



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# UUSIUTUVAN ENERGIAN KÄYTTÖ SUORASÄHKÖLÄMMITTEISESSÄ KIINTEISTÖSSÄ

TEKIJÄ: Hanna Asikainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Energiatekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä Hanna Asikainen			
Työn nimi Uusiutuvan energian käyttö suorasähkölämmitteisessä kiinteistössä			
Päiväys	05.03.2020	Sivumäärä/Liitteet	40
Ohjaaja(t) Tanja Pentinsaari, Markku Huhtinen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Tiivistelmä Työn tarkoituksena oli tarkastella uusiutuvan energian käyttöä suorasähkölämmitteisessä kiinteistössä. Tavoitteena oli saada tietoa, minkälainen järjestelmä on järkevämpi kotitaloudelle. Järjestelmät, joita vertailtiin toisiinsa, olivat aurinkosähkö ja aurinkolämpö. Kohteeseen oli harkittu aikaisemmin hankittavan aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmillä pystyttäisiin tuottamaan energiaa paikan päällä ja vähentämään samalla kiinteistön sähkön kulutusta.  Kohteeseen sopii 3-4 kWp aurinkosähköjärjestelmä. Aurinkolämpöjärjestelmällä pystytään tuottamaan noin 27-35% lämminkäyttöveden lämmöntarpeesta. Lämminkäyttöveden lämmittämiseen tarvitaan 2-3 keräintä riippuen lämpökeräimistä ja niiden ominaisuuksista. Aurinkopaneelien hankinta on järkevämpi kohteeseen.			

Avainsanat

Aurinkosähkö, aurinkolämpö, ilmalämpöpumppu.

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Engineering			
Author Hanna Asikainen			
Title of Thesis Using Renewable Energy in a Property with Direct Electric Heating			
Date	5 March 2020	Pages/Appendices	40
Supervisor(s) Tanja Pentinsaari, Markku Huhtinen			
Client Organisation /Partners			
Abstract <p>The purpose of the work was to look at the use of renewable energy in a property with direct electric heating. The aim was to get information on what kind of system is more sensible for the household.</p> <p>In the study the photovoltaic system and solar heat were compared to each other. In the household the purchase of photovoltaic systems had been considered several times. The systems would be able to produce energy on the spot while reducing the electricity consumption of the property.</p> <p>As a result of the study it can be said that a suitable photovoltaic system is 3-4 kWp. The solar thermal system covers 27- 35% of the annual hot water requirement. For heating hot water, two or three collectors are required depending on the heat collector. The purchase of solar panels is more sensible to the household.</p>			
Keywords photovoltaic, solar heat, air source heat pump.			

## SISÄLLYS

LYHENTEET .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 SÄTEILYENERGIAA AURINGOSTA .....	9
2.1 Aurinkoenergian historia .....	9
2.2 Auringon hyödyntäminen Suomessa .....	10
2.2.1 Energian keruun tehostaminen .....	11
3 AURINKOSÄHKÖ .....	13
3.1 Tekniikka .....	13
3.1.1 Aurinkosähköpaneelin lämpötila ja ympäristö .....	15
3.2 Aurinkosähköjärjestelmä .....	15
3.2.1 On- grid-järjestelmä .....	15
3.2.2 Mitoitus .....	16
4 AURINKOLÄMPÖ .....	17
4.1 Aurinkolämpöjärjestelmän sijoittelu, suuntaus ja kallistuskulma .....	18
4.2 Hyötysuhde .....	19
4.3 Kokonaisjärjestelmän mitoittaminen .....	20
5 LÄMPÖPUMPPU .....	21
5.1 Ilmalämpöpumppu .....	21
6 KIINTEISTÖN TIEDOT .....	23
7 LASKENTA .....	25
7.1.1 Rakennuksen vuotuisen lämmitysenergian laskenta .....	25
7.2 Aurinkosähkö .....	26
7.3 Aurinkolämpö .....	30
8 LAITTEISTON VERTAILEMINEN .....	33
8.1 Aurinkosähkö .....	33
8.2 Aurinkolämpö .....	34
8.3 Sähkönsiirto ja sähkö .....	35
9 TULOKSET .....	36
10 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	37
11 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	39



## LYHENTEET

Hyötysuhde= teknisestä laitteesta hyödyksi saatavan energiamäärän suhde tekniseen laitteeseen sisään menevään energiamäärään, esimerkiksi aurinkopaneeleilla paneeleista ulos saatavan sähkö-energiamäärän suhde paneeleille lankeavan auringon säteilyenergian määrään.

Nimellisteho piikkiwatti  $W_p$ = Aurinkopaneelin enimmillään tuottamaa tehoa standardiolosuhteissa. Ulkolämpötila on 25 °C ja paneelille tuleva hetkellinen säteily määrä 1 000 W/m<sup>2</sup>.

$A$ = pinta-ala

$c_p$ = ominaislämpökerroin

$q_v$ = ilmanvaihtokerroin

$Q_{norm}$ = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{toteutunut}$ = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

$Q_{kok}$ = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

$Q_{lämminkäyttövesi}$ = käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia

$S$ = astepäiväluku

$S_{N\ vpkunta}$ = normaalivuoden tai- kuukauden (1981-2010) lämmitystarveluku paikkakunnalla

$S_{N\ vpkunta}$ = toteutunut lämmitystarveluku vuosi-tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

$U$ = rakenteiden  $u$ -arvot

$V$ = lämpimän veden tilavuus kuutiona

$\rho$ = tilavuus / 3600 h

$\eta$ = ilmanvaihdon talteenoton hyötysuhde

$\eta$ = vuodon suuruus

$\rho$  = veden tiheys

$\Delta t$ = vedenlämpötilan muutos

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoitus on tarkastella uusiutuvan energian käyttöä suorasähkölämmitteisessä kiinteistössä. Tavoitteena on saada tietoa, minkälainen järjestelmä on järkevämpi kiinteistölle. Järjestelmät mitä vertaillaan toisiinsa ovat aurinkosähkö ja aurinkolämpö. Työssä on otettu mukaan myös ilmalämpöpumpun tarkastelu kohteessa.

Kiinteistöön hankittiin ilmalämpöpumppu keväällä 2019 vähentämään talven lämmityskustannuksia ja autotallissa lämmitysmuotona ilmalämpöpumppu on ollut jo 10 vuotta. Kohteeseen on harkittu useasti aurinkosähköjärjestelmien hankkimasta. Kiinnostus aurinkosähkö ja -lämpöjärjestelmiin on lisääntynyt laitteistojen halpenemisen ja sähkönsiirron kallistumisen myötä vuosien kuluessa. Aurinkosähkö- ja lämpöjärjestelmien avulla pystyttäisiin tuottamaan uusiutuvaa energiaa paikan päällä ja vähentämällä samalla kiinteistön osto sähkön osuutta.



## 2 SÄTEILYENERGIAA AURINGOSTA

Maapallo kiertää aurinkoa noin 150 miljoonan kilometrin etäisyydellä. Säteilyenergiaa kuitenkin riittää maapallolle saakka. Auringon energia syntyy fuusioreaktiossa. Reaktio tapahtuu Auringon ytimessä korkeassa kuumuudessa. Kun kaksi vetyatomia ydintä yhtyy heliumatomiksi, vapautuu suuri määrä energiaa. Maahan saapuu energiaa joka hetki 175 biljoonan kilowatin teholla. (Perälä 2017, 8.)

Aurinkovakio on auringon säteilyn intensiteetin teoreettinen yläraja maapallon ilmakehän ulkopuolella. Maapallolle tuleva auringonsäteilyn teho on 1360-1370 wattia neliömetrille (Lehto 2017,9). Maan pinnalle säteilyteho on pienempi, sillä ilmakehä suodattaa ja heijastaa osan säteilystä.

Ilmakehän läpi maan pinnalle tuleva säteily voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: suoraan auringonsäteilyyn, hajasäteilyyn ja vastasäteilyyn. Suora auringonsäteily tarkoittaa suoraan ilmakehän läpi tulevaa säteilyä. Hajasäteily on ilmakehän pilvien ja molekyylien heijastamaa säteilyä. Vastasäteily aiheuttaa ilmakehän vesihöyry, hiilidioksidi ja otsoni, jotka säteilevät lämpöä takaisin maanpinnalle. (Aurinko-opas 2008, 12.)

Aamulla ja illalla auringon säteilytehon määrä on vähäisempi kuin keskipäivällä, koska säteily joutuu kulkemaan pidemmän matkan ilmakehässä. Säteilyteho on pienempi talvella kuin kesällä, koska auringon säteily on kulkenut pidemmän matkan johtuen maapallon akselikulmasta.

### 2.1 Aurinkoenergian historia

Passiivista aurinkoenergiaa on hyödynnetty pitkään talojen lämmittämiseen. Aurinkoenergialla toimivia lämpövoimakoneita kehiteltiin jo 1800-luvulla ja paranneltiin 1900-luvun alussa.

Markkinoille tuli jo 1800-luvun lopulla aurinkokeräimiä, jotka lämmittivät vettä. Aurinkokeräinmarkkinoihin vaikutti energian hinnan vaihtelu. Öljy- ja maakaasuteollisuuden nousu tyrehtyi aurinkokeräinmarkkinoiden nousukauden halvan energian hinnan takia. Toisesta maailmansodasta johtuva väliaikainen energian hinnan nousu käynnisti jälleen aurinkokeräinten tuotannon, joka tipahti uudestaan energian halpenemisen seurauksena. (Käpylehto 2016, 16.)

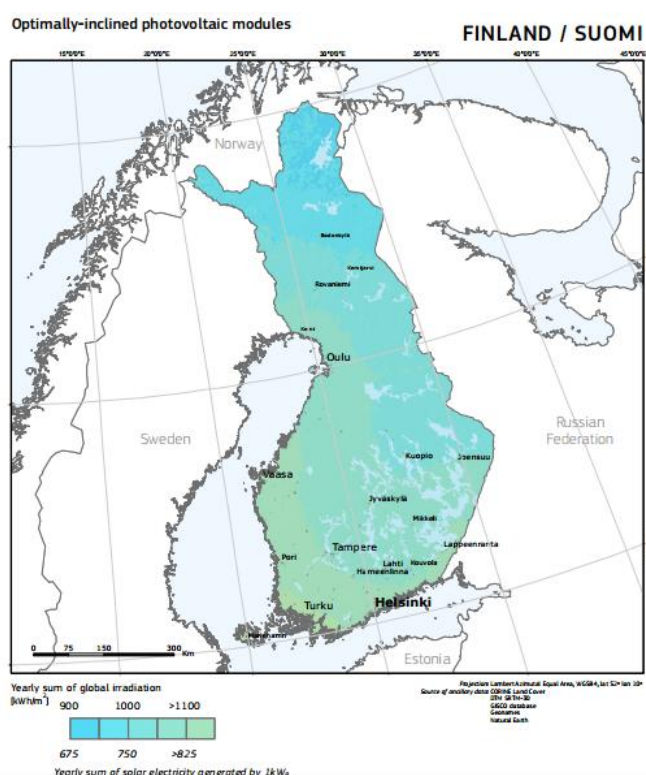
Kiinassa oli vuonna 1982 noin 30 000 aurinkokeräintä. Kymmenen vuotta myöhemmin niitä oli jo tuhat kertaa enemmän eli yli 30 miljoonaa ja vuonna 2013 jo noin 200 miljoonaa. Koko maailmassa oli vuonna 2009 reilut 50 miljoonaa aurinkokeräintä. (Käpylehto 2016, 16.)

Aurinkokennojen läpimurto tapahtui 2000-luvun ensimmäisinä vuosina. Saksan liittotasavallan politiikka pakotti saksalaiset kotitaloudet ostamaan aurinkopaneeleja niin sanotun syöttötariffin kautta. Syöttötariffi takasi verkkoon myydystä sähköstä tietyn sovitun markkinahinnan, joka oli käypää markkinahintaa korkeampi. Aurinkoenergiaa suosivan politiikan seurauksena Saksaan asennettiin

lyhyessä ajassa 1,3 miljoonaa verkkoon kytkettyä aurinkosähköjärjestelmää. Saksan ja muiden maiden satsauksien ansiosta aurinkopaneelien hinnat laskivat ja niistä tuli taloudellisesti kiinnostavampia hankkia. (Käpylehto 2016, 25-27.)

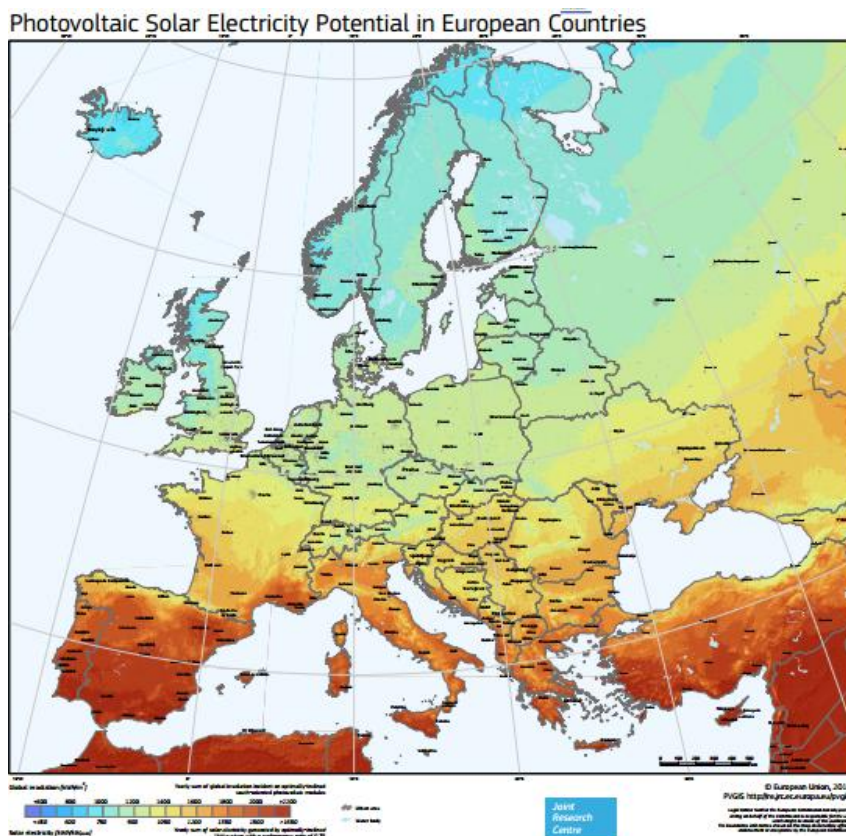
## 2.2 Auringon hyödyntäminen Suomessa

Suomessa auringon säteily jakautuu vuositason suhteellisen epätasaisesti. Etelä-Suomessa aurinkosäteilyn energia on vuositason noin 1000 kWh/m<sup>2</sup> ja Keski-Suomessa noin 900 kWh/m<sup>2</sup>. Aurinkosäteilyn voimakkuus ja laitteen suuntaus vaikuttavat aurinkoenergialaitteeseen tulevaan säteilyyn. (Aurinko-opas 2008, 13.)



KUVA 1. Suomen säteilykartta ja aurinkosähkön vuosittainen tuotantopotentiaali kWh/m<sup>2</sup>. (PVGIS, 2019-12-14)

Suomessa ilman sameus lisääntyy kesän aikana ja vähentää suoran säteilyn määrää. Suora säteily vähenee huomattavasti jo yläpilvikerroksessa, keskipilvet päästävät läpi vain osan säteilystä, ja alapilvet ovat lähes täysin läpäisemättömiä. Talvella pilvipeite on monesti tasainen ja laaja. Maaliskuussa vallitsee myös usein yleisesti pitkiä pilvettömiä jaksoja. Kesälle ovat tyypillisiä cumuluspilvet. Sisämaassa ne syntyvät tavallisesti puolen päivän aikaan ja häviävät illalla. (Tahkokorpi 2016, 27-28.)



KUVA 2. Euroopan säteily kartta. (PVGIS, 2019-12-14)

### 2.2.1 Energian keruun tehostaminen

Aurinkopaneelit tulee sijoittaa varjottomaan paikkaan. Varjostukset vaikuttavat energiantuottoon huomattavasti. Varjostuksia aiheuttavat muun muassa kasvillisuus ja rakennukset. Pienikin varjostus voi heikentää koko paneelin tuotantoa.

Paras tuotto saavutetaan suuntaamalla paneelit etelään. Atsimuuttikulman (eli poikkeama etelästä) suuntaus etelään on  $0^\circ$ , länteen  $+90^\circ$  ja itään  $90^\circ$ . Järjestelmä kannattaa suunnata idän suunnalle, jos sähkön kulutushuippu on aamulla ja vastaavasti lännen suunnalle, jos kuormitushuippu on illalla. Haittapuolena tällöin on kuitenkin kokonaisvuosituoton aleneminen.

Nyrkkisääntö parhaalle kallistuskulmalle vuositasolla on noin leveysaste  $-20$  astetta. Keskimääräinen optimikallistus Suomessa on lähelle  $40-45$  astetta. Optimikallistus vaihtelee paikkakunnan mukaan. Tällöin laite antaa vuositasolla parhaan mahdollisen tehon. Jos laitteen kallistuskulmaa voidaan säätää vuoden mittaan, on kallistuskulma mahdollista optimoida eri vuoden ajoille. Tällöin kallistuskulma on kesällä pienempi kuin  $35$  astetta ja syksyllä ja talvella suurempi kuin  $50$  astetta. (Tahkokorpi 2016, 18.)

TAULUKKO 1. Säteily/vrk eri kallistuskulmilla, suuntaus Helsingissä etelään ilman varjostuksia (kWh/m<sup>2</sup>/päivä). (Solarelectricityhandbook, 2019-12-14)

Kuukausi	30°	45°	90°
Tammi	0,85	0,77	0,85
Helmi	2,13	2,02	2,02
Maalis	3,54	3,51	3,07
Huhti	4,48	4,68	3,5
Touko	4,99	5,42	3,64
Kesä	4,76	5,27	3,38
Heinä	4,72	5,19	3,4
Elo	4,12	4,39	3,13
Syys	3,27	3,32	2,72
Loka	1,94	1,88	1,77
Marras	1,23	1,13	1,22
Joulu	0,63	0,56	0,65

### 3 AURINKOSÄHKÖ

Aurinkopaneeli koostuu alumiinirungosta, takalevystä, kennoista sekä lasilevystä. Aurinkopaneelin kennot muuttavat auringon valon suoraan sähköenergiaksi. Kennon puolijohteessa fotonin saa aikaan varauksenkuljettajia ja sitä kautta sähkövirran. Rakenne on kemiallisesti stabiili, eikä siinä ole liikkuvia osia. (Käpylehto 2016, 59.)

Aurinkokennojen materiaali on maaperästä saatava puolijohdemateriaali pii (Si), jota voidaan käyttää yksi- ja monikiteisenä sekä myös amorfisessa muodossa. Puolijohteita voidaan seostaa eri materiaaleilla, jotta saadaan parempi johtavuus kuin pelkälle puolijohteelle. (Lehto 2017, 10.)

Markkinoilla olevissa aurinkopaneeleissa käytetään useimmiten yksi- tai monikiteisiä piikennoja. Ohutkalvopaneeleissa käytetään materiaalina amorfista piitä.

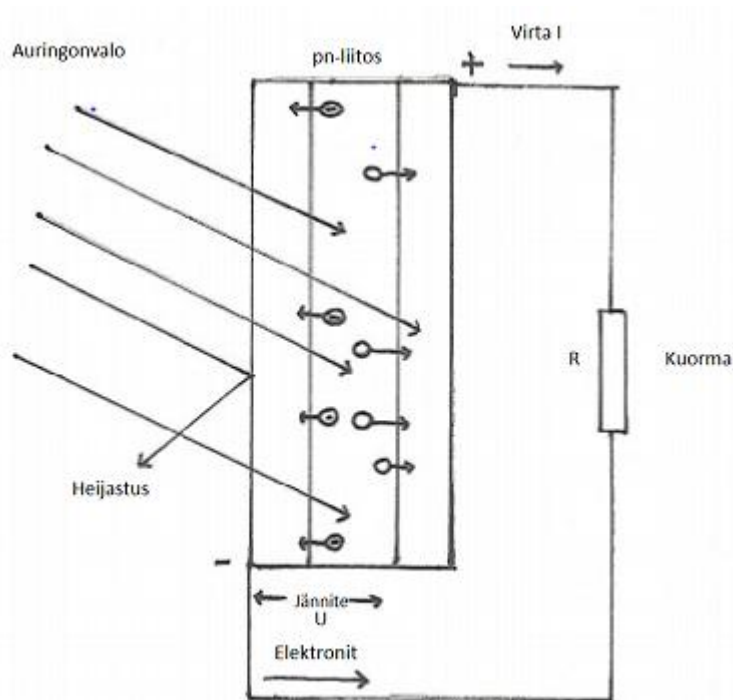


KUVA 3. Aurinkopaneeli. (Asikainen, 06-04-2019)

#### 3.1 Tekniikka

Aurinkokennossa on yhdistetty kaksi eri tyyppistä puolijohdemateriaalia  $p$  ja  $n$ .  $N$  puolijohde on negatiivisen varauksen omaava materiaali, jossa on ylimääräisiä varauksen kuljettajia.  $P$ -puolijohde omaa positiivisen varauksen, jossa on aukkoja. Aurinkokennossa muodostetaan  $p-n$  liitos, jossa varaukset voivat liikkua vapaasti materiaalista toiseen. Lähellä  $p-n$  liitosta muodostuu tyhjennysalue,

jossa ei ole varauksenkantajia ja jossa muodostuu materiaalin sisäinen sähkökenttä. Auringonvalon kohdistuessa kennoon ainakin osalla fotoneista on niin suuri energia, että se irrottaa puolijohteessa olevia elektroneita liikkeeseen muodostaen uusia elektroniaukkopareja. Muodostuvista pareista elektronit kulkeutuvat  $n$ -puolelle ja aukot  $p$ -puolelle. Rajapintaan muodostuneen sähkökentän vuoksi elektronit voivat kulkea vain tiettyyn suuntaan. (Sähkötieto ry, 10-11.)



KUVA 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate. (Asikainen, 01-03-2020)

Kytkemällä tarpeellinen määrä kennoja sarjaan saadaan muodostettua tarvittava jännite. Aurinkokennon jännite muuttuu suhteessa säteilytehoon, mutta virta pysyy lähes vakiona säteilytehosta riippumatta. Aurinkopaneeleita kytkemällä sarjaan ja rinnan saadaan sovelluskohteeseen teholtaan ja jännitetasoltaan haluttu paneelisto. (Aurinko-opas 2008, 126.)

Aurinkopaneelin hyötysuhde  $\eta$  saadaan paneelin tuottaman tehon ja paneelille tulevan säteilyn suhteena (Motiva 2019-12-14):

$$\eta = (P / G_s \cdot A) \cdot 100\% \quad (1)$$

missä  $P$  on paneelin teho,  $G_s$  auringonsäteilyn voimakkuus ( $1000 \text{ W/m}^2$ ) ja  $A$  paneelin pinta-ala

Esimerkiksi 285 Wp paneeli, jonka pinta-ala on 1,64 m<sup>2</sup>:

$$\eta = \frac{285\text{W}}{1000\text{W/m}^2 * 1,64\text{m}^2} * 100\% = 17,38 \%$$

### 3.1.1 Aurinkosähköpaneelin lämpötila ja ympäristö

Paneelin ja kennon lämpötila vaikuttaa saatavissa olevaan tehoon. Paneelin teho ja jännite laskevat noin 0,4 prosenttia astetta kohti, kun kennojen lämpötila on yli 25 astetta. Teho vastaavasti kasvaa alhaisemmissa lämpötiloissa. Aurinkoisena päivänä kennon lämpötila voi olla 20-30 astetta ulkoilman lämpötilaa korkeampi. Paneelin ja katon väliin on hyvä jättää 5-10 senttimetriä tilaa, jolloin vuosituoton lasku jää noin kahteen prosenttiin. (Tahkokorpi 2016, 182.)

## 3.2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmien toteutumistapoja on off- grid ja on- grid-järjestelmät. On- grid-järjestelmä on liitetty yleiseen sähköverkkoon. Off- grid-järjestelmä toimii omana saarekkeena ja sen varastona käytetään akustoa. Tässä työssä rajaudutaan on- grid-järjestelmän tarkasteluun.

### 3.2.1 On- grid-järjestelmä

Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä tuottaa sähköä kiinteistön omaan käyttöön ja edelleen sähköverkkoon, jos omaa kulutusta ei ole riittävästi. Aurinkopaneelien lisäksi järjestelmään kuuluu invertteri, joka on joko 1- tai 3-vaiheinen sekä turvakytkin. Aurinkopaneeleista tuleva tasavirta muunnetaan invertterin avulla vaihtovirraksi. Hyvälaatuinen invertteri joudutaan vaihtamaan järjestelmän eliniän aikana. Se on hyvä ottaa huomioon kustannuslaskelmissa. (Motiva 2019-12-15.)

1-vaiheinen invertteri kytketään verkon yhteen vaiheeseen. Tuotettua sähköä voidaan hyödyntää vain kyseiseen vaiheeseen kytketyissä sähkölaitteissa. 3-vaiheinen invertteri palvelee verkon kaikkia kolmea vaihetta. Tuotettua sähköä voidaan syöttää kaikkiin kohteiden sähkölaitteisiin. Siitä saatava hyöty riippuu kuitenkin siitä, miten sähkölaitteet on ryhmitelty ja millaisia laitteita kohteessa on. (Motiva 2019-12-15.)

Laitteistojen on täytettävä tietyt tekniset vaatimukset, jotta ne voidaan kytkeä sähköverkkoon. Aurinkosähköjärjestelmän liittäminen Suomessa yleiseen sähköverkkoon on sallittua sen täyttäessä saksalaisen vaatimuskirjeen, VDE-AR-N 4105. Lainsäädännössä on määritelty tehoraja 100 kVA. Tästä poiketen kotitalouksien pientuotannonverotuksen ohjeessa on määritelty 50 kVA. (Sähkötietory, 30- 32.)

Kohteessa tarvitsee olla etäluettava mittari, mikä mittaa verkosta otetun ja verkkoon tuotetun energian. Mittalaite rekisteröi yhden tunnin aikana verkosta ottoa ja antoa eri rekisteriin. Ennen liittymistä tarvitaan paikallisen sähköjakeluverkon omistajan lupa. Aurinkosähköjärjestelmän toteuttava sähköurakoitsija täyttää mikrotuotannon yleistietolomakkeen, joka toimitetaan sähköjakeluverkon omistajalle (Sähkötieto ry, 10-11, 88). Kun aurinkosähköjärjestelmä on asennettu, tuottajan tulee verkonhaltijan pyytäessä toimittaa verkonhaltijalle asianmukainen käyttöönottotarkastuksen. Tuotantolaitos voidaan käyttää vasta, kun verkonhaltija on antanut luvan. (Energiateollisuus 03-03-2020.)

Sähköjakeluverkon omistajalle tehdään tuotannon verkkopalvelussopimus. Tuotannon myyntisopimus tehdään riippuen voimassa olevista sopimuksista sähköyhtiön kanssa (Kauppi 2019-09-04). Sähköntuottaja ei maksa sähköveroja sähköverkkoon siirtämästä sähköstä. Sähköntuottaja on velvollinen itse tuotetusta sähköstä. Aurinkosähköjärjestelmillä tuotetusta tuotantokohteessa itse käytetystä sähköstä ei tarvitse maksaa veroa sähköveroa, jos järjestelmien nimellisteho on enintään 100 kVA. (Sähkötieto ry, 34.)

Aurinkosähkölaitos on varustettava suojalaitteilla. Suojalaite kytkee irti sen yleisestä verkosta, jos esimerkiksi verkkosyöttö katkeaa ja tuotantolaitos tuottaa huonolaatuista sähköä. Jännite-taajuus-suojauksen on tarkoitus varmistaa, ettei tule turvallisuusriskejä ihmisille ja omaisuudella. (Sähkötieto ry, 40.)

Jos tuotantolaitosta käytetään myös varavoimana sähkökatkoissa, tulee järjestelmään asentaa kaksoiskytkentämahdollisuus, jossa toisella kytkennällä tuotantolaitos toimii verkon kanssa ja toisella kytkennällä täysin verkosta erotetussa saarekkeessa. Tämä vaatii erillisen kytkimen ja lisälaitteiston. (Sähkötieto ry, 37-38.)

Aurinkopaneelien johdotus ja invertterin kytkentä sähköverkkoon on sähköurakoitsijan alaista työtä. Aurinkosähkövoimaloiden johdotus on suunniteltava huolella siten, että niistä ei synny lenkkejä, joihin voi indusoitua suuria häiriöjännitteitä esimerkiksi salaman iskun yhteydessä. Samasta syystä aurinkosähkövoimalat on maadoitettava huolellisesti paneeli- ja invertterivalmistajan ohjeiden mukaisesti. (Tahkokorpi 2016, 185.)

### 3.2.2 Mitoitus

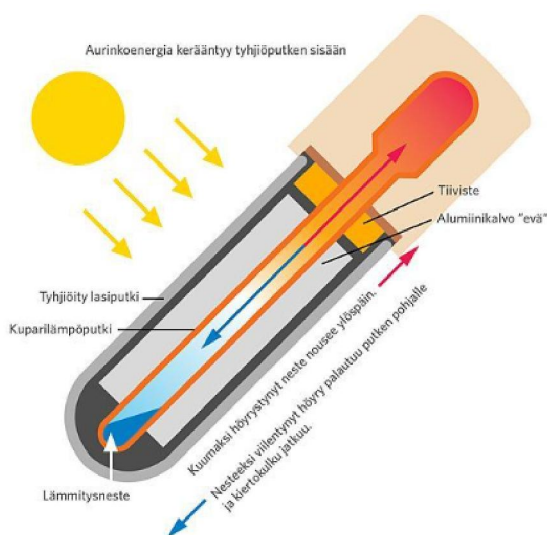
Tarkka laskelma taloudellisesta kannattavuudesta ja sopivasta järjestelmäkoosta vaatii kohteen tuntipohjaisen kulutuksen ja oikean aurinkovoimalan tuotantotiedon yhdistämisen (Käpylehto 2016, 105). Netistä löytyvillä laskureissa voi laskea suurin piirtein aurinkosähköjärjestelmien kokoa ja tuottoja. Aurinkosähköjärjestelmien mitoitusta tehdään sekä tuntipohjaisesti että kuukausikulutuksen perusteella.



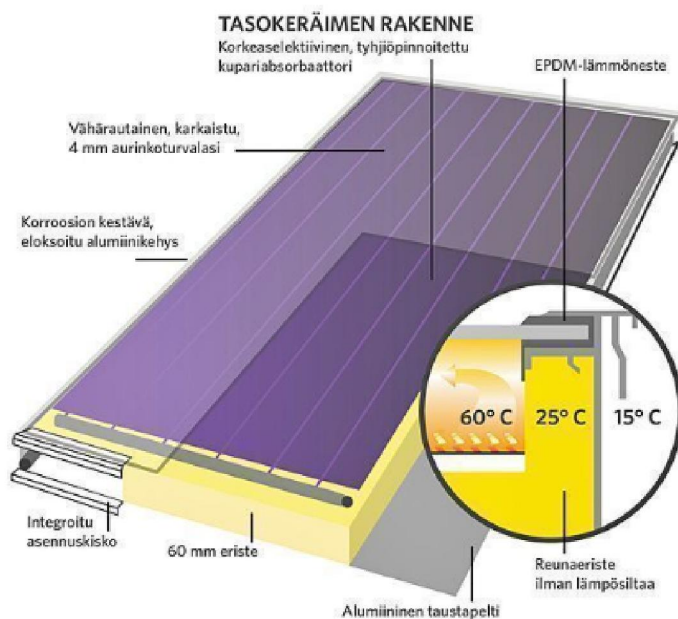
## 4 AURINKOLÄMPÖ

Aurinkolämpöjärjestelmän pääosat ovat aurinkolämpökeräimet, pumppu- ja ohjausyksikkö ja lämpövaraaja. Muut osat ovat lämmönsiirtoneste, eristetty putkisto, lämmönvaihdin, paisunta-astia ja venttiilit. (Lindström 2007, 11.)

Nestekierto-keräimiin kuuluu tasokeräin ja tyhjiöputkikeräin. Tyhjiöputkikeräimessä absorptiopinta on putkimaisessa muodossa eikä suorana levynä kuten tasokeräimessä. Tyhjiöputkia on kaksi erilaista. On tyhjiöputki, jossa on erillinen suljettu heat-pipe lämpöputki sekä tyhjiöputki, jossa lämmönsiirtoneste kiertää u-muotoisessa putkessa mustan absorboivan pinnan alla. (Aurinko-opas 2008, 73.) Tyhjiöputken tyhjiö toimii tehokkaana lämmöneristeenä ja sen ansiosta sillä on parempi hyötysuhde ja se pystyy talteen ottamaan lämpöä myös hajasäteilystä.



KUVA 5. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate. (Motiva, 2019-12-15)



KUVA 6. Tasokeräimen toimintaperiaate. (Motiva, 2019-12-15)

Takaisiniskuventtiili estää, ettei neste pääse virtaamaan väärään suuntaan, muuten aurinkokeräimet jäädyttäisivät varaajaa esimerkiksi yön aikana. Järjestelmän paineen nousun estää varoventtiili. Paisunta-astia ottaa vastaan lämmönsiirtonesteessä tapahtuvan tilavuuden vaihtelu lämpötilan muuttuessa sekä kerää nesteestä vapautuvia kaasuja. (Lindström 2007, 14.)

Hyvä lämpötilakerrostuneisuus vähentää lämpöhäviötä varaajassa. Putkiston huono eristys aiheuttaa suuria lämpöhäviöitä. (Lindström 2007, 17-18.)

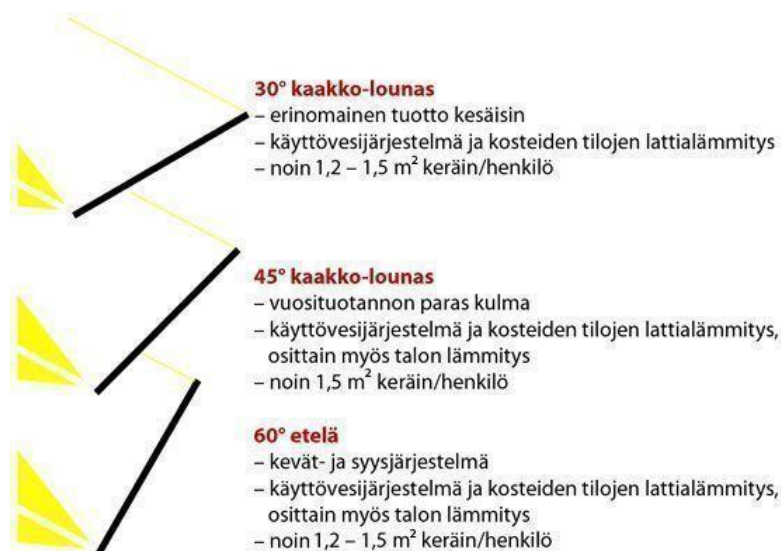
Aurinkojärjestelmän käyttöajaksi voidaan laskea 30 vuotta. Sen ylläpitokustannus käyttöiän aikana on 5-10 prosenttia alkuinvestoinnista. Ylläpitokustannus kattaa järjestelmän tarkastukset muutaman vuoden välein sekä laitevaihdot. Ohjausyksikkö ja paisunta-astia pitää vaihtaa yleensä kerran ja lämmönsiirtonesteet kahdesti 30 vuoden aikana. Pumppu kestää yleensä koko aurinkolämpöjärjestelmän eliniän. (Motiva, 2019-12-15.)

#### 4.1 Aurinkolämpöjärjestelmän sijoittelu, suuntaus ja kallistuskulma

On tärkeää valita aurinkolämpöjärjestelmän sijoituspaikka, jossa aurinko pääsee paistamaan mahdollisimman esteettömästi koko päivän. Yleensä sopivan varjoton ja lämmin paikka löytyy rakennuksen katolta. Keräimet toimivat paremmin, mitä lämpimämpi ja tuulettomampi sijoituspaikka löydetään niille. Ne voidaan sijoittaa myös maahan avoimelle paikalle. Keräimet tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle varaajaa, koska suurissa putkivedoissa tapahtuu lämpöhukkaa. (Aurinko-opas 2008, 83.)

Suurimmat vuosituotot saadaan suuntaamalla järjestelmät etelään. Poikkeama optimaalisesta suunnasta voidaan korvata suuremmalla keräinpinta-alalla. (Lindström 2007, 28)

Suomessa paras kallistuskulma on noin 45 astetta. Etelässä tämä kulma on vähän pienempi ja pohjoisessa vähän suurempi. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 15 asteen poikkeama optimikulmasta vähentää vuosituotantoa noin 5 prosenttia (Motiva, 2019-12-15). Jos halutaan vahvistaa kevään ja syksyn tuottoa, keräimet kannattaa nostaa pystympään, noin 60 asteen kulmaan. Pohjois-Suomessa kulma voi olla jopa 70-80 astetta. (Aurinko-opas 2008, 84.)



KUVA 7. Aurinkokeräimen kallistuksen vaikutus tuotantoon. (Motiva, 2019-12-14)

## 4.2 Hyötysuhde

Keräimen hyötysuhde tekniikasta ja olosuhteista riippuen voi olla jopa yli 70 prosenttia. Koko järjestelmän hyötysuhde on kuitenkin pienempi muun muassa käytännön lämpötilaolosuhteista ja lämpöenergian varastointikapasiteetista johtuen. (Motiva 2019-12-15.)

Aurinkokeräimeen lankeavan auringonsäteilyn määrästä voidaan hyödyntää vain osa. (Aurinko-opas 2008, 80-81.)

Hyödynnettävissä olevaan energian määrään vaikuttaa muun muassa:

- aurinkokeräimen katteet (lasin) ominaisuudet ja lämmöneristys ja tiiviys
- aurinkokeräimen suuntaus ja kaltevuus
- aineiden absorptio- ja lämmönsiirtokyky
- lämmönsiirtoaineen ominaisuudet
- aurinkokeräimen käyttölämpötila
- etäisyys keräimistä varaajaan
- lämmönsiirtoputkien lämmöneristys
- varaajan lämpötila
- tarvittava lämpötila ja tarvittava energiamäärä

Ulkoiset tekijät

- ulkolämpötila ja tuulisuus
- auringon tulokulma (vuodenaika ja kellonaika)
- varjot

Aurinkokeräimille voidaan laskea hyötysuhde, kun muuttujina ovat keräimen pinta-ala, keskimääräinen lämpötila, ympäristön lämpötila ja säteily määrä. (Aurinko-opas 2008, 81.)

Vuositason energiantuottoa (kWh/a) vertailtaessa voidaan todeta tyhjiökeräimien olevan vain vähän tasokeräimiä tehokkaampia, mutta hinnaltaan tyhjiökeräimet ovat noin 30-50 prosenttia kalliimpia. (Motiva 2019-12-15.)

#### 4.3 Kokonaisjärjestelmän mitoittaminen

Järjestelmä mitoitetaan suurimmaksi osaksi lämpimän veden kulutukseen kesäkaudelle. Lämpimän veden tarve perustuu talon asukkaiden lukumäärään ja varaajan kokoon. Veden kulutus vaihtelee taloudesta toiseen.

Esimerkiksi Aurinkolämmitys järjestelmä pientalossa 4- henkisen perheen pelkälle lämminkäyttövedelle: Käyttöveden kulutus on 40-80 litraa henkilöä kohden vuorokaudessa. Keräinalaa tarvitaan lämpimälle käyttövedelle noin 1,25-2,5 m<sup>2</sup> henkilöä kohden ja perheelle 5-8 m<sup>2</sup>. Varaajan koko on 200- 300 litraa. Keräinala on 5 m<sup>2</sup> 200 litran varaajaan, 300 litraa varaajaan 7,5 m<sup>2</sup>. Mitoituksen lähtökohtana on noin 2,5 m<sup>2</sup> keräyspinta-alaa 100 litran vesitilavuutta kohden. (Tahkokorpi 2016, 115.)

## 5 LÄMPÖPUMPPU

Lämpöpumppu kerää ulkoilmasta lämpöä ja luovuttaa sen sisätiloihin. Höyrystimessä alhaisen paineen vaikutuksesta kylmäaine kerää itseensä ulkoilmasta lämpöä. Kompressori puristaa kylmäaineen korkeaan paineeseen, jolloin se kuumenee lähes 100 asteen lämpötilaan. Kylmäaine ohjataan sisätiloissa lauhduttimeen, jossa se luovuttaa keräämänsä lämmön. Kylmäaine palautuu paisuntaventtiiliin kautta uudestaan höyrystimeen. Paisuntaventtiilissä paine alenee ja kylmäaine jäähtyy -20 Celsius asteeseen. (Perälä 2013, 28.)

Lämpöpumppuja ovat ilmalämpöpumppu, maalämpöpumppu, poistoilmapumppu ja ilma/vesilämpöpumppu (Perälä 2013, 32).

### 5.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumppu koostuu yhdestä tai useammasta sisäyksiköstä ja ulkoyksiköstä, jotka yhdistetään toisiinsa eristetyillä kylmäaineputkilla. Ohjaus tapahtuu sisäyksikön kaukosäätimellä.

Ilmalämpöpumppua voidaan käyttää myös jäähdytykseen. (Perälä 2012, 52, 57, 98.)

Lämmityskäytöllä olevalla pumpulla lämmityskaudella saatava säästö vähenee, jos pumppua käytetään lisäksi rakennuksen jäähdytykseen. Jäähdytystoimintoa kannattaa käyttää vain kohtuudella ja todelliseen tarpeeseen. (Motiva 2019-12-15.)

Rakennuksen lämmitysenergiatarve riippuu rakennuspaikkakunnasta, lämmöneristävydestä, rakennuksen koosta ja kuinka tehokkaasti käytetään hyödyksi rakennuksessa syntyvää lämpöä (Iso-saari 2012, 92). Ilmalämpöpumpulla pystytään ottamaan 40-60 % talon lämmitysenergian tarpeesta nettona ulkoilmasta (Sulpu 2019-12-14). Lämmitysenergian säästöön ilmalämpöpumpulla vaikuttaa pumpun koko ja sisäyksikön sijoituspaikka (Perälä 2013, 57).

Ilmalämpöpumppu antaa noin 50 % vähemmän tehoa -20 Celsiusasteen pakkasella, kuin +7 Celsiusasteen lämpötilassa (jossa standardin mukaisesti laitteen teho- ja lämpökerroin ilmoitetaan). -20 Celsiusasteen pakkasilla laadukkaan ja uudehkon ilmalämpöpumpun lämpökerroin on useimmiten noin 1,5-2,0. Nykyisin ilmalämpöpumpun energiamerkissä ilmoitetaan muun muassa energialuokka ja SCOP-arvo, joka on hieman lähempänä vuosilämpökerrointa kuin COP-arvo. (Motiva 2019-12-15.)

Vanhemmilla tai huonosti pakkasiin soveltuvilla ilmalämpöpumpuilla lämpökerroin voi tippua kovimmilla pakkasilla sähkölämmityksen tasolle. Kovilla pakkasilla ulkoyksikön sulatuksen kuluttama energia vie merkittävän osan energiansäästöstä. Laitekohtaiset energiatehokkuuserot voivat olla suuria. (Motiva 2019-12-15.)

Kylmäainekytkentöjen ja -käsittelyn osalta lain mukaan on käytettävä kylmäainepätevyuden omaavaa asentajaa (Iso-saari 2012, 86).

Ilmalämpöpumpun sisäyksikkö on hyvä sijoittaa keskelle taloa avaraan tilaan. Pumpun tuottama lämpö leviää paremmin, mitä vapaammin ilma pääsee kiertämään. Ulkoyksikön sijoittelun ilman-suunnalla ei ole energiataloudellisesti kovin suurta merkitystä. Tärkeää on, ettei sisä- ja ulkoyksikön etäisyys kasva kovin suureksi. (Isosaari 2012, 86.)

TAULUKKO 2. Taulukossa koottu saman kokoluokan ilmalämpöpumppuja ja valittu energialuokaltaan parhaimmat. (Ilmalämpöpumppu 2019-12-8)

Merkki	Vuosihyötysuhde SCOP	Kylmäkerroin SEER	Tilasuositus m <sup>2</sup>	Energia luokka
Mitsubishi Electric MSZ-LN 25	5,2	10,5	40- 130	A+++
Mitsubishi Heavy Kazan 25	5,2	9,6	40-130	A+++
Panasonic Nordic HZ 9	5,2	7,8	80-140	A+++
Panasonic Nordic VZ 9	6,2	10,5	120-160	A+++
Fujitsu Nordic LZCAN	5,31	9,51	*	A+++
Samsung Exclusive 9	5,2	10,1	50-140	A+++
Sharp Nordic ZPTR 25	5,2	7,5	50-120	A+++
Daikin Perfera	5,12	7,6	40-130	A+++
Toshiba Premium RA25	5,3	8,8	50- 150	A+++
Toshiba Optinum 25	5,2	10,5	40-130	A+++
* Ilmavirta/ sisäyksikkö 380/580/680/830				

## 6 KIINTEISTÖN TIEDOT

Omakotitalo on rakennettu 1945 ja pinta-ala 150 m<sup>2</sup>. Se on peruskorjattu. Talo on 1,5 kerroksinen ja kellarikerroksessa on kodinhoitohuone ja saunatilat. Alakerrassa seinissä eristeenä on 10 cm purua ja 5 cm villaa. Yläkerrassa on selluvillaa katossa. Lattioissa on 20 cm puhallusvillaa. Katon kotelossa on 25 cm selluvillaa. Seinissä on alle 20 cm selluvillaa. Ikkunat ovat kolmilasiset. Lämmityksenä on suorasähkö ja talvella lisänä lämmitetään varaavaa takkaleivinuunia kerran päivässä. Talvessa käytetään noin 11 kiintokuutiota sekapuuta. Taloon hankittiin keväällä 2019 ilmalämpöpumppu vähentämään talvella lämmityksestä johtuvaa sähkön kulutusta ja kesällä jäähdyttämään kuumimpina päivinä. Talon eteisen alapohjaa voisi lisäeristää. Se voidaan tehdä ilman suurempia muutoksia. Talon vanha ilmastointi vaihdettiin syksyllä 2019 sen alettua pitämään ääntä. Uudessa ilmastointilaitteessa vuosihyötysuhde on 71 %.

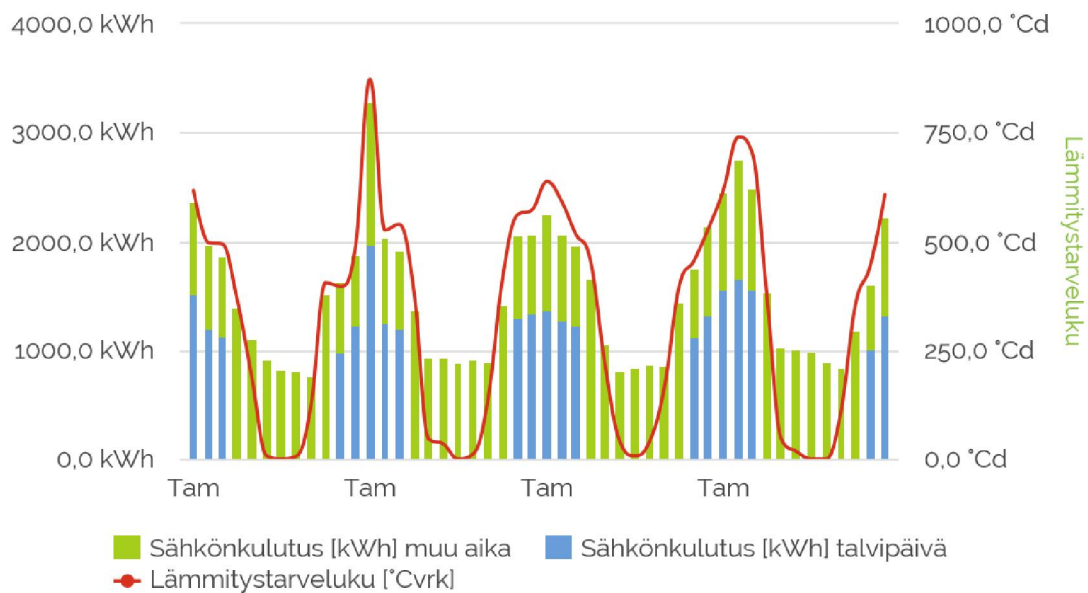


KUVA 7. Kiinteistön kaikki rakennukset. (Asikainen, 10-01-2020)

Autotalli on rakennettu 2007 ja sisäpinta-ala 72 m<sup>2</sup>. Talli on rakennettu eristeharkoista ja eristeenä on 12 cm uretaania. Tallia lämmitetään talvella ilmalämpöpumpulla, joka käynnistetään vuoden lopussa, kun ulkolämpötila laskee ja tallin sisällä kosteus nousee. Ylläpitolämmitystä pidetään kevääseen asti.



KUVA 8. Aurinkoenergia järjestelmien sijoituspaikka. (Asikainen, 10-01-2020)



KUVIO 1. Kohteen sähkönkulutus ja lämmitystarveluku 2015-2018. Otettu sähkönsiirtoyhtiön sivulta.



## 7 LASKENTA

### 7.1.1 Rakennuksen vuotuisen lämmitysenergian laskenta

Taulukossa 3 on esitetty laskennassa käytetyt arvot. Seinän U-arvo on saatu vertaamalla saman tyyppisiä taloja.

TAULUKKO 3. Laskennassa käytetyt talon arvot.

eristetty vaippa	178,42	m <sup>2</sup>
ikkuna pinta-ala	18,09	m <sup>2</sup>
tilavuus	353,42	m <sup>3</sup>
	u arvot	
vaippa	0,5	W/ m <sup>2</sup> °C
ikkuna	2	W/ m <sup>2</sup> °C
ilmanvaihto	0,5	kertainen
vuodot	0,1	kertainen
ilmanvaihdon talteenoton hyötysuhde	75 %	%
astepäiväluku	4392	
vuotuinen lämpimän vedenkulutus	60	m <sup>3</sup>

Lämmönjohtumisesta rakenteiden läpi aiheutuva vuotuinen lämmitysenergiantarve saadaan:

$$Q_{\text{joht}} = UA24S = (U_i \cdot A_i + U_v \cdot A_v) \cdot 24 \cdot S \quad (2)$$

$U_i$  = ikkuna u -arvot

$A_i$  = ikkuna pinta-ala

$U_v$  = vaipan u arvo

$A_v$  = vaipan pinta-ala

$S$  = astepäiväluku

$$Q_{\text{joht}} = 13217109 \text{ Wh} = 13217,11 \text{ kWh}$$

Ilmanvaihdon vuotuinen lämmitysenergiantarve voidaan laskea kaavalla:

$$Q_{\text{IV}} = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot 24 \cdot S \cdot (1 - \eta) \quad (3)$$

$q_v$  = ilmanvaihto

$\rho$  = tilavuus / 3600 h

$c_p$  = ominaislämpökerroin

$\eta$  = ilmanvaihdon talteenoton hyötysuhde

$$Q_{\text{IV}} = 1293,52 \text{ kWh}$$

Vuodoista aiheutuva vuotuinen lämmitysenergiatarve lasketaan:

$$Q_{\text{vuodot}} = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot 24 \cdot S \cdot (1 - \eta) \quad (4)$$

$q_v$  = ilmanvaihto kerroin

$\rho$  = tilavuus / 3600 h

$c_p$  = ominaislämpökerroin

$\eta$  = vuodon suuruus

$$Q_{\text{vuodot}} = 1024,47 \text{ kWh}$$

Lämpimän käyttöveden lämmitystehontarve voidaan laskea kaavalla:

$$Q_{\text{LKV}} = V_{\text{LKV}} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (5)$$

$V$  = lämpimän käyttöveden vuotuinen kulutus ( $\text{m}^3$ )

$\rho$  = Veden tiheys

$c_p$  = veden ominaislämpötila kerroin

$\Delta t$  = vedenlämpötilan muutos

$$= 4550 \text{ kWh}$$

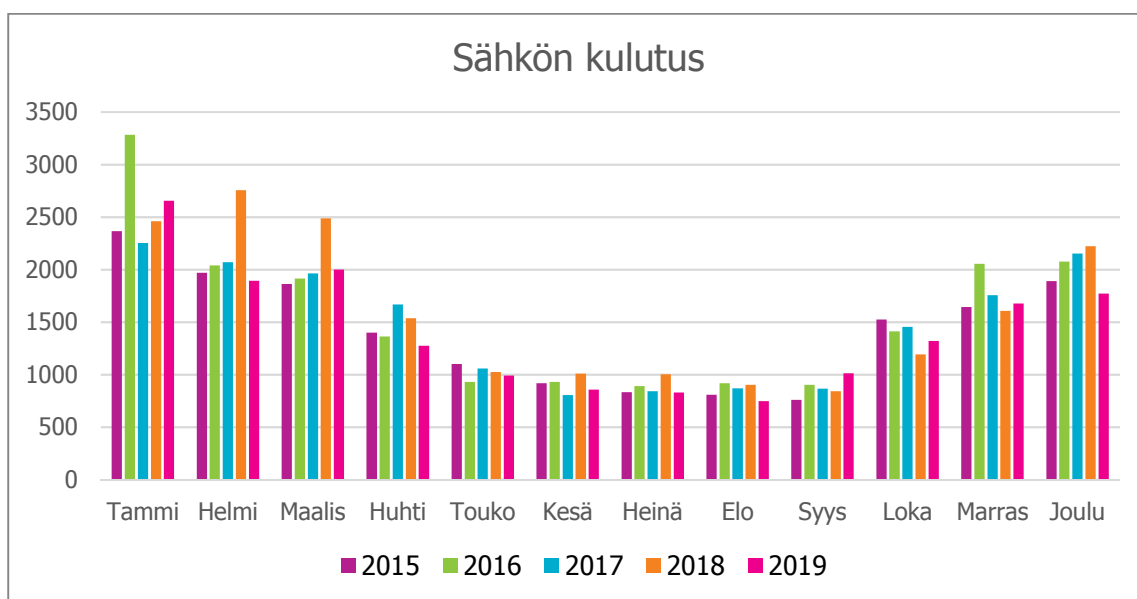
Lämmityksen ominaisenergian kulutus on  $\text{OEK} = (Q_{\text{joht}} + Q_{\text{IV}} + Q_{\text{LKV}}) / \text{rakennustilavuus} = 51,435 \text{ kWh/m}^3, \text{a}$

## 7.2 Aurinkosähkö

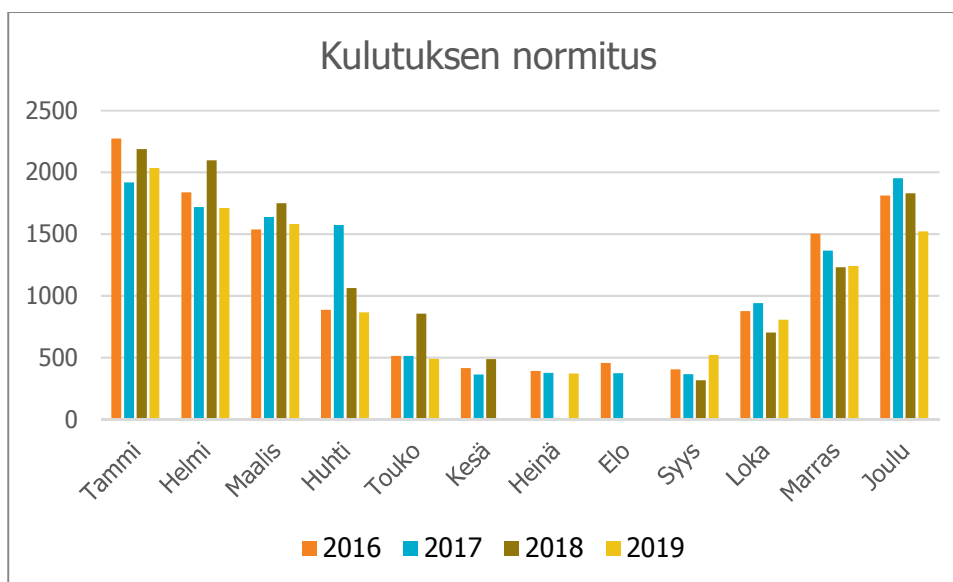
Aurinkopaneelit voidaan sijoittaa talon katolle tai piharakennukselle. Talo on +15 astetta etelästä ja katon kaltevuus on 28°. Omakotitalon katolle alkaa aurinko paistamaan aamulla kello 10 ja päivällä kello 16-18 on katto varjossa kokonaan tai osittain. Jos puita kaadetaan talon edestä, varjostavat ne vähemmän. Puiden kaadon jälkeen talon katto on parempi sijoituspaikka. Piharakennus on itä-länsi suunnassa. Piharakennukseen alkaa kesällä paistamaan noin kello 9- 10 aikaan. Eteläpäätyyn paistaa aurinko vapaasti kello 11 eteenpäin. Sähkøyhtiön energianeuvojan mukaan kiinteistölle sopisi aurinkosähköjärjestelmä 3-4,5 kWp, jopa 6 kWp, jos kohteessa on oman kulutuksen hallintajärjestelmä. Aurinkopaneelien myyntiesitteissä ja yritysten nettisivuilla todetaan järjestelmät 3 -4 kWh sopivaksi kohteissa, joissa vuosikulutus on 10 000- 18 000 kWh. Aurinkolaskureilla kiinteistön katolla tuotettu aurinkosähkö olisi 6582 kWh/ v.

Kuviosta 2 nähdään kesien kulutuksen olevan samanlaisia. Kesän kuukausien kulutukseen vaikuttaa kuinka kuumia kesät ovat. Ennen ilmalämpöpumppua taloa jäähdytettiin laittamalla ilmastointi maksimille aamulla ja illalla lisäksi käytettiin tuulettimia. Selkeät yksittäiset korkeammat sähkön kulutukset piikit johtuvat kylmemmistä kuukausien lämpötiloista. Kuviossa 3 on normitettu rakennuksen

lämmitysenergiantarve. Normeeratun kulutuksen avulla voidaan verrata toisiinsa saman kiinteistön eri kuukausien kulutusta.



KUVIO 2. Kiinteistön sähkönkulutus eri vuosina.



KUVIO 3. Kulutuksen normitus.

Kulutuksen normitus lasketaan lämmitystarveluvun avulla. Lämmitystarveluvun avulla normeerataan toteutuneita lämmitysenergian kulutuksia. Lämmitystarveluku saadaan laskemalla yhteen kunkin kuukauden päivittäisten sisä- ja ulkolämpötilojen erotus. Kuukauden lämmitystarveluku on vuorokautisten lämmitystarvelukujen summa. (Ilmatieteenlaitos 2019-12-18.)

Rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus voidaan laskea seuraavasti (Motiva 2020-03-12):

$$Q_{\text{norm}} = (S_n \text{ vpkunta} / S_{\text{toteutunut vpkunta}}) = Q_{\text{toteutunut}} + Q_{\text{lämminkäyttövesi}} \quad (6)$$

Huom. Normitus vain rakennuksen kuluva energiaa. Säästä riippumaton käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia on ensin poistettava rakennuksen kokonaislämmitysenergian kulutuksesta eli

$$Q_{\text{toteutunut}} = Q_{\text{kok}} - Q_{\text{lämminkäyttövesi}} \quad (7)$$

$Q_{\text{norm}}$  = rakennuksen normitettu lämmitysenergiankulutus

$Q_{\text{toteutunut}}$  = rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia

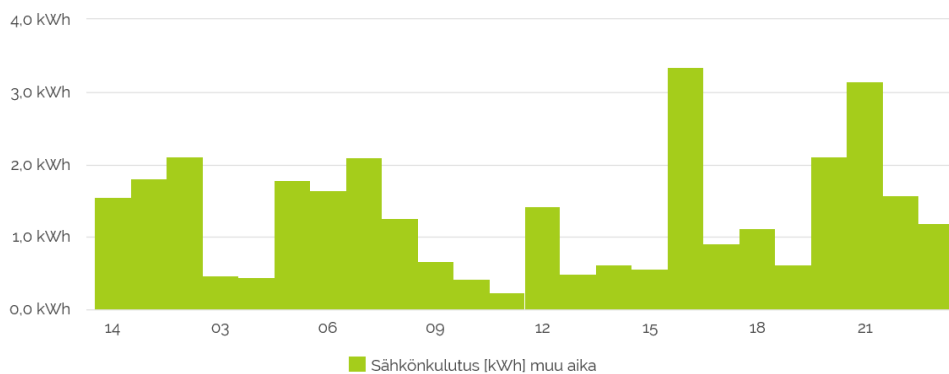
$Q_{\text{kok}}$  = rakennuksen kokonaislämmitysenergiankulutus

$Q_{\text{lämminkäyttövesi}}$  = käyttöveden lämmittämiseen vaatima energia

$S_n \text{ vpkunta}$  = normaalivuoden tai -kuukauden (1981-2010) lämmitystarveluku paikkakunnalla

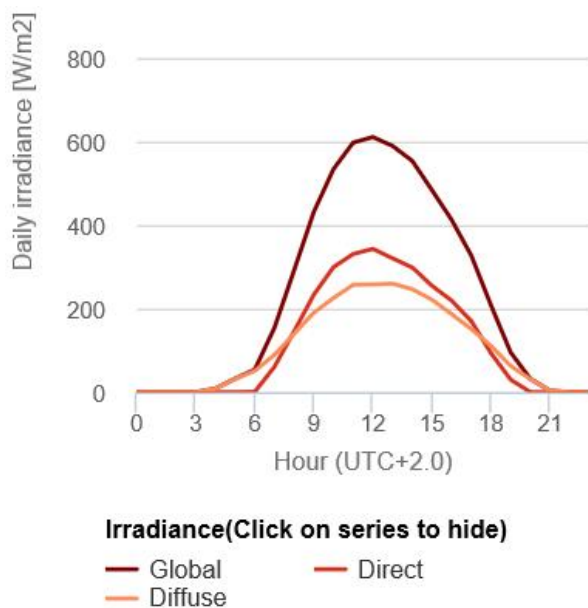
$S_n \text{ vpkunta}$  = toteutunut lämmitystarveluku vuosi tai kuukausitasolla vertailupaikkakunnalla

Kuviossa 4 on kuvattu yhden kesäpäivän tuntikohtainen kulutus.



KUVIO 4. Kesä päivän tuntikohtainen kulutus.

Kuviossa 4 nähdään, että pienin sähkön peruskulutus on 0,24 kWh. Yleensä peruskulutus on 0,4-0,6 kW.



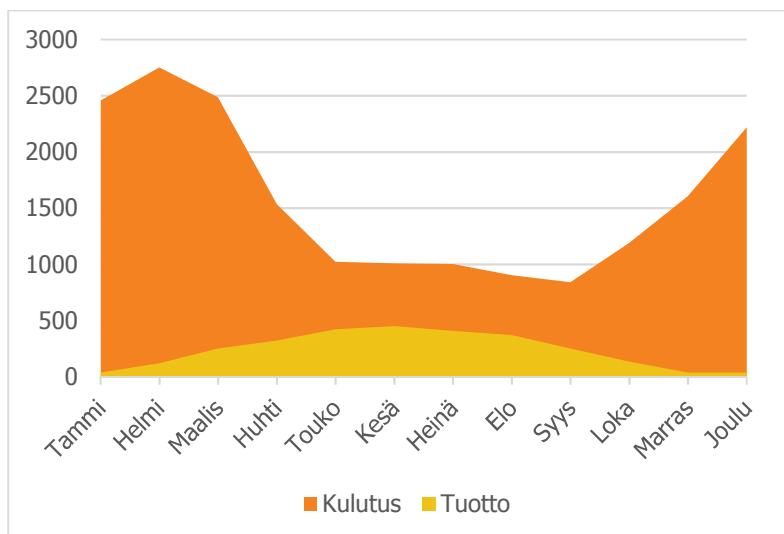
KUVIO 5. Auringon säteily kesäkuussa. (PVGIS 2020-02-10)

Taulukossa 4 on laskettu eri aurinkosähköjärjestelmien tuottoja. Sivusto laskee tuotto arviot. Sivustolla muuttujina muun muassa talon sijainti, tietokanta ja aurinkojärjestelmän muuttujat. Kallistuskulma ja suuntaus ovat talon arvoja. Järjestelmien häviö on yhteensä 22,2 %. Häviö koostuu lämpötilasta ja laitteiden häviöstä (esim. kaapelit, invertteri). PVGIS-järjestelmästä saadaan ennuste. (PVGIS, 2019-01-03)

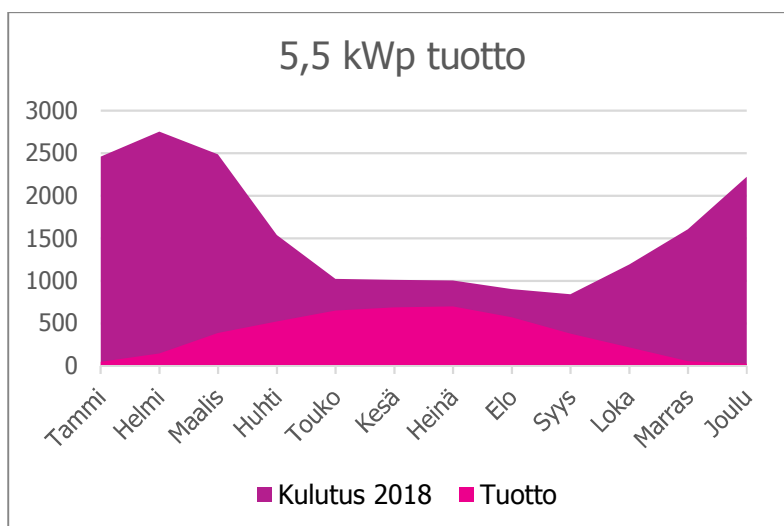
TAULUKKO 4. Kuukauden tuotto arviointi.

Kallistuskulma= 28° ja suuntaus= 15°			
Järjestelmä koko	3 kW	3,4 kW	5,5 kW
Tammikuu	26,10	29,6	47,2
Helmikuu	77,30	87,6	144
Maaliskuu	208,00	236	384
Huhtikuu	285,00	323	519
Toukokuu	375,00	425	650
Kesäkuu	375,00	425	687
Heinäkuu	381,00	432	700
Elokuu	310,00	352	569
Syyskuu	206,00	233	377
Lokakuu	118,00	134	217
Marraskuu	31,70	35,9	53,8
Joulukuu	13,00	14,8	25,4
<b>Yhteensä vuodessa</b>	<b>2406,10</b>	<b>2727,90</b>	<b>4373,4</b>

Kuviossa 6 on yhdistetty aurinkosähköjärjestelmän tuottoarvio ja kiinteistön kulutus vuonna 2018.



KUVIO 6. Kiinteistön sähkökulutus ja aurinkojärjestelmän 3,4 kWp tuotto arvio.



KUVIO 7. Kiinteistön sähkökulutus 2018 ja aurinkojärjestelmän 5,5 kWp tuotto arvio.

### 7.3 Aurinkolämpö

Lämpimän käyttöveden lämmityksen tehon tarve lasketaan seuraavasti:

$$Q_{LKV} = V_{LKV} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta t \quad (5)$$

$V$  = lämpimän käyttöveden vuotuinen kulutus  $m^3$

$\rho$  = Veden tiheys ( $1000 \text{ kg}/m^3$ )

$c_p$  = veden ominaislämpötila kerroin ( $4,2 \text{ kJ}/\text{kg}^\circ\text{C}$ )

$\Delta t$  = vedenlämpötilan muutos

Kaava 5 on Motivan sivuilta (Motiva 2020.03.12). Seuraavassa on laskettu paljonko asiakas säästäisi, jos varaajan lämpötilaa laskettaisiin. Veden kulutus on arvio. Kylmävesi oletetaan olevan 5 asteista ja varaajan lämpötilat olisivat 75,70 ja 65 astetta. Varaajan lämpötila on 75°C. Laskuista nähdään, että voidaan säästää 694,96 kWh.

TAULUKKO 5. Käyttöveden lämmityksen tehontarve. Käytetty laskukaava 5.

120 l/hlö/vrk	vuosikulutus	175200 l	
4 hlö	lämminvesi osuus	34 %	
365 pv	lämminvesi kulutus	59568 l	60 m <sup>3</sup>
1000 kg/m <sup>3</sup>	veden tiheys		
4,2 kJ/kg°C	veden ominaislämpötila kerroin		
$\Delta t_1$	70 °C	lämpötila ero	
$\Delta t_2$	65 °C	lämpötila ero	
$\Delta t_3$	60 °C	lämpötila ero	
t1	17512992 kJ	4864,72 kWh	
t2	16262064 kJ	4517,24 kWh	
t3	15011136 kJ	4169,76 kWh	

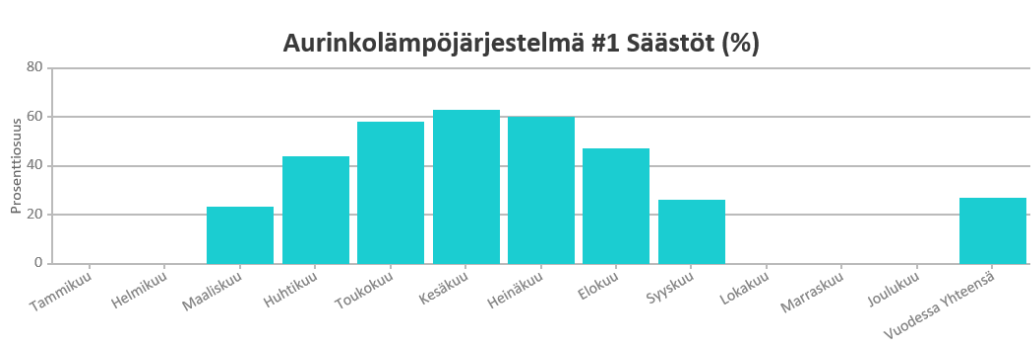
Suurin osa elinkykyisistä legionellabakteereista tuhoutuu muutamassa tunnissa 50 °C lämpötilassa. Tasaisesti 60 °C lämpöinen vesiympäristö ei enää sisällä eläviä legionellabakteereja. Suomessa YM: n asetuksen mukaan uusissa vesijärjestelmissä lämpimän veden lämpötilan tulee olla vähintään 55 °C joka puolella vesijärjestelmää. (THL, 01-03-2020.)

Aurinkolämpöjärjestelmän mahdollinen säästön laskenta voidaan tarkastella esimerkiksi Solar-arenan laskurilla. Laskenta tehdään syöttämällä laskuriin kohteen tietoja. Aurinkolämpökeräimen laskennassa käytetyt keräin tiedot ovat:

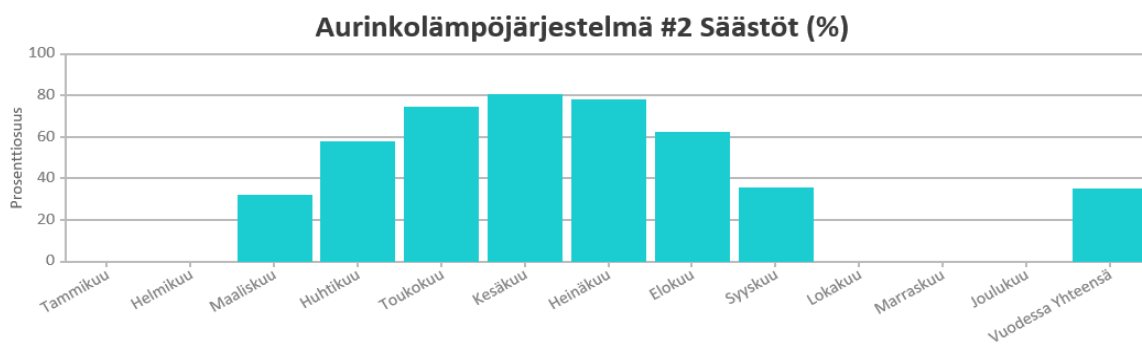
- Keräimen absorberin efektiivinen pinta-ala: 2.02
- Keräimen optinen hyötysuhde: 80
- Lämpöhäviöiden ensimmäinen termi (a1): 3.498
- Lämpöhäviöiden toinen (lämpötilariippuvainen) termi (a2): 0.017

Aurinkolämpöjärjestelmässä #1 (kuvio 8) on kaksi kappaletta keräimiä ja aurinkojärjestelmässä #2 (kuvio 9) on keräimiä kolme kappaletta. Tietoihin on käytetty kohteen talon tietoja. Järjestelmässä #1 pystytään tuottamaan 27 % lämmöntarpeesta ja järjestelmässä #2 35,4 %. Koko vuoden lämminkäyttöveden kulutus on 4550 kWh. Aurinkojärjestelmän #2 säästetään 1610,7 kWh.

Aurinkolämmön kannattavuus ja mitoitus on tehty Finsolarin laskurilla. Kuuden neliön järjestelmälle (5749 euron järjestelmä) takaisinmaksuaika on 23 vuotta, kun huomioidaan sähkön kallistuminen ja laitteiston huoltokulut.



KUVIO 8. Aurinkolämpöjärjestelmä #1. (Solar-arena, 2019-12-18)



KUVIO 9. Aurinkolämpöjärjestelmä #2. (Solar-arena, 2019-12-18)



## 8 LAITTEISTON VERTAILEMINEN

### 8.1 Aurinkosähkö

Tuote-, tuotanto- ja asennustakuut vaihtelevat paneelien ja yritysten mukaan. Tuotetakuu koskee aurinkopaneeleita ja invertterille on oma takuu-aika. Tehontuottotakuun ehdot vaihtelevat. Tavallisesti varmistetaan, että paneelit tuottavat tietyllä teholla valmistajan ilmoittamasta nimellisestä esimerkiksi 25 vuoden ajan teholla, joka on vähintään 80%.

Sähkönsiirto vaikuttaa kohteen aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuaikaan. Se nähdään taulukosta 6. Kausisiirto nostaa takaisinmaksuaikaa muutamilla vuosilla.

TAULUKKO 6. Sähkönsiirron vaikutus takaisinmaksuaikaan esimerkkijärjestelmillä.

Paketti	Hinta	Takaisinmaksu aika	
		yleissiirto	kausisiirto
Solarxon 3,42 kW	3650	16	19
Solarxon 5,7 kW	5550	19	23

Järjestelmissä ei asennus kuulu hintaan. Kannattavuus laskettu Finsolarin sivulla saatavalla taulukon avulla.

Taulukosta 8 nähdään kuinka asennus vaikuttaa takaisinmaksuaikaan. Takaisinmaksuaika on laskettu Solar-arena avulla. Solar arena-laskuriin lisätään itse oletettu tiedot.

TAULUKKO 7. Järjestelmä ilman asennuskuluja

Paneelin koko W	Järjestelmän koko (kWp)	Hinta	Takaisinmaksuaika
250	3	3650	17, 5 vuotta
250	5	5550	19 vuotta 1 kuukautta

TAULUKKO 8. Järjestelmä asennettuna ja ilman kotitalousvähennystä.

Paneelin koko w	Järjestelmän koko kWp	Hinta	Takaisinmaksuaika
305	3,05	5950	30 vuotta 7 kuukautta
305	3,35	6900	33 vuotta 3 kuukautta

Järjestelmien takaisinmaksuajan tarkkuuteen vaikuttaa oikeat tiedot. Esimerkiksi kuinka paljon aurinkosähkön omaa osuutta pystytään arvioimaan.

Finsolarin laskuri on vapaasti saatavilla nettisivuilla.

TAULUKKO 9. Järjestelmien hinta Nivoksen sivuilta. Kotitalousvähennyksessä on käytetty 40 %.

Nivos	Paketti hinta	Asennuksen hinta	kotitalousvähennys	Loppu hinta
3,3 kWp	6 900	1762	704,8	6195,2
4,77 kWp	8 600	2450	980	7 620

TAULUKKO 10. Aurinkosähköjärjestelmiä ilman asennusta

	Järjestelmän koko kWp	Hinta
Solarxon	3,42	3650
Solarxon	5,7	5550
Finnwind	3,3	3330
Finnwind	5,5	4990
Ympäristö-energia	3,18	4530
Ympäristö-energia	3,71	5280

TAULUKKO 11. Aurinkosähköjärjestelmiä.

	Järjestelmän koko kWp	Hinta
Nivos	3,3	6900
Aurinkotekniikka	4,77	8600
Playgreen	4,88	8290
Playgreen	3,24	5950

Järjestelmän hinta asennettuna. Hinnat ovat yleisluontoisia, eivätkä ole tehtyjä tarjouksia kohteelle.

## 8.2 Aurinkolämpö

Taulukossa 12 esitellään aurinkolämpöjärjestelmiä, jotka olisivat mahdollisia kohteeseen. Järjestelmien hinnat ovat yleisluontoisia, eivätkä ole tehtyjä tarjouksia kohteelle. Taulukossa 12 on järjestelmän osien hintoja. Taulukosta 12 ja 13 saadaan aurinkolämpöjärjestelmän hinnaksi ilman asennusta noin 4030-5920 euroa.

TAULUKKO 12. Aurinkokeräinjärjestelmät ilman asennusta.

Aurinkolämpöjärjestelmä	Hinta
Tulituote Oy, Aurinko-käyttövesi Paketti 300l, ilman putkia ja asennustelineitä ja läpivientä	3 840,00
Ekolämmöx Oy, Ensol aurinkokeräinpaketti 6m2, ilman varaajaa	2 840
Biottori Oy, 2kpl tyhjiöputkikeräintä, ilman varaajaa, pumppuryhmä, siirtoputki ja lämmönsiirtoneste	2 599
Sirokas/ Huipputuote.fi aurinkokeräinpaketti ZSH-3trisol, ilman varaajaa	2390
Ympäristöenergia OY, Wagner solar aurinkolämpöjärjestelmä 5m2, 300L käyttövesivaraajalla	3390
Ympäristöenergia OY, Wagner solar aurinkolämpöjärjestelmä 5m2-8m2, ilman varaajaa	2890-3390
Jäspi solar pak, ilman varaajaa	3255-4078

TAULUKKO 13. Aurinkolämpöjärjestelmän osien hintoja

Järjestelmän laite osat	Hinnat
Siirtoneste 10 l	65
paisunta astia	45-55
pumppuyksikkö	549-590
ilmausventtiili	120
siirtoputki 20m	620
Siirtoputki 10 m	340
vesivaraaja Jäspi solar 300l	1643
vesivaraaja Steb-300l	1850

### 8.3 Sähkönsiirto ja sähkö

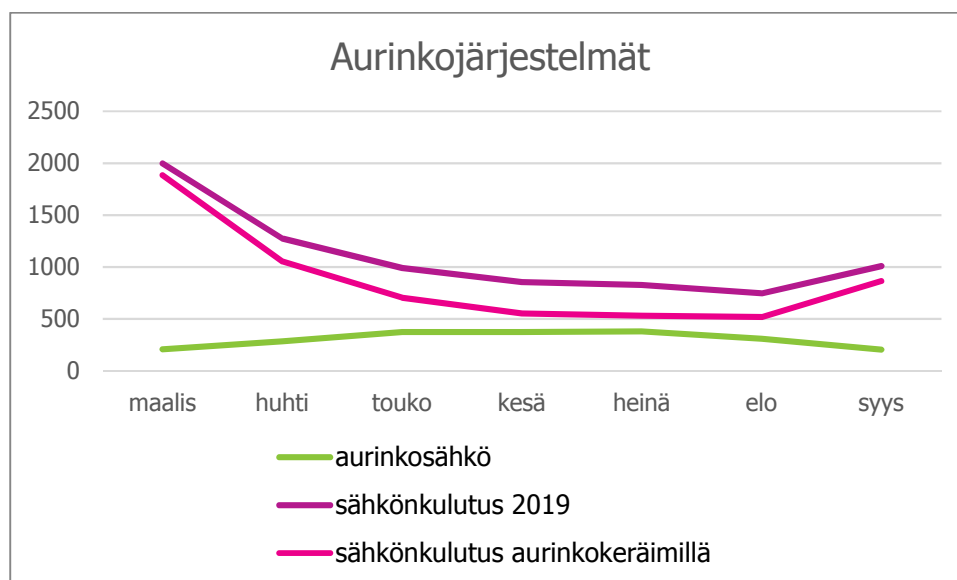
Sähkönsiirron hintaa ei voi kilpailuttaa. Yleissähkö on edullisin asiakkaalle, jonka sähkön sähkönkäyttö on alle 10 000 kWh/ vuosi. Kausisähkö on taas halvempi, jos sähkön käyttö on yli 10 000 kWh/ vuosi. Edullisuutta voidaan vielä lisätä, mikäli sähkön käyttöä voidaan suunnata muuhun ajankohtaan kuin talviarkipäivään. Kausisiirto talvihinta on 2,90 snt/ kWh ja muu aika 1,79 snt/ kWh. Yleissiirto on 1,79 snt /kWh. Sähkön hintaa voi kilpailuttaa.

## 9 TULOKSET

Kohteeseen sopii 3-4 kWp aurinkosähköjärjestelmä. Lyhyimmillään aurinkopaneeleiden takaisinmaksu aika on 16 vuotta ja pisimmillään 33 vuotta. Takaisinmaksuaikaan on huomioitu inventterin uusiminen, jos ei huomioida laite uusintoja takaisinmaksuaika olisi lyhyimmillään 12 vuotta. Järjestelmien hinnaksi tulee ilman asennusta 3650 - 5280 euroa. Asennettuna hinta on 6900- 8600 euroa. Vuosittaista säästöä 3,3 kWp järjestelmällä tulee noin 2730 kWh ja rahallisesti 300,3 euroa.

Aurinkolämpöjärjestelmällä laskettu säästö on 1610 kWh vuodessa ja rahallisesti 176 euroa. Lämminkäyttöveden lämmittämiseen tarvitaan 2-3 keräintä riippuen lämpökeräimistä. Kokonaishinta on noin 5390- 7437 euroa.

Jos kohteeseen hankitaan edellä kuvatut aurinkosähkö- ja lämpöjärjestelmät, säästöä syntyy vuodessa yhteensä noin 4 017 kWh, jos kaikki pystytään käyttämään kohteessa.

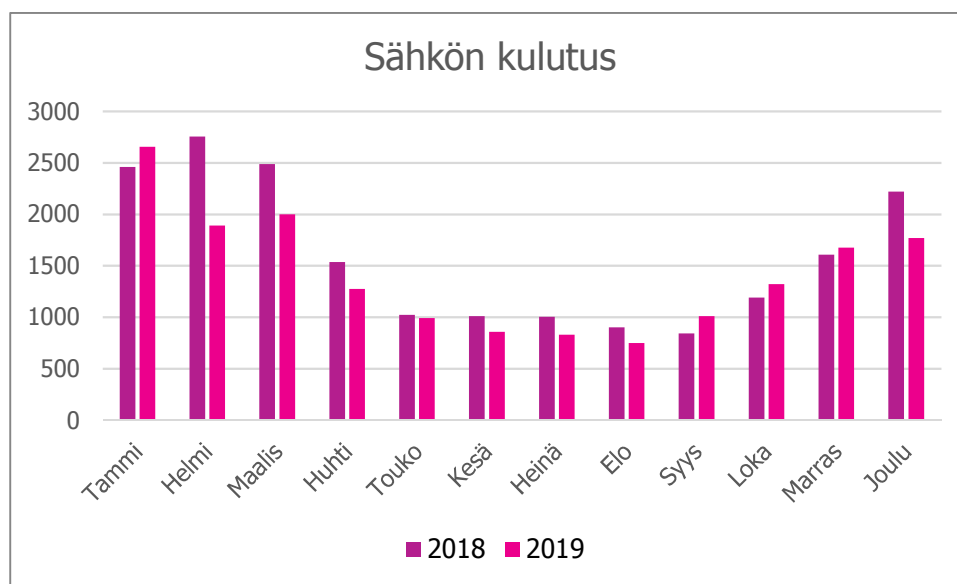


KUVIO 10. Aurinkojärjestelmien tuottoarvio kohteessa.

Kuviossa 10 on esitetty 3 kW aurinkosähköjärjestelmän tuotto ja aurinkokeräinjärjestelmä #2 mahdollinen sähkönkulutuksen säästö vuoden 2019 kulutuksesta.

## 10 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kohteeseen asennettiin helmikuun lopussa 2019 ilmalämpöpumppu keskelle taloa. Talon huonejärjestyksen takia ilmalämpöpumpusta ei saada täyttä hyötyä. Ilmalämpöpumppu lämmittää rakennuksen keskikerrosta. Ulkolämpötilan laskiessa pakkasen puolelle voidaan havaita lämpöpumpun tuottaman lämmön riittävyys ja siirtyminen kohteessa. Yläkertaan lämpöä ei tule ilmalämpöpumpusta, joten siellä pidetään talvella pattereita päällä. Ilmalämpöpumpun tuottama säästö nähdään, kun pystytään vertaamaan muutamia seurantavuosia toisiinsa.



KUVIO 11. Kiinteistön sähkönkulutus 2018-2019.

Aurinkokeräimien takaisinmaksuaika on pitkä, koska sitä pystytään hyödyntämään kohteessa vain lämpimään käyttöveteen. Jos kohteessa olisi vesikiertoinen lattialämmitys, järjestelmän hyötysuhde olisi suurempi, järjestelmä maksaisi itsensä takaisin nopeammin. Aurinkokeräimien hankintaa voidaan miettiä kohteelle, kun taloon vaihdetaan tulevaisuudessa uusi lämminvesivaraaja. Järjestelmään tulee paisunta-astia ja se pitäisi sovittaa olemassa olevaan huoneeseen, jossa on nykyinen lämminvesivaraaja ja kylmävesipainesäiliö. Kohteen asukasmäärä voi tulevaisuudessa vaihdella, joten aurinkokeräinjärjestelmän koko pitäisi laskea uudelleen. Järjestelmässä on enemmän huollettavia komponentteja, jotka voivat mennä rikki, kuin aurinkosähköjärjestelmässä.

Aurinkopaneelilla on lyhyempi takaisinmaksuaika, kuin aurinkokeräimillä. Aurinkopaneelien hankinta on järkevämpi kohteeseen. Järjestelmä on huoltovapaa. Paneelien pesemistä voi harkita, jos ne tulevat vuosien päästä likaisiksi. Järjestelmän tuotto paranee, jos puita kaadetaan. Pienemmällä järjestelmällä saadaan käytettyä varmasti aurinkosähköä enemmän omaan tarpeeseen. Isommissa 4 kWp järjestelmissä voi aurinkosähkön oma käyttö olla pienempi. Jos hankitaan molemmat järjestelmät silloin on järkevämpi valita pienempi aurinkosähköjärjestelmä.

Jos talo myydään, aurinkokeräimet ja aurinkopaneelit voivat vaikuttaa myönteisesti ostopäätökseen. Kohteen arvon nousua on vaikea arvioida, jos järjestelmiä asennetaan. Järjestelmien hankinta pienentäisi sähkön kulutusta ja nostaisi uusiutuvaa energian käyttöastetta kohteessa.

## 11 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ERAt, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, PELTOLA, Seppo, SUOKIVI, Hannu 2008. Aurinko-  
opas. Porvoo: Painoyhtymä

ENERGIATEOLLISUUS [Viitattu 03.03.2020] Saatavissa: [https://energia.fi/files/4249/Mikrotuotannon\\_liittami-  
nen\\_verkostosuositus\\_luonnos\\_PAIVITETTY\\_20191203\\_FINAL.pdf](https://energia.fi/files/4249/Mikrotuotannon_liittami-<br/>nen_verkostosuositus_luonnos_PAIVITETTY_20191203_FINAL.pdf)

FINSOLAR (2019-12-12) Saatavissa: (<http://www.finsolar.net/aurinkoenergia/aurinkoenergian-tilastot/>  
<http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>

ILMALÄMPÖPUMPPU [Viitattu 8.12.2019] Saatavissa: <http://ilmalampopumput.fi/fi/tuotteet/ilmalampopumput>

ILMATIETEENLAITOS. Lämmitystarveluku. [Viitattu 18.12.2019] Saatavissa: [https://ilmatieteennlaitos.fi/lammitystar-  
veluvut](https://ilmatieteennlaitos.fi/lammitystar-<br/>veluvut)

ISOSAARI, Kyösti 2012. Mistä energia taloon? Omakotitalon energia- ja ympäristöopas. Keuruu: Otavamedia

KAUPPI, Jarmo 04-09-2019 [Luento]. Aurinkosähkö teemailta. Nurmijärvi

KUVA 1 ja 2. Suomen säteilykartta ja aurinkosähkön vuosittainen tuotantopotentiaali kWh/m<sup>2</sup> [ Viitattu 14.12.2019]  
Saatavissa: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

KÄPYLEHTO, Janne 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen

LINDSTRÖM, Daniel 2007. Aurinkolämmön rakentamisen opas. Opinnäyte. Vaasa: Merinova

LEHTO, Ina 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. Tampere: Grano

HALME, Minna, HUIKKINEN, Jannne I, KORPI-TOMMOLA, Jouku, LINNANEN, Lassi, LISKI, Matti, LOVIO, Raimo,  
LUND, Peter, LUUKKANEN, Jyrki, PARTANEN, Jarmo, WILWNUIS, Markku, NOKSO-KOIVISTO, Oskari 2015,  
Maamme energia. Helsinki: Into kustannus

MOTIVA (2019-12-15) [Viitattu 12.03.2020] Saatavissa: [www.motiva.fi/kulutuksennormitus](http://www.motiva.fi/kulutuksennormitus)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/lampopum-  
put/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu\\_tukilammityslahteena](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/lampopum-<br/>put/lampopumpputeknologiat/ilmalampopumppu_tukilammityslahteena)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/remontoi\\_ja\\_huolla/ener-  
giatehokas\\_sahkolammitys/lampopumpun\\_hankinta/ilmalampopumppu](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/remontoi_ja_huolla/ener-<br/>giatehokas_sahkolammitys/lampopumpun_hankinta/ilmalampopumppu)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinko-  
lampo/hankinta\\_ja\\_asennus/hinnat\\_ja\\_kannattavuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-<br/>lampo/hankinta_ja_asennus/hinnat_ja_kannattavuus)

[Viitattu 14.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinko-  
lampo/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkolampojarjestelman\\_sijoittelu](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-<br/>lampo/hankinta_ja_asennus/aurinkolampojarjestelman_sijoittelu)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinko-  
lampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet/tyhjioputkikeraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-<br/>lampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinko-  
lampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset\\_keraimet/tasokeraimet](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinko-<br/>lampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tasokeraimet)

[Viitattu 15.12.2019] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurin-  
kosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurin-<br/>kosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)

[Viitattu 12.3.2020] Saatavissa: [https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energian-  
kaytto/kulutuksen\\_normitus/laskukaavat\\_lammin\\_kayttovesi](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energian-<br/>kaytto/kulutuksen_normitus/laskukaavat_lammin_kayttovesi)

NIVOS, Nivos Oy (2020-01-03). Saatavissa: <https://www.nivos.fi/aurinkosahko/aurinkopaneelit>

PERÄLÄ, Osmo ja PERÄLÄ, Rae 2013. Lämpöpumput. 3.painos. Tallinna: Alfamer/Karisto

PERÄLÄ, Rae, PERÄLÄ, Osmo 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer/ Karisto

PVGIS, Photovoltaic Geographical Information System (– Joint Research Centre) [Viitattu 14.12.2019] Saatavissa: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html)

SALO, Miikka 2015. Energiäkäännöksen Saksan ja Suomen energiapolitiittiset valinnat. Tampere: Hämeen Kirjapaino

SUOMEN RAKENNUSINSINÖÖRI LIITTO RIL RY, 2014. Uusiutuvien lähienergioiden käyttö rakennuksissa. Tammerprint Oy

SOLARELECTRICITYHANDBOOK [Viitattu 14.12.2019] Saatavissa: <http://solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html>

SULPU [Viitattu 14.12.2019] Saatavissa: <https://www.sulpu.fi/ilmalampopumppu>

THL [Viitattu 01.03.2020] Saatavissa: <https://thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesi-jarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet>