



# Aurinkoenergiajärjestelmän käytön kehittäminen

Filip Helminen

Opinnäytetyö

Joulukuu 2021

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

### Helminen Filip

#### Aurinkoenergiajärjestelmän käytön kehittäminen

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. joulukuu 2021, 72 sivua.

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

#### Tiivistelmä

Uusiutuvan energiantuotannon käyttö ja suosio on lisääntynyt viime vuosina, ja on edelleen nousussa hyvällä vauhdilla. Uusiutuvaan energiamuotoon kuuluvaa aurinkoenergiaa käyttämällä voidaan edistää päästövähennyksiä ilmastomuutoksen vähentämiseksi. Aurinkoenergiajärjestelmien hinta on jo kauan ollut laskusuuntainen ja näin ollen aurinkoenergian hyödyntäminen on Suomessa ja maailmalla lisääntynyt huomattavasti.

Opinnäytetyön aiheena oli aurinkoenergiajärjestelmästä kertyvän datan parempi hyödyntäminen. Työssä selviteltiin ensin perustietoja auringosta ja sen säteilystä. Tämän jälkeen käsiteltiin aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmien tuottamiseen tarvittavia komponentteja ja niiden toimintaperiaatteita. Opinnäytetyössä toimeksiantajana oli Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) biotalousinstituutti. Työn tavoitteena oli lisätä yleistä tietämystä aurinkoenergiasta, sekä selvittää toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmästä aikaisemmin saatavia tuotantomääriä. Tavoitteena oli myös saada järjestelmän data visuaalisesti selvempään muotoon opiskelun sekä viestinnällisiä tavoitteita varten. Tämän lisäksi tavoitteena oli suunnitella pienimuotoinen kasvihuone JAMK opiskelijoiden harjoitustöitä varten käyttäen aurinkolämpöjärjestelmää hyväksi.

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmänä hyödynnettiin monimenetelmällistä tutkimusotetta, käyttäen yhdessä kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimuksen keinoja hyväksi. Työn tietoperusta koottiin internetlähteistä sekä aiheeseen liittyvistä kirjoista. Opinnäytetyössä on kerrottu varsin kattavasti aurinkoenergiajärjestelmistä, sekä järjestelmien tuotannoista. Biotalousinstituutin aurinkoenergiajärjestelmästä saatavaa dataa saatiin visuaalisesti selvempään muotoon kaavioiden avulla. Tuloksena saavutettiin myös esimerkkilaskelmia, jonka avulla saadaan selville kasvihuoneen lämmitysenergian tarve. Microsoft Excel-tiedostoon tehtyjä esimerkkilaskelmia voidaan hyödyntää jatkossa myös opiskelijoiden kasvihuone simulointi harjoitustöitä varten, sekä harkittaessa investoimista kasvihuoneeseen.

#### Avainsanat (asiasanat)

Aurinkoenergia, aurinkokeräin, aurinkopaneelit, aurinkolämpö ja aurinkosähkö

#### Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

**Helminen Filip**

### **Developing the use of the solar energy system**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, December 2021, 72 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

The use and popularity of renewable energy production has increased recently and is constantly rising at a good pace. The use of solar energy, which is part of renewable energy, can contribute to reducing emissions in order to reduce climate change. The price of solar energy systems has been declining for a while now, and thus the utilization of solar energy has increased considerably in Finland and around the world.

The topic of the thesis was a better utilization of the data accumulated from the solar energy system. The work first explored basic information about the sun and its radiation. Next the components required for the production of photovoltaic and solar thermal systems and their operating principles were presented. The thesis was commissioned by the Bioeconomy Institute of Jyväskylä University of Applied Sciences (JAMK). The aim of the work was to increase the general knowledge about solar energy, as well as to find out the production volumes previously available from the client's solar energy system. The work also aimed to make the data of the system more visually clear for learning and for communication purposes. In addition to this, the aim was to design a small-scale greenhouse for JAMK students' assignments using a solar heating system.

The research method of the thesis utilized a multi-method research approach, using the means of quantitative and qualitative researches together. The knowledge base of the work was compiled from Internet sources and related books. The thesis has been quite comprehensive about solar energy systems as well as the productions of the systems. The data from the Institute of Bioeconomy's solar energy system were visualized in a clearer form using diagrams. As a result, the example calculations were also obtained to find out the need for heating energy in the greenhouse. The sample calculations made in a Microsoft Excel file can also be used in the future for students' greenhouse simulation exercises, along with when considering investing in a greenhouse.

### **Keywords/tags (subjects)**

Solar collector, solar energy, solar heat, solar panels, and solar power

### **Miscellaneous (Confidential information)**

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>6</b>
2.1	Toimeksiantaja .....	6
2.2	Tavoitteet ja työn rajaus .....	6
2.3	Toteutus ja tutkimusmenetelmät .....	7
<b>3</b>	<b>Auringosta saatava energia .....</b>	<b>8</b>
3.1	Tuotettu aurinkoenergia .....	8
3.2	Auringon säteilyenergia .....	9
3.3	Auringon säteily Suomessa .....	11
<b>4</b>	<b>Aurinkosähkö .....</b>	<b>12</b>
4.1	Aurinkosähkön osuus .....	12
4.2	Aurinkosähköjärjestelmä .....	13
<b>5</b>	<b>Aurinkopaneelit.....</b>	<b>14</b>
5.1	Aurinkokennojen toimintaperiaate.....	14
5.2	Aurinkopaneelin toimintaperiaate.....	15
5.3	Aurinkokennotyypit.....	16
5.4	Aurinkosähköjärjestelmän muut komponentit.....	17
5.5	Asentaminen .....	18
5.6	Aurinkopaneelin hyötysuhde .....	19
<b>6</b>	<b>Aurinkolämpö.....</b>	<b>20</b>
6.1	Aurinkolämmön hyödyntäminen .....	20
6.2	Aurinkokeräimet.....	21
6.2.1	Ilmakeräin .....	22
6.2.2	Nestekiertoinen aurinkokeräin .....	23
6.2.3	Tasokeräin.....	24
6.2.4	Tyhjiöputkikeräin .....	24
6.3	Aurinkolämpöjärjestelmän muut komponentit.....	26
6.4	Aurinkokeräimen hyötysuhde.....	27
<b>7</b>	<b>Toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmä.....</b>	<b>28</b>
7.1	Järjestelmän pääkomponentit .....	28
7.2	Kohteen aurinkoenergiajärjestelmän rakenne .....	31
<b>8</b>	<b>Tuotannon analyysi .....</b>	<b>32</b>
8.1	Aurinkosähköjärjestelmän tuotto .....	32

8.2	Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto .....	37
8.3	Aurinkosähköjärjestelmän teoreettinen tuotanto.....	40
8.4	Aurinkolämpöjärjestelmän teoreettinen tuotanto.....	44
<b>9</b>	<b>Biotalousinstituutille kasvihuone .....</b>	<b>49</b>
9.1	Kasvihuone .....	49
9.2	Suunnittelu.....	50
9.3	Mitoitus.....	51
9.3.1	Lähtötiedot .....	51
9.3.2	Mitoituslämpötilat .....	52
9.3.3	Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve .....	53
9.3.4	Täydentävät laskut.....	60
<b>10</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>62</b>
10.1	Tulokset .....	62
10.2	Eettisyys ja luotettavuus .....	64
10.3	Aurinkoenergian tulevaisuus ja kehitys .....	65
10.4	Pohdinta .....	66
	<b>Lähteet .....</b>	<b>68</b>

## Kuviot

Kuvio 1.	Suomen aurinkoenergian tuotantokapasiteetti 2010–2019 .....	9
Kuvio 2.	Auringon säteilyenergian jakauma ilmakehässä.....	10
Kuvio 3.	Suomen vuosittainen säteily määrä optimaalisessa kulmassa tulevalle pinnalle .....	11
Kuvio 4.	Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2020.....	12
Kuvio 5.	Verkkoon kytketty On-Grid aurinkosähköjärjestelmän rakenne .....	13
Kuvio 6.	Pn-liitoksinen aurinkokennon toimintaperiaate.....	15
Kuvio 7.	Aurinkopaneelien hyötysuhteen kehitys vuosina 1993-2021 .....	16
Kuvio 8.	Ohutkalvokenno, yksikidekenno ja monikidekenno .....	17
Kuvio 9.	Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate .....	21
Kuvio 10.	Ilmakeräimen toimintaperiaate .....	22
Kuvio 11.	Nestekeräimen toimintaperiaate.....	23
Kuvio 12.	Tasokeräimen rakenne.....	24
Kuvio 13.	Leikkauskuva U-pipe-keräimestä .....	25
Kuvio 14.	Heat pipe-tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate.....	26
Kuvio 15.	Biotalousinstituutin aurinkopaneelit sekä aurinkokeräimet .....	29

Kuvio 16. Biotalousinstituutin paisunta-astia ja lämminvesivaraaja .....	31
Kuvio 17. Biotalousinstituutin aurinkolämpöjärjestelmän kaaviokuva .....	32
Kuvio 18. Aurinkopaneelien tehot eri vuosina.....	33
Kuvio 19. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 17.4.2018 – 31.12.2018 .....	34
Kuvio 20. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2019 – 31.12.2019 .....	34
Kuvio 21. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.6.2019 – 30.6.2019 .....	35
Kuvio 22. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2020 – 31.12.2020 .....	36
Kuvio 23. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2021 – 30.11.2021 .....	36
Kuvio 24. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ajalta 1.7.2021 – 31.7.2021 .....	38
Kuvio 25. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ajalta 1.9.2021 – 30.9.2021 .....	38
Kuvio 26. Ulkolämpötilan ja säteilyn vaikutus aurinkolämpöjärjestelmän tuottoon .....	39
Kuvio 27. Aurinkoenergiajärjestelmän aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannon vertailu.	40
Kuvio 28. Aurinkopaneelien teoreettiset ja toteutuneet sähköenergiat kuukautta kohden.	42
Kuvio 29. Aurinkokeräimien teoreettiset ja toteutuneet lämpöenergiat kuukautta kohden ....	47
Kuvio 30. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto .....	49
Kuvio 31. Suomen säävyöhykkeet.....	52
Kuvio 32. Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve kuukausittain.....	60
Kuvio 33. Aurinkoenergiajärjestelmän tuotanto verrattuna kasvihuoneen lämmitysenergian tarpeeseen .....	64

## Taulukot

Taulukko 1. Aurinkopaneelien RECOM AG: RCM-250-6PB ja RCM-260-6MB tekniset tiedot....	30
Taulukko 2. Nova 30–58/1800-tyhjiöputkikeräimen tekniset tiedot .....	30
Taulukko 3. Kallistuskulman kerroin säävyöhykkeellä III suuntauksen ollessa etelä .....	43
Taulukko 4. Etelään suunnatun ja 45 ° kallistuskulmassa olevan pinnan auringon säteilyn intensiteetti säävyöhykkeellä III.....	43
Taulukko 5. Keskimääräinen säteilyteho .....	44
Taulukko 6. Kallistuskulman huomioonottava korjauskerroin suuntauksen ollessa etelä.....	45
Taulukko 7. Keräimillä tuotettu energia .....	46
Taulukko 8. Keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin .....	46
Taulukko 9. Keräimen energiantuotto käyttöveden pinta-alaa kohti .....	46
Taulukko 10. Auringon säteilyn kuukausittaisten energiaosuuksien suhde.....	47
Taulukko 11. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot .....	52
Taulukko 12. Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.....	53
Taulukko 13. Jyväskylän säätiedot kuukausittain, säävyöhyke III .....	53

Taulukko 14. Rakenneosien sisä- ja ulkopuolen pintavastukset .....	55
Taulukko 15. Maan ja ulkoilman kuukausittaisten keskilämpötilojen ero .....	56

# 1 Johdanto

Maailman väestönkasvu sekä tekniikan kehittyminen tuovat mukanaan jatkuvasti kasvavan energiantarpeen. Valtioille on asetettu kasvihuonekaasupäästövaatimuksia ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. Keskeisenä tavoitteena on fossiilisten polttoaineiden käytön vähentäminen. Fossiilisten polttoaineiden korvaajaksi tarvitaan puhtaampaa energianlähdettä, uusiutuvaa energiantuotantoa. Uusiutuvat energianlähteet kasvattavat osuuttaan jatkuvasti ja ovat tärkeässä roolissa siirtäessä fossiilivapaaseen energiantuotantoon. Tällä hetkellä kaikista uusiutuvista energianlähteistä nopeinten kasvava sähköntuotantomuoto maailmassa on aurinkosähkö. Aurinkosähkön suuri etu on sen päästöttömyys ja ekologisuus. (Energia-asenteet 2020.)

Aurinkoenergian käytön määrä lisääntyy merkittävästi niin Suomessa kuin maailmalla nopealla vauhdilla. Tekniikan kehittyessä ja aurinkopaneelien ja aurinkokeräinten jatkuvan hinnan laskun myötä aurinkoenergiajärjestelmien investoinnin kannattavuus paranee ja käyttäjämäärät kasvavat. Aurinkoenergiaa hyödyntämällä voidaan saavuttaa päästövähennyksiä ilmastonmuutosta vastaan. Tämä lisää kiinnostusta aurinkoenergiaa kohtaan. Iroresearchin toteutetussa tutkimuksessa Suomen kansalaiset pitävät ilmastonmuutosta globaalina uhkana, minkä hillitseminen on monelle tavoitteena tärkeä. Selvityksen mukaan jopa 89 % suomalaisista haluaa lisätä sähköntuotantoa enemmän aurinkosähkön suuntaan. (Energia-asenteet 2020.)

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi aurinkoenergian perusteet, aurinkopaneeleita ja aurinkokeräimiä sekä aurinkoenergiajärjestelmien rakennetta ja toimintaa yleisesti. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) biotalousinstituutti. Opinnäytetyö lähti tarpeesta kehittää biotalousinstituutin voimassa olevaa aurinkoenergiajärjestelmää niin, että se soveltuu paremmin opiskelun ja viestinnän tarpeisiin. Tavoitteena oli myös tulkita järjestelmästä aikaisemmin saatua dataa. Lisäksi työn tavoitteisiin kuului pienimuotoisen kasvihuoneen suunnittelun toteutus aurinkoenergiajärjestelmästä saadulla energialla.



## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Toimeksiantaja

Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) biotalousinstituutti. JAMKiin kuuluu yli 8500 opiskelijaa sekä henkilöstöä noin 700 ja biotalousinstituutti kuuluu osaksi tätä oppimisympäristöä. Biotalousinstituutti tekee muun muassa tutkimus- ja kehittämistoimintaa ja antaa luonnonvara-alan koulutusta jo yli 150 vuoden ajan Saarijärven Tarvaalan kampuksella. Biotalousinstituutti toimii biotalouskampuksen tiloissa, mikä sijaitsee Keski-Suomessa noin 60 kilometrin päästä Jyväskylästä pohjoiseen Saarijärven kaupungin Tarvaalan kylällä. (Tule mukaan tulevaisuuteen n.d.)

### 2.2 Tavoitteet ja työn rajaus

Opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää visualisoimalla biotalousinstituutin aurinkoenergiajärjestelmästä kertyvää dataa paremmin soveltumaan energiajärjestelmien opiskeluun sekä viestinnällisten tavoitteita varten. Tavoitteena oli myös tulkita aurinkoenergiajärjestelmästä aikaisemmin saatavia tuotantomääriä ja verrata sitä biotalousinstituutin sääasemasta saatavaan dataan. Tarkoituksena oli myös kehittää voimassa olevaa järjestelmää niin, että siihen voidaan opiskelijoiden harjoitustöitä varten yhdistää sähkökuorman mittausta ja energiahallintajärjestelmien simulointia. Tämä toteutettiin suunnittelemalla pienimuotoinen kasvihuone ja siihen lämmityksen tarve. Biotalousinstituutti voi täten tulevaisuudessa käyttää kyseistä kasvihuoneesta tehtyä mitoitus laskelmaa tulevan investoinnin pohjaksi sekä apuna opetustarkoituksiin.

Työn lähtökohtana oli ajatus siitä, että saataisiin jo käytössä olevasta aurinkoenergiajärjestelmästä enemmän hyötyä aikaiseksi. Toimeksiantaja myös halusi, että työn lopputuloksesta sekä teoria osuudesta olisi hyötyä niin JAMKin biotalousinstituutin opiskelijoille harjoitustöiden parissa kuin myös energia- ja ympäristötekniikan opiskelijoille opiskelumateriaalina. Biotalousinstituutin aurinkoenergiajärjestelmän data on julkisesti saatavilla, joten työ hyödyttää myös kaikkia aurinkoenergiajärjestelmistä kiinnostuneita, jotka menevät seuraamaan laitteiston tuotantoa sekä hankkimaan tietoa ja ideoita kyseisestä aiheesta. Lähtökohtana opinnäytetyössä oli saada vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Kuinka hyvin aurinkoenergiajärjestelmä on tuottanut sähkö- ja lämpöenergiaa ensimmäisten käyttövuosien aikana?
- Kuinka käytössä olevaa dataa saadaan visuaalisesti selvempään muotoon?
- Kuinka aurinkoenergiajärjestelmää voidaan kehittää opiskelijoiden harjoitustöitä varten?

Opinnäytetyön aihe oli melko laaja, joten teoreettinen viitekehys rajattiin siten, että se palvelee mahdollisimman hyvin toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmää sekä intressejä. Työssä aurinkoenergiajärjestelmä on keskeisessä osassa, joten teoreettinen viitekehys käsittelee ensisijaisesti aurinkoenergian perusteet, aurinkopaneeleita ja aurinkokeräimiä sekä aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmän rakennetta ja toimintaa. Työstä tarkastelun ulkopuolelle jätettiin aurinkoenergiajärjestelmien hankinnan ja asennuksen suunnittelu ja toteuttaminen sekä niihin liittyvät kustannukset. Työssä ei myöskään laskettu järjestelmien kannattavuuksia tai takaisinmaksuaikoja eikä aurinkoenergiajärjestelmien tekniikoihin keskitytty syvällisesti.

### **2.3 Toteutus ja tutkimusmenetelmät**

Opinnäytetyössä käytettynä tutkimusmateriaalina toimi mahdollisimman ajantasaiset tiedot ja dokumentit pääasiassa internetlähteistä sekä kirjallisuudesta. Tietoa aurinkoenergiasta ja siihen liittyvästä laitteistosta kerättiin aiheen teorioista, raporteista sekä aikaisemmista luotettavista tutkimuksista. Työn laskuissa hyödynnettiin paljon ympäristöministeriön kokoamia ohjeita, sekä biotalousinstituutin aurinkoenergiajärjestelmästä saatua dataa.

Opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus, sillä työssä haettiin vastauksia, miten aurinkoenergiajärjestelmää voidaan kehittää ja hyödyntää paremmin. Kehittämistutkimus on eräänlainen tutkimusstrategia, minkä menetelmävalinnat riippuvat kehitettävästä kohteesta ja tavoitteista. Työn tutkimusote oli monimenetelmäinen, mikä on kehittämistutkimukselle varsin yleistä. Monimenetelmällisessä tutkimusotteessa voidaan käyttää kvalitatiivista ja kvantitatiivista tutkimusmenetelmää yhdessä. (Kananen, J. 2015, 67 ja 73.)

Työn tavoitteet ratkaistiin suurimmaksi osaksi kvantitatiivisella kehittämistyömenetelmällä, sillä tutkimuksen aineisto perustuu numeraalisiin tuotantotietoihin tutkien aurinkoenergiajärjestelmän

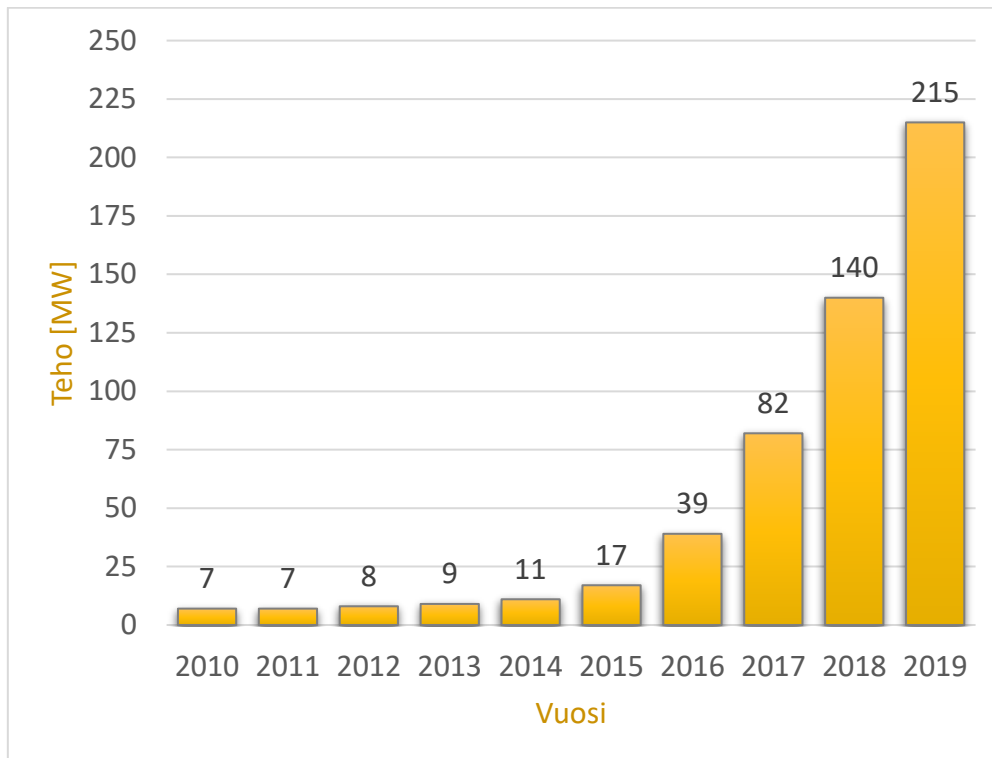
dataa ja siitä saatuja tietoja. Kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimusmenetelmä on teoriapohjaista tutkimusta, mikä kohdistuu käytäntöön. Usein kvantitatiivinen tutkimus on muuttujien mittaamista. Kvantitatiivinen tutkimusmenetelmä vaatii työn tarkkaa tuntemusta siitä, mitkä tekijät vaikuttavat ilmiöön sillä muuten ei saada aikaan tarkkoja kysymyksiä. (Kananen, J. 2015, 202.)

### **3 Auringosta saatava energia**

Aurinko on halkaisijaltaan noin  $1,39 \times 10^6$  kilometrinen kaasupallo tähti, jota Maa kiertää ympäri noin 150 miljoonan kilometrin etäisyydeltä. Aurinko on yli 1,3 miljoonaa kertaa suurempi ja 333 000 kertaa painavampi kuin maa. (Sun Fact Sheet 2018.) Auringon ulkokuori muodostuu pääasiassa vedystä (75 %) ja heliumista (23 %). Aurinkoenergian tuottaminen perustuu säteilyenergian hyödyntämiseen. Auringon säteilyenergia muodostuu kemiallisen fuusioreaktion seurauksena. Siinä kaksi protonia, kaksi neutronia ja kaksi vetyatomia ydintä yhtyy heliumatomin ytimeksi, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. (Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008, 10.)

#### **3.1 Tuotettu aurinkoenergia**

Maailmalla tuotettu aurinkoenergian kapasiteetin määrä vuonna 2019 oli yhteensä 584 842 megawattia (MW). Maanosista Aasiassa tuotetaan selvästi eniten aurinkoenergiaa, josta Kiinan osuus vuonna 2019 ylsi 205 493 megawattiin (MW). Samana vuonna Euroopan aurinkoenergian kapasiteetti oli yhteensä 140 874 megawattia (MW). Saksa on Euroopassa suunnannäyttäjä aurinkoenergia sektorilla. Saksan tuotantokapasiteetti vuonna 2019 oli peräti 49 018 megawattia (MW), kun Suomen tuotanto samana vuonna oli 215 megawattia (MW). (Renewable Energy Statistics 2020.) Kuviossa 1 on esitetty Suomen aurinkoenergian tuotantokapasiteetin kasvu vuosien 2010–2019 aikana.



