

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

LVI

2016

Teemu Salmi

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN JÄÄHDYTYKSESSÄ

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma | LVI

2016 | 47 s. + liitteet 13 s.

Ohjaaja: Tuomaala Erkki

Salmi Teemu

AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN JÄÄHDYTYKSESSÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten auringosta saatavaa ilmaisenergiaa pystytään hyödyntämään kiinteistön jäähdytyksessä. Kohteena toimi Turun ammattikorkeakoulun omistama tutkimuskonepajana sekä oppilaitoksena toimiva kiinteistö. Työn toimeksiantajana toimii Solarleap-Varsinais-Suomi-hanke, joka toteutetaan Turun ammattikorkeakoulun ja Turun ammatti-instituutin välisenä yhteistyönä.

Työssä päädyttiin tutkimaan kolmen erilaisen aurinkojärjestelmän toimintaa jäähdytyksen osatehomyönteisyydellä. Aurinkojärjestelmät tukisivat nykyisen kompressorikäyttöisen nestejäähdytyskoneikon toimintaa kesäkuukausina, jolloin aurinkoa on tarjolla.

Aurinkojäähdytys- sekä aurinkosähköjärjestelmien toiminnan simulointiin käytettiin siihen tarkoitettua Vela Solaris AG:n Polysun-aurinkojärjestelmien simulointiohjelmaa. Aurinkojäähdytyksen osalta simuloitiin adsorptio- sekä absorptiojäähdyttimien toimintaa taso- ja tyhjiöputkikeräimillä. Aurinkosähkön osalta simuloitiin suoraan verkkoon liitettyä järjestelmää.

Tutkimuksessa vertailtiin aurinkojäähdytysjärjestelmän sekä aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta 30 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Aurinkojäähdytysjärjestelmän toiminta todettiin kannattamattomaksi pienessä mittakaavassa Suomen olosuhteissa. Aurinkosähkön osalta päästiin 17 vuoden takaisinmaksuaikaan.

ASIASANAT:

Aurinkoenergia, aurinkolämpö, aurinkojäähdytys, aurinkosähkö.

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering | HVAC

2016 | 47 pages + appendix 13 pages

Instructor: Tuomaala Erkki

Salmi Teemu

SOLAR ENERGY UTILIZATION IN COOLING

The goal of the thesis work was to examine ways to use solar energy for the cooling of a real estate. The research work was conducted within a real estate owned by Turku University of Applied Sciences. The research work was commissioned by the Solarleap project, which was carried out in co-operation with the Turku University of Applied Sciences and Turku Vocational Institute.

This study investigates three different alternatives of solar system operation for cooling purposes. Solar systems could support the current activities of the compressor chiller during the summer when solar energy is greatly available.

Solar cooling and solar photovoltaic systems were simulated by using the Polysun simulation program. As for solar cooling systems adsorption- and absorption cooling systems were simulated by using the flat collector and evacuated tube collector. Solar photovoltaic systems we simulated with a grid solar power system.

This study compared the efficiency between the solar cooling and photovoltaic systems. A solar cooling system was found unprofitable in the Finnish climate conditions. A solar photovoltaic system was found profitable with a 17-year payback time.

KEYWORDS:

Solar energy, solar heating, solar cooling, solar power

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	7
2 AURINGON SÄTEILY	8
2.1 Säteilyenergia	9
2.2 Säteilyenergia Turussa	10
3 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN	11
3.1 Aurinkolämpö	11
3.1.1 Tyhjiöputkikeräimet	11
3.1.2 Tasokeräimet	12
3.1.3 Aurinkokeräimien suuntaus ja hyötysuhde	13
3.2 Aurinkosähkö	15
3.2.1 Aurinkopaneeli ja sen toiminta	15
3.2.2 Aurinkopaneelin ominaiskäyrä ja hyötysuhde	16
3.2.3 Auringon säteilyn ja lämpötilan vaikutus paneelin tehon tuottoon	17
3.2.4 Varjostuksen vaikutus aurinkopaneelin toimintaan	18
3.3 Kiinteistöjen jäähdytys	18
3.3.1 Aurinkojäähdytys	19
3.3.2 Keräimet aurinkojäähdytyksessä	19
3.4 Absorptiojäähdytin	20
3.4.1 Työaineparit	20
3.4.2 Toimintaperiaate	20
3.5 Adsorptiojäähdytin	22
3.5.1 Työaineparit	22
3.5.2 Rakenne	23
3.5.3 Toimintaperiaate	24
4 TARKASTELTAVA KIINTEISTÖ	26
4.1 Jäähdytystehon tarve	26
4.2 Aurinkojäähdytysjärjestelmä nykyisen laitteiston rinnalle	27
4.3 Adsorptiojäähdytyslaitteiston simulointi	28
4.3.1 Lähtöarvojen valinta	29
4.3.2 Simulointi käyttämällä tyhjiöputkikeräimiä	29
4.3.3 Simulointi käyttämällä tasokeräimiä	31

4.3.4 Adsorptiojäähdytyslaitteiston simuloinnin yhteenveto	33
4.4 Absorptiojäähdytyslaitteiston simulointi	33
4.4.1 Lähtöarvojen valinta	34
4.4.2 Simulointi käyttämällä tyhjiöputkikeräimiä	34
4.4.3 Simulointi käyttämällä tasokeräimiä	36
4.4.4 Absorptiojäähdytyslaitteiston simuloinnin yhteenveto	38
4.5 Aurinkosähköjärjestelmän simulointi	39
5 TALOUDELLINEN TARKASTELU	40
5.1 Adsorptiojäähdytyslaitteiston perustamisen kulut ja taloudellinen tarkastelu	40
5.2 Aurinkosähköjärjestelmän perustamisen kulut ja taloudellinen tarkastelu	41
5.3 Taloudellisen tarkastelun yhteenveto	43
6 POHDINTA JA YHTEENVETO	44
LÄHTEET	46

LIITTEET

- Liite 1. Adsorptiojäähdytyslaitteiston Polysun raportti 6 s.
 Liite 2. Aurinkosähköjärjestelmän Polysun raportti 5 s.
 Liite 3. Adsorptiojäähdytys- sekä aurinkosähkölaitteiston kustannuslaskelmat 1 s.
 Liite 4. Aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksulaskelma 1 s.

KAAVIOT

Kaavio 1. Auringon säteily Turussa. (Meteonorm 7 2016).....	10
Kaavio 2. Kylmävesikoneella tuotettu kylmäteho kylmäkertoimella 2,5.	27
Kaavio 3. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.....	30
Kaavio 4. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tyhjiöputkikeräimillä.....	31
Kaavio 5. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.....	31
Kaavio 6. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tasokeräimillä.....	32
Kaavio 7. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.....	34
Kaavio 8. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tyhjiöputkikeräimillä.....	35
Kaavio 9. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.....	36
Kaavio 10. Tuotettu lämpö ja kylmäenergia käytettäessä tasokeräimiä.....	37
Kaavio 11. Tuotettu sähköenergia aurinkopaneeleilla.	39
Kaavio 13. Aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksuaika.	42

KUVAT

Kuva 1. Maan pinnalle saapuvat auringonsäteilyn eri säteilytyypit. (Esri 2016).	8
Kuva 2. Säteilyenergia kohtisuoralle pinnalle Euroopassa 2001–2008. (IET 2016).	9
Kuva 5. Heat-pipe-tyhjiöputkikeräin. (Rica heating 2013).	12
Kuva 6. U-pipe-tyhjiöputkikeräin. (Rica heating 2013).	12
Kuva 7. Tasokeräin. (Solar Tribune 2016).	13
Kuva 8. Aurinkokeräinten kallistuskulma sekä suuntauksen vaikutus vuosittaiseen lämmöntuottoon. 1= optimaalinen tuotto 300–400 kWh/m ² /a. (Solpros AY 2006, 9).	13
Kuva 9. Eri keräintyyppien hyötysuhteita. (Solar Thermal Systems 2005).	14
Kuva 10. Kaaviokuva aurinkosähköjärjestelmästä. (Motiva 2014).	15
Kuva 11. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno 2016).	16
Kuva 12. 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyriä 25 °C:ssa. (Suntekno 2016).	17
Kuva 13. Lämpötilan vaikutus paneelin ominaiskäyrään. (Suntekno Oy 2013).	18
Kuva 14. Keräinten hyötysuhdekäyrästöt. (Solar Thermal systems 2005).	19
Kuva 15. Absorptiojäähdyttimen toimintakaavio. (Simons Boiler 2016).	21
Kuva 16. Adsorptiojäähdyttimen järjestelmäkaavio. (Invensor GMBH).	22
Kuva 17. Adsorptiojäähdyttimen rakenne. (Solair 2009).	23
Kuva 18. Adsorptiojäähdyttimen toiminta vaiheittain. (Solair 2009).	25
Kuva 19. Esimerkkikuva simuloinnista. (Polysun 2016).	28
Kuva 20. Kulurakenne käytettäessä tyhjiöputkikeräimiä.	40
Kuva 21. Aurinkosähkölaitteiston kulurakenne.	41

TAULUKOT

Taulukko 2. Absorptiojäähdyttimen työaineparit. (Global CSC Institute 2016).....	20
Taulukko 3. Adsorptiojäähdyttimen työaineparit. (Global CSC Institute 2016).....	23
Taulukko 4. Adsorptiojäähdytyslaitteistojen tiedot.	33
Taulukko 5. Absorptiojäähdytyslaitteistojen tiedot.	38
Taulukko 6. Aurinkosähkölaitteiston tiedot.	39
Taulukko 7. Taloudellisen tarkastelun yhteenvetotaulukko.....	43

1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on tarkastella kolmen erityyppisen aurinkoenergiaa kiinteistön jäähdytykseen hyödyntävän järjestelmän toimivuutta Turun ammattikorkeakoulun Kone-tekniakeskus-nimisessä kiinteistössä. Työn alussa tehtiin karkea arvio tarkasteltavien järjestelmien sopivuudesta kiinteistön käyttöasteen ja energian kulutuksen kannalta.

Aurinkolämmön osalta tutkimustyössä keskitytään kiinteistön kylmän tuottamiseen aurinkolämmöllä kesäaikana, jolloin sisätilojen jäähdytyksellä on tarvetta. Aurinkosähkön osalta keskitytään tutkimaan suoraan verkkoon kytketyn laitteiston toimivuutta kiinteistössä. Työssä saatujen tulosten pohjalta vertaillaan järjestelmien välisiä eroja energia- ja kustannustaloudellisin perustein.

Lämpimään käyttöveteen ja kiinteistön lämmitykseen tarvittavan energian tuottaminen aurinkoenergialla jätetään pois tarkastelusta. Kiinteistössä kulutetaan vähän käyttövettä johtuen toiminnan luonteesta. Lämmitykseen tarvittavan energian kulutus on hyvin vähäistä aikana, jolloin aurinkoenergiaa on tarjolla.

Työn toimeksiantajana toimii SOLARLEAP-Varsinais-Suomi-hanke, joka toteutetaan Turun ammattikorkeakoulun ja Turun ammatti-instituutin yhteistyönä. SOLARLEAP-hankkeen tavoitteena on nopeuttaa Varsinais-Suomen alueen aurinkoenergialiiketoimintaa ja sen kehittymistä, kehittää laadunvarmistusta ja tuottaa aurinkoenergia-alalle osaajia.

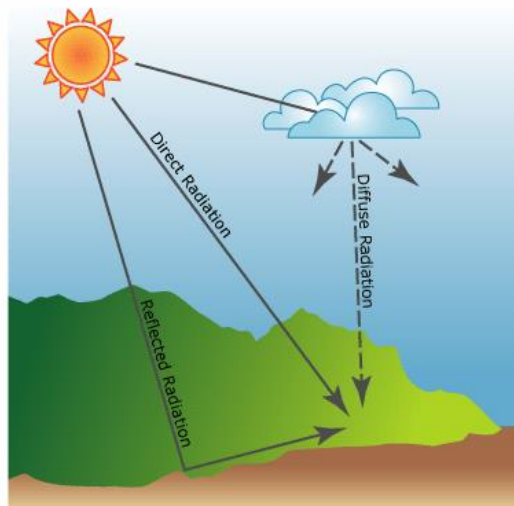
2 AURINGON SÄTEILY

Ilmakehän ylimpiin osiin saapuu auringonsäteilyä keskiarvallisesti 1368 W/m^2 , jota kutsutaan aurinkovakioksi. Maan radan soikeasta muodosta johtuen säteilyn määrä vaihtelee hieman eri vuodenaikoina. Isoimmillaan säteily on tammikuussa noin 1410 W/m^2 ja pienimmillään kesäkuussa 1320 W/m^2 . (Solar Thermal Systems 2005, 1; Suntekno Oy 2016, 1.)

Auringon säteilyn määrään vaikuttaa auringon aktiivisuus. Aurinko on aktiivisimmillaan, kun auringonpilkkujen määrä on suuri. Ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta riippuen suurin säteily määrä maan päällä on kirkkaalla säällä $800\text{--}1000 \text{ W/m}^2$ eli noin 60 % aurinkovakiosta. (Suntekno Oy 2016.)

Ilmakehä koostuu erilaisista molekyyleistä, vesihöyrystä ja ihmisen aiheuttamista päästöistä. Nämä mainitut tekijät heikentävät auringonsäteiden pääsyä maanpinnalle. Mitä suuremman matkan auringonsäteet joutuvat kulkemaan ilmakehän läpi, sitä pienempi säteilyteho on. (Erat Bruno ym. 2008, 12.)

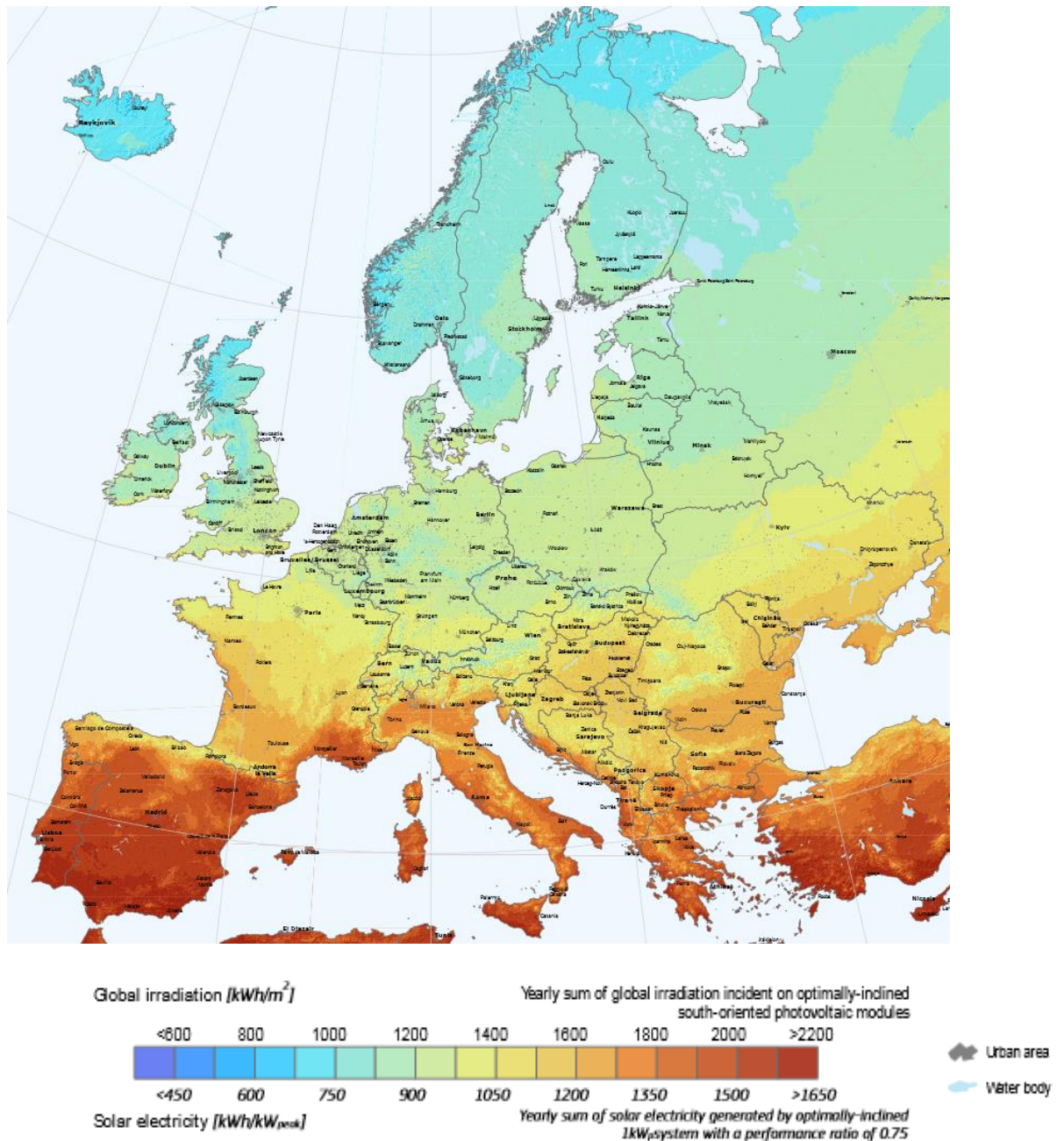
Ilmakehän vaikutuksen takia maan pinnalle saapuva säteily jaetaan kolmeen eri ryhmään. Niitä ovat (kuva 1) suora auringon säteily, hajasäteily sekä ilmakehän vastasäteily. (Erat Bruno ym. 2008, 12.)



Kuva 1. Maan pinnalle saapuvat auringonsäteilyn eri säteilytyypit. (Esri 2016).

2.1 Säteilenergia

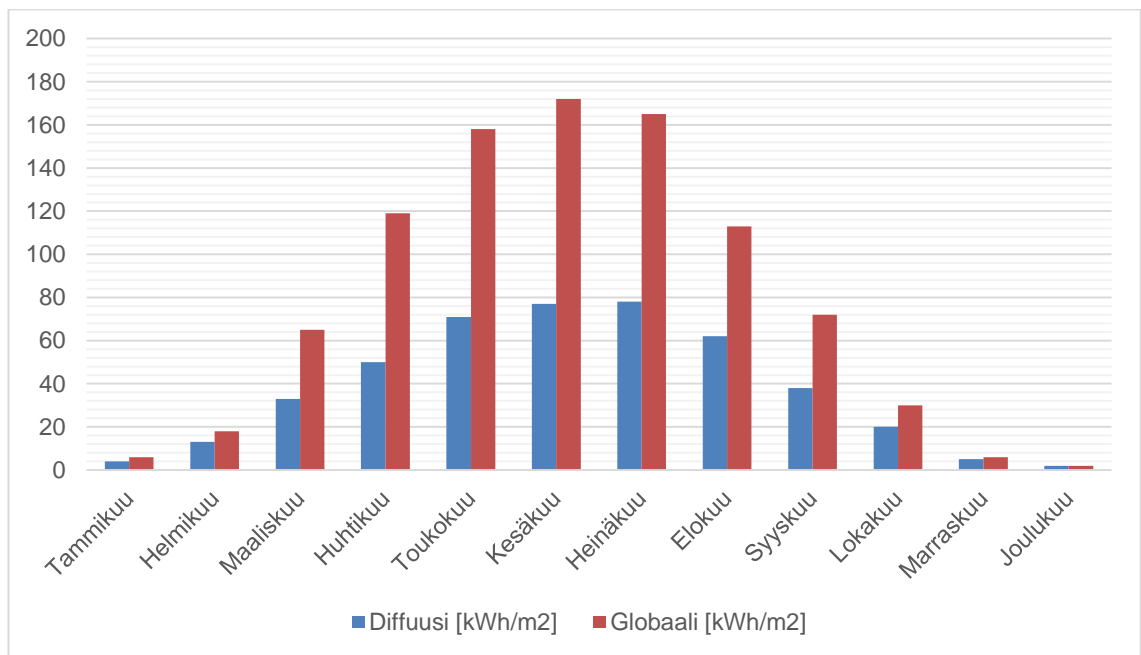
Etelä-Suomessa vuotuinen auringon kokonaissäteilyn määrä on melkein samaa suuruusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa (kuva 2). Auringon säteily on voimakkaimmillaan Suomessa kesäkuukausina toukokuusta syyskuuhun.



Kuva 2. Säteilenergia kohtisuoralle pinnalle Euroopassa 2001–2008. (IET 2016).

2.2 Säteilyenergia Turussa

Turun seudulla auringon säteilystä ei ole käytettävissä tilastoja tai mittaustuloksia. Auringon säteilyn saantia Turussa (kaavio 1) simuloitiin meteonorm 7 -ohjelmiston avulla. Auringonsäteily oli ohjelmiston mukaan vastaavalla tasolla kuin Helsingin, josta on tilastoja auringon säteilystä. Suoraa auringon säteilyä ja hajasäteilyä mitataan pyranometrillä.



Kaavio 1. Auringon säteily Turussa. (Meteonorm 7 2016).

3 AURINKOENERGIAN HYÖDYNTÄMINEN

Aurinkoenergia tarkoittaa auringon säteilyenergian suoraa hyödyntämistä aurinkopaneelin tai -keräimen avulla. Aurinkopaneeleilla tuotetaan sähköä ja aurinkokeräimillä kerätään lämpöä, jota käytetään esimerkiksi käyttöveden lämmitykseen. (Areva Solar 2016.)

3.1 Aurinkolämpö

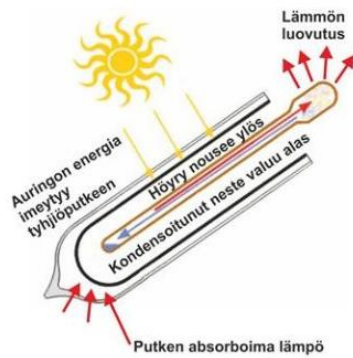
Aurinkokeräimet absorboivat auringonsäteilyä ja siirtävät säteilystä saatavaa lämpöenergiaa väliaineen mukana vesivaraajaan. Yleensä keräimet ovat joko tyhjiöputki- tai tasokeräimiä. Suomessa saadaan tuotettua 250–400 kWh/a energiaa yhden neliömetrin keräinpinta-alalla. (Erat Bruno ym. 2008, 72.)

3.1.1 Tyhjiöputkikeräimet

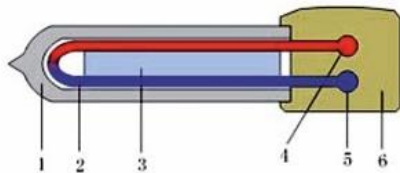
Tyhjiöputkikeräimet sopivat erinomaisesti pohjoisen alueen olosuhteisiin aurinkolämmön kerääjiksi. Putken sisällä oleva tyhjiö eristää termospullon lailla auringosta saatavan lämmön putken sisälle ja siten siirrettyä lämmön tehokkaasti väliaineen avulla vesivaraajaan. Tästä syystä lämmönhukka ulospäin on vähäinen. Tyhjiöputkikeräimen pyöreä rakenne ei ole riippuvainen auringon säteilyn tulosuunnasta ja täten se hyödyntää myös pilvien aiheuttamaa hajasäteilyä. (Suomen Ekotalot 2014; Oy Jackson imports Ltd 2016.)

Tyhjiöputkikeräimiä on tyypillisesti U-pipe ja Heat-pipe. Molemmissa keräintyypeissä on sisimmässä putkessa eri valmistajasta riippuen pinnoite, joka absorboi auringosta saatavaa säteilyä tehokkaasti muuntaen sen lämpöenergiaksi. Keräinputken sisällä lämpötila voi nousta yli 250 °C. (Oy Jackson imports Ltd 2016.)

U-pipe-mallisessa (kuva 6) tyhjiöputkessa virtaa sama vesi-glykolipitoinen lämmönsiirtoneste kuin järjestelmässä. Heat-pipe-mallisessa (kuva 5) tyhjiöputkessa lämmönsiirto tapahtuu omavoimaisen höyrystymis- lauhtumiskierron kylmäaineen välityksellä. (Oy Jackson imports Ltd 2016.)



Kuva 3. Heat-pipe-tyhjiöputkikeräin. (Rica heating 2013).



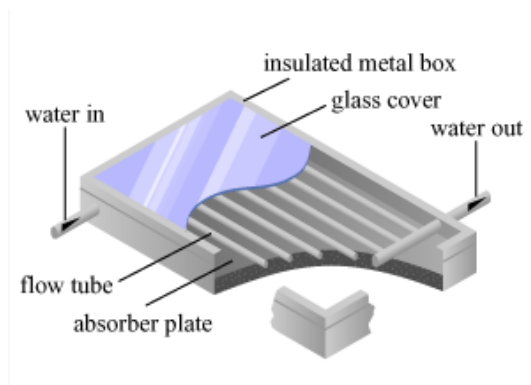
1. Tyhjiöputki
2. U-putki
3. absorberi
4. lämmönsiirtoneste - lähtö
5. lämmönsiirtoneste - tulo
6. polyuretaanivaahtoeristys

Kuva 4. U-pipe-tyhjiöputkikeräin. (Rica heating 2013).

3.1.2 Tasokeräimet

Tasokeräimessä auringon säteily lämmittää keräimessä olevaa mustaa selektiivisellä pinnoitteella päällystettyä absorptiolevyä (kuva 7). Selektiivinen musta pinnoite absorboi hyvin lyhytaaltoista säteilyä ja säteilee huonosti pitkä-aaltoista säteilyä takaisin. Aurin-gosta absorptiolevyyn kerätty lämpö siirtyy keräimen sisällä oleviin putkistoihin, joissa virtaa jäätymätön glykoli-vesiseos. Keräimen putkisto on yleensä kuparia tai alumiinia. Keräin on suljettu eristettyyn teräs- tai alumiinikoteloon. (Rakennusten lämmitys 2001, 338,339.)

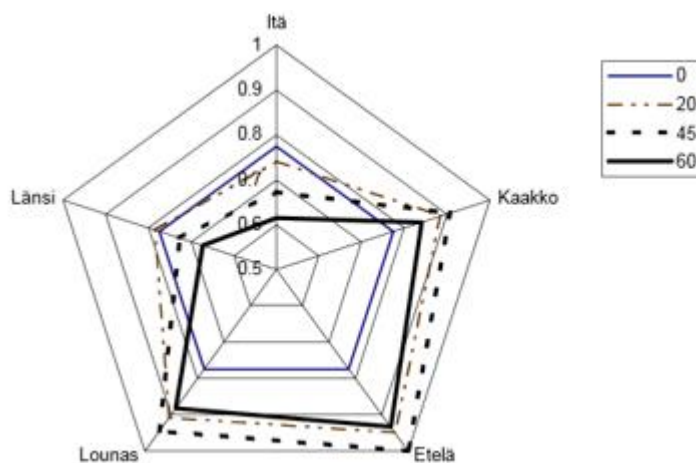
Absorptioelementissä pyritään alle 1 l/m^2 :n nestetilavuuteen ja virtausnopeus keräimen läpi pyritään pitämään korkeana lämmönsiirto ominaisuuksien parantuessa absorptio-elementistä virtaavaan nesteeseen. Virtausmäärä on useimmissa laitteissa $30 - 60 \text{ l/m}^2\text{h}$. (Erat Bruno ym. 2008, 76.)



Kuva 5. Tasokeräin. (Solar Tribune 2016).

3.1.3 Aurinkokeräimien suuntaus ja hyötysuhde

Aurinkokeräinten optimaalinen suuntaus on etelään. Vähäiset suuntauspoikkeamat kaakko–lounas (kuva 8) eivät oleellisesti vaikuta auringosta saatavaan säteilyyn. Kallistuskulma aurinkokeräimille tulisi olla 30–60 ° aurinkokeräinten itsepuhdistavuuden sekä matalalla olevan kevät- ja syysauringon takia. Vähäinen kallistus lisää auringon säteilyn tuottamaa lämpöä keskikesällä ja suurempi kallistus lisää keväällä ja syksyllä auringon säteilyn tuottamaa lämpöä. (Solpros AY 2006, 8.)

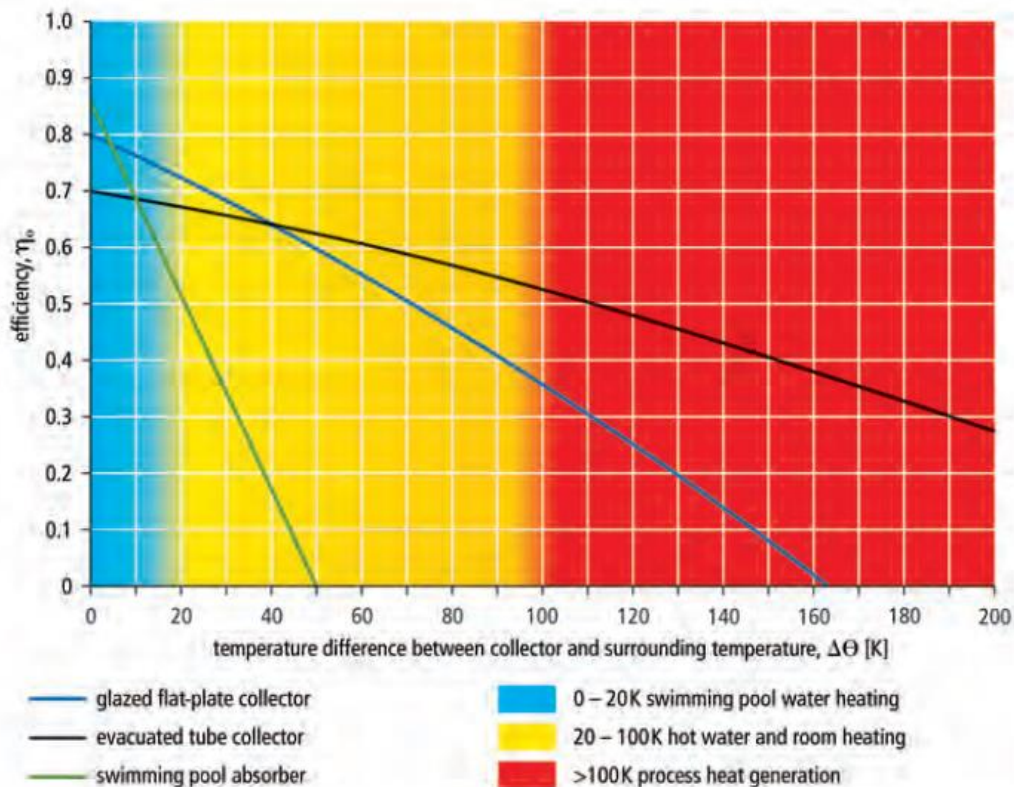


Kuva 6. Aurinkokeräinten kallistuskulma sekä suuntauksen vaikutus vuosittaiseen lämmöntuottoon. 1= optimaalinen tuotto 300–400 kWh/m² /a. (Solpros AY 2006, 9).

Aurinkokeräimeen osuvasta auringon säteilystä saadaan hyödynnettyä vain osa. Aurinkokeräimen hyötysuhdetta laskettaessa määritetään keräimen optinen hyötysuhde sekä

lämpöhyötysuhde. Aurinkokeräimen kokonaishyötysuhde kertoo sen, kuinka paljon keräimelle osuvasta auringon säteilystä saadaan hyödynnettyä. Hyötysuhteen muuttujina ovat auringon säteilyteho, sekä ulkoilman ja keräimen lämpötilaero. (Solar Thermal Systems 2005, 23,24.)

Tasokeräimen vuotuinen hyötysuhde on 35–40 %. Auringon säteilyteholla 1000 kWh/m² saadaan energiaa 350–400 kWh/m² vuodessa. Tyhjiöputkikeräimen vuotuinen hyötysuhde on 45–50 %. Auringon säteilyteholla 1000 kWh/m² saadaan energiaa 450–500 kWh/m² vuodessa. Vaikka optinen hyötysuhde tyhjiöputkikeräimellä on huonompi kuin tasokeräimellä, lämpöhyötysuhteen ollessa huomattavasti parempi, päästään tyhjiöputkikeräimellä parempaan kokonaishyötysuhteeseen (kuva 9). (Solar Thermal Systems 2005, 25,28.)



Kuva 7. Eri keräintyyppien hyötysuhteita. (Solar Thermal Systems 2005).

3.2 Aurinkosähkö

Sähköverkkoon liitetyt aurinkosähköjärjestelmät yleistyvät. Laitteistojen hintojen las-
kiessa ja niiden hyötysuhteen parantuessa mielenkiinto aurinkosähköön kasvaa.

Kun auringosta on saatavilla energiaa, aurinkopaneelit alkavat tuottamaan sähköä. Au-
rinkopaneelien tuottama sähkö on tasasähköä, joten se pitää vaihtosuunnata invertterillä
vaihtosähköksi. Vaihtosuunnattu sähkö menee ensisijaisesti kiinteistön sähkökulutuk-
sen tarpeisiin. Jos kiinteistöllä ei ole sähköntarvetta, ylimääräinen sähkö syötetään val-
takunnan sähköverkkoon (kuva 10). Vastaavasti, kun aurinkopaneelit eivät tuota sähköä,
kiinteistö ostaa sähkönsä valtakunnan verkosta (kuva 10).

Aurinkosähköjärjestelmiä löytyy 1-vaiheisena sekä 3-vaiheisena. Pienempitehoiset jär-
jestelmät ovat 1-vaihejärjestelmiä ja suuremmat järjestelmät 3-vaihejärjestelmiä. Jos lait-
teisto on 1-vaiheinen, kiinteistössä pystytään hyödyntämään aurinkosähköä vain siinä
sähkövaiheessa, johon invertteri syöttää sähköä.



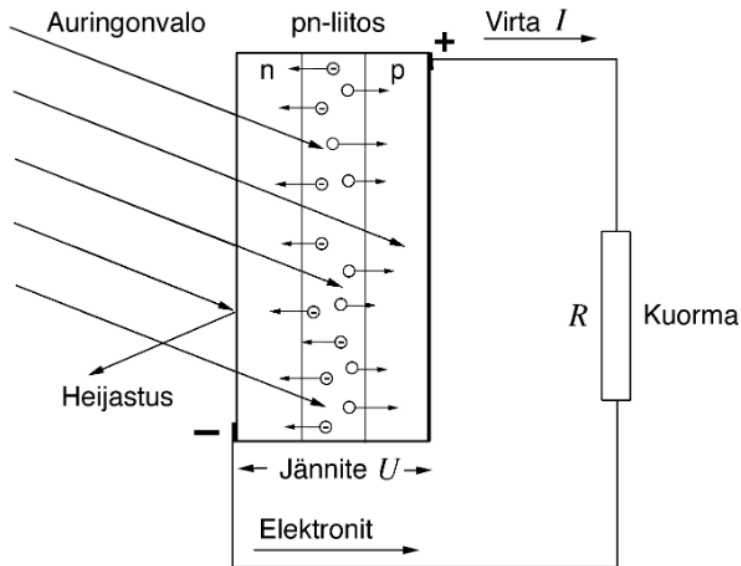
Kuva 8. Kaaviokuva aurinkosähköjärjestelmästä. (Motiva 2014).

3.2.1 Aurinkopaneeli ja sen toiminta

Aurinkopaneelin tehtävänä on vastaanottaa auringon valoa ja tuottaa siitä sähköä järjes-
telmään. Aurinkopaneeli koostuu sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, jotka valmiste-
taan puolijohdemateriaalista. Kennoja kytketään tarpeeksi monta kappaletta sarjaan,
jotta saavutetaan tarvittava teho. Kennojen yleisimpänä valmistusmateriaalina käytetään
piitä. (Erat Bruno ym. 2008, 120.)

Aurinkokennon toiminta perustuu auringon valon intensiteetistä aiheutuvaan valosähköi-
seen ilmiöön. Aurinkokenno koostuu kahdesta puolijohdekerroksesta. Näitä kerroksia

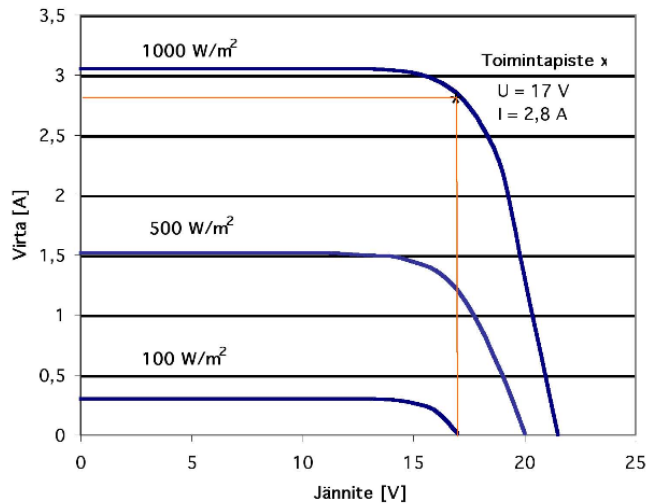
erottaa rajapinta, jonka toisella puolella on (kuva 11) p-tyyppinen ja toisella puolella n-tyyppinen puolijohde. Valo muodostaa puolijohdemateriaalissa elektroni-aukkoja pareittain, jotka voidaan erottaa toisistaan aurinkokennon sisäisen sähkökentän vaikutuksella. Auringosta saatava valo irrottaa elektroneja ja sähkövirta saadaan johdettua paneelin pinnassa oleviin metallijohtimiin. (Finnwind 2013; Erat Bruno ym 2008, 120,121.)



Kuva 9. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Suntekno 2016).

3.2.2 Aurinkopaneelin ominaiskäyrä ja hyötysuhde

Aurinkopaneelin I-U-ominaiskäyrä (kuva 12) kertoo, millä jännitteen ja virran arvoilla paneeli voi toimia. Tyhjäkäyntijännite on aurinkopaneelin suurin jännite, kun aurinkopaneeliin ei ole kytketty ulkoista kuormaa. Oikosulkuvirta taas kuvaa aurinkopaneelin suurinta tuottamaa virtaa kun paneelin + ja - napa on kytketty oikosulkuun. Aurinkopaneelin tehontuottoa kuvaa maksimitehopisteet, jotka muodostuvat paneelin virran ja jännitteen arvoista, joilla kulloisissakin käyttöolosuhteissa saavutetaan suurin paneelin tehotaso. Jännite- sekä virta-arvo muuttuvat paikallisen säteilytehon ja lämpötilan mukaan. (Erat Bruno ym.2008, 121; Suntekno 2016.)

