

Eero-Pekka Vuorensola

AURINKOKERÄIMEN MITTAUS

Energiatekniikan koulutusohjelma
2012

AURINKOKERÄIMEN MITTAUS

Vuorensola, Eero-Pekka
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Energiatekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2012
Ohjaaja: Anttonen, Pekka
Sivumäärä: 61
Liitteitä: 1

Asiasanat: aurinkokeräimet, aurinkoenergia, aurinkolämmitys, uusiutuvat energialähteet

Työssä tutkittiin aurinkokeräintä, joka siirtää auringon lämpöä keräimen läpi virtaavaan ilmaan. Keräin oli rakennettu jalustalle pystysuoraan, koska yleensä tämän tyyppiset keräimet asennetaan seinälle. Pystysuora asennus on hyvä talvella, kun aurinko paistaa matalalta.

Työn tarkoitus oli selvittää aurinkokeräimen hyötysuhdetta ja rakentamisen kannattavuutta. Tutkitun aurinkokeräimen oli valmistanut Porin Termolaite Oy. Se oli alun perin tarkoitettu kaupalliseen valmistukseen. Tästä kuitenkin luovuttiin, koska laite on edullinen ja helppo rakentaa itse. Englanninkielisiä rakennusohjeita on myös helppo löytää Internetistä. Porin Termolaite Oy mainostaa itseään lämpötekniikan osaajana jakamalla aurinkokeräimen rakennusohjetta suomeksi Internetissä.

Työssä mitattiin keräimeen liittyviä lämpötiloja, paine-eroa ja auringon säteilytehoa. Lämpötiloista mitattiin ulkolämpötilaa, kerääjän sisäosien lämpötiloja ja poistoilmakanavan alun lämpötilaa. Paine-eroa mitattiin poistokanavassa olevan mittalaipan yli ja siitä saatiin laskettua kanavan ilmavirta. Auringon säteilytehoa mitattiin laitteen sisäpuolelta ja laitteen päältä. Mittauksista laskettiin keräimen teho, hyötysuhde ja lämpöhäviöprosentti.

Investointilaskelmassa keskityttiin kyseisten mittausten tuloksiin ja pyrittiin selvittämään laitteiston kustannussäästöä verrattuna saman energian tuottamiseen sähköllä. Mahdollisia sovelluskohteita olisi useita, esimerkiksi pientalon ilmanvaihdon tuloilman esilämmittäminen. Mittausten ja säätilastojen perusteella arvioitiin, että kerääjä tuottaa noin 133 kWh vuodessa aikavälillä loka-maaliskuu.

MEASUREMENTS OF A SOLAR HEAT COLLECTOR

Vuorensola, Eero-Pekka

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Energy engineering

May 2012

Supervisor: Anttonen, Pekka

Number of pages: 61

Appendices: 1

Keywords: solar heat collectors, solar energy, solar heating, renewable energy sources

In this thesis, I investigated a solar heat collector, which transfers solar heat to the air flowing through it. The collector was mounted vertically on a stand, while collectors of this type are normally mounted on the wall. Vertical mounting is preferable in the winter when the sun stays low in the sky.

The aim of this study was to examine the efficiency of the collector and its profitability. The collector investigated was constructed by Porin Termolaite Oy. It was originally intended for commercial manufacture. The plan was given up, however, since the device is inexpensive and easy to build on one's own. Building instructions can easily be found in English on the Internet. The company promotes itself as an expert in thermal technology and shares building instructions in Finnish on the Internet.

In this study, temperature, pressure difference and the power of solar radiation were investigated. The temperatures measured were outside temperature, temperatures inside the collector, and the temperature at the beginning of the outlet tube. The pressure difference was measured over a flange in the outlet tube in order to calculate the air flow in the tube. Solar radiation power was measured on the inside and on the top of the device. From these measurements the power, efficiency and rate of heat loss of the collector were calculated.

The investment calculations focused on the results of the measurements and sought to identify the cost savings of the collector compared with the same amount of heat produced by electricity. There are several possible applications of the device, such as preheating the supply air of the ventilation in a single-family house. Comparing the measurements and weather statistics, it was estimated that the collector produces about 133 kWh per year between October and March.

SISÄLLYS

SELITELUETTELO.....	V
1 JOHDANTO	5
2 AURINKOENERGIA.....	7
2.1 Aurinko.....	8
2.2 Aurinkoenergian kerääminen.....	9
2.2.1 Pasiivinen auringon kerääminen.....	9
2.3 Aktiivikeräimet.....	10
3 KUUMAILMAKERÄINTEN KÄYTTÖ MAAILMALLA.....	13
4 MITTAUKSET.....	14
4.1 Mittauspaikka ja -aika.....	14
4.2 Mittauslaitteisto ja -pisteet.....	15
4.3 Työn tavoitteet.....	18
5 TULOKSET.....	20
5.1 Laskentamenetelmät.....	21
5.2 Tulosten analysointi.....	26
5.3 Kannattavuuslaskelma.....	28
5.4 Muita havaintoja.....	29
6 PÄÄTELMÄT.....	31
LÄHTEET.....	32
LIITTEET	

SELITELUETTELO

EIA - Energy Information Administration on osa Yhdysvaltain energiaministeriötä

NASA - National Aeronautics and Space Administration), Yhdysvaltain ilmailu- ja avaruushallinto

OECD - Organisation for Economic Cooperation and Development, Taloudellisen yhteistyön ja kehityksen järjestö

AU - Astronomical Unit, astronominen yksikkö eli tähtitieteellinen yksikkö on Maan keskietäisyys Auringosta, joka on noin 149,6 miljoonaa kilometriä

PV - Photovoltaic, Aurinkokenno on laite, jolla auringon säteily muunnetaan hyödynnettäväksi sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla

VTT - Teknologian tutkimuskeskus (aiemmin Valtion teknillinen tutkimuskeskus), Suomen valtion omistama tutkimuskeskus

Absorptio – Lämpöabsorptio tarkoittaa lämmön imeytymistä aineeseen

Stagnaatiolämpötila – Aurinkokeräimelle ominainen virtaukseton ja häviötön lämpötila

<u>Tunnus</u>	<u>Yksikkö</u>	<u>Määritelmä</u>
T_{ulko}	°C	Ulkoilman lämpötila, ulkolämpömittausten keskiarvo
T_{ala}	°C	Kerääjän alakerroksen lämpötila, alakerroksen lämpömittausten keskiarvo
T_{keski}	°C	Kerääjän keskikerroksen lämpötila, keskikerroksen lämpömittausten keskiarvo
$T_{\text{ylä}}$	°C	Kerääjän yläkerroksen lämpötila, yläkerroksen lämpömittausten keskiarvo
T_{putki}	°C	Poistoilmaputken alun lämpötila, putken alun lämpömittausten keskiarvo
ΔT	°C	Ilman lämpeneminen kerääjässä, poistoilmaputken alun lämpötilan ja ulkolämpötilan erotus
Q_{ulko}	W/m ²	Auringon säteilyteho kerääjän ulkopuolella
$Q_{\text{sisä}}$	W/m ²	Auringon säteilyteho kerääjän sisäpuolella
τ		Kerääjän läpäisyysuhde eli paljonko auringon säteilytehosta läpäisee keräimen pintarakenteet
P_{ulko}	W	Auringon kokonaissäteilyteho
$P_{\text{sisä}}$	W	Kerääjän sisäpuolelle tullut säteilyn kokonaislämpöteho, tumman takapinnan absorbanssi otettu huomioon
P_{kok}	W	Kerääjän kokonaislämpöteho
α		Kerääjän tumman takapinnan absorbanssi

<u>Tunnus</u>	<u>Yksikkö</u>	<u>Määritelmä</u>
$A_{\text{kerääjä}}$	m^2	Kerääjän pinta-ala
k_v	$\frac{\text{dm}^3/\text{s}}{\sqrt{\text{Pa}}}$	Poistoilmaputken mittalaipan virtauskerroin, ts. montako litraa ilmaa laipan läpi on virrattava sekunnissa, jotta sen aiheuttama painehäviö on 1 Pa
q_v	dm^3/s	Poistoilmaputken tilavuusvirta
Δp	Pa	Paine-ero poistoilmaputken mittalaipan yli
q_m	kg/s	Poistoilmaputken massavirta
ρ_{ilma}	kg/m^3	Ilman tiheys
c_p	$\text{J}/(\text{kg}^\circ\text{C})$	Ilman ominaislämpökapasiteetti
E_{ulko}	kWh	Auringon säteilyenergia
$E_{\text{sisä}}$	kWh	Kerääjän sisäpuolelle tullut säteilyn kokonaislämpöenergia
E_{kok}	kWh	Kerääjän tuottama kokonaislämpöenergia
Δt	s	Dataloggerin mittausaikaväli
φ	%	Kerääjän lämpöhäviöt, laskettu prosentteina kerääjän sisäpuolelle tulleesta säteilyn kokonaislämpöenergiasta
η	%	Kerääjän hyötysuhde

1 JOHDANTO

Aurinkoenergia on halpaa ja riittoisaa, mutta sitä hyödynnetään toistaiseksi vähän. Viime vuosina aurinkoenergian pienkäyttö on lisääntynyt voimakkaasti varsinkin Keski-Euroopassa, muun muassa Saksassa ja Ranskassa. Suomessa aurinkoenergia ei ole ollut suuressa suosiossa, vaikka Suomen säteilymäärät eivät ole paljoakaan Saksan lukemia alhaisemmat. Kesäkuukausina ne ovat jopa korkeammat, koska aurinko paistaa lähes ympäri vuorokauden.

Yleisesti ajatellaan, että aurinkoenergia on lähinnä aurinkopaneelilla tuotettua sähköä, mutta tosiasiasa aurinko on paljon tehokkaampi lämmöntuotannossa. Ongelmana aurinkolämmössä on sen varastointi, sillä auringon paistaessa lämmön tarve on kiinteistöissä matalimmillaan. Lämpö voidaan varastoida veteen, mutta varaajan suuri koko saattaa aiheuttaa ongelmia. Tämä rajoittaa aurinkolämmön laajamittaista hyödyntämistä kiinteistöjen lämmittämisessä.

Kesällä, kun aurinkoa on paljon tarjolla, sitä voidaan hyödyntää käyttöveden lämmittämiseen. Muina vuodenaikoina aurinkolämpöä voidaan hyödyntää myös muuhun lämmitykseen, esimerkiksi lattialämmitysveden tai ilmanvaihdon tuloilman lämmittämiseen. Ilman lämmittämiseen auringolla ei ole olemassa moniakaan teollisia sovelluksia, mutta tällaisia laitteita on sängen helppo ja halpa rakentaa itse.

Tässä työssä tutkittiin yhtä tällaista ilman lämmittämiseen tarkoitettua aurinkokeräintä ja pyrittiin selvittämään sen toimivuutta, tehokkuutta ja rakentamisen kannattavuutta. Laitteen on valmistanut Porin Termolaite Oy. Ohjeet laitteen rakentamiseen on tarkoitus julkaista yrityksen Internet-sivuilla.

Suurkiitos kuuluu kaikille avustajilleni. Kiitokset Senja Virkkuselle, Antti-Pekka Päiviselle, Juha Seppäselle, Heikki Rauniolle ja Pekka Toivaselle. Kiitokset myös opinnäytetyöni ohjaajalle Pekka Anttoselle sekä tutkimuksessa käytetyn laitteiston

valmistuksesta ja toimituksesta Jouko Sämpille. Lisäksi kiitos Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikan Porin yksikön henkilökunnalle suuresta ymmärryksestä sairauttani kohtaan, joka aiheutti monessa asiassa vaikeuksia.

Porin Termolaite Oy ajautui konkurssiin kesällä 2011. Tämän takia yrityksen esittely jätettiin pois. Jouko Sämpillä on nyt yritys Easytiimi Oy, jonka kotisivuilta laitteen rakennusohjeet löytyvät.

2 AURINKOENERGIA

Aurinkoenergian käyttö energiantuotannossa on lisääntynyt Suomessa ja maailmalla. Sen etuina on halpa hinta ja sitä on paljon saatavilla. Auringosta maahan tulevan säteilyn määrä on $1,7 \cdot 10^{14}$ kW, joka on noin 20 000 kertaa suurempi määrä mitä koko maailman energiantarve oli vuonna 2008. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, & Suokivi 2008, s.)

Yhdysvaltojen energiaministeriön (EIA) arvion mukaan maailman energiankulutus noin puolitoistakertaistuu vuoteen 2035 mennessä. EIA:n mukaan varsinkin kehittyvien, OECD:n ulkopuolisten maiden, energiankulutus tulee lisääntymään vahvasti (International Energy Outlook 2011, 10). Tilastojen mukaan uudistuvien energialähteiden kasvu on 2,3 % vuodessa ja niiden kasvu on voimakkaampaa kuin muiden energiaa tuottavien lähteiden. Näistä eniten rakennetaan aurinkoenergiaa, vuosittainen lisäys on 8 % nykyiseen kapasiteettiin. Eniten energiaa tuottaa kuitenkin vesivoima. Aurinkoenergia ei kilpaile hyötysuhteen tai tehojen osalta vielä tuuli- tai vesivoiman kanssa. Tilastot ovat vuodelta 2008. (Renewable energy shows... 2011)

Aurinkoenergian keräämistä on suunniteltu avaruudestakin. Niin kutsuttu Space Solar Power on tekniikka, missä aurinkoenergiaa kerättäisiin avaruudessa ja siirrettäisiin langattomasti maahan. Yhdysvaltojen ilmailu- ja avaruushallinto NASA on tehnyt kokeita 1970-luvulta lähtien. (Space-based solar power – Wikipedia www-sivut)

Aurinkoenergian käyttökohteita on monia. Ensimmäinen kerta, kun auringon valo on pystytty muuttamaan sähköksi on vuodelta 1838, kun 19-vuotias Edward Becquerel kehitti ensimmäisen sähkövaloilmioita (photovoltaic PV) hyödyntävän laitteen. Hänen tutkimuksistaan ei tullut kuitenkaan käytännön sovelluksia. Tämä oli ensimmäinen aurinkoenergiaa hyödyntävä laite ja sen jälkeen on tullut useita merkittäviä, aurinkoenergiaa hyödyntäviä keksintöjä. Vuonna 1958 oli ensimmäinen

satelliitti, joka käytti aurinkoenergiaa hyödykseen liikkuessaan. (Aurinkoenergiaa.fi -www-sivut)

2.1 Aurinko

Aurinko on tehokas energianlähde. Se mahdollistaa elämän maassa valon ja lämmön ansiosta, sekä mahdollistaa tai on mahdollistanut kaikki energialähteet maassa, lukuun ottamatta ydinvoimaa ja geotermistä energiaa. (Aurinko – Wikipedia www-sivut)

Aurinko on maasta nähden lähin tähti, joka tiivistyi tähtien välisestä aineesta noin viisi miljardia vuotta sitten. Sen elinikää jäljellä vielä toiset viisi miljardia vuotta. Sen halkaisija on 1 390 000 km ja sen tilavuus on miljoonakertainen maapallon tilavuuteen verrattuna. Auringon massa, $1,989 * 10^{30}$ kg, on 300 000 -kertainen verrattuna maapallon massaan, vaikka se ei ole kiinteä kappale. Auringon ja Maan välinen etäisyys on otettu yleiseksi mittayksiköksi aurinkokunnan kappaleiden välisiä etäisyyksiä mitattaessa. Etäisyys on 149,6 miljoonaa kilometriä eli 1 astronominen yksikkö, AU. Auringosta lähtevä valosäteily kulkee Maahan $8\frac{1}{2}$ minuutissa. (Cain 2012)

Auringon massasta 70 % on vetyä, 28 % heliumia ja loput 2 % on muita aineita. Olosuhteet Auringossa ovat niin kuumat, että aineiden on mahdotonta esiintyä kiinteässä, nestemäisessä tai kaasumaisessa olomuodossa. Kaikki aines on tämän takia plasmana. Auringon pintalämpötila on 5500 °C, mutta sen sisäosissa lämpö nousee ja keskellä aurinkoa lämpötila on 15 miljoonaa astetta. (Cain 2012)

Auringon energia syntyy fuusiossa eli lämpöydinreaktiosta. Neljä vetyatomia muodostaa yhden heliumatomin ja siitä jää yli massaa 0,7 %, joka muuttuu energiaksi. Tämä tapahtuma tapahtuu $9,2 * 10^{37}$ kertaa sekunnissa. 15 miljoonan celsiusasteen lämpötilassa tapahtuva fuusio, tuottaa energiaa $3,8 * 10^{23}$ kW teholla. Tästä säteilee maapallolle yli $1,74 * 10^{17}$ W, 170 PW (petawattia, 10^{15} W) (Coffey 2010). Auringosta tulee maahan energiaa 20 000 kertaa enemmän kuin ihmiskunnan tämänhetkinen energiankulutus. (Aurinkoenergiaa.fi -www-sivut)

2.2 Aurinkoenergian kerääminen

Aurinkokeräimiä on kahden tyyppisiä: passiivi- ja aktiivikeräimiä. Aktiivikeräimillä tarkoitetaan laitetta, joka kerää auringon säteilyä käytettäväksi talossa tai muussa rakennuksessa sähkönä tai lämpönä. Aurinkokennot muuttavat auringon säteilyn sähköksi. Auringon lämpöä voidaan käyttää hyödyksi useilla eri tavoilla ja sitä kerätään tyhjiöputki-, levy- tai kuumailmakeräimellä. (Aurinkoenergia.fi -www-sivut) Työssä käsiteltävä laite on kuumailmakeräin ja tämän takia aktiivikeräimissä keskitytään lämpöä kerääviin laitteisiin.