Kuvio 1. Suomen aurinkoenergian tuotantokapasiteetti 2010–2019 (tiedot saatu Renewable Energy Statistics 2020)

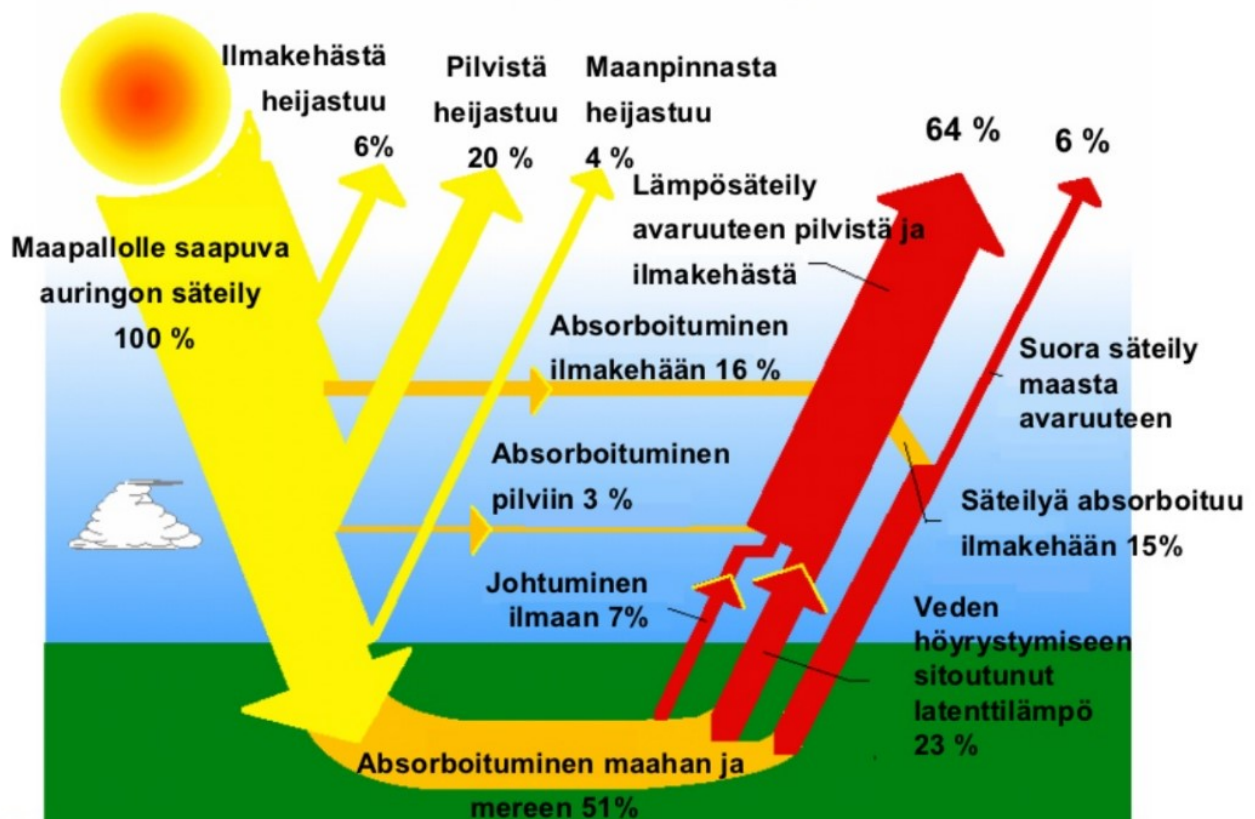
### 3.2 Auringon säteilyenergia

Auringon kokonaissäteilystä maan pinnalle säteilemä teho on valtava, noin 170 000 terawattia. Tätä suurta tehoa ei kuitenkaan pystytä täysin hyödyntämään, sillä säteily määrä pienenee ilmakehän yläosaan ja osa heijastuu suoraan takaisin. (Aurinkoenergiaopas 2013, 3.) Finnwindin sekä Motivan mukaan auringosta saatavan säteilyn teho riippuu muun muassa auringon etäisyysvaihteluista, säteilyn määrästä, vuodenajasta, vuorokaudenajasta, sijainnista ja tulokulmasta sekä sääolosuhteista. (Aurinkoenergiaopas 2013, 3; Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2020.) Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää aurinkopaneelilla ja aurinkokeräimillä. Tällöin saatavaan säteilyenergian tehoon vaikuttaa myös paneelien sekä keräimien ominaisuudet.

Säteilyn tehon määrä, mikä auringosta on saatavilla, kuvataan aurinkovakiolla. Aurinkovakio kertoo auringosta tulevan säteilyn tehoa pinta-alayksikköä kohti. Nimestään huolimatta kyseessä ei ole vakioarvo, vaan se vaihtelee maan ja auringon etäisyysvaihteluiden takia. Aurinkovakion arvo

on ilmakehän ulkorajalla keskimäärin  $1,368 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$ . Säteilyteho maanpinnalla on tätä pienempi joutuksen heijastumisesta sekä maan ilmakehän kaasumolekyyleistä, vesihöyryistä ja epäpuhtauksista, jotka heikentävät auringon säteiden läpäisykykyä maanpinnalle. (Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A., Tahkokorpi, M. & Wiljander, M. 2016, 12–14.)

Auringosta maan pinnalle tulevaa kokonaissäteilyä voidaan jakaa kolmeen säteilytyyppiin: suoraan auringon säteilyyn, haja- diffuusiseen säteilyyn ja ilmakehän vastasäteilyyn. Suora auringon säteily on ilmakehän läpi tulevaa suoraa auringon säteilyä. Hajasäteily on lähinnä pilvien- ja maanpinnan heijastamaa auringon säteilyä. Ilmakehän vastasäteilyksi kutsutaan säteilyä, mikä johtuu siitä, kun ilmakehän sisältämät kasvihuonekaasut kuten hiilidioksidi, vesihöyry ja otsoni säteilevät maanpinnalta nousevaa lämpöä takaisin maanpinnalle. (Erat ym. 2016, 14.) Kuvio 2 havainnollistaa auringon säteilyenergian jakaumaa ilmakehään saapuessa.



Kuvio 2. Auringon säteilyenergian jakauma ilmakehässä (Ilmastonmuutos ja energia 2010, 5)

### 3.3 Auringon säteily Suomessa

Suomessa hajasäteilyn määrän osuus vaakatasoiselle pinnalle on noin puolet auringon kokonaissäteilystä (Erat ym. 2016, 14). Aurinkopaneelien tuotannon kannalta ei ole väliä, onko tuleva säteily suoraa vai hajasäteilyä, koska paneelit pystyvät hyödyntämään molempia hyvin (Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2020). Suomen olosuhteissa auringon säteilyä saadaan hyödynnettyä huomattavasti paremmin kesäkuukausina kuin talvisin, sillä aurinkosähkön tuotanto perustuu saapuvan valon määrään.



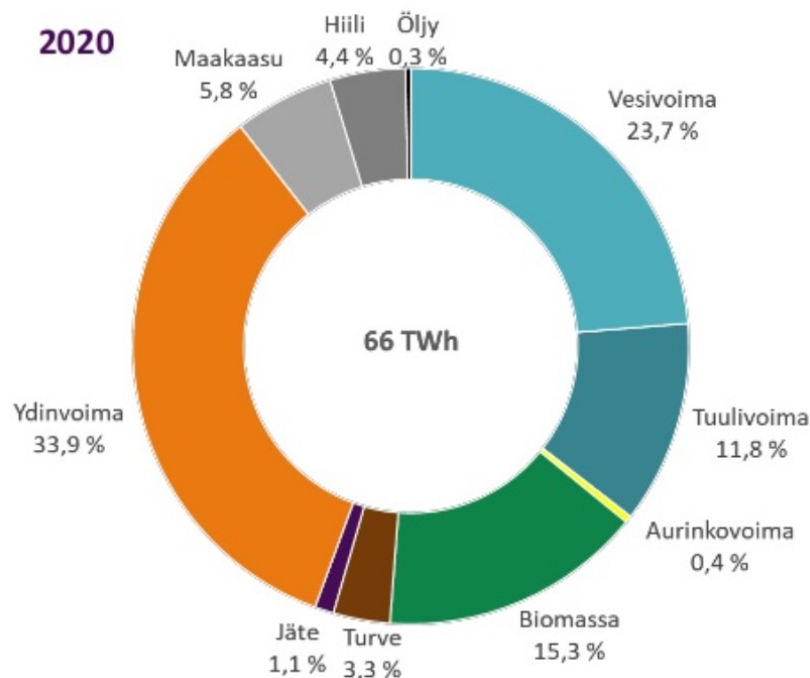
Kuvio 3. Suomen vuosittainen säteily määrä optimaalisessa kulmassa tulevalle pinnalle (Country and regional maps 2019)

Kuvio 3 havainnollistaa Suomen keskimääräisen kokonaissäteilyn määrän optimaalisessa 45° kulmassa olevalle pinnalle vuoden ajalta. Kuvio 3 nähdään, että säteilyn määrä vaihtelee alueittain runsaasti. Suomessa kokonaissäteily on 900–1200  $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$  tienoilla. Potentiaalisin tuotanto voidaan saavuttaa Suomen etelä- ja lounaisosissa. Keski-Suomen alueelle asennetun aurinkopaneelin vastaanottama kokonaissäteilyn määrä vuodessa olisi noin 1050  $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ .

## 4 Aurinkosähkö

### 4.1 Aurinkosähkön osuus

Aurinkosähkö vahvistaa asemaansa vuosi vuodelta ja onkin nopeinten kasvava sähköntuotantomuoto maailmassa. Vuonna 2010 aurinkosähkön kapasiteetti oli yhteensä noin 41,4 GW, vuonna 2019 jo 633,7 GW ja arvioiden mukaan vuonna 2022 aurinkosähkön kapasiteetti olisi yli 1,2 TW. Aurinkosähköjärjestelmien sähkön kapasiteetti oli vuonna 2019 globaalilla tasolla noin 2,6 %. (Global Market Outlook For Solar Power 2020, 7–28.) Suomen aurinkovoiman osuus sähköntuotannossa näkyy kuviosta 4.



Kuvio 4. Suomen sähköntuotanto energialähteittäin 2020 (Energiavuosi 2020 sähkö 2021, 5)

Kuviossa 4 on esitetty Suomen sähköntuotanto energialähteittäin vuonna 2020. Uusiutuvilla energianlähteillä tuotettiin jo yli puolet (51,2 %) sähköntuotannosta. Uusiutuviin energianlähteisiin kaaviokuvassa kuuluvat vesivoima, biomassa, tuulivoima ja aurinkovoima. Aurinkovoiman osuus koko sähköntuotannossa oli 0,4 %. (Energiavuosi 2020 – sähkö 2021, 5.)

Vuonna 2020 Suomen sähkön kulutus oli 81 TWh, josta 66 TWh oli Suomessa tuotettua, 22 TWh oli tuontisähköä ja 7 TWh oli vientisähköä. Tuontisähköä saatiin vuonna 2020 Pohjoismaista noin

18 TWh ja Venäjältä noin 4 TWh. Sähköä vietiin Suomesta Viroon noin 7 TWh. (Energia vuosi 2020 – sähkö 2021, 25.)

## 4.2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmien tehtävänä on varastoida tai siirtää aurinkopaneelien tuottamaa energiaa sekä muuntaa se haluttuun käyttömuotoon. Aurinkosähköjärjestelmällä tarkoitetaan sekä yleiseen sähköverkkoon kytkettäviä on-grid-järjestelmiä että akustolla toimivia verkkoon liittämättöminä off-grid-järjestelmiä. On olemassa myös hybridijärjestelmiä, jotka ovat näiden kahden edellisen yhdistelmiä. (Newkirk 2016.)

On-grid-järjestelmissä ensisijaisesti käytetään järjestelmän omaa tuottamaa aurinkoenergiaa, ja tarpeen vaatiessa siirrytään käyttämään yleistä sähköverkkoa. Verkkoon kytkettyjen järjestelmien etuna on se, että mahdollinen ylijäämä sähkö voidaan myydä sähköverkkoyhtiölle korvausta vastaan. Myöskään sähkön saanti ei katkea, vaikkei järjestelmästä saatava energia riittäisikään kattamaan omaa kulutusta. On-grid-järjestelmällä on aina verkko taustatukena, joten sähkön tuotto katkeaa, mikäli yleisessä sähköverkossa on katko. (Newkirk 2016.)



Kuvio 5. Verkkoon kytketty On-Grid aurinkosähköjärjestelmän rakenne (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2020)

Kuviossa 5 on esitetty yksinkertaistettu rakenne verkkoon kytketystä aurinkosähköjärjestelmästä. On-grid-järjestelmän pääkomponentit ovat aurinkopaneelit, invertteri eli vaihtosuuntaaja, turvakytin ja aurinkopaneelikaapelit. Aurinkopaneelit kytketään invertteriin, jotta aurinkopaneelien tuottama tasavirta saataisiin muutettua vaihtovirraksi, joka vastaa niin jakeluverkon, kuin myös



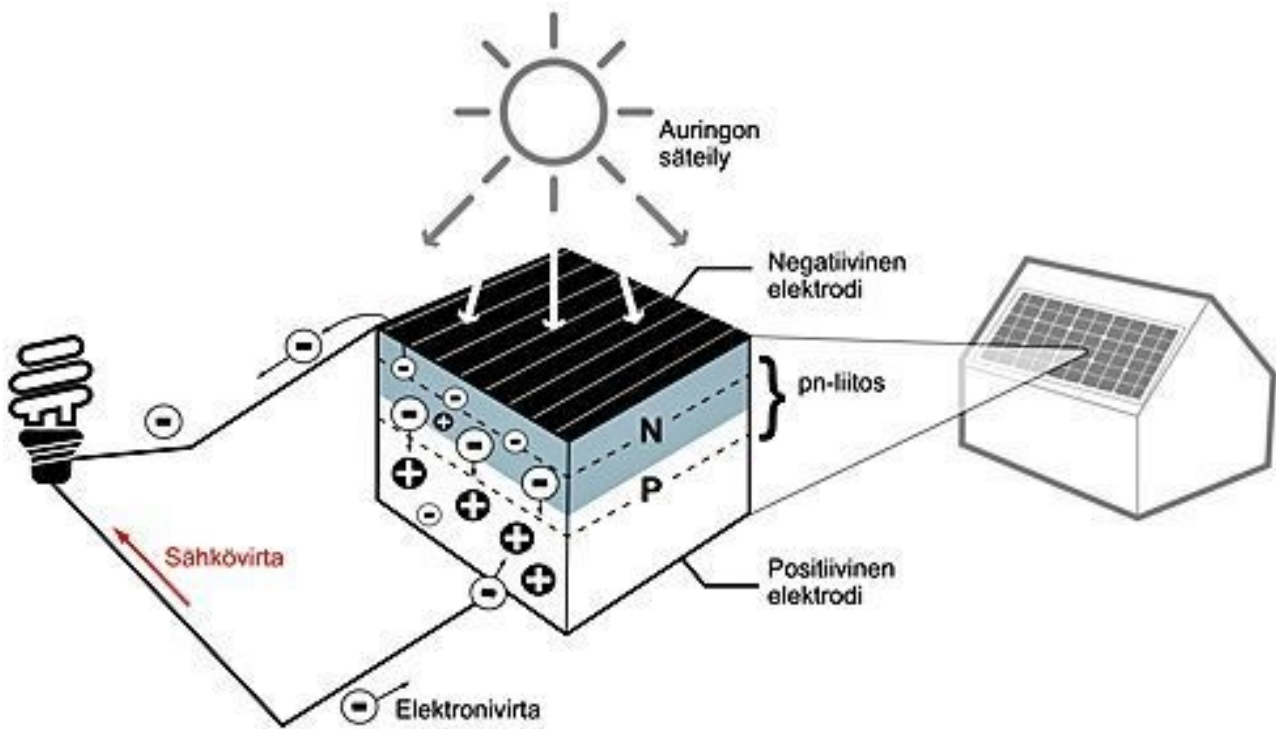
kiinteistön sähköverkon standardeja. Invertteriltä energia kulkee erotuskytkimen kautta sähköpääkeskukseen, josta tuotanto voidaan siirtää joko omaan käyttöön tai myydä eteenpäin sähkömittarin läpi sähköverkkoon. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2020.)

Off-grid-järjestelmät eivät ole yhteydessä sähköverkkoon. Tämän takia järjestelmät tarvittaessa vaativat akuston tai muun varavirtaratkaisun kattamaan ylimääräistä energian tarvetta, mitä ei aurinkopaneeleilla saada tuotettua. Off-grid-järjestelmät ovat yleisiä taajamien ulkopuolella pienille vapaa-ajan asunnoille, joita ei voida joko helposti tai edullisesti liittää osaksi sähköverkkoa. (Newkirk 2016.)

## **5 Aurinkopaneelit**

### **5.1 Aurinkokennojen toimintaperiaate**

Aurinkokenno on komponentti, jota käytetään aurinkosähköjärjestelmässä muuttamaan auringon säteilyn tasasähköksi. Tässä on kyse valosähköisen ilmiön hyödyntämisestä. Valosähköinen ilmiö kuvaa fotonien kykyä irrottaa elektroneja aurinkokennon puolijohdemateriaalista siihen osuessaan. Fotonit ovat auringon sähkömagneettisen säteilyn sisältämiä välittäjähiukkasia. Puolijohdeksi kutsutaan materiaaleja, jotka johtavat sähköä huonommin kuin metallit, mutta paremmin kuin eristeet. Aurinkokennot koostuvat kahdesta erityyppisestä puolijohdemateriaalista valmistetusta p- ja n- kerroksesta. (Aurinkosähköteknologiat 2021.)



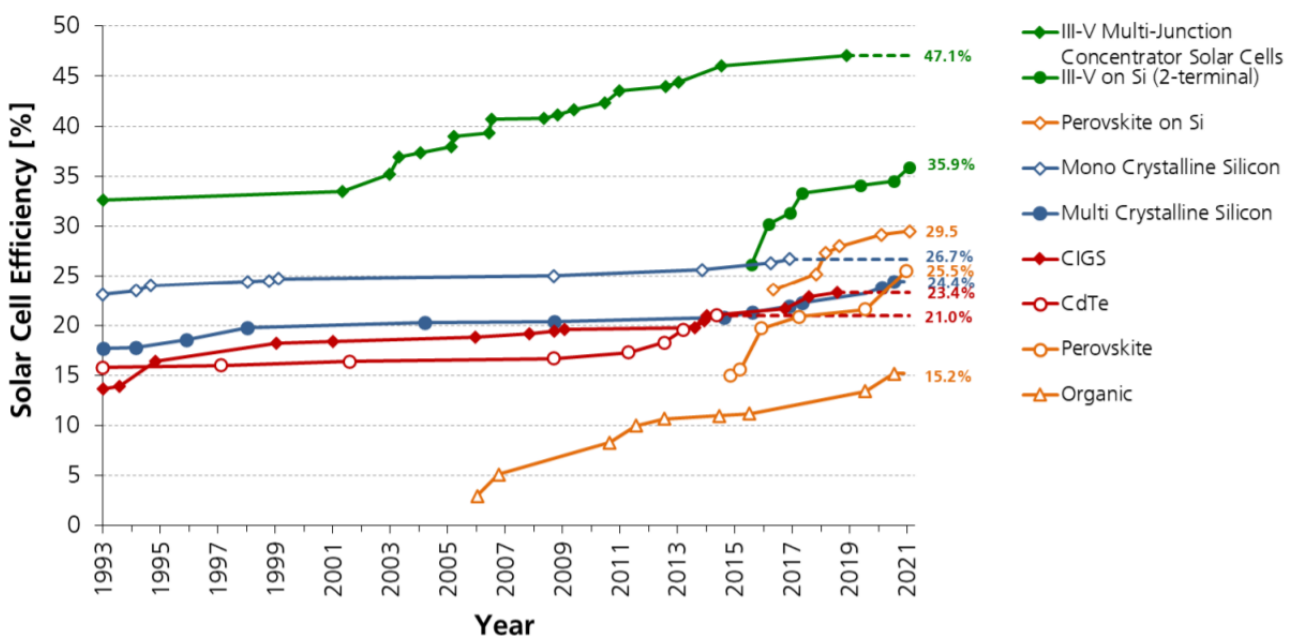
Kuvio 6. Pn-liitoksinen aurinkokennon toimintaperiaate (Aurinkosähköteknologiat 2021)

Kuviossa 6 on esitetty pn-liitokseen perustuvan aurinkokennon toimintaperiaate. P-tyyppin puolijohteessa on elektroniaukkoja, kun taas n-tyyppin puolijohteissa on ylimääräisiä elektroneja. Kun p- ja n-tyyppin puolijohteet sijoitetaan lähekkäin, muodostuu pn-liitos. Liitoksesta johtuen n-puolen jäljelle jääneet elektronit kulkeutuvat p-puolen elektroniaukkoihin synnyttäen n- tyyppille positiivisen varauksen ja p-tyypille negatiivisen varauksen. Näin p- ja n- puolijohde kerrosten välille syntyy sähkökenttä kennon sisälle. Sähköä voidaan siirtää ulkoisen virtapiirin kautta takaisin p-kerrokseen. (Aurinkosähköteknologiat 2021.)

## 5.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelit ovat kokonaisuus, jotka rakentuvat useista rinnan ja sarjaan kytketyistä aurinkokennoista, joilla saavutetaan tarvittava jännite ja virta. Aurinkopaneeliin kuuluu myös alumiinikehys, auringon säteilyä läpäisevä suojalasi sekä kytkentärasia. Sarjaan kytketyn paneeliketjun jännite on aurinkokennojen jännitteiden summa, ja niiden läpi kulkee sama virta. Rinnan kytkettyjen kennojen kokonaisvirta on rinnan kytkettyjen kennojen summa ja aurinkopaneeleiden jännite on sama kuin yhden paneelin jännite. (Auringosta sähköä 2020.)

Olosuhteet vaikuttavat aurinkopaneelien tuottoon ja toimintaan. Tämän takia on luotu standardiolosuhteet (engl. STC tulee sanoista Standard Test Conditions) nimellisteho  $W_p$  (Watt-peak) vertailua varten. Nämä standardiolosuhteet määrittelevät saapuvan säteilyn intensiteetiksi  $1000 \frac{W}{m^2}$ , kun auringon säteily kohtaa paneeliin  $35^\circ$  asteen kulmassa kennon lämpötilan ollessa  $25^\circ C$  astetta. Ulkoisten olosuhteiden lisäksi aurinkopaneelien suorituskyky on riippuvainen monista sisäisistä tekijöistä kuten: paneelin pintalämpötilasta, hyötysuhteesta ja kunnosta. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2021; Aurinkoenergiaopas 2013, 5.) Erilaisten aurinkopaneelien hyötysuhteiden kehitys ja tämänhetkinen tilanne laboratorio-olosuhteissa on havainnollistettu kuviossa 7.

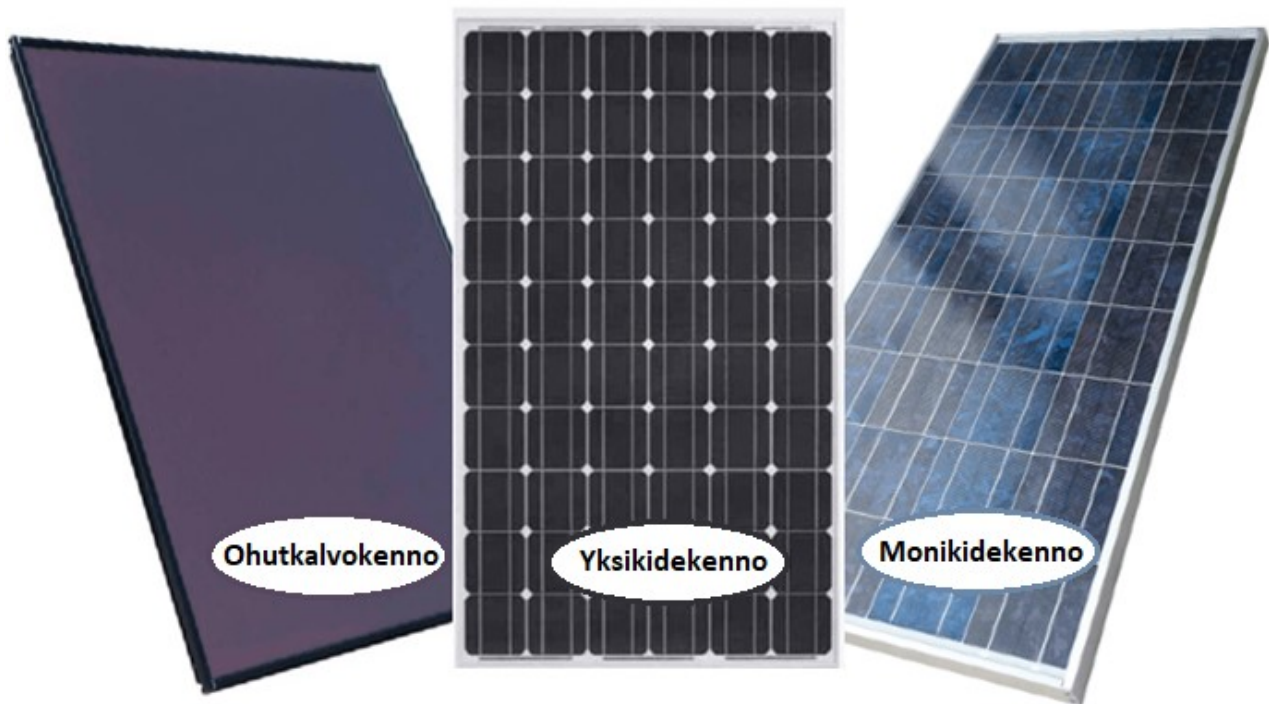


Kuvio 7. Aurinkopaneelien hyötysuhteen kehitys vuosina 1993-2021 (Photovoltaics Report 2021, 27)

### 5.3 Aurinkokennotyypit

Aurinkokennot ovat pääasiallisesti joko yksikidekennoja, monikidekennoja tai ohutkalvokennoja. (Ks. Kuvio 8.) Kennot poikkeavat toisistaan lähinnä valmistustavan, koon, tehon ja hyötysuhteen osalta. Kennojen yleisimmin käytetty valmistusmateriaali on luonnossa esiintyvä pii. Yksikiteinen kenno saadaan yksikiteisestä piistä, joka sahataan kennoiksi ja monikiteinen kenno valmistetaan valamalla. Yksikidekennot pystyvät hyödyntämään auringon säteilyä hieman paremmin kuin monikidekennot. Tämän ansiosta yksikidepaneelin hyötysuhde on hieman parempi kuin monikiteisellä

mallilla, mutta se on kalliimpi valmistaa. Ohutkalvokennot ovat nimensä mukaisesti ohuita. Ohutkalvokennot muodostuvat ohuesta kerroksesta amorfisesta piistä mikä on valoherkkää ainetta. Verrattuna kiteisiin kennoihin ohutkalvokennoilla on huonompi hyötysuhde, mutta ovat halvempia valmistaa. (Aurinkosähköteknologiat 2021; Erat ym. 2008, 124–125.)