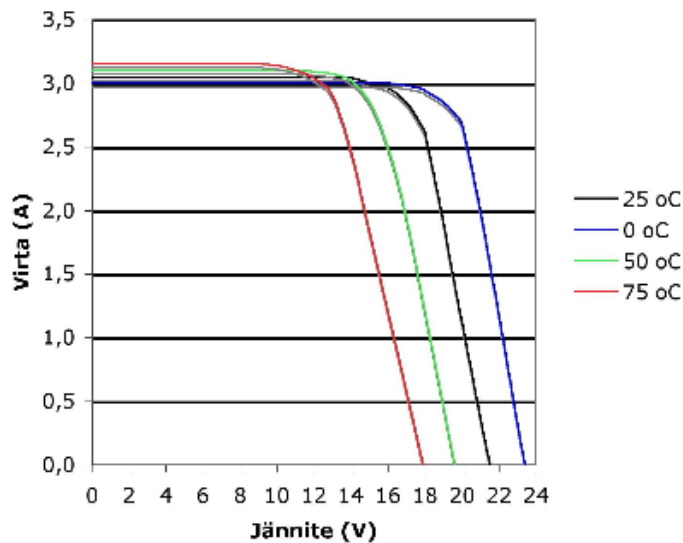


Kuva 10. 50 Wp aurinkopaneelin ominaiskäyriä 25 °C:ssa. (Suntekno 2016).

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään tuotetun sähkötehon ja auringosta saadun säteilytehon suhteesta. Kaupallisessa tuotannossa olevien yleisimpien aurinkopaneelien hyötysuhteet ovat 14–20 %. Paneelit ovat joko yksikiteisiä tai monikiteisiä piikkenoja. Järjestelmän kokonaishyötysuhteeseen vaikuttavat johdotuksen, akuston ja muiden resistiivistä vastusta tuottavien laitteiden hyötysuhteet. Aurinkopaneelien sekä oheislaitteiden hyötysuhteet yhteen laskettuna ovat aurinkosähköjärjestelmän kokonaishyötysuhde. (Photovoltaic Systems 2013, 6,71.)

3.2.3 Auringon säteilyn ja lämpötilan vaikutus paneelin tehon tuottoon

Päivän mittaan säteilyteho muuttuu useammin kuin lämpötila. Säteilytehon vaihtelut vaikuttavat suoraan kennostojen virrantuottokykyyn. Kun säteilyteho puolittuu, paneelin sähkötehon tuottokyky putoaa vastaavan määrän. Lämpötilan muutos aurinkopaneelissa vaikuttaa kennostojen jännitetasoihin (kuva 13). Aurinkopaneelin jännitetasossa voi olla kesän ja talven välillä eroa eli kylmemmässä ilmassa kennoston jännitetaso on korkeampi kuin lämpimässä ilmassa. (Photovoltaic Systems 2013, 97.)



Kuva 11. Lämpötilan vaikutus paneelin ominaiskäyrään. (Suntekno Oy 2013).

3.2.4 Varjostuksen vaikutus aurinkopaneelin toimintaan

Aurinkopaneelin osittainen varjostus yksittäisten kennojen kohdalla haittaa aurinkopaneelin toimintaa. Aurinkopaneelin varjostuksen alle jäänyt kenno alkaa kuluttamaan muiden kennojen tuottamaa virtaa aiheuttaen jännitetason laskun ja siten tuoton vähenemisen. Varjostus voi johtua ohi menevästä pilvestä, ympäröivistä puista, rakennuksista tai kennostojen likaantumisesta. Pahimmassa tapauksessa pidempiaikainen osittainen paneelin varjostus voi johtaa paneelin rikkoutumiseen. (Photovoltaic Systems 2013, 100.)

3.3 Kiinteistöjen jäähdytys

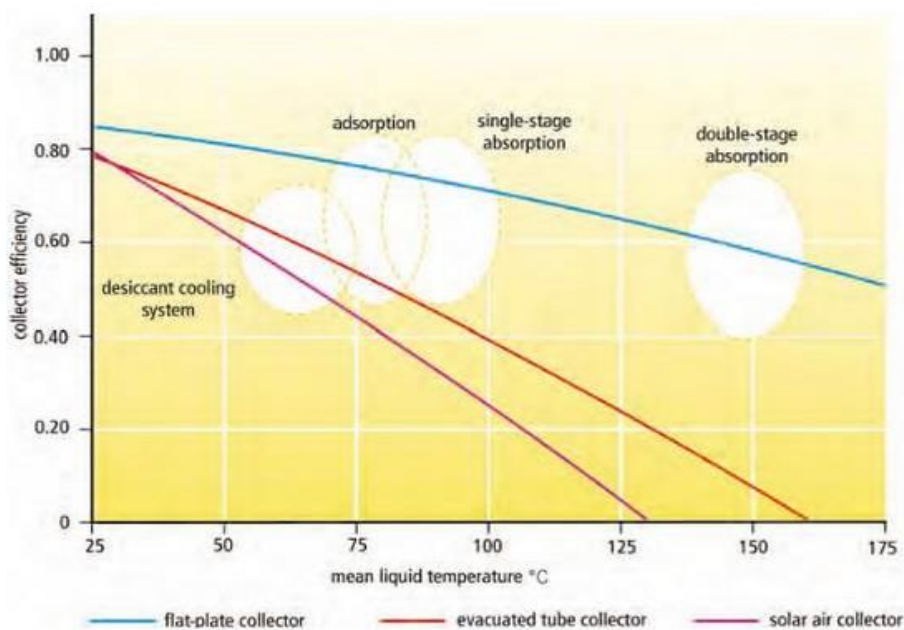
Kiinteistöjen jäähdytysjärjestelmät toteutetaan yleensä vedenjäähdyttimellä ja siihen liitettyllä vapaajäähdytystä hyödyntävällä liuosjäähdyttimellä. Tilakohtaisesta jäähdytyksestä 15 / 18 °C:n jäähdytyspiirit ovat yleensä omana putkiverkostona ja ilmastointikoneiden 7 / 12 °C:n jäähdytyspiirit omana putkiverkostona erilaisten mitoituslämpötilojen takia. Vedenjäähdyttimien sähköverkosta ottama sähköteho on usein erittäin suuri verrattuna kiinteistön muuhun kulutukseen. Vedenjäähdyttimien suuri sähkötehon tarve on tuonut kilpailevia käyttökustannuksiltaan edullisempia jäähdytyslaitteistoja markkinoille. Yleistyneet ovat kaupunkien energialaitosten kaukojäähdytys sekä rakennuskohtaiset lämpö-/kylmäkaivot, joilla tuotetaan talvella lämpöä ja kesällä kylmää. (Sandberg 2014, 25,281.)

3.3.1 Aurinkojäähdytys

Aurinkojäähdytys hyödyntää auringosta saatavaa energiaa, jota kesäkausina on runsaasti tarjolla. Yleisin vaihtoehto on tuottaa aurinkopaneeleilla sähköä ja hyödyntää sitä suoraan kiinteistön jäähdytyslaitteiston käyttämiseen kesäaikana. Vaihtoehtoisesti jäähdytykseen tarvittava energia voidaan tuottaa aurinkokeräimillä. Silloin kesäpäivinä saatava lämpö hyödynnetään joko absorptio- tai adsorptiotekniikkaa käyttävällä vedenjäähdytyslaitteistolla. Aurinkojäähdytyslaitteistot tarvitsevat yleensä rinnalle toisen jäähdytyslaitteiston, koska auringosta saatava säteilyteho ei ole päivittäin vakio.

3.3.2 Keräimet aurinkojäähdytyksessä

Aurinkojäähdytyssovelluksissa keräintyyppin valintaan vaikuttaa aurinkojäähdytyslaitteiston vaatima ensiöpuolen toimintalämpötila. Absorptiojärjestelmät vaativat huomattavasti korkeampaa ensiöpuolen lämpötilaa kuin adsorptiojärjestelmät. Absorptiojärjestelmä tarvitsee toimiakseen 80–120 °C:n lämpötilan, kun adsorptiojärjestelmän vaatima toimintalämpötila on 50–95 °C. Eri keräintyyppien (kuva 14) hyötysuhdekäyrät, joista pystytään tarkastelemaan keräintyyppien soveltuvuutta valitulle aurinkojäähdytysjärjestelmälle. (Solar Thermal systems 2005, S 223,224.)



Kuva 12. Keräinten hyötysuhdekäyrästöt. (Solar Thermal systems 2005).

3.4 Absorptiojäähdytin

Absorptiojäähdytyskoneita käytetään kohteissa, joissa on saatavilla hyvin edullista lämpöä vetenä tai höyrynä. Tulevan veden lämpötilan tulee olla + 80–120 °C, mikä rajoittaa laitteiston käyttämistä aurinkolämmöllä Suomessa. Höyrykäyttöisissä sovelluksissa haihduttimelle voidaan syöttää matalapaineista höyryä 50–100 kPa tai korkeapaineista höyryä 700–900 kPa. Suomessa on viime vuosina absorptiojäähdyttimiä käytetty kaukojäähdytyslaitoksissa kylmän tuottamiseen. Pienimpien koneiden teho on 15 kW ja suurimpien koneiden teho on useita megawatteja. Tavallisen mekaanisen kompressorin tilalla absorptiojäähdyttimessä on terminen kompressori. (Sandberg 2014, 251,252.)

3.4.1 Työaineparit

Absorptioprosessissa kaasu tai höyry liukenee nesteeseen. Absorptioprosessi perustuu liuenneen aineen eli absorbentin ominaisuuksiin. Tietyssä paineessa sekä lämpötilassa vallitsee tasapaino kaasun ja nesteen välillä. Lämpötilaa tai painetta muutettaessa tasapaino muuttuu, jolloin kaasua tai höyryä vapautuu ja sitoutuu. Absorptiojäähdyttimen (taulukko 2) työaineparina käytetään yleisimmin litiumbromini-vesi tai ammoniakki-vesi yhdistelmiä. Kyseisten yhdistelmien käyttöä rajoittavat litiumbromidin kiteytymisraja, joka on noin + 4 °C ja ammoniakkin myrkyllisyys. (VTT Energia 1998.)

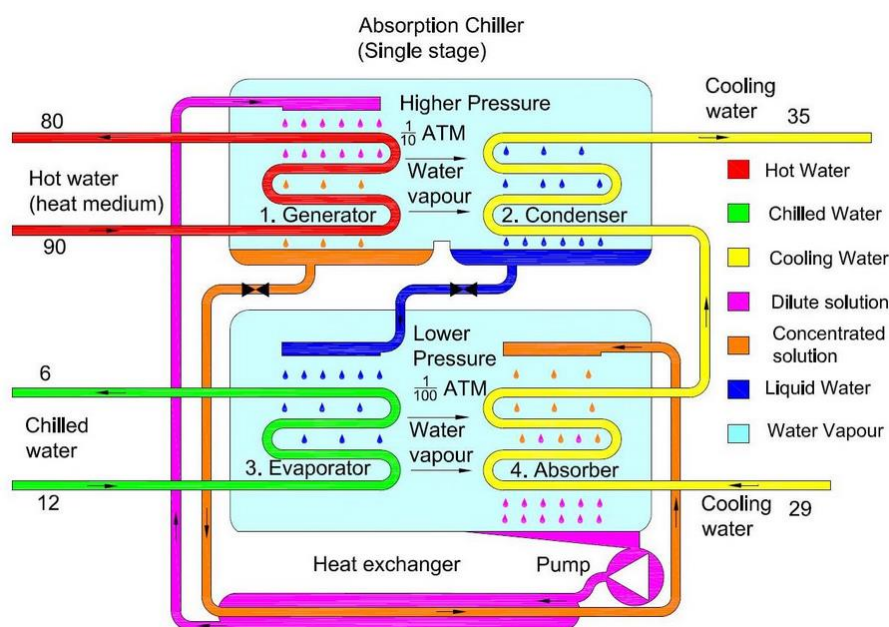
Prosessi	Absorptio		
	Vesi - LiBr Yksi-vaiheinen	Vesi - LiBr Kaksi-vaiheinen	Vesi - ammoniakki
Työ-ainepari			
Käyttölämpötilat (°C)	75 - 110	135 - 200	65 - 180
Kylmäteho (kW)	10,5 - 20000	174 - 6000	14 - 700
COP Lämmitys	1,4 - 1,6	1,8 - 2,2	1,4 - 1,6
COP Jäähdytys	0,6-0,7	0,9-1,3	0,5-0,7

Taulukko 1. Absorptiojäähdyttimen työaineparit. (Global CSC Institute 2016).

3.4.2 Toimintaperiaate

Absorptiojäähdytysprosessissa (kuva 15) lämpöpumpun korvaa höyrystin (evaporator) ja lauhdutin (condenser). Kylmäaine eli vesi virtaa lauhduttimelta paisuntaventtiilin kautta höyrystimelle. Osa kylmäaineesta höyrystyy jo paisuntaventtiilissä ja loput höyrystimellä.

Höyry absorboidaan imeyttimessä (absorber) liuottimeen (absorbenttiin) ja liuoksen paine nostetaan takaisin ylemmälle painetasolle pumpun avulla. Tämä osa prosessista vastaa lämpövoimakoneen suorittamaa työtä ja korvaa mekaanisen puristustyön. Imeytintä joudutaan jäähdyttämään lauhtumis- ja liukenemislämmön kompensoimiseksi. Keittimessä (generator) kylmäaine vapautetaan ja väkevöity liuos palautetaan imeyttimessä lämmönsiirtimen ja paisuntaventtiilin kautta. Absorptioprosessissa höyrystimen lämpö saadaan jäähdytettävästä nestevirrasta. Prosessin käyttöenergia saadaan keittimelle tuodusta lämmöstä. Imeytintä ja lauhtutinta jäähdytetään yleensä jäähdytysvedellä, joka syötetään jäähdytystornista. Liuoslämmönsiirtimessä kuuman, väkevän liuoksen lämpöä siirretään imeyttimestä poistuvaan laimentuneeseen liuokseen, jolloin absorptiopumpun hyötysuhde COP kasvaa. (VTT Energia 1998.)

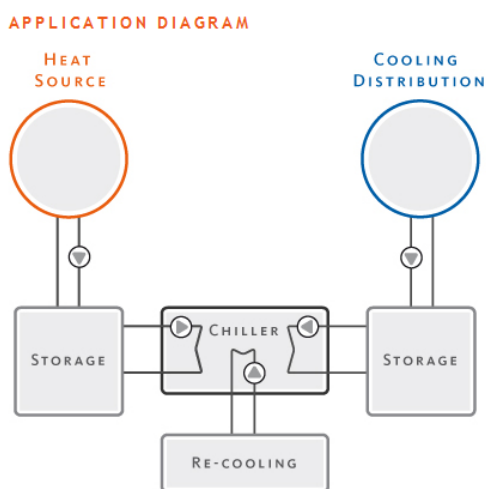


Kuva 13. Absorptiojäähdyttimen toimintakaavio. (Simons Boiler 2016).

Höyrystin (evaporator) koostuu höyrystinputkista, joissa jäähdytettävä vesi virtaa, jäähdytysaineen suihkuputkista ja jäähdytysaineen kokooja-altaasta. Imeyttimessä (absorber) liuospumppu suihkuttaa absorptioaineen jäähdyttävän veden putkille ja laimentunut liuos kerätään kokooja-altaaseen. Keittimessä (generator) höyrystyslämmön luovuttava primäärilämpöputkisto ja imeyttimeltä syötettävän laimean liuoksen suihkuputkisto on sijoitettu kiehutusaltaaseen. Lauhdutin (condenser) koostuu putkista, joissa virtaa jäähdytysvesi sekä välilevyistä. (VTT Energia 1998.)

3.5 Adsorptiojäähdytin

Adsorptiojäähdytin hyödyntää ensiöpuolella virtaavaa kuumaa vettä. Kuumalla vedellä saadaan laitteiston sisällä tapahtuvan kemiallisen prosessin avulla jäähdytettyä toisio- puolella virtaava prosessiin käytettävä jäähdytysvesi. Ensiöpuolen kuuma vesi voi olla peräisin aurinkolämmöstä, teollisuuden hukkalämmöstä tai muusta energialähteestä, josta kustannustehokkaasti saadaan lämpöä hyödynnettyä. Laitteiston tarvitsema kuum- man veden lämpötilan tulee olla noin 50–95 °C, jotta voidaan tuottaa tarpeeksi kylmää kiinteistön jäähdytykseen.



Kuva 14. Adsorptiojäähdyttimen järjestelmäkaavio. (Invensor GMBH).

3.5.1 Työaineparit

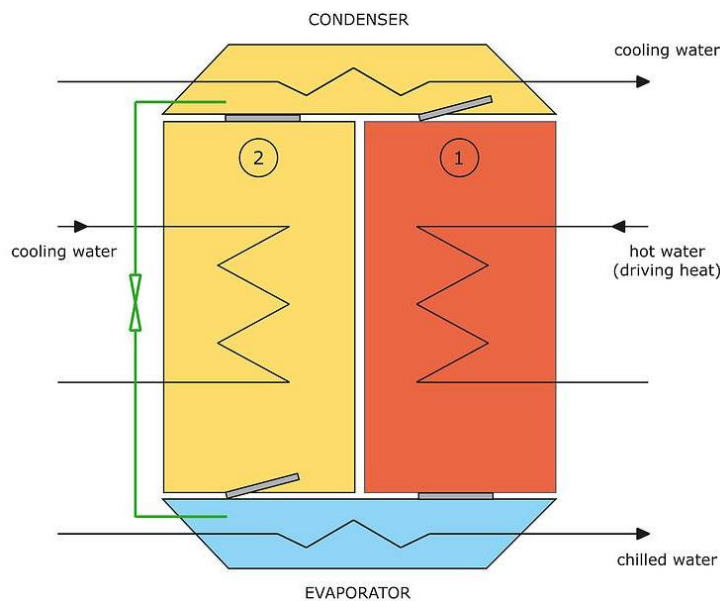
Adsorptiojäähdyttimet käyttävät hyvin huokoista kiinteää adsorbenttimateriaalia, jonka pintaan työparina toimiva kaasumainen aine kiinnittyy tai imeytyy. Nykyiset markkinoilla olevat adsorptiojäähdyttimet käyttävät (taulukko 3) yleensä kahta eri adsorbenttimateriaalia vesi työparinaan. Eniten käytössä ollut työpari tunnetaan silika-geeli / H₂O-yhdistelmänä ja uudempi työpari zeoliitti / H₂O-yhdistelmänä. Yleisesti nämä käytetyt adsorbenttimateriaalit mahdollistavat hyvän jäähdytystuoton matalilla ensiöpuolen lämpötiloilla. Adsorptiojäähdyttimessä vettä käytetään kylmäaineena. Veden höyrystyessä se imee lämpöä ympäristöstään viilentäen jäähdytyspiirissä kiertävää vettä. (Solair 2009.)

Prosessi	Adsorptio	
	Työ-ainepari	Vesi – silika-geeli
Käyttölämpötilat (°C)	60 - 90	50 - 95
Kylmäteho(kW)	7,5 - 500	9 - 430
COP Lämmitys	1,4 - 1,6	1,3 - 1,5
COP Jäähdytys	0,5 - 0,7	0,5 - 0,6

Taulukko 2. Adsorptiojäähdyttimen työaineparit. (Global CSC Institute 2016).

3.5.2 Rakenne

Adsorptiojäähdytin (kuva 17) koostuu kahdesta lämmönvaihtimesta (adsorber 1 & 2), joissa sisällä on adsorbenttimateriaalia, höyrystimestä (evaporator) ja lauhduttimesta (condenser). Laitteiston toiminnallinen prosessi jaetaan neljään vaiheeseen. Neljän vaiheen yhteenlaskettu prosessi kestää 5–7 minuuttia. Prosessin toimiessa kahdessa eri lämmönvaihtimessa olevia adsorbenttimateriaaleja vuoron perään lämmitetään ja jäähdytetään, jotta kylmäaineena toimivan veden höyry adsorboituu huokoiseen adsorbenttimateriaaliin. Työpari-aineen imeytysvaiheesta käytetään nimeä adsorptio ja työpari-aineen erotusvaiheesta nimeä desorptio. Adsorptiovaiheessa höyrystynyt kylmäaine imeytetään adsorboivaan materiaaliin ja desorptiovaiheessa kylmäaine höyrystetään pois adsorboivasta materiaalista. (SorTech AG 2016; Solar Thermal systems 2005, S 216,217.)



Kuva 15. Adsorptiojäähdyttimen rakenne. (Solair 2009).

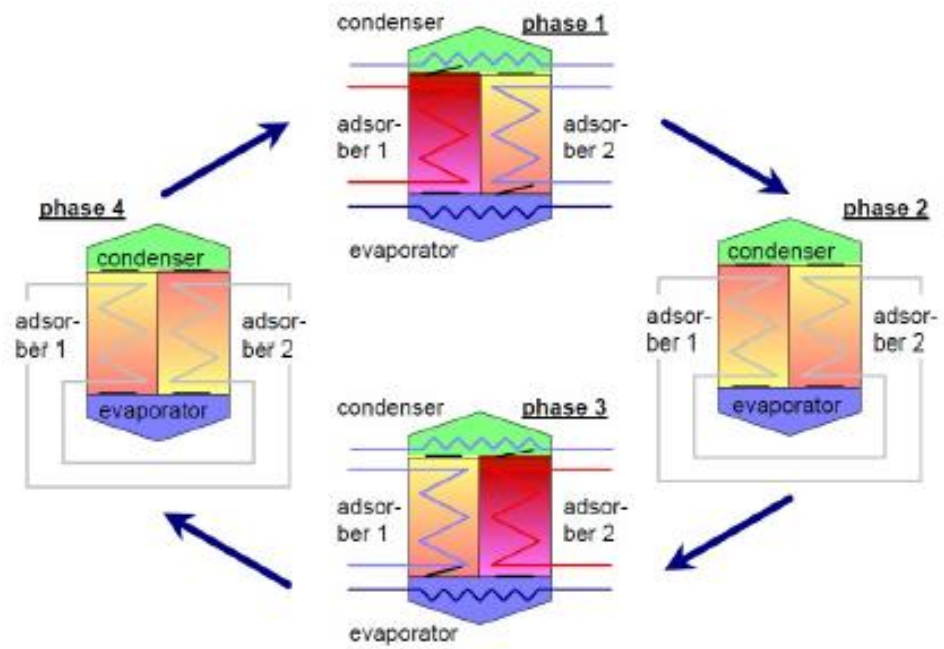
3.5.3 Toimintaperiaate

Vaiheessa 1 (kuva 19) kiinteästä huokoisesta adsorbenttimateriaalista höyrystetään pois aiemmin adsorboitunut työpäri vesi lämmönvaihtimessa 1 auringosta saatavalla energialla. Lauhduttimessa jäähdytysvesi sitoo höyrystyneestä kylmäaineesta energiaa pois ja lauhtunut kylmäaine ruiskutetaan takaisin höyrystimeen. Samaan aikaan lämmönvaihtimessa 2 kiinteä huokoinen adsorbenttimateriaali sitoo huokosiinsa kylmäainehöyryn, joka vapautuu höyrystimestä. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy matalassa paineessa ja sitoo lämpöä jäähdytysverkostossa kiertävästä vedestä. Lämmönvaihtimessa 2 kiinteä huokoinen adsorboiva materiaali jäähdytetään, jotta prosessi jatkuu.

Vaiheessa 2 (kuva 19) lämmönvaihtimet yhdistetään, jolloin lämpötilat lämmönvaihtimien välillä tasaantuvat. Prosessin energiatehokkuus paranee lämpötilojen tasauksella kylmän lämmönvaihtimen lämmitessä ja kuuman lämmönvaihtimen viiletessä ennen seuraavaa vaihetta.

Vaiheessa 3 (kuva 19) kiinteästä huokoisesta adsorbenttimateriaalista höyrystetään pois aiemmin adsorboitunut työpäri vesi lämmönvaihtimessa 2 auringosta saatavalla energialla. Lauhduttimessa jäähdytysvesi sitoo höyrystyneestä kylmäaineesta lämpöenergiaa. Lauhtunut kylmäaine ruiskutetaan takaisin höyrystimeen. Samaan aikaan lämmönvaihtimessa 1 kiinteä huokoinen adsorbenttimateriaali sitoo huokosiinsa kylmäainehöyryn, joka vapautuu höyrystimestä. Höyrystimessä kylmäaine höyrystyy matalassa paineessa ja sitoo lämpöä jäähdytysverkostossa kiertävästä vedestä. Lämmönvaihtimessa 1 kiinteä huokoinen adsorboiva materiaali jäähdytetään, jotta prosessi jatkuu.

Vaiheessa 4 (kuva 19) lämmönvaihtimet yhdistetään, jolloin lämpötilat lämmönvaihtimien välillä tasaantuvat. Prosessin energiatehokkuus paranee lämpötilojen tasauksella kylmän lämmönvaihtimen lämmitessä ja kuuman lämmönvaihtimen viiletessä ennen seuraavaa vaihetta. (SorTech AG 2016; Solar Thermal systems 2005, S 216,217.)



Kuva 16. Adsorptiojäähdyttimen toiminta vaiheittain. (Solair 2009).

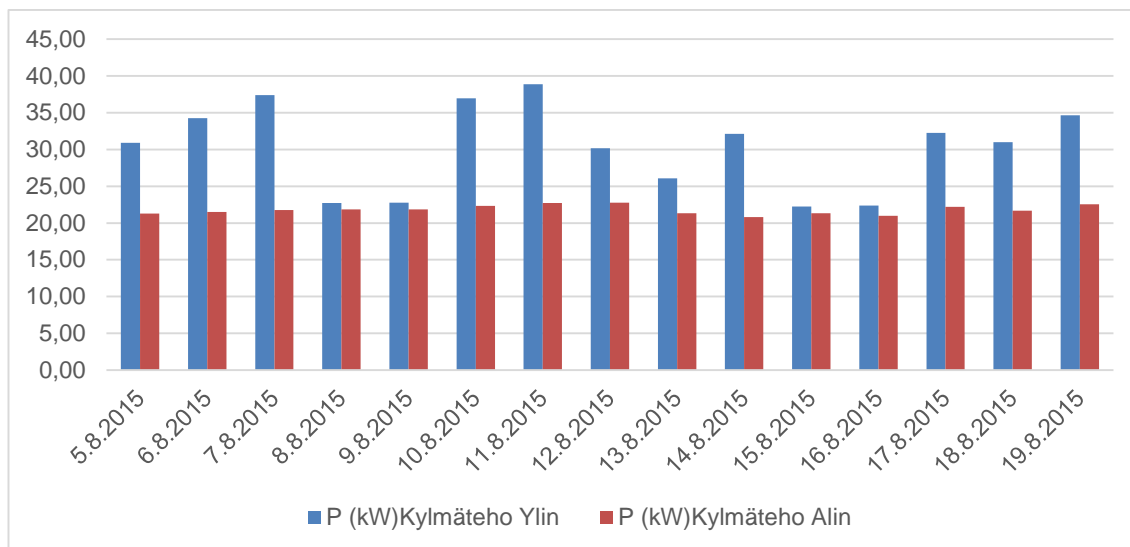
4 TARKASTELTAVA KIINTEISTÖ

Esimerkkikohteeksi valittiin 2005 saneerattu kiinteistö, josta osa on jäähdyttämätöntä konepajatilaa ja osa jäähdytettyjä opetus-, toimisto- ja työtiloja. Jäähdytetyn osan pinta-ala on 1292 m², tilat sijaitsevat kahdessa eri kerroksessa. Lämmönlähteenä on kaukolämpö ja lämmönjakotapana radiaattorilämmitys. Ilmanvaihto hoidetaan kolmen erillisen ilmastointikoneen avulla joista TK01 palvelee konepajatiloja, TK02 palvelee opetus-, toimisto- ja työtiloja jäähdytyksellä sekä TK03, joka palvelee kahviota sekä sosiaalityötiloja.

Kohteessa on käytössä 11 vuotta vanha italialainen kompressorikäyttöinen nestejäähdytyskoneikko, jonka maksimikylmäteho on 150 kW. Koneikko säätyy kylmätehon tarpeen mukaan neljässä tehoportaassa. Koneikon nimellisoteho on 55 kW ja virrankulutus täydellä teholla symmetrisessä kolmivaihejärjestelmässä 80 A sähkövaihetta kohden. Koneikon arvioitu kylmäkerroin on 2,5. Jäähdytyspiirejä kohteessa on ilmanvaihtokoneelle TK02, toimintalämpötiloilla 7/12 °C, puhallinkonvektoriverkostolle toimintalämpötiloilla 7/12 °C sekä aktiivijäähdytyspalkkiverkostolle toimintalämpötiloilla 15/19 °C. Kokonaispinta-alasta katetaan 243,5 m² puhallinkonvektoreilla ja 1048 m² aktiivijäähdytyspalkeilla.

4.1 Jäähdytystehon tarve

Kohteen todellisesta jäähdytystehon tarpeesta ei ole tarkkaa tietoa. Tässä tutkimustyössä tyydyttiin arvioon 40 W/m² viilennettyjen tilojen osalta. Nykyisen nestejäähdytyskoneikon tuottaman jäähdytystehon selvittämiseksi koneikon sähkönsyöttökaapelin jatkamiseen vaihejohtimeen asennettiin virtasilmukat, jotka mittasivat koneikon virrankulutusta kahden viikon ajan. Mittausajankohta oli elokuussa 2015, jolloin päivälämpötilat olivat vielä keskimääräisesti 24 °C. Koneikon kylmätehon keskiarvoksi päiväkäytössä 5.8–19.8.2015 klo 8.00–20.00 saatiin 30,3 kW (kaavio 2) ja hetkelliseksi huipputehoksi 38,8 kW ulkolämpötilan ollessa 23,3 °C. Öisin klo 20.00–8.00 kylmätehoksi saatiin 21,8 kW (kaavio 2) ja hetkelliseksi huipputehoksi 22,7 kW ulkolämpötilan ollessa 11,6 °C.



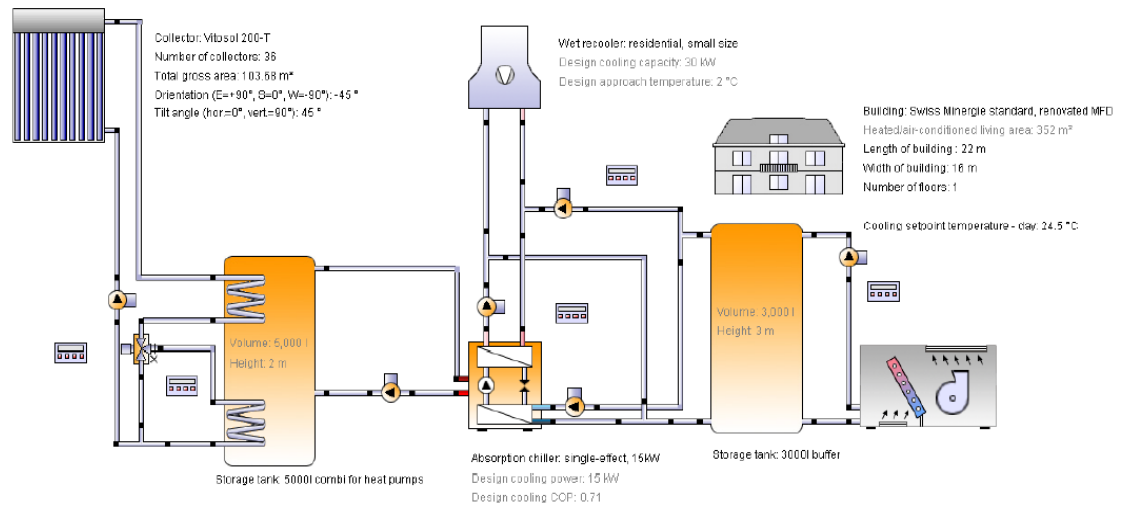
Kaavio 2. Kylmävesikoneella tuotettu kylmäteho kylmäkertoimella 2,5.

4.2 Aurinkojäähdytysjärjestelmä nykyisen laitteiston rinnalle

Kohteeseen simuloitiin osatehomitoituksella nykyisen nestejäähdytyskoneikon rinnalle kolme erilaista aurinkojärjestelmää, jotka tukivat nykyisen laitteiston toimintaa. Laitteistojen simulointi suoritettiin käyttämällä siihen soveltuvaa (kuva 21) Vela Solaris AG:n POLYSUN -simulointiohjelmaa, jonka avulla pystyttiin tarkastelemaan aurinkojärjestelmien toimintaa ja tuottoa. Rajoituksia aurinkojäähdytysjärjestelmän kokoluokalle toi aurinkokeräimien kentän koko, joka maksimissaan sai olla 100 m². Aurinkosähköjärjestelmän osalta päädyttiin keräinpinta-alaltaan 70 m²:n kokoiseen huipputeholtaan 10,5 kW:n aurinkopaneelikenttään. Adsorptio- sekä absorptiolaitteiston paremman hyötysuhteen saavuttamiseksi kylmäpuolen mitoituslämpötiloiksi valittiin 15/19 °C, jota hyödynnettiin pelkästään aktiivijäähdytyspalkkiverkoston kylmäpiirissä. 7/12 °C:n jäähdytyspiireihin tuotettiin kylmää pelkästään nykyisellä kylmäkoneikolla ja tarvittaessa myös aktiivijäähdytyspalkkiverkoston jos aurinkojäähdytyslaitteiston kylmäteho ei riittänyt. Aurinkosähköjärjestelmästä tuli verkkoon liitettävä malli. Kesäaikana voitiin olettaa kaiken tuotetun sähkön kuluvan nykyisen kylmävesikoneikon sähkökulutukseen.

KTK Absorptio 15kW

KTK 15kW Absorptio Tyhjiöputkikeräin



Location of the system

Finland
Turku
Longitude: 22.25°
Latitude: 60.45°
Elevation: 21 m

Kuva 17. Esimerkkikuva simuloinnista. (Polysun 2016).

4.3 Adsorptiojäähdytyslaitteiston simulointi

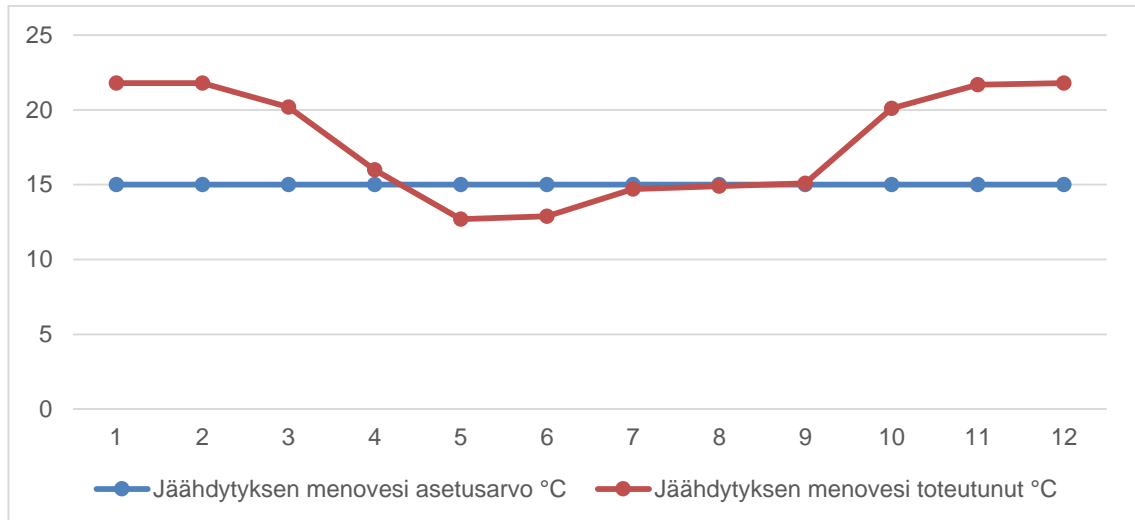
Adsorptiolaitteiston simuloinnissa päädyttiin Polysun -simulointiohjelmassa olevaan Saksalaiseen Sortech AG:n ACS8 malliseen nimelliskylmäteholtaan 8 kW:n adsorptiojäähdytyslaitteeseen. Adsorptiojäähdytyslaitteen työaineparina on Pohjois-Eurooppaan sopiva silikageeli-vesi-yhdistelmä. Laitteistoa simuloitiin käyttämällä saksalaisen valmistajan IHM CPC-18 -tyhjiöputkikeräimiä ja suomalaisen Savosolar Oy:n SF100-05-SH -tasokeräimiä. Sisäilmaluokituksen S1 ja S2 mukaisesti sisäilman kesäkauden maksimilämpötilaksi asetettiin 24,5 °C ja rakennuksen U-arvot asetettiin lähtöarvoihin. Kohteen paikkatieto ja säätiedot määriteltiin osoittamalla ohjelmasta kohteen sijainti, rakennuksen pinta-alaksi asetettiin 200 m².

4.3.1 Lähtöarvojen valinta

Adsorptiojäähdyttimen valmistaja lupasi laitteistolle tuotavasta 13 kW:n lämpötehosta 72/65 °C:n lämpötiloilla 7,5 kW kylmätehoa lauhdutinpiirin 15/18 °C:n lämpötiloilla. Valitun adsorptiojäähdyttimen kylmähyötysuhde valmistajan mukaan on 0,60. Välijäähdyttimen kooksi saatiin 21 kW 32/27 °C:n lämpötiloilla. Välijäähdyttimen teho pystyttiin määrittämään, kun laskettiin yhteen aurinkovaraajalta tuotu lämpöteho sekä kylmävaraajalle viety kylmäteho. Aurinkokeräinkentän kokoa määritettäessä sovellettiin 2-5 m² keräinpinta-alaa yhtä tuotettua kylmäkilowattia kohden. Keräinpinta-alaksi saatiin 37,5 m², kun sovellettiin 5 m² tuotettua jäähdytyskilowattia kohden. Keräimien kallistuskulmaksi asetettiin 45 ° ja suuntaus lounaaseen. Kylmävaraajaksi valittiin 1000 litran kylmävesivaraaja. Suurta kylmävaraajaa ei tarvittu, koska tarpeen tullen kylmätehoa saatiin rinnalla toimivasta kompressorikäyttöisestä nestejäähdyttimestä. Aurinkolämpövaraajaksi valittiin yhtä kokoa suurempi 1500 litrainen varaaja, jonka oletettiin olevan tarpeeksi suuri kerääjien liiallisen lämpenemisen estämiseksi. Aktiivijäähdytyspalkiston jäähdytyskuormaksi asetettiin 7,7 kW lämpötilaerolla 15/19 °C.

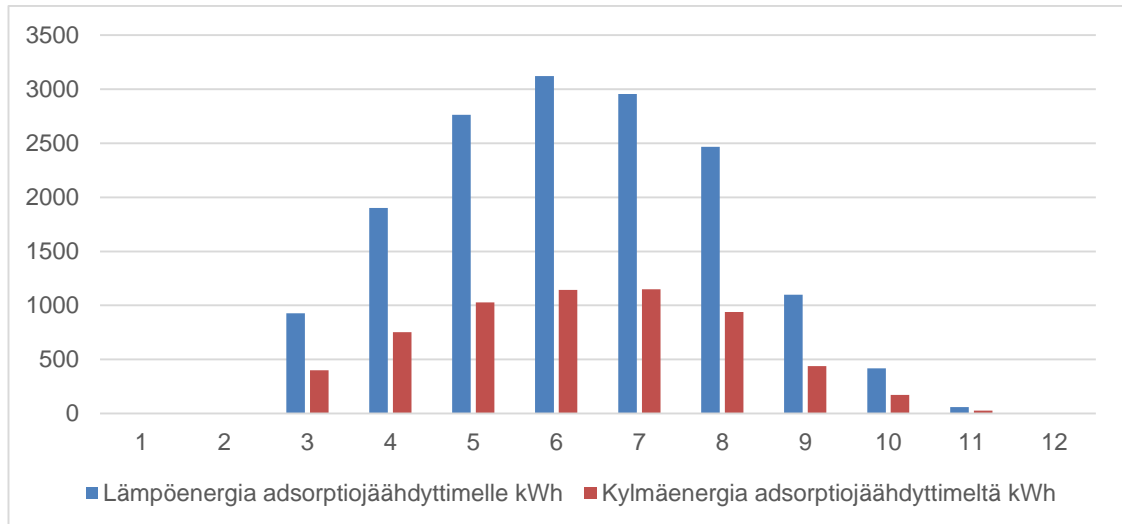
4.3.2 Simulointi käyttämällä tyhjiöputkikeräimiä

Keräinpinta-alalla 37,5 m² ei päästy tarvittavaan 15 °C:n aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötilaan heinäkuun ja syyskuun välisenä aikana, jolloin palkkiverkoston keskilämpötilaksi saatiin vain 15,8 °C. Keräinpinta-alaa nostettiin 58,68 m²:n, jolla saatiin vaadittava jäähdytysverkoston menoveden lämpötila aikaiseksi. Toukokuusta syyskuuhun jäähdytysverkoston menoveden keskimääräinen lämpötila oli 14,4 °C (kaavio 3).



Kaavio 3. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.

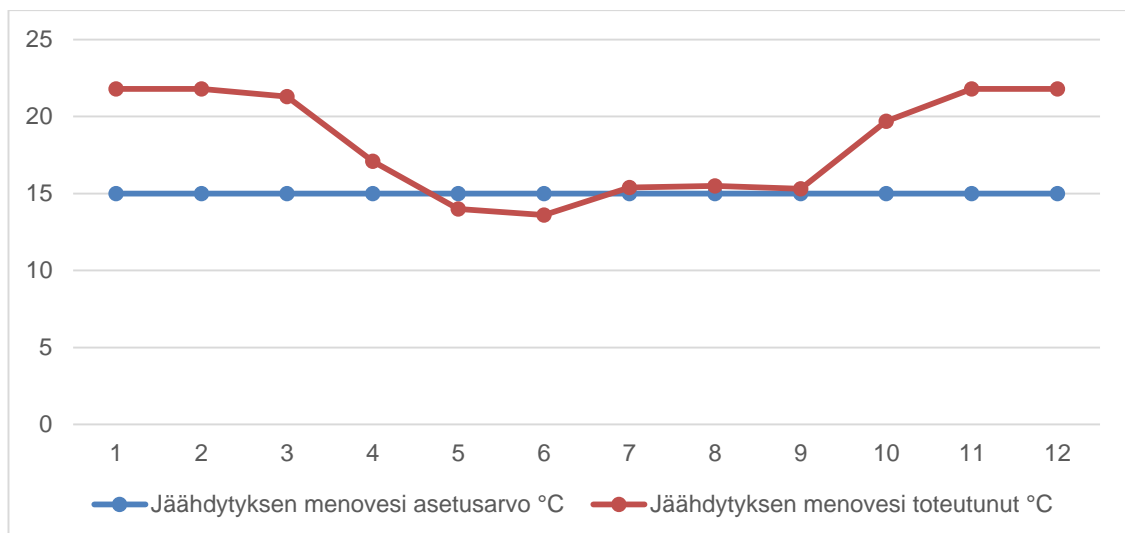
Adsorptiojäähdyttimen käyntiaika simulointivuotena oli 966 h, lämpöenergiaa generaattorille syötettiin 15710 kWh (kaavio 4). Keskimääräiseksi generaattorille syötetyksi lämpötehoksi laskettiin 16,3 kW. Adsorptiokoneella tuotettu vuotuinen kylmäenergia oli 6052 kWh (kaavio 4), josta keskimääräiseksi kylmävaraajalle syötetyksi tehoksi laskettiin 6,25 kW. Yhtä keskimääräistä jäähdytyskilowattia kohden keräinpinta-alaa tuli 9,3 m². Adsorptiojäähdyttimen hyötysuhteeksi saatiin 0,4, joka jäi alhaisemmaksi valmistajan antamasta arvosta. Lämpöpuolen varaajan tilavuudeksi simuloitiin 1500 litraa. Suuremmalla varaajan tilavuudella kevät- ja syyskautena keräimien lämpötilat laskivat niin, että varaajan lämpötila ei pysynyt halutulla tasolla ja pienemmällä varaajan tilavuudella kesäkauna tyhjiöputkien lämpötilat nousivat hyvinkin korkealle tasolle. Kylmäpuolen varaajan mitoituksessa päädyttiin tilavuudeltaan 1000 litran kylmävesivaraajaan. Varaajan valintaan vaikutti jäähdytyspuolen lämpötilan pysyminen tasaisempuna toukokuun ja syyskuun välisenä aikana. Tilavuudeltaan suurempi varaaja ei oleellisesti parantanut tilanetta ja varaajan tilavuutta pienentäessä lämpötilat kevät- ja syyskautena nousivat hie- man jäähdytysjärjestelmässä.



Kaavio 4. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tyhjiöputkikeräimillä.

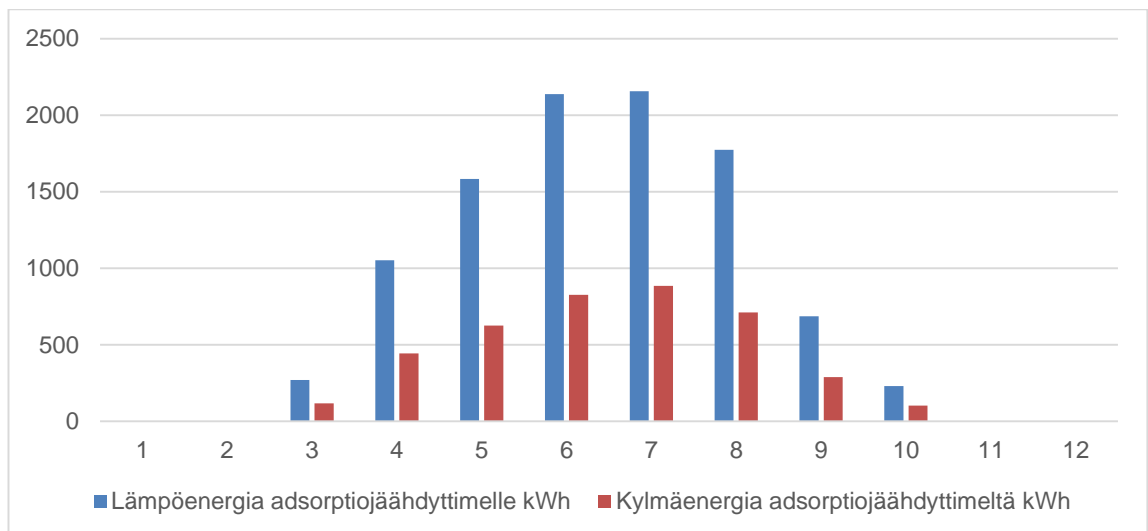
4.3.3 Simulointi käyttämällä tasokeräimiä

Vertailukelpoisen tuloksen saamiseksi tasokeräimillä keräinala pidettiin samana. Toukokuusta syyskuuhun jäähdytysverkoston menoveden keskilämpötila oli 15 °C. Keräinpinta-alaa nostettiin 60,5 m²:n, jonka jälkeen toukokuusta syyskuuhun jäähdytysverkoston keskilämpötilaksi tuli 14,7 °C (kaavio 5).



Kaavio 5. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.

Adsorptiojäähdyttimen käyntiaika simulointivuotena oli 654 h ja lämpöenergiaa generaattorille syötettiin 9894 kWh (kaavio 6). Keskimääräiseksi generaattorille syötetyksi lämpötehoksi laskettiin 15,1 kW. Adsorptiokoneella tuotettu vuotuinen kylmäenergia oli 4003 kWh (kaavio 6), josta keskimääräiseksi kylmävaraajalle syötetyksi kylmätehoksi laskettiin 6,1 kW. Yhtä keskimääräistä jäähdytyskilowattia kohden keräinpinta-alaa tuli 9,9 m². Adsorptiojäähdyttimen vuotuiseksi hyötysuhteeksi saatiin 0,40, joka jäi alhaisemmaksi valmistajan antamasta arvosta. Lämpöpuolen varaajan tilavuudeksi valittiin 2500 litraa. Suuremmalla varaajan tilavuudella tasokeräimien lämpötilat laskivat niin, että jäähdytysverkoston menoveden lämpötila ei pysynyt halutulla tasolla. Pienemmällä varaajan tilavuudella jäähdytysverkoston kylmäteho huononi varsinkin loppukesästä. Tasokeräimissä ei havaittu pienemmällä varaajan tilavuudella lämpötilojen nousua. Kylmäpuolen varaajan mitoituksessa päädyttiin 1000 litran kylmävesivaraajaan.



Kaavio 6. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tasokeräimillä.

4.3.4 Adsorptiojäähdytyslaitteiston simuloinnin yhteenveto

Simuloinnista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta (taulukko 4), että tyhjiöputki-keräimillä saatu vuotuinen lämpöenergia oli suurempi kuin tasokeräimillä. Jäähdytysverkon keskilämpötilaan sillä ei kuitenkaan ollut suurta merkitystä. Molemmilla keräintyypeillä päästiin vaadittavaan 15 °C:n jäähdytysverkon menoveden lämpötilaan toukuusta syyskuuhun.

	Tyhjiöputkikeräin	Tasokeräin
Adsorptiojäähdytin	8 kW	8 kW
Nestelauhdutin	21 kW	21 kW
Keräimien suuntaus	lounas	lounas
Keräimien kallistuskulma	45 °	45 °
Keräinpinta-ala	58,68 m ²	60,48 m ²
Aurinkovaraaja	1500 l	2500 l
Kylmävaraaja	1000 l	1000 l
Lämpöenergia adsorptiojäähdyttimelle vuodessa	15710 kWh/a	9894 kWh/a
Kylmäenergia adsorptiojäähdyttimeltä vuodessa	6052 kWh/a	4003 kWh/a
Suorituskyky suhde jäähdytys	39 %	40 %
Keskimääräinen lämpöteho adsorptiojäähdyttimelle	16,3 kW	15,1 kW
Keskimääräinen kylmäteho adsorptiojäähdyttimeltä	6,25 kW	6,1 kW
Keräineliö / tuotettu jäähdytyskilowatti	9,3 m ²	9,9 m ²
Keskilämpötila jäähdytys meno	14,4 °C	14,7 °C

Taulukko 3. Adsorptiojäähdytyslaitteistojen tiedot.

4.4 Absorptiojäähdytyslaitteiston simulointi

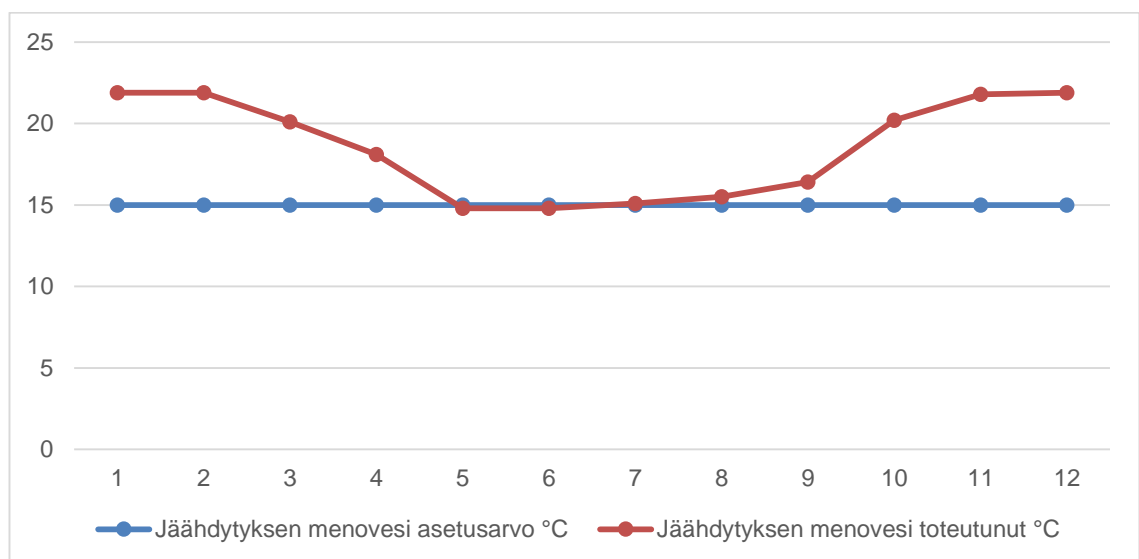
Absorptiolaitteiston simuloinnissa päädyttiin Polysun -simulointiohjelmassa oletuksena olevaan yksivaiheiseen nimelliskylmäteholtaan 15 kW:n absorptiojäähdytyslaitteistoon. Absorptiokoneen työaineparina toimi vesi-litiumbromide-yhdistelmä. Kohteen perustiedot olivat samat kuin adsorptiolaitteistoa simuloitaessa sillä poikkeuksella, että rakennuksen jäähdytettävä pinta-ala oli 384 m², koska absorptiolaitteisto oli tehokkaampi.

4.4.1 Lähtöarvojen valinta

Absorptiojäähdyttimen valmistaja lupasi laitteistolle tuotavasta 21 kW lämpötehosta 90/80 °C:n lämpötiloilla 15 kW kylmätehoa lauhdutinpiirin 11/17 °C:n lämpötiloilla. Absorptiojäähdyttimen kylmähyötysuhde valmistajan mukaan oli tällöin 0,71. Välijäähdyttimen kooksi valittiin 35 kW 36/30 °C:n lämpötiloilla. Välijäähdyttimen teho pystyttiin määrittämään laskemalla yhteen aurinkovaraajalta tuotu lämpöteho ja kylmävaraajalle viety kylmäteho. Aurinkokeräinkentän kokoa määritettäessä sovellettiin 2-5 m²:n keräinpinta-alaa yhtä tuotettua kylmäkilowattia kohden. Keräinpinta-alaksi saatiin 75 m² kun sovellettiin 5m² tuotettua jäähdytyskilowattia kohden. Keräimien kallistuskulmaksi asetettiin 45 ° ja suuntaus lounaaseen. Kylmävaraajaksi valittiin 3000 litran kylmävesivaraaja. Aurinkolämpövaraajaksi valittiin yhtä kokoa suurempi 4000 litrainen varaaja, jonka oletettiin olevan tarpeeksi suuri kerääjien liiallisen lämpenemisen estämiseksi. Aktiivijäähdytyspalkiston jäähdytyskuormaksi asetettiin 15,4 kW lämpötilaerolla 15/19 °C.

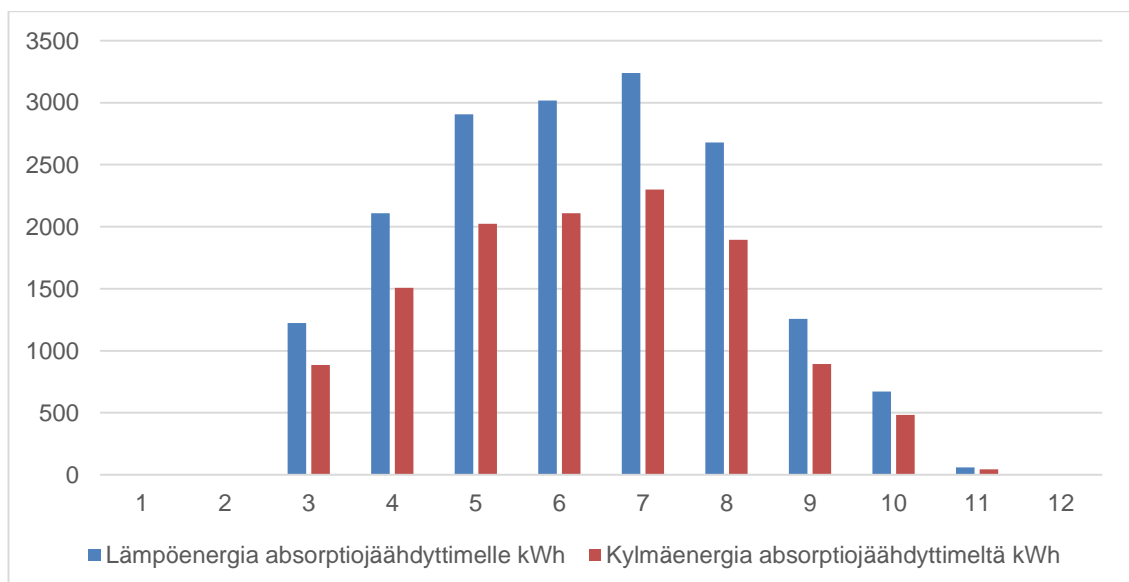
4.4.2 Simulointi käyttämällä tyhjiöputkikeräimiä

Keräinpinta-alalla 75 m² ei päästy vaadittavaan 15 °C:n aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötilaan toukokuusta syyskuuhun. Keräinpinta-ala laskettiin 69,12 m²:n, jolla päästiin toukokuusta elokuuhun keskimääräisesti 15 °C:n jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaan (Kaavio 7).



Kaavio 7. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.

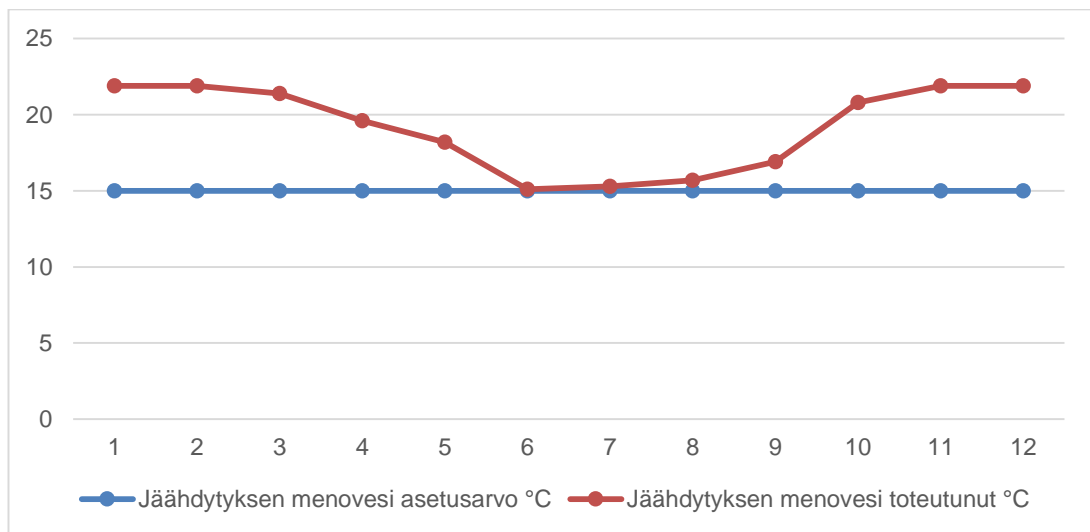
Absorptiojäähdyttimen käyntiaika simulointivuotena oli 1159 h ja lämpöenergiaa generaattorille syötettiin 17168 kWh (kaavio 8). Keskimääräiseksi generaattorille syötetyksi lämpötehoksi laskettiin 14,8 kW. Adsorptiokoneelta tuotettu kylmäenergia oli 12159 kWh (kaavio 8), josta keskimääräiseksi kylmävaraajalle syötetyksi kylmätehoksi laskettiin 10,49 kW. Yhtä keskimääräistä jäähdytyskilowattia kohden keräinpinta-alaa tuli 6,6 m². Absorptiojäähdyttimen hyötysuhteeksi saatiin 0,71, mikä oli sama kuin valmistajan lupaama arvo. Lämpöpuolen varaajan tilavuudeksi valittiin 4000 litraa. Pienemmällä varaajan tilavuudella kesäkautena tyhjiöputket lämpenivät liikaa ja täyttä hyötyä ei aurinkokeräimistä enää saatu. Kylmäpuolen varaajan mitoituksessa päädyttiin tilavuudeltaan 3000 litran kylmävesivaraajaan. Varaajan valintaan vaikutti jäähdytyspuolen lämpötilan pysyminen tasaisempana toukokuusta elokuuhun.



Kaavio 8. Tuotettu lämpö- ja kylmäenergia tyhjiöputkikeräimillä.

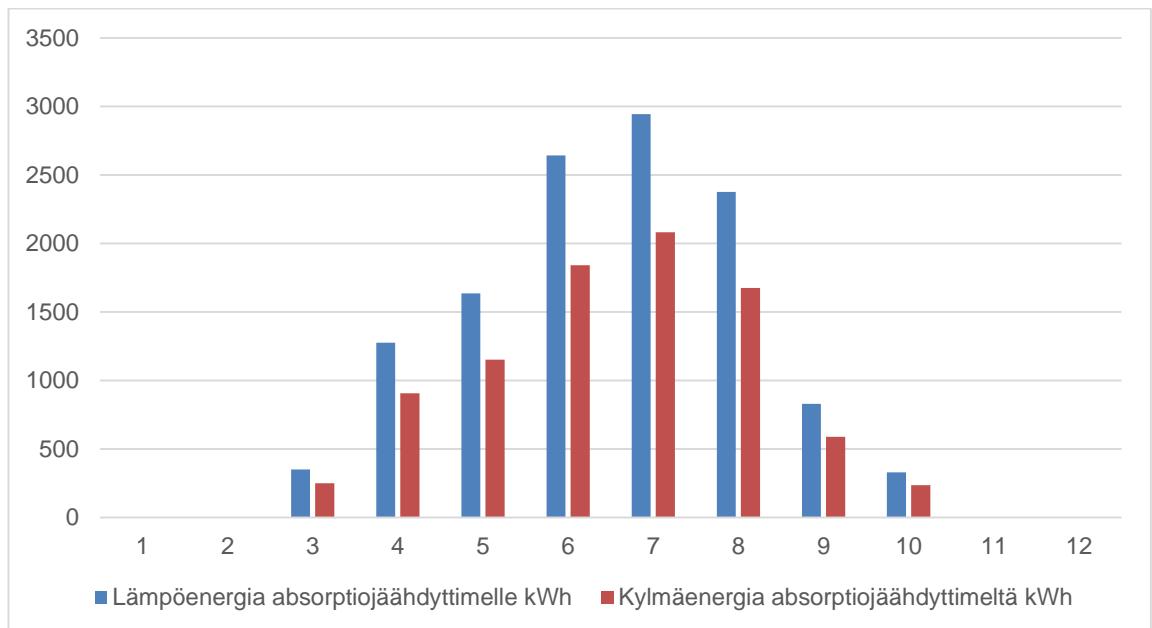
4.4.3 Simulointi käyttämällä tasokeräimiä

Vertailukelpoisen tuloksen saamiseksi keräinala pidettiin samana. Toukokuusta elokuuhun jäähdytysverkoston menoveden keskimääräinen lämpötila oli 17 °C ja vaadittua 15 °C ei saavutettu kuin kesäkuussa. Keräinpinta-ala nostettiin 77,8 m²:n. Keräinpinta-alan nostosta huolimatta vaadittua 15 °C:n keskimääräistä menoveden lämpötilaa ei saavutettu (kaavio 9).



Kaavio 9. Aktiivijäähdytyspalkkiverkoston menoveden lämpötila.

Absorptiojäähdyttimen käyntiaika simulointivuotena oli 854 h. Lämpöenergiaa generaattorille syötettiin 12386 kWh (kaavio 10). Keskimääräiseksi generaattorille syötetyksi lämpötehoksi laskettiin 14,5 kW. Absorptiokoneelta tuotettu kylmäenergia oli 8735 kWh (kaavio 10), josta keskimääräiseksi kylmävaraajalle syötetyksi kylmätehoksi laskettiin 10,22 kW. Yhtä jäähdytyskilowattia kohden keräinpinta-alaa tuli 7,6 m². Adsorptiojäähdyttimen hyötysuhteeksi saatiin 0,7, joka oli sama arvo kuin valmistaja lupasi. Lämpöpuolen varaajan tilavuudeksi simuloitiin 5000 litraa ja kylmäpuolen varaajan tilavuudeksi 3000 litraa.



Kaavio 10. Tuotettu lämpö ja kylmäenergia käytettäessä tasokeräimiä.

4.4.4 Absorptiojäähdytyslaitteiston simuloinnin yhteenveto

Simuloinnista saatujen tulosten perusteella voidaan todeta (taulukko 5), että tyhjiöputkikeräimillä saatu vuotuinen lämpöenergia oli suurempi kuin tasokeräimillä. Tyhjiöputkikeräimillä päästiin vaadittavaan 15 °C:n jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaan toukokuusta elokuuhun.

	Tyhjiöputkikeräin	Tasokeräin
Absorptiojäähdytin	15 kW	15 kW
Nestelauhdutin	30 kW	30 kW
Keräimien suuntaus	lounas	lounas
Keräimien kallistuskulma	45 °	45 °
Keräinpinta-ala	69,12 m ²	77,16 m ²
Aurinkovaraaja	4000 l	5000 l
Kylmävaraaja	3000 l	3000 l
Lämpöenergia absorptiojäähdyttimelle vuodessa	17168 kWh/a	12386 kWh/a
Kylmäenergia absorptiojäähdyttimeltä vuodessa	12159 kWh/a	8735 kWh/a
Suorituskyky suhde jäähdytys	71 %	71 %
Keskimääräinen lämpöteho absorptiojäähdyttimelle	14,8 kW	14,5 kW
Keskimääräinen kylmäteho absorptiojäähdyttimeltä	10,49 kW	10,22 kW
Keräineliö / tuotettu jäähdytyskilowatti	6,6 m ²	7,6 m ²
Keskilämpötila jäähdytys meno	15 °C	16 °C

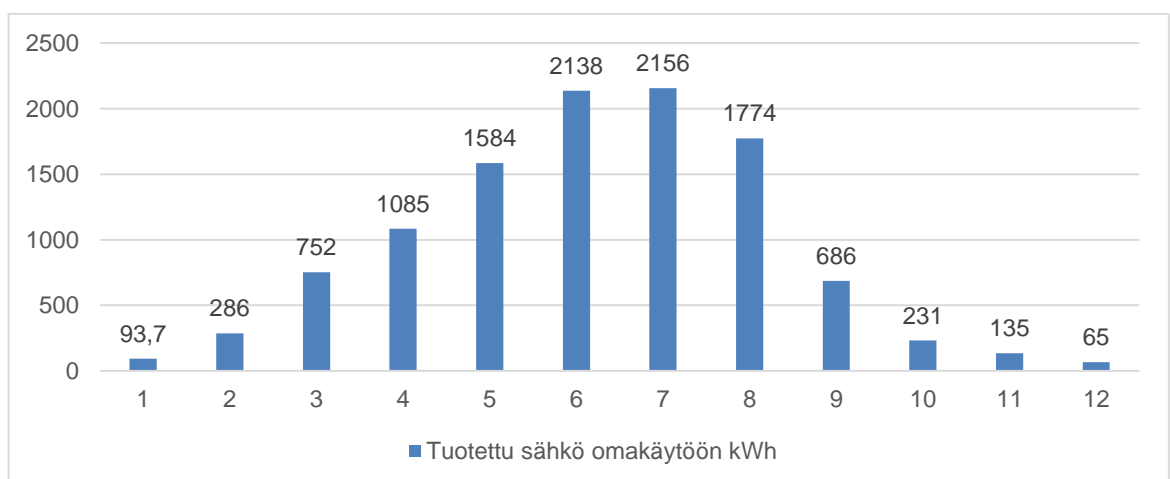
Taulukko 4. Absorptiojäähdytyslaitteistojen tiedot.

4.5 Aurinkosähköjärjestelmän simulointi

Aurinkosähköjärjestelmän simuloinnissa kokonaistehoksi asetettiin 10,5 kWp. Yksittäisen aurinkopaneelin tehoksi tuli 250 Wp ja kokonaislukumääräksi 42 kpl. Paneelit jaettiin kahteen ryhmään ja vaihtosuuntaajaksi valikoitui 3-vaiheinen kahdella sisääntulolla varustettu 12 kW:n vaihtosuuntaaja. Aurinkosähköjärjestelmä oli suoraan verkkoon kytketty malli, joten auringosta saatava energia syötettiin suoraan sähköverkkoon kiinteistön kulutettavaksi. Keräimet asennettiin 15 ° kulmaan tasakatolle ja suuntaus lounaaseen.

TILAN TIEDOT		
SÄHKÖENERGIAN KULUTUS		433142 kWh/a
KERÄIMEN TIEDOT		
SUUNTAUS	LOUNAS	- 45 °
KALLISTUSKULMA		15 °
AURINKOPANEELI	YINGLI YL250P-29b 250Wp	68,61 m ²
VAIHTOSUUNTAAJA	FRONIUS SYMO 12,5-3-M	12,5 kW
TOTEUTUNUT AURINKOSÄHKÖENERGIA		9294,5 kWh/a
OMAKÄYTTÖ %		100 %
SUORITUSKYKYSUHDE		0,84

Taulukko 5. Aurinkosähkölaitteiston tiedot.



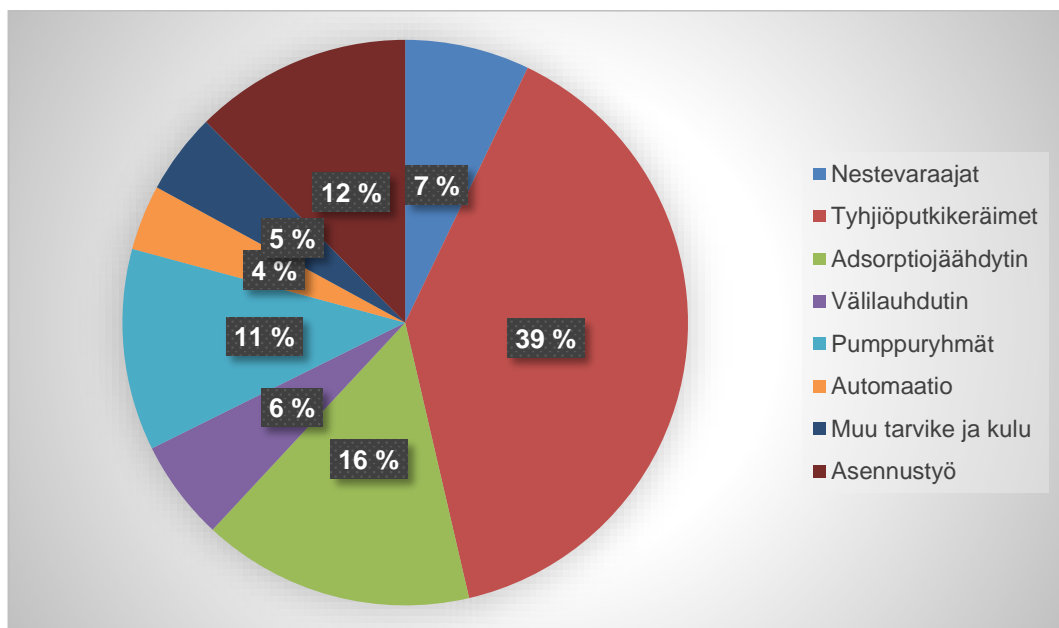
Kaavio 11. Tuotettu sähköenergia aurinkopaneeleilla.

5 TALOUDELLINEN TARKASTELU

Taloudellisessa tarkastelussa vertailtiin aurinkosähkö- ja adsorptiojäähdytyslaitteistoa varustettuna tyhjiöputkikeräimin. Laitteistojen välistä paremmuutta tarkasteltiin elinkaarikustannuksen ja 30 vuoden aikana tuotetun kylmäenergian € / kWh:n suhteella. Adsorptiojäähdytyslaitteiston valintaan vaikutti sen kuukausittainen kylmäntuotto, joka jakaantui viidelle kuukaudelle toukokuusta syyskuuhun. Valintaan vaikutti myös tyhjiöputkikeräimien hinta, joka ei poikennut merkittävästi tasokeräimien hinnasta. Aurinkosähkölaitteiston valintaan vaikutti laitteiston yksinkertaisuus ja huomattavasti halvemmat perustamiskustannukset. Adsorptiojäähdytyslaitteisto jätettiin vertailun ulkopuolelle, koska kuukausittainen kylmäntuotto jakaantui vain neljälle kuukaudelle kesäkuusta syyskuuhun.

5.1 Adsorptiojäähdytyslaitteiston perustamisen kulut ja taloudellinen tarkastelu

Adsorptiojäähdytyslaitteiston investointikulut 55651 € alv. 0 % koostuivat aurinkokeräimistä 39 %, adsorptiojäähdytysyksiköstä 16 %, pumppuryhmistä 11 % ja asennustöistä 12 %. Loput 22 % aiheutuivat välijäähdyttimestä, nestevaraajista, automaatiosta, yleisistä sähkö- ja putkitarvikkeista, sekä muista kuluista (kuva 20).

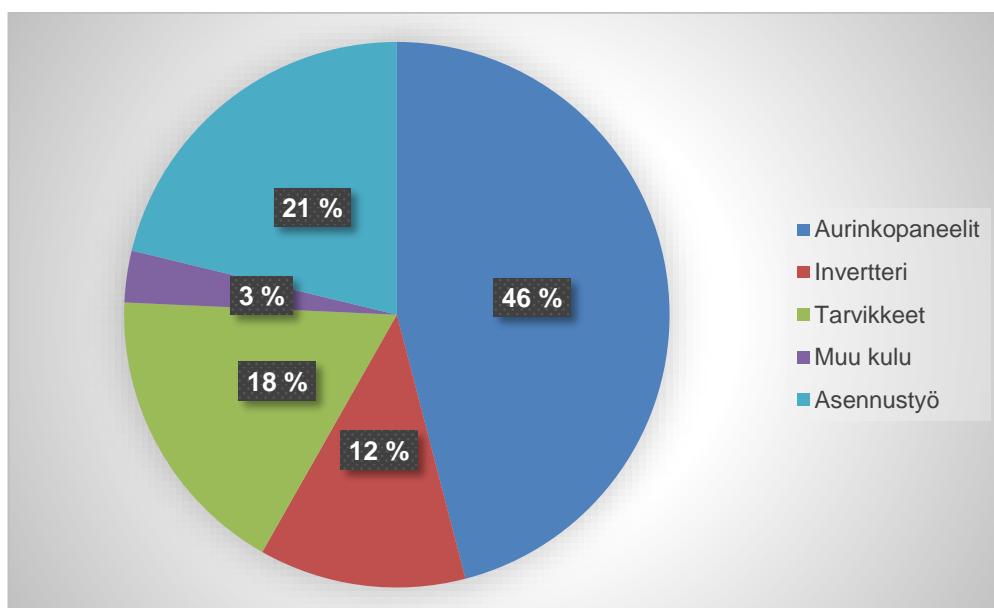


Kuva 18. Kulurakenne käytettäessä tyhjiöputkikeräimiä.

Adsorptiojäähdytyslaitteiston taloudellisessa tarkastelussa arvioitiin sähkön hinnan nousu 2 % ja inflaation aiheuttamaksi hintojen nousuksi 0,5 %. Huoltokustannuksia laskelmaan sisällytettiin 100 €/a ja käytetyn vertailukelpoisen yleissähkön hinta sisältäen siirtomaksun oli 0.1 € / kWh. Tarkastelujaksoksi valittiin 30 vuotta. Kaikki laskelmissa käytetyt hinnat olivat alv. 0 % verokannalla. Laitteisto kulutti vuodessa 2477 kWh sähköenergiaa ja tuotti kylmäenergiaa 6052 kWh. 30 vuoden tarkastelujaksolla adsorptiojäähdytyslaitteisto tuotti kylmäenergiaa 181560 kWh ja laitteiston elinkaarikustannukseksi tuli 69526 €. Elinkaarikustannuksen ja 30 vuodessa tuotetun kylmäenergian suhdeluvuksi saatiin 0,38 € / kWh.

5.2 Aurinkosähköjärjestelmän perustamisen kulut ja taloudellinen tarkastelu

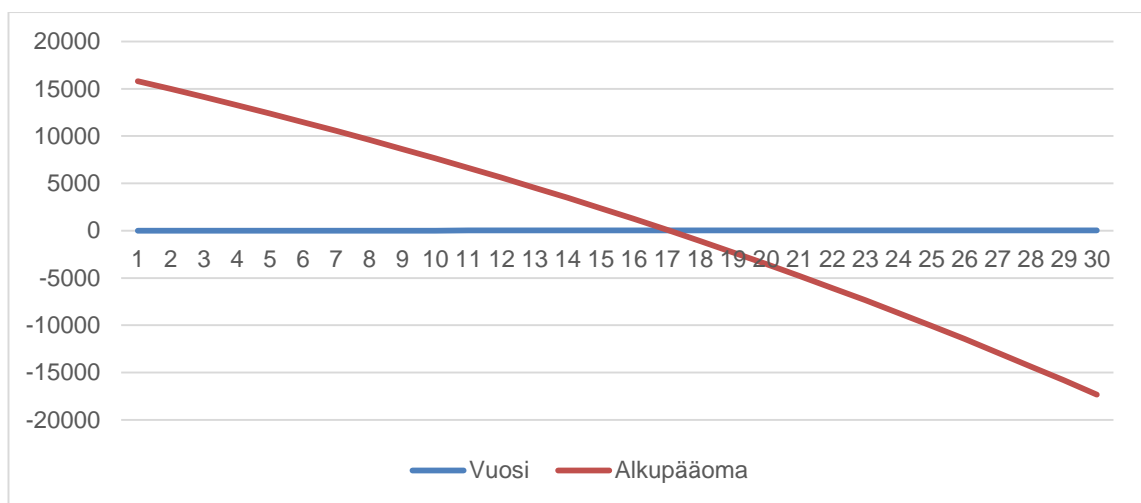
Aurinkosähköjärjestelmän investointikulut 15810 € alv.0 % koostuivat aurinkopaneeleista 46 %, invertteristä 16 % ja asennustyöstä 21 %. Loput 21 % aiheutuivat yleisistä sähkö- ja asennustarvikkeista sekä muista kuluista (kuva 21).



Kuva 19. Aurinkosähkölaitteiston kulurakenne.

Sähkön hinnan nousuksi arvioitiin 2 % vuodessa ja inflaation aiheuttama hintojen vuosittaiseksi nousuksi 0,5 %. Aurinkosähköpaneelin vuotuinen tehonlasku oli 0,5 %. Huoltokustannukset olivat 100 € vuodessa ja yleissähkön hinta siirtomaksun kanssa 0.1 € / kWh. Tarkastelujaksoksi valittiin 30 vuotta. Kaikki laskelmissa käytetyt hinnat olivat alv.

0 % verokannalla. Laitteisto tuotti sähköenergiaa 9294 kWh/a. Kaikki tuotettu sähköenergia meni nykyisen kompressorikäyttöisen kylmävesikoneen käytettäväksi ja kylmäkertoimen ollessa 2,5 saatiin kylmäenergiaa vuodessa 22325 kWh. 30 vuoden tarkastelujaksolla aurinkosähkölaitteisto tuotti 2,5:n kylmäkertoimella kylmäenergiaa 697050 kWh ja laitteiston elinkaarikustannukseksi tuli 18810 €. Elinkaarikustannuksen ja 30 vuodessa tuotetun kylmäenergian suhdeluvuksi saatiin 0,027 € / kWh. Kaaviosta 13 näemme, että laitteisto kuoletti itsensä 17 vuoden käyttöään jälkeen. Aurinkosähkölaitteiston taloudellinen tarkastelu ei sisällä uuden nestejäähdytyskoneikon tuomia kustannuksia, koska tutkimuksessa käytettiin nykyistä nestejäähdytyskoneikkoa hyödyksi.



Kaavio 12. Aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksuaika.

5.3 Taloudellisen tarkastelun yhteenveto

Voimme todeta (taulukko 7), että adsorptiojäähdytyslaitteiston € / kWh suhdeluku on huomattavasti suurempi kuin aurinkosähkölaitteistolla. Adsorptiojäähdytyslaitteiston suhdelukuun vaikutti suuremmat investointikustannukset sekä ostoenergian hinta. Aurinkosähkölaitteiston alhainen suhdeluku perustui pienempiin investointi- ja käyttökuluihin sekä parempaan kylmäenergian tuottoon. Aurinkosähkölaitteisto maksoi itsensä takaisin 17 vuoden jälkeen ja tuotti 30 vuoden tarkastelujaksolla 18894 €.

Laitteisto	Adsorptiojäähdytys 8kW	Aurinkosähkö 10,5kWp
Laitteiston aloituskustannus	55 651 €	15 810 €
Sähköenergian kulutus kWh / a omakäyttö	2477 kWh	0 kWh
Sähköenergian hinta € / 30v omakäyttö	10 875 €	0 €
Sähköenergian tuotto kWh / a (E sähkö)		9294 kWh
Kylmäenergian tuotto kWh / a (E kylmä)	6052 kWh	E sähkö * EER 2,5 = 23235 kWh
Kylmäenergian tuotto kWh / 30v (E kylmä)	181560 kWh	697050 kWh
Elinkaarikustannus € / 30v tuotettu kylmä kWh	0,38 € / kWh	0,027 € / kWh
Suorituskyky suhde	0,39	0,84
Tuotto 30 vuotta (Ilman kuluja)		37 704 €
Tuotto 30 vuotta (kulut vähennetty)		18 894 €
Laitteiston takaisinmaksuaika	Ei takaisinmaksuaikaa	17 vuotta
EER 2,44 = Adsorptiojäähdyttimen kylmäkerroin EER 2,5 = Kylmävesikoneikon kylmäkerroin Kaikki hinnat sis. Alv 0 %		
Sähkön hinta	0,1 cmt / kWh	
Inflaatio / a	0,50 %	
Sähkön hinnan nousu / a	2 %	
Kiinteät kulut / a	100 €	
Aurinkopaneelin tehon lasku / a	0,50 %	

Taulukko 6. Taloudellisen tarkastelun yhteenvetotaulukko.

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Tutkimuksen alkuvaiheessa kävi selväksi, että kiinteistön koko jäähdytystarvetta ei pystytty kattamaan aurinkojäähdytysjärjestelmällä. Keräinpinta-ala olisi kasvanut niin suureksi, että rakennuksen käytettävissä oleva kattopinta-ala olisi loppunut kesken. Siksi päädyttiin laitteiston osatehomitoitukseen. Ongelmaksi muodostui simulointiohjelmassa olevien aurinkojäähdytykseen sopivien laitteistojen rajallinen määrä. Adsorptiojäähdytyslaitteiston osalta päädyttiin simuloimaan markkinoilla olevaa laitteistoa ja absorptiojäähdytyslaitteisto oli Vela Solariksen mallilaitteisto. Aurinkosähköjärjestelmän osalta löytyi laaja tuotevalikoima, joka helpotti laitteiston simulointia.

Adsorptio- ja absorptiolaitteistoa simuloitiin kahdella eri keräintyyppillä, jotta saatiin vertailukuva keräimien yhteensopivuudesta laitteistojen kanssa. Adsorptiolaitteistoa simuloitaessa tyhjiöputkikeräimien tuottama vuotuinen lämpöenergia oli huomattavasti suurempi kuin tasokeräimien. Jäähdyttimen generaattorille syötetty keskimääräinen lämpöteho oli kuitenkin vastaavanlainen kummallakin keräintyyppillä. Tyhjiöputkikeräimillä saatiin lämpöenergiaa aikana, jolloin ei ollut jäähdytystarvetta kiinteistössä. Vaadittu jäähdytysverkoston menoveden lämpötila oli 15 °C ja adsorptiolaitteisto täytti vaatimukset taso- sekä tyhjiöputkikeräimillä toukokuusta syyskuuhun. Absorptiojäähdytys täytti vaatimukset tyhjiöputkikeräimillä kesäkuusta syyskuuhun.

Sekä adsorptio- että absorptiolaitteen jäähdytystornin toiminta oli hyvin keskeistä laitteistojen toimivuuden kannalta. Oikean mitoituksen kannalta valmistajien teknisistä tiedoista ei löytynyt nestelauhduksien läpi puhallettavia ilmamääriä. Ilmamäärät aseteltiin käsin optimaaliseksi, jotta päästiin välipiirin tavoiteltuun mitoituslämpötilaan. Keräinkentän mitoituksessa oli huomioitava mahdollinen aurinkokeräimissä tapahtuva nesteen kiehumta, joka helposti liian pienellä ensiöpuolen aurinkovaraajalla pääsi tapahtumaan kesäkuukausina varsinkin tyhjiöputkikeräimiä käytettäessä.

Toteutuneiden simulointitulosten perusteella aurinkojäähdytysjärjestelmä voidaan perustaa Suomen olosuhteissa, jos jäähdytykseen tarvittavan menoveden lämpötilamitoitus on 15/18 °C. Kun käytetään alempia jäähdytysverkoston lämpötiloja, esimerkiksi 7/12 °C, generaattorille tulevan kuumen veden lämpötilan pitäisi olla huomattavasti korkeampi ja Suomen olosuhteissa siihen tuskin päästäisiin.

Taloudellisen tarkastelun pohjalta aurinkojäähdytykseen soveltuvista adsorptiolaitteistoista tulee kalliita perustaa. Kylmäenergian tuotto jää pieneksi verrattuna laitteiston kuluttamaan sähköenergiaan. Itse jäähdytysyksikkö ei sähköä kuluta, mutta oheislaitteet, kuten jäähdytystorni sekä pumput, vievät huomattavan osan jäähdytyslaitteiston osatoenergiasta. Myös laitteiston tilantarve on huomattava ja isompiin jäähdytystarpeisiin tarvittava suuri keräinpinta-ala aiheuttaa omat ongelmansa. Tutkimuksessa käytetty laitteiston koko oli suhteessa pieni, joten teholtaan isomman adsorptiojäähdytyslaitteiston tuomia mahdollisia etuja ei tässä työssä tarkasteltu.

Aurinkosähkölaitteiston osalta päästiin 17 vuoden takaisinmaksuaikaan. Laitteisto on huomattavasti yksinkertaisempi ja kevyempi rakenteeltaan kuin aurinkolämpöjäähdytysjärjestelmät. Simuloinnin perusteella kaikki tuotettu sähköenergia kulutettiin kiinteistössä nykyisen kompressorikäyttöisen nestejäähdytyskoneikon käytössä. Nestejäähdyttimen kylmäkerroin on 2,5, joten yhdestä tuotetusta sähkökilowatista saatiin 2,5 kW kylmätehoa kiinteistön jäähdyttämiseen. Aurinkosähkölaitteiston kustannuksissa ei huomioitu uuden nestejäähdytyskoneikon tuomia kustannuksia, koska tutkimustyössä hyödynnettiin kiinteistössä olevaa nykyistä kompressorikäyttöistä nestejäähdytyskoneikkoa. Aurinkosähkölaitteiston osalta lopputulos olisi muuttunut hieman, jos taloudellisessa tarkastelussa olisi käytetty uuden nestejäähdytyskoneikon tuomia kustannuksia.

LÄHTEET

- Areva Solar 2016. Aurinkoenergia. Viitattu 17.4.2016. <http://arevasolar.fi/fi/aurinkoenergia>
- Erat Bruno jne 2008. Aurinko-opas: Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo painoyhtymä Oy. 2008.
- Esri 2016. Modeling solar radiation. Viitattu 17.1.2016. <http://desktop.arcgis.com/en/desktop/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/modeling-solar-radiation.htm>
- Finnwind Oy 2013. Aurinkoenergiaopas. Viitattu 23.1.2016. <http://www.finnwind.fi/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>
- Global CSC Institute 2016. Thermally driven heat pumps. Viitattu 15.2.2016. <https://hub.globalccs-institute.com/publications/strategic-research-priorities-cross-cutting-technology/43-thermally-driven-heat-pumps>
- IET EU 2016. Institute for Energy and transport. Viitattu 17.1.2016. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_opt/PVGIS-EuropeSolarPotential.pdf.
- Malux kirjasto. Lavonen J. & Meisalo V. Luonnon perusrakenteet ja vuorovaikutukset. Viitattu 17.1.2016. <http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/rakenteet/main.htm>
- Meteonorm software 2016. Meteonorm 7 Software. Viitattu 17.1.2016. <http://www.meteonorm.com/en/downloads>
- Motiva Oy 2016. Uusiutuva energia. Viitattu 14.1.2016. http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa
- Oy Jackson imports Ltd 2016. Tuotteet. Viitattu 19.1.2016. <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>
- Photovoltaic Systems 2013. The German Solar Energy Society. Planning and Installing. Viitattu 24.1.2016
- Rakennusten lämmitys 2001. Seppänen Olli. S.338,339
- Rica Heating 2013. Putkikeräinjärjestelmät. Viitattu 19.1.2016. <http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-putkikerainjarjestelma>, <http://www.ricaheating.fi/tuotteet/aurinkolammitys/rica-solar-uc58c-u-putkikerain>
- Sandberg Esa 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Talotekniikkajulkaisut Oy
- Simons Boiler 2016. Absorption chillers-trigeneration. Viitattu 28.3.2016 <http://simonsboiler.com.au/product/shuangliang-absorption-chillers-trigeneration/>
- Solair 2007-2009. Target GmbH. Viitattu 30.1.2016 <http://www.solair-project.eu/142.0.html>
- Solar Thermal Systems 2005. The German Solar Energy Society. Planning and Installing.
- Solar Tribune 2016. Flat plate solar collectors. Viitattu 19.1.2016. <http://solartribune.com/solar-flat-plate-collector/>
- Solpros AY 2006. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. Viitattu 21.1.2016. <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>

Sortech AG 2016. Adsorption technology. Viitattu 31.1.2016. <http://www.sortech.de/en/technology/adsorption/>.

Suntekno Oy 2016. Tietopankki/Aurinkoenergia. Viitattu 13.1.2016. <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/aurinkoenergia.pdf>

Suomen Ekotalot Oy 2014. Energian tuotto. Viitattu 19.1.2016. <http://www.suomenekotalot.fi/energian-tuotto/aurinkolampo>

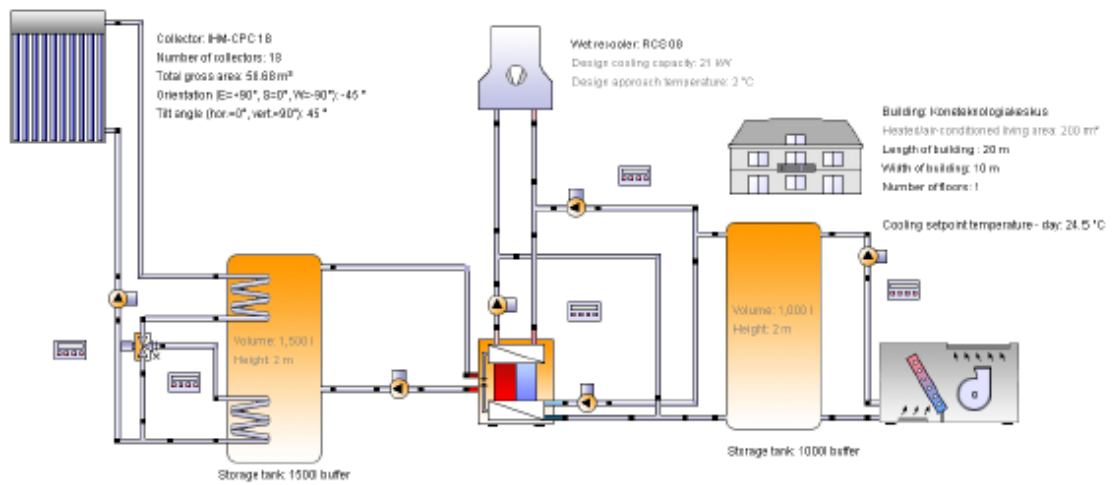
Vaisala Oy 2016, Ilmakehäanturit. Viitattu 17.1.2016. www.vaisala.fi/fi/roads/products/atmospheric-sensors/Pages/QMS101.aspx

VTT Energia 1998. Viitattu 28.3.2016. Uudemman absorptiojäähdytystekniikan soveltaminen kaukojäähdytyksessä. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1998/T1926.pdf>

Financial Report

KTK Adsorptio

KTK 8kW Adsorptio Tyhjiöputkikeräin



Location of the system

Finland
Turku
Longitude: 22.25°
Latitude: 60.45°
Elevation: 21 m

This report has been created by:

Salmi Teemu
Sepänkatu 1
20720 Turku

System overview (annual values)

Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]	2,477.2 kWh
Total energy consumption [Quse]	11,564 kWh
System performance $[(Q_{use} + E_{inv}) / (E_{aux} + E_{par})]$	4.67
Comfort demand	Energy demand covered

Financial Report

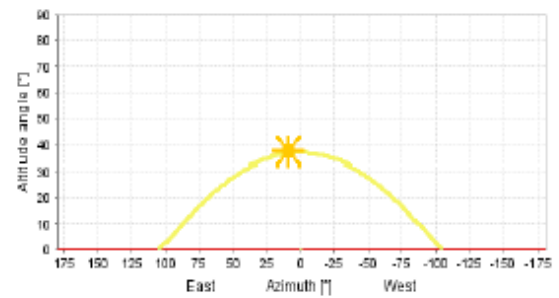
Overview solar thermal energy (annual values)

Collector area	58.7 m ²
Solar fraction total	100%
Total annual field yield	19,955.9 kWh
Collector field yield relating to gross area	340.1 kWh/m ² /Year
Collector field yield relating to aperture area	391.8 kWh/m ² /Year
Max. energy savings	-
Max. reduction in CO2 emissions	-

Overview heat driven chiller (annual values)

Seasonal performance factor - Cooling	0.39
Total cooling energy yield	6,052.4 kWh
Heat supplied by generator	15,710.71 kWh

Horizon line



Meteorological data-Overview

Average outdoor temperature	5.6 °C
Global irradiation, annual sum	962.9 kWh/m ²
Diffuse irradiation, annual sum	463.2 kWh/m ²

Component overview (annual values)

Adsorption chiller		ACS08
Seasonal performance factor - Cooling []		0.39
Cooling energy yield	kWh	6,052.4
Heat supplied by generator	kWh	15,710.7
Collector		IHM-CPC 18
Data Source		ITW
Number of collectors		18
Number of arrays		3
Total gross area	m ²	58.68
Total aperture area	m ²	50.94
Total absorber area	m ²	50.94
Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°)	°	45
Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°)	°	-45
Collector field yield [Qsol]	kWh	19,955.9
Irradiation onto collector area [Esol]	kWh	57,649.8
Collector efficiency [Qsol / Esol]	%	34.6
Direct irradiation after IAM	kWh	31,488.1
Diffuse irradiation after IAM	kWh	23,505.6
Wet recoler		RCS 08
Rejected heat	kWh	27,193.9
Thermal efficiency []	%	17.48
Fan coil		Aktiivipalkkijäähdytys
Number of fan coils	-	7
Nominal cooling power	W	1,100
Nominal cooling water inlet temperature	°C	15
Nominal cooling water return temperature	°C	19
Net energy from/to heating/cooling modules	kWh	-11,564
Pump Rückkühlung		Wilo-Stratos 30/1-12
Circuit pressure drop	bar	0.156
Flow rate	l/h	3,700
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	15.5

Financial Report

Pump Verdampfer	Wilo-Stratos 30/1-12	
Circuit pressure drop	bar	0.051
Flow rate	l/h	2,000
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	15.5
Pump SR	Wilo-Stratos 25/1-8	
Circuit pressure drop	bar	0.099
Flow rate	l/h	2,967.5
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	78.8
Pump Solar loop	Eco, medium	
Circuit pressure drop	bar	0.33
Flow rate	l/h	3,600
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	9.8
Pump Generator	Wilo-Stratos 25/1-8	
Circuit pressure drop	bar	0.021
Flow rate	l/h	1,600
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	8.7
Pump RK	Wilo-Stratos 30/1-12	
Circuit pressure drop	bar	0.168
Flow rate	l/h	3,500
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	41.3
Storage tank KSP	1000l buffer	
Volume	l	1,000
Height	m	2
Material		Steel
Insulation		Rigid PU foam
Thickness of insulation	mm	80
Heat loss [Qh]	kWh	1.1
Storage tank HSP	1500l buffer	
Volume	l	1,500
Height	m	2
Material		Steel
Insulation		Rigid PU foam
Thickness of insulation	mm	80
Heat loss [Qh]	kWh	1,011
Connection losses	kWh	620.6

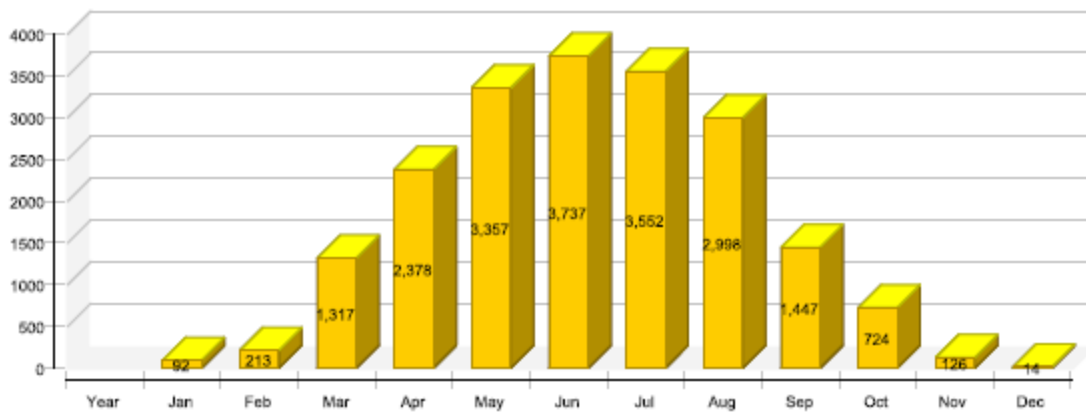
Financial Report

Loop

Solar loop		
Fluid mixture		Propylene mixture
Fluid concentration	%	33.3
Fluid domains volume	l	169.9
Pressure on top of the circuit	bar	4

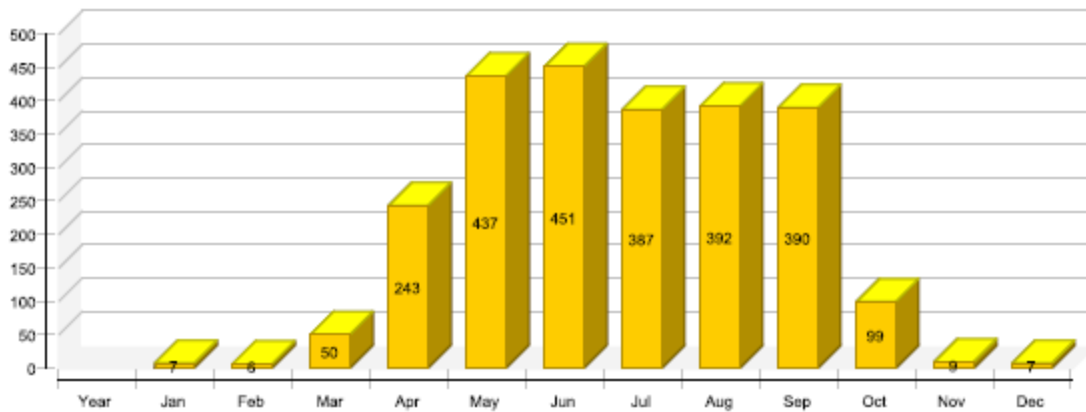
Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh



Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]

kWh



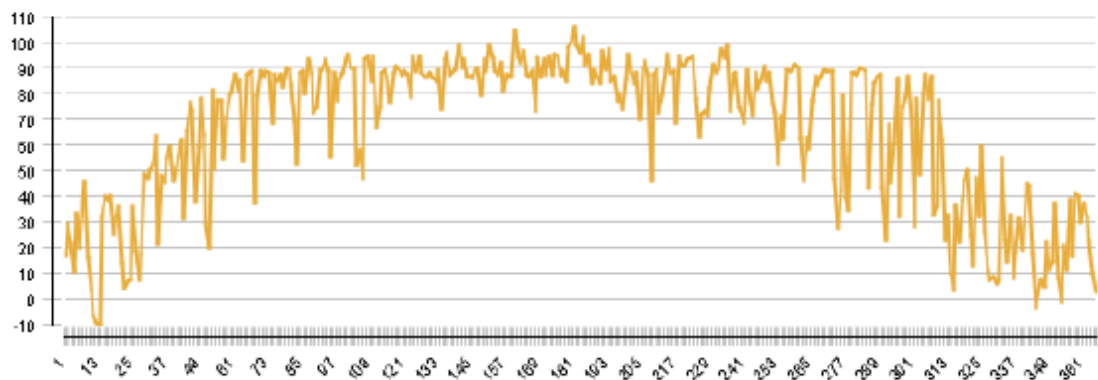
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Solar thermal energy to the system [Qsol]													
kWh	19956	92	213	1317	2378	3357	3737	3552	2998	1447	724	126	14
Heat generator fuel and electricity consumption [Eaux]													
kWh	2308	0	0	40	227	415	427	365	371	372	89	3	0

Financial Report

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]													
kWh	2477	7	6	50	243	437	451	387	392	390	99	9	7
Irradiation onto collector area [Eso]													
kWh	57650	917	2208	5142	6712	8500	8900	8301	7230	4678	3137	1235	690
Electricity consumption of pumps [Epar]													
kWh	169.6	6.8	6.2	9.7	16	22.5	23.4	22.4	21.3	18.1	9.9	6.7	6.7
Total energy consumption [Quse]													
kWh	11564	39	35	416	1354	2177	2057	1705	1658	1577	444	63	39
Heat loss to indoor room (including heat generator losses) [Qint]													
kWh	4393	91	193	443	455	522	582	626	541	337	320	186	95

Collector

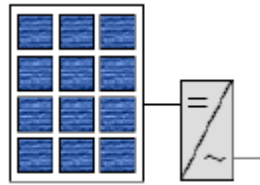
Daily maximum temperature [°C]



Professional Report

KTK Aurinkosähkö

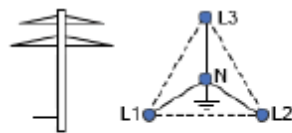
Verkkoon kytketty Aurinkosähkö



Photovoltaics: YL250P-29b
Number of modules: 42
Total nominal power generator field: 10.5 kW



Number of electricity consumption profiles: 1
Total consumption of the profiles: 433,142 kWh



Electric Grid: Three-phase (230V/400V, 50 Hz, WYE)
Local grid voltage: 400 V

Feed-in power limitation: no

Location of the system

Finland
Turku
Longitude: 22.25°
Latitude: 60.45°
Elevation: 21 m

This report has been created by:

Salmi Teemu
Sepänkatu 1
20720 Turku

Professional Report

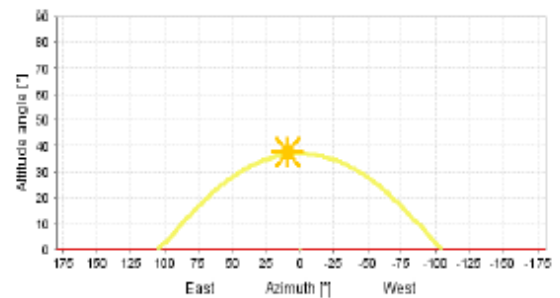
Overview photovoltaics (annual values)

Total gross area	68.6 m ²
Energy production DC [Qpvf]	9,614.8 kWh
Energy production AC [Qinv]	9,294.5 kWh
Total nominal power generator field	10.5 kW
Performance ratio	84 %
Specific annual yield	885.2 kWh/kWp/a
Phase imbalance	0 kVA
Reactive energy [Qinvr]	0 kvarh
Apparent energy [Qinva]	9,294.5 kVAh
CO2 savings	4,985.5 kg

Overview electricity (annual values)

Self-consumption fraction	100 %
Self-consumption on an hourly basis	9,294.5 kWh
Annual consumption	433,142 kWh

Horizon line



Meteorological data-Overview

Average outdoor temperature	5.6 °C
Global irradiation, annual sum	962.9 kWh/m ²
Diffuse irradiation, annual sum	463.2 kWh/m ²

Component overview (annual values)

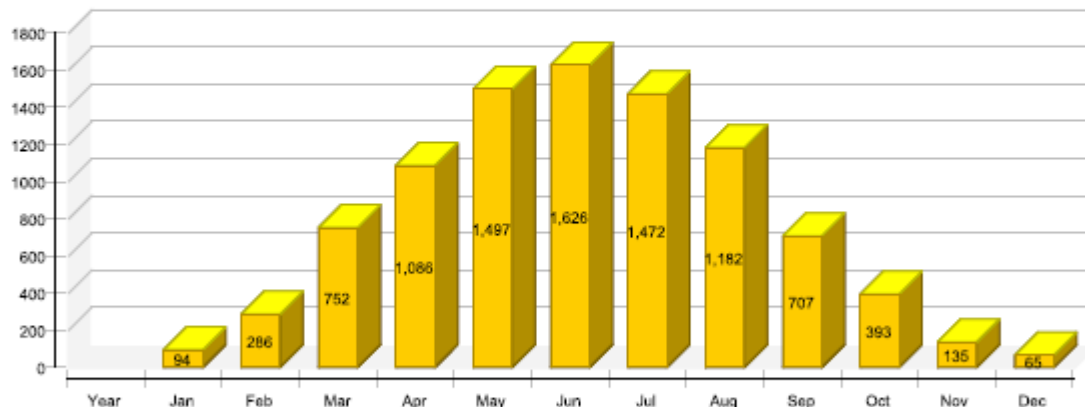
Electric Grid	Three-phase (230V/400V, 50 Hz, WYE)	
Electric Grid		Three-phase (230V/400V, 50 Hz, WYE)
Nominal voltage	V	400
Nominal frequency	Hz	50
Feed-in		yes
Feed-in power limitation		no

Professional Report

Photovoltaics Roof plan		YL250P-29b
Manufacturer		Yingli Green Energy Holding Co. Ltd.
Data Source		Photon
Number of modules		42
Number of modules (layout)		42
Total nominal power generator field	kW	10.5
Total gross area	m ²	68.61
Inverter 1: Name		Symo 12.5-3-M
Inverter 1: Manufacturer		Fronius International GmbH
Inverter 1: Number of phases		3
Layout 1: Number of inverters		1
Layout 1: cos phi		1
Layout 1: A number of strings		2
Layout 1: A modules per string		21
Layout 1: A orientation	°	-45
Layout 1: A tilt angle	°	15
Layout 1: B number of strings		0
Layout 1: B modules per string		0
Layout 1: B orientation	°	0
Layout 1: B tilt angle	°	45
Total nominal power of all inverters	kVA	12.5
Energy production DC [Qpvf]	kWh	9,615
Energy production AC [Qinv]	kWh	9,294
Specific annual yield	kWh/kWp/a	885.2
Reactive energy [Qinvr]	kvarh	0
Apparent energy [Qinva]	kVAh	9,294
Derating losses [Qder]	kWh	0

Yield Photovoltaics AC [Qinv]

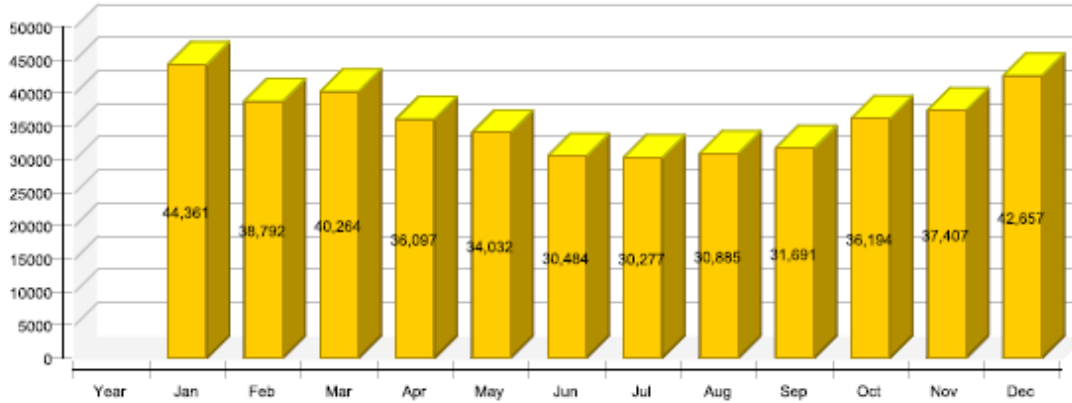
kWh



Professional Report

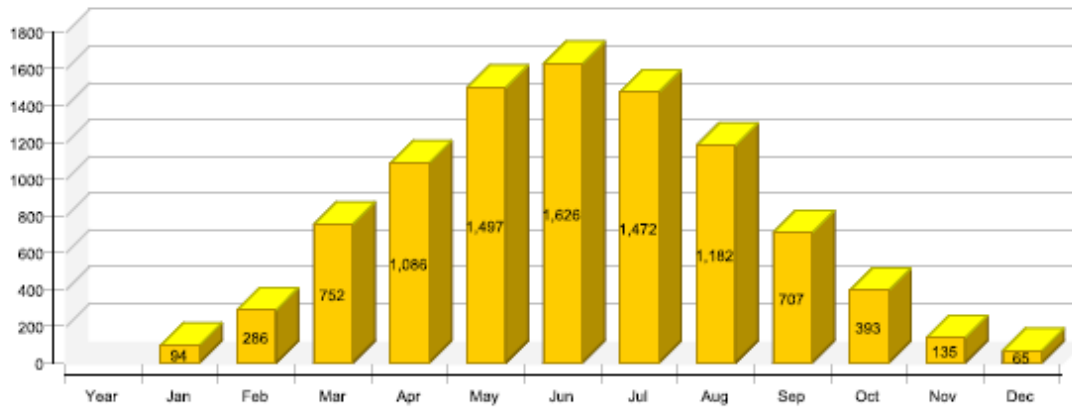
Total electricity consumption [Ecs]

kWh



Self-consumption [Eocs]

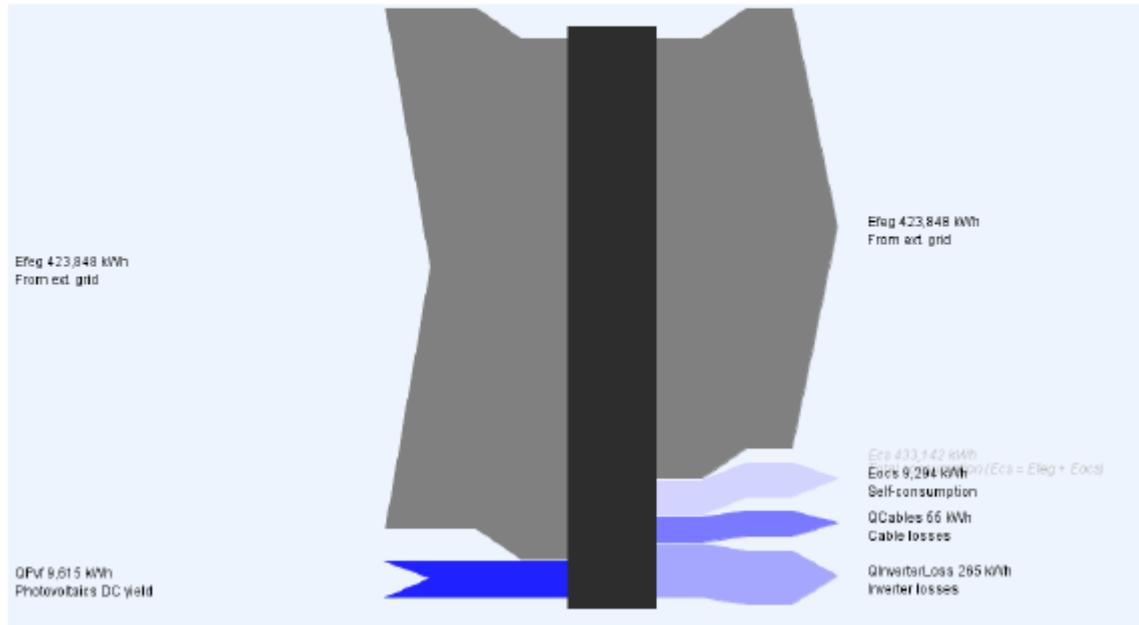
kWh



Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Yield Photovoltaics DC [Qpvf]													
kWh	9615	102	300	779	1120	1542	1674	1517	1220	733	412	145	72
Radiation onto module area [Esol PV]													
kWh	72275	781	2168	5543	8154	11480	12736	11735	9386	5543	3084	1096	570
Yield Photovoltaics AC [Qinv]													
kWh	9294	94	286	752	1086	1497	1626	1472	1182	707	393	135	65
Total electricity consumption [Ecs]													
kWh	433142	44361	38792	40264	36097	34032	30484	30277	30885	31691	36194	37407	42657
Self-consumption [Eocs]													
kWh	9294	94	286	752	1086	1497	1626	1472	1182	707	393	135	65

Professional Report

Energy flow diagram (annual balance)



Liite 3. Adsorptiojäähdytys- sekä aurinkosähkölaitteiston kustannuslaskelmat.

Tuote	hinta	vero	määrä	vat19/alv24	vat/alv0%
Aurinkopaneeli Yingli Panda 250Wp	205,83	sis. vat 19%	42	8645	7265
Invertteri Fronius Symo 12,5-3-M	2306,39	sis. vat 19%	1	2306	1938
Aurinkopaneeli teline	32,73	sis. vat 19%	42	1375	1155
Osat+kaapelit	2000	sis. alv 24%	1	2000	1613
Rahti		sis. alv 24%		600	484
Työ	52		80	4160	3355
				19086	15810

Tuote	hinta	vero	määrä	vat19/alv24	vat/alv0%
ACS08 Adssorptio	9990	sis. vat 19%	1	9990	8395
RCS08	3690	sis. vat 19%	1	3690	3101
Akvaterm solar 1500l 1,5bar	2945	sis. alv 24%	1	2945	2375
Akvaterm Energiavaraaja 1000l	1829	sis. alv 24%	1	1829	1475
IHM CPC-18 Tyhjiöputkikeräin	1400	sis. vat 19%	18	25200	21176
PCS08-GHT	5489	sis. vat 19%	1	5489	4613
Pumput Wilo Stratos	1000	sis. alv 24%	2	2000	1613
Automaatio	2500	sis. alv 24%	1	2500	2016
Putket+Osat	2500	sis. alv 24%	1	2500	2016
Työ	52	sis. alv 24%	200	10400	8387
Rahti	600	sis. alv 24%	1	600	484
				67143	55651

Liite 4. Aurinkosähkölaitteiston takaisinmaksulaskelma.

Vuosi	Alkupääoma	Tuotto	Jäännöspää- oma	% korotukset yht.	Sähkön hinnan nousu	Kiinteät kulut
1	15810	929	14980	0,02	18,59	100
2	14980	948	14132	0,02	18,96	100
3	14132	967	13265	0,02	18,96	100
4	13265	986	12379	0,02	19,34	100
5	12379	1006	11473	0,02	19,73	100
6	11473	1026	10547	0,02	20,12	100
7	10547	1047	9600	0,02	20,52	100
8	9600	1068	8633	0,02	20,93	100
9	8633	1089	7644	0,02	21,35	100
10	7644	1111	6633	0,02	21,78	100
11	6633	1133	5600	0,02	22,21	100
12	5600	1156	4544	0,02	22,66	100
13	4544	1179	3466	0,02	23,11	100
14	3466	1202	2363	0,02	23,57	100
15	2363	1226	1237	0,02	24,05	100
16	1237	1251	86	0,02	24,53	100
17	86	1276	-1090	0,02	25,02	100
18	-1090	1301	-2291	0,02	25,52	100
19	-2291	1327	-3518	0,02	26,03	100
20	-3518	1354	-4772	0,02	26,55	100
21	-4772	1381	-6053	0,02	27,08	100
22	-6053	1409	-7362	0,02	27,62	100
23	-7362	1437	-8699	0,02	28,17	100
24	-8699	1466	-10065	0,02	28,74	100
25	-10065	1495	-11459	0,02	29,31	100
26	-11459	1525	-12884	0,02	29,90	100
27	-12884	1555	-14339	0,02	30,50	100
28	-14339	1586	-15826	0,02	31,11	100
29	-15826	1618	-17344	0,02	31,73	100
30	-17344	1650	-18894	0,02	32,36	100
Aurinkosähköpaneelin tehon lasku			0,5	% / a		
Sähkön hinta			0,1	€ / kWh	Alv0 %	
Inflaatio			0,5	% / a		
Kiinteät kulut			100	€ / a	(Huolto ym.)	
Sähkön hinnan nousu			2	% / a		
Tuotetun energian hinta 30v			37704	€		