2.2.1 Passiivinen auringon kerääminen

Passiivisessa keräämisessä auringon lämpöä kerätään taloon tai muuhun rakennukseen ilman lisälaitteita (Aurinkoenergia.fi -www-sivut). Passiivista auringon keräämistä hyödynnetään passiivi-, matala-, nolla- ja plusenergiataloissa. Passiivitaloja on Suomessa rakennettu jo jonkin aikaa. Passiivitalot on aina rakennettava uusina, jolloin ne suunnitellaan passiivitaloiksi. Matalaenergiatalot ovat valmiita taloja, joiden energiatehokkuutta parannetaan. Näissä taloissa energiankulutus on puolet ennen korjausta olevasta energiankulutuksesta. (Hellsten 2008)

Nolla- ja plusenergiataloja on huomattavasti vähemmän. Nollaenergiatalossa on ideana talon käyttämän energian tuottaminen omavaraisesti. Määrittelemiseen on kuitenkin useita eri tapoja, miten energian tuotto lasketaan. Laskentatavat ovat taloudellinen (energian myynnin ja oston arvo ovat yhtä suuret), laadullinen (käytetään vain uusiutuvia energialähteitä) tai energialähtöinen (käytetään vain omatuotanteista energiaa). Plusenergiatalossa energiaa tuotetaan yli omien tarpeiden. Nollaenergiatalo on tietyillä määritteillä mahdollinen Suomessa, mutta plusenergiatalo on käytännössä mahdoton, koska ylijäämäenergiaa ei nykyisellään voi myydä valtakunnanverkkoon. (Hellsten 2008) Toisin on esimerkiksi Saksassa, jossa voimalaitosyhtiöt ovat velvoitettuja ostamaan yksityisiltä aurinko- tai tuulisähköä. (Aurinkoenergia.fi -www-sivut)

Passiivitaloista pyritään tekemään hyvin eristettyjä, jotta lämpöhäviöt ovat mahdollisimman pieniä. Lisäksi rakennetaan lämmöntalteenotto ilmastointiin ja

kiinnitetään erityistä huomiota rakenteiden tiiviyteen. Myös ikkunoista tuleva aurinko hyödynnetään ja samoin kodinkoneista ja muista laitteista syntyvää hukkalämpöä. Passiivitaloille on asetettu suositukseksi, että se kuluttaa neljäsosan siitä energiasta mitä tavanomainen talo kuluttaa. Keinoja, joilla energiankulutusta pienennetään, ei ole rajoitettu mitenkään. (VTT:n Passiivinen talo -www-sivut)

Talon ikkunapuoleisen seinä tulee osoittaa etelään. Pienet poikkeamat $\pm 15^\circ$ eivät aiheuta muutosta lämmön saannissa, kuitenkin yli $\pm 45^\circ$ poikkeamat tiputtavat lämmön saantia noin 15 %. Talon sijoituksessa tulee paikka valita tuulelta suojaamaan paikkaan. Rotkon pohjalla on kovia tuulenpyörteitä ja sinne rakentaminen ei kannata. Paras paikka rakennukselle on tasainen maa tai etelärinne. Lehtipuita pystytään käyttämään hyväksi. Kesällä ne varjostavat suurimman määrän auringon lämmöstä pois ja talvella taas päästävät lämmön sisälle lehtien puuttuessa. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola, & Suokivi 2008, 52)

Passiivitalon energiankulutus neliometriä kohden vuodessa on 20 kWh Etelä-Suomessa ja 30 kWh Pohjois-Suomessa. Veden lämmitykseen tarvitaan kuitenkin joku lämmitysmuoto. (VTT:n Passiivinen talo -www-sivut) Vattenfallin mukaan normaalin 120 m² rivi- tai omakotitalon, jossa asuu neljä henkilöä, veden lämmittämiseen kuluu Suomessa 3700 kWh energiaa vuodessa (Vattenfallin www-sivut). Kuluttajasähkön hinnalla 0,127 €/kWh (Pori Energian www-sivut) vuotuiset huonetilojen vedenlämmityskulut ovat noin 470 €. Vastaavalla tavanomaisella rakentamismääräysten mukaisella talolla lämpölasku, lämmitys ja vedenlämmitys, olisi noin $(9600+3700) \text{ kWh} * 0,127 \text{ €} = 1702 \text{ €}$ vuodessa. Erotus on noin $(1702-470) \text{ €} = 1232 \text{ €}$ vuodessa. (Vattenfallin www-sivut) Ero normaalin ja passiivisen talon välillä on siis rahallisesti huomattava.

2.3 Aktiivikeräimet

Tyhjiöputki- ja tasokeräimillä (tunnetaan myös levykeräiminä) kerätään lämmintä ilmaa ja sidotaan se nesteeseen, yleensä vesi-glykoli seos, siirrettäväksi lämpövarastoon tai käytettäväksi. Aurinkokeräimen voi rakentaa itse ja sen voi saada rakennettua 30-40 % halvemmalla, mikäli ei lasketa omalle työnteolle hintaa. Tyhjiöputkikeräimissä lämpö kerätään lasiputkiin, joissa on neste sisällä.

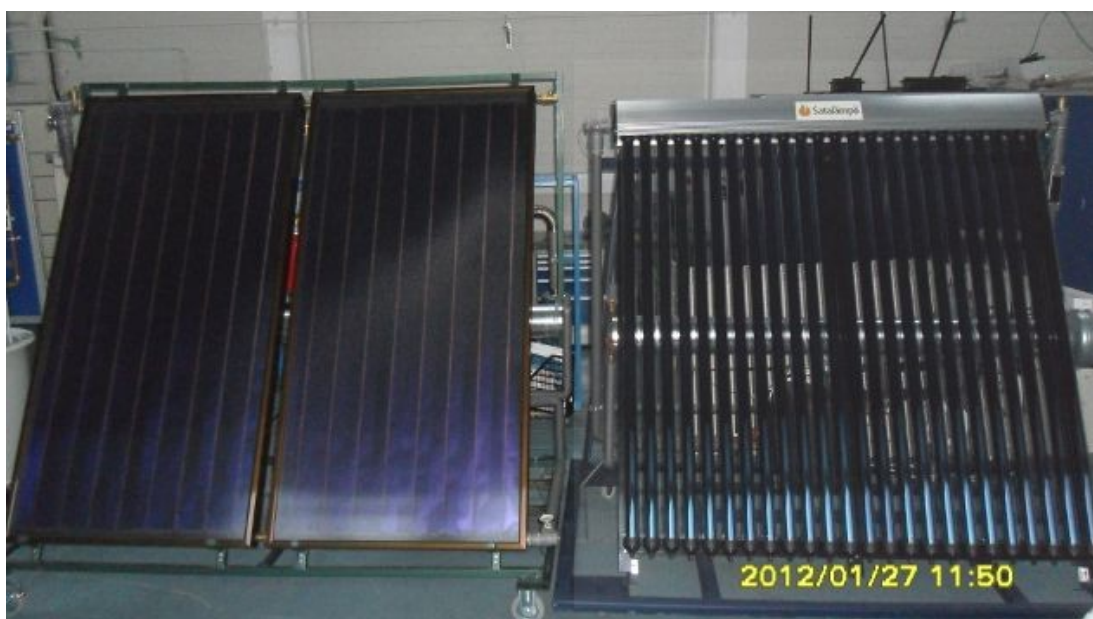
Tyhjiöputket ovat kuin termospulloja, joten niiden valmistaminen kotikonstein ei onnistu. Tyhjiöputkikeräimet ovat kalliimpia ja tehokkaampia kuin tasokeräimet. Niiden teho perustuu parempaan hajasäteilyn absorptiokykyyn. Tasokeräimet ovat yleisimpiä lämmönkerääjiä, niillä voidaan lämmittää vettä tai huoneita. Yhden neliömetrin kerääjä tuottaa noin 250-400 kWh/vuosi. Keräimiä voidaan käyttää muiden vesikiertoisten järjestelmien kanssa. Kesäaikaan 5-8 m² keräimet riittävät lämmittämään käyttöveden ja huoneiden lämmittäminen vaatii 8-12 m². (Motivan [www-sivut](#))

Kuumailmakeräimet poikkeavat muista keräimistä välittäjäaineen osalta. Tyhjiöputki- ja tasokeräimissä välittäjäaineena on neste, yleisimmin vesi-glykoli-seos, kuumailmakeräimessä välittäjäainetta ei ole erikseen, vaan lämmön välittäjänä toimii ilma. Etuina kuumailmakeräimissä on välittäjäaineen jäätymättömyys, vaarattomuus ja nopea lämmön vaihteluun reagointi. Haittoina voidaan pitää keräinten suurta kokoa. Tutkittava laite on seinälle sijoitettava, jolloin suuri koko ei ole suurin haitta. Laitteen ulkonäkö on suurempi haitta tutkittavassa laitteessa. (Kuumailmakeräin – Wikipedia -[www-sivut](#)) Taulukossa 1 on vertailtu erilaisia aurinkokeräimiä. Kuvassa 1 on näkyvillä tyhjiöputki- ja tasokeräimet.

Lämmitetty ilma siirretään puhaltimella suoraan sisälle tai se voidaan yhdistää olemassa olevaan lämmöntalteenottoon (LTO). Vaihtoehtoisesti lämmin ilma voidaan johtaa lämminvesivaraajaan, kiviuniiniin tai ilmatilaan, hypokaustiin. Hypokausti tarkoittaa onttoa väliseinää tai muuta onttoa tilaa, johon lämminilma johdetaan ja josta lämpö siirtyy kylmempään tilaan termodynaamisten sääntöjen mukaan. (Kuumailmakeräin – Wikipedia -[www-sivut](#))

Taulukko 1. Aurinkokeräimien vertailua. (JTV-Energian www-sivut, Elektroshop Finlandin www-sivut) Stagnaatiolämpötila on mitattavissa vain tyhjiöputki- ja tasokeräimistä.

	Tyhjiöputkikeräin	Tasokeräin	Kuumailmakeräin
Myyjä	JTV-Energia	JTV-Energia	Elektroshop ja Porin Termolaite
Laitteen malli	CPC 9	SX 2.51	Sol Navitas 50 ja tutkittu laite
Valmistus	Teollisesti	Teollisesti tai itse	Teollisesti tai itse
Kulma (°)	45-90	Noin 45	90
Hinta	3700 € (järjestelmä, 2 keräintä) tai 750 € (24-putkinen) keräin	2800 € (järjestelmä 1-3 hlö, 2 keräintä) tai 520 € (vain keräin) tai noin 30-40 % halvempi itsehtynä	800 € (järjestelmä, Elektroshop) tai 150 € (itsehtynä, Porin Termolaite)
Stagnaatiolämpötila (°C)	281	204,4	Ei mitattavissa, lämmittää 50m ² huoneen
Koko (m²)	2,1	2,51	1 ja 2,4
Tarkoitus	Veden lämmittäminen	Veden lämmittäminen	Huoneen lämmittäminen



Kuva 1. Vasemmalla tasokeräin ja oikealla tyhjiöputkikeräin. Kuva Pekka Toivanen.

3 KUUMAILMAKERÄINTEN KÄYTTÖ MAAILMALLA

Kuumailmakeräimistä ei ole mitään tilastoitua käyttöä maailmalla. Ne tehdään usein itse ja löysinkin vain muutaman yrityksiä, jotka myyvät kuumailmakeräimiä. Usein kuumailmakeräimet olivat oheistuote tai niihin oli lisätty jokin asia, joka teki niistä itserakennettavia parempia. Näin oli Elektroshopilla, joka oli lisännyt aurinkopaneelin tuottamaan tuulettimelle sähköä. Internetistä löytyy useita ohjeita, miten tehdä kuumailmakeräin. Internetistä löytyi myös video, jossa erilaisia kuumailmakeräimiä vertailtiin. Parhaan mallin määrittäminen oli epävarmaa, koska testiolosuhteet eivät vastanneet laboratoriotasoa. Video oli harrastajien tekemä ja tämän takia hieman epäselvä (Davis 2011).

Ulkonäöllisesti laitteet eivät eronneet paljoa tutkitusta laitteesta. Laitteissa oli usein hyvin samanlainen toimintaperiaate. Englanninkielisessä Wikipediassa oli hieman yleistietoa kuumailmakeräimistä. Siellä tutkittua mallia, jossa ilma tulee yhdeltä sivulta, sanottiin tehokkaaksi. Ilmavirtauksen pitää kuitenkin olla tarpeeksi suuri, jotta lämmön siirtyminen olisi mahdollisimman tehokasta. Työssä tutkittu laite toimii vastaavalla periaatteella.

4 MITTAUKSET

4.1 Mittauspaikka ja -aika

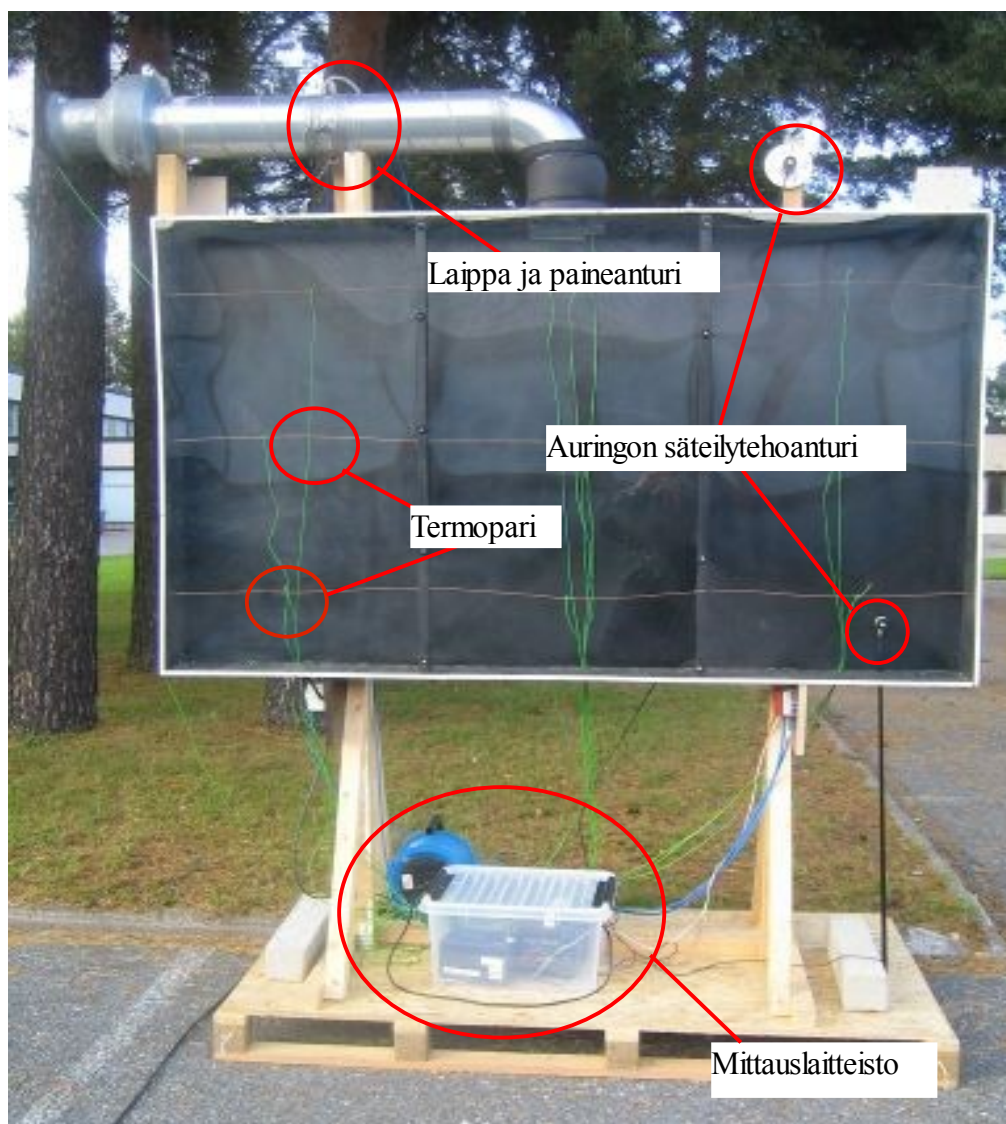
Mittaukset suoritettiin Satakunnan Ammattikorkeakoulun Tekniikka Porin yksikön pihassa. Mittauspaikkoja oli kaksi kappaletta, koska ensimmäinen paikka ei ollut optimaalinen varjostuksen takia. Kuvassa 2 mittauspaikat on merkitty punaisiin rasteihin. Mittaukset aloitettiin 29.9.2011 ja ne loppuivat 10.2.2012. Mittaukset ajoittuivat pääosin arkipäiviin, silloin tällöin myös viikonloppuihin.



Kuva 2. Mittauspaikat Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikan Porin yksikön pihassa. Kuva: Google Maps.

4.2 Mittauslaitteisto ja -pisteet

Porin Termolaite rakensi tutkimuksissa käytetyn laitteiston. Laitteiston pääosat olivat kuumailmakeräin, joka asennettiin pystysuorassa jalustalle metrin korkeuteen ja kanavisto, jossa oli aksiaalipuhallin. Kuumailmakeräimeen otettiin ilmaa sen alareunassa olevista rei'istä ja lämmennyt ilma poistui keräimen yläreunasta kanavaan. Keräimen kehikko oli vaneria. Sen takalevy oli mustaksi maalattua alumiinia, jonka takana oli Styrofoam-eristelevy ja etulevy polykarbonaattia, joka päästää auringonvalon läpi. Kuvassa 3 näkyy laitteiston rakenne. Alareunan ilman sisäänottoaukot näkyvät kuvassa 4.



Kuva 3. Kuva laitteistosta. Kuva Heikki Raunio.



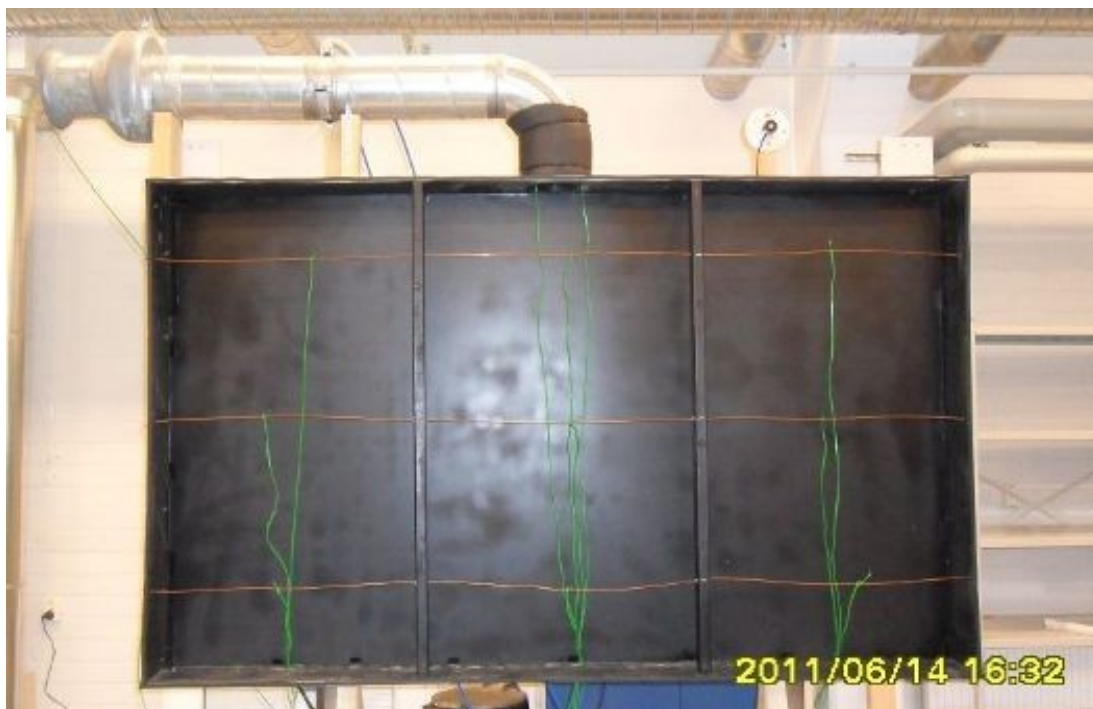
Kuva 4. Ilman sisäänottoreiät. Kuva Heikki Raunio.

Laitteisto tuli koottuna ammattikorkeakoululle. Tämän jälkeen rakennettiin lavetille jalusta, johon laitteisto kiinnitettiin. Muovisen etulevyn ja vanerikehikon väliin laitettiin tiivistenauha. Takalevyn ja sivukehikon liitos vahvistettiin metallilevyillä, jotta saatiin kehikkorakenne mahdollisimman tiiviiksi ja kestäväksi. Ilman ulostulokanavan alussa oli pieni reikä, josta ulkoilma pääsi sekoittumaan lämpimään ilmaan, tämä saatiin tiivistettyä ilmastointiteipillä, kuvat 5 ja 6. Tästä seurasi, että etupuolen muovi pullistui ulospäin. Keräimen sisämitat ovat 202x120x18 cm.



Kuvat 5 ja 6. Vasemmassa kuvassa ilmanpoistoaukko korjaamatta ja oikeassa ilmanpoistoaukko korjattu. Kuvissa näkyvät ilmanpoistoaukon lämpömittauspisteet. Kuvat Heikki Raunio.