Kuvio 8. Ohutkalvokenno, yksikidekenno ja monikidekenno (Newkirk 2014, muokattu)

#### 5.4 Aurinkosähköjärjestelmän muut komponentit

Aurinkopaneelit kytketään kaapelien avulla invertteriin. Invertterin eli vaihtosuuntaajan avulla saadaan muunnettua aurinkopaneelien tuottamaa tasavirtaa vaihtovirraksi, joka vastaa kiinteistön sähköverkon sekä jakeluverkon vaatimuksia. Inverttereitä on olemassa yksi- ja kolmivaiheisia sekä mikroinverttereitä, jotka liitetään järjestelmään paneelikohtaisesti. Yksivaiheinen invertteri kytketään yhteen verkon kolmesta vaiheesta. Saman vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet voivat käyttää tätä kyseistä aurinkosähköä. Yksivaiheisia inverttereitä käytetään vain pienissä, alle kolmen kWp:n järjestelmissä. Kolmivaiheisia inverttereitä käytetään teollisuuskokoluokan aurinkovoimaloissa. Kolmivaiheiset invertterit palvelevat verkon kaikkia kolmea vaihetta. (Erat ym. 2016, 144–147.)

Kaapelit tulee mitoittaa aurinkosähköjärjestelmässä sopimaan oikeaan virtaan ja kokoluokkaan. Oikeantyyppisellä kaapelilla saadaan minimoitua jännitehäviöitä. Aurinkosähköjärjestelmän kaapelien tulee kestää ulkoisia rasituksia, kuten: tuulta, sadetta, lunta, jäätä sekä auringon säteilyä ja korkeaa lämpötilaa. Vaurioituneet kaapelit saattavat aiheuttaa jopa sähköiskun tai tulipalon. (Aurinkosähköjärjestelmät n.d.)

Aurinkosähköjärjestelmässä tulee olla manuaalinen ja lukittava turvakytkin, jolla tarvittaessa saadaan sähköntuotanto sammutettua. Turvakytkimen tehtävänä on erottaa invertteri sähköverkosta. Usein turvakytkin on integroitu joko suoraan invertteriin tai se sijaitsee invertterin ja pääkeskuksen välissä. Turvakytkin tulee asentaa paikkaan, jonne on helppo ja nopea pääsy. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2020.)

Omavaraisessa verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä aurinkopaneelien tuottamaa energiaa voidaan varastoida akkuihin, jotta saadaan sähköä myös silloin, kun sähköntuotanto ja kulutus eivät kohta. Aurinkosähköjärjestelmissä yleisesti käytetyin akku on lyijyakku. Lyijyakkujen ominaisuuksiin kuuluu pitkä elinikä, alhainen itsepurkaus, hyvä hyötysuhde sekä huoltovapaus. (Erat ym. 2016, 142, 154–155.)

Lataussäädintä tarvitaan vain off-grid järjestelmissä mihin on kytketty akku. Lataussäädin asennetaan aurinkopaneelien ja akuston väliin. Sen tehtävänä on säätää järjestelmän sähköä lataamalla akkua, johon varastoidaan sähköä myöhempää käyttöä varten. Lataussäätimen tehtävänä on myös suojata akkua rajoittamalla latausvirtaa ylilatautumiselta, sekä irrottaa kuorma akun tyhjentyessä ylipurkauksien varalta. Lataussäädin myös estää virran pääsyn takaisin aurinkopaneeliin. (Erat ym. 2016, 147–148.)

## 5.5 Asentaminen

Sijainti, kallistuskulma ja suuntaus vaikuttaa aurinkoenergiälaitteiden energiantuotantoon merkittävästi. Paneelit ja keräimet tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan mieluiten niin, jotta koko keräinlaite saisi tasaisesti sekä esteettömästi säteilyä koko päivän, jottei energiantuotanto kärsisi. Aurinkoenergiajärjestelmien optimaalinen suuntaus on etelä, ellei edessä ole varjostuksia. Suun-

taus vaikuttaa myös siihen, mihin aikaan vuorokaudesta tuottoa tulee. Järjestelmän kuormitushuipun ollessa aamu, optimaalinen suuntaus on kohti itää. Länteen suunnattu järjestelmä on parempi tilanteessa, kun huippukuormitus on illalla. (Erat ym. 2016, 17–18.)

Paras teho aurinkoenergiälaitteesta saadaan, kun säteily tulee siihen kohtisuoraan. Suomen leveysasteilla laitteet antavat parhaan tehon vuositasona niiden ollessa noin 45 ° asteen kallistuskulmissa. 15 ° asteen poikkeama optimaalisesta kallistuskulmasta on arvioitu vähentävän tuotantoa noin 5 % verran. Optimaalinen kallistuskulma riippuu myös käyttökohteesta sekä tuoton ajoituksesta. Talven tuotannolle optimaalisempi olisi lähes pystysuora kallistuskulma ja kesälle riittää loivempi kulma. (Erat ym. 2016, 18.)

## 5.6 Aurinkopaneelin hyötysuhde

Aurinkopaneelin hyötysuhde on sähkövirran määrä, mikä saadaan hyödynnettyä auringon säteilyä. Hyötysuhde pystytään laskemaan nimellistehon, paneelin pinta-alan ja auringosta saatavan standardin mukaisen  $1000 \frac{W}{m^2}$  säteilytehon avulla (Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2021). Aurinkopaneelin hyötysuhde saadaan laskettua kaavalla 1.

$$\eta = \frac{P}{A * 1000 \frac{W}{m^2}} \quad (1)$$

missä  $P$  = aurinkopaneelin nimellisteho [W]

$A$  = aurinkopaneelin pinta-ala [ $m^2$ ]

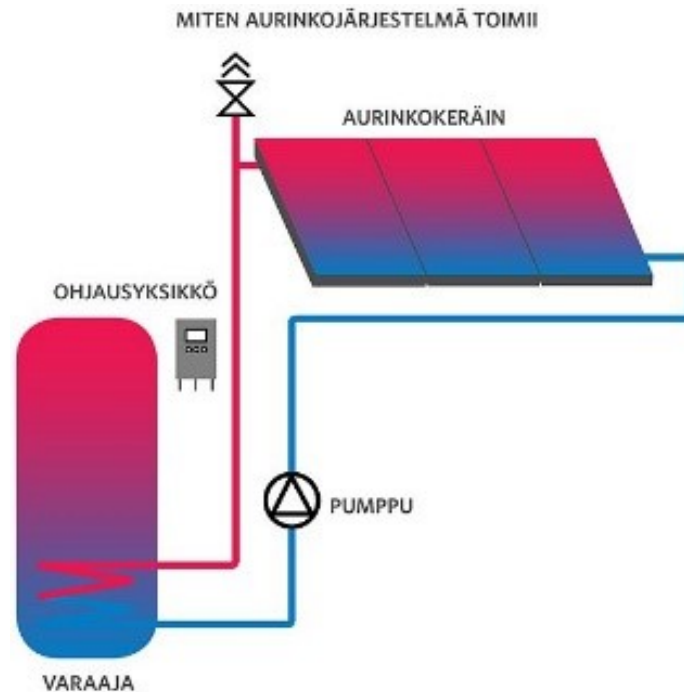
$1000 \frac{W}{m^2}$  = auringosta saatava säteilyn intensiteetti standarditestiolosuhteissa.

## 6 Aurinkolämpö

### 6.1 Aurinkolämmön hyödyntäminen

Aurinkolämmön hyödyntäminen voidaan jakaa kahteen ryhmään, joko aktiiviseen tai passiiviseen. Passiivisella aurinkolämmön hyödyntämisellä tarkoitetaan sitä, kun auringon säteilyenergiaa hyödynnetään ilman erillistä keräinlaitteistoa. Esimerkiksi rakennus voi käyttää passiivisesti aurinkoenergiaa keräämällä aurinkoenergiaa ja lämpöä varastoimalla sitä rakenteisiinsa. (Erat ym. 2016, 55–56.)

Aktiivisessa aurinkolämmössä käytetään erillisiä lisälaitteita, joilla saadaan hyödynnettyä aurinkoenergiaa tehokkaammin. Aurinkolämpöjärjestelmä koostuu yleensä muun muassa lämmön keruulaitteistosta, lämpövarastosta ja lämmön siirtoputkistosta. Lämpövarastoa käytetään aurinkolämpöjärjestelmissä, jotta voidaan hyödyntää auringosta tulevaa lämpöenergiaa haluttuun kohteeseen myös silloin, kun aurinko ei paista. (Erat ym. 2016, 78; Aurinkolämpöjärjestelmät 2020.) Maailmanlaajuisesti vuonna 2020 aurinkolämpöjärjestelmien energiantuotto vastasi yhteensä 43,8 miljoonan tonnin öljysäästöjä sekä 141,3 miljoonan tonnin hiilidioksidisäästöjä. Tämä osoittaa aurinkolämpöjärjestelmien tärkeyttä kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. (Solar Heat Worldwide 2021, 8.)



Kuvio 9. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Aurinkolämpöjärjestelmät 2020)

Kuviossa 9 on esitetty yksinkertainen aurinkolämpöjärjestelmä. Aurinkokeräin vastaanottaa auringon säteilyenergiaa ja sitoo sen keräimessä olevaan lämmönsiirtoaineeseen lämmöksi. Putkistoa pitkin lämpö siirretään lämmönsiirtoaineen sekä pumpun avulla lämpövaraajaan, jossa se luovuttaa lämpönsä veteen. Varaajasta lämpöä voidaan siirtää tarpeen mukaan kulutukseen. Jäähdytynyt vesi kierrätetään pumpun avulla takaisin aurinkokeräimelle.

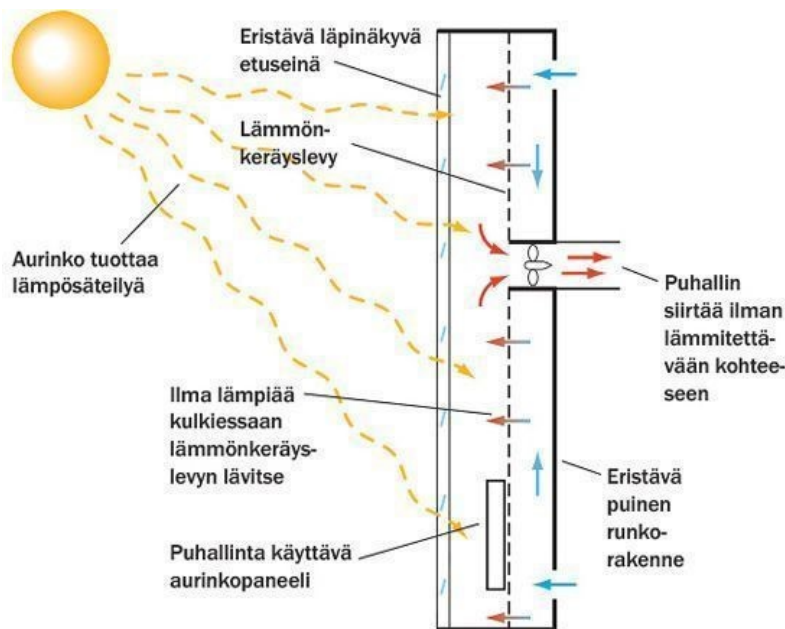
## 6.2 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimet ovat aurinkolämpöjärjestelmän tärkein komponentti. Aurinkokeräimien tarkoitus on kerätä tai vastaanottaa sekä muuttaa saatu auringon säteilyenergia lämmöksi. Saatu lämpö siirretään lämmönsiirtoaineen välityksellä lämpövaraajaan tai otetaan suoraan käyttöön. Aurinkokeräimissä käytetään lämmönsiirtoaineena joko ilmaa tai nestettä, minkä avulla lämpö siirretään käyttökohteisiin tai lämpövaraajaan. (Erat ym. 2016, 78–80.)



### 6.2.1 Ilmakeräin

Ilmakeräin on lämmönsiirrin, joka käyttää ilmaa lämmönsiirtoaineena. Ilmakiertoisia aurinkokeräimiä on sekä katettuja että kattamattomia. Konvektiohäviöitä voidaan ilmakeräinlaitteessa pienentää puhaltimien avulla. Verrattuna nesteeseen ilman lämmönsiirtokyky ja lämmön vastaanotto-kyky on huomattavasti heikompi. Siirrettäessä ilman avulla sama lämpömäärä kuin vedellä, tarvitaan noin 4000 kertaa suurempi tilavuusvirta. Tämä edellyttää ilmakeräimelle suurempia kanavakokoja. Ilman hyödyt lämmönsiirtoaineena verrattuna nesteeseen on muun muassa pienemmät mahdolliset vahingot, nopeampi lämpeneminen, ilma ei jäädy eikä myöskään aiheuta korrosio-ongelmia. (Erat ym. 2016, 88–90; Ilmakeräimet 2020.)



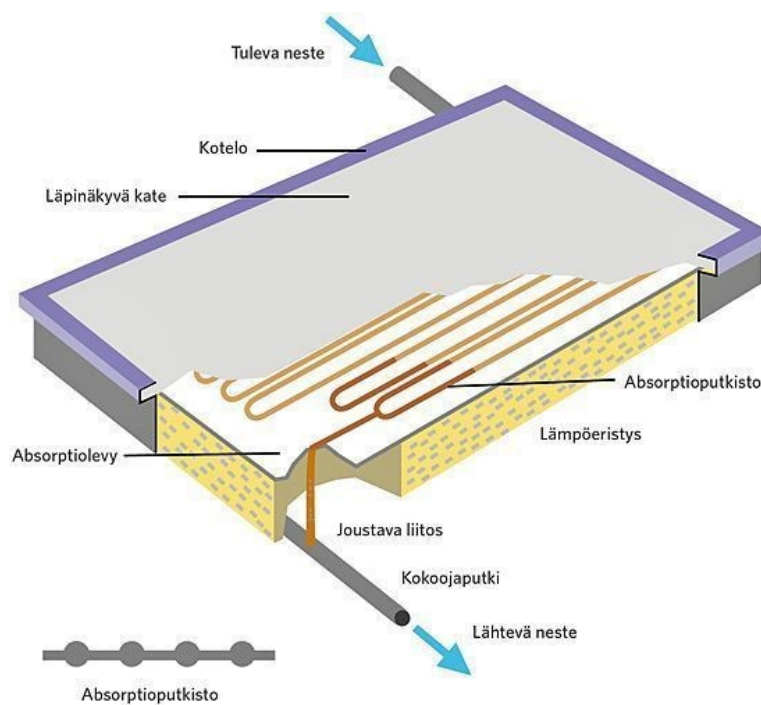
Kuvio 10. Ilmakeräimen toimintaperiaate (Ilmakeräimet 2020)

Kuvio 10 havainnollistaa puhaltimella toimivaa ilmakeräintä. Keräin koostuu rungosta ja läpinäkyvästä etuseinästä, jonka sisällä on lämmönkeräinelementit sekä puhallin. Lämmönkeräyslevy luovuttaa alla virtaavaan ilmaan lämpöenergiansa. Puhallin tehostaa ilman imua keräimen läpi vähentäen konvektiohäviöitä.

## 6.2.2 Nestekiertoinen aurinkokeräin

Nestekiertoiset aurinkokeräimet voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, jotka ovat tasokeräimet sekä tyhjiöputkikeräimet. Nestekiertoisissa aurinkokeräimissä auringonsäteistä tuleva lämpö siirtyy absorptioelementistä nesteeseen, joka siirtää lämpöenergiaa suoraan käyttöön tai lämpövaraajaan. Nestekeräimissä vesi on yleisin lämmönsiirtoneste olosuhteissa, joissa ei ole jäätymisvaaraa, sillä vedellä on parhaat lämmönsiirto-ominaisuudet. Ympärivuotisissa järjestelmissä veteen sekoitetaan jäätymisen ehkäisemiseksi jäänestoaineita kuten propyleeniglykolia, mikä alentaa jäätympistettä. (Erat ym. 2016, 80, 87; Nestekiertoiset keräimet 2020.)

Nestekiertoisen keräimen etuna verrattuna ilmakeräimiin on lämmön helpompi siirto, korkeampi lämpökapasiteetti, parempi soveltuvuus lämpimän käyttöveden ja uima-altaiden lämmittämiseen sekä järjestelmän parempi säädettävyys. (Erat ym. 2016, 88,90.)

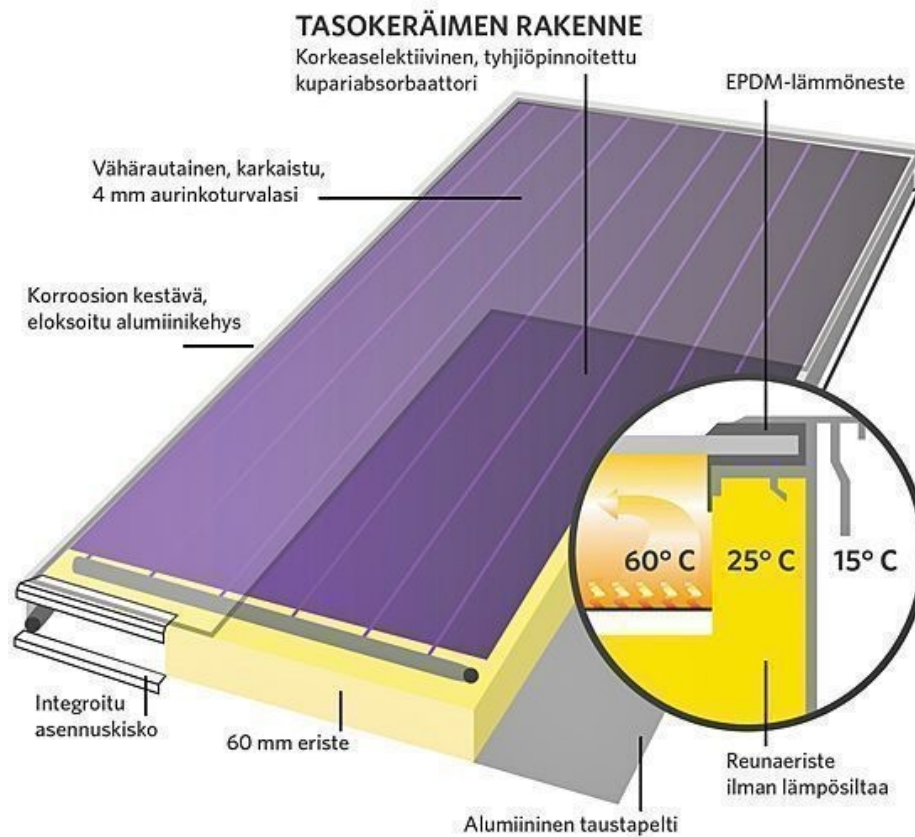


Kuvio 11. Nestekeräimen toimintaperiaate (Nestekiertoiset keräimet 2020)

Kuviossa 11 näkyy nestekiertoisen aurinkokeräimen rakenne ja osat. Keräimeen tuleva neste lämpenee keräimessä olevista absorptioputkistoista. Absorptioputkistot taas saavat lämpönsä tumman absorptiolevyn avulla, joka saa lämpöenergiänsä auringon säteilystä. Keräimessä lämmennyt lähtevä neste siirtää lämpönsä suoraan käyttöön tai lämpövaraajaan.

### 6.2.3 Tasokeräin

Tasokeräimissä säteilyä kerätään tumman keräinelementin avulla, joka absorboi eli imee säteilyä lämmittäen samalla keräimen putkiston sisällä olevaa lämmönsiirtonestettä. Tasokeräin varustetaan yleensä kateella, mutta myös kattamattomia malleja on markkinoilla. Kate on läpinäkyvä va-  
loa läpäisevä pinta, joka pienentää lämpöhäviöitä suojaamalla absorboivan keräinlevyn lämpöhäviöitä. Kattamattomia keräimiä hyödynnetään vain, kun on tarve tuottaa alhaista lämpöenergiaa, kuten uima-altaiden lämmitystä varten. (Erat ym. 2016, 84.) Nestekiertoisen tasokeräimen pääosat ovat: kotelo, kate, absorbaattori, lämmöneriste ja lämmönsiirtoputkisto. Tasokeräimen rakenne on esitetty kuviossa 12.



Kuvio 12. Tasokeräimen rakenne (Tasokeräimet 2020)

### 6.2.4 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräimet koostuvat useista lasiputkista, joiden sisällä lämmönsiirtoaine sijaitsee. Lasi-  
putken sisältä ilma on poistettu lähes kokonaan. Tällöin saadaan hyvä lämmöneristys, eikä saatu

lämpö karkaa takaisin ympäristöön. Tyhjiön ansiosta tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde säilyy parempana korkeissa toimintalämpötiloissa. Kylminä vuodenaikoina myös lämmöntuotto voi olla parempi kuin tasokeräimellä. Rakenteeltaan tyhjiöputkikeräimen ero verrattuna tasokeräimeen on sen absorboiva pinta, joka on putkimaisessa muodossa eikä suorana levynä kerroksen alla. (Erat ym. 2016, 84, 95; Tyhjiöputkikeräimet 2020.)

Myös tyhjiöputket voidaan vielä jakaa kahteen ryhmään. Nämä ovat U-pipe (U-putkimalli) ja heat-pipe (lämpöputkimalli) -tyhjiöputkikeräimet. U-pipe-tyhjiöputkessa lämmönsiirto tapahtuu läpivirtausperiaatteella ja heat-pipe-tyhjiöputkessa lämpöputken avulla. (Erat ym. 2016, 82, 95.)

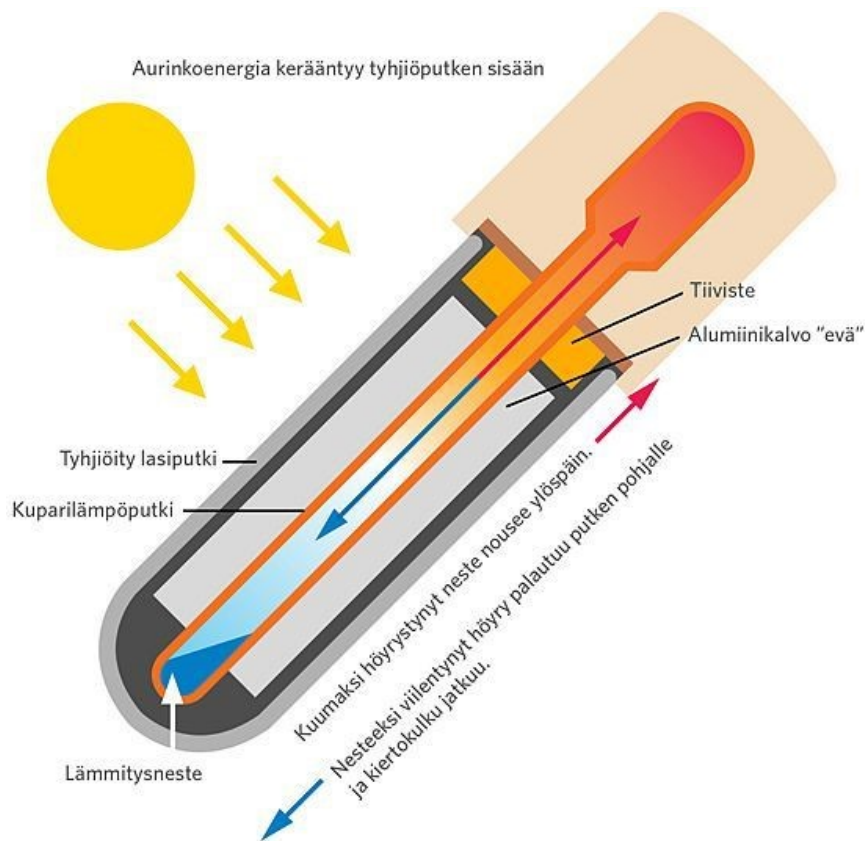


Kuvio 13. Leikkauskuva U-pipe-keräimestä (Viessmann 2009)

Kuvio 13 esittää leikkauskuva U-pipe-keräimestä. U-pipe-tyhjiöputkikeräimessä lämmönsiirtoneste kiertää U-muotoisessa putkessa, minkä alla on musta absorboiva pinta. Sama lämmönsiirtoneste kiertää yläpalkissa sekä kaikissa tyhjiöputkissa. (Erat ym. 2016, 82.)

