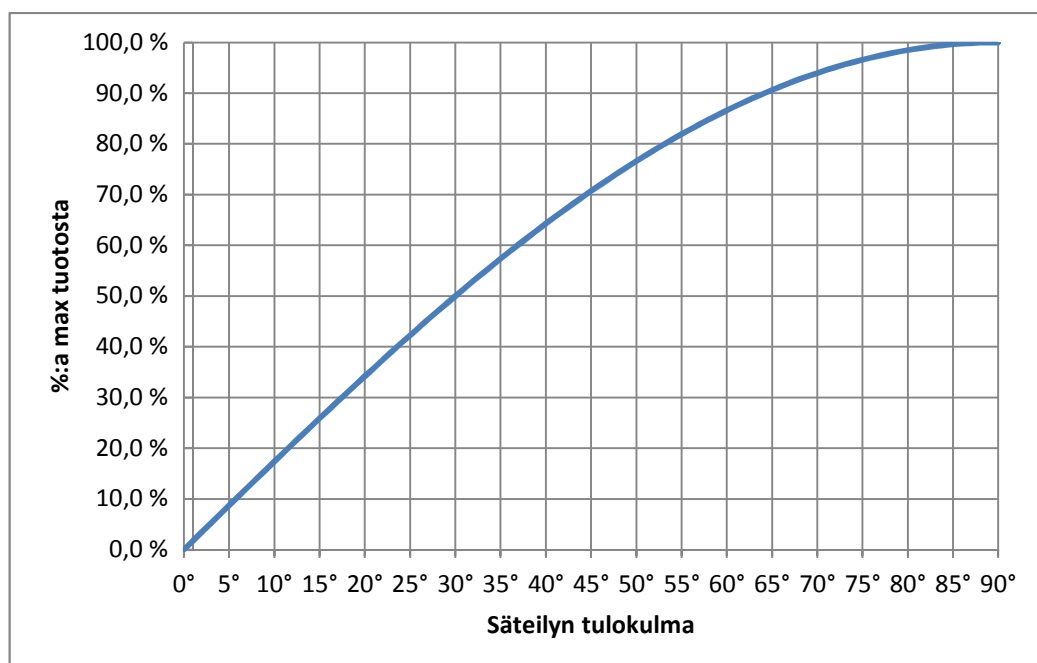
Aurinkopaneelien tuottama sähkövirta siirretään virtajohtimen avulla haluttuun kohteeseen. Virtajohtimen sisäinen resistanssi asettaa kuitenkin fyysisiä rajoitteita virtajohtimen pituudelle. Onkin järjestelmän hyötysuhteen kannalta edullisinta sijoittaa aurinkopaneelit lähelle sähkökäyttökohdetta. Sisäisen resistanssin pienentämiseksi voidaan valita virtajohtimet, joiden poikkipinta-ala on suurempi, jolloin myös resistanssi laskee. Sähkövirtaa voidaan varata akkuihin ja käyttää talon sähköjärjestelmissä tai syöttää verkkoon ja myydä sähköyhtiölle. Aurinkopaneelien pinta-ala ja akuston koko vaikuttavat latausnopeuteen. Suurella akkukapasiteetilla saadaan enemmän virtaa, jolloin järjestelmään voidaan kytkeä useampia sähkölaitteita, tai pienempään akkukapasiteettiin verrattuna käyttää energiaa kauemmin.

## 6 Asennuskulma

Keräinten asennuskulman valintaan vaikuttaa eniten ajankohta, jolloin keräinten halutaan keräävän eniten lämpöä. Termisen kesän aikana (jolloin vuorokauden keskilämpötila ylittää +10 °C, Tampereen seudulla keskimäärin välillä 17.5. – 20.9. [19]) on sisätilojen lämmityksen tarve olematon, näin ollen keräimet lämmittäisivät kyseisenä aikana vain käyttövetä. Lämmityskauden aikana kaikki keräimistä saatavilla oleva energia alentaa muiden lämmönlähteiden kustannuksia, joten pääasiassa lämmityskäyttöön asennuskulma olisi optimaalisinta asentaa kevään ja syksyn maksimaalista tuottoa vastaavaksi.

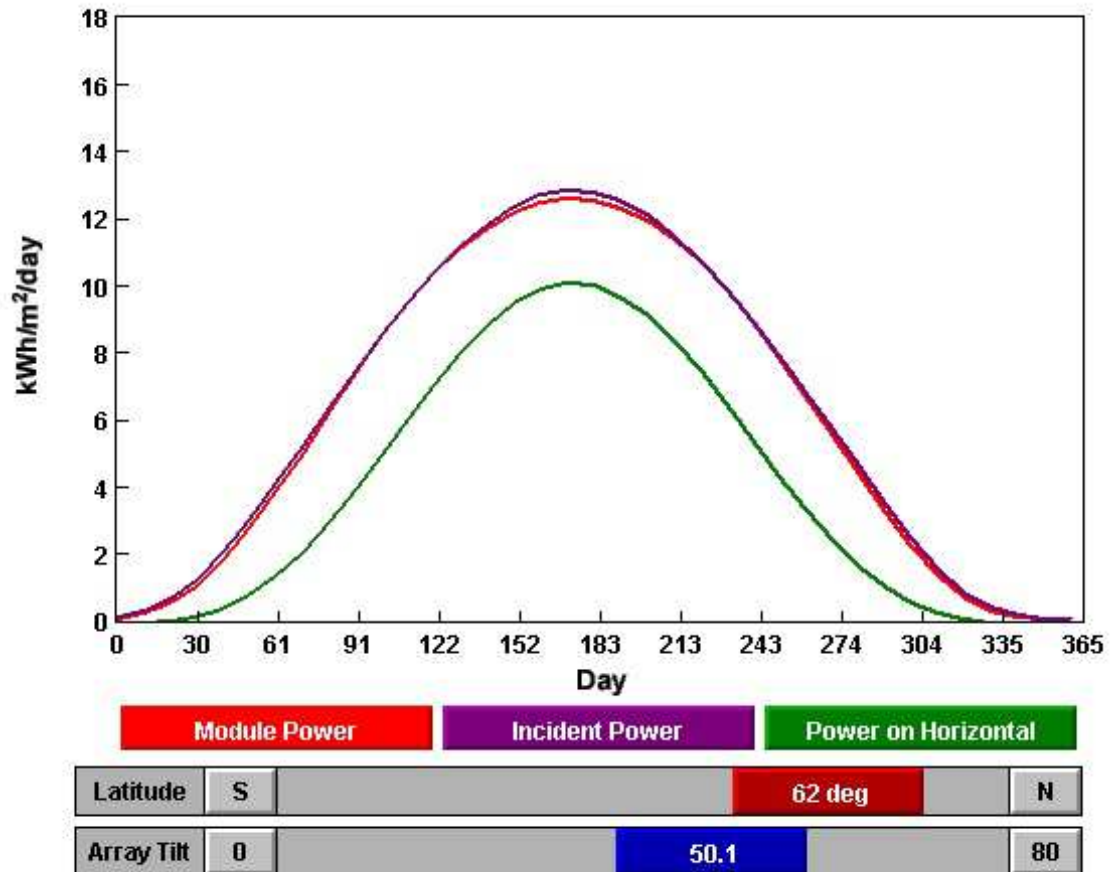
Aurinkopaneeleilla puolestaan asennuskulmaksi olisi parasta valita koko vuoden maksimaalista tuottoa antavaksi.

Kuvasta 13 nähdään tulokulman poikkeaman vaikutus maksimituottoon. Kuvan laskelmissa ei ole otettu huomioon hajasäteilyn vaikutusta tuotantoon, joka vaihtelee huomattavan paljon pilvisyyden mukaan, eikä kahden eri tiheyttä olevan aineen synnyttämää taittumista (säteet tulevat ilmassa ja kulkevat lasin läpi), joten kuvaa voidaan tulkita suuntaa-antavasti.



Kuva 13. Säteilyn tulokulman vaikutus.

Kuvassa 14 on kiinteästi asennetun paneelin tuotannon suhde maksimi- ja horisontaali-tason säteilyyn. Asennuskulma  $50^\circ$  vastaa hyvin lähelle tulosäteilyn maksimia. Kyseisellä kulmalla saataisiin koko vuoden maksimituotanto ja se antaisi keväällä ja syksyllä erittäin hyvän tuoton. Kuvan animaatio on saatavissa osoitteessa: <http://pvcdr.com/pveducation.org/SUNLIGHT/MODTILT.HTM>

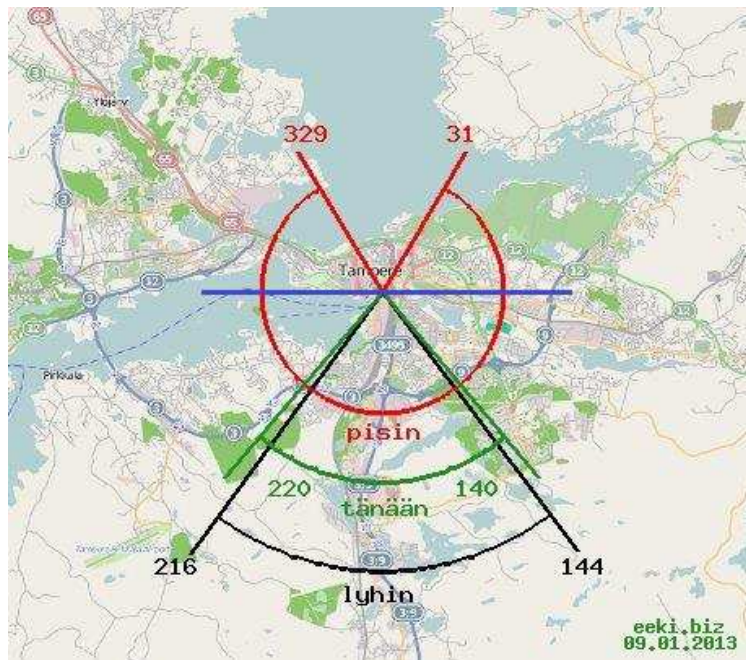


Kuva 14. Kiinteästi  $50^\circ$ :n kulmaan asennetun paneelin tuotannon suhde horisontaalisen ja suoran tulosäteilyn maksimiin Tampereen seudulla.

## 7 Akseliseuranta

Automaatiolla pyritään vähentämään rakennusten energiankulutusta. Automaatiojärjestelmä voi ohjata esimerkiksi lämmitystä, ilmanvaihtoa, valaistusta, jne. Järjestelmien pohjalla on ohjelmisto, joka kerää tietoa antureilla ja ohjaa taloteknisiä järjestelmiä asetettujen arvojen mukaisesti. Automaation avulla voidaan myös nostaa aurinkokeräinten ja -paneelien tuottoa.

Akseliseuranta aurinkoenergiaa hyödyntävissä järjestelmissä antaa maksimaalisen hyödyn järjestelmien tuotolle. Aurinkoenergiaa saadaan hyödynnettyä suurin mahdollinen määrä, kun auringonsäteet tulevat kohtisuoraan paneelia/keräintä vasten. Säteet tulevat kohtisuoraan paneeliin silloin, kun auringon korkeuskulma horisontista ja paneelin asennuskulma vaakatasosta yhteenlaskettuna on  $90^\circ$ . Lisäksi paneelien tulisi osoittaa suoraan kohti aurinkoa, eli atsimuuttikulman tulisi olla auringon kanssa sama. Akseliseurannalla saatava hyöty on merkittävä, sillä keskikesällä aurinko nousee  $59^\circ$  etelään suunnatun paneelin takaviistosta (kuva 15). Kello kuudelta aurinko paistaisi kohtisuoraan paneelin sivulta ollen  $20^\circ$  horisontin yläpuolella, Tällöin saataisiin jo lähes 80 %:n tuotto, (kuva 16). Keskikesällä päivän tuotoksi laskettuna 2-akseliseurannalla varustetun kennoston tuotto olisi noin 215 % suurempi kuin kiinteästi  $40^\circ$ :n asennuskulmassa olevan kennoston.



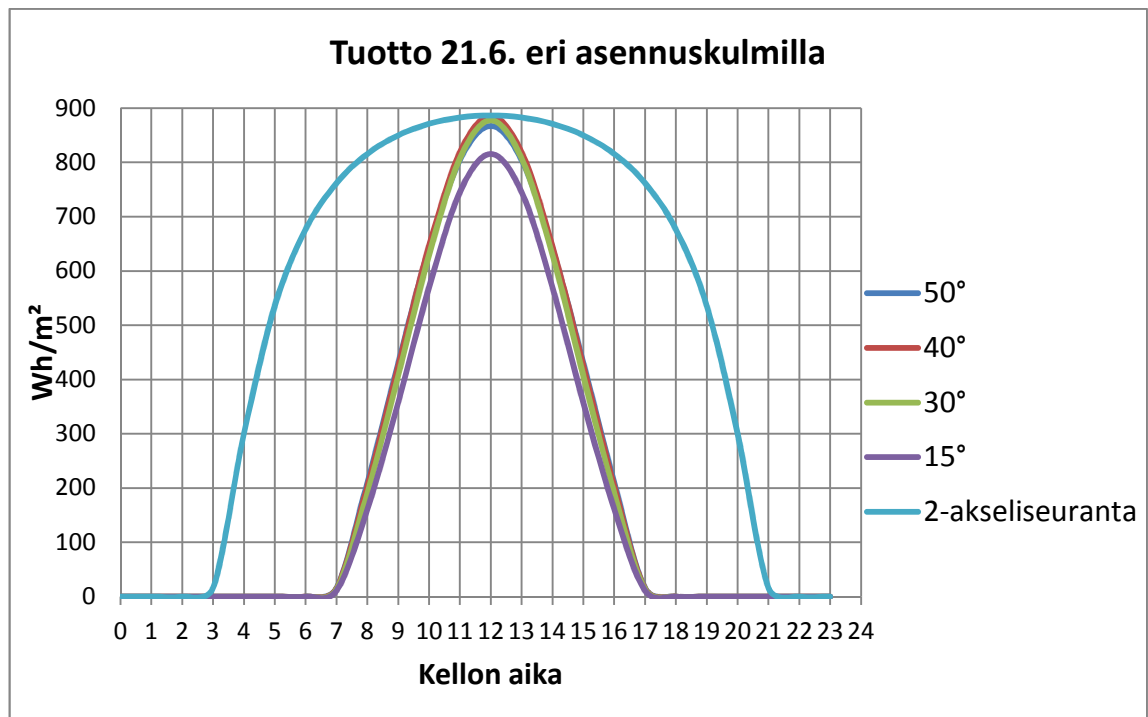
Kuva 15. Auringon nousu- ja laskusuunnat vuoden lyhimpänä ja pisimpänä päivänä, kuvassa on havainnollistettu etelään suunnattu paneeli sinisellä viivalla.

## Akseliseurannan toteutus

Akseliseurannalla varustetun asennuskehikon rakentaminen on periaatteessa melko yksinkertaista. Järjestelmä voisi koostua esimerkiksi seuraavista osista:

- vaaka-akselin asema-anturi ja servomoottori
- pystyakselin asema-anturi ja servomoottori
- ohjausyksikkö.

Asennuskehikon ohjauskulmia voitaisiin säätää vaikkapa 15 min välein. Aurinko liikkuu taivaalla 1 h:n aikana  $15^\circ$ , joka tarkoittaisi kehikon kääntämistä  $3,25^\circ$  vartin välein. Kulman vaikutus tuotantoon on niin pieni, että sen vaikutusta käytännössä on lähes mahdotonta mitata. Tutkimuslaboratoriossa olisi periaatteessa mahdollista saada mitattua lähes olematon muutos tuotannossa, mutta käytännössä hajasäteilyn vaikutuksesta voitaisiin paneelia kääntää vaikkapa vain kerran tunnissa tuotannon olennaisesti laskeutumatta.



Kuva 16. 2-akseliseurannan vaikutus tuottoon, kiinteisiin asennuksiin verrattuna.

## 8 Tarkasteltava järjestelmä

### 8.1 Lähtötilanne

Tässä työssä tarkastellaan tamperelaisen 1960-luvulla rakennetun omakotitalon aurinkokeräinjärjestelmää. Talon lämmitysjärjestelmänä on ollut ajallensa tyypillinen öljykattila, joka lämmittää lämmitysverkossa kiertävää vettä. Järjestelmään on liitetty vuonna 2008 ilmalämpöpumppu ja aurinkokeräinjärjestelmä sekä uusi lämminvesivaraaja, öljypoltinta käytetään vain poikkeustilanteessa varalämmönlähteenä. Ilmalämpöpumppu ja aurinkokeräinjärjestelmä ovat molemmat Oilonin toimittamia. Aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa loppukeväästä alkusyksyyn kohtuullisesti lämpöä, talviaikaan kuitenkin ilmalämpöpumppu tuottaa talon lämmitysjärjestelmän tarvitseman lämpöenergian. Lisäksi talossa on varaava takka, jota lämmitetään säännöllisesti.

Talon omistajat halusivat selvittää, millä toimenpiteillä aurinkolämpökeräimen hyötysuhdetta voitaisiin parantaa.

Ensimmäisenä toimenpiteenä oli järjestelmän toimintaan tutustuminen ja sen kunnon arviointi. Keräinjärjestelmästä mitattiin

- keräinten pinta-ala
- asennuskulma
- asennusilmansuunta
- lämmönsiirtoputkiston pituus sekä
- putkiston eristeenvahvuus ja kunto.

Tasokeräimet ovat katolla varsin loivassa kulmassa, keräimet on asennettu katon myötäisesti noin 16°:n kulmaan (taulukko 1, kuva 17).



Taulukko 1. Tasokeräimen nyky- ja suositusarvot

	mitattu	suositus
keräinten pinta-ala	6,5 m <sup>2</sup>	1,2 - 1,5 m <sup>2</sup> /hlö
asennuskulma	15,7 °	30 – 60 °
ilmansuunta	etelä - kaakko	kaakko - lounas
putkistonpituus	14,7 m	10 m hyvä, 20 m heikko
eristevahvuus	10 mm	
eristeen kunto	heikko	
LV-varaajan koko	750 l	75 - 100 l/hlö



Kuva 17. Tasokeräimet talon katolla.

Lämmönsiirtoputkiston eristeen kunto oli heikko. Jäljistä päätellen näyttäisi siltä, kuin linnut olisivat käyneet nokkimassa eristettä (kuva 18).



Kuva 18. Lämmönsiirtoputkien eristys.

Ohjausyksikön mukaan keräimien lämpötila oli 8 °C, ulkolämpötilan ollessa -1 °C. Kiertovesipumppu on ohjelmoitu käynnistyväksi, kun paneelien lämpötila ylittää 8 °C lämminvesivaraajan keskiosan lämpötilan. Varaajan lämpötila oli 44 °C, joten kierto-vesipumppu ei ollut käynnissä (kuva 19).



Kuva 19. Tasokeräinten ohjausyksikkö.

Talon ilmalämpöpumppu lämmitti kyseisenä tarkasteluajankohtana lämminvesivaraajaa. Ilmalämpöpumpun kompressori oli ollut kuluneiden 24 tunnin aikana käynnissä 11 h 50 min.

## 8.2 Korjausehdotuksia

Aurinkolämpökeräinjärjestelmän nykytilanteen tarkastelun jälkeen ja teoreettisten laskujen pohjalta seuraavat toimenpiteet olisi hyvä suorittaa järjestelmän tuoton parantamiseksi:

- keräinten lämmönsiirtoputkiston eristeen uusiminen
- keräinten asennuskulman muuttaminen noin 16°:sta 50°:seen
- keräinten pinta-alan kasvattaminen nykyisestä, esimerkiksi kahden uuden keräimen lisääminen.

Kuvasta 20 voidaan havaita, että talon katolle voitaisiin asentaa useampia keräimiä, jolloin keräinten tuottaman lämmön määrä kasvaisi merkittävästi.



Kuva 20. Helikopterikuva talosta.

## 9 Aurinkoenergian tulevaisuudennäkymät

Aurinkoenergian käyttö maailmalla jatkaa kasvuaan. Ympäri maailman asennetaan jatkuvasti uusia aurinkopaneeleita ja lämpökeräimiä. Esimerkiksi suomalainen teräs- ja konepajateollisuuden moniosaaja Ruukki on kehittänyt täysin integroidun aurinkopaneelijulkisivun nimeltään Liberta™ Solar.

Asuinrakennuksia rakennetaan entistä energiatehokkaammiksi ja jopa energiaomavaraisiksi, tämä saavutetaan pääasiassa auringonsäteilyä hyödyntämällä, joko arkkitehtonisesti tai aktiivisilla aurinkoenergiajärjestelmillä. Aurinkoarkkitehtuuri laajenee entisestään, tästä esimerkkinä vuoden 2012 asuntomessuille rakennettu Lantti-talo, jossa on 60 m<sup>2</sup> aurinkopaneeleita ja joka on sähkön vuotuisen tuoton ja käytön suhteen omavarainen, Viikin ympäristötalo, jne. Etelä-Saksassa Freiburgissa kokonainen asuinalue on rakennettu siten, että talojen katto koostuu pääasiassa aurinkopaneeleista. Alueen arkkitehtina toiminut Rolph Disch on suunnitellut myös Heliotropeaurinkotalon, joka kääntyy auringon mukaan ja jonka katolla on suuri aurinkopaneelisto. Heliotrope tuottaa jopa 5 kertaa tarvitsemaansa enemmän sähköä. Dischillä on tarkoituksena tehdä Freiburgista maailman ensimmäinen 100-%:sesti kestävä, uusiutuva energiaa hyödyntävä alue maailmassa. [21.]

## 10 Yhteenveto ja pohdintaa

Työn tavoitteena oli selvittää aurinkoenergian hyödyntämistä asuinrakennuksissa ja tarkastella asennetun järjestelmän toimintaa. Asuinrakennuksissa hyödynnettäviä aurinkokeräinjärjestelmiä on markkinoilla useita erilaisia ja niitä kehitetään jatkuvasti paremmiksi. Järjestelmän asentamisessa on hyvä huomioida asennuskulman vaikutus tuottoon, sekä muut ympäröivät olosuhteet. Suomessa on varmasti useita järjestelmiä, joiden tuottoa voitaisiin parantaa huomattavasti muutamilla helpohkoilla toimenpiteillä. Erilaisia yhdistelmäsovelluksia, kuten aurinkokeräimen ja maalämpöpumpun yhteiskäyttöä tullaan edelleen kehittämään.

Tarkastellussa järjestelmässä oli useita sen tuottoon vaikuttavia tekijöitä, joita muuttamalla tuottoa saadaan parannettua. Korjausehdotukset esitettiin talon omistajille, jotka ottivat ne kiitollisina vastaan.

Auringosta saadaan energiaa ilmaiseksi, vieläpä "kotiin tuotuna". Ihmisten lisääntyvä kiinnostus uusiutuvia energianlähteitä kohtaan ja samalla lisääntyvä tietoisuus markkinoilla olevista järjestelmistä yhdessä positiivisten käyttökokemusten kanssa muokkaavat mielipiteitä aurinkoenergiaa kohtaan. On hyvin mahdollista, että tuleville sukupolville aurinkoenergian hyödyntäminen asuinrakennuksissa on yhtä lailla itsestään selvää, kuin meille ikkunat. Kukapa haluaisi istua ikkunattomassa pimeässä torpassa, kun valoa saa sisään ikkunasta. Ajatus aurinkoenergian hyödyntämisen suhteen voisi olla: puhdasta uusiutuvaa energiaa, vieläpä ilmaiseksi, olisi sulaa hulluutta olla hyödyntämättä.

## Lähteet

- 1 Ilmatieteen laitos. Auringon rakenne ja elinkaari  
[verkkodokumentti, viitattu 11.10.2012]  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>
- 2 Tähtitieteellinen yhdistys URSA ry. Aurinkokuntamme  
[verkkodokumentti, viitattu 11.10.2012]  
<http://www.ursa.fi/tahtitieteesta/tietoa-tahtitieteesta/aurinkokuntamme.html>
- 3 Oulun yliopisto. Aurinko  
[verkkodokumentti, viitattu 11.10.2012]  
<http://www oulu.fi/nrpif/planets/aurinko.html>
- 4 Turun yliopisto. Näkyvä valo  
[verkkodokumentti, viitattu 12.10.2012]  
<http://www.astro.utu.fi/edu/kurssit/perusteetjatko/nakyva.pdf>
- 5 Tampereen yliopisto. Aurinkosähkö  
[verkkodokumentti, viitattu 12.10.2012]  
<http://www.tut.fi/smg/tp/kurssit/SMG-4450/2012/luento1.pdf>
- 6 Suvanto K. & Laajalehto K. 2008. Tekniikan fysiikka 2. Helsinki, Edita Prima Oy.
- 7 Energiateollisuus Ry. Aurinkoenergia  
[verkkodokumentti, viitattu 12.10.2012]  
<http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/aurinkoenergia>
- 8 Ilmatieteen laitos. Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut  
[verkkodokumentti, viitattu 15.10.2012]  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>
- 9 Motiva Oy. Auringosta lämpöä ja sähköä  
[verkkodokumentti, viitattu 15.10.2012]  
[http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta\\_lampoa\\_ja\\_sahkoa2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2012.pdf)
- 10 Viessmann. Heating with solar energy  
[verkkodokumentti, viitattu 15.10.2012]  
<http://www.viessmann.fi/etc/medialib/internet-fi/pdf/products.Par.8744.File.File.tmp/Heating%20with%20solar%20energy.pdf>
- 11 GrammerSolar. Solarventilation  
[verkkodokumentti, viitattu 15.10.2012]  
<http://www.grammer-solar.com/cms/en/solarventilation.html>

- 12 Kalogirou S. 2009. Solar Energy Engineering. Burlington, Elsevier/Academic Press.
- 13 Solarpowernotes.com. Working of photovoltaic cells [verkkodokumentti, viitattu 24.10.2012]  
<http://www.solarpowernotes.com/how-solar-cells-works.html>
- 14 Puolustusvoimat. Katsaus uudenaikaisiin energianlähteisiin [verkkodokumentti, viitattu 24.10.2012]  
[http://www.panssariprikaati.fi/wcm/db1e5e00495b9f499671bf759929fd62/PVTTjulkaisu\\_24.pdf?MOD=AJPERES](http://www.panssariprikaati.fi/wcm/db1e5e00495b9f499671bf759929fd62/PVTTjulkaisu_24.pdf?MOD=AJPERES)
- 15 Space Research at FMI. Valonsäteen kohtaamat ilmiöt [verkkodokumentti, viitattu 14.11.2012]  
<http://www.geo.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/valonsade/ilmiot.html>
- 16 Kustannus Oy Duodecim. Ilmakehä muokkaa valoa monin tavoin [verkkodokumentti, viitattu 14.11.2012]  
[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=hpa00003](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=hpa00003)
- 17 Silomaa T. 2011. Aurinkolämpö ja korjausrakentaminen. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin koulutusohjelma.
- 18 Motiva Oy. Passiivinen aurinkoenergia [verkkodokumentti, viitattu 22.11.2012]  
[http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolamp/passiivinen\\_aurinkoenergia](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolamp/passiivinen_aurinkoenergia)
- 19 Ilmatieteen laitos. Kesäsään tilastoja [verkkodokumentti, viitattu 30.11.2012]  
<http://ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot>
- 20 Suomen Talotekniikka-portaalit Oy. Aurinkoenergia [verkkodokumentti, viitattu 3.1.2013]  
[http://www.talotekniikka.eu/asuminen/energiatehokkuus/fi\\_FI/aurinkoenergia/](http://www.talotekniikka.eu/asuminen/energiatehokkuus/fi_FI/aurinkoenergia/)
- 21 Rolf Disch SolarArchitektur. Past projects [verkkodokumentti, viitattu 17.1.2013]  
<http://www.rolfdisch.de>