Laitteistosta mitattiin lämpötilat keräimen ala-, keski- ja yläosasta, kultakin korkeudelta vasemmalta, keskeltä ja oikealta. Mittauspisteet näkyvät kuvassa 7. Ulkolämpötila mitattiin kahdesta eri pisteestä. Poistuvan ilman lämpötilaa mitattiin poistoilmakanavan alussa kahdesta pisteestä ja kanavan lopussa, puhaltimen jälkeen yhdestä pisteestä. Mittauksissa käytettiin termopareja ja mittaustulokset tallennettiin dataloggeriin.



Kuva 7. Laitteiston sisäpuoliset lämpömittauspisteet. Laitteiston oikeassa yläreunassa näkyy auringon säteilytehoa mitannut anturi. Samanlainen anturi asennettiin myös muovilevyn alapuolelle.

Lämpötilan lisäksi mitattiin auringon säteilyvoimakkuutta kahdella kokonaissäteilyanturilla, joista toinen oli keräimen sisäpuolella ja toinen ulkopuolella. Anturit näkyvät kuvissa 7 ja 8. Näin pyrittiin selvittämään keräimen pinnan muovilevyn vaikutus auringon säteilytehoon. Lisäksi mitattiin paine-eroa kanavistossa olleen mittalaipan yli, näin voitiin laskea kanaviston virtaus. Molemmat mittaustulokset tallennettiin dataloggeriin.



Kuva 8. Muovilevyn alapuolinen auringon säteilytehon anturi. Kuva Heikki Raunio.

4.3 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli selvittää kuumailmakeräimen tehokkuutta syksyllä 2011 ja talvella 2012. Tehokkuuden selvittämiseksi mitattiin läpi virtaavan ilman lämpötilan muutosta ulkolämpötilasta keräimen poistoilmakanavan suulle, samoin ilmavirtaa poistokanavassa. Samalla tutkittiin, miten lämpötila nousee keräimen sisäpuolella.

Tutkimus rajoittui Porin Termolaitteen valmistamaan koelaitteistoon. Tutkimuksessa tarkasteltiin ajanjaksoja, joina auringon säteilyteho oli jatkuvasti vähintään 20 W/m^2 laitteiston sisäpuolella. Huomioimatta jätettiin kuitenkin ne päivät, joina kerääjän tuottama energia oli mittausjaksolla alle $0,2 \text{ kWh}$.

Nämä rajaukset tehtiin, koska tulosten analysoinnissa huomattiin luotettavuuden kyseenalaisuus niinä päivinä, joina auringon säteily oli koko ajan heikkoa. Muun muassa lämpöhäviöt ja hyötysuhde saattoivat olla epärealistisen korkeita (yli 85 %) tai hyvin matalia (alle 10 %). Tulosten vaihteluväli olisi ollut liian suuri, rajaamalla saatiin leikattua pois näennäiset huipputulokset ja huonoimmat tulokset.

Tarkastellut sovellukset rajattiin pientalon ilmanvaihtokoneen (IV-kone) raitisilman esilämmittämiseen ja pyrittiin selvittämään, paljonko rahallista säästöä tällaisesta laitteesta voisi omakotitalossa olla. Suoran energiansäästön lisäksi ilman esilämmitys saattaa tehostaa IV-koneen lämmön talteenoton toimintaa kovilla pakkasilla, koska lämmönsiirrin ei jäädy niin herkästi. Tätä ei kuitenkaan otettu investointilaskelmissa huomioon, koska sitä ei mitattu.

5 TULOKSET

Dataloggeriin tallentuneista mittaustiedoista laskettiin keskimääräinen ulkolämpötila, keskimääräinen lämpötila laitteiston sisäpuolella ala-, keski- ja yläosassa sekä keskimääräinen lämpötila poistoilmakanavan alussa. Kanavan loppupään lämpötila mitattiin myös. Se päätettiin jättää huomiotta, koska puhaltimen moottorin lämpö vaikutti siihen nostaen loppulämpötilaa noin 0,5 °C.

Lisäksi laskettiin poistoilmakanavan tilavuusvirta mittalaipan yli mitatusta paine-erosta ja laipan k_v -arvosta. Auringon säteilyvoimakkuudet muunnettiin yksikköön W/m^2 antureiden käyttöohjeen mukaan. Muovilevyn sisä- ja ulkopuolella mitattujen säteilytehojen erotus laskettiin. Tällä saatiin selville, paljonko muovi vähentää auringon säteilystä. Sisä- ja ulkopuolisen säteilytehon suhdetta kutsutaan läpäisysuhteeksi.

Läpäisysuhteen arvoksi arvioitiin 0,675 muutaman ensimmäisen mittauksen perusteella, jotka vaikuttivat luotettavilta. Myöhemmissä mittauksissa huomattiin ulkosäteilyanturissa jotain häiriötä tai vikaa, joka mahdollisesti johtui puiden oksien varjostuksesta. Tästä syystä näissä mittauksissa auringon ulkopuolinen säteilyteho laskettiin sisäpuolisen säteilyanturin arvosta jakamalla se läpäisysuhteella.

Ensimmäiset koemittaukset ajoittuivat kesäkuun loppupuolelle. Koemittauksissa selvisi kahden termoparin olleen kytketty väärin ja huomattiin ilman ulostuloaukon juuressa ollut reikä. Nämä ongelmat korjattiin ennen varsinaisia mittauksia, jotka aloitettiin syyskuun lopussa.

5.1 Laskentamenetelmät

Dataloggeriin tallennetut tiedot saatiin taulukkolaskentaohjelmaan (Excel), jonka avulla niitä analysoitiin. Seuraavissa taulukoissa esimerkki saaduista mittaustuloksista.

Taulukko 2. Lämpötilamittaukset laitteiston ulkopuolelta.

Date	Time	ulko1 Chan 1 °C	ulko2 Chan 2 °C	kanava1 Chan 12 °C	kanava2 Chan 13 °C	kanavaloppu Chan 14 °C
30.9.2011	09:40	15.5	15.7	15.7	15.8	16.3
30.9.2011	09:40	15.5	15.7	15.7	15.8	16.2
30.9.2011	09:41	15.6	15.8	15.8	15.8	16.3
30.9.2011	09:41	15.5	15.7	15.7	15.8	16.2
30.9.2011	09:42	15.5	15.8	15.7	15.8	16.2
30.9.2011	09:42	15.5	15.8	15.7	15.8	16.3
30.9.2011	09:43	15.5	15.6	15.7	15.8	16.3
30.9.2011	09:43	15.3	15.6	15.6	15.8	16.3
30.9.2011	09:44	15.5	15.7	15.7	15.8	16.2
30.9.2011	09:44	15.5	15.7	15.7	15.8	16.1
30.9.2011	09:45	15.5	15.7	15.6	15.7	16.2
30.9.2011	09:45	15.5	15.7	15.6	15.7	16.2
30.9.2011	09:46	15.5	15.7	15.7	15.7	16.1

Ulko1 ja ulko2 viittaavat termopareihin, jotka mittasivat ulkolämpötilaa. Kanava1 ja kanava2 viittaavat poistoilmakanavan alun lämpötilaa mittaaviin termopareihin. Kanavaloppu viittaa poistoilmakanavan suuaukon lämpötilamittaukseen, jota ei käytetty laskuissa moottorin lämpövaikutuksen takia.

Ulkolämpötila (T_{ulko}) ja poistokanavan alun lämpötila (T_{kanava}) laskettiin mitattujen arvojen keskiarvona:

$$T_{ulko} = \frac{ulko_1 + ulko_2}{2} = \frac{(15,5 + 15,7)^\circ C}{2} = 15,6^\circ C$$

$$T_{kanava} = \frac{kanava_1 + kanava_2}{2} = \frac{(15,7 + 15,8)^\circ C}{2} \approx 15,8^\circ C$$

Ilman lämpötilan nousu keräimessä (ΔT) laskettiin edellisten erotuksena:

$$\Delta T = T_{kanava} - T_{ulko} = (15,8 - 15,6)^\circ C = 0,15^\circ C \approx 0,2^\circ C$$

Taulukko 3. Lämpötilamittaukset laitteiston sisäpuolelta.

	ala1	ala2	ala3	keski1	keski2	keski3	ylä1	ylä2	ylä3
Time	Chan 3	Chan 4	Chan 5	Chan 6	Chan 7	Chan 8	Chan 9	Chan 10	Chan 11
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
09:40	15.7	15.7	15.8	15.8	15.6	15.8	16.0	15.8	15.8
09:40	15.7	15.7	15.8	15.8	15.6	15.8	16.0	15.8	15.8
09:41	15.8	15.7	15.8	15.8	15.7	15.7	16.0	15.8	15.8
09:41	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7	15.7	16.0	15.8	15.8
09:42	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8	16.0	15.8	15.8
09:42	15.7	15.7	15.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.8	15.8
09:43	15.7	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8
09:43	15.7	15.6	15.7	15.7	15.6	15.7	15.8	15.8	15.8
09:44	15.7	15.7	15.8	15.7	15.6	15.7	15.8	15.7	15.8
09:44	15.7	15.6	15.8	15.8	15.7	16.0	15.8	15.7	15.8
09:45	15.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7
09:45	15.6	15.6	15.8	15.8	15.7	15.8	15.8	15.7	15.8
09:46	15.7	15.7	15.8	15.7	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8

Ala1, -2, -3 (T_{ala}) viittaavat kerääjän alaosassa, keski1, -2, -3 (T_{keski}) kerääjän keskiosassa ja ylä1, -2, -3 ($T_{ylä}$) kerääjän yläosassa olleisiin, lämpötilaa mittaaviin termopareihin (ks. kuva 7).

Kunkin tason keskilämpötila laskettiin kolmen mittausarvon keskiarvona:

$$T_{ala} = \frac{ala_1 + ala_2 + ala_3}{3} = \frac{(15,7 + 15,7 + 15,8)^\circ C}{3} \approx 15,7^\circ C$$

$$T_{keski} = \frac{keski_1 + keski_2 + keski_3}{3} = \frac{(15,8 + 15,6 + 15,8)^\circ C}{3} \approx 15,7^\circ C$$

$$T_{ylä} = \frac{ylä_1 + ylä_2 + ylä_3}{3} = \frac{(16 + 15,8 + 15,8)^\circ C}{3} \approx 15,9^\circ C$$

Keskilämpötiloista laadittiin kunkin mittauspäivän kohdalla kuvaaja (liite 1), jolla pyrittiin havainnollistamaan lämpötilan kerrostumista kerääjän sisällä.

Taulukko 4. Muut mittaukset laitteistosta.

	sisäsäteily	ulkosäteily	laippa
Time	Chan 30	Chan 32	Chan 31
	mV	mV	Pa
09:40	0.35	0.55	39.35
09:40	0.30	0.50	36.00
09:41	0.25	0.45	37.00
09:41	0.30	0.45	42.05
09:42	0.30	0.45	36.85
09:42	0.25	0.40	40.80
09:43	0.25	0.35	36.10
09:43	0.25	0.40	37.15
09:44	0.25	0.40	39.05
09:44	0.25	0.40	40.50
09:45	0.20	0.35	36.15
09:45	0.25	0.40	34.50
09:46	0.20	0.30	35.25

Sisäsäteily ja ulkosäteily viittaavat sisä- ja ulkopuoliseen auringon säteilyantureiden mittauksiin. Laippa viittaa poistoilmakanavassa olleeseen paine-eromittaukseen mittalaipan yli.

Auringon säteilyteho kerääjän sisäpuolella ($Q_{\text{sisä}}$) ja ulkopuolella (Q_{ulko}) laskettiin anturien valmistajan antaman muunnoskaavan perusteella:

$$Q_{\text{sisä}} = \text{sisäsäteily} * 100 \frac{W/m^2}{mV} = 0,35 mV * 100 \frac{W/m^2}{mV} = 35 W/m^2$$

$$Q_{\text{ulko}} = \text{ulkosäteily} * 100 \frac{W/m^2}{mV} = 0,55 mV * 100 \frac{W/m^2}{mV} = 55 W/m^2$$

Säteilytehojen suhteesta laskettiin kerääjän hetkellinen läpäisysuhde (τ). Esimerkkinä suhde klo 9:40.

$$\tau = \frac{Q_{\text{sisä}}}{Q_{\text{ulko}}} = \frac{35 W/m^2}{55 W/m^2} \approx 0,64$$

Kun laskettiin keskiarvo hetkellisistä läpäisysuhteista kahdesta eri mittaussarjasta, saatiin tulokseksi noin 0,675. Tätä käytettiin läpäisysuhteen arvona laskennassa.

Kerääjän sisäpuolelle tullut säteilyn kokonaislämpöteho ($P_{\text{sisä}}$) laskettiin käyttäen kerääjän sisäpinnan absorbanssin (α) arvona 0,97 (Wagner 1994) ja kerääjän pinta-alana $2,4 \text{ m}^2$ ($A_{\text{kerääjä}}$).

$$P_{\text{sisä}} = Q_{\text{sisä}} * \alpha * A_{\text{kerääjä}} = 35 \text{ W/m}^2 * 0,97 * 2,4 \text{ m}^2 \approx 81 \text{ W}$$

Auringon säteilyteho kerääjän ulkopuolella (P_{ulko}) laskettiin sisäpuolisen säteilyanturin arvosta käyttäen hyödyksi arvioitua läpäisysuhdetta 0,675:

$$P_{\text{ulko}} = \frac{Q_{\text{sisä}}}{\tau} * A_{\text{kerääjä}} = \frac{35 \text{ W/m}^2}{0,68} * 2,4 \text{ m}^2 \approx 120 \text{ W}$$

Ilman tilavuusvirta poistokanavassa (q_v) laskettiin mittalaipan valmistajan ilmoittamasta k_v -arvosta ja mitatusta paine-erosta (Δp) mittalaipan yli:

$$k_v = \frac{q_v}{\sqrt{\Delta p}} \Leftrightarrow q_v = k_v * \sqrt{\Delta p} = 18,5 \frac{\text{dm}^3/\text{s}}{\sqrt{\text{Pa}}} * \sqrt{39,35 \text{ Pa}} \approx 116 \text{ dm}^3/\text{s}$$

Ilman massavirta (q_m) laskettiin käyttäen ilman tiheyttä $1,225 \text{ kg/m}^3$ (ρ_{ilma}):

$$q_m = q_v * \rho_{\text{ilma}} = 116 \text{ dm}^3/\text{s} * 1,225 \text{ kg/m}^3 \approx 0,142 \text{ kg/s}$$

Kerääjän teho (P_{kok}) laskettiin käyttäen mitattua ilman massavirtaa, lämpötilaeroa ΔT ja ilman ominaislämpökapasiteettia $1,0 \text{ kJ/(kg}^\circ\text{C)}$ (c_p).

$$P_{\text{kok}} = q_m * \Delta T * c_p = 0,142 \text{ kg/s} * 0,15^\circ \text{C} * 1000 \text{ J/(kg}^\circ\text{C)} \approx 21 \text{ W}$$

Kerääjän hyötysuhteen määrittämiseksi laskettiin kustakin mittauspäivästä kerääjän tuottama lämpöenergia (E_{kok}). Dataloggerin mittausväli (Δt) oli mittauksesta riippuen 30 s tai 60 s.

$$E_{\text{kok}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{kok},i} * \Delta t = \sum_{9:40}^{15:45} P_{\text{kok},i} * 30 \text{ s}$$

$$\Rightarrow 538 \text{ 860 W} * 30 \text{ s} = 16 \text{ 165 816 Ws} \approx 4,49 \text{ kWh}$$

Lisäksi laskettiin auringon säteilyenergia (E_{ulko}) kunkin mittauspäivän osalta:

$$E_{ulko} = \sum_{i=1}^n P_{ulko,i} * \Delta t = \sum_{9:40}^{15:45} P_{ulko,i} * 30 s$$

$$\Rightarrow 1\ 150\ 080\ W * 30 s = 34\ 502\ 400\ Ws \approx 9,58\ kWh$$

Kerääjän hyötysuhde (η) laskettiin päiväkohtaisesti kerääjän tuottaman lämpöenergian ja auringon säteilyenergian suhteesta:

$$\eta = \frac{E_{kok}}{E_{ulko}} = \frac{4,49\ kWh}{9,58\ kWh} = 0,469... \approx 47\%$$

Kerääjän lämpöhäviöiden selvittämiseksi laskettiin kerääjän sisäpuolelle tullut auringon säteilyn kokonaislämpöenergia ($E_{sisä}$) kultakin mittauspäivältä:

$$E_{sisä} = \sum_{i=1}^n P_{sisä,i} * \Delta t = \sum_{9:40}^{15:45} P_{sisä,i} * 30 s$$

$$\Rightarrow 753\ 015\ W * 30 s = 22\ 590\ 446\ Ws \approx 6,28\ kWh$$

Lämpöhäviöt kerääjässä aiheutuvat johtumis- ja vuotohäviöistä. Lämpöhäviöprosentti (φ) laskettiin seuraavasti:

$$\varphi = 1 - \frac{E_{kok}}{E_{sisä}} = 1 - \frac{4,49\ kWh}{6,28\ kWh} = 0,284... \approx 28\%$$

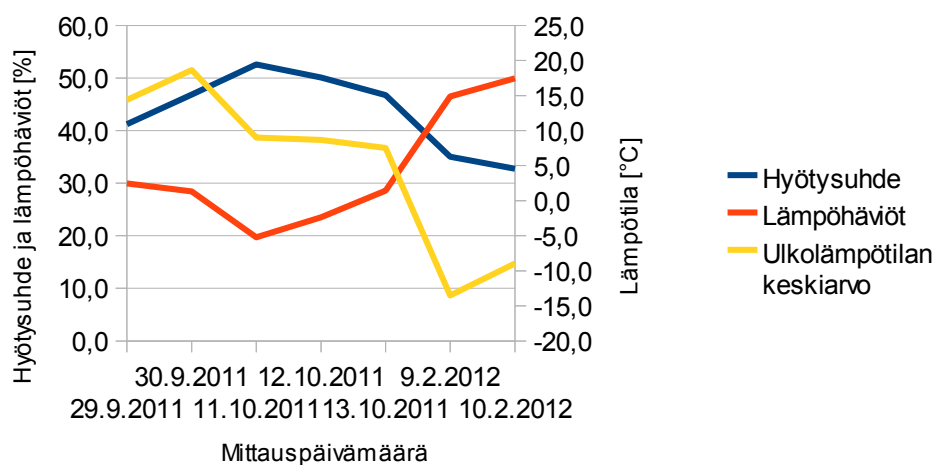
5.2 Tulosten analysointi

Mittauspäivien välillä oli huomattavia eroja. Osa mittauksista tehtiin syksyllä, jolloin ei ollut vielä lunta eikä pakkasta. Muutama mittauspäivä oli helmikuussa 2012, jolloin lunta ja pakkasta oli. Mittauksissa havaittiin, että ulkoilman kylmyys laski helmikuun mittauksissa kerääjän hyötysuhdetta noin 15 % verrattuna syksyn mittauksiin. Samalla lämpöhäviöt kaksinkertaistuivat. Nämä muutokset näkyvät taulukossa 5 ja siitä laadituissa kuvaajissa 1 ja 2. Syynä tähän voi olla, ettei reunoissa ja takalevyssä ollut tiivisteitä. Tiivistäminen olisi nostanut laitteiston hintaa ja halpaa hintaa pidettiin yhtenä kriteerinä. Toinen mahdollinen syy on reunapuiden ja takaeristelevyn U-arvon muuttuminen lämpötilan laskiessa alle nollan asteen. Puureunojen U-arvo on noin $6 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$ ja takalevyn U-arvo noin $1,5 \text{ W}/(\text{K}\cdot\text{m}^2)$.

Taulukko 5. Kerääjän hyötysuhde, lämpöhäviöprosentti ja ulkolämpötilan keskiarvo eri mittauspäivinä.

Päivämäärä	Hyötysuhde	Lämpöhäviöt	Ulkolämpötilan keskiarvo
29.9.2011	41.2	30.0	14.4
30.9.2011	46.9	28.4	18.6
11.10.2011	52.6	19.7	9.0
12.10.2011	50.1	23.5	8.7
13.10.2011	46.8	28.6	7.5
9.2.2012	35.0	46.5	-13.5
10.2.2012	32.8	50.0	-8.9

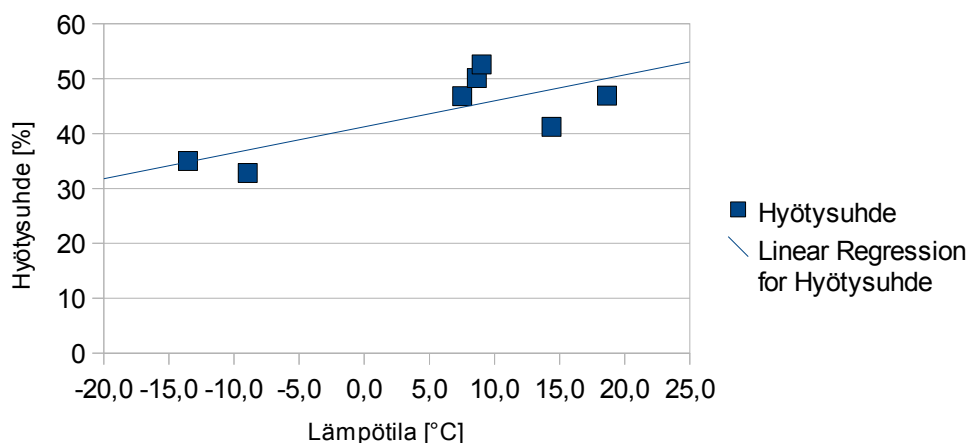
Mittauspäivien hyötysuhteet, lämpöhäviöt ja ulkolämpötila



Kuvaaja 1. Kerääjän hyötysuhde, lämpöhäviöprosentti ja ulkolämpötilan keskiarvo eri mittauspäivinä.

Ilmalämpöpumpuissa käytetään yleisesti vertailulämpötiloina $+7^{\circ}\text{C}$ ja -20°C . Näiden lämpötilojen kohdalla päätettiin laitteiston hyötysuhde selvittää, koska laitteistoa voidaan käyttää esimerkiksi ilmalämpöpumpun kanssa. Kuvaajan 2 perusteella hyötysuhde $+7^{\circ}\text{C}$:ssa on noin 44 % ja -20°C :ssa noin 32 %.

Kerääjän hyötysuhde ulkolämpötilan keskiarvon funktiona



Kuvaaja 2. Kuumailmakeräimen mitattu hyötysuhde eri lämpötiloissa, mistä muodostettu lineaarinen trendiviiva.

Ilmastoinnin kanssa on huomioitava, että laite voi lämmittää ilmaa reilusti yli huoneenlämpöiseksi. Tällöin ilmaa joudutaan jäähdyttämään tarpeettomasti. Siksi on tarpeellista, että laite voidaan kytkeä irti ilmanvaihdosta kesäaikana. Mikäli ilman lämpö johdettaisiin veteen, voitaisiin laitteistoa pitää käytössä ympäri vuoden.

5.3 Kannattavuuslaskelma

Keräimen rakentaminen itse maksaa noin 150 €. Tässä kannattavuuslaskelmassa tarkastellaan ilmanvaihtokoneen tuloilman esilämmittämistä. Laitteen hyötysuhteeksi on laskelmassa oletettu 35 %. Auringon säteilytiedot on otettu Ilmatieteen laitoksen Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 -luonnoksesta (Jylhä ym. 2011), Jyväskylän säätiedoista. Laskennassa laitteen käyttöajaksi valittiin lokakuusta maaliskuuhun. Itse rakentaessa käyttöaika on käytännössä pidempi, jolloin säästötkin tulevat suuremmiksi. Tämä johtuu siitä, että laitetta voidaan käyttää aina, kun sen tuottama lämpötila ei ole liian korkea. Mikäli tämä lämpötila on yli 20 astetta, laitetta ei voida käyttää, kannattamattoman jäähdytyksen takia.

Taulukko 6. Auringon säteilymäärät ja kerääjän tuottama energia.

Auringon kokonaissäteilyenergia pystypinnoille eri ilmansuuntiin, kWh/m ²				
	Kaakko	Etelä	Lounas	keskiarvo
Tammikuu	6.5	9	6.9	7.5
Helmikuu	34.3	46.2	33.5	38.0
Maaliskuu	54.7	69.3	59.7	61.2
Lokakuu	32.9	42.2	32	35.7
Marraskuu	10.7	14.5	10.7	12.0
Joulukuu	3.5	4.7	3.5	3.9
yhteensä	142.6	185.9	146.3	158.3

hyötysuhde 0.35 Pinta-ala [m²] 2.4 Tuotto = hyötysuhde * pinta-ala *
kok.säteilyenergia keskiarvo 133 kWh/a

Kotitaloussähkön hinta Porissa on 12,67 snt/kWh sisältäen sähköveron (Pori Energia). Tällöin vuotuiseksi säästökseksi tulee

$$133 \text{ kWh/a} * 0,1267 \text{ €/kWh} = 16,85 \text{ €/a}$$

Takaisinmaksuajaksi muodostuu tällöin

$$\frac{150 \text{ €}}{16,85 \text{ €/a}} = 8,90 \text{ a} \approx 9 \text{ a}$$

Takaisinmaksuajan puitteissa kerääjän rakentaminen ei välttämättä vaikutaärkevältä. On kuitenkin muistettava, että hyvin toteutettu kerääjä vaatii vain vähän kunnossapitoa. Se on pitkäikäinen, eikä missään tilanteessa vaikuta negatiivisesti talon lämpötaseeseen. Rikkoutuessaan se on myös helppo korjata. Lisäksi erilaisilla luovilla ratkaisuilla, esimerkiksi vanhojen ikkunoiden hyödyntäminen kerääjän rakentamiseen, voidaan kustannuksia laskea edelleen tuntuvasti. Tällöin takaisinmaksuaika lyhenee.

Yleensä investointi on kannattava, jos sen takaisinmaksuaika on korkeintaan viisi vuotta. Tässä laitteessa se on melkein kaksinkertainen. Investointina laite on kuitenkin hyvin halpa ja lämmityksessä jokainen säästetty euro on hyvä asia. Lämmittäminen on välttämätöntä ja sen kustannuksissa on vaikea tinkiä. Helpon valmistuksen lisäksi, ilmastoinnin lisänä laite voisi olla erinomainen.

5.4 Muita havaintoja

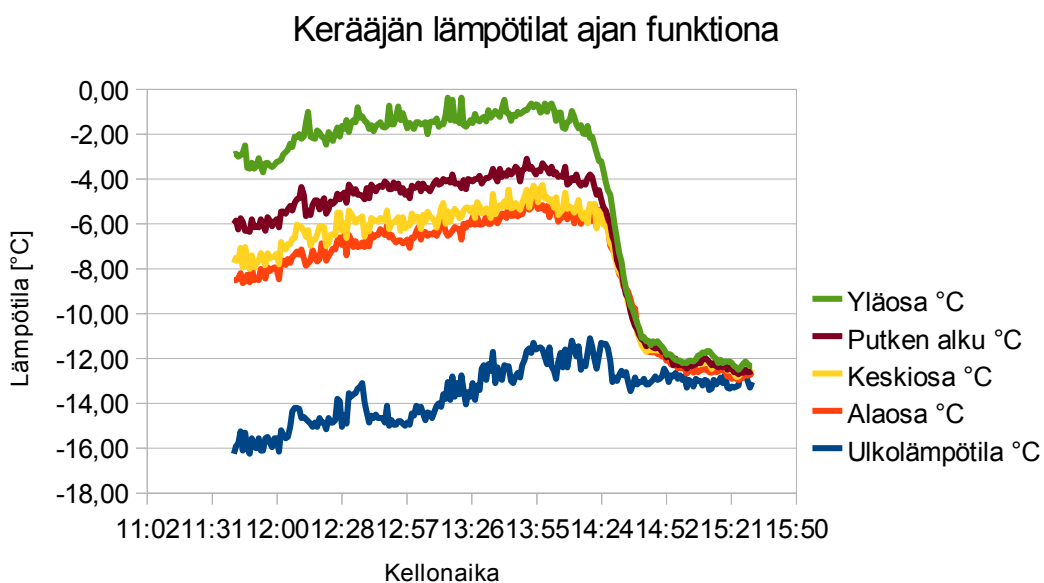
Tähän kappaleeseen on koottu mittauksissa ja laskennassa esiin tulleita havaintoja ja ongelmia. Käytännössä nämä ongelmat eivät vaikuta oleellisesti laitteiston toimintaan.

Pilvisenä päivänä auringon säteilyä ei tullut tarpeeksi, että tuloksia olisi voinut luotettavasti analysoida. Myös hyötysuhde pilvisinä päivinä vaihteli olennaisesti. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että anturit eivät pystyneet mittaamaan kunnolla hajasäteilyä. Keräimen lämpötilaan hajasäteily kuitenkin vaikuttaa.

Tutkimukseen ei sisällynyt savukoetta. Se olisi ollut tarpeellinen, jotta ilman liikkeet laitteiston sisällä olisi saatu selville. Nyt jäi epäselväksi, miltä alueelta poistokanava

imi tehokkaasti. Yläkerroksen lämpötila oli järjestäen pari astetta lämpimämpi, kuin imetyt ilman lämpötila. Joinain päivinä toinen yläkulma lämpeni selvästi muuta yläosaa enemmän. Tämä saattoi johtua siitä, että aurinko paistoi nurkkaan kaikkein tehokkaimmin. Savukokeilla asiasta olisi saatu tarkempi selko.

Tutkimuksissa selvisi, että lämpö pakkautui hieman varsinkin oikeaan ylänurkkaan. Tästä syystä useampi poistokanava, esimerkiksi yksi kummallakin reunalla, voisi parantaa laitteiston hyötysuhdetta. Toisaalta se nostaisi myös kustannuksia. Kuvaajassa 3 näkyy lämpötilat kerääjän eri osissa yhtenä mittauspäivänä. Kuvaajasta näkyy selvästi kanavan alun ja kerääjän yläosan lämpötilaero.



Kuvaaja 3. Mittaustulokset 9.2.2012.

6 PÄÄTELMÄT

Tutkimuksessa ollut laite osoittautui kohtuullisen tehokkaaksi ja varmatoimiseksi, vaikka mittausaika oli melko lyhyt. Laitteen helppo valmistus ja pieni investointi antavat sille paljon mahdollisuuksia erilaisille sovelluksille ja kehitykselle. Laite voisi olla hyvä omakotitaloihin päälämmityksen lisänä, varsinkin ilmastoinnin kanssa käytettynä. Tutkimuksen aikana tuli mieleen montakin sovellusta, joihin laitetta voisi käyttää. Lisätutkimukset olisivat paikallaan ainakin osassa sovelluksista.

Kerääjää voidaan käyttää esimerkiksi ilmalämpöpumpun kanssa. Ongelmaksi muodostuu, että lämpöpumpun ulkoyksikkö ottaa ilmaa laajalta alalta yksikön takaa ja sivulta. Tämän takia tutkittu kuumailmakeräin ei suoraan sovellu ilmalämpöpumpun ilman lämmittämiseen. Tähän kuitenkin voisi kehittää jonkin sovelluksen, jotta lämmennyttä ilmaa saataisiin hyödynnettyä. Jokainen nostettu aste säästäisi euroja.

Toinen mahdollinen sovellus olisi kerääjän käyttäminen käyttöveden lämmittämiseen, tällöin kerääjän lämpöä saataisiin hyödynnettyä myös kesällä, jolloin auringon säteily määrä on paljon suurempi. Mahdollinen tekniikka tähän voisi olla erillisen lämmönsiirtimen käyttäminen lämpimän käyttöveden esilämmittämiseen. Tällöin alle +4-asteista ilmaa ei tule käyttää.

Toinen mahdollisuus olisi ilma-vesilämpöpumpun ulkoyksikön läpi virtaavan ilman esilämmittäminen, mikä nostaa pumpun lämpösuhdetta. Molempiin täytyisi paneutua enemmän kuin tämän työn puitteissa oli mahdollista.

LÄHTEET

Aurinko – Wikipedia www-sivut. Viitattu 17.9.2011.

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Aurinko>

Aurinkoenergiaa.fi -www-sivut. Viitattu 18.9.2011. <http://www.aurinkoenergiaa.fi/>

Cain, F. 2012. The Sun. Universe Today 11.3.2012. Viitattu 5.4.2012.

<http://www.universetoday.com/>

Coffey, J. 2010. How Does The Sun Produce Energy. Universe Today 15.10.2010.

Viitattu 2.10.2011. <http://www.universetoday.com/>

Davis, S. 2011. Designing the Ultimate Solar Hot Air Collector! Viitattu 10.4.2012.

<http://www.youtube.com/watch?v=gBLQ2ZUeP7w>

EIA – Wikipedia www-sivut. Viitattu 19.4.2012. <http://fi.wikipedia.org/wiki/EIA>

Elektroshop Finlandin Aurinkopuisto.com www-sivut. Viitattu 8.1.2012.

<http://www.aurinkopuisto.com/>

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas – Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Painoyhtymä Oy.

Hellsten, J. 2008. Määritelmäviidakko. Rakennuslehti 2.10.2008. Viitattu 17.4.2012.

<http://www.rakennuslehti.fi/>

International Energy Outlook. 2011. Washington: U.S. Energy Information

Administration. Viitattu 3.10.2011. [http://www.eia.gov/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/ieo/pdf/0484(2011).pdf)

JTV-Energian www-sivut.. Viitattu 8.1.2012. <http://www.jtv-energia.fi/>

Jylhä, K., Kalamees, T., Tietäväinen, H., Ruosteenoja, K., Jokisalo, J., Hyvönen R., Ilomets, S., Saku, S. & Huttila A. 2011. Rakennusten energialaskennan testivuosi 2012 ja arviot ilmastonmuutoksen vaikutuksista, luonnos 2.12.2011. Helsinki. Ilmatieteen laitos.

*Kuumailmakeräin – Wikipedia www-sivut. Viitattu 19.4.2012.
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kuumailmakeräin>*

Motivan www-sivut. Viitattu 6.11.2011. <http://www.motiva.fi/>

Pori energian www-sivut.. Viitattu 22.3.2012. <http://www.porienergia.fi/>

*Renewable energy shows strongest growth in global electric generating capacity. 2011. Today in Energy 28.9.2011. Viitattu 3.10.2011.
<http://www.eia.gov/todayinenergy/>*

*Space-based solar power – Wikipedia www-sivut. Viitattu 5.4.2012.
http://en.wikipedia.org/wiki/Space-based_solar_power*

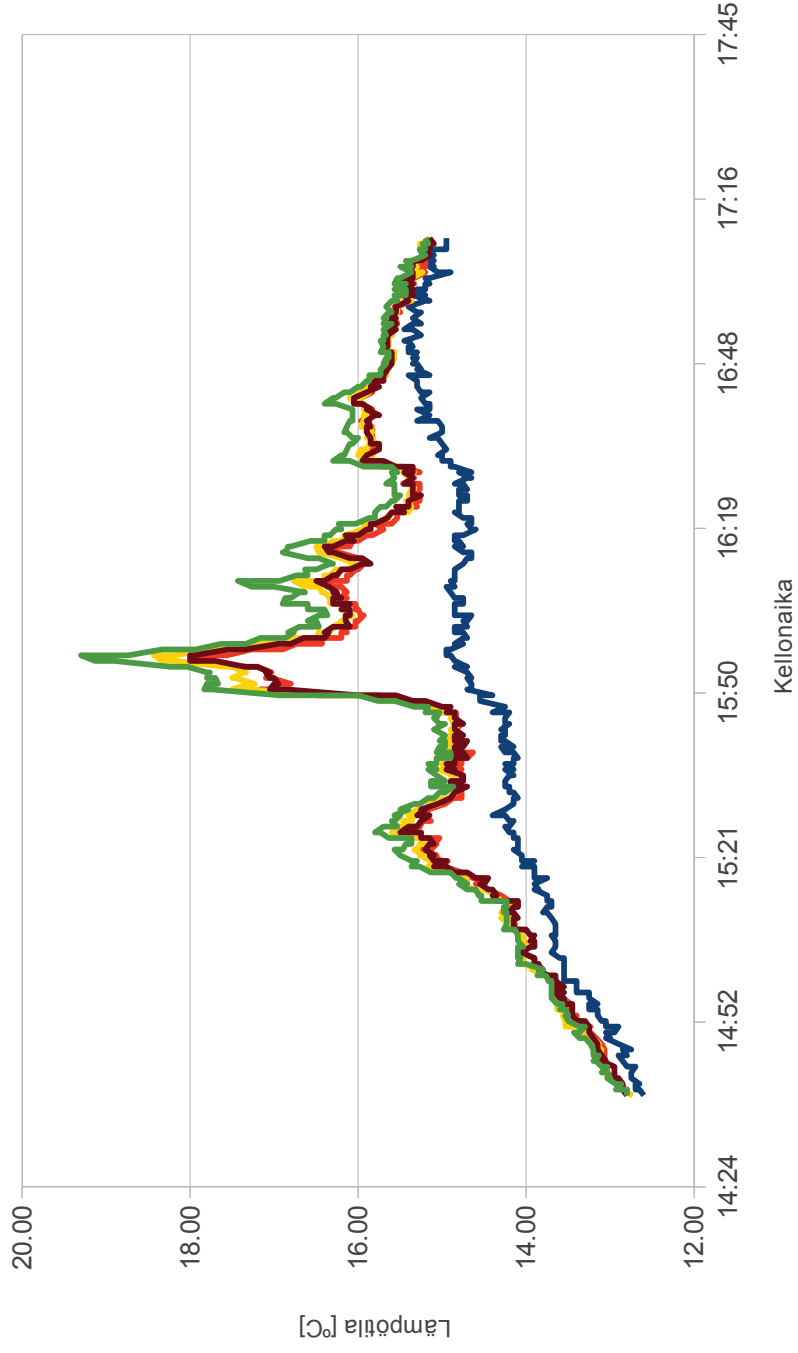
Vattenfallin www-sivut. Viitattu 15.10.2011. <http://www.vattenfall.fi/>

VTT:n Passiivinen talo -www-sivut. Viitattu 2.10.2011. <http://passiivitalo.vtt.fi/>

Wagner W. 1994: Lämmönsiirtotekniikka Helsinki Painatuskeskus

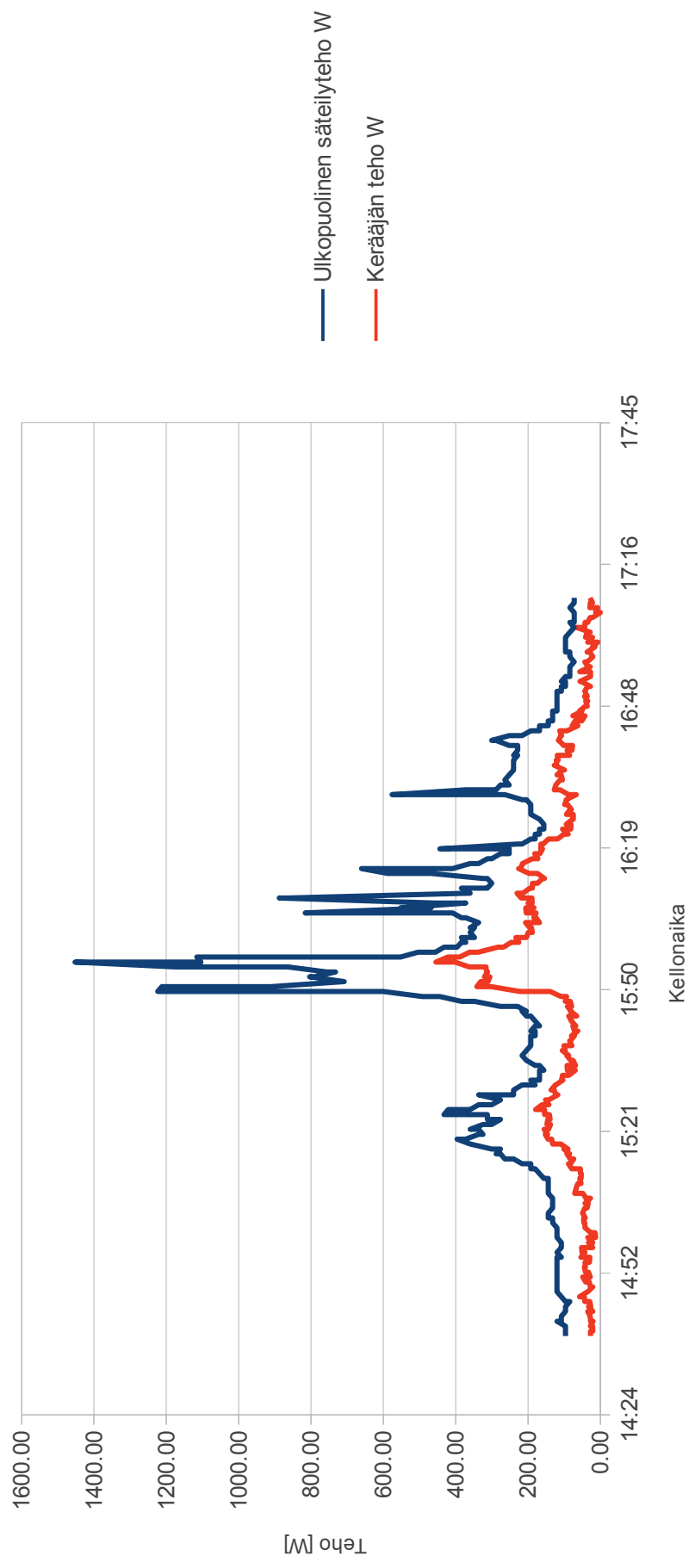
Kuvaaja 1. Mittaustulokset 29.9.2011

Keraäjän lämpötilat ajan funktiona



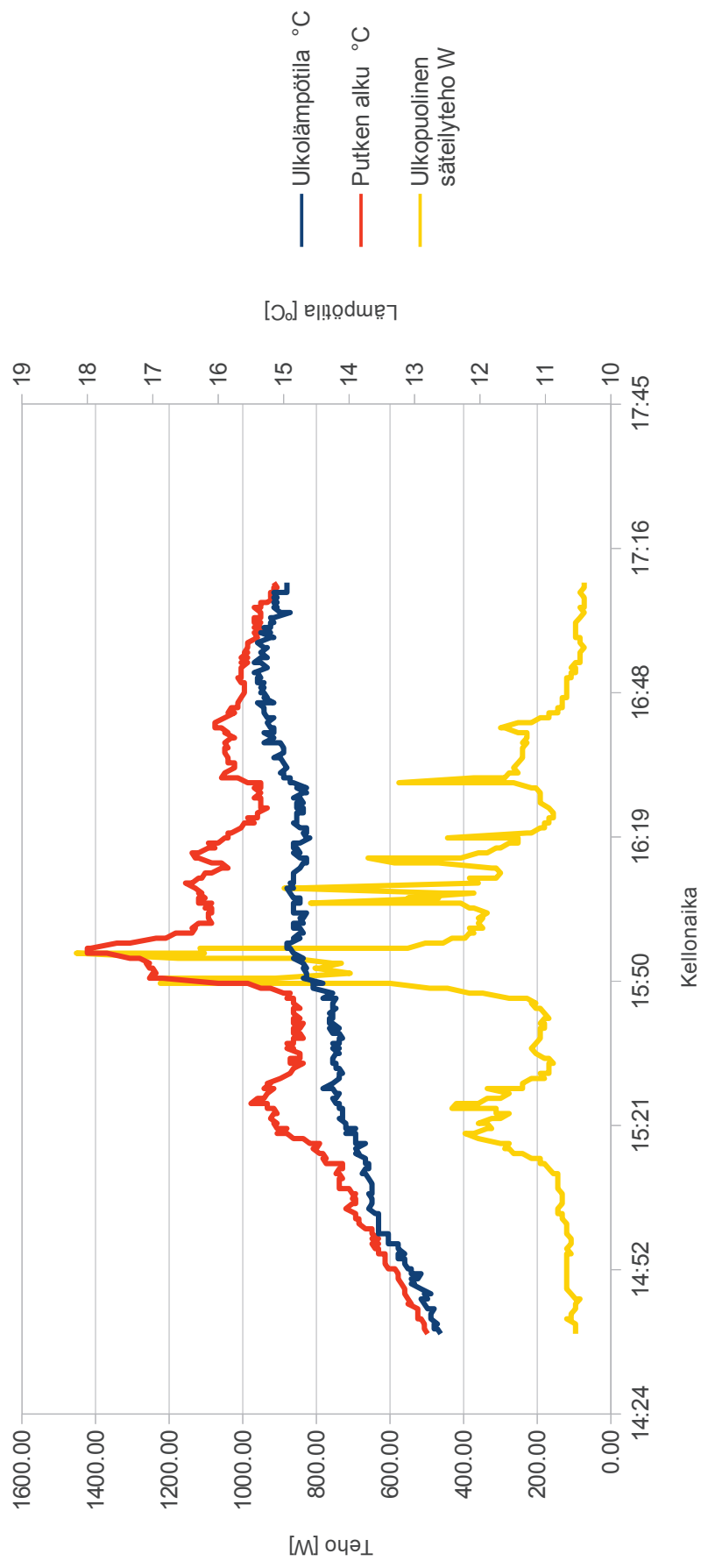
Kuvaaja 2. Mittaustulokset 29.9.2011

Säteilyteho ja kerääjän teho ajan funktiona



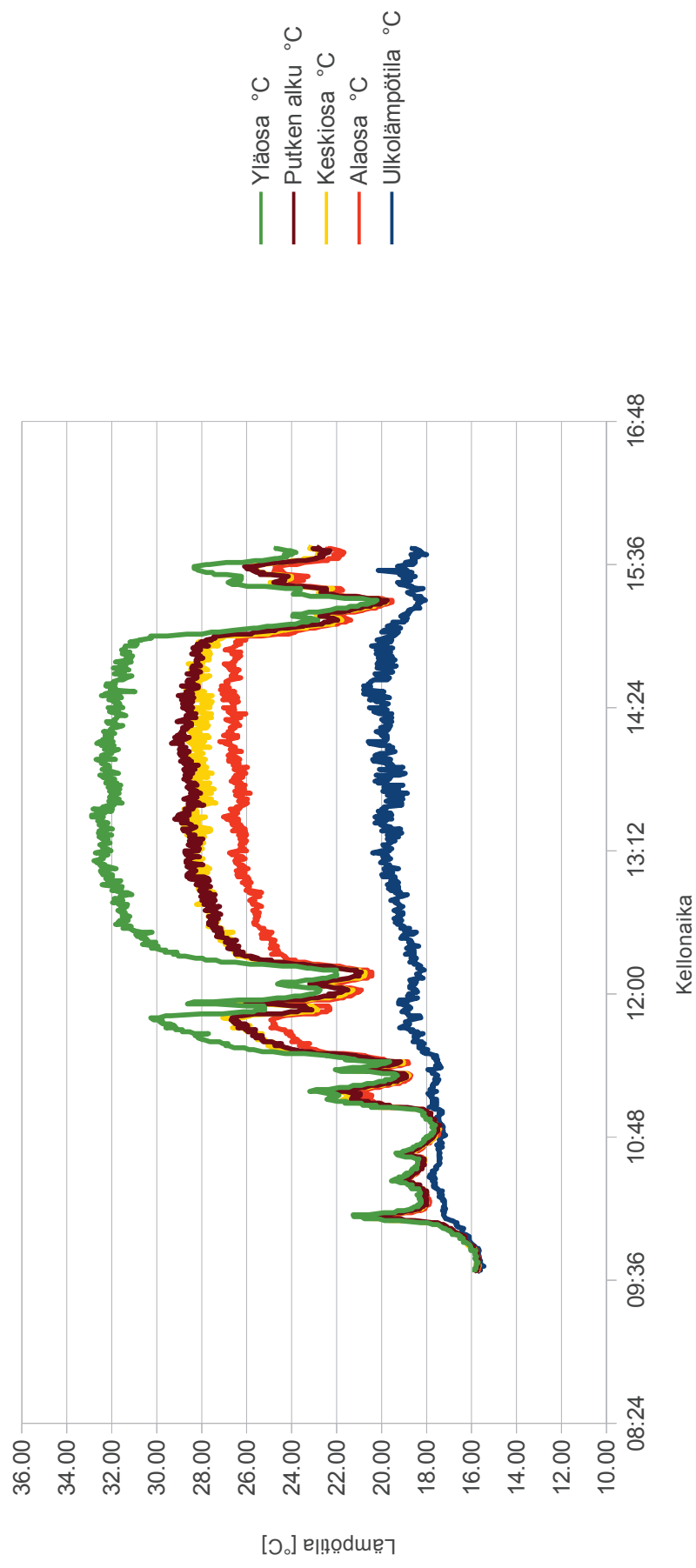
Kuvaaja 3. Mittaustulokset 29.9.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



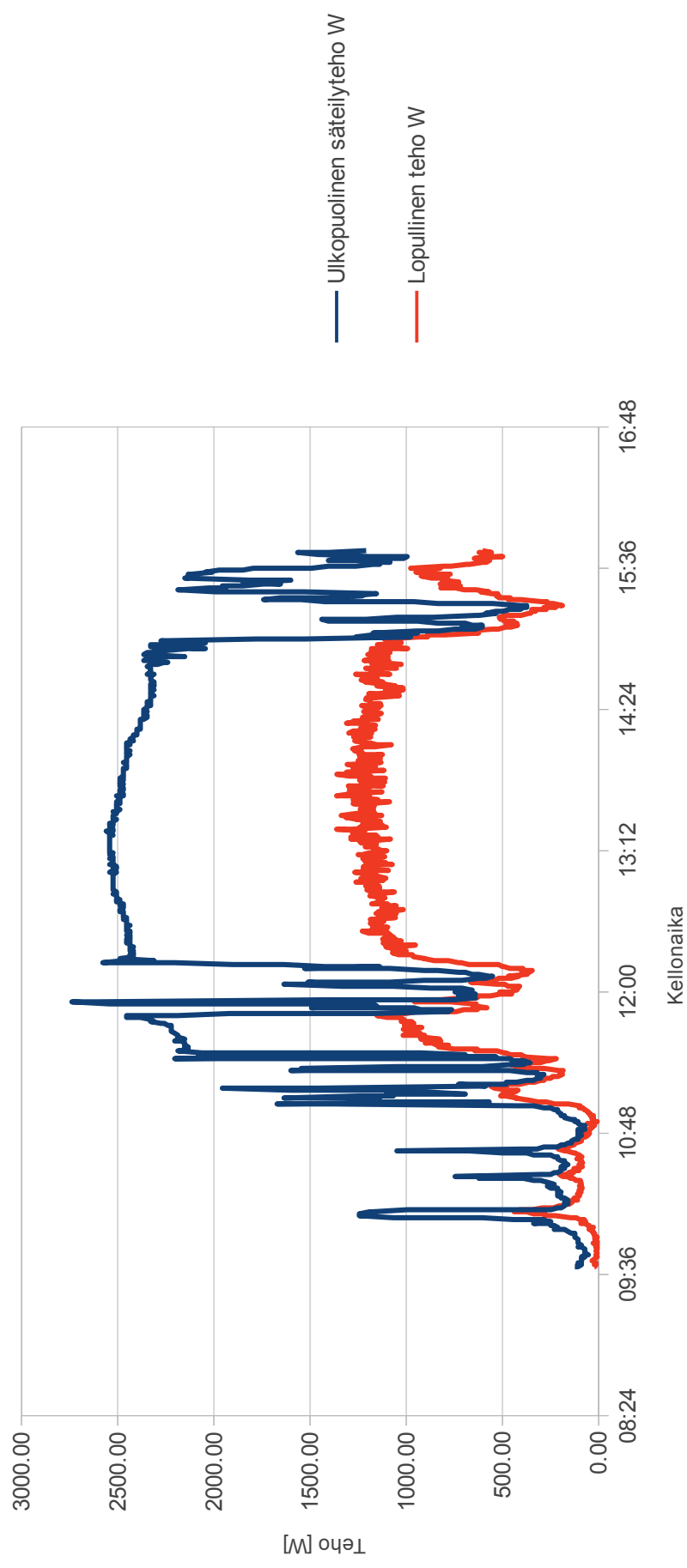
Kuvaaja 4. Mittaustulokset 30.9.2011

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



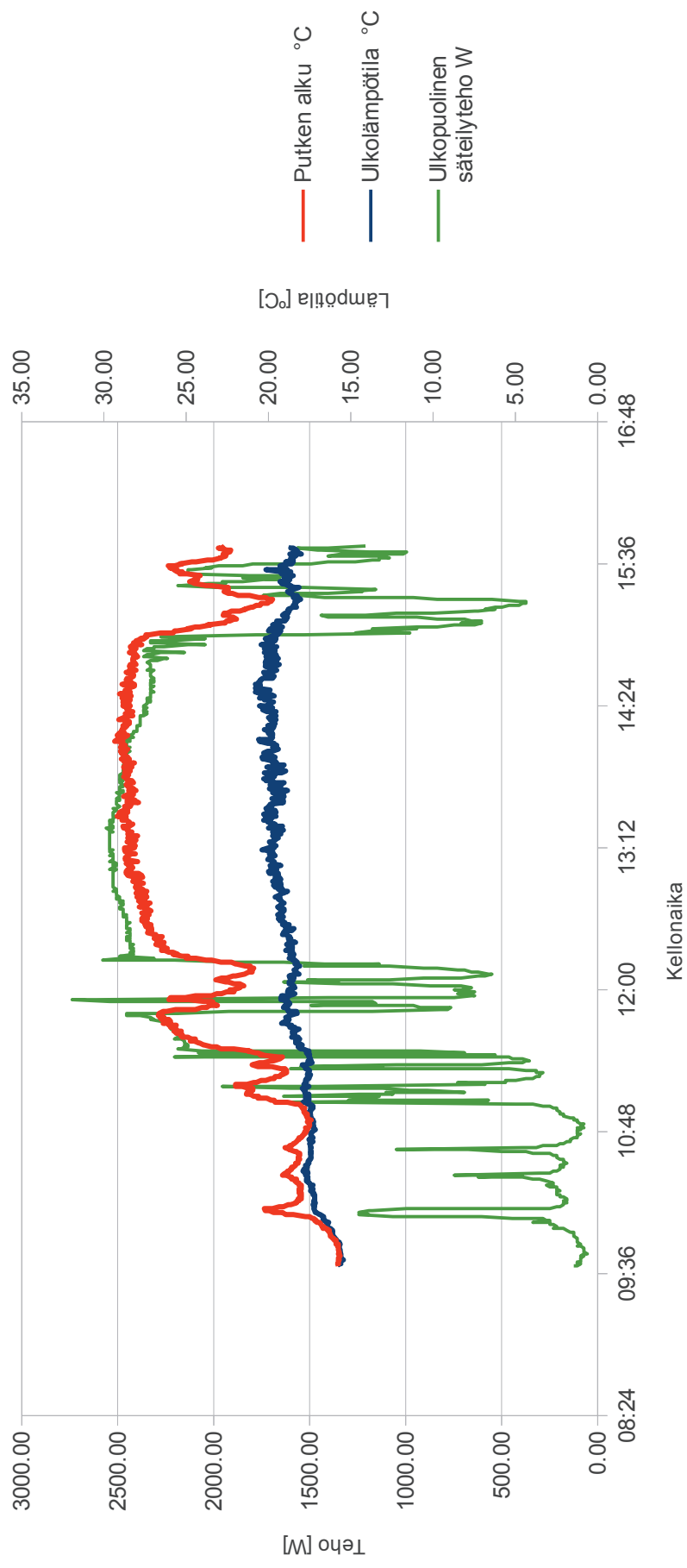
Kuvaaja 5. Mittaustulokset 30.9.2011

Säteilyteho ja järjestelmän teho ajan funktiona



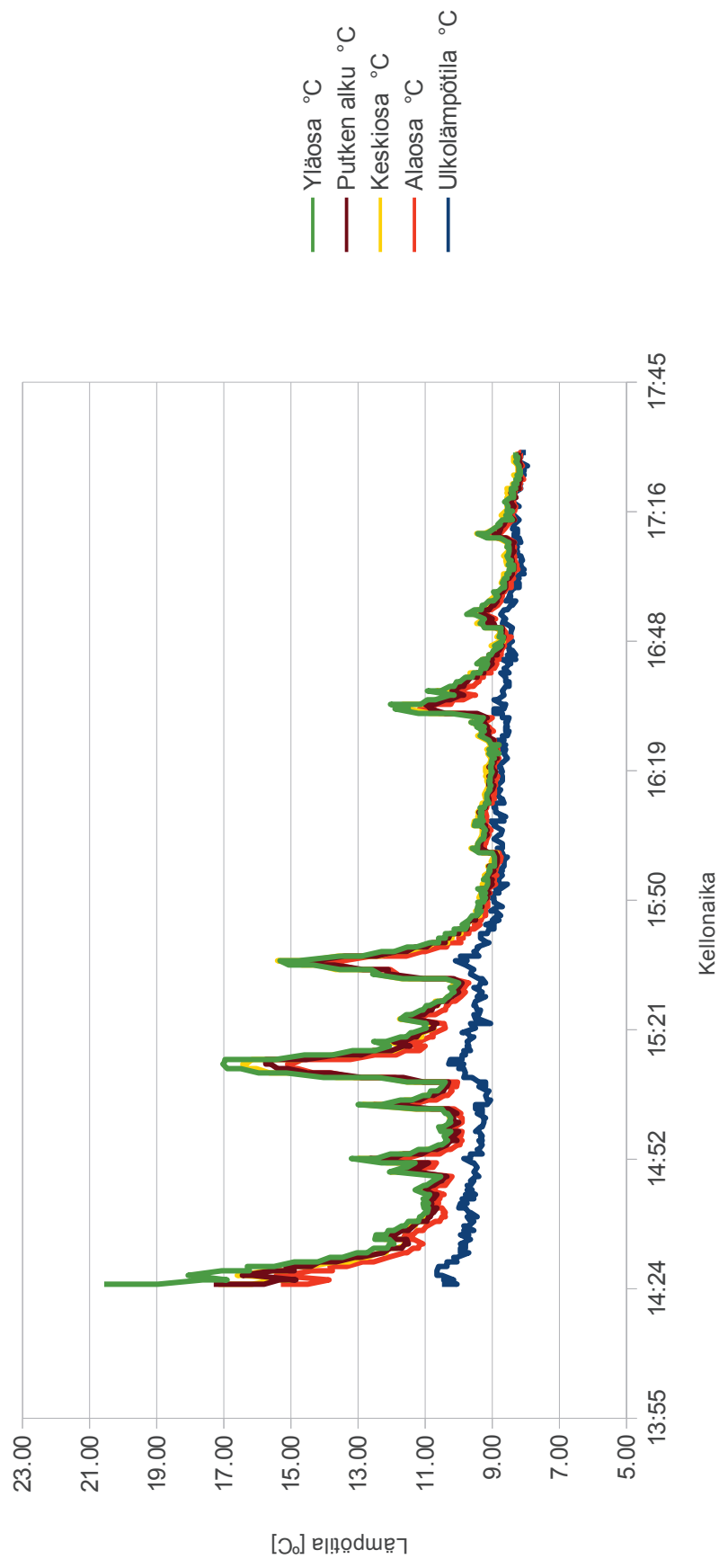
Kuvaaja 6. Mittaustulokset 30.9.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



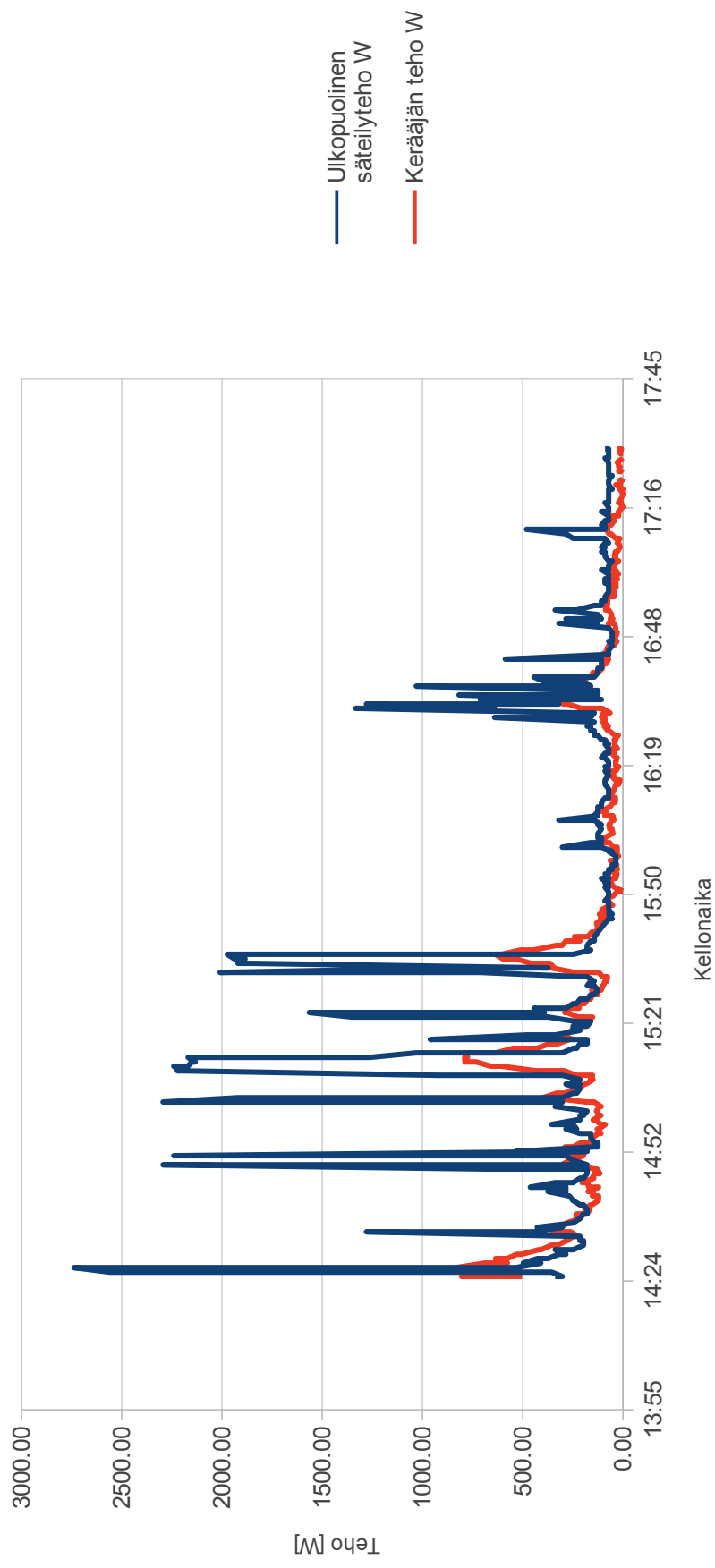
Kuvaaja 7. Mittaustulokset 11.10.2011

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



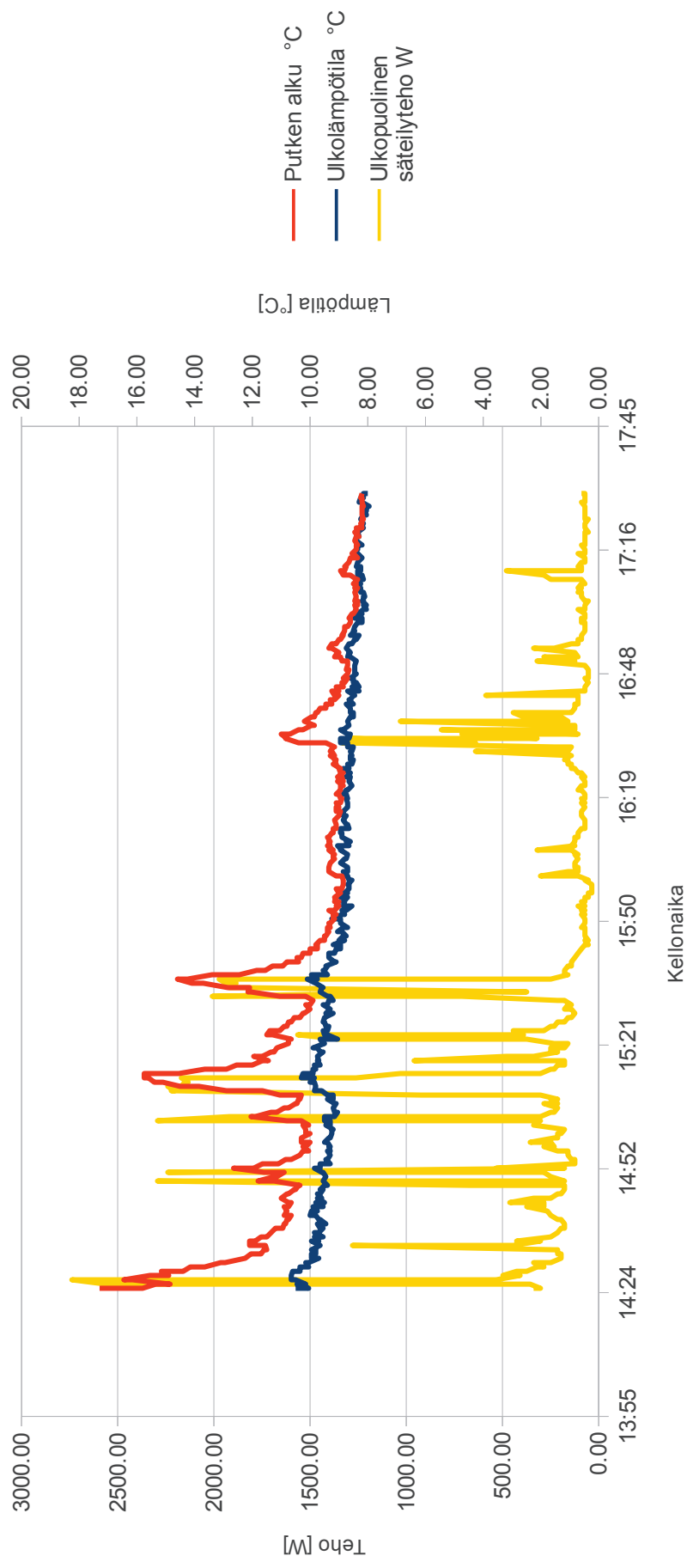
Kuvaaja 8. Mittaustulokset 11.10.2011

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



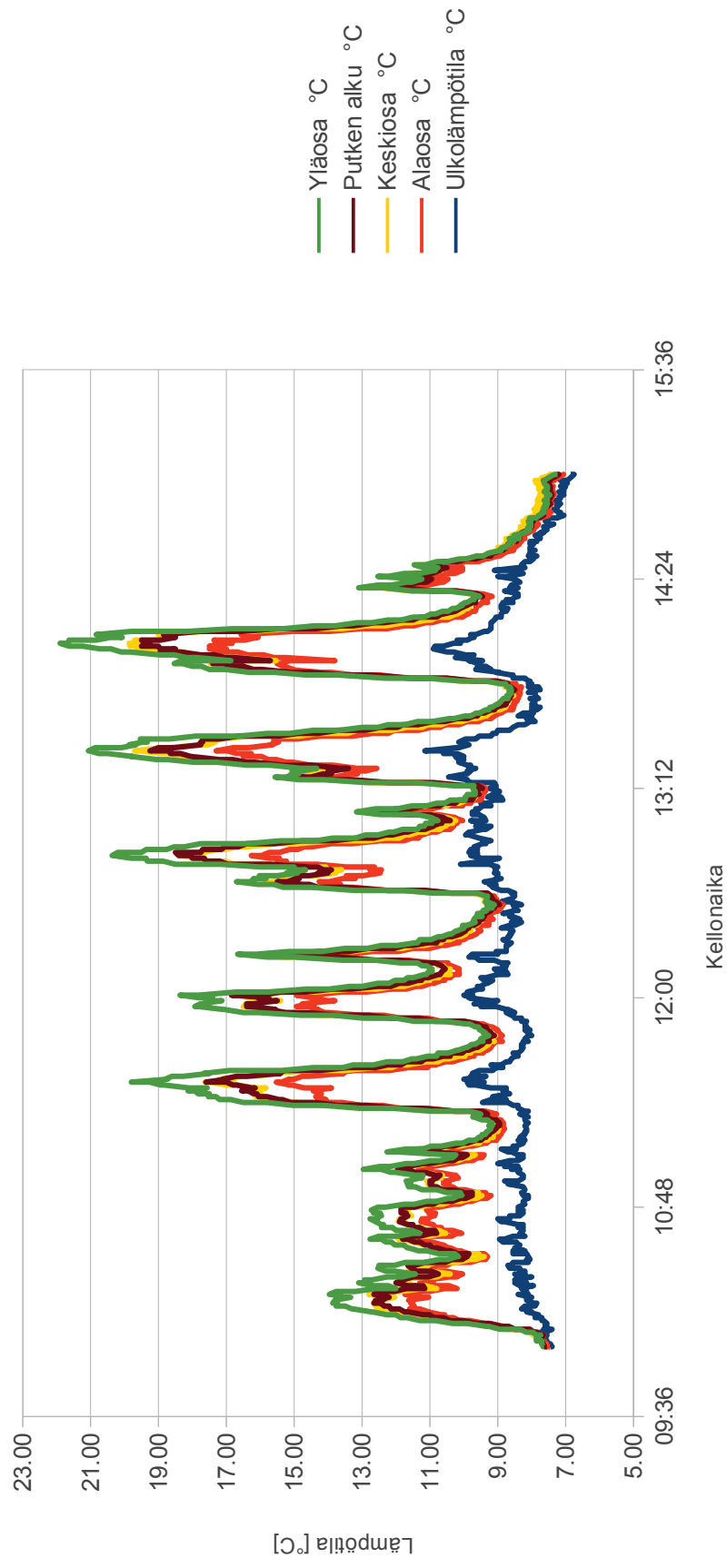
Kuvaaja 9. Mittaustulokset 11.10.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



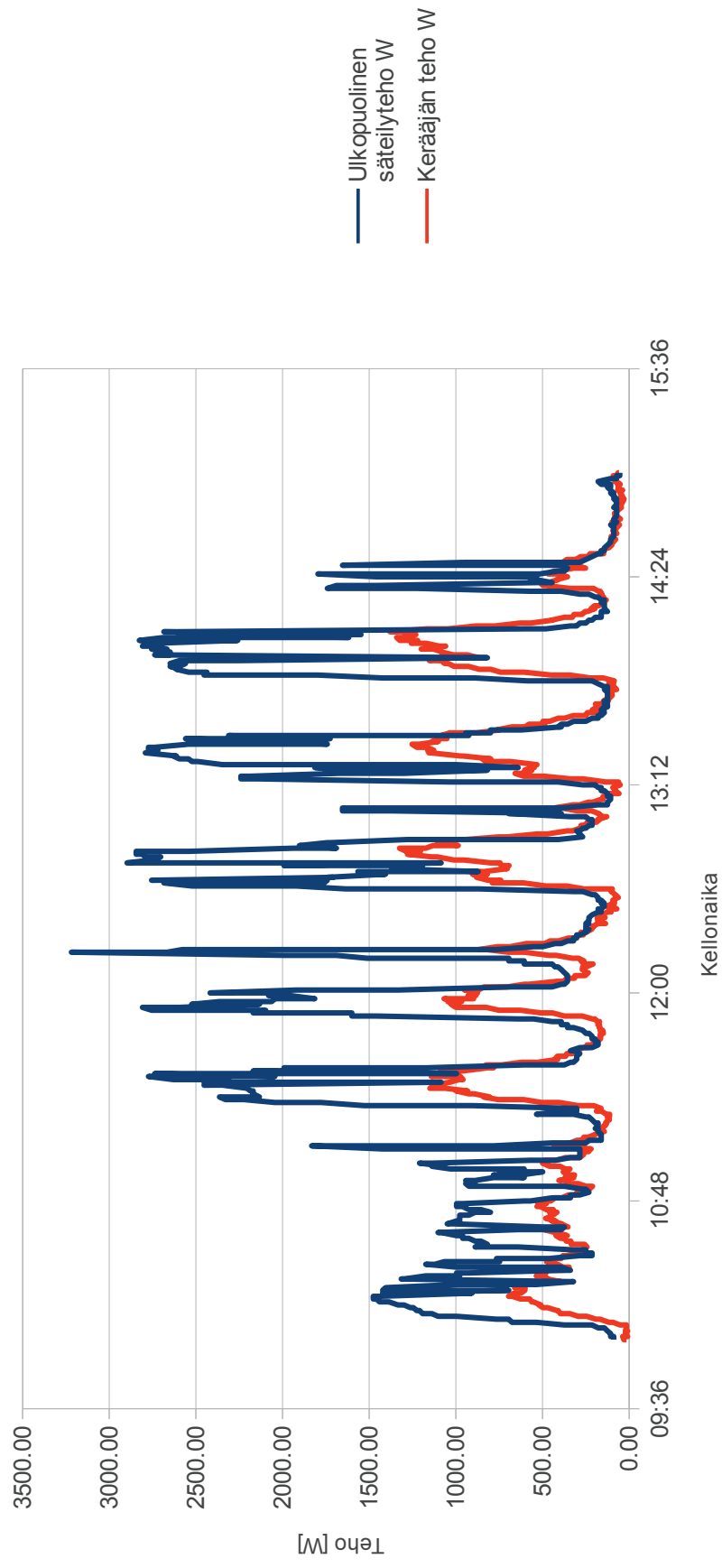
Kuvaaja 10. Mittaustulokset 12.10.2011

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



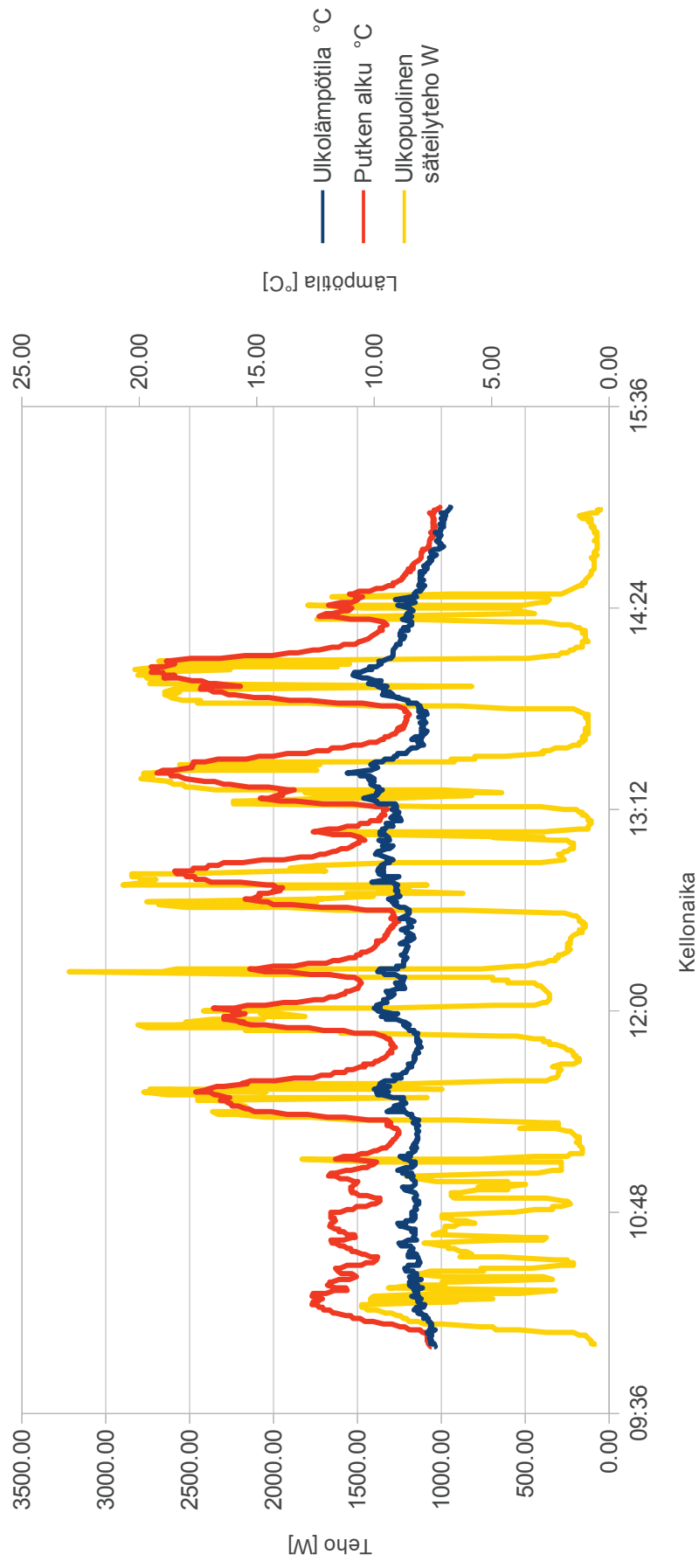
Kuvaaja 11. Mittaustulokset 12.10.2011

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



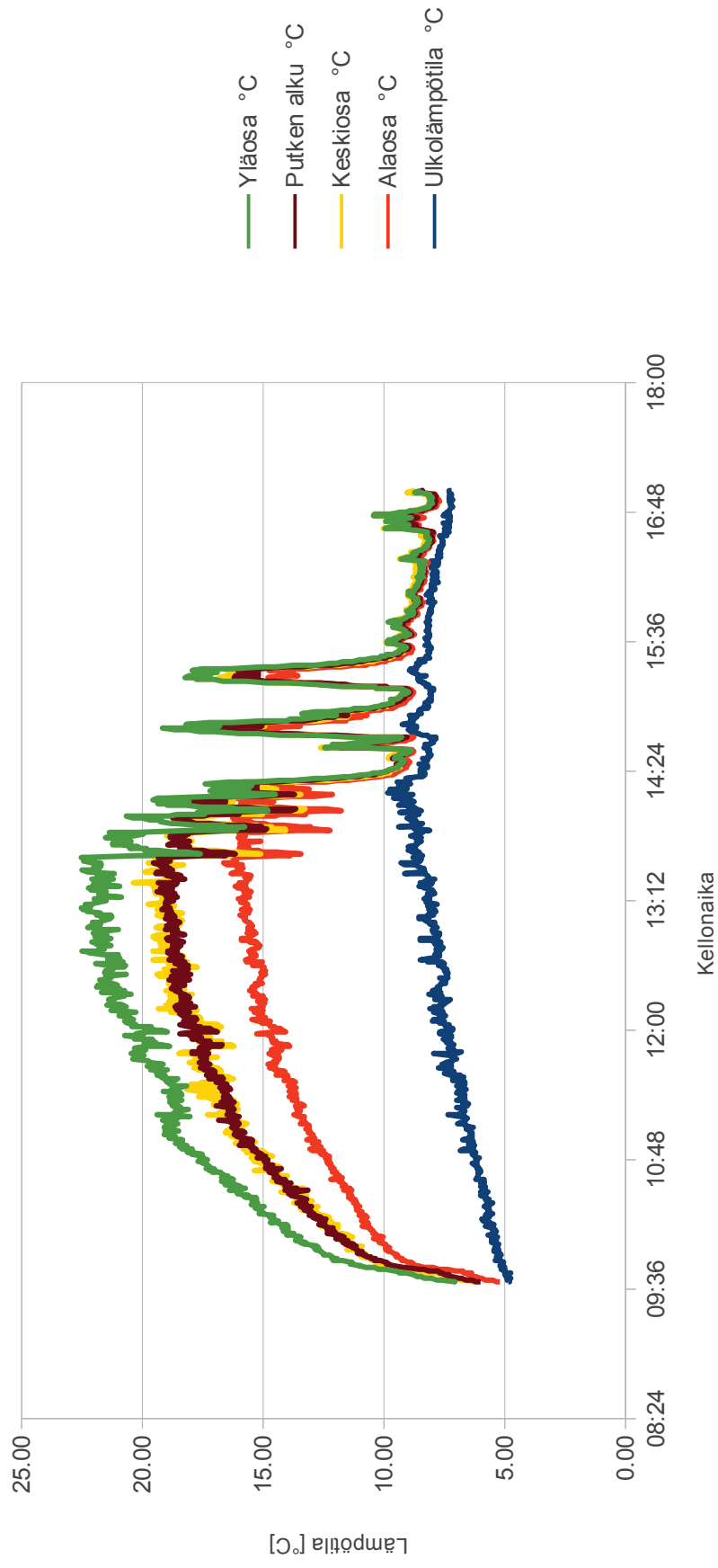
Kuvaaja 12. Mittaustulokset 12.10.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



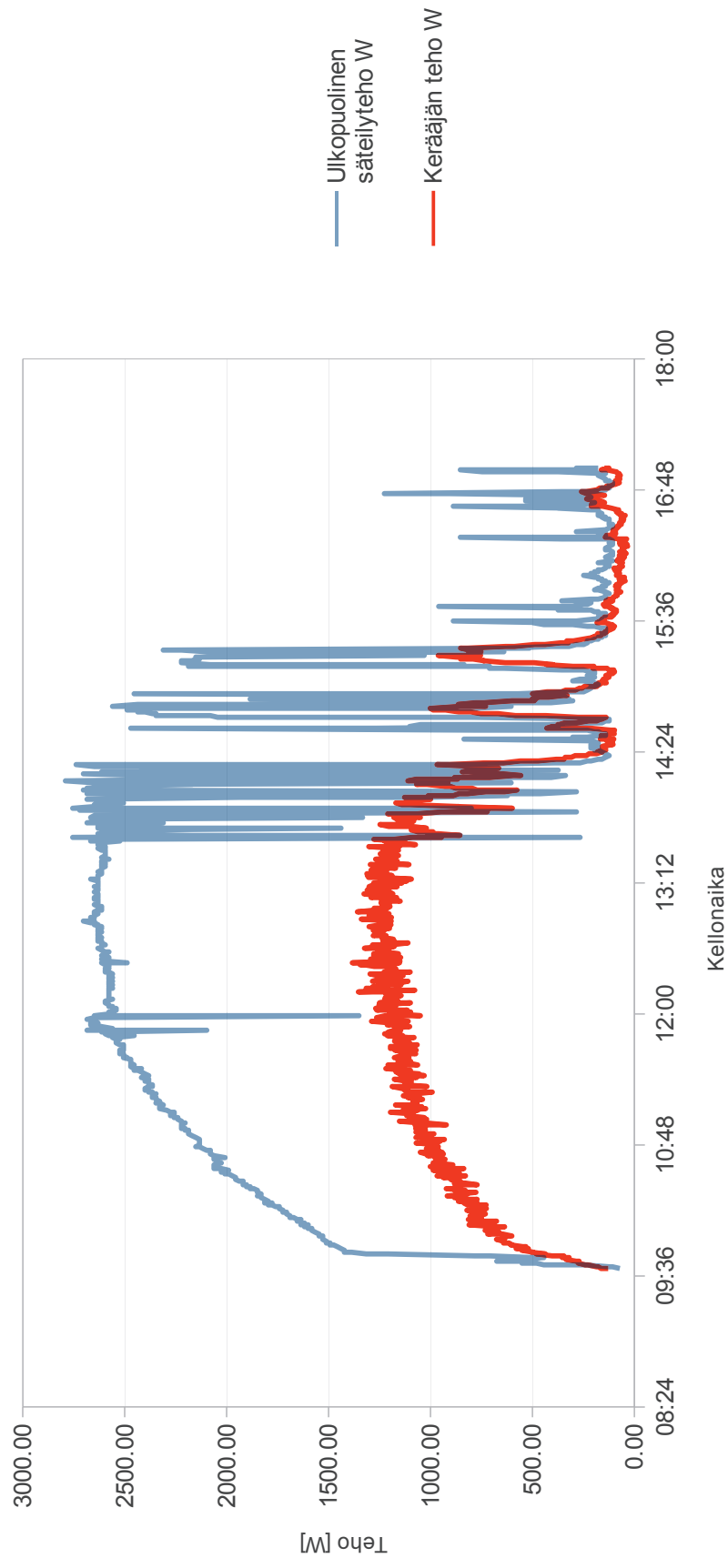
Kuvaaja 13. Mittaustulokset 13.10.2011

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



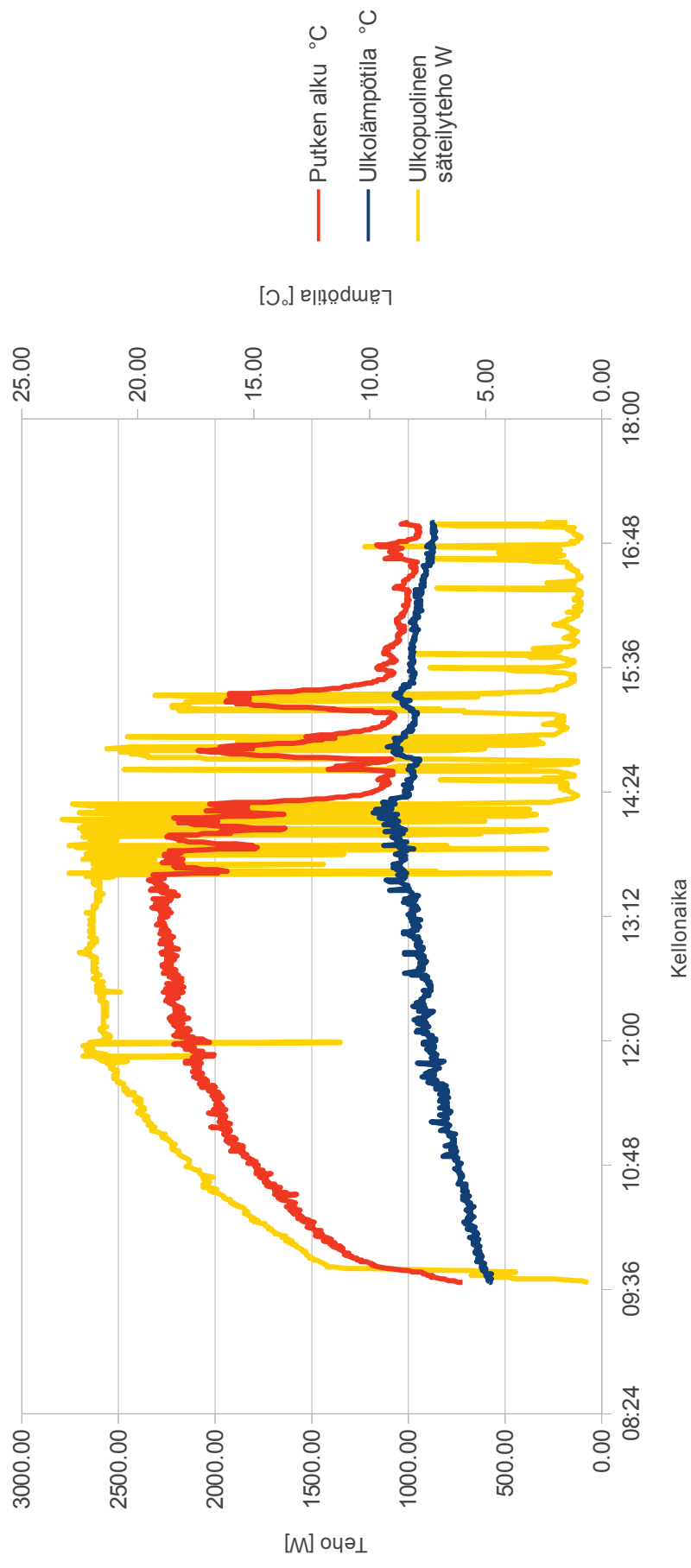
Kuvaaja 14. Mittaustulokset 13.10.2011

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



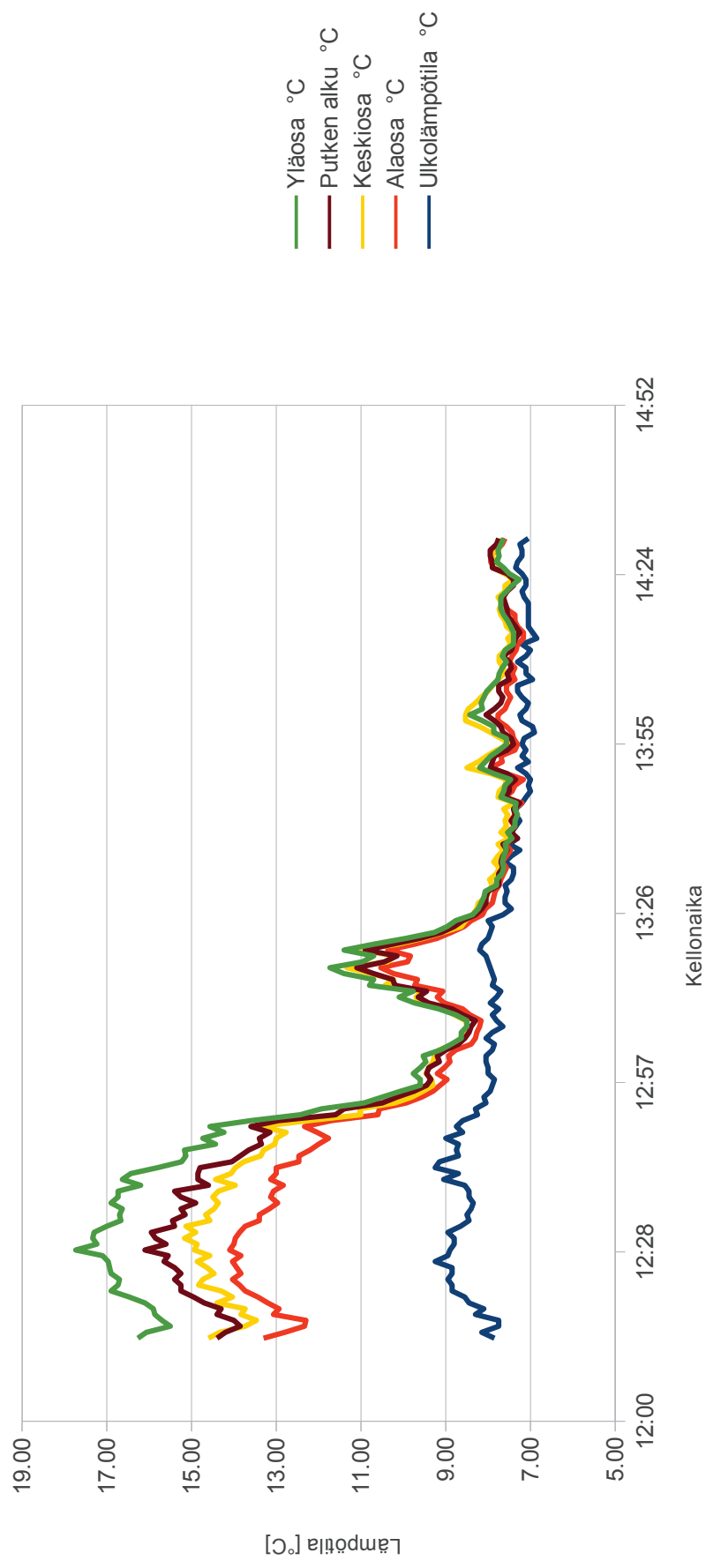
Kuvaaja 15. Mittaustulokset 13.10.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



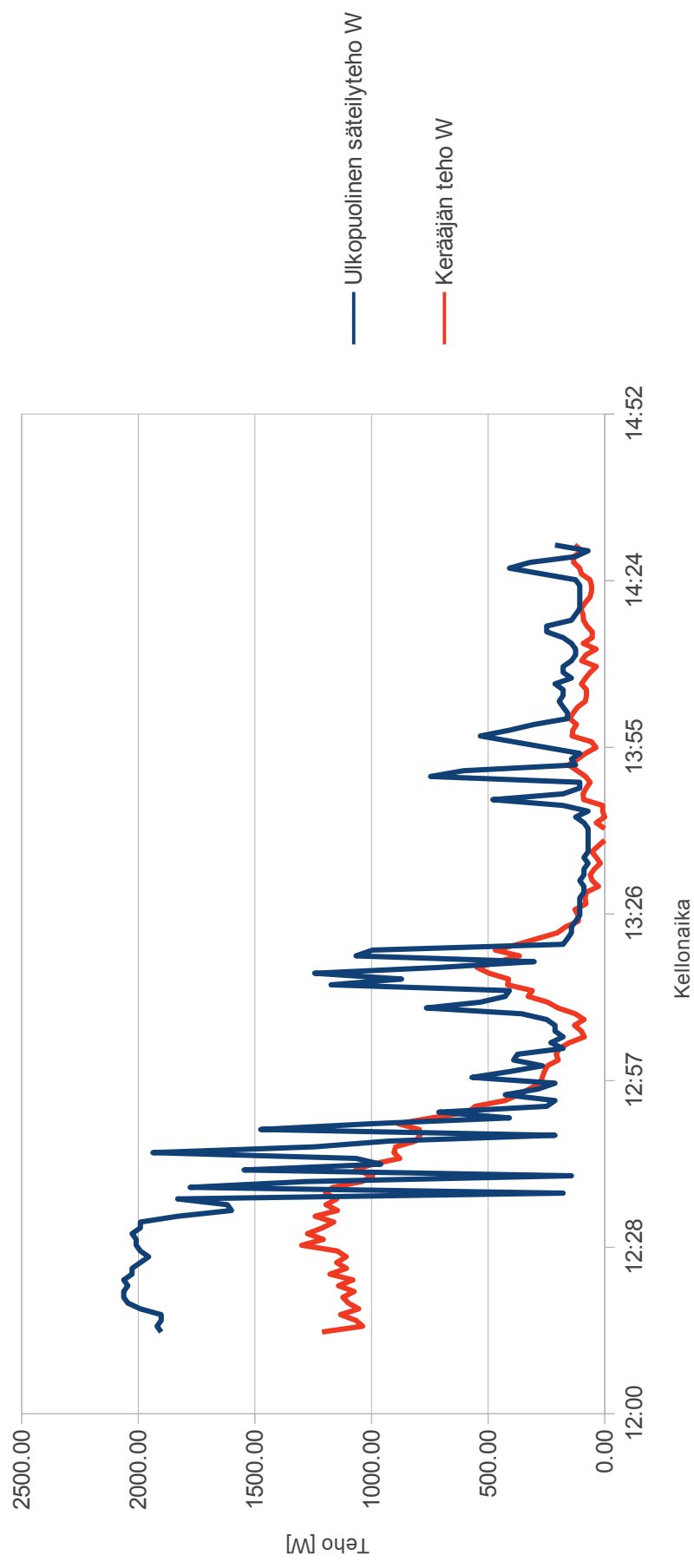
Kuvaaja 16. Mittaustulokset 17.11.2011

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



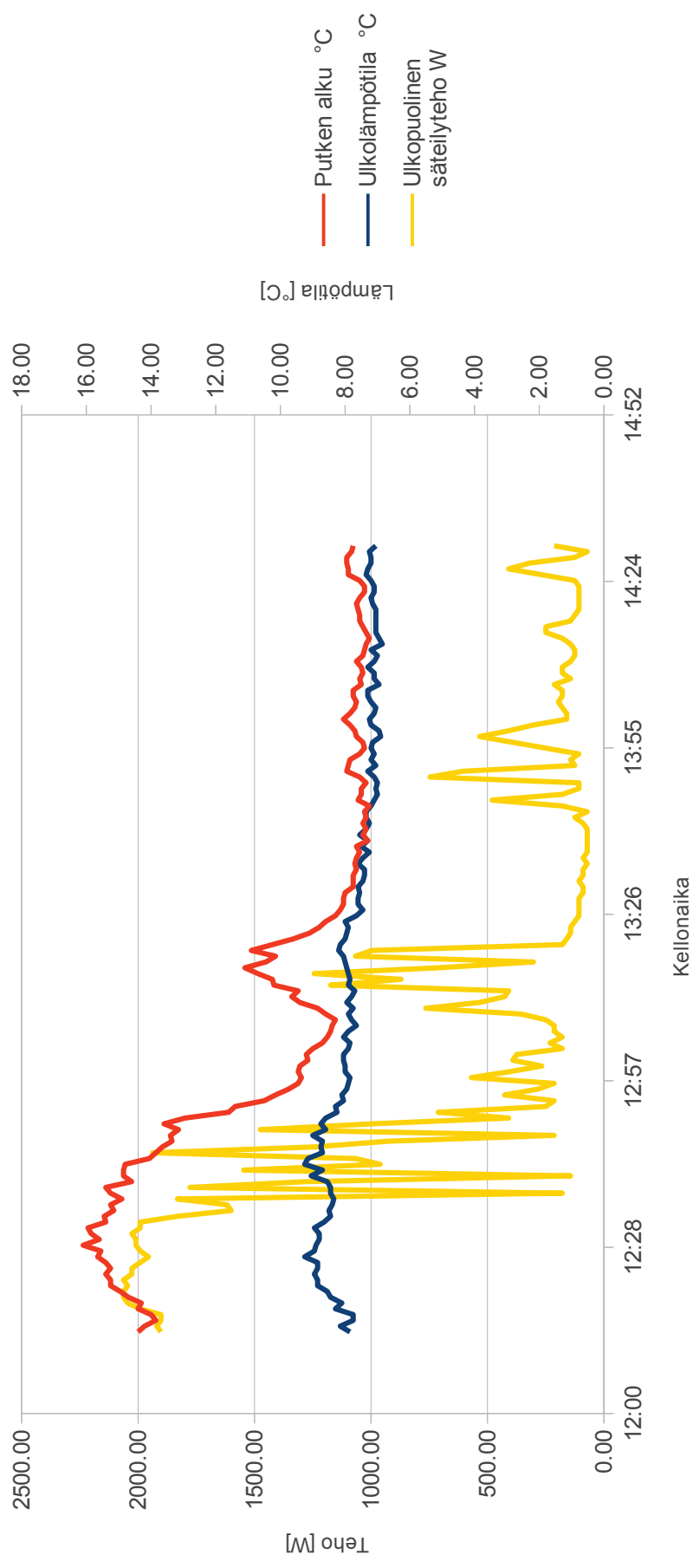
Kuvaaja 17. Mittaustulokset 17.11.2011

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



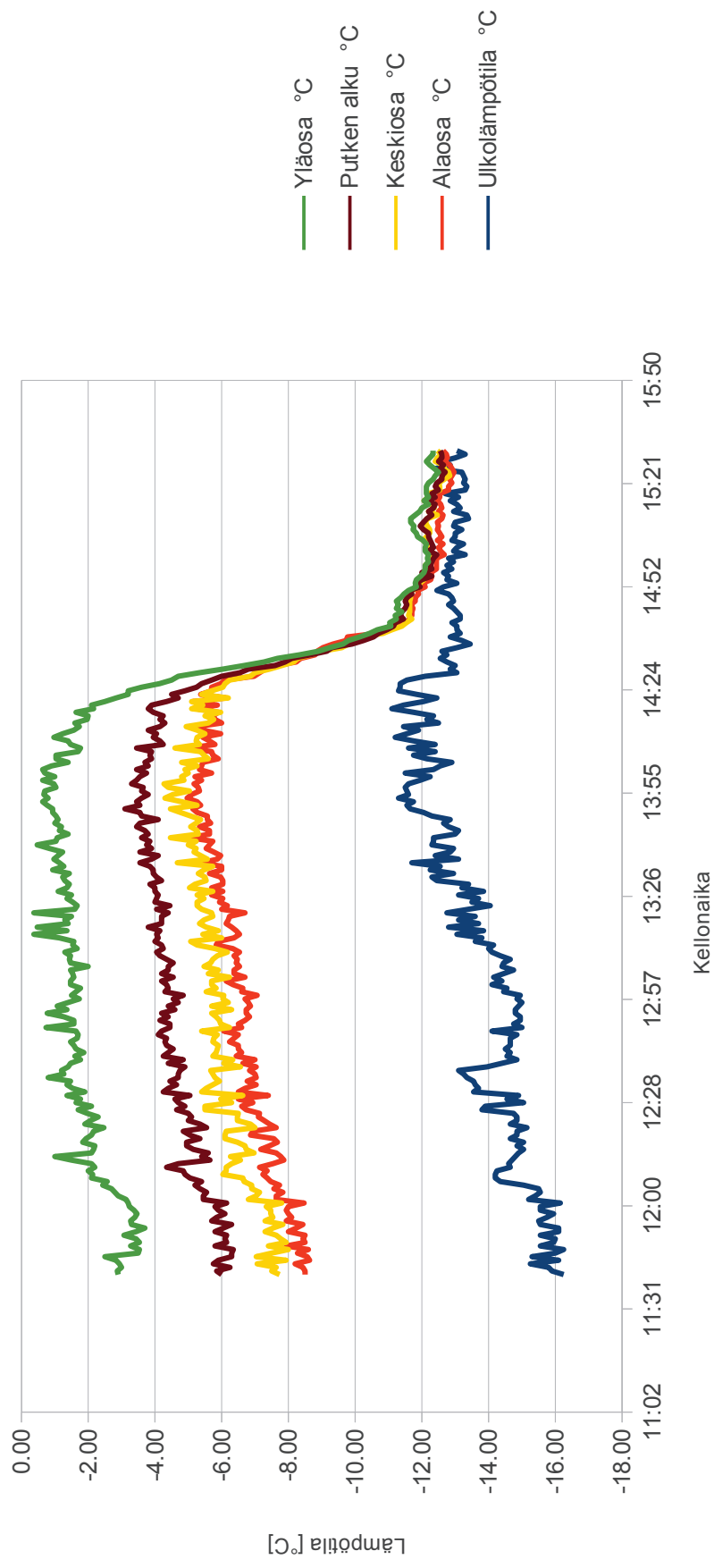
Kuvaaja 18. Mittaustulokset 17.11.2011

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



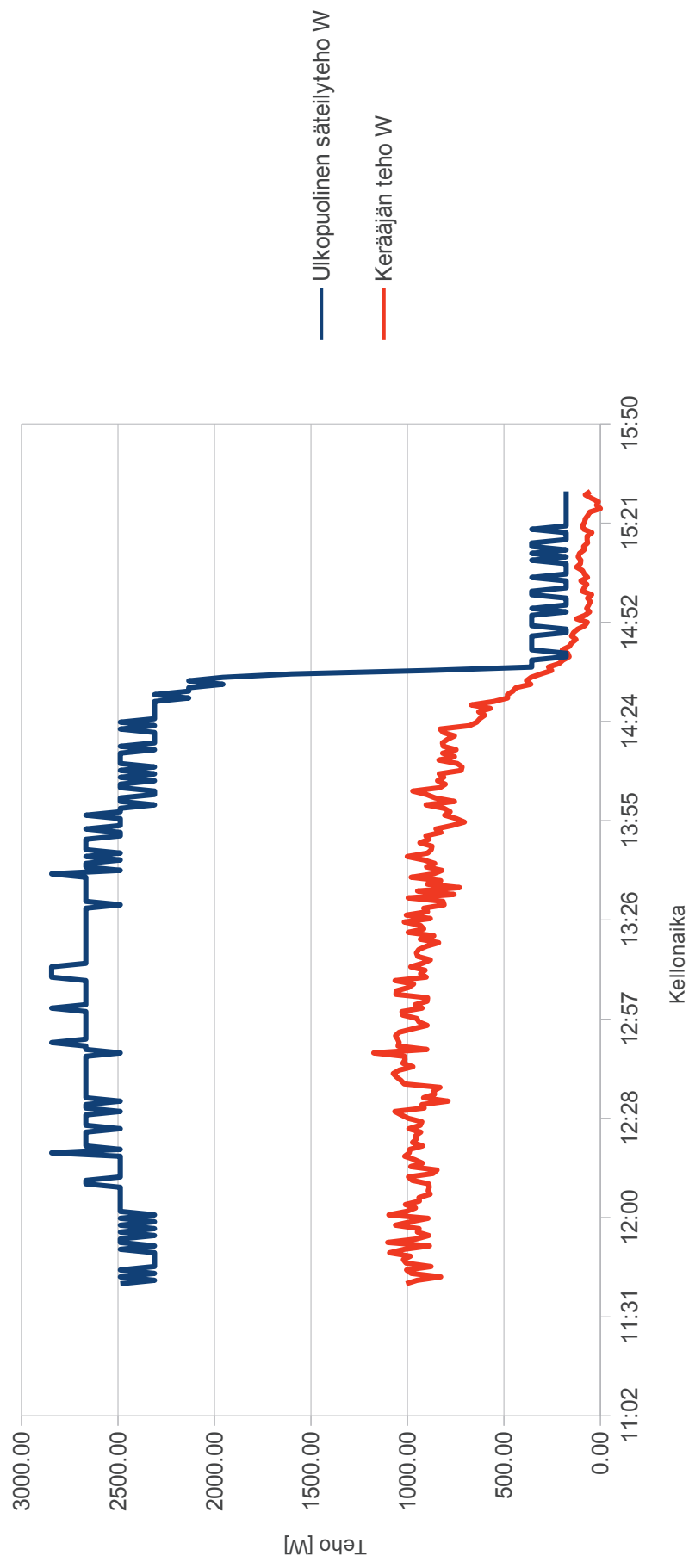
Kuvaaja 19. Mittaustulokset 9.2.2012

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



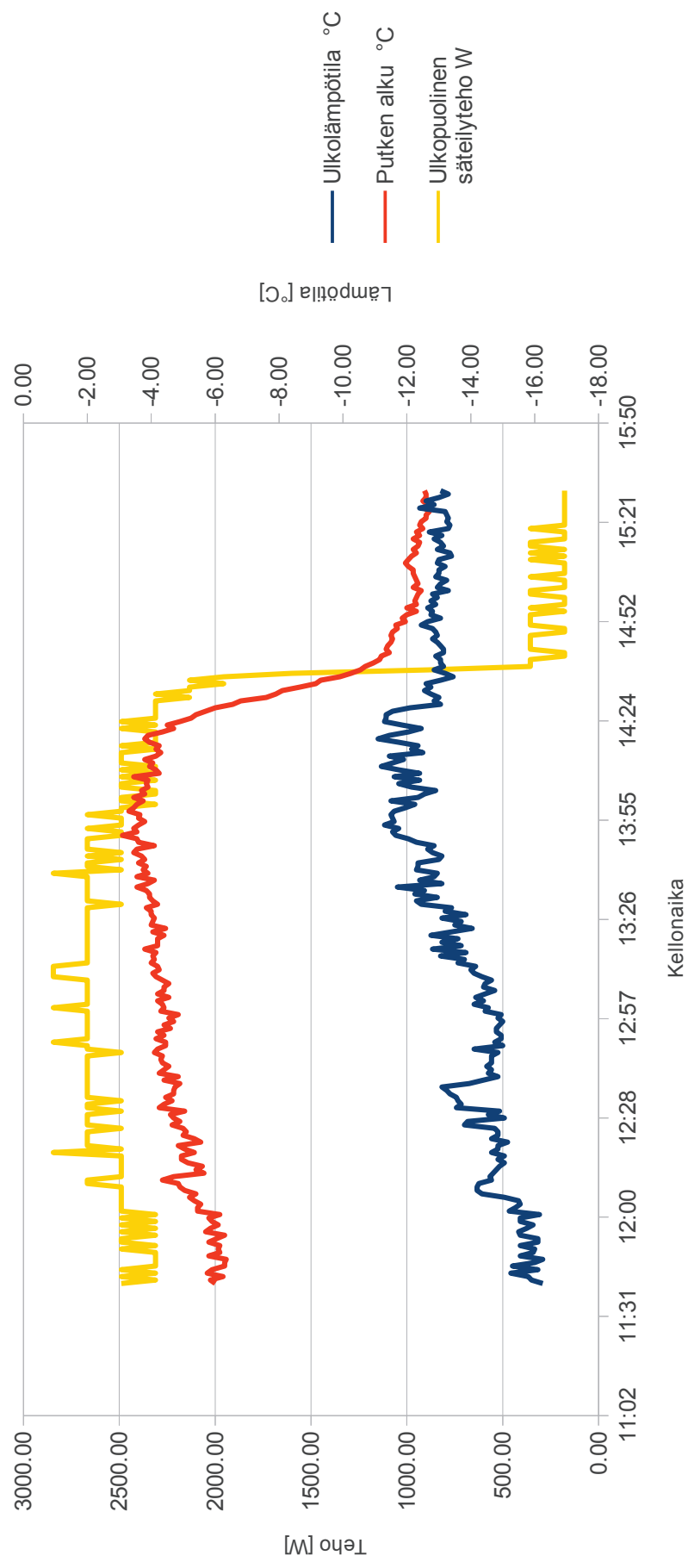
Kuvaaja 20. Mittaustulokset 9.2.2012

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



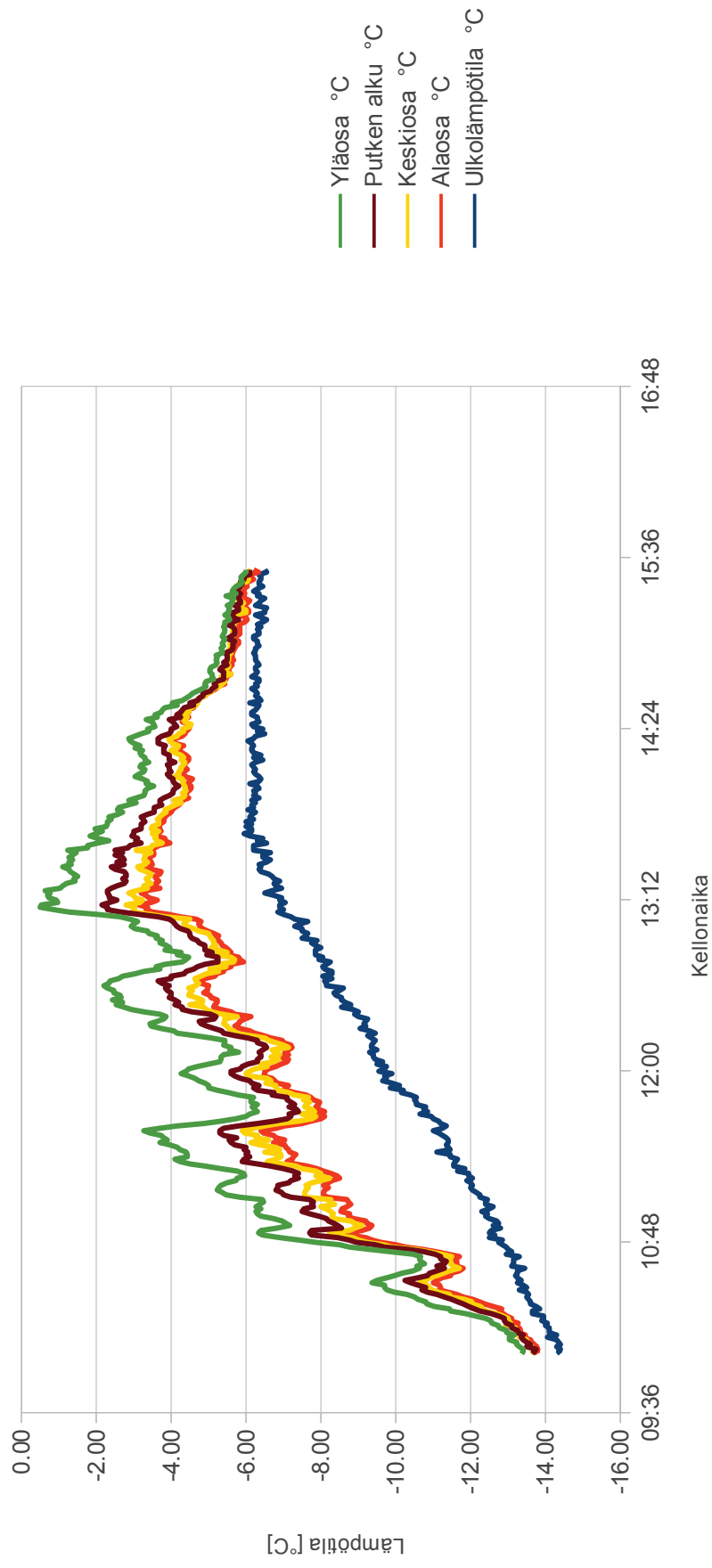
Kuvaaja 21. Mittaustulokset 9.2.2012

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona



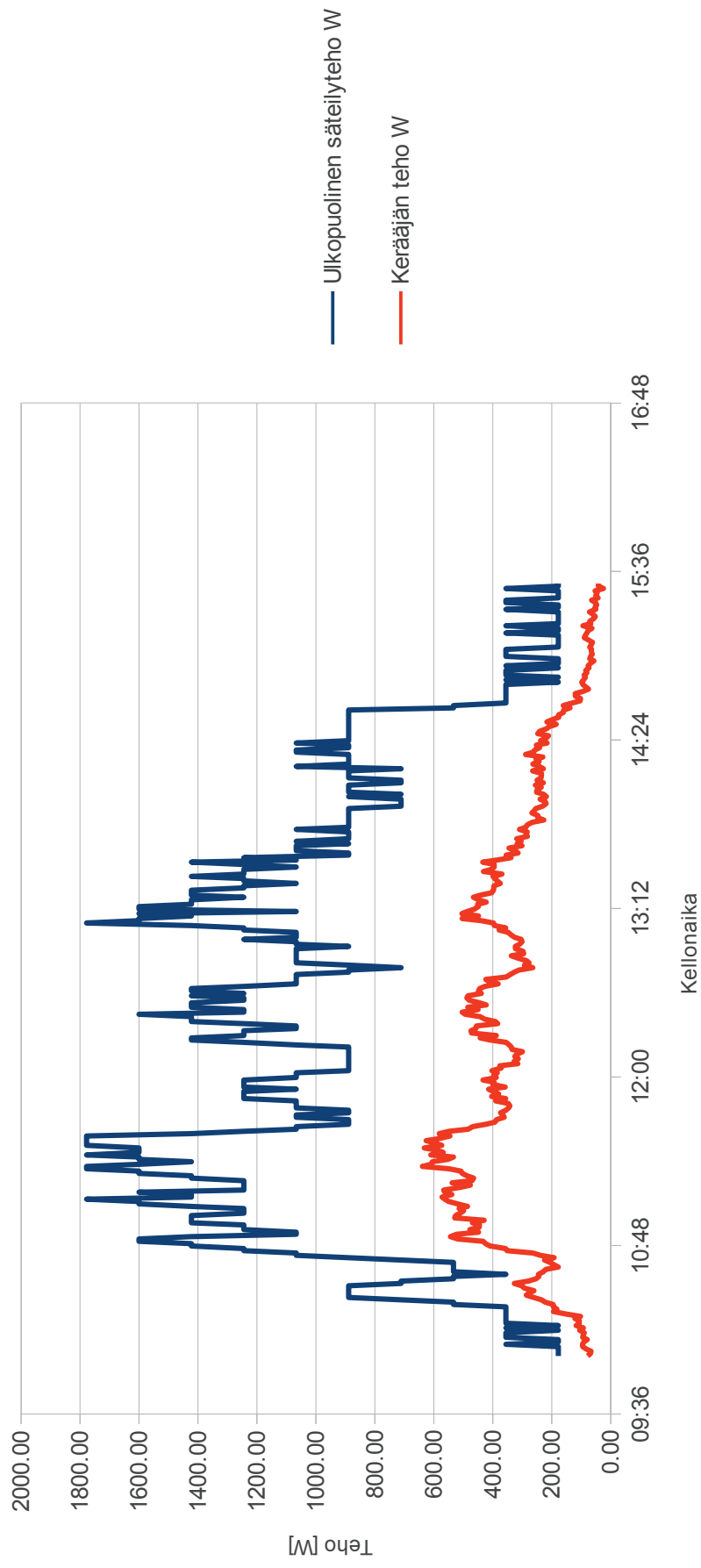
Kuvaaja 22. Mittaustulokset 10.2.2012

Kerääjän lämpötilat ajan funktiona



Kuvaaja 23. Mittaustulokset 10.2.2012

Kerääjän teho ja säteilyteho ajan funktiona



Kuvaaja 24. Mittaustulokset 10.2.2012

Lämpötilat ja auringon säteilyteho ajan funktiona