Heat-pipe-tyhjiöputkikeräimessä oleva helposti höyrystyvä neste höyrystyy auringon säteilyenergiasta ja nousee lämpöputken yläosaan. Yläosassa on lämmönvaihdin, missä neste kondensoituu ja luovuttaa lämpöenergiaa lämmönsiirtimeen. Lämmönvaihtimella höyrystynyt neste lauhtuu ja palaa takaisin lämpöputken pohjalle kondensoiduttua takaisin nestemäiseen olomuotoon. Heat-pipe-tyhjiöputkikeräimessä on erillinen suljettu heat-pipe-lämpöputki. Lämmönsiirtonesteitä on siis

kaksi erillistä, eivätkä ne sekoitu keskenään. (Ks. Kuvio 14.) (Erat ym. 2016, 82, 96–97; Tyhjiöputkikeräimet 2020.)



Kuvio 14. Heat pipe-tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate (Tyhjiöputkikeräimet 2020)

### 6.3 Aurinkolämpöjärjestelmän muut komponentit

Putkiston sisällä virtaavan lämmönsiirtonesteen avulla lämpöä siirretään aurinkokeräimistä energiavaraajaan tai käyttöön. Putkiston lämpöhäviöiden takia putket usein eristetään ja tehdään mahdollisimman lähelle kulutusta. Eristemateriaalina käytetään lämpöä kestäviä materiaaleja, kuten mineraalivillaa. Putkiston materiaalina käytetään pääsääntöisesti kuparia sekä ruostumatonta terästä, sillä muoviputki ei kestäisi korkeita lämpötiloja. (Erat ym. 2016, 87, 116.)

Energiavaraaja on aurinkolämpöjärjestelmissä yleisin lämpöenergian varastointi ratkaisu. Varaajaan siirretään lämpöenergiaa, mikä varastoituu varaajan veteen. Varaaja valitaan yleisesti aurinkokeräinten pinta-alan perusteella, ellei järjestelmään kuulu muita komponentteja, jotka edellyttävät suurempaa tilavuutta. (Erat ym. 2016, 93, 117.)

Lämmönsiirtimen kautta varaajan lämmönsiirtoneste luovuttaa lämpönsä veteen. Varaajaan sijoitettua kompaktiputkikierukkaa tai ulkoista levylämmönsiirrintä käytetään yleensä lämmönsiirtimenä. (Erat ym. 2016, 117.)

Aurinkolämpöjärjestelmän nestepiirin toimintaa säätää pumppuyksikkö. Pumppuyksikön tehtävänä on kierrättää lämmönsiirtonestettä keräinten ja varaajan lämmönsiirtimien välillä. Pumppu käynnistyy aurinkokeräimen lämpötilan ylittäessä varaajan alaosassa olevan nesteen lämpötilan. (Erat ym. 2016, 116.)

Ohjausyksikkö ohjaa aurinkolämpöjärjestelmää automaattisesti. Ohjausyksikkö seuraa järjestelmän keräimen ja varaajan lämpötiloja ainakin kahden anturin avulla. Näin se saa ajoitettua keräinpiirin pumpun käynnistykseen ja pysäytyksen. Ohjausyksikössä voi olla useita hälytys- ja laskuritoimintoja. Tehtävänä on myös suojella varaajaa ylikuumentumiselta pysäyttämällä kiertopumpun tarvittaessa. (Erat ym. 2016, 116.)

Keräinpiirin putkistoon kuuluu paisunta-astia. Paisunta-astia asennetaan paluulinjaan varaajasta keräimeen. Sen tehtävä on pitää putkiston paine tasaisena. Paisunta-astian tulee kestää järjestelmän ylikuumentumistilanteessa mahdollisen höyryn lämpötila. (Erat ym. 2016, 116.)

Aurinkolämpöjärjestelmässä on myös monia erilaisia venttiilejä, kuten takaiskuventtiili ja varoventtiili. Takaiskuventtiili estää varaajaa jäähtymiseltä päästämättä aurinkokeräimen nesteen kulkemista väärään suuntaan, kun pumppu ei käy. Varoventtiili on venttiili, joka estää paineen nousun. Varoventtiili asennetaan aina varaajaan. (Erat ym. 2016, 116–117.)

## 6.4 Aurinkokeräimen hyötysuhde

Auringon säteilystä voidaan hyödyntää vain osa lämmöksi aurinkokeräimien avulla. Keräimien lisäksi järjestelmän sisäiset sekä ulkoiset tekijät vaikuttavat saatavaan aurinkoenergian määrään. (Erat ym. 2016, 93.) Kuten aurinkopaneeleilla, myös aurinkokeräimen suuntaus ja kaltevuus sekä ulkolämpötila, tuulisuus, varjot, vuodenaika ja kellonaika vaikuttaa merkittävästi järjestelmästä saatavaan hyötysuhteeseen. Muita aurinkolämmön hyötysuhteeseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa:

- Aurinkokeräimen tarvittava energiamäärä, käyttölämpötila, lämmöneristys, tiiviys ja kateen ominaisuudet.
- Lämmönsiirtoaineen sekä aineiden ominaisuudet kuten absorptio- ja lämmönsiirtokyky.
- Varaajan lämpötila ja etäisyys keräimistä sekä lämmönsiirtoputkiston lämmöneristys.

Aurinkolämpöjärjestelmän hyötysuhde on pienempi kuin keräimen hyötysuhde, johtuen muun muassa energiavaraajan kapasiteetista. Aurinkokeräimen hyötysuhde saadaan laskettua kaavalla

2. Mikäli kaikkia suunnitteluarvoja ei ole saatavilla, voidaan hyötysuhteen olettaa olevan 60 %.

(Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 50–51.)

$$\eta = \frac{Q}{k * q * A} \quad (2)$$

missä  $Q$  = aurinkokeräimellä tuotettu energia käyttöveteen  $\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{a}} \right]$

$k$  = aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin

$q$  = aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-alaa kohti  $\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 * \text{a}} \right]$

$A$  = aurinkokeräimen pinta-ala  $[\text{m}^2]$

## 7 Toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmä

### 7.1 Järjestelmän pääkomponentit

Toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmä on hankittu biotalousinstituutin kampukselle vuonna 2017 erilaisia tutkimuksia varten. Nykyään järjestelmää hyödynnetään monipuolisesti myös opiskelun ja viestinnän tarpeisiin. Biotalousinstituutissa aurinkoenergiaa kerätään energiavaraajaan käyttäen aurinkokeräimiä sekä aurinkopaneeleita, vaikkei aurinkopaneeleiden kytkeminen varaajaan ole hyötysuhteen kannalta kannattavaa.



Kuvio 15. Biotalousinstituutin aurinkopaneelit sekä aurinkokeräimet

Kuviossa 15 näkyy biotalousinstituutin aurinkopaneelit ja aurinkokeräimet asennettuna siirrettävään kuljetusalustaan  $45^\circ$  asteen kulmassa kohti etelää. Järjestelmässä on neljä kappaletta RECOM AG: RCM-250-6PB yksikide aurinkopaneeleita, kaksi kappaletta RECOM AG: RCM-260-6MB monikide aurinkopaneeleita ja neljä kappaletta Nova 30–58/1800 heat-pipe-tyhjiöputkikeräimiä. Järjestelmän aurinkopaneelien tekniset tiedot on esitetty taulukossa 1 ja aurinkokeräimien tekniset tiedot taulukossa 2.



Taulukko 1. Aurinkopaneelien RECOM AG: RCM-250-6PB ja RCM-260-6MB tekniset tiedot  
(Installation and safety instructions IEC version 2013, muokattu)

Mallinimi	RCM-250-6PB	RCM-260-6MB
Kennon tyyppi	Yksikidekenno	Monikidekenno
Kennojen määrä	60	60
Järjestelmän maksimiteho	250 W	260 W
Tehon toleranssi	0+5W	0+5W
Avoimen piirin jännite (STC)	37,1 V	36 V
Oikosulkuvirta (STC)	8,92 A	9,52 A
Maksimitehon nimellisjännite (STC)	30,2 V	30 V
Nimellisvirta maksimiteholla (STC)	8,35 A	8,66 A
Järjestelmän maksimi jännite	1000 V	1000 V
Pituus	1640 mm	1640 mm
Leveys	992 mm	992 mm
Korkeus	40 mm	40 mm
Paino	19 kg	19 kg
Paneelin lämpötilan standardisoiduissa olosuhteissa	45±2 °C	45±2 °C

Taulukko 2. Nova 30–58/1800-tyhjiöputkikeräimen tekniset tiedot (Nova aurinkokeräimet 2015)

NOVA 30-58/1800	
Järjestelmä	Heatpipe, tyhjiöputki
Aktiivinen keräysala (m <sup>2</sup> )	4,40
Putkia	30
Putken ulkohalkaisija (mm)	58
Putken sisähalkaisija (mm)	47
Putken pituus (mm)	1800
Keräimen mitat, ilman liittimiä (KxLxP, mm)	2002x2320x135
Putken/tason materiaali	vähärautainen borosilikaattilasi
Putken/tason lasin vahvuus (mm)	1,7
Tyhjiö	< 3x0,001 Pa
Absorptiokalvot	AIN/AIN-SS/Cu
Aktiivinen absorptiopinta-ala (m <sup>2</sup> )	2,54
Heijastuma	e<5%
Virtaus (l/min)	1,90
Kehikko	Alumiini ja ruostumaton teräs
Paino (kg)	85
Stagnaatiolämpötila	+239°C
Käyttöpaine, max	6 bar

Toimeksiantajalle järjestelmän energiavaraajan päätarkoituksena on saada mitattua energiaa, mitä aurinkopaneeleista ja -keräimistä kertyy. Mitattua dataa voidaan hyödyntää muun muassa erilaisia

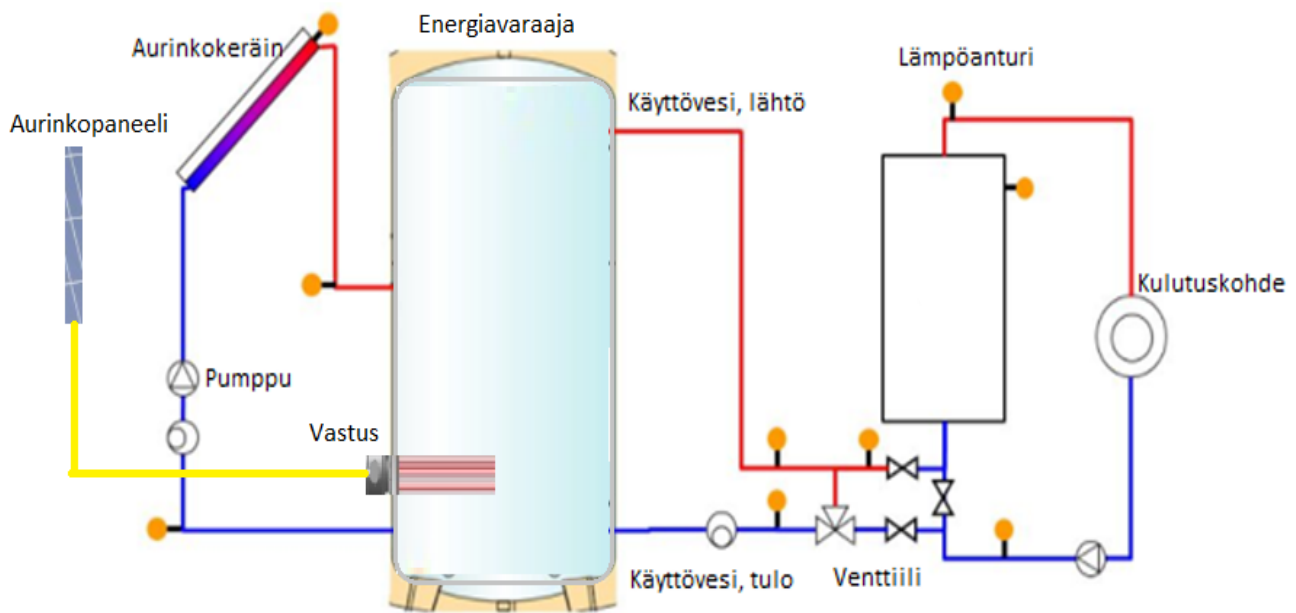
tutkimuksia ja harjoituksia varten. Varaajaa voidaan hyödyntää myös eri lämmitystarkoituksiin. Aikaisemmin varaajaa on hyödynnetty kampuksen käyttöveden lämmitykseen. Järjestelmän varaajana toimii tilavuudeltaan 2000-litrainen Akva Solar 2000-varaaja. Varaajan sisällä on kaksi käyttövesikierukkaa LK35 ja yksi käyttöveden esilämmityskierukka LK45. Järjestelmän paisunta-astia ja energiavaraaja näkyy kuviossa 16.



Kuvio 16. Biotalousinstituutin paisunta-astia ja lämminvesivaraaja

## 7.2 Kohteen aurinkoenergiajärjestelmän rakenne

Toimeksiantajan aurinkoenergiajärjestelmän rakenne on kuvion 17 kaaviokuvan tapainen, mutta kaikkia yksityiskohtia ei ole voitu varmentaa. Siinä neljä heat-pipe-tyyppistä tyhjiöputkikeräintä luovuttaa auringosta hyödynnetyn lämpöenergian varaajalle. Samoin järjestelmän kuusi aurinkopaneelia luovuttaa kerätyn aurinkosähkön virran johtoja pitkin vastusten kautta lämpöenergiana varaajaan. Varaajan sisällä vesitilassa on kaksi käyttövesikierukkaa, sekä yksi käyttöveden esilämmityskierukka. Kierukat ovat kampakupariputkesta tehtyjä putkistoja, joiden kautta aurinkokeräimestä lämmennyt vesi kiertää ja lämmittää varaajan lämmintä käyttövettä. Lämmintä käyttövettä voidaan tarvittaessa siirtää kulutuskohteisiin, mistä vesi palaa viilentyneenä takaisin varaajaan.



Kuvio 17. Biotalousinstituutin aurinkolämpöjärjestelmän kaaviokuva (The portal for your solar and heating system 2021, muokattu)

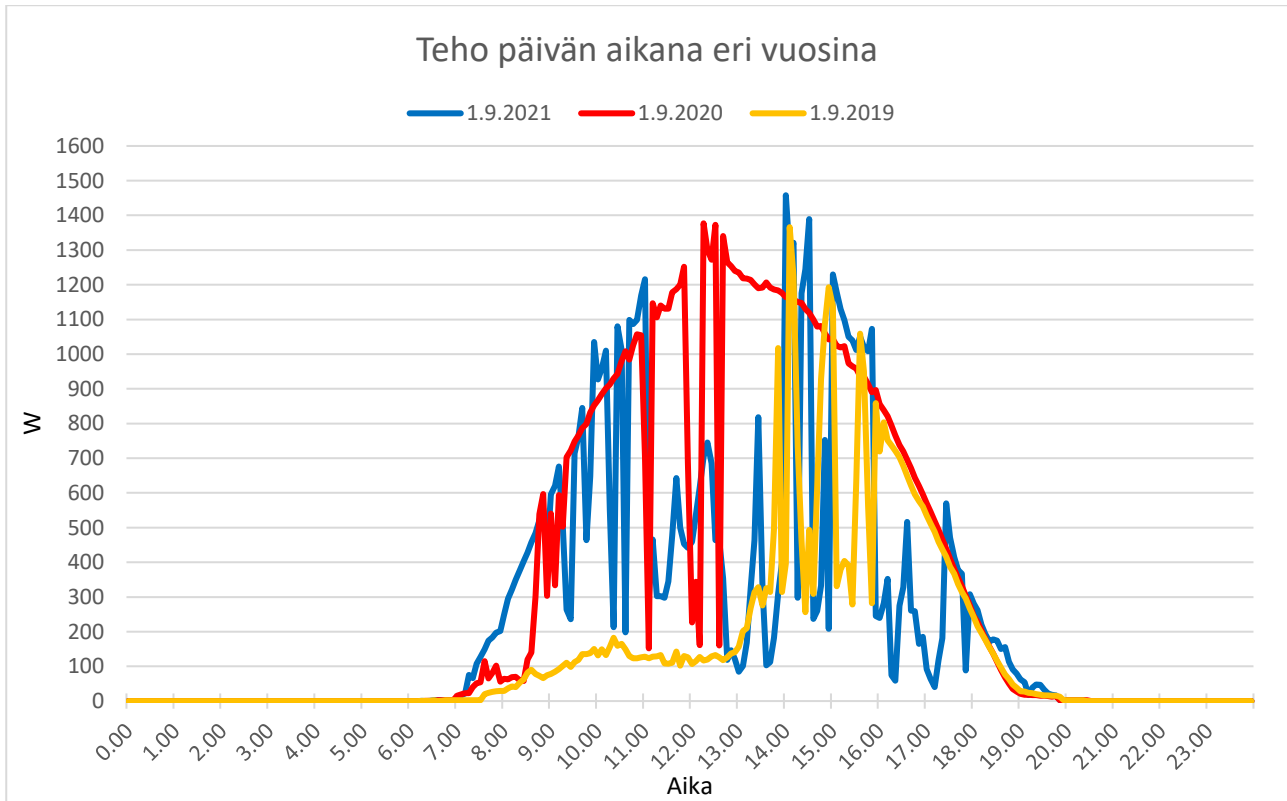
## 8 Tuotannon analyysi

JAMKilla on käytössä Vbus.net-palvelu, jonka avulla saadaan kerättyä aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmän dataa talteen. Vbus.net- sovellusta käytetään yleisesti aurinkolämpö- ja lämmitysjärjestelmien tietojen hallintaan ja visualisointiin. Palvelun avulla saadaan luotua reaaliaikaisia näkymiä järjestelmästä, sekä tarkastella ja tallentaa tietyn ajanjakson aikaisia data-arvoja. Biotalousinstituutin aurinkoenergiajärjestelmästä kerätään dataa yhteensä 25 eri mittauskohteesta. Mittauskohteita ovat muun muassa aurinkokeräimen ja varaajan lämpötilat, käyttöveden meno- ja paluu lämpötilat, lämmitysteho sekä virtauksen määrä. Aurinkoenergiajärjestelmän dataa on saatavilla 17.4.2018 alkaen.

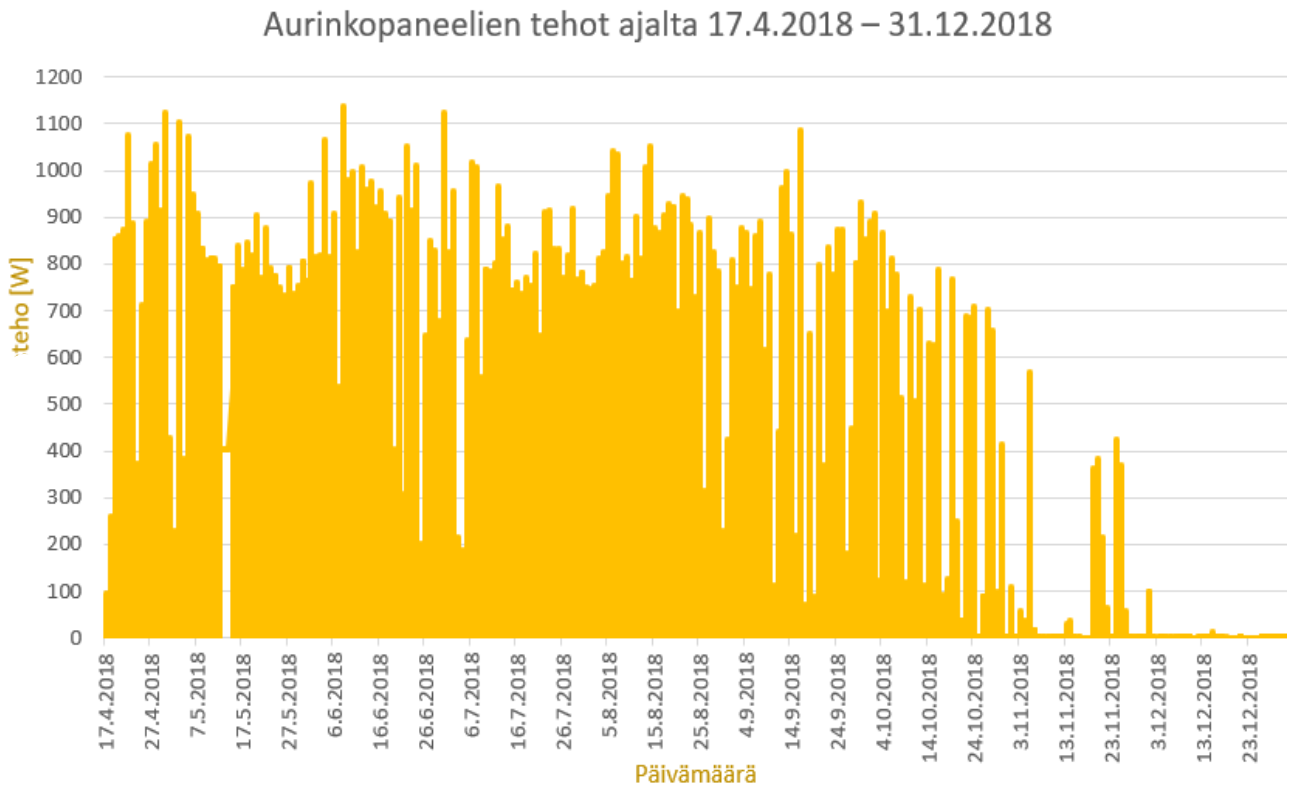
### 8.1 Aurinkosähköjärjestelmän tuotto

Aurinkoenergiajärjestelmästä saatavat tehon määrät voivat vaihdella vuosittain, päivittäin sekä hetkellisesti paljon. Kuviossa 18 on verrattu aurinkopaneelien tehon dataa syyskuun ensimmäisenä päivänä vuosien 2019, 2020 ja 2021 aikana viiden minuutin mittausvälillä. Kuvion 18 mukaan tehojen tuotanto ajoittui lähes täysin kello 7:00-20:00 väliin ja järjestelmän suurimmat tehot olivat saa-

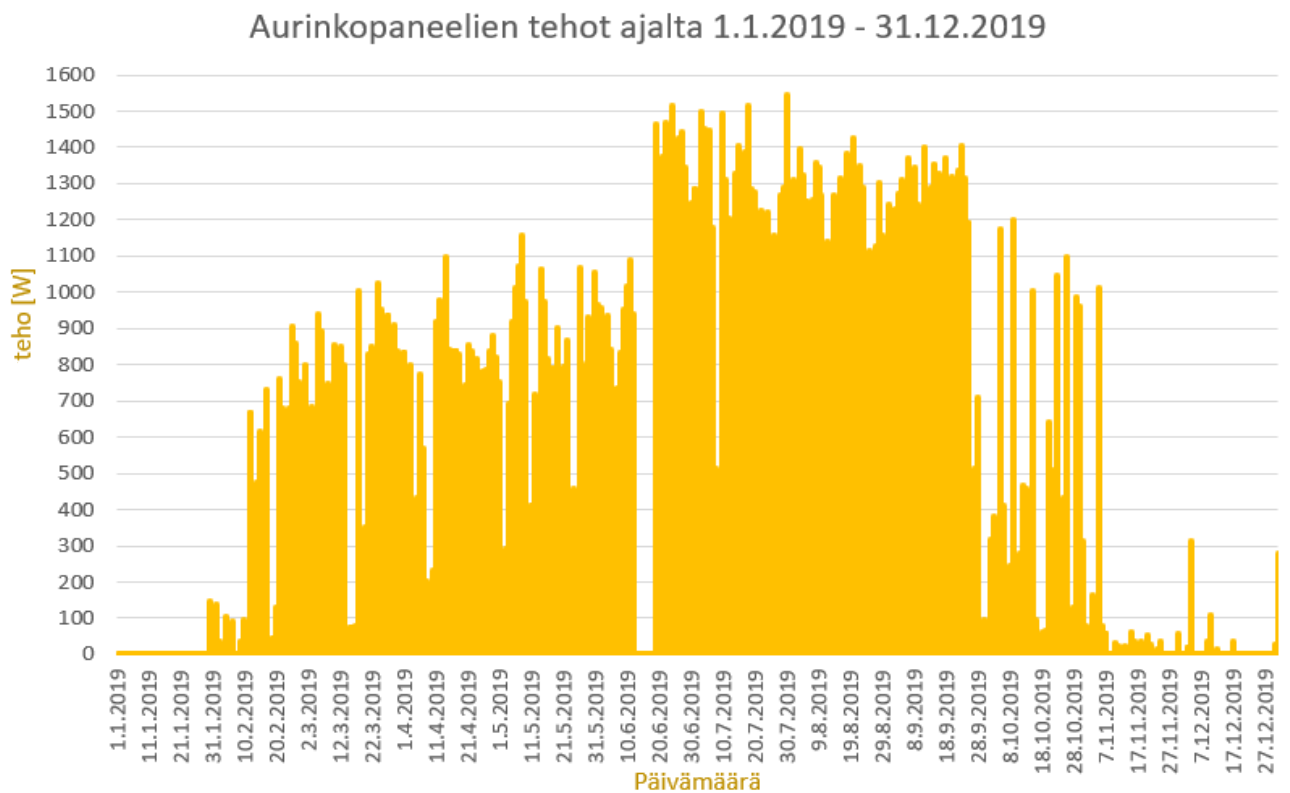
tavilla päivän aikaan. Tehon tuotannon jyrkkä heiluminen johtuu muun muassa pilvien aiheuttamista varjostuksista. 1.9.2019 tuotto oli yhteensä noin 3,6 kWh, vuonna 2020 noin 8,5 kWh ja vastaavasti vuonna 2021 noin 5,7 kWh. Järjestelmän aurinkopaneelien tehon tuotannot eri käyttövuosien aikana ovat nähtävissä kuvioista 19, 20, 22 ja 23.



Kuvio 18. Aurinkopaneelien tehot eri vuosina

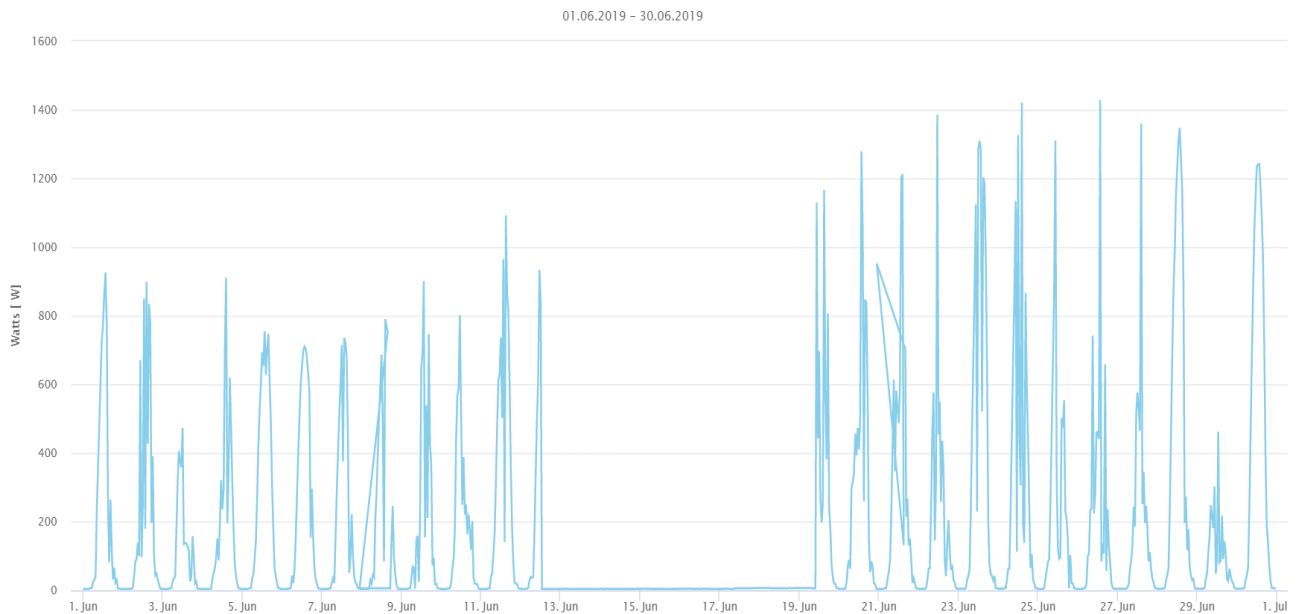


Kuvio 19. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 17.4.2018 – 31.12.2018



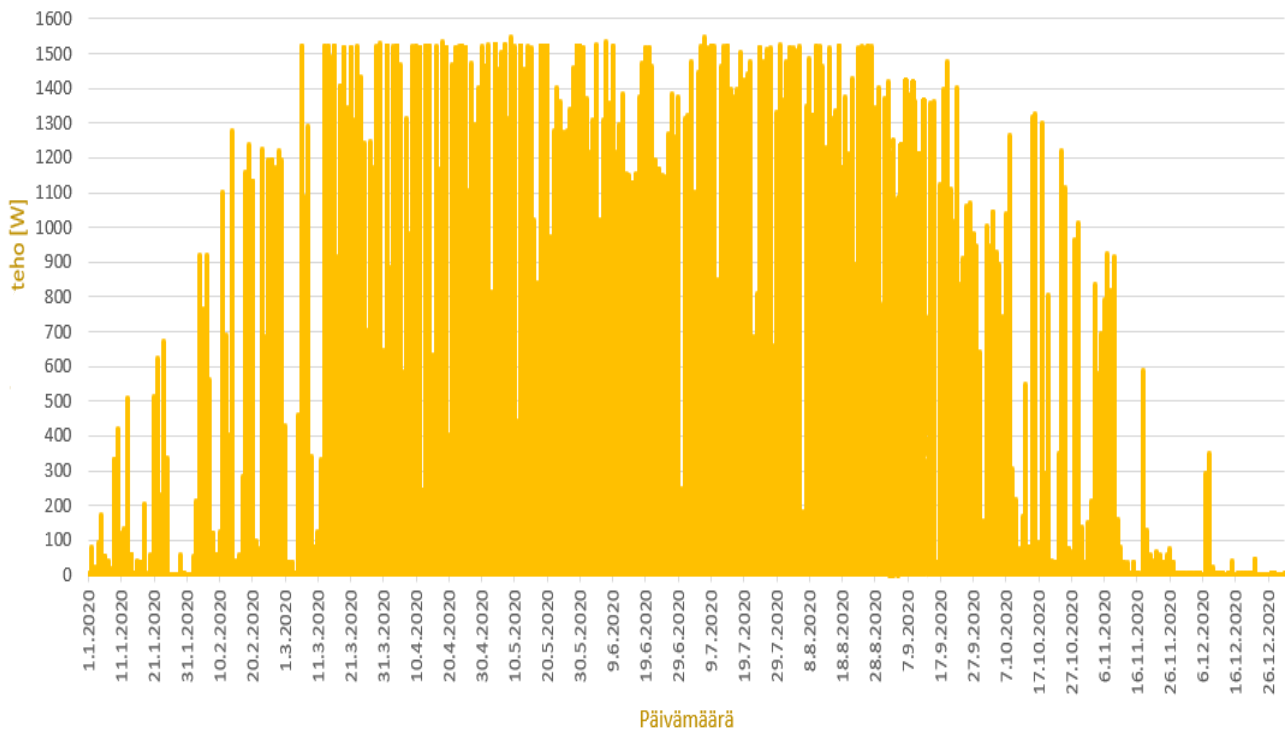
Kuvio 20. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2019 – 31.12.2019

Kesäkuussa vuonna 2019 koko aurinkoenergiajärjestelmän suuntausta vaihdettiin ja aurinkopaneeleita lisättiin järjestelmään kaksi kappaletta. Tämä toimenpide näkyy selvästi kuvioista 20 ja 21, tehon ollessa 0 W 13.6.2019 – 18.6.2019 välisenä aikana. Paneelien lisäys ja järjestelmän suuntauksen vaihto optimaalisempaan asentoon kohti etelää toi järjestelmän tehon tuotannolle selvän kasvun. Paneelia kohden järjestelmän suuntauksen vaihto toi noin 10 % – 15 % tuoton kasvun verraten aiempaan.



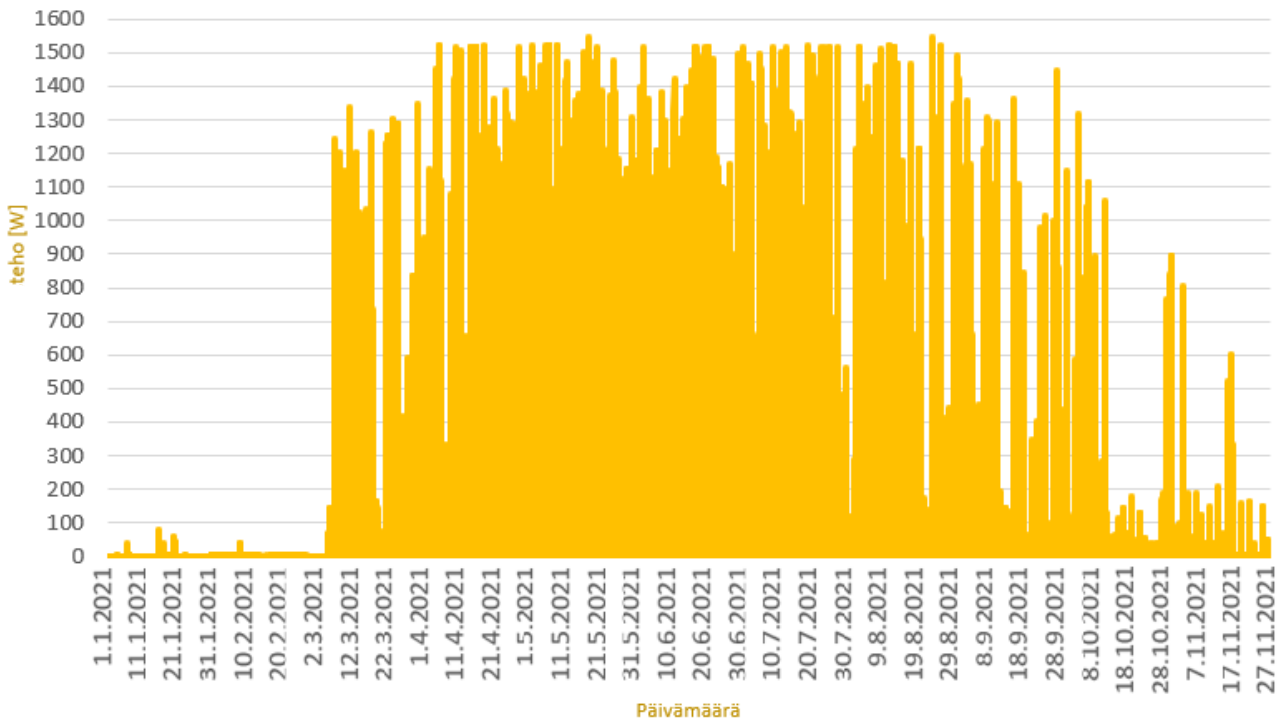
Kuvio 21. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.6.2019 – 30.6.2019 (The portal for your solar and heating system 2021)

### Aurinkopaneelien tehot ajalta 1.1.2020 - 31.12.2020



Kuvio 22. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2020 – 31.12.2020

### Aurinkopaneelien tehot ajalta 1.1.2021 - 30.11.2021

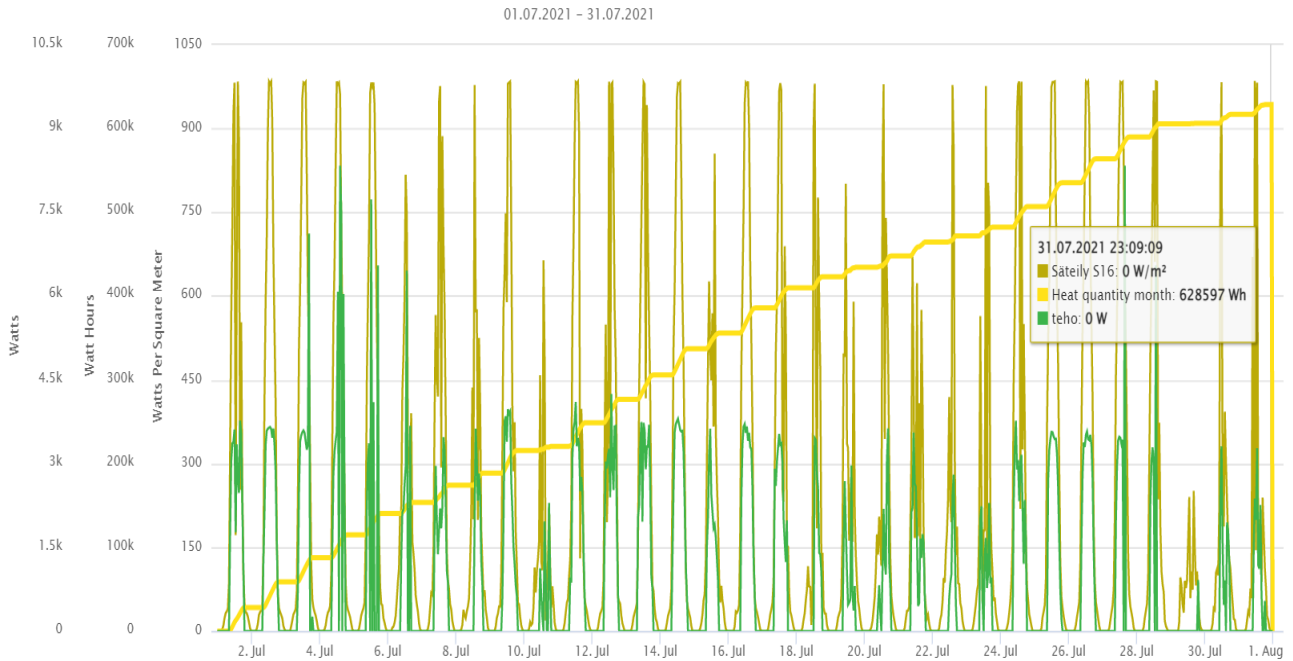


Kuvio 23. Aurinkosähköjärjestelmän tuotto ajalta 1.1.2021 – 30.11.2021

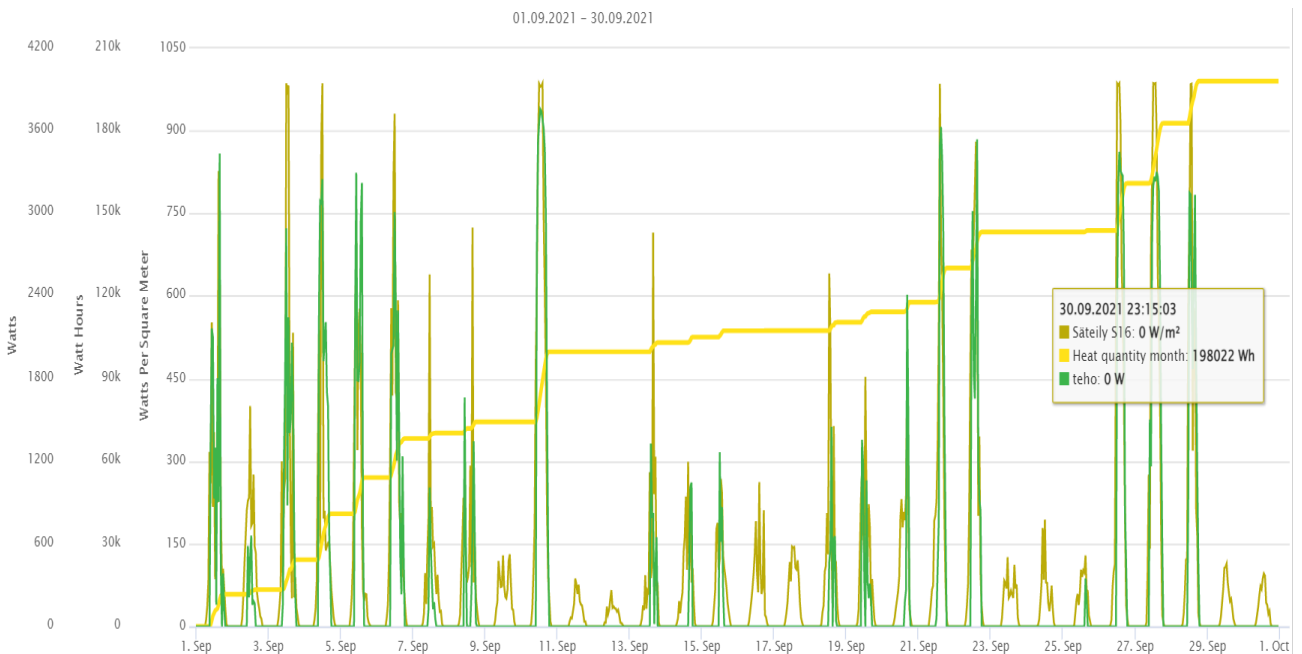
## 8.2 Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto

Kuvioissa 24 näkyy trendikäyrät auringon säteilystä, tehosta sekä kuukauden kokonaislämmön määrästä heinäkuun 2021 ajalta ja kuviossa 25 syyskuun 2021 ajalta. Kuvaajiin aurinkolämpöjärjestelmän saatu teho on merkitty vihreällä värillä, auringon säteily on merkitty tummankeltaisella ja kuukauden kokonaislämmön määrät keltaisella värillä. Vertailemalla heinäkuun ja syyskuun auringon säteilyn määriä voidaan havaita, että heinäkuussa päivän aikana säteily kävi usein yli  $950 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ , vastaavasti syyskuussa säteilyn määrä ylsi harvoin edes  $700 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ . Kuvion 24 mukaan 1.7.2021 – 31.7.2021 välisenä aikana aurinkolämpöjärjestelmä on tuottanut lämpöenergiaa noin 629 kWh edestä, kun taas syyskuussa tuotantoa oli enää vain 198 kWh. (Ks. Kuvio 25.)

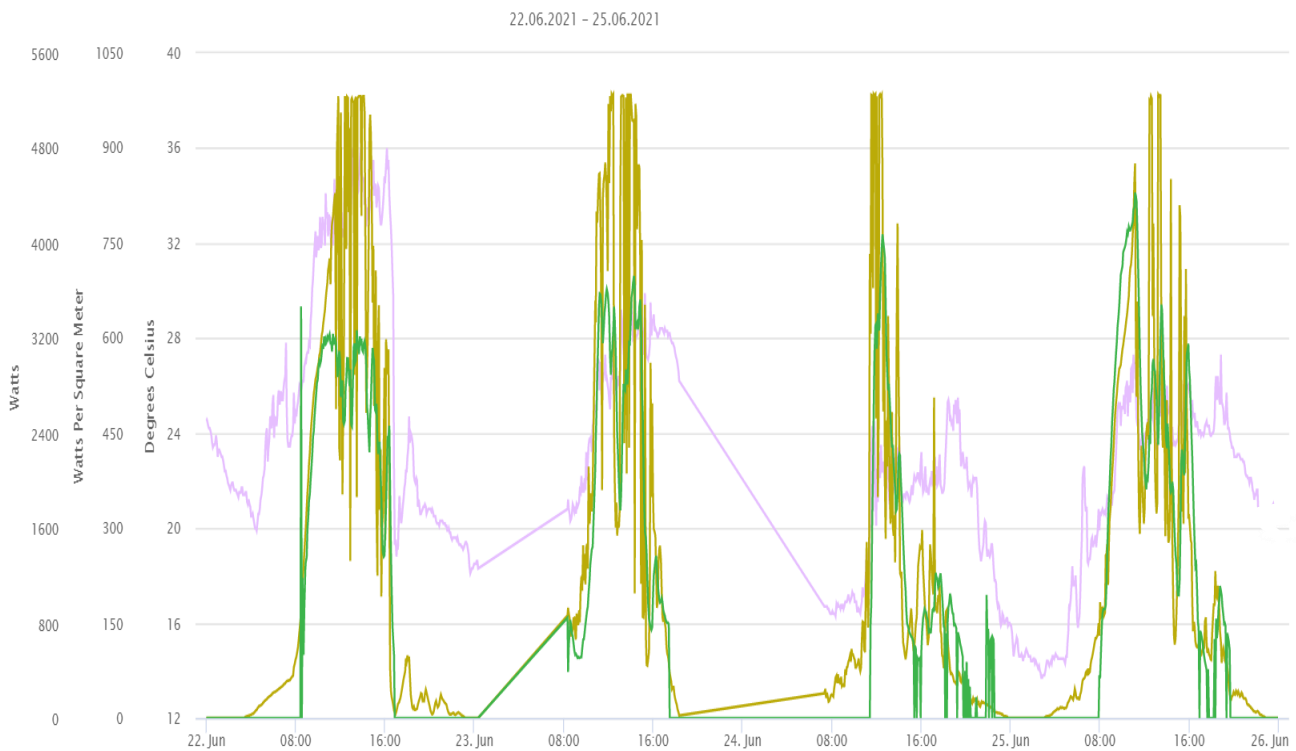




Kuvio 24. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ajalta 1.7.2021 – 31.7.2021 (The portal for your solar and heating system 2021, muokattu)



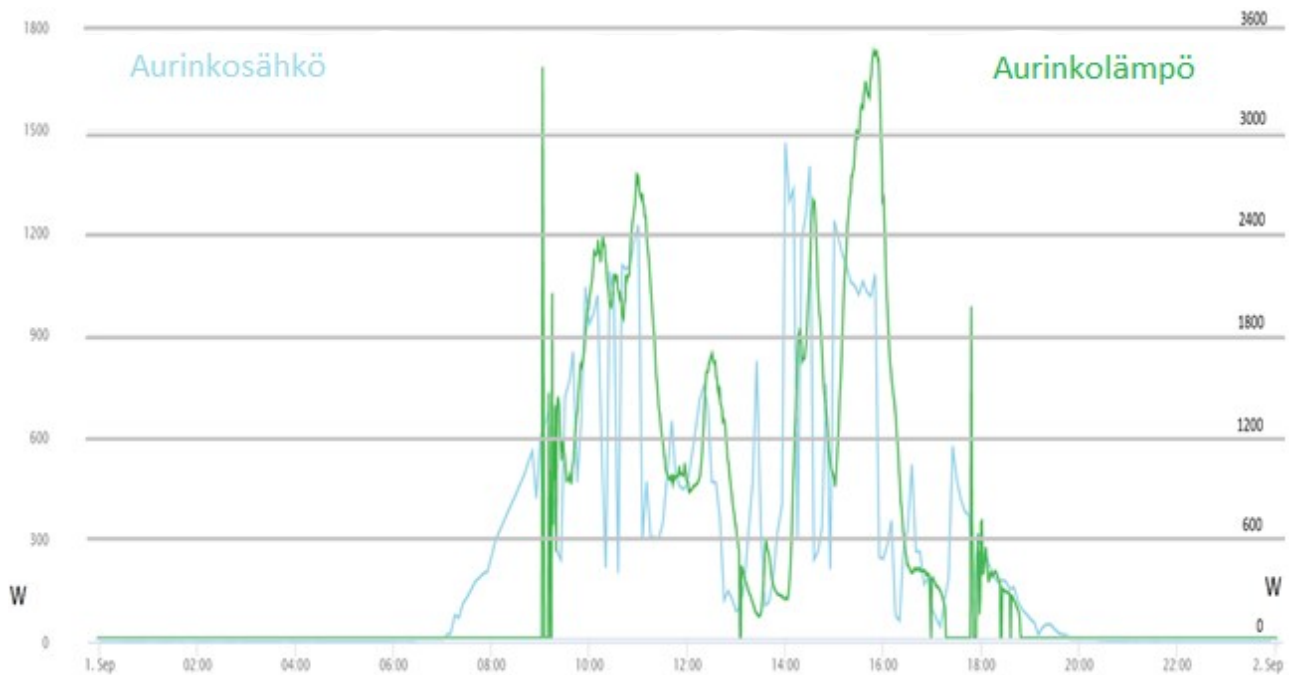
Kuvio 25. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotto ajalta 1.9.2021 – 30.9.2021 (The portal for your solar and heating system 2021, muokattu)



Kuvio 26. Ulkolämpötilan ja säteilyn vaikutus aurinkolämpöjärjestelmän tuottoon (The portal for your solar and heating system 2021, muokattu)

Aurinkoenergiajärjestelmän tuotanto perustuu saapuvan auringon kokonaissäteilyn määrään. Korkealla lämpötilalla on melko suuri negatiivinen vaikutus aurinkoenergiajärjestelmien tuotantoon. Jos aurinkokeräimen lämmönsiirtonesteen lämpötila on liian korkea, järjestelmän hyötysuhde käärii lämpöhäviöiden vuoksi. Myös aurinkopaneelien hyötysuhde on korkeissa lämpötiloissa matalampi. Aurinkoenergiajärjestelmän tuotannon kannalta otollisin sää on valoisa ja viileä.

Kuviossa 26 on esitetty ulkolämpötilan ja auringon säteilyn suhde aurinkolämpöjärjestelmästä saatavaan tehon määrään 22.6.2021 – 25.6.2021 välisenä aikana. Kuviossa 26 tehon kuvaaja on merkitty vihreällä värillä, auringon säteily on merkitty tummankeltaisella ja ulkolämpötila violetilla värillä. Kuviossa 26 voidaan havaita, että tehon kuvaaja ei piikkittele 22.6.2021 yhtä korkealle kuin 23.6.2021 – 25.6.2021 välisenä aikana vaikka auringon säteilyä olisi hyvin saatavilla. Tämä johtuu muun muassa siitä, että ulkolämpötila oli erittäin korkea yli 32 °C, jolloin järjestelmän potentiaalinen tuotanto heikkeni.



Kuvio 27. Aurinkoenergiajärjestelmän aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotannon vertailu (The portal for your solar and heating system 2021, muokattu)

Kuviossa 27 on verrattu aurinkosähkön ja aurinkolämmön tuotantoa yhden päivän aikana (1.9.2021). Aurinkosähkön osuus näkyy kuviossa 27 sinisellä värillä ja aurinkolämpö vihreällä värillä. Järjestelmä tuotti aurinkosähköä päivän aikana yhteensä noin 5,7 kWh edestä ja parhaimmillaan sähkön tuotanto kävi 1,5 kW. Aurinkolämpöä järjestelmä tuotti päivän aikana yhteensä noin 11,7 kWh ja tuotannon huipputeho oli 3,5 kW. Aurinkosähkön kuvaajan arvot kuviossa 27 on saatu viiden minuutin mittausväliä, kun taas aurinkolämmön kuvaajan arvoissa on minuutin mittausväli.

### 8.3 Aurinkosähköjärjestelmän teoreettinen tuotanto

Kaavaa 1 käyttämällä saadaan toimeksiantajan RCM-250-6PB aurinkopaneelille, jonka nimellisteho on 250 W ja pinta-ala (1,64 m \* 0,992 m)  $\approx 1,63 \text{ m}^2$  hyötysuhteeksi  $\eta = \frac{P}{A * 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = \frac{250 \text{ W}}{1,63 \text{ m}^2 * 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 0,154 \approx 15 \%$ . Tämä on se määrä, mikä kohdistuneesta auringon säteilyenergiasta muuttuu sähköenergiaksi. Vastaavasti kaavaa 1 käyttämällä RCM-260-6MB aurinkopaneelin hyötysuhteeksi saadaan noin 16 %. Auringon säteilyn muuttaminen sähköenergiaksi ei ole niin tehokasta kuin sen muuttaminen lämmöksi. Aurinkokeräimillä säteilyenergiasta noin 30 % voidaan muuttaa lämmöksi.

Aurinkopaneelin tuottama sähköenergia kuukaudessa saadaan laskettua kaavalla 3 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 71). Laskussa käytetään RCM-250-6PB aurinkopaneelin teknisiä tietoja sekä syyskuun ohjearvoja. Aurinkopaneelit sijaitsevat säävyöhykkeellä III asennettuna 45 ° kulmassa kohti etelää. Aurinkopaneelin ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin saadaan taulukosta 3. Paneeliin kohdistuva auringon säteilyn energia eri kuukausina on esitetty taulukossa 4.

$$W = \eta_{\text{paneeli}} * F * G_{\text{aurinko}} * A_{\text{paneeli}} \quad (3)$$

missä  $W$  = aurinkopaneelin tuottama sähköenergia kuukaudessa [kWh]

$\eta_{\text{paneeli}}$  = aurinkopaneelin hyötysuhde

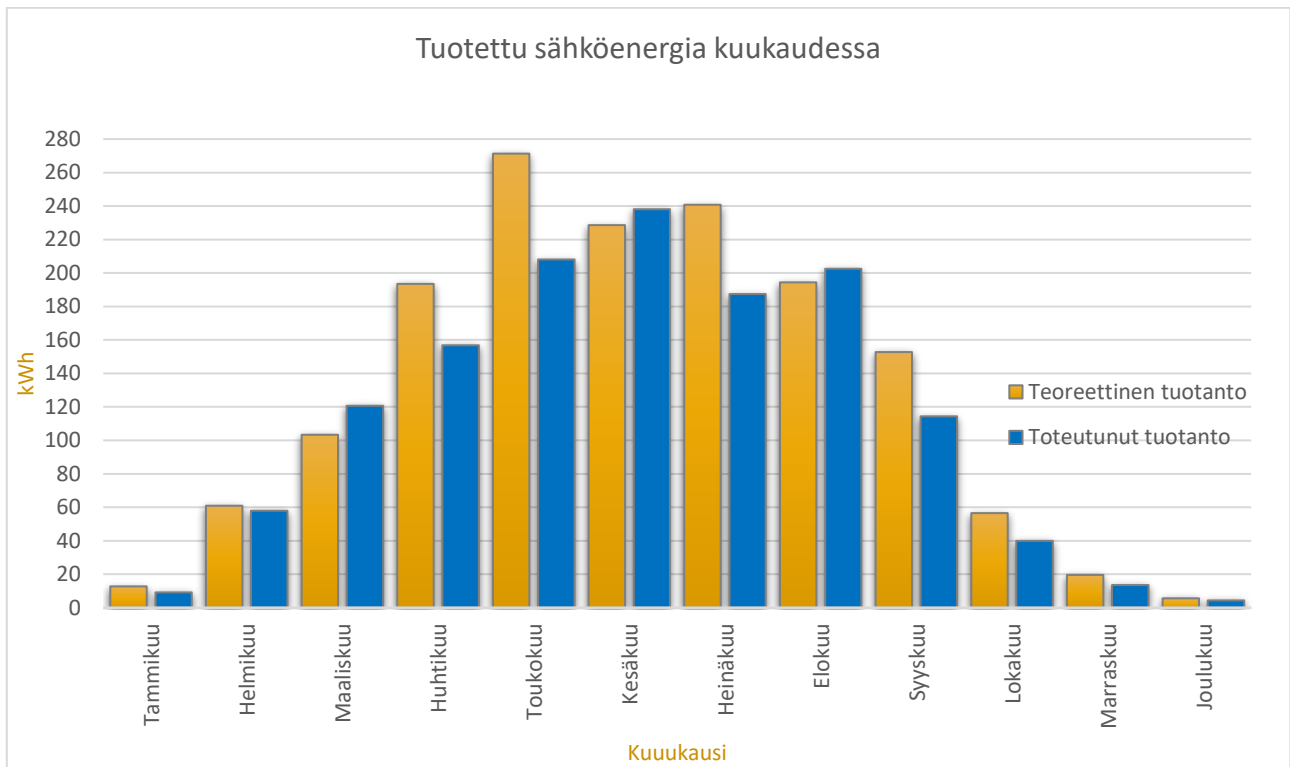
$F$  = aurinkopaneelin ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin

$G_{\text{aurinko}}$  = aurinkopaneeliin kohdistuva auringon säteilyn energia kuukauden aikana  
 $\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$

$A_{\text{paneeli}}$  = aurinkopaneelin pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$$W = 0,154 * 1,0 * 100,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 1,626 \text{ m}^2 = 25,125 \text{ kWh}$$

Nimellisteholtaan 250 W aurinkopaneeli tuottaa sähköenergiaa syyskuun aikana noin 25 kWh edestä. Biotalousinstituutissa on yhteensä neljä kappaletta 250 W ja kaksi kappaletta 260 W aurinkopaneeleita. Kuviossa 28 on esitetty näiden kuuden paneelin yhteissähköenergian tuotanto eri kuukausina verrattuna vuoden 2020 toteutuneen tuotannon kanssa.



Kuvio 28. Aurinkopaneelien teoreettiset ja toteutuneet sähköenergiat kuukautta kohden

Kuviossa 28 teoreettinen tuotanto on esitetty oranssilla värillä ja toteutunut tuotanto on esitetty sinisellä värillä. Laskujen perusteella aurinkopaneelit tuottavat vuoden aikana energiaa yhteensä noin 1540 kWh. Toukokuussa energiaa olisi saatavilla eniten yli 271 kWh edestä, kun taas joulukuussa energiaa olisi saatavilla alle 6 kWh. Vuonna 2020 toteutuneen energian tuotanto oli yhteensä noin 1353 kWh. Energiaa oli saatavilla eniten kesäkuussa 238 kWh ja vähiten joulukuussa vain 4 kWh. Toteutunut tuotanto ylitti teoreettisen tuotannon odotukset vain maaliskuu-, kesä- ja elokuussa.

Taulukko 3. Kallistuskulman kerroin säävyöhykkeellä III suuntauksen ollessa etelä (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 79)

Suuntaus Kallis- tuskulma	Etelä						
	0	15	30	45	60	75	90
Tam- mikuu	0,52	0,69	0,86	1,00	1,08	1,10	1,07
Helmikuu	0,37	0,60	0,82	1,00	1,11	1,15	1,12
Maaliskuu	0,62	0,79	0,92	1,00	1,03	1,01	0,93
Huhtikuu	0,69	0,85	0,95	1,00	0,99	0,93	0,82
Toukokuu	0,83	0,94	0,99	1,00	0,96	0,87	0,73
Kesäkuu	0,91	0,99	1,02	1,00	0,94	0,84	0,71
Heinäkuu	0,85	0,95	1,00	1,00	0,95	0,86	0,72
Elokuu	0,74	0,88	0,96	1,00	0,98	0,92	0,80
Syyskuu	0,54	0,74	0,90	1,00	1,04	1,02	0,94
Lokakuu	0,47	0,68	0,87	1,00	1,07	1,08	1,03
Mar- raskuu	0,41	0,62	0,83	1,00	1,10	1,14	1,12
Joulukuu	0,66	0,80	0,92	1,00	1,04	1,05	1,00

Taulukko 4. Etelään suunnatun ja 45 ° kallistuskulmassa olevan pinnan auringon säteilyn intensiteetti säävyöhykkeellä III (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 71)

kuukausi	kWh/m <sup>2</sup> Säävyöhyke III
Tammikuu	8,4
Helmikuu	40,1
Maaliskuu	68,0
Huhtikuu	127,3
Toukokuu	178,5
Kesäkuu	150,4
Heinäkuu	158,4
Elokuu	127,9
Syyskuu	100,5
Lokakuu	37,2
Marraskuu	12,9
Joulukuu	3,7

## 8.4 Aurinkolämpöjärjestelmän teoreettinen tuotanto

Aurinkokeräimelle tuleva keskimääräinen säteilyteho neliometriä kohden eri kuukausina on esitetty taulukossa 5. Keskimääräinen säteilyteho saadaan, kun jaetaan "säteily kallistetulle pinnalle" tunneilla. Kallistetulle pinnalle tuleva säteily saadaan, kertomalla taulukosta 13 saatavalla auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle arvo taulukon 6 korjauskertoimella. Laskut perustuvat aurinko-oppaan kokoamiin ohjeisiin. (Aurinko-opas 2012, 27–28.)

Taulukko 5. Keskimääräinen säteilyteho

Kuukausi	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle	Korjauskertoimen 45 °, etelä	Säteily kallistetulle pinnalle	Päiviä/kk	Tunteja/kk	Keskimääräinen säteilyteho/kk
	$\frac{kWh}{m^2}$		$\frac{kWh}{m^2}$	d	h	$\frac{W}{m^2}$
Tammikuu	5,4	1,75	9,45	31	744	12,70
Helmikuu	20,1	2,27	45,63	28	672	67,90
Maaliskuu	51,9	1,75	90,83	31	744	122,08
Huhtikuu	102,9	1,3	133,77	30	720	185,79
Toukokuu	171,4	1,07	183,40	31	744	246,50
Kesäkuu	159,1	0,99	157,51	30	720	218,76
Heinäkuu	158,2	1,01	159,78	31	744	214,76
Elokuu	113,9	1,11	126,43	31	744	169,93
Syyskuu	71,1	1,33	94,56	30	720	131,34
Lokakuu	25,3	1,62	40,99	31	744	55,09
Marraskuu	7,3	1,33	9,71	30	720	13,48
Joulukuu	3,2	1	3,20	31	744	4,30
	889,8		1055,25	365	8760	1442,64

Taulukko 6. Kallistuskulman huomioonottava korjauskertoimen suuntauksen ollessa etelä (Aurinko-opas 2012, 16)

Kuukausi	Korjauskertoimet etelään suunnatulle keräimelle eri kallistuskulmilla, paikkakunta Jyväskylä				
	0°	30°	45°	60°	90°
Tammikuu	1,00	1,50	1,75	1,75	1,75
Helmikuu	1,00	1,95	2,27	2,50	2,55
Maaliskuu	1,00	1,57	1,75	1,85	1,75
Huhtikuu	1,00	1,25	1,30	1,29	1,13
Toukokuu	1,00	1,09	1,07	1,01	0,78
Kesäkuu	1,00	1,03	0,99	0,90	0,63
Heinäkuu	1,00	1,05	1,01	0,93	0,66
Elokuu	1,00	1,12	1,11	1,05	0,80
Syyskuu	1,00	1,28	1,33	1,33	1,11
Lokakuu	1,00	1,46	1,62	1,65	1,54
Marraskuu	1,00	1,33	1,33	1,50	1,33
Joulukuu	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50
Vuosi	1,00	1,21	1,26	1,27	1,13

Jos järjestelmän kaikkia teknisiä tietoja ei ole saatavilla, voidaan veden lämmitys aurinkokeräimillä laskea yksinkertaisesti kaavan 4 avulla (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 51). Taulukossa 7 on esitetty aurinkokeräimen energiantuotto keräinpinta-alaa kohti, sekä kaavalla 4 lasketut tulokset aurinkokeräimien tuottamasta lämpöenergiasta kuukautta kohden. Laskussa on käytetty taulukoiden 8, 9 ja 10 arvoja, sekä taulukosta 2 saatavia Nova 30–58/1800 heat-pipe-tyhjiöputkikeräimen teknisiä tietoja. Hyötysuhteena on käytetty 75 % ja keräimiä on neljä, jolloin aktiivista keräinpinta-alaa on yhteensä 17,6 m<sup>2</sup>.

$$Q_{\text{keräin}} = \eta_{\text{keräin}} * k_{\text{keräin}} * q_{\text{keräin}} * A_{\text{keräin}} \quad (4)$$

missä  $Q_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen [kWh]

$\eta_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräimen hyötysuhde

$k_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin

$q_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-alaa kohti  $\left[ \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \right]$



$A_{\text{keräin}}$  = aurinkokeräimen pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

Taulukko 7. Keräimillä tuotettu energia

Kuukausi	Energiaosuuksien suhde	$q_{\text{keräin}}$	$Q_{\text{keräin}}$
		$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$	kWh
Tammikuu	0	0	0
Helmikuu	0,02	7	92,4
Maaliskuu	0,06	21	277,2
Huhtikuu	0,12	42	554,4
Toukokuu	0,19	66,5	877,8
Kesäkuu	0,19	66,5	877,8
Heinäkuu	0,18	63	831,6
Elokuu	0,13	45,5	600,6
Syyskuu	0,08	28	369,6
Lokakuu	0,03	10,5	138,6
Marraskuu	0	0	0
Joulukuu	0	0	0
	1	350	4620

Taulukko 8. Keräinten suuntauksen huomioon ottava kerroin (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 51)

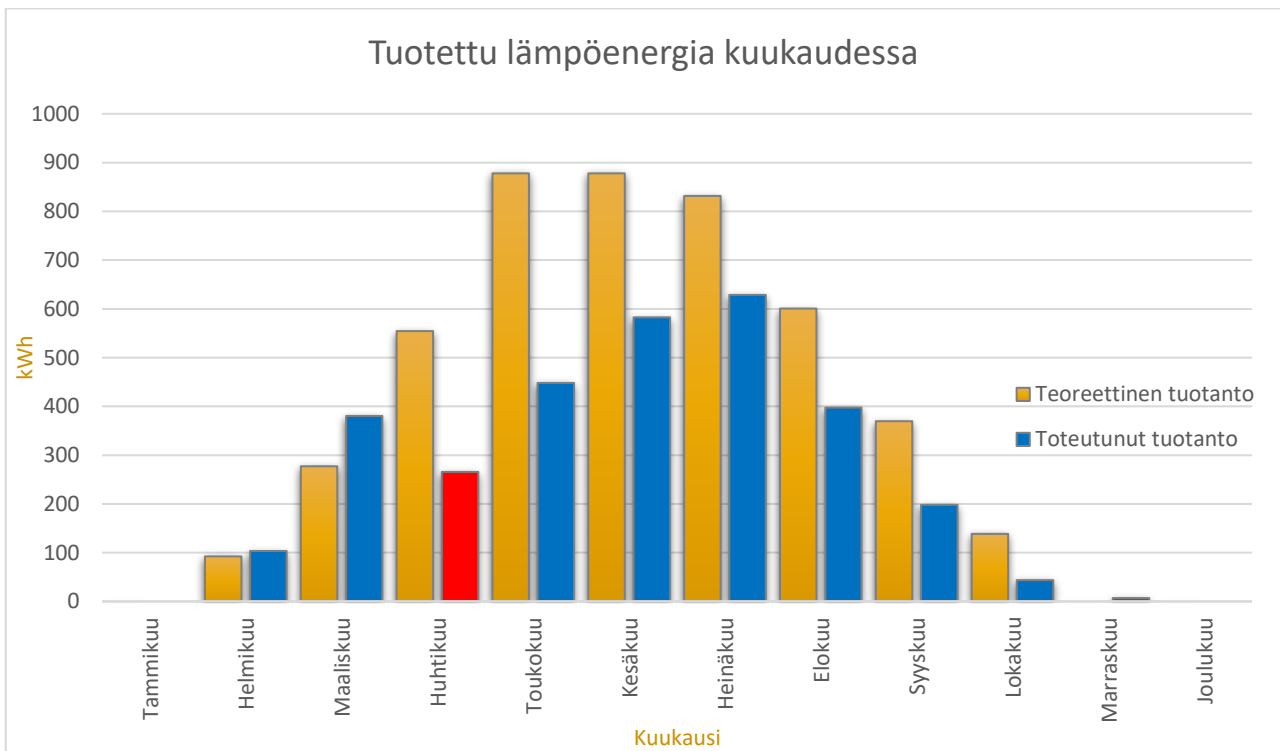
Suuntaus	k
etelä / kaakko / lounas	1,0
itä / länsi	0,8
pohjoinen / koillinen / luode	0,6

Taulukko 9. Keräimen energiantuotto käyttöveden pinta-alaa kohti (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 51)

Vyöhyke/paikkakunta	$q_{\text{aurinkokeräin}}$ , $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
I-II / Helsinki	390
III / Jyväskylä	350
IV / Sodankylä	310

Taulukko 10. Auringon säteilyn kuukausittaisten energiaosuuksien suhde (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 51)

kuukausi	Säävyöhyke III
Tammikuu	0,00
Helmikuu	0,02
Maaliskuu	0,06
Huhtikuu	0,12
Toukokuu	0,19
Kesäkuu	0,19
Heinäkuu	0,18
Elokuu	0,13
Syyskuu	0,08
Lokakuu	0,03
Marraskuu	0,00
Joulukuu	0,00



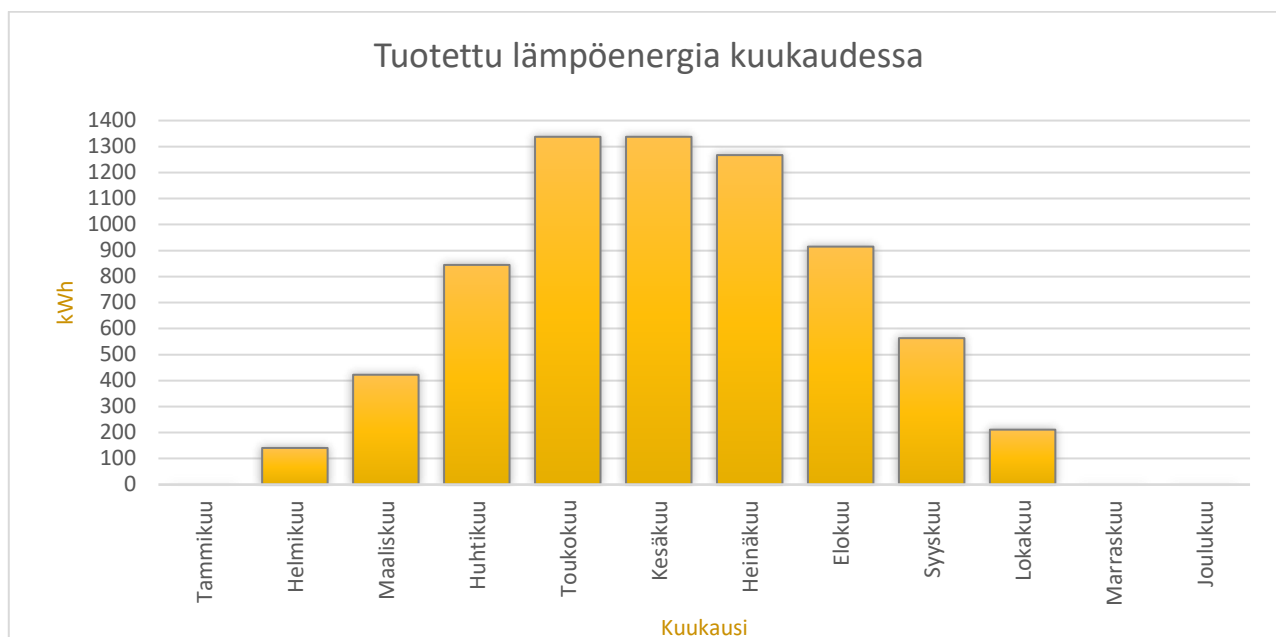
Kuvio 29. Aurinkokeräimien teoreettiset ja toteutuneet lämpöenergiat kuukautta kohden

Kuviossa 29 verrataan aurinkokeräimien laskettua teoreettista lämpöenergian tuotantoa vuoden 2021 toteutuneen tuotannon kanssa kuukautta kohden. Teoreettinen tuotanto on esitetty kuvi-

ossa 29 oranssilla värillä ja toteutunut tuotanto on esitetty sinisellä värillä. Toteutuneen tuotannon huhtikuun ajalta kaavio on merkitty punaisella värillä, sillä dataa on saatavilla vain 1.4.2021 - 17.4.2021 väliseltä ajalta. Joulukuun kaaviossa on käytetty dataa vuodelta 2020.

Laskujen perusteella aurinkokeräimet tuottavat vuoden aikana energiaa yhteensä noin 4620 kWh. Touko- ja kesäkuussa lämpöenergiaa olisi saatavilla eniten lähes 878 kWh edestä, kun taas tammi-, marras- ja joulukuussa lämpöenergiaa ei saataisi keräimillä talteen. Vuonna 2021 toteutuneen energian tuotanto on yhteensä noin 3250 kWh. Lämpöenergiaa olisi saatavilla eniten heinäkuussa lähes 629 kWh. Joului- ja tammikuussa tuotanto on 0 Wh ja marraskuussa vain vajaa 7 kWh.

Kaavan 4 avulla lasketut aurinkokeräimien teoreettiset lämpöenergian tuotannot ovat suuntaa antavia todellisesta tuotannosta alakanttiin. Todellisuudessa aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan vuodessa noin  $300\text{--}500 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$  (Aurinkokeräimet n.d.). Näin ollen oikein asennettu keräinpinta-alaltaan  $17,6 \text{ m}^2$  kokoisen aurinkokeräinjärjestelmän tulisi tuottaa vuodessa noin 5280–8800 kWh edestä lämpöenergiaa. Myös aurinkolämpöjärjestelmän toteutunut tuotanto vuodelta 2021 on hyvin alhainen. Alhainen tuotanto johtuu todennäköisesti laitteiston- tai laskentaohjelman asetuksen virheestä. Kuviossa 30 on esitetty aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto kuukautta kohti, kun keräimien tuotto on  $400 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ .



Kuvio 30. Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto

## 9 Biotalousinstituutille kasvihuone

Osana opinnäytetyötä oli suunnitella pienimuotoisen kasvihuoneen lämmityksen toteutuksen tarve aurinkoenergiajärjestelmästä hyödynnetyllä energialla. Toteutuneet laskelmat kasvihuoneesta tulevat toimimaan apuna mahdollisen investoinnin suunnittelussa. Kasvihuoneen tarkoituksena olisi toimia JAMKin opetuksessa mukana muun muassa opiskelijoiden harjoitustöiden parissa. Tarkoituksena on selvittää kuinka kauan aurinkoenergiajärjestelmästä saatava teho riittää ylläpitämään kasvihuoneessa haluttua lämmön määrää mentäessä syksyä pidemmälle, sekä kuinka aikaisin keväällä aurinkoenergiajärjestelmän tehot alkavat riittämään kasvihuoneen ylläpitoon.

### 9.1 Kasvihuone

Kasvihuoneen tarkoitus on pidentää kasvien kasvukautta. Kasvihuone on usein läpinäkyvästä materiaalista tehty katettu tila, jonka sisäilmasto on tietyille kasveille ulkolämpötilaa suotuisammalla. Kasvihuoneen ilmastoa voidaan hallita esimerkiksi käyttäen lämmitystä, valaistusta, tuuletusta ja jäähdytystä. Kasvihuone lisää kasvien kasvuun tärkeää säteilyä päästämällä valoa lävitseen. Tuleva auringonvalo lämmittää koko kasvihuonetta ja sen sisällä olevia kasveja, sekä mahdollistaa kasvien yhteyttämisen. (Stanghellini, Ooster & Heuvelink, 2019, 62–64.)

Kasvihuoneet eivät aina tarvitse lisälämmitystä riippuen mitä, missä ja milloin kasvatetaan. Suomessa lämmityksen avulla saadaan kasvukautta pidennettyä niin keväällä kuin syksyllä. Lisälämmityksen tehontarpeen määrä, mitä kasvihuone tarvitsee, on riippuvainen monesta tekijästä, kuten kasvihuoneen sisä- ja ulkoilman lämpötilaerosta, tilavuudesta ja seinämien lämmönläpäisykertoimesta. (Stanghellini ym., 2019, 165.)

## 9.2 Suunnittelu

Mitoittaessa kulutuskohte aurinkoenergialla on hyvä ottaa huomioon sen sähkön- ja lämmönkulutuksen ajoittuminen sekä pohjakulutus, keskimääräinen kulutus ja maksimikulutus. Pohjakulutukseen perustuvassa mitoituksessa saatava aurinkoenergian yhteenlaskettu nimellistehon määrä on enimmillään samansuuruinen kuin pienin jatkuva energian tarve, mitä kohde kuluttaa. (Pohjakulutukseen perustuva mitoitus 2020.) Mitoittaminen pohjakulutuksen mukaan on järkevää, sillä silloin kaikki tai lähes kaikki kerätty aurinkoenergia saadaan käytettyä itse, eikä energiaa tarvitse siirtää takaisin varaajaan. Kasvihuoneen tapauksessa tarkka pohjakulutuksen laskeminen on vaikeaa joutuessa monista muuttujista, muun muassa suuren ulkolämpötilan vaihteluvälin vuoksi.

Suomessa voidaan käytännössä hyödyntää aurinkoenergiaa helmi-lokakuun välisenä aikana. Tästä suotuisin ajanjakso aurinkoenergian saannille on huhti-syyskuu, jolloin auringon säteilyä on saatavilla runsaasti. Päivä on lyhyt ja aurinko on matalalla marras-tammikuussa. Tällöin auringon energian voimakkuus on vähäinen ja tuotto riittää usein vain satunnaiseen pienkäyttöön. (Erat ym. 2008, 148.) Opiskelijat ovat koulussa biotalousinstituutilla syyskuun alusta toukokuun alkuun. Kasvihuoneen tarkoituksena olisi olla käytettävissä osan ajasta, jolloin opiskelijat ovat koulussa. Jotta opiskelijat pääsisivät käyttämään kasvihuonetta, on se varustettava lisälämmityksellä kasvukauden pidentämisen saavuttamiseksi.

Kasvihuoneen haluttua lämpötilaa voidaan ylläpitää esimerkiksi vesikiertoisesti luovuttamalla lämpöenergiaa aurinkoenergiajärjestelmän energiavaraajasta saatavalla lämpimällä vedellä. Lämmin vesi kiertäisi putkia pitkin kasvihuoneeseen luovuttaen samalla varastoitunutta lämpöenergiaa ja palaisi takaisin varaajaan viilentyneenä. Kasvihuoneen lämmönjakoon voidaan hyödyntää myös erilaisia lämpöpattereita. Patteri saisi lämpönsä lämpimästä vedestä ja luovuttaisi kasvihuoneeseen lämpöenergiaa lämpösäteilyn kautta. Sekä aurinkoenergiajärjestelmästä saatava tuotanto,

että kasvihuoneen energian kulutus vaihtelevat huomattavasti eri vuosina ja kuukausina. Järjestelmästä kertynyt aurinkoenergian mahdollinen ylituotanto voitaisiin syöttää energiavaraajasta esimerkiksi käyttöveden kulutukseen tai huonetilojen lämmitykseen.

## 9.3 Mitoitus

### 9.3.1 Lähtötiedot

Laskuissa voidaan ajatella, että kasvihuoneen sisälämpötila olisi tarkoitus pysyä noin 20 °C asteissa. Laskuissa otetaan huomioon kasvihuoneen johtumisen arvot, auringon lämpösäteily sekä aurinkoenergiajärjestelmän tuotto ja ulkolämpötilat. Laskujen tarkoituksena on olla vain suuntaa antavia mahdollisen tulevan investoinnin pohjalle. Tämän takia laskuissa ei ole syytä huomioida kaikkia lämpöenergian siirtymisen tekijöitä, kuten lämpökuormat henkilöistä, ilmanvaihdon aiheuttama lämmitysenergian tarve, eikä myöskään tuulta ja kasvien kastelua huomioida lämmitysenergian tarpeeseen. Laskuissa ei myöskään oteta huomioon eri esineiden tai kasvien vuorovaikutuksesta siirtyvää energiaa. Laskut perustuvat ympäristöministeriön kokoamiin Suomen rakentamismääräyskokoelmien ohjeisiin.

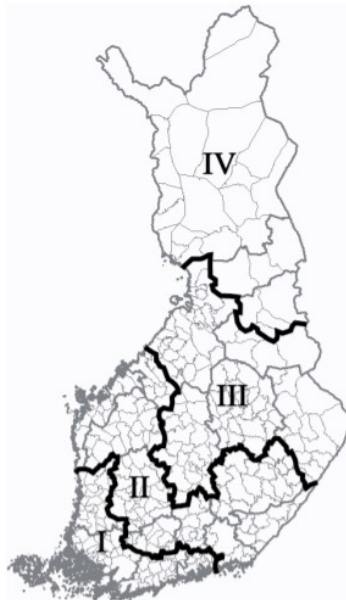
Kasvihuoneen mitat ovat; leveys 1900 mm, syvyys 1900 mm, räystäskorkeus 1240 mm, harjakorkeus 1950 mm ja pinta-ala 3,61 m<sup>2</sup>. Kasvihuoneen seinien-, pohjan- ja katon pinta-ala (vaippa) on yhteensä 15,3 m<sup>2</sup>. Kasvihuoneiden katteena käytetään yleensä joko lasia tai vähän paremmin eristävää muovilevyä, joka on usein valmistettu polykarbonaatista. Laskuissa katto- ja seinäpaneelissa käytetään 4 mm paksuista polykarbonaatti-muovia. Polykarbonaatti-muovin lämmönjohtavuus on  $0,20 \frac{W}{m \cdot K}$  ja valon läpäisykyky 75 %. Kasvihuoneen profiilina, mihin katto- ja seinäpaneelit kiinnitetään, käytetään usein alumiinia. Alumiiniprofiilit täytyy ottaa huomioon kylmäsiltoina lämpöviötehojen laskennassa. Alapohjana toimii 200 mm sorakerros. Taulukossa 11 on esitetty lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoja.

Taulukko 11. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvot (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2012, 20 ja 26)

Aine, tarvike	Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo ( $\lambda$ ) W/(m K)
Polykarbonaatti-muovi	0,2
Alumiini	160
Sora	2

### 9.3.2 Mitoituslämpötilat

Suomi on jaettu neljään eri säävyöhykkeeseen. (Ks. Kuvio 31.) Lämmitystehontarpeen laskentaan tarvitaan säävyöhyke, sekä säävyöhykkeen mitoittava ulkolämpötila. Saarijärvi kuuluu säävyöhykkeeseen III (3), missä mitoittava ulkolämpötila on  $-32\text{ °C}$ . (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 29.) Mitoittavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä näkyvät taulukosta 12. Säävyöhykkeeseen III kuuluva Jyväskylän ulkoilman keskilämpötilat, auringon kokonaissäteilyenergiat ja lämmitystarveluvut on esitetty taulukossa 13.



Kuvio 31. Suomen säävyöhykkeet (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 29)

Taulukko 12. Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 29)

<i>Taulukko L2.1. Mitoitettavat ja keskimääräiset ulkoilman lämpötilat eri säävyöhykkeillä.</i>		
Säävyöhyke	Mitoitettava ulkoilman lämpötila, °C	Vuoden keskimääräinen ulkoilman lämpötila, °C
I	-26	5,3
II	-29	4,6
III	-32	3,2
IV	-38	-0,4

Taulukko 13. Jyväskylän säätiedot kuukausittain, säävyöhyke III (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 31)

Kuukausi	Ulkoilman keskilämpötila, $T_u$ , °C	Auringon kokonaissäteilyenergia vaakatasolle, $G_{\text{säteily, vaakapinta}}$ , kWh/m <sup>2</sup>	Normitukseen käytettävä lämmitystarveluku, S17, Kd
Tammikuu	-8,00	5,4	775
Helmikuu	-7,10	20,1	675
Maaliskuu	-3,53	51,9	637
Huhtikuu	2,42	102,9	437
Toukokuu	8,84	171,4	210
Kesäkuu	13,39	159,1	60
Heinäkuu	15,76	158,2	22
Elokuu	13,76	113,9	78
Syyskuu	9,18	71,1	218
Lokakuu	4,07	25,3	401
Marraskuu	-1,76	7,3	563
Joulukuu	-5,92	3,2	706
Koko vuosi	3,43	890	4782

### 9.3.3 Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve

Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve saadaan selville, kun tiedetään tarkastelu-aika sekä kaikki lämpöhäviön aiheuttajat. Lämpöhäviöiden selvittämiseksi tarvitaan muun muassa kasvihuoneen rakennusmateriaalien lämmönvastukset. Rakenteeltaan polykarbonaatti-muovinen kasvihuoneen lämmönvastus saadaan kaavalla 5 (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2012, 7). Kaavalla 5 saadaan laskettua myös kasvihuoneen alapohjan lämmönvastus käyttäen taulukon 11 soran lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoa.

$$R = \frac{d}{\lambda U}$$

(5)



missä  $R = \text{ainekerroksen lämmönvastus} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$

$d = \text{ainekerroksen paksuus [m]}$

$\lambda_u = \text{ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$

$$R_{\text{joht}} = \frac{0,004 \text{ m}}{0,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{alapohja}} = \frac{0,2 \text{ m}}{2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} = 0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Alapohjan lämmönläpäisykerroimen (U-arvon) laskentaan tarvitaan taulukon 14 sisäpuolen pinta-  
vastuksen ( $R_{\text{si}}$ ) arvoa  $0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ , sekä edellä laskettua alapohjan lämmönvastuksen arvoa  $0,1$   
 $\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ . Lämmönläpäisykerroin kertoo halutun lämpötilaeron saavuttamiseksi tarvittavan tehon tar-  
peen pinta-alaa kohti. Lämmönläpäisykerroin ilman kylmäsiltojen vaikutusta saadaan kaavalla 6.  
(Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2012, 6.)

$$U = \frac{1}{R_T} \tag{6}$$

missä  $U = \text{kasvihuoneen lämmönläpäisykerroin} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$

$R_T = \text{rakennusosan kokonaislämmönvastus} \left[ \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$

$$U_{\text{joht}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 6,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{\text{alapohja}} = \frac{1}{0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 3,70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Taulukko 14. Rakenneosien sisä- ja ulkopuolen pintavastukset (Suomen rakentamismääräyskokoelma C4 2012, 22)

Pintavastus m <sup>2</sup> K/W	Lämpövirran suunta		
	Ylöspäin	Vaakasuoraan	Alaspäin
sisäpuolen pintavastus (R <sub>si</sub> )	0,10	0,13	0,17
ulkopuolen pintavastus (R <sub>se</sub> )	0,04	0,04	0,04

Lämpöhäviötehot, mitkä johtuvat kasvihuoneen alapohjan kautta ulkoilmaan, saadaan kaavalla 7 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 66). Kaavaan 7 maaperän kuukausittainen keskilämpötila saadaan kaavasta 9.

$$\phi_{\text{alapohja}} = \sum U_{\text{alapohja}} * A (T_s - T_{\text{maa}}) \quad (7)$$

missä  $\phi_{\text{alapohja}}$  = johtumislämpöteho kasvihuoneen alapohjan läpi [W]

$U_{\text{alapohja}}$  = kasvihuoneen alapohjan lämmönläpäisykerroin  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$

$A$  = kasvihuoneen alapohjan pinta-ala [m<sup>2</sup>]

$T_s$  = kasvihuoneen sisälämpötila [°C]

$T_{\text{maa,kuukausi}}$  = maaperän kuukausittainen keskilämpötila [°C]

$$\phi_{\text{alapohja}} = \sum 3,70 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} * 3,61 \text{ m}^2 * (20 \text{ °C} - 10,2 \text{ °C}) = 131,03 \text{ W}$$

Maan kuukausittainen keskilämpötila lasketaan kaavaa 9 käyttäen. Maan kuukausittaisen keskilämpötilan selvittämiseksi tarvitaan maan vuotuinen keskilämpötila kaavasta 8. Maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan erona käytetään ohjearvoa 5 °C. Laskuihin tarvitaan myös ulkoilman

vuotuinen keskilämpötila taulukosta 12. Taulukosta 15 saadaan arvo maan ja ulkoilman kuukausittaisten keskilämpötilojen erolle. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 20.) Laskussa käytetään syyskuun ajalta saatavia arvoja.

$$T_{\text{maa,vuosi}} = T_{\text{u,vuosi}} + \Delta T_{\text{maa,vuosi}} \quad (8)$$

missä  $T_{\text{maa,vuosi}}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{\text{u,vuosi}}$  = ulkoilman vuotuinen keskilämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta T_{\text{maa,vuosi}}$  = alapohjan alapuolisen maan ja ulkoilman vuotuisen keskilämpötilan ero [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$T_{\text{maa,vuosi}} = 3,2 \text{ }^{\circ}\text{C} + 5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{maa,kuukausi}} = T_{\text{maa,vuosi}} + \Delta T_{\text{maa,kuukausi}} \quad (9)$$

missä  $T_{\text{maa,kuukausi}}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittainen keskilämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_{\text{maa,vuosi}}$  = alapohjan alapuolisen maan vuotuinen keskilämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta T_{\text{maa,kuukausi}}$  = alapohjan alapuolisen maan kuukausittaisen keskilämpötilan ja vuotuisen keskilämpötilan ero [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$$T_{\text{maa,kuukausi}} = 8,2 \text{ }^{\circ}\text{C} + 2 \text{ }^{\circ}\text{C} = 10,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Taulukko 15. Maan ja ulkoilman kuukausittaisten keskilämpötilojen ero (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 20)

Kuukausi	$\Delta T_{\text{maa, kuukausi, } ^\circ\text{C}}$
Tammikuu	0
Helmikuu	-1
Maaliskuu	-2
Huhtikuu	-3
Toukokuu	-3
Kesäkuu	-2
Heinäkuu	0
Elokuu	1
Syyskuu	2
Lokakuu	3
Marraskuu	3
Joulukuu	2

Lämpöhäviötehot, mitkä johtuvat kasvihuoneen vaipan kautta ulkoilmaan, saadaan kaavalla 10 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 66). Säävyöhykkeen III ulkolämpötilat on esitetty taulukossa 13. Laskussa on käytetty syyskuun ulkoilman keskilämpötilaa  $9,18\text{ }^\circ\text{C}$ .

$$\phi_{\text{joht}} = \sum U_{\text{joht}} * A_{\text{vaippa}} (T_s - T_u) \quad (10)$$

missä  $\phi_{\text{joht}}$  = johtumislämpöteho kasvihuoneen vaipan läpi [W]

$U_{\text{joht}}$  = kasvihuoneen vaipan lämmönläpäisykerroin  $\left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} \right]$

$A_{\text{vaippa}}$  = kasvihuoneen vaipan pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$T_s$  = kasvihuoneen sisälämpötila [ $^\circ\text{C}$ ]

$T_u$  = ulkolämpötila [ $^\circ\text{C}$ ]

$$\phi_{\text{joht}} = \sum 6,67 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}} * 15,3 \text{ m}^2 * (20\text{ }^\circ\text{C} - 9,18\text{ }^\circ\text{C}) = 1103,65 \text{ W}$$

Kylmäsilloista aiheutuvat lämpöhäviötehot voidaan laskea kaavalla 17, jos tiedetään kaikki kaavan vaadittavat arvot. Muuten kylmäsiltojen vaikutus voidaan arvioida olevan noin 10 % ulkovaipan johtumislämpöhäviötehostä. Sijoittamalla kasvihuoneen vaipan-, alapohjan- ja kylmäsiltojen lämpöhäviötehot kaavaan 11 saadaan selville kasvihuoneen lämpötehon tarve. Tarkemman tuloksen

saavuttamiseksi laskuihin pitäisi ottaa huomioon myös kasvihuoneen vuotoilmat, tuloilmat sekä korvausilmat. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 65.)

$$\phi = \phi_{\text{joht}} + \phi_{\text{alapohja}} + (\phi_{\text{joht}} * 0,1) \quad (11)$$

$$\phi = 1103,65 \text{ W} + 131,03 \text{ W} + (1103,65 \text{ W} * 0,1) = 1345,04 \text{ W} = 1,345 \text{ kW}$$

Taulukon 13 normituslämmitystarveluvun sekä ulkoilman keskilämpötilan avulla saadaan laskettua halutun kuukauden huipunkäyttöaika. Normituslämmitystarvelukua tarvitaan, kun vertaillaan lämmitystarpeita (Suomen rakentamismääräyskokoelma D3 2012, 29). Kaavalla 12 saadaan halutun tarkasteluajan huipunkäyttöaika ja kaavalla 13 tarkasteluajan lämmitysenergian tarve. Laskuissa on käytetty syyskuun arvoja.

$$t_h = \frac{S * 24}{(T_s - T_u)} \quad (12)$$

missä  $t_h$  = tarkasteluajan huipunkäyttöaika [h]

$S$  = normituslämmitystarveluku [Kd]

$T_s$  = kasvihuoneen sisälämpötila [K]

$T_u$  = ulkolämpötila [K]

$$t_h = \frac{218 \text{ K} * 24 \text{ h}}{(293,15 \text{ K} - 282,33 \text{ K})} = 483,55 \text{ h}$$

$$Q = \phi * t_h \quad (13)$$

missä  $Q$  = tarkasteluajan lämmitysenergian tarve [kWh]

$\phi$  = kasvihuoneen lämpötehon tarve [kW]

$t_h$  = tarkasteluajan huipunkäyttöaika [h]

$$Q = 1,345 \text{ kW} * 483,55 \text{ h} = 650,39 \text{ kWh} \approx 650 \text{ kWh}$$

Laskujen perusteella pinta-alaltaan  $3,61 \text{ m}^2$  kasvihuoneen lämmitysenergian tarve syyskuussa on noin 650 kWh. Tästä lämmitysenergian tarpeesta vähennetään vielä auringon infrapunasäteilyn, eli lämpösäteilyn tuoma lämmitysenergianmäärä. Auringon kokonaissäteilystä noin 47 % on infrapunasäteilyä, mikä edesauttaa kasvihuoneen lämpenemistä (Jokinen, K., Kaukoranta, T., Näkkilä, J. & Särkkä, L. 2017, 6). Kaavalla 14 saadaan laskettua auringon kokonaissäteilyn määrä pinta-alaa kohden käyttäen taulukon 13 auringon kokonaissäteilyn arvoja. Kaavalla 15 selvitetään infrapunasäteilyn energian määrä, mikä läpäisee 75 % valon läpäisykykyisen polykarbonaatti-muovista valmistetun kasvihuoneen. Kasvihuoneen kokonaislämmitysenergian tarve saadaan kaavasta 16.

$$Q_{\text{aurinko}} = A * G \quad (14)$$

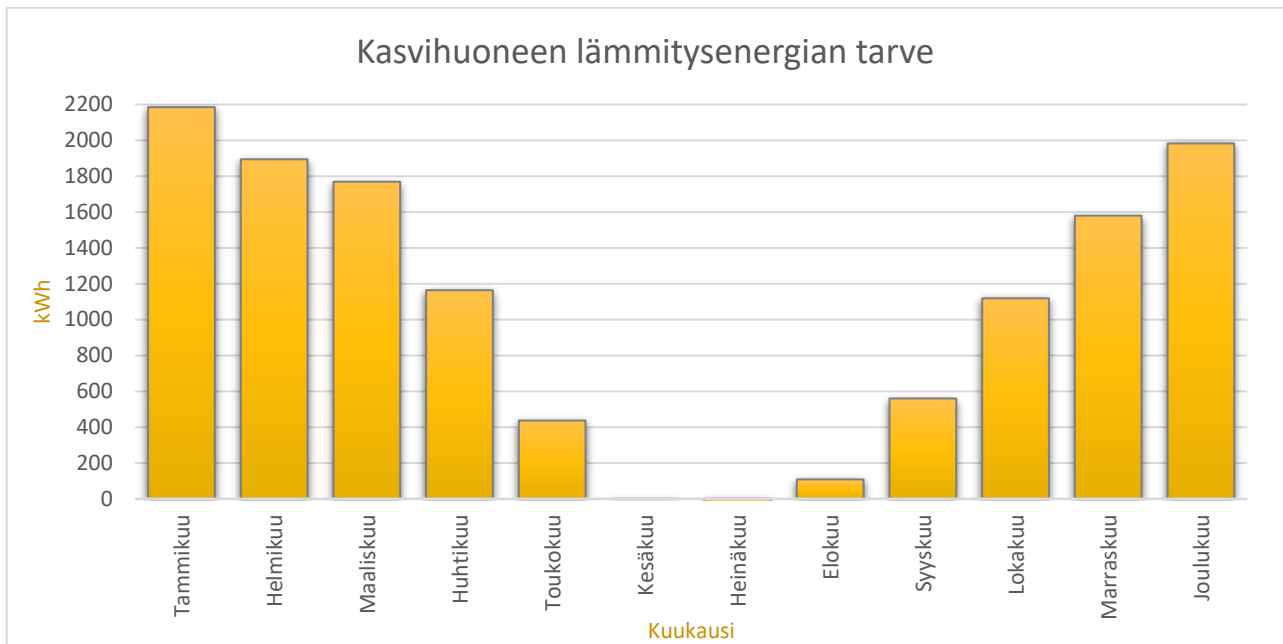
$$Q_{\text{aurinko}} = 3,61 \text{ m}^2 * 71,1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 256,67 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{säteily}} = Q_{\text{aurinko}} * (0,75 * 0,47) \quad (15)$$

$$Q_{\text{säteily}} = 256,67 \text{ kWh} * (0,75 * 0,47) = 90,48 \text{ kWh}$$

$$Q_{\text{koko}} = Q - Q_{\text{säteily}} \quad (16)$$

$$Q_{\text{koko}} = 650,39 \text{ kWh} - 90,48 \text{ kWh} = 559,92 \text{ kWh} \approx 560 \text{ kWh}$$



Kuvio 32. Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve kuukausittain

Kuvio 32 havainnollistaa kasvihuoneen lämmitysenergian tarpeen kuukausittain huomioiden aurin-  
gon infrapunasäteilyn vaikutuksen. Kasvihuoneen lämmitysenergian tarve syyskuussa olisi noin  
560 kWh. Kesä- ja heinäkuussa kasvihuone pysyisi yli 20 °C ilman lämmitysenergian tarvetta, kun  
taas tammikuussa tarvittava lämmitysenergian määrä olisi jopa 2185 kWh.

### 9.3.4 Täydentävät laskut

Kasvihuoneen energian tarvetta voidaan tarkentaa alla olevilla kaavoilla. Kylmäsilloista aiheutuvat  
lämpöhäviötehot saadaan laskettua kaavalla 17 (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 66).

$$\phi_{\text{kylmäsililat}} = \sum I_k * \Psi_k (T_s - T_u) \quad (17)$$

missä  $\phi_{\text{kylmäsililat}}$  = johtumislämpöteho kylmäsiltojen läpi [W]

$I_k$  = viivamaisen kylmäsilan pituus [m]

$\Psi_k$  = viivamaisen kylmäsilan lisäkonduktanssi  $\left[ \frac{W}{m^2 * K} \right]$

$T_s$  = kasvihuoneen sisälämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_u$  = ulkoilman lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Energia mitä tarvitaan vuotoilman lämpenemiseen, lasketaan kaavalla 18. Kaavaan 18 sijoitetaan vuotoilmavirran määrä kaavasta 19. Vuotoilmavirran laskemiseen tarvitaan ilmanvuotolukua, mikä saadaan kaavasta 20. (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2018, 21–22.)

$$Q_{\text{vuotoilma}} = \frac{\rho_i * c_{pi} * q_{v,\text{vuotoilma}} * (T_s - T_u) * \Delta t}{1000} \quad (18)$$

$$q_{v,\text{vuotoilma}} = \frac{q_{50}}{3600 * x} * A_{\text{vaippa}} \quad (19)$$

$$q_{50} = \frac{n_{50}}{A_{\text{vaippa}}} * V \quad (20)$$

missä  $Q_{\text{vuotoilma}}$  = vuotoilman lämpenemisen lämpöenergian tarve [kWh]

$\rho_i$  = ilman tiheys  $1,2 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

$c_{pi}$  = ilman ominaislämpökapasiteetti  $1000 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} \right]$

$q_{v,\text{vuotoilma}}$  = vuotoilmavirta  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

$T_s$  = kasvihuoneen sisälämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_u$  = ulkoilman lämpötila [ $^{\circ}\text{C}$ ]

$\Delta t$  = ajanjakson pituus [h]

$q_{50}$  = rakennusvaipan ilmanvuotoluku  $\left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h} * \text{m}^2} \right]$



$A_{\text{vaippa}}$  = kasvihuoneen vaipan pinta-ala [ $\text{m}^2$ ]

$x$  = kerroin eri kerroksisille rakennuksille

$n_{50}$  = kasvihuoneen ilmanvuotoluku 50 Pa:n paine-erolla  $\left[\frac{1}{\text{h}}\right]$

$V$  = kasvihuoneen tilavuus [ $\text{m}^3$ ]

Kasvihuoneeseen voidaan tarvittaessa lisätä valaisimia riittävän valon saannin varmistamiseksi. Valaisimien energiantarve voidaan laskea kaavalla 21.

$$E = p \cdot t \quad (21)$$

missä  $E$  = valaisimien energia [kWh]

$p$  = valaisimien teho [kW]

$t$  = valaisimien käyttöaika [h]

## 10 Yhteenveto

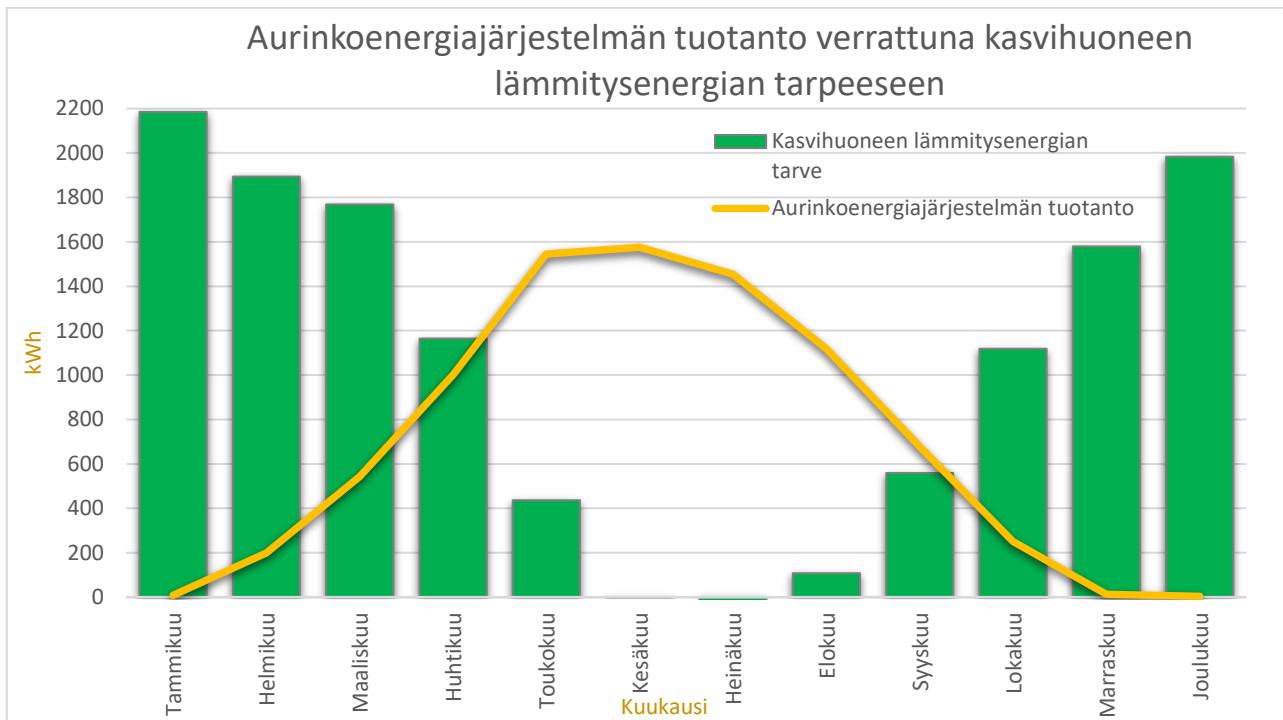
### 10.1 Tulokset

Opinnäytetyössä vertailtiin aurinkopaneelien, sekä aurinkokeräimien laskettua teoreettista energian tuotantoa toteutuneen tuotannon kanssa. Aurinkopaneelien toteutunut tuotanto vuoden aikana oli lähes 14 % teoreettista tuotantoa pienempi. Suurimmat prosentuaaliset erot toteutuneen ja teoreettisen tuotannon välillä oli loka- ja marraskuussa, jolloin järjestelmän tuotanto ei yltänyt odotuksiin. Aurinkokeräimien toteutuneen ja lasketun tuotannon välillä ilmeni suuria vaihteluja. Toteutunut tuotanto vuoden aikana oli jopa 42 % laskettua teoreettista tuotantoa pienempi. Tämä johtuu muun muassa siitä, että laitteiston- tai laskentaohjelman asetuksissa on todennäköisesti virhe.

Aurinkoenergiajärjestelmien tuotannon ja datan analysointi on varsin hankalaa, sillä aurinkoenergian saanti on riippuvainen monesta järjestelmän sisäisestä sekä ulkoisesta tekijästä. Kuitenkin suurimpiin tuotannon määrän heilahteluihin, sekä eroihin toteutuneen ja lasketun teoreettisen tuotannon välille löytyy looginen yhteys. Auringon säteilyn intensiteetti heittelee reilusti vuodenajan, sekä sään mukaan. Aurinkoenergiajärjestelmien tuotannon vaihtelevuuteen vaikuttaa voimakkaasti pilvisuus. Pilven osuessa järjestelmän ja auringon tielle, saa se aikaiseksi säteilyn intensiteetin- sekä tehon hetkellisen laskun.

Koska tuotanto voi vaihdella huomattavasti eri vuosina ei hyvin tarkka tehoarvio tuotannosta ole olennainen, sillä se ei välttämättä vastaa muiden vuosien realiteettia. Opinnäytetyön mitoitukset antavat suuntaa antavan kuvan mahdollisesta kasvihuoneen käytöstä. Esimerkkilaskelmien perusteella pinta-alaltaan 3,61 m<sup>2</sup> kasvihuonetta olisi voinut käyttää noin 20 ° C asteessa toukokuu-syyskuun välisenä aikana. Myös huhtikuun aikana kasvihuonetta pystyttäisiin ylläpitämään korkeassa lämpötilassa käyttäen aurinkoenergiajärjestelmää hyödyksi. Jatkossa esimerkkilaskelmissa käytettyä Microsoft Excel-tiedostoa voi käyttää apuna, kun mitoitetaan eri kokoisia sekä eri materiaalista valmistettuja kasvihuoneita.

Kuviossa 33 nähdään kasvihuoneen lämmitysenergian tarve, sekä aurinkoenergiajärjestelmän tuotanto yhdessä. Aurinkoenergiajärjestelmän tuotantoon on laskettu yhteen sekä aurinkopaneelien tuotanto vuodelta 2020, että aurinkolämpöjärjestelmän teoreettinen tuotanto, kun keräimien tuotto on  $400 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ . Touko-elokuussa järjestelmän tuotanto on suurimmillaan, kun taas kasvihuoneen lämmitysenergian tarve on vähäinen. Tämän takia kesän aikana kertynyttä ylituotantoa olisi hyvä pyrkiä hyödyntää esimerkiksi käyttöveden kulutukseen tai huonetilojen lämmitykseen. Suomessa kasvihuoneiden lämmittäminen aurinkoenergiajärjestelmillä talven aikana on erittäin haastavaa, sekä taloudellisesti huono ratkaisu.



Kuvio 33. Aurinkoenergiajärjestelmän tuotanto verrattuna kasvihuoneen lämmitysenergian tarpeeseen

## 10.2 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyö toteutettiin hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen, jotta tuloksista saadaan uskottavia, sekä eettisesti hyväksyttäviä, että luotettavia. Eettisyys otettiin huomioon muun muassa tiedostomuodon, tiedonhallinnan sekä tietojen siirron turvallisamisessa, kirjaamalla tietojen, sekä kuvien tarkat lähteet näkyviin ja merkitsemällä lähdeviittaukset oikeaoppisesti huomioiden tekijänoikeudet. Eettisyyttä tarkasteltiin myös arvioitaessa tulosten luotettavuutta.

Opinnäytetyön teoreettista viitekehystä voidaan pitää varsin luotettavana, sillä työssä hyödynnettiin monipuolisesi useita ajantasaisia suomalaisia ja ulkomaisia kirjallisuus- ja verkkojulkaisuja. Työssä suosittiin alkuperäisiä lähteitä ja käytettyjen tietojen oikeellisuutta varmistettiin vertailemalla niitä myös muihin lähteisiin samankaltaisuuden todentamiseksi. Opinnäytetyön aihealue on melko laajasti tutkittua ja aiheesta löytyy nykyään runsaasti aineistoa. Nopeasti kehittyvän aurinkoenergiateknologian vuoksi lähteiden ajantasaisuus on yksikeino varmistaa työn luotettavuutta. Opinnäytetyöstä on myös pyritty jättämään liiketoimintaa harjoittavien tahojen materiaaleja ja

mainoksia pois, välttääkseen puolueellisia, sekä vääristyneitä tietoja. Myös oma hankittu tieto aurinkoenergiasta aikaisemmasta työkokemuksesta paransi lähdekriittisyyttä.

Työn laskujen lopputuloksiin pitää silti suhtautua varauksella muun muassa lähtötietojen ja laskuvirheiden takia. Myös aurinkoenergiajärjestelmän tietoihin pitää suhtautua varauksella, sillä järjestelmän tietojen saannin kanssa ilmeni välillä ongelmia sekä puutteita. Mahdolliset mittausepävarmuustekijät kuten mittaushäiriöt ja mittausvirheet ovat myös mahdollisia. Aurinkoenergian tuotanto ja sääolosuhteet ovat monen muuttujan tekijöitä, mitkä voivat vaihdella eri vuosina runsaasti. Tämän takia vertailemalla useamman vuoden ajalta järjestelmän- sekä sääaseman dataa lisäisi tuloksien tarkkuutta ja luotettavuutta.

### **10.3 Aurinkoenergian tulevaisuus ja kehitys**

Ilmastonmuutoksen torjuminen on lähes jokapäiväinen puheenaihe, kuten myös uusiutuvat energianlähteet, mihin aurinkoenergia kuuluu. Aurinkoenergiajärjestelmien kapasiteetin määrän odotetaan lisääntyvän tulevaisuudessa. Myös asenteet aurinkosähköä kohtaan ovat hyvät ja vihjaavat käytön kasvuun. Iroresearchin toteutetun tutkimuksen mukaan jopa 89 % suomalaisista haluaisi lisätä aurinkosähkön määrää sähköntuotannossa (Energia-asenteet 2020). Nykyään aurinkoenergiajärjestelmiä on jo laajasti käytössä ympäri maailmaa, mutta niillä tuotettu energian määrä on vielä niukka verraten muihin energiantuotantomuotoihin.

Aurinkoenergiateknologiaa on kehitetty paljon ja nykyisin järjestelmät ovat käyttövarmuudeltaan hyvin luotettavia. Kehityksen ansiosta investointi järjestelmiin ei ole enää pelkästään tukien ansiosta järkevä. Aurinkoenergiateknologian kehityksen pitäisi jatkua myös tulevaisuudessa, laajemman tuotannon ja pientuotannon kannattavuuden mahdollistamiseksi. Haasteena aurinkosähkön hyödyntämiselle on järjestelmien korkea kokonaishinta suhteessa tuotettuun energian määrään sekä akkuteknologian kannattavuus.

Jotta aurinkosähköllä katettaisiin edullisesti suurempaa osaa sähkön tuotannosta, on aurinkosähköjärjestelmien tuotantokustannukset tultava alaspäin. Teknologian kehittyessä järjestelmien hinnat putoavat, hyötysuhteen ja käyttöiän kasvaessa. Odotan mielenkiinnolla, miten aurinkoenergian hyödyntäminen kehittyy. Uskon aurinkosähköjärjestelmien yleistyvän vahvasti myös

tulevaisuudessa, jolloin kehittyneen akkuteknologian sekä älykkään sähköverkon ansiosta energian käyttäjistä tulee osittain myös energian tuottajia.

## 10.4 Pohdinta

Opinnäytetyössä käytiin läpi aurinkoenergian perusteet, aurinkoenergian hyödyntäminen ja tarkasteltiin aurinkoenergiajärjestelmästä saatua dataa. Työn yhtenä tarkoituksena oli esittää visuaalisomalla aurinkoenergiajärjestelmästä kertyvää dataa selvempään muotoon energiajärjestelmien opiskelua sekä viestinnällisiä tavoitteita varten. Tämä toteutettiin esittämällä aurinkoenergiajärjestelmän sähkö- ja lämpöenergian tuotantoja usean kaavion avulla. Lisäksi tutkittiin mahdollisen kasvihuoneen suunnittelun toteutusta, jotta käytössä oleva aurinkoenergiajärjestelmä saataisiin paremmin mukaan opetukseen. Opinnäytetyössä suunniteltu pienimuotoisen kasvihuoneen mitoitus toimii hyvänä pohjana sen mahdolliselle toteutukselle.

Opinnäytetyö oli ajoittain työläs ja haastava, sekä työn aikataulu venyi alkuperäisestä tavoitteesta. Materiaalin kerääminen ja sen analysointi eteni hyvin aikataulun mukaan, mutta tietoperustan kirjoittaminen ja varsinkin tulokset ja niiden analysointi viivästytti työn toteutusta. Opinnäytetyö oli kokonaisuudessaan varsin opettavainen kokemus, mikä kehitti keräämään tietoja, sekä analysoimaan ja tulkitsemaan niitä paremmin. Työ lisäsi kiinnostusta uusiutuvaa energiaa kohtaan entises-tään, sekä kasvatti osaamista aurinkolämpö- ja aurinkosähköteknologiaa ja siihen tarvittavia komponentteja kohtaan. Työ opetti myös huomioimaan monet muuttujat, mitkä vaikuttavat aurinkoenergiajärjestelmistä saatavaan tuotantoon.

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen ja erittäin kiinnostava johtuen muun muassa aiemmin mukana olleista aurinkovoimaloiden asennusprojekteista. Myös opinnäytetyö on kokonaisuudessaan projekti ja projekteissa on kehitettävää aina. Esimerkiksi laskuihin olisi voitu lisätä kasvihuoneen vuotoilmat, tuloilmat, korvausilmat, lämpökuormat sekä investoinnin kokonaishinnat. Tulevaisuudessa mahdollista kasvihuonetta voitaisiin kehittää lisäämällä sisälle valaisimia kasvien yhteyttämi-sen parantamiseksi. Halutessaan myös automaattinen kastelujärjestelmä sekä ilmanvaihtojärjestelmä olisi mahdollista toteuttaa kasvihuoneeseen.

Työssä olisi voitu ottaa esille paremmin aurinkoenergiajärjestelmän suuntauksen sekä kallistuskulman vaikutusta tuotantoon, vaikkakin järjestelmän alkuperäistä sijaintia ei ollut tarkkaan tiedossa.

Aurinkokeräinjärjestelmän kanssa ilmeni myös puutteita. Keräinjärjestelmästä saatavan datan perusteella vuoden tuotanto olisi vain noin puolet saman kokoluokan järjestelmästä. Tämä saattaa johtua muun muassa laitteiston- tai laskentaohjelman asetuksen viasta tai energiavaraajan lämpöenergian rajoittamisesta. Järjestelmän kytkentöjen tarkastus ja tuloksien lukemien varmennus olisi hyvä tehdä esimerkiksi keväällä-kesällä, jolloin aurinkolämmön tuotantoa on jälleen saatavilla. Opinnäytetyössä haastavinta oli järjestelmän datan analysointi, laskut ja aikataulussa pysyminen, mutta lopulta työstä onnistuttiin saamaan suunnitelman mukainen, selkeä sekä helppolukuinen kokonaisuus.

## Lähteet

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 26.5.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringonsateilyn\\_maara\\_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa).

Auringosta sähköä. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 13.7.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon\\_perusteet/auringosta\\_sahkoa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringosta_sahkoa).

Aurinkoenergiaopas. 2013. Opas. Finnwind. Viitattu 26.5.2021. <http://www.uusiutuvaenergia.eu/aurinko/Aurinkoenergiaopas-Finnwind.pdf>.

Aurinkokeräimet. N.d. Artikkelin aurinkovoiman www-sivuilla. Viitattu 2.12.2021. <http://aurinkovoima.fi/fi/usein-kysyttya/aurinkokeraimet-usein-kysyttya>.

Aurinkolämpöjärjestelmät. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat).

Aurinko-opas. 2012. Aurinkolämmön ja –sähkön energiantuoton laskennan opas. Viitattu 20.11.2021. [https://www.motiva.fi/files/16488/Aurinko-opas\\_2012\\_-\\_Aurinkolammon\\_ja\\_sahkon\\_energiantuoton\\_laskennan\\_opas.pdf](https://www.motiva.fi/files/16488/Aurinko-opas_2012_-_Aurinkolammon_ja_sahkon_energiantuoton_laskennan_opas.pdf).

Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2021. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 13.7.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/aurinkosahkojarjestelman\\_teho](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho).

Aurinkosähköjärjestelmät. N.d. Artikkelin Tukesin www-sivuilla. Viitattu 13.7.2021. <https://tukes.fi/sahko/sahkotyot-ja-urakointi/aurinkosahkojarjestelmat>.

Aurinkosähköteknologiat. 2021. Artikkelit Motivan www-sivuilla. Viitattu 13.7.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat).

Chianetta, G., Hemetsberger, W. & Schmela, M. 2020. Global Market Outlook For Solar Power / 2020 – 2024. Solar Power Europe. Viitattu 19.5.2021. [https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf\\_id=33088](https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2020/07/31-SPE-GMO-report-hr-hyperlinks.pdf?cf_id=33088).

Country and regional maps. 2019. Säteilypöytä Euroopan Komission www-sivuilla. Viitattu 29.5.2021. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_index.html](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html).

Energia-asenteet. 2020. keskustelu energian hinnasta vienyt huomion ilmastomuutokselta Päästöttömän sähköntuotannon suosio kääntyi laskuun. Artikkelit Energiateollisuus ry:n verkkosivuilla. Viitattu 3.6.2021. [https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energia-asenteet\\_keskustelu\\_energian\\_hinnasta\\_vienyt\\_huomion\\_ilmastonmuutokselta\\_paastottoman\\_sahkontuotannon\\_suosio\\_kaantyi\\_laskuun.html](https://energia.fi/uutishuone/materiaalipankki/energia-asenteet_keskustelu_energian_hinnasta_vienyt_huomion_ilmastonmuutokselta_paastottoman_sahkontuotannon_suosio_kaantyi_laskuun.html).

Energiavuosi 2020 – sähkö. 2021. Esitys energioteollisuus ry:n www-sivuilla 4.2.2021. Viitattu 19.5.2021. <https://energia.fi/tilastot/sahkotilastot>.

Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas, aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo: Aurinkoteknillinen Yhdistys.

Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A., Tahkokorpi, M. & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

Ilmakeräimet. 2020. Artikkelit Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet).

Ilmastomuutos ja energia. 2010. Esitysmateriaalia ilmastomuutoksesta ja energiasektorista. Esitys Energiateollisuus ry. Viitattu 30.5.2021. <https://www.slideshare.net/energiateollisuus/ilmastonmuutos-ja-energia>.



Installation and safety instructions IEC version. 2013. Recom solarin julkaisu aurinkopaneeleista. Viitattu 15.8.2021. <file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/Sovej%201%20PV%20modul.pdf>.

Jokinen, K., Kaukoranta, T., Näkkilä, J. & Särkkä, L. 2017. LED-valotusta kasvihuoneeseen. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus. Viitattu 20.11.2021. [file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/luobio\\_13\\_2017%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/luobio_13_2017%20(1).pdf).

Kananen, J. 2015. Opinnäytetyön kirjoittajan opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Nestekiertoiset keräimet. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet).

Newkirk, M. 2016. How Solar Power Works, On-Grid, Off-Grid And Hybrid. Verkkójulkaisu Cleanenergyreviewsin verkkosivuilla. Viitattu 3.5.2021. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>.

Newkirk, M. 2014. What are monocrystalline, polycrystalline and thin film solar panels?. Kuvio Clean energy reviewsin verkkosivuilla. Viitattu 13.7.2021. <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/pv-panel-technology>.

Nova aurinkokeräimet. 2015. Solartukun esite aurinkolämmöstä. Viitattu 24.8.2021. [https://lvinero.fi/wp-content/uploads/2016/01/Solartukku\\_Nova\\_aurinkolampo\\_esite.pdf](https://lvinero.fi/wp-content/uploads/2016/01/Solartukku_Nova_aurinkolampo_esite.pdf).

Photovoltaics Report. 2021. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, ISE with support of PSE Projects GmbH. Viitattu 25.11.2021. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>.

Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkosahkojarjestelman\\_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen\\_perustuva\\_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohjakulutukseen_perustuva_mitoitus).

Renewable Energy Statistics. 2020. IRENA:n julkaisu uusiutuvista energianlähteiden käytöstä. Viitattu 28.7.2021. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA\\_Renewable\\_Energy\\_Statistics\\_2020.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Jul/IRENA_Renewable_Energy_Statistics_2020.pdf).

Solar Heat Worldwide. 2021. IEA:n julkaisu aurinkolämmöstä maailmanlaajuisesti. Viitattu 17.8.2021. <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/Solar-Heat-Worldwide-2021.pdf>.

Stanghellini, C., Ooster, A. & Heuvelink, E. 2019. Greenhouse horticulture: Technology for optimal crop production. Wageningen: Wageningen Academic Publishers.

Sun Fact Sheet. 2018. Tiedote. NASA. Viitattu 26.5.2021. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/plenary/factsheet/sunfact.html>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma. 2018. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki: ympäristöministeriö. Viitattu 21.10.2021. [https://www.motiva.fi/files/16484/Energiatehokkuus\\_-\\_Rakennuksen\\_energiankulutuksen\\_ja\\_lammitystehontarpeen\\_laskenta.pdf](https://www.motiva.fi/files/16484/Energiatehokkuus_-_Rakennuksen_energiankulutuksen_ja_lammitystehontarpeen_laskenta.pdf).

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2012. Lämmöneristys. Helsinki: ympäristöministeriö. Viitattu 21.10.2021. <file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/C4-2012%20L%C3%A4mm%C3%B6neristys,%20Luonnos%2016-3-2012.pdf>.

Suomen rakentamismääräyskokoelma D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Helsinki: ympäristöministeriö. Viitattu 21.10.2021. [file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/D3-2012\\_Suomi%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/Omistaja/Downloads/D3-2012_Suomi%20(3).pdf).

Tasokeräimet. 2020. Artikkelit Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet/tasokeraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet).

The portal for your solar and heating system. 2021. Vbus.net www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021. <https://www.vbus.net/#/devices>.

Tule mukaan tulevaisuuteen. N.d. Biotalouskampuksen www-sivuilla. Viitattu 18.4.2021.

<https://biotalouskampus.fi/fi/>.

Tyhjiöputkikeräimet. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 24.7.2021. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet/tyhjioputkikeraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet).

Viessmann, W. 2009. Technical guide, solar thermal systems. PDF- dokumentti. Viitattu 28.7.2021.

[https://zonnecollector-info.nl/pdf/handboek/handboek\\_GB.pdf](https://zonnecollector-info.nl/pdf/handboek/handboek_GB.pdf).

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2020. Artikkelin Motivan www-sivuilla. Viitattu 3.5.2021.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta /tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma).