



Osaamista  
ja oivallusta  
tulevaisuuden  
tekemiseen

Olli-Pekka Suhonen

# Aurinkoenergian hyödyntäminen vapaa-ajan kiinteistössä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

3.6.2019

Tekijä Otsikko	Olli-Pekka Suhonen Aurinkoenergian hyödyntäminen vapaa-ajan kiinteistössä
Sivumäärä Aika	41 sivua 3.6.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja	lehtori Jukka Karppinen
<p>Insinöörityön tavoitteena oli selvittää, kuinka kannattavaa on kesähuvilan katolle säteilevän aurinkoenergian hyödyntäminen ja mitoittaa järjestelmä, jolla voitaisiin pienentää kiinteistön sähkölaskua kannattavasti sekä alentaa hiilijalanjälkeä.</p> <p>Työssä tutustuttiin eri aurinkosähkö- ja aurinkolämpöjärjestelmiin ja mikrotuotantoon liittyviin vaatimuksiin. Tietolähteinä käytettiin pitkälti verkkoaineistoja. Mitoituksissa käytettiin Suomen rakennusmääräyskokoelman D5 laskukaavoja ja yhtälöitä yhdessä valmistajien antamien tuotekohtaisten tietojen kanssa. Säteilyluvut laskettiin Ilmatieteenlaitoksen Jyväskylässä tehtyjen mittaustulosten mukaan.</p> <p>Kohteelle valittiin aurinkosähköjärjestelmä, jonka tuotantoa ei myydä eteenpäin verkkoyhtiölle vaan käytetään lämminvesivaraajan veden lämmitykseen sen paremman taloudellisuuden hyödyn ja vähäisemmän tilan käytön mukaan. Järjestelmän investointikuluiksi tulee noin 2 500 euroa ja takaisinmaksuajaksi 11 vuotta. Kokonaistuotannoksi 25 vuoden toiminta-aikana saadaan noin 6 000 euroa säästöä. Järjestelmän kokonaistuottoon vaikuttavana tekijänä oli markkinasähkön hinnan nousu tulevina vuosina, joka arvioitiin 3,9 %:in vuosikorkona. Tutkimustuloksista kävi ilmi, että hyvin pienten mittaluokan aurinkosähköjärjestelmien tuottaman sähkön myynti ei ole kannattavaa kohteessa, mutta aurinkosähkön hyödyttäminen lämpimän veden tuotannossa taas on.</p>	
Avainsanat	aurinkoenergia, aurinkosähkö, aurinkopaneelit, mikrotuotanto

Author Title	Olli-Pekka Suhonen Utilization of Solar Energy at a Leisure Time Cottage
Number of Pages Date	41 pages 3 June 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructor	Jukka Karppinen, Senior Lecturer
<p>The aim of this study was to find out how profitable the utilization of solar energy on the roof of a leisure time cottage is, and to design a system that could reduce the property's electricity bill, as well as reduce the building's carbon footprint.</p> <p>This study covered various solar photovoltaic and solar heating systems, as well as requirements related to microgeneration. Most of all reference material used for this study was online material. All measurements were done using the appropriate data provided by the manufacturers together with equations from Finland's building code collection D5. The solar radiation figures were provided by the studies of the Finnish Meteorological Institute, made using radiation measurements in Jyväskylä.</p> <p>A photovoltaic system, the electricity of which is not sold to the network company but is used instead solely in the water heater was chosen due to its economic profits. The starting investment cost for the system would be approximately 2 500 euros and have a repayment period of 11 years. A production time of 25 years would give savings of about 6 000 euros. The system's profit would be factored by the estimated annual rise of 3.9 % in purchased electricity prices. The end results of the research shows that the sale of electricity produced by very small-scale photovoltaic systems is not profitable while the use of solar power in heating hot water is.</p>	
Keywords	solar energy, solar power, solar panels, microgeneration

## Sisällys

### Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Aurinko energianlähteenä	2
2.1	Aurinkoenergia Suomessa	2
2.2	Mikrotuotanto Suomessa	7
3	Aurinkoenergia	7
3.1	Aurinkosähkö	7
3.2	Aurinkokenno ja paneeli	8
3.3	Invertteri	12
3.4	Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate	13
3.5	Aurinkokeräin	14
3.6	Aurinkolämmön varastointi	16
4	Kohderakennuksen tiedot	18
4.1	Kohteen sähkönkulutus	18
4.2	Kohteen veden kulutus	20
5	Järjestelmien mitoitus	22
5.1	Tekniset vaatimukset	22
5.2	Mitoitus sähkön kesäajan pohjakulutuksen mukaan	23
5.3	Mitoitus katon pinta-alan mukaan	28
5.4	Mitoitus lämpimän veden tarpeen mukaan	31
6	Järjestelmän valinta	39
7	Yhteenveto	41
	Lähteet	42

## Lyhenteet

c-Si	Crystalline silicon. Kiteinen pii, aurinkokennojen materiaali.
CdTe	Cadmium Telluride. Kadmium-telluuriyhdiste, ohutkalvoisten aurinkopaneelien materiaali.
CIS	Copper-indium-gallium-selenide. Kupari-indium-gallium-seleeniyhdiste, ohutkalvoisten aurinkopaneelien materiaali.

## Mikrotuotanto

Enintään 100 kVA:n tehoinen sähkötuotantoyksikkö, jossa tuotettu sähkö jää pääosin asiakkaan omaan käyttöön.

MPPT	Maximum Power Point Tracking. Suurimman tehopisteen seuranta. Säätämien mahdollistava toimintatapa, jolla voidaan optimoida aurinkopaneelien tuotantoa.
PN-liitos	Positiivinen–Negatiivinen -liitos. Aurinkopaneeleissa kahdesta eri puolijohdemateriaalista tehdyn kerroksen liitos, jossa positiivisen ja negatiivisen puolen sähkökenttä ohjaa puoliliitoksen rajapinnalla fotonien irrottamia elektroneja.
STC	Standard Test Conditions. Standarditestiolosuhteet. Aurinkopaneelien huipputehon määrittämisessä käytettävä olosuhde, jossa lämpötila on 25 °C ja säteilyn arvo 1000 W/m <sup>2</sup> .

## 1 Johdanto

Uusiutuvan energian tuotantotavat yleistyvät. Niissä käytettävän teknologian kehittyessä lähitulevaisuudessa on kannattavaa pohtia, mitä mahdollisuuksia uusiutuvat energiamuodot tarjoavat ekologisuuden, taloudellisen kannattavuuden ja omavaraisuuden kannalta Suomessa. Sähkön siirtomaksujen sekä sähkön kokonaiskulutuksen voidaan odottaa nousevan jatkossakin, mikä lisää itse tuotetun sähkön houkuttelevuutta.

Opinnäytetyön tarkoitus on tutkia aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuutta kesähuvilassa suhteessa kesäajan sähkönkulutukseen, verrata aurinkosähkö -ja aurinkokeräinjärjestelmien mielekkyyttä kohteessa, sekä valita niistä kohteelle sopiva järjestelmä. Työ on uteliaisuudesta kumpuava selvitystyö, eli siitä saadut tiedot tulevat vastaisuudessa vaikuttamaan mahdollisen aurinkoenergian soveltamisen suunnittelua ja käytön mielekkyyttä kohteessa.

Kohde on verkkoon kytketty, sähkölämmitteinen vapaa-ajan huvila. Aurinkojärjestelmän valinnassa painottuvat investoinnin kustannukset ja takaisinmaksuaika. Toimiva aurinkojärjestelmä nostaa kiinteistön arvoa ja antaa sille ympäristöystävällisen imagon. Opinnäytetyön tarkoituksena on samalla kehittää omaa tietoisuutta aurinkoenergian hyödyntämisestä vapaa-ajan kiinteistöissä.

Työn tavoitteena on valita kohteelle paras aurinkoenergian hyödyntämistapa, pienentäen vuosittaista sähkölaskua ja tutkia aurinkoenergian käytön mielekkyyttä yleisesti.

## 2 Aurinko energianlähteenä

### 2.1 Aurinkoenergia Suomessa

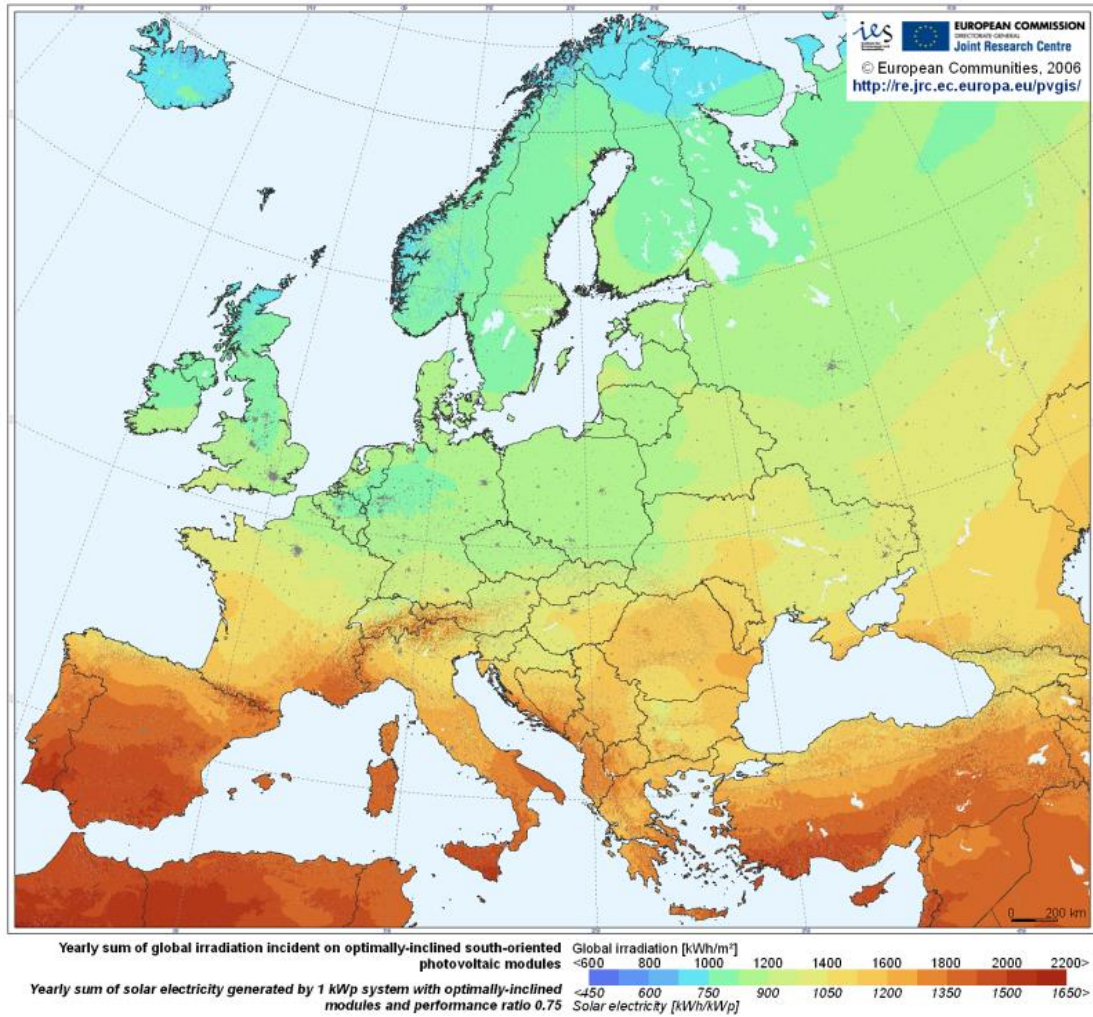
Aurinko on jättimäinen, plasmasta koostuva kaasupallo, jonka voiman salaisuus on vedyn fuusioituminen heliumiksi. Sekunnin aikana auringossa fuusioituu 600 miljoonaa tonnia vetyä. Tämän seurauksena syntyy valtava määrä energiaa mutta jätteenä ainoastaan heliumia. Maapallon pinnalle tulevan auringon säteilyn tehon määrä on päätä huimaava 170 000 TW, eli 170 000 000 000 000 000 W. Vaikka tästä voidaan hyödyntää mitätön osa, pelkällä 14,5 sekunnin aikana maahan saapuvalla energialla voitaisiin kattaa koko ihmiskunnan vuotuinen energiankulutus. [1; 2; 3.]

Aurinkoenergiasta saatuja hyötyjä on paljon. Sitä ei ensinnäkään voi ylikuluttaa, sillä auringon voidaan odottaa paistavan taivaalla vielä seuraavat 6,5 miljardia vuotta. Aurinkoenergian tuotto vähentää riippuvuutta saastuttavista energianlähteistä, eikä sen tuotannossa synny suoraan melua tai päästöjä. [4.]

Suomessa tämän suunnattoman energianlähteen osuus sähköntuotannossa on tois-  
laiseksi muutaman promillen luokkaa. Syyksi tähän voisi luulla Suomen pohjoista maan-  
tieteellistä sijaintia, minkä vuoksi aurinkoenergiaa ei heti mielletä olennaiseksi energian  
lähteeksi. Todellisuudessa Suomen säteilymäärät Etelä-Suomessa ovat Keski-Euroo-  
pan tasolla, eikä suurta poikkeamaa tähän ole pohjoisemmassakaan Suomessa, sillä  
pitkät ja valoisat kesäpäivät korvaavat lyhyitä ja pimeitä talvipäiviä. [2; 3; 5.]

Aurinkosähkön tuotannon kannalta Suomen etu esim. Tanskan aurinkosähköntuotan-  
toon verrattuna on alhaisempi vuotuinen lämpötila. Aurinkokennojen kiteiden toiminta on  
tehokkaampaa ja siten niiden hyötysuhdekin on parempi matalilla lämpötiloilla. Lisäksi  
Suomen talvisesta lumipeitteestä heijastuu valoa aurinkopaneelien käyttöön, lisäten vuo-  
tuista säteilymäärää entisestään. [6.] Kuva 1 esittää Euroopan säteilymääriä vuodelta  
2006.

### Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries

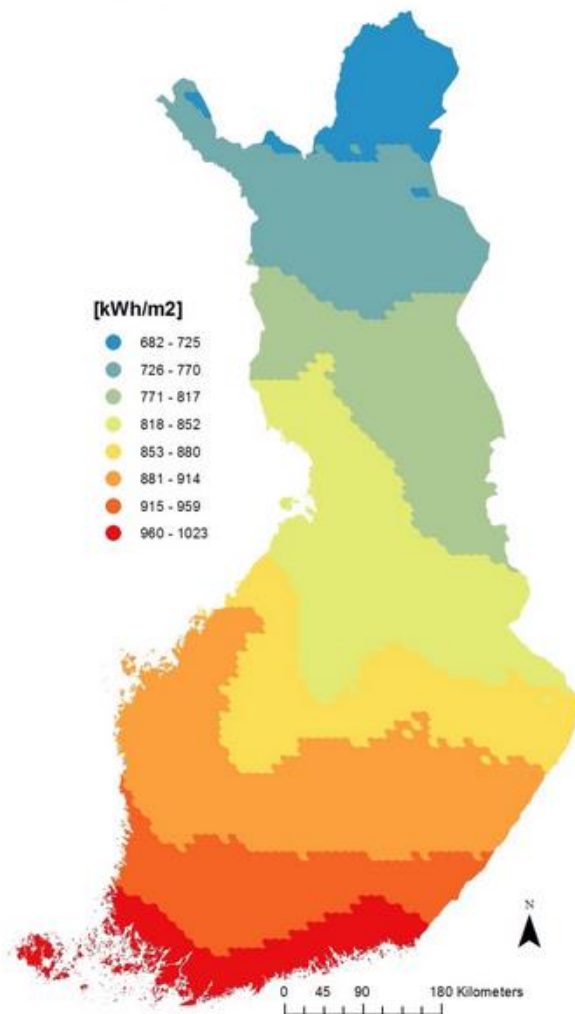


Kuva 1. Euroopan alueiden aurinkosähköpotentiaali vuonna 2006 [7].

Suomen pohjoisen sijainnin takia auringonsäteilyn määrässä on suurempia vuodenaikavaihteluita kuin Keski-Euroopassa, ja suurin piirtein 90 % Etelä-Suomen säteilyenergiasta saadaan pelkästään maaliskuun ja syyskuun välillä. [3.] Kuvassa 2 näkyy Suomen eri alueiden auringon säteilyenergian keskimääräinen määrä.

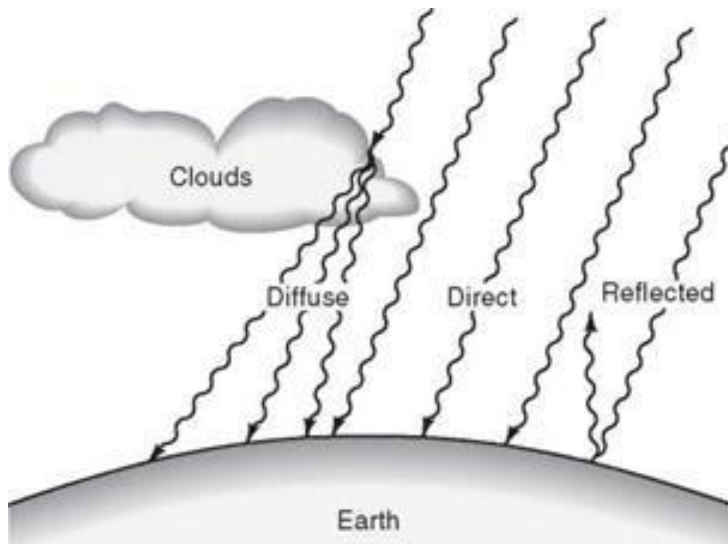


## Average global radiation at period 1981-2010



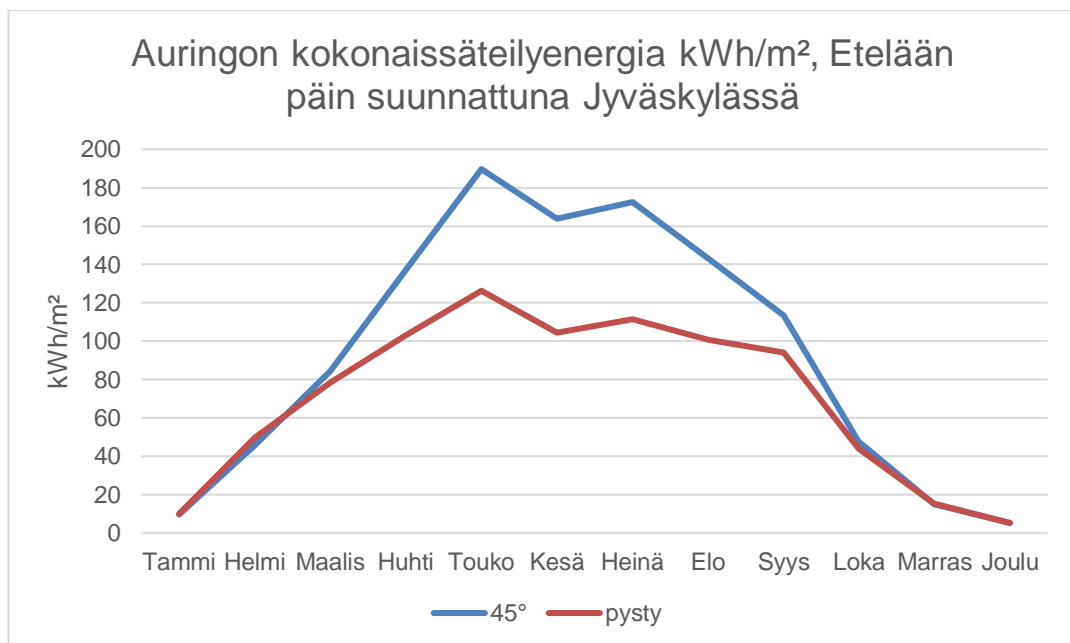
Kuva 2. Suomen keskimääräinen säteilyenergia vuosina 1981–2010 [8.].

Auringon keskimääräinen säteilyenergia mitataan kokonaissäteilyn mukaan. Kokonaissäteily koostuu suorasta säteilystä, hajasäteilystä sekä heijastuneeseen säteilystä. Hajasäteilyksi kutsutaan auringosta epäsuorasti paistavaa säteilyä, esimerkiksi pilvien kautta tulevaa säteilyä. Heijastuneeksi säteilyksi mielletään vesistöjen ja maan pinnasta sekä rakennusten kiinteistä tasoista heijastunutta säteilyä. Suorasäteilyksi kutsutaan auringosta kohtisuoraan tulevaa säteilyä. Suomessa kokonaissäteilystä noin 40–50 % on hajasäteilyä, mikä on syytä ottaa huomioon paneelityypin valintavaiheessa ja asennuksissa. [9.] Kuvassa 3 esitetään auringon kokonaissäteily jaettuna hajasäteilyyn (diffuse), suoraan säteilyyn (direct) ja heijastuneeseen säteilyyn (reflected).



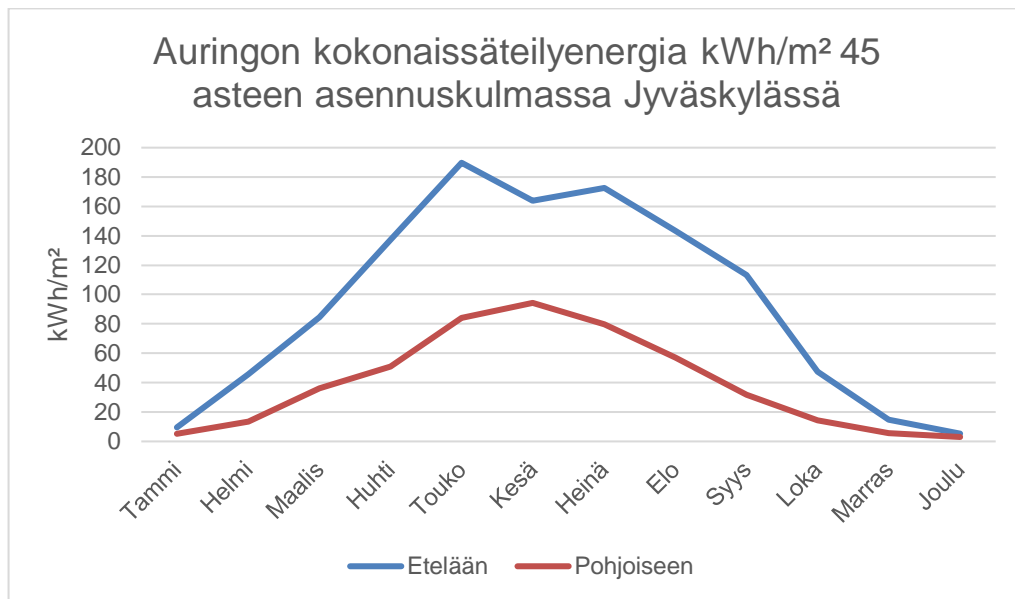
Kuva 3. Auringon kokonaissäteilyn muodostavat säteilyt [10.].

Kuten kuvio 1 näkee, Jyväskylässä vuotuinen kokonaissäteilyenergian määrä etelään suunnatuille pystypinnoille asennettuihin paneeleihin on noin 840 kWh/m<sup>2</sup>. Paneeliin kohdistuvaa auringon säteilyenergiaa voidaan kasvattaa vuosittain jopa 33 % eli suunnilleen 285 kWh/m<sup>2</sup> yksinkertaisesti muuttamalla paneelien asennuskulma 45°.



Kuvio 1. Auringon kuukausittainen säteilyenergia eri asennuskulmissa Jyväskylässä [11.].

Suurempi merkitys on paneeleiden suuntauksella. Aurinko paistaa etelästä vuoden aikana määrällisesti huomattavasti enemmän kuin pohjoisesta. Kuviossa 2 esitetään kuu-kausittaiset kokonaissäteilyenergian erot paneelien eri suuntauksella Jyväskylässä. [11.]



Kuvio 2. Auringon kokonaissäteilyenergia eri suuntauksilla 45 asteen asennuskulmalla. [11.]

Suoraan etelään päin osoittavasta suuntauksesta poikkeaminen vähentää aurinkopaneelien vuotuista tuottoa. Tuoton voidaan katsoa poikkeavan eteläsuuntauksesta poike-  
tessa seuraavasti:

- Kaakkoon suunnattuna tuotto on noin 7 % pienempi kuin etelään.
- Lounaaseen suunnattuna tuotto on noin 7 % pienempi kuin etelään.
- Itään suunnattuna tuotto on vajaat 25 % pienempi kuin etelään.
- Länteen suunnattuna tuotto on vajaat 25 % pienempi kuin etelään.

Koilliseen, luoteeseen ja pohjoiseen suuntaaminen on ylipäätänsä huono idea alhaisen tuoton takia. [12.]

## 2.2 Mikrotuotanto Suomessa

Mikrotuotannolla tarkoitetaan enintään 100 kVA tuottavaa sähkötuotantoyksikköä, jossa tuotettu sähkö jää pääosin asiakkaan omaan käyttöön. Mikrotuotanto sekoitetaan käsitteenä usein pientuotannon kanssa, sillä molempien termien tarkat määritelmät vaihtelevat hieman. Mikrotuotannosta puhuttaessa tarkoitetaan tyypillisesti uusiutuvia energiamuotoja hyödyntäviä tuotantolaitteita, kuten aurinkopaneeleita tai pientuulivoimaloita, kun taas pientuotannolla viitataan suurempia aurinkovoimaloita, pientuulivoimaloita -ja vesivoimaloita. [13.]

Sekä mikrotuotannon että pientuotannon katsotaan olevan hajautettua sähköntuotantoa. Mikrotuotannon keinoin tuotettu sähkö voidaan käyttää tehokkaasti suoraan kulutukseen, varastoida myöhempään käyttöä varten tai siirtää eteenpäin jakeluverkkoon myytäväksi. Suomessa mikrotuotantoa koskevia teknisiä vaatimuksia määritellään EN-50438 standardissa. Standardissa on määritelty enintään 16 ampeerin nimellisvirta vaihetta kohden, yksi ja useampivaiheisessa 230/400 V:in verkossa. [14.]

## 3 Aurinkoenergia

Aurinkoenergiaa voidaan hyödyntää monella eri tavalla, joko suoraan aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisessa hyödyntämisessä auringon säteily otetaan hyödyksi ilman erillisiä laitteita. Rakennusten rakenteiden lämmittäminen tai vaikka päivänvalon käyttö keinovalon sijasta ovat esimerkkejä passiivisesta hyödyntämisestä. Aktiivisella hyödyntämisellä viitataan yleensä auringon säteilystä sähköä tuottaviin aurinkopaneelisiin tai aurinkokeräimiin, jotka muuttavat auringon säteilyn lämmöksi. Suomessa aurinkopaneelit voivat muuttaa 15 % saadusta auringon säteilystä sähköksi ja aurinkokerääjät noin 25 % saamastaan säteilystä lämmöksi. [15.]

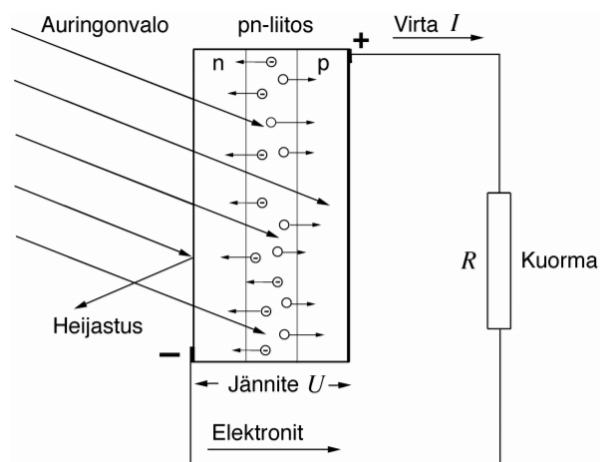
### 3.1 Aurinkosähkö

Auringonsäteilyn muuntaminen hyödynnettäväksi sähköksi perustuu valosähköiseen ilmiöön. Valosähköisessä ilmiössä valohiukkanen eli fotonin luovuttaa energiansa, esim. metallin pinnalla löyhästi sidoksissa olevalle elektronille. Fotonin energian ollessa

tarpeeksi suuri elektroni irtoaa kokonaan sidoksestaan, ottaen mukanaan fotonin sille luovuttaman energian. [16.] Aurinkopaneelissa fotonit irrottavat elektroneja paneelin pn-liitoksessa, joka koostuu kahdesta eri puolijohdemateriaaleista tehdystä positiivisen p-kerroksen ja negatiivisen n-kerroksen liitoksesta. [17.]

### 3.2 Aurinkokenno ja paneeli

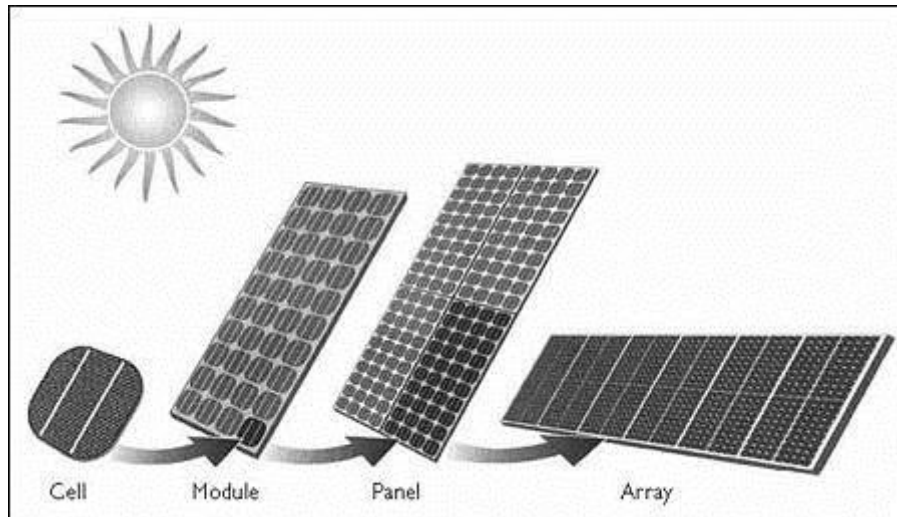
Puolijohdemateriaaleista valmistetuissa aurinkokennoissa käytetään hyväksi valosähköistä ilmiötä virran tuottamiseksi. Aurinkokennon voi periaatteessa mieltää toimintaperiaatteeltaan fotodiodiksi. Auringonsäteilyn fotonien energia irrottaa aurinkokennon puolijohdemateriaalin elektroneja, muodostaen elektroni- ja aukkopareja. Kennon p- ja n-kerrosten muodostaman pn-liitoksen sisäinen sähkökentän vaikutuksesta elektronit siirtyvät kennossa negatiiviselle elektrodille ja aukot positiiviselle. Pn-liitoksen rajapinnan sähkökentän ansiosta elektronit voivat kulkeutua ainoastaan ulkoisen johtimen kautta p-tyyppin puolijohteeseen yhdistyäkseen ja muodostaakseen elektroniaukkopareja. Paneelien altistuessa auringonvalolle pn-liitoksen eri puolilla esiintyy tällä tavoin vastakkaismerkkisiä varauksenkuljettajia, joten liitoksesta saadaan ulkoisen piirin jännitelähde, kuten kuvassa 4 esitetään. [17; 18.]



Kuva 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate [18.].

Aurinkokennon tuottama sähkövirta on suoraan verrannollinen fotonien eli auringon valon määrään. Yksi aurinkokenno tuottaa 0,5–0,6 voltin jännitteen, minkä vuoksi kennoja tarvitaan useampia sarjaan liitettyjä kappaleita riittävän jännitteen synnyttämiseksi. [18.]

Kennojen sarjaan kytketystä kokoelmasta kehkeytyy aurinkopaneeli. Aurinkosähköjärjestelmät taas koostuvat yleensä useista sarjaan kytketyistä paneeleista. Kuvassa 5 näkyy kennojen, paneelin ja paneelijärjestelmän välinen suhde. [19.]



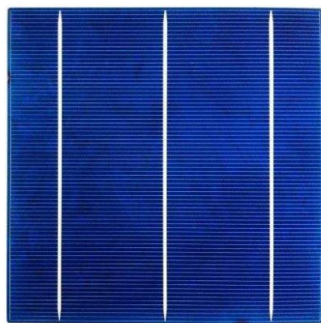
Kuva 5. Aurinkopaneelijärjestelmän kennon, paneelin ja paneeliston välinen suhde [19.].

Aurinkopaneelien toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttaa mistä materiaalista niiden kennot ovat valmistettu. Ylivoimaisesti yleisin puolijohteena käytettävä aine on pii (c-Si), josta yksikiteiset ja monikiteiset paneelit tehdään. Yksikiteiset aurinkokennot valmistetaan leikkaamalla yhtenäisestä piihiosta kiekkoja, jonka piiatomit muodostavat hyvin säännöllisen kiderakenteen. Kiekoista leikataan kulmat, sillä puhtaan piin kalliin hinnan vuoksi niistä ei kannata tehdä neliskanttisia, minkä takia yksikiteisten kiekkojen kulmissa on aukot. Kuvassa 6 on esitetty yksikiteinen kenno. [20.]



Kuva 6. Yksikiteinen aurinkokenno [20.].

Monikiteisillä kennoilla raaka-aine saadaan paremmin hyödynnettyä, koska ne voidaan leikata neliskulmaisista aihioista. Kuvassa 7 esitetään monikiteinen kenno, jonka erottaa helposti yksiteisestä kennosta sen kulmien ansiosta. [21.]



Kuva 7. Monikiteinen aurinkokenno [21.].

Monikiteisten kennojen valmistaminen on halvempaa kuin yksikiteisten kennojen, sillä niiden valmistukseen ei käytetä Czochralski-valmistusmenetelmää. Monikiteisten

kennojen hyötysuhde ei kuitenkaan ole yhtä hyvä kuin yksikiteisten, sillä niissä esiintyy tehokkuutta alentavia epäpuhtauksia enemmän. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että monikiteinen kenno tarvitsee hieman suuremman käyttöpinnan tuottaakseen saman verran sähköä auringonvalosta kuin yksikiteinen kenno. [22.]

Piikiteitä käyttävien paneelien lisäksi on olemassa ohutkalvopaneeleita, joita valmistetaan mm. CIS eli kupari-indium-gallium-rikki-seleeniyhdisteistä sekä CdTe- eli kadmium-telluuri-yhdisteistä. Ohutkalvopaneelien etu on niiden energiatehokkuus pilvisellä säällä, sillä ne kykenevät hyödyntämään paremmin hajasäteilyä, sekä niiden huokeampi hinta verrattuna kidepaneeleihin. Ohutkalvoiset paneelit ovat huomattavasti ohuempia kuin kiteiset paneelit, minkä seurauksena niissä käytetään vähemmän kalliita raaka-aineita. Hyötysuhteeltaan aurinkoisella säällä ne ovat tosin kidepaneeleita heikompia. [22; 23.]

Ohutkalvopaneelien etu perinteisiin kidepaneeleihin verrattuna on niiden taipuisuus ja kestävyys haastavissa olosuhteissa. Kuvassa 8 esitetään ohutkalvopaneeli, ja niillä mahdollinen paneelin taipuisuus. [24.]

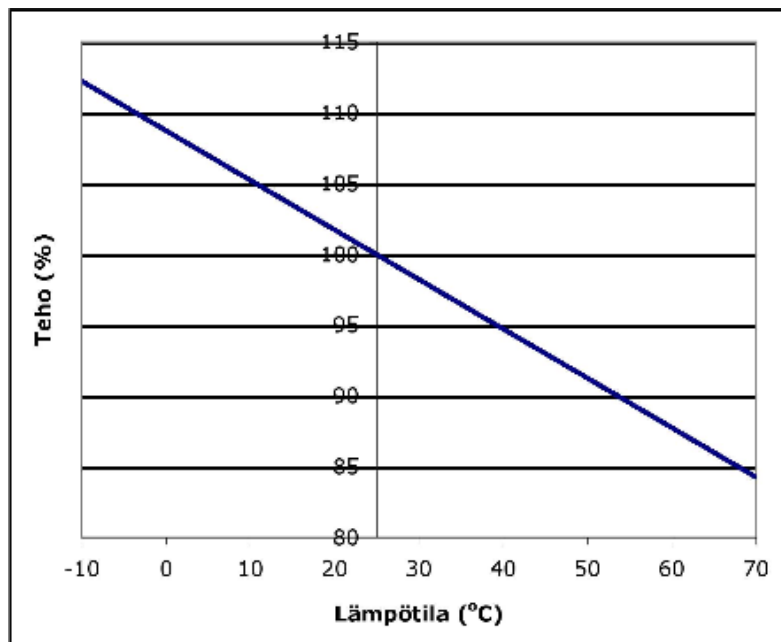


Kuva 8. Taipuisa ohutkalvopaneeli [24.].

Ympäristön lämpötilan vaikutus paneelien tehokkuudelle on huomioitava niiden käyttöä suunniteltaessa, sillä paneelin lämpötila vaikuttaa sen hyötysuhteeseen. Paneelien valmistajien antamat hyötysuhteet paneeleille on laskettu standardiolosuhteissa (STC), jossa paneelien mittauksen aikainen lämpötila on 25 °C. Kesällä, eli silloin kun paneelien



kuvittelisi tuottavan suurimmalla teholla sähköä, niiden tuotto jää toivottua vähäisemmäksi korkeammasta lämpötilasta aiheutuvan lämpöhäviön takia. Kuviosta 3 voi erottaa muutokset paneelien hyötysuhteille eri lämpötiloissa. [18.]



Kuvio 3. Aurinkopaneelien hyötysuhteen muutos lämpötilan mukaan [18.].

### 3.3 Invertteri

Aurinkopaneelien tuottama virta on tasavirtaa, minkä vuoksi ne tarvitsevat invertterin eli vaihtosuuntajan muuttaakseen sen vaihtovirraksi, jolloin sitä voidaan syöttää kiinteistöjen sähköverkkoon. Aurinkosähköjärjestelmiin liittyessä käytetään yleensä termiä verkkoinvertteri. Verkkoinvertterin avulla aurinkopaneelit saadaan kytkettyä suoraan kiinteistön sähköverkkoon ilman akkuja, joka mahdollistaa aurinkosähkön käytön ensin itse ja ylijäämän automaattisen myynnin sähköverkkoon.

Yksivaiheisia inverttereitä käytetään hyvin pienissä aurinkosähköjärjestelmissä sekä tietysti kiinteistöissä tai tiloissa, joiden käyttöliittymä on 1-vaiheiliittymä. Yksivaiheinen invertteri kytketään sähköverkon yhteen vaiheeseen, jolloin ainoastaan tähän vaiheeseen kytketyt laitteet voivat hyödyntää tuotettua aurinkosähköä. Tavanomaisemmin käytetään

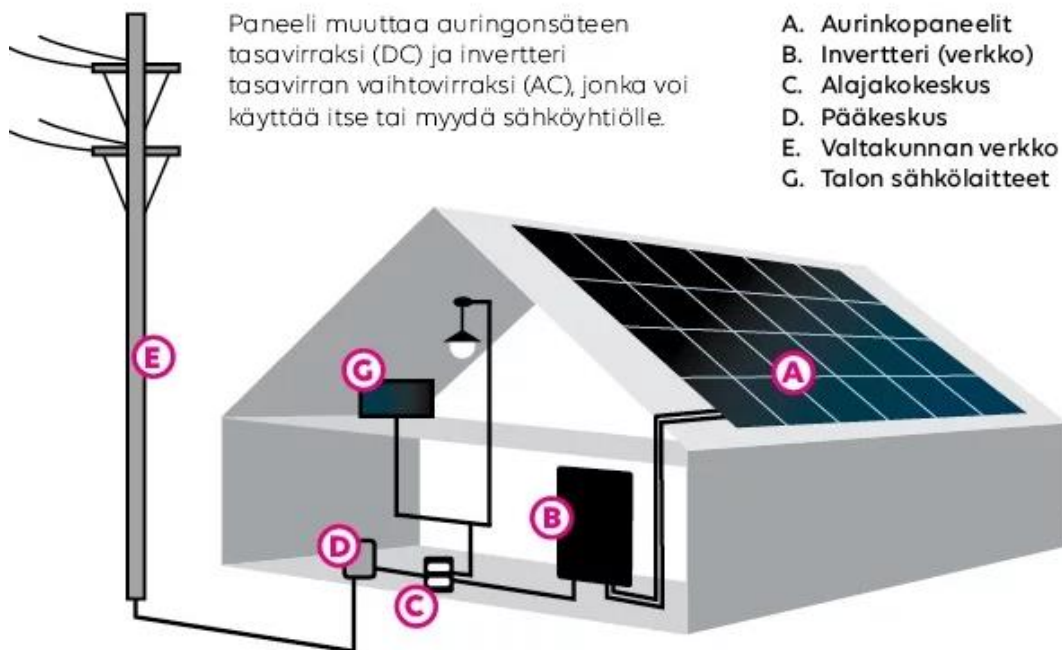
3-vaiheinverttereitä, sillä useampien verkkoyhtiöiden sähkömittarit käyttävät mittaustapaa, jolla kuluttajien ei ole kannattavaa käyttää 1-vaiheinvertteriä. [25; 26.]

Aurinkosähköjärjestelmissä käytetään tyypillisesti keskitettyä invertteriä, jolloin järjestelmään tarvitaan yksi ainoa invertteri. Tehohäviöiden välttämiseksi paneelit kytketään sarjaan. Tällöin yhden ainoan paneelin varjostuminen, likaantuminen tai vikatoiminta laskee kaikkien samaan sarjaan kytkettyjen paneelien tehoa. Ainoastaan muutaman paneelin järjestelmissä sekä kohteissa, joissa esiintyy vaihtelevasti varjostusta onkin järkevämpää käyttää mikroinverttereitä. Keskitetyn invertterin sijaan mikroinverttereitä asennetaan jokaiselle yksittäiselle paneelille, jolloin jokainen paneeli toimii itsenäisesti eikä sen tuotanto kärsi saman järjestelmän muiden paneelien toimintakyvystä. Mikroinverttereillä varustettu järjestelmä tulee yleensä hankintakustannuksiltaan kalliimmaksi kuin keskitetyllä verkkoinvertterillä varustettu. Mikroinverttereiden uusiminen on myös työläämpää kuin yhden keskitetyn invertterin uusiminen tai huoltaminen. [26; 27; 28.]

#### 3.4 Aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmässä paneelit muuttavat auringonsäteilyn valosähköisen ilmiön avulla tasavirraksi. Tuotettu tasavirta muutetaan verkkoinvertterillä vaihtovirraksi, jolloin se voidaan myöhemmin jakokeskuksen kautta siirtää suoraan kiinteistön verkkoon hyödynnettäväksi sähkölaitteiden virraksi, tai pääkeskuksen kautta myytäväksi valtakunnan verkkoon. Järjestelmän virran katkaisuun tarvitaan pakollinen turvakytkin. Kuvassa 9 esitetään kiinteään valtakunnan verkkoon liitetyn rakennuksen aurinkosähköjärjestelmä. [26; 29.]

## AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN TOIMINTA



Kuva 9. Sähköverkkoon kytketyn aurinkojärjestelmän toimintaperiaate [29.].

### 3.5 Aurinkokeräin

Aurinkokeräimet ovat järjestelmiä, jotka aktiivisesti sitovat auringonsäteiden luomaa lämpöä itseensä, siirtäen sitä nesteen avulla lämpövarastoon tai suoraan käyttöön. Suomessa tavanomaisimpia nestekiertoisia lämpökeräimiä ovat tasokeräimet sekä tyhjiöputkikeräimet. [9; 30.]

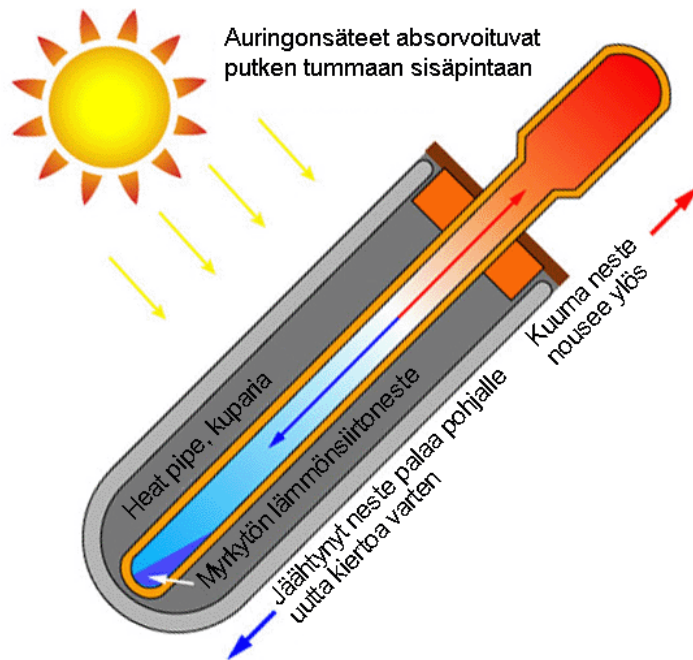
Tasokeräimien toiminta perustuu absorbaattorin kykyyn hyödyntää auringonsäteilyn energiaa muuttamalla sen lämmöksi. Tasokeräin on levymäinen, hieman aurinkosähköpaneelia muistuttava laite. Se koostuu eristetystä suojakotelosta, ilmastolta suojaavasta lasista sekä absorbaattorina toimivista lämmönsiirtoputkistosta ja kuparisista sivulevyistä. Sivulevyt ja putket on päällystetty selektiivisellä absorptiopinnoitteella, joka kykenee sitomaan auringon säteilyenergiasta lähes 95 % muuttaessaan sen lämmöksi. Vain 5 % lopusta energiasta palautuu ympäristöön hukkana. Tämä tekee tasokeräimen

toiminnasta edullista matalissa ympäristön lämpötiloissa ja silloin kun auringonvalo säteilee heikommin. Lämmönkeruuputkistojen sisällä oleva neste on jäätymätöntä vesi-glykoli-seosta, joka siirtää lämmön talteen lämminvesivaraajaan, kun neste on lämmennyt tiettyyn pisteeseen. Kotelon lasi tehdään karkaistusta ja vähä rautaisesta erikoispinnoitetusta lasista, mikä läpäisee paremmin lämpösäteilyä kuin tavallinen lasi. Selektiiviset tasokeräimet soveltuvat hyvin käyttöveden lämmitykseen. [30; 31.] Kuvassa 10 esitetään tasokeräin, jonka levymäinen ulkonäkö muistuttaa jonkin verran aurinkosähköpaneelia. [32.]



Kuva 10. GreenOneTec FK6300 Tasokeräin [32.].

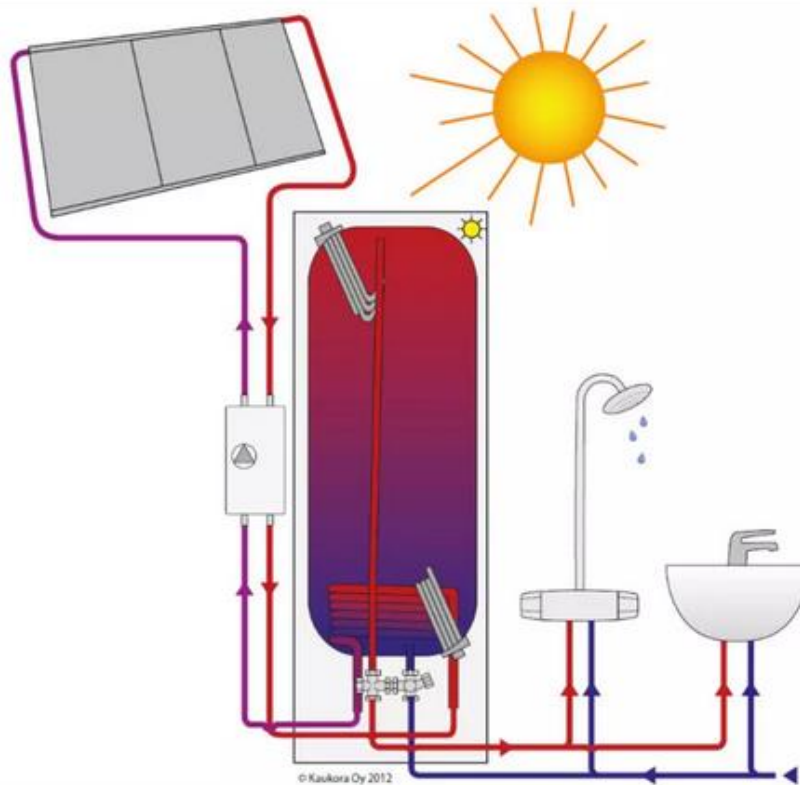
Tyhjiöputkikeräimessä tasokeräimen sivulevyjen sijasta käytetään lasista tehtyä tyhjiöputkiloa. Tyhjiöputki suojaa absorbaattoria ilmastolta ja toimii eristeenä. Joidenkin tyhjiöputkien takana on heijastuspintaa, jolloin kaikki sen pinta-ala osallistuu tehokkaasti auringon säteiden keräämiseen. Tämän ansiosta tyhjiöputkikeräimen hyötysuhde on tasokeräintä parempi pilvisellä kelillä, kun auringon säteily on enimmäkseen hajasäteilyä ja suoran säteilyn määrä jää vähäiseksi. Tyhjiöputkikeräimet soveltuvat kohteisiin, joissa käytetään korkeita lämpötiloja, esim. jäähdytyslämmön tuotossa. [30; 31.] Kuvassa 11 näkyy tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate ja lämmönkeruuputken sijoittuminen siinä. [33.]



Kuva 11. Tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate [31].

### 3.6 Aurinkolämmön varastointi

Aurinkokeräinten tuottama lämpö voidaan talteenoton jälkeen varastoida. Yleisin aurinkokeräimien lämmön varastointipaikka on lämminvesivaraaja. Tavanomaisesti aurinkolämmöllä tuetaan käyttövesivaraajan lämmittäminen sekä kuivauspattereiden tai märkätilojen lämmittäminen, mikä on mahdollista joko samaa varaajaa tai erillisestä varaajaa käyttäen. Huoneiden lämmitykseen varaajalta voidaan ohjata lämmintä vettä lattialämmitykselle, patteriverkostoon tai niiden yhdistelmiin. Varaajan alaosaan usein sijoitetaan esilämmityskierukka, mikä varmistaa lämpimän käyttöveden riittävyyden sekä samalla parantaa aurinkokeräimen hyötysuhdetta. Kuvassa 12 esitetään sähkövastuksilla toimivan lämminvesivaraajan ja aurinkokeräinjärjestelmän toimintaperiaate. Varaajan vesi kerrostuu lämpötilojen mukaan lämpimän veden pyrkiessä ylös ja jäähtyneen veden lasiessa vastaavasti alas. Veden kerrostuminen lisää aurinkokeräimen hyötysuhdetta, sillä varaajan pohjalta voidaan siirtää jäähtynyttä, viileää vettä suoraan keräimen lämmitettäväksi, mikä ei toimisi varaajan veden ollessa tasalämpöistä. [32; 33.]



Kuva 12. Havainnekuva aurinkokeräimen ja lämminvesivaraajan yhdistelmän toiminnasta [32.].

Varaajaan mitoituksen lähtökohtana on kesäajan lämpimän käyttöveden kulutus sekä varaajan ja siirtoputkien lämpöhäviöt. Näiden perusteella voidaan arvioida, riittääkö aurinkokeräimen kapasiteetti kattamaan varaajan lämmityksen itsekseen, vai tarvitaanko siihen vielä toinen energianlähde tukemaan lämmitystä. Mitoittaessa vain aurinkokeräimelle tarkoitettua varaajaa olennaisimmat tekijät ovat aurinkokeräimen kokoluokka ja lämpöenergian tuotanto. Poutaisena päivänä yksi keräineliometri voi tuottaa 2–3 kWh yhdellä keräinpinta-alansa neliometrillä, millä voidaan lämmittää 100-litraisen varaajan veden lämpötilaa 15–25 °C. Nyrkkisääntönä jokaista keräimen pinta-alan neliometriä kohden olisi siis syytä varata ainakin 100 litraa varaajatilaa. [33.]

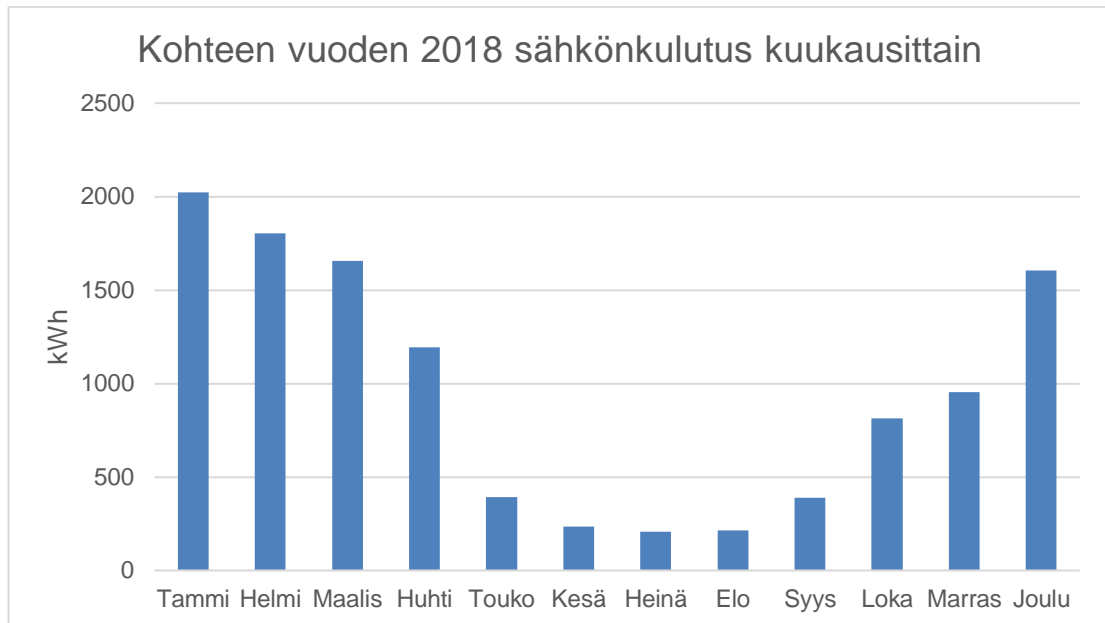
## 4 Kohderakennuksen tiedot

Kohde jolle järjestelmä suunnitellaan, on 2000-luvun alussa rakennettu hirsiseinäinen huvila Pieksämäen seudulla, jonka katon harja on itä-länsi-suuntaan. Rakennus on kakkerroksinen, joten ympäröivistä metsän puista huolimatta katon eteläpuolelle paistaa esteettömästi auringonvaloa keväästä syksyyn. Harjan eteläpuoleisella katoksella on aurinkopaneeleiden asentamiseen mahdollista asennustilaa noin 20 neliometriä. Kiinteistö on liitetty osaksi Savon Voima Oy:n kiinteään sähköverkkoon, ja sillä on sähkönmyyntisopimus Väre Energia Oyj:iin kanssa. Jakeluyhtiö Savon Voima Oy veloittaa kohteen sähkönsiirrosta ja Väre Energia Oyj sähkön myynnistä.

Savon Voiman siirtämästä sähköstä osa tuotetaan yhdestätoista vesivoimalaitoksesta Pohjois- ja Etelä-Savossa sekä vastapainevoimalaitoksista Iisalmessa ja Pieksämäellä. Paikallisesti tuotetun sähkön määrä vuodessa on suunnilleen 190 GWh ja tuotanto-osuuksien sähköntuotanto vuosittain noin 200 GWh. Tästä noin 9 GWh tuotetaan Vaasan Torkkalan ja Santavuoren tuulivoimaloilla, jolloin noin 2,3 % sähköntuotannosta on uusiutuvaa energiaa. [34.]

### 4.1 Kohteen sähkönkulutus

Vuonna 2018 kohteen sähkönkulutus oli 11 489 kWh. Kuviossa 4 on kohteen sähkönkulutus kuukausittain mistä näkyy, että huomattava osa kohteen vuosittaisesta sähkönkulutuksesta tulee kohteen talviaikaisesta sähköisestä lämmityksestä. Tämän vuoksi kulutus on vähäisintä kesällä (kesä–elo), vaikka silloin kohde on tiuhemmin aktiivisessa käytössä. Kesäaikaan kohteen suurimmat sähkönkuluttajat ovat lämminvesivaraaja sekä elektroniikka. Kuviossa 4 näkyy kohteen sähkönkulutus kuukausittain vuonna 2018.



Kuvio 4. Kohteen kuukausittainen sähkönkulutus 2018.

Kohteen tarkka tuntimääräinen sähkönkulutus on tuntematon. Teholtaan mittavimpia sähkölaitteita käytetään kesäaikaan päivällä, milloin aurinkosähköntuotanto on parhaimmillaan.

Taulukossa 1 esitetään kohteen sähkönkulutus kuukausittain sekä kulutuksen päivittäinen keskiarvo kyseiselle kuulle. Kesäkuusta elokuuhun kohteen päivittäisen sähkönkulutuksen keskiarvo pyörii 7–8 kWh:in paikkeilla.



Taulukko 1. Kohteen kuukausittainen sähkönkulutus ja kulutuksen päivittäinen keskiarvo.

Kuukausi	kWh	Päivittäinen keskiarvo, kWh
Tammi	2021	65,19
Helmi	1804	64,43
Maalis	1656	53,42
Huhti	1194	39,8
Touko	394	12,71
Kesä	234	7,8
Heinä	209	6,74
Elo	215	6,93
Syys	388	12,93
Loka	813	26,22
Marras	955	31,83
Joulu	1606	51,8
Koko vuosi	11489	31,47

#### 4.2 Kohteen veden kulutus

Kohteen lämminvesivaraaja on Thermia Modul MK-R300, jonka tilavuus 290 litraa. Kohteen kiinteistössä on suihku, kaksi vesihanaa ja lavaaaria sekä tiskikone, mutta suihku on hyvin harvoin käytössä. Pelkkään veden lämmön ylläpitoon kuluu noin 4 kWh päivässä. Kiinteistön ollessa käytössä vettä kuluu päivittäin suunnilleen 100–300 litraa. Vaihtelu on suuri, sillä veden kulutukseen vaikuttaa pitkälti kiinteistössä olevien henkilöiden lukumäärä. Arviolta 50 % käytetystä vedestä on lämmitettyä vettä, sillä juomavesi haetaan muualta.

Rakennuksen käyttöveden lämmityksen energiakulutus on tuntematon, joten lämmitykseen kuluva energia täytyy selvittää. Lämpimän käyttöveden lämmitysenergian nettotarpeen laskukaavassa käytetään veden ominaislämpökapasiteettia 4,2 kJ/kg°C. [35, s. 24.] Veden alkulämpötila on 5 °C ja lopullinen lämpötila on 55 °C. Lämmitetyn veden määrä on 200 litraa x 0,5 = 100 litraa eli kuutiometreinä 0,10 m<sup>3</sup>.

$$Q = \frac{\rho \times c_p \times V \times (t_2 - t_1)}{3600}$$

$Q$  on veden lämmitykseen kuluva energia (kWh)

$\rho$  on veden tiheys ( $1000 \text{ kg/m}^3$ )

$c_p$  on veden ominaislämpökapasiteetti ( $4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ )

$V$  on vedenkulutus ( $\text{m}^3$ )

$t_2$  on lämmitetyn veden lämpötila  $55 \text{ }^\circ\text{C}$

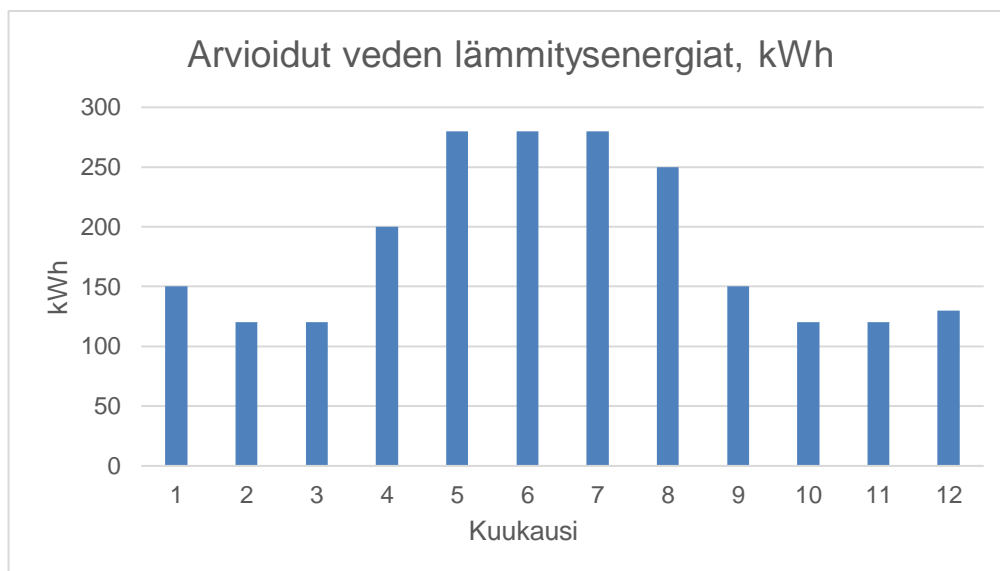
$t_1$  on veden alkulämpötila  $5 \text{ }^\circ\text{C}$

3600 on yksikkömuunnoskerroin kilojouleista (kJ) kilowattitunteihin (kWh).

$$Q = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}^\circ\text{C} \times 0,10 \text{m}^3 \times (55 \text{ }^\circ\text{C} - 5 \text{ }^\circ\text{C})}{3600} = 5,833 \text{ kWh}$$

Kiinteistön ollessa käytössä veden lämmitystarve on noin 5,8 kWh päivässä. Jos oletetaan, että kiinteistö on koko kesäkuun jatkuvassa käytössä, sen veden lämmittämiseen tarvittava energia lähenisi 175 kWh.

Arvio kohteen vuotuisesta veden lämmitykseen tarvitsemasta energiasta saadaan lisäämällä lämminvesivaraajan veden kuukausittaiseen ylläpitoenergiaan yllä laskettu päivittäinen energiantarve niille päiville, jolloin kohde on tyypillisesti käytössä. Kohde on tyypillisesti käytössä kesäaikaan, pyhäpäivinä sekä loma-aikoina, kuten kuviossa 5 näkyy.



Kuvio 5. Kohteen arvioidut veden lämmitysenergian määrät kuukausittain.

## 5 Järjestelmien mitoitus

### 5.1 Tekniset vaatimukset

Koska kohteen kiinteistö on liitetty osaksi sähköverkkoa, sen sähköntuotantolaitoksen täytyy vastata jakeluverkon vaatimuksia toiminnalleen. Se tarvitsee suojalaitteita, jotka irrottavat laitteiston tarpeen tullen yleisestä jakeluverkosta, jos verkkosyötössä on häiriöitä, tai jos sähköntuotantolaitoksen liitäntänapojen jännitteessä tai taajuudessa on poikkeamia. Sähköntuotantolaitteisto ei saa kytkeytyä yleiseen jakeluverkkoon, mikäli jakeluverkon jännite ja taajuus ei pysy asettelu arvojen sisällä. Laitteisto tarvitsee lukittavan erotuskytkimen, jolla voidaan estää tahaton syöttö Savon Voiman verkkoon. Sähkönlasutusmittauksen täytyy olla kaksisuuntainen tuntimittaus. Kiinteistön pääkeskukseen tarvitaan pysyvä varoitustarra ilmoittamaan, että sähköverkosta erottamisen jälkeen osissa voi edelleen olla jännite. Vaihtosuuntajaan tulee laittaa merkintä opastamaan sen tasan sähköosan, että vaihtosähköosan erottaminen ennen mahdollisia huoltotoimenpiteitä. Savon Voiman sähköverkon huoltohenkilöille ja tarkastajille tulee olla esteetön pääsy jakeluverkon liittymiskohtaan sekä erotuskytkimelle, jonka täytyy olla yksiselitteisesti tunnistettavissa. [36.]

Kokonaisuudessaan aurinkosähkövoimalan muodostavat komponentit ovat siis

- keskitetty verkkoinvertteri
- aurinkopaneelit
- aurinkopaneelien kiinnitystelineet katolle
- aurinkosähkökaapeli, jolla aurinkopaneelit yhdistetään verkkoinvertteriin
- potentiaalintasauskaapeli, jolla kiinnitysteline yhdistetään potentiaalintasauskiskoon
- verkkoyhtiön vaatima lukittavissa oleva turvakytkin
- kaksisuuntaiseen tuntimittaukseen kykenevä sähkömittari
- vikavirtasuoja ja johdonsuojakatkaisija
- varoitustarra aurinkovoimalan syötöstä kiinteistön sähköverkkoon

Ennen tuotantolaitoksen kytkemistä jakeluverkkoon täytyy Savon Voiman kanssa tehdä liittymissopimus, sähköntuotannon verkkosopimus, sekä lähettää ilmoitus sähkön ostajasta ja myyjästä. Sopimukset tehdään Energiamarkkinaviraston hyväksymiin liittymis- ehtoihin TLE05 ja verkkopalveluehtoihin TVPE05 perustuen. [37; 38.]

Kohteen katon kaltevuus on suunnilleen 30°. Euroopan komission ylläpitämän laskurin mukaan optimaalinen asennuskulma kohteen maantieteellisessä sijainnissa aurinkopaneelille on 42° [39.]. Kyseisellä laskurilla saadut muut tiedot ovat pitkälti suuntaa antavia arvioita, jotka eivät ota toivottavan tarkasti huomioon kohteessa vallitsevia ilmastollisia olosuhteita. Tämän vuoksi on mielekkäämpää käyttää järjestelmiä mitoittaessa Ilmatieteen laitoksen kohteen vyöhykkeellä mitattavia tuloksia. [11.]

Käytännössä paneelit tulisi asentaa katolle 40–45°:en kulmaan etelän suuntaan maksimaalisen tuoton takaamiseksi. Tällöin paneeleja täytyy nostaa hieman ylemmäs katon tasalta, mikä lisää paneelien tuulettumista ja siten edesauttaa kesällä niiden jäähdytystä. Talvella katolle kertyvä lumikerros ei saa vahingoittaa paneeleja tai kuormittaa niiden rakenteita, mikä edellyttää tarpeeksi jykeviä kattokiinnityselineitä sekä asennusta. Tämä otetaan huomioon paneelijärjestelmien kuluissa. Mahdollisen paneelien aiheuttaman varjostumisen takia paneelit asetetaan rinnakkain enintään kahteen erilliseen ketjuun katolle.

## 5.2 Mitoitus sähkön kesäajan pohjakulutuksen mukaan

Tarkastellessa ainoastaan kohteen kesäaikaista pohjakulutusta voidaan mitoittaa järjestelmä, jonka tuotanto menee kohteen kulutukseen eikä myyntiin eteenpäin. Tällöin tuotanto voidaan parhaiten hyödyntää omaan käyttöön. [40.] Tässä tapauksessa pohjakulutusta verrattava tekijä on kohteen heinäkuun sähkönkulutus 209 kWh. Kyseinen järjestelmä ei saisi siis tuottaa heinäkuussa tätä enempää. Järjestelmä saadaan mitoittua käyttämällä Ilmatieteen laitoksen kohteen alueella mitatun auringonsäteilyn määrää 45-asteen kalteville pinnoille, sekä vuosittaisen säteilymäärän osuuksia eri kuukausina. Taulukossa 2 on Ilmatieteen laitoksen mittaustulokset kohteen vuotuiselle säteilylle, minkä mukaan kohteen säteily määrä on heinäkuussa 172,5 kWh/m<sup>2</sup>, mikä vastaisi 15,3 % vuotuisesta auringonsäteilyn määrästä kohteessa. [11.]

Taulukko 2. Kohteen vuotuinen säteily määrä ja sen päivittäinen keskiarvo kuukausittain. [11.]

Kuukausi	Säteily määrä kWh/m <sup>2</sup>	Osuus kokonaissäteilystä %
Tammi	9,7	0,86
Helmi	45,7	4,05
Maalis	84,5	7,5
Huhti	137,2	12,17
Touko	189,7	16,83
Kesä	163,7	14,52
Heinä	172,5	15,3
Elo	143,2	12,7
Syys	113,5	10,07
Loka	47,6	4,22
Marras	14,9	1,32
Joulu	5,3	0,47
Koko vuosi	1127,3	100

Jakamalla heinäkuun sähkönkulutus mitatun vuotuisen säteilyn heinäkuun prosenttiosuuden kanssa saadaan laskettua vuosituotannon järjestelmälle, jonka sähköntuotto ei ylitä kulutusta silloin eikä muinakaan kuukausina.

$$\frac{209 \text{ kWh}}{0,153} = 1366,013 \text{ kWh}$$

Järjestelmän vuosituotannon pitäisi siis olla noin 1 366 kWh. Laskemalla yhden paneelin huipputeho ja sen tuottama vuosituotanto saadaan selville tarvittavien paneelien lukumäärä. Paneelin huipputeho saadaan kertomalla sen toiminnallinen pinta-ala hyötysuhteen kanssa STC-olosuhteissa, eli kun referenssisäteily on 1 kW/m<sup>2</sup>. [35, s.6.]

$$W_p = A \times \eta \times I_{ref}$$

$W_p$  on paneelin huipputeho

$A$  on paneelin pinta-ala

$\eta$  on paneelin hyötykerroin

$I_{ref}$  on referenssisäteilytilanne 1 kW/m<sup>2</sup>.

Amerisolar 300 W yksikidepaneelin pinta-ala on 1,626 m<sup>2</sup> ja hyötysuhde on 18,44 %.

$$1,626 \text{ m}^2 \times 0,1844 \times 1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} = 0,2998 \text{ kW}$$

Yhden paneelin huipputehoksi saadaan 0,2998 kW. Paneelin vuosituotanto kohteessa saadaan kertomalla kohteen vuotuinen aurinkosäteily yhdessä lasketun huipputehon kanssa, sekä vähentämällä tästä arvioidut häviöt. Laskukaava löytyy Suomen rakentamismääräyskokoelmasta D5. [35. s 66]

Vuotuinen säteily määrä on 1127,3 kWh/m<sup>2</sup>

Paneelin huipputeho on 0,2998 kW

Paneelin lämpenemisen häviöt ovat 5 %

Invertterin häviöt on 2 %

Johdinhäviöt on 1%

$$\frac{1127,3 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 0,2998 \text{ kW} \times (0,95 - 0,02 - 0,01)}{1 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}} = 310,9 \text{ kWh}$$

Yhden paneelin vuosituotanto kohteessa on siis 310,9 kWh. Tarvittavien paneelien määrä selviää jakamalla järjestelmän haluttu vuosituotanto yhden paneelin vuosituotannolla.

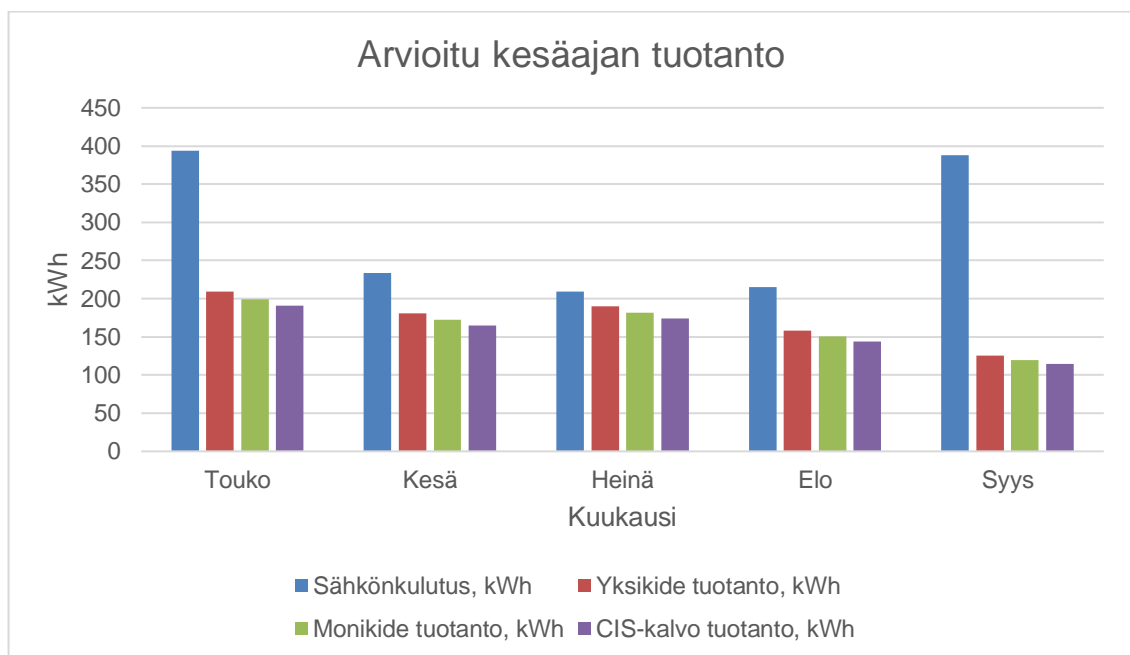
$$\frac{1366 \text{ kWh}}{310,9 \text{ kWh}} = 4,39$$

Paneeleja tarvitaan siis neljä. Useamman paneelin vuosituotanto ylittäisi toivotusta. Samalla tavalla voidaan mitoittaa järjestelmät Astroenergy 285W -monikidepaneeleilla ja Avancis PowerMax 3.5 CIS -ohutkalvopaneeleilla sekä laskea niiden huipputehot ja vuosituotannot. Taulukossa 3 on esillä eri paneeleilla mitoitettut järjestelmät sekä niiden lasketut huipputehot ja vuosituotannot.

Taulukko 3. Järjestelmien paneelien lukumäärä, yhteispinta-ala, huipputeho ja vuosituotanto kolmella eri paneelityypillä.

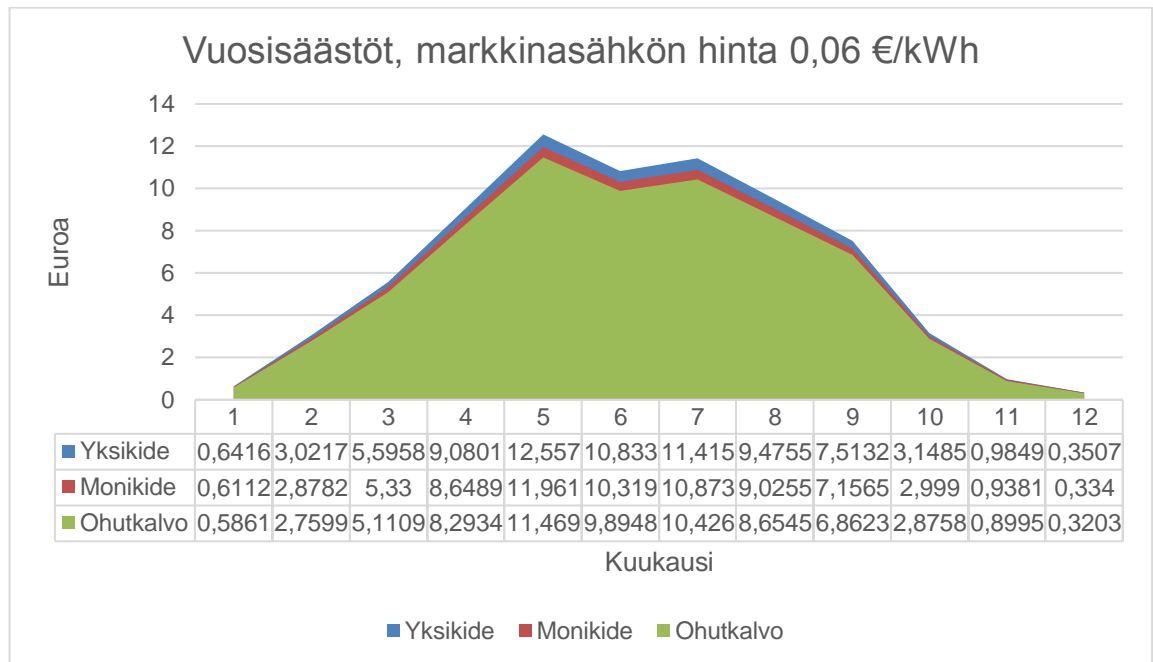
Paneelityyppi	Hyötysuhde, %	Paneelin pinta-ala, m <sup>2</sup>	Paneelien lukumäärä	Paneeliston pinta-ala, m <sup>2</sup>	Paneeliston huipputeho, kWh	Järjestelmän vuosituotanto, kWh
Yksikide, Amerisolar 300W	18,44	1,626	4	6,504	1,199	1243,502
Monikide, Astroenergy 285 W	17,5	1,631	4	6,524	1,141	1184,452
Ohutkalvo, Avancis PowerMax 135W	13	1,053	8	8,424	1,095	1135,766

Aurinkopaneeleista yksikidepaneelit pystyisivät kattamaan 10,85 % vuotuisesta sähkönkulutuksesta, muut paneelit tätä vähemmän. Tällä mitoituksella kaikkien eri paneelityypillä toteutettujen järjestelmien tuottama sähkö voidaan hyödyntää ympärivuotisesti kohteen sähkön kuluissa. Kuviossa 6 näkyy eri paneelityyppien arvioitujen vuosituotantojen sijoittuminen kesäajalle suhteessa sähkönkulutukseen.



Kuvio 6. Arvioidut vuosituotannot kesäkuukausittain kolmen eri paneelityypin järjestelmille.

Kohteen vuosisäästöjen markkinasähkön hintana on käytetty vuoden 2019 alun markkinasähkön hintaa 0,06 €/kWh. Järjestelmän vuotuisen tuoton voidaan olettaa kasvavan sähkön hinnan noustessa ajan myötä. Sähkön hinnan arvioituna kasvuna pidetään tässä tapauksessa 3,9 %:in vuosikorkoa. Kuviossa 7 on eri paneelityypeistä saadut vuosisäästöt.



Kuvio 7. Vuosisäästöt eri paneelityyppien järjestelmillä kuukausittain.

Järjestelmien takaisinmaksuajat lasketaan niiden paneelikohtaisen hankintahintojen, huoltokulujen ja markkinasähkön hinnan muutoksen mukaan. Laskelmissa käytetään kahden invertterin hintaa, sillä ne täytyy vaihtaa 15 vuoden välein. Muilta osin järjestelmien investointikulut koostuvat paneelien tarvitsemista kattokiinnitysjärjestelmistä, kaapeleista, liittimistä sekä itse paneelien kattoasennuksesta, johon palkataan alan ammattilainen.

Aurinkopaneelijärjestelmien investointikustannusten, sähkön markkinahinnan sekä sen arvioidun hinnan nousun perusteella tehdyistä laskemista paljastuu, että kaikilla kolmella paneelityypillä takaisinmaksuaika ylittää 30 vuotta. Taulukossa 4 on esitetty tulokset kaikilla kolmella eri paneelijärjestelmällä.



Taulukko 4. Järjestelmien investointikulut, vuosisäästöt ja takaisinmaksuajat.

Paneelityyppi	Amerisolar 300W, yksikide	Astroenergy 285 W, monikide	Avancis 135 Wp, CIS-ohutkalvo
Paneelien määrä	4	4	8
Huipputeho, kWp	1,2	1,14	1,1
Vuosituotanto, kWh	1243,50	1184,45	1135,76
Investointihinta €	4400	4440	4620
Vuosisäästö, €	74,61	71,06	69,14
Takaisinmaksuvuosi	31	32	33

Tämä ei ole hyväksyttävä investointi, sillä aurinkokennojen keskimääräinen elinikä on ainoastaan 30 vuotta, ja tuossa ajassa paneelien hyötysuhteet laskevat liikaa alkuperäisestä. Aurinkosähköjärjestelmä, joka on mitoitettu kohteen kesäajan sähkön pohjakulutuksen mukaan ei siis yksiselitteisesti ole kannattava kohteessa nykypäivänä annetuilla laitteiden hinnoilla. Seuraavassa alaluvussa aurinkosähköjärjestelmien mitoitus tehdään kohteen käytössä olevan katon pinta-alan mukaan.

### 5.3 Mitoitus katon pinta-alan mukaan

Järjestelmä voidaan myös mitoittaa kohteen katolla käytettävissä olevan pinta-alan mukaan, eli laskemalla kuinka monta paneelia järjestelmään voi enintään asentaa. Tällöin selviää kohteen suurin mahdollinen sähköntuotto eri paneeleilla. Aurinkopaneeleille sopivaa tilaa katolla on suurin piirtein noin 20 m<sup>2</sup>. Paneelien suurin sallittu määrä saadaan laskemalla katon pinta-ala paneelin pinta-alalla. Amerisolar 300W -yksikidepaneelin pinta-ala on 1,626 m<sup>2</sup>.

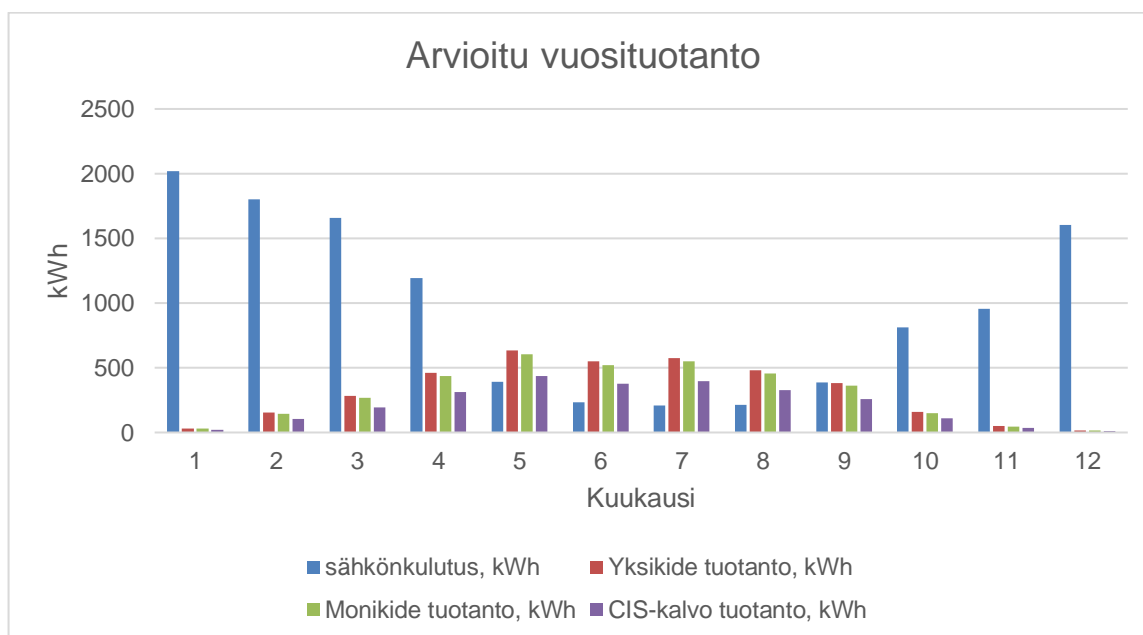
$$\frac{20 \text{ m}^2}{1,626 \text{ m}^2} = 12,3$$

Paneeleja mahtuu katolle siis enintään 12. Samalla tavoin saadaan laskettua Astroenergy 285W -monikidepaneelien ja Avancis PowerMax 3.5 CIS -ohutkalvopaneelien suurin sallittu määrä katolle sekä laskettua näistä koostuvien järjestelmien huipputehot ja vuosituotannot aiemmassa alaluvussa mainituin tavoin. Taulukossa 5 on esillä eri paneeleilla mitoitettut järjestelmät sekä niiden lasketut huipputehot ja vuosituotannot.

Taulukko 5. Järjestelmien paneelien lukumäärä, huipputeho ja vuosituotanto kolmella eri paneelityypillä.

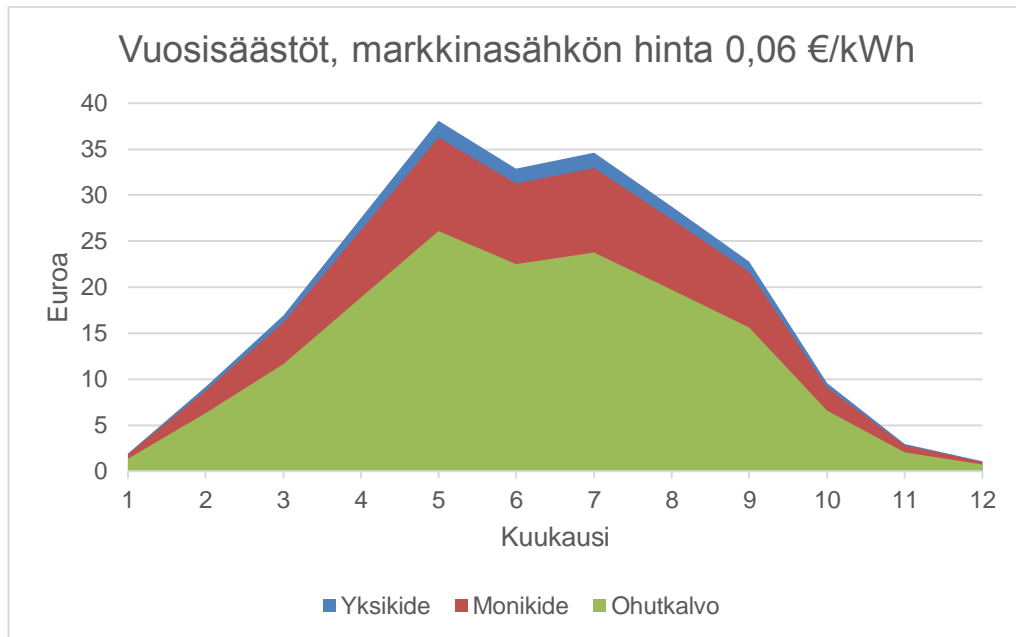
Paneelityyppi	Paneeliston huipputeho, kWh	Järjestelmän vuosituotanto, kWh	Paneelien lukumäärä
Yksikide, Amerisolar 300W	3,598	3772,11	12
Monikide, Astroenergy 285 W	3,425	3590,83	12
Ohutkalvo, Avancis PowerMax 135W	2,465	2585,13	18

Aurinkopaneeleista yksikidepaneelit pystyivät kattamaan 32,83 % vuotuisesta sähkönkulutuksesta, muut paneelit tätä vähemmän. Tällä mitoituksella kaikkien eri paneelityypillä toteutettujen järjestelmien tuottamaa sähköä ei voida hyödyntää kohteessa kokonaan, mikä osittain laskee järjestelmien kannattavuutta. Kuvio 8 näyttää eri paneelityyppien vuosituotannon arvioista sähkönkulutuksen ylittävät osuudet kuukausittain.



Kuvio 8. Arvioidut vuosituotannot kuukausittain kolmen eri paneelityypin järjestelmille.

Kohteen vuosisäästöjen markkinasähkön hintana on käytetty vuoden 2019 alun markkinasähkön hintaa 0,06 €/kWh. Sähkön hinnan kasvuna pidetään vuosikorkoa 3,9 %. Järjestelmän vuotuisen tuoton voidaan olettaa kasvavan sähkön hinnan noustessa ajan myötä. Kuvio 9 näyttää eri paneelityypeistä saadut vuosisäästöt.



Kuvio 9. Vuosisäästöt eri paneelityyppien järjestelmillä.

Järjestelmien takaisinmaksuajat lasketaan samalla periaatteella kuin aiemmassakin mitoitustilanteessa. Aurinkopaneelijärjestelmien investointikustannusten, sähkön markkinahinnan sekä sen arvioidun hinnan nousun perusteella yksi- ja monikiteisillä paneelivaihtoehdoilla tehtyjen järjestelmien investoinnin takaisinmaksuaika on noin 18–19 vuotta. Taulukko 6 esittää järjestelmien investointikulut, vuosisäästöt ja takaisinmaksuajat.

Taulukko 6. Aurinkosähköjärjestelmien investointikulut, vuosisäästöt ja takaisinmaksuajat.

Paneelityyppi	Amerisolar 300W, yksikide	Astroenergy 285 W, monikide	Avancis 135 Wp, CIS-ohutkalvo
Paneelien määrä	12	12	18
Huipputeho, kWp	3,6	3,4	3,5
Vuosituotanto, kWh	3772,11	3590,83	2585,13
Investointihinta €	5800	5920	5770
Vuosisäästö, €	456,04	441,02	357,64
Takaisinmaksuvuosi	19	19	24
Taloudellinen voitto, €	3499,64	2932,72	603,30

25 vuoden sisällä taloudellista säästöä kertyisi yhteensä noin 3 500 €, kun käytetään kahdestatoista Amerisolar 300W -yksikidepaneelista koostuvaa järjestelmää. Tämä on ainoastaan vähän päälle puolet järjestelmän investointihinnasta. Tämän lisäksi huomattava osa järjestelmän vuodessa tuottamasta sähköstä, noin 1 187 kWh, on ylituotantoa. Saatu etu tästä tuotetun sähkön määrän myynnistä on piskuiset 71,22 € vuodessa.

#### 5.4 Mitoitus lämpimän veden tarpeen mukaan

Aurinkokeräin mitoitetaan kattamaan kesäajan lämpimänveden kulutuksen lähes kokonaan olettaen, että kiinteistö on jatkuvassa käytössä. Jotta kulutushuiput tai pilviset päivät eivät viilentäisi varaajaa täysin sen pitäisi olla tilavuudeltaan 2–3 kertaa päivittäistä lämpimän veden arviota suurempi. [33.] Rakennuksen 290 litraisien lämminvesivaraajien tilavuus on siis riittävä. Järjestelmän kuluissa suurimmat menoerät ovat aurinkokeräimet ja putkistot.

Aurinkokeräinten mitoitusta tehdään niiden apertuuripinta-alan perusteella. Aurinkokeräimiksi valitaan Wagner Euro L42 HTF-tasokeräin, jonka apertuuripinta-ala on 2,01 m<sup>2</sup>. Keskimääräinen vuosituotto tasokeräimelle vuosittaisella säteilyllä arvolla 1212 kWh/m<sup>2</sup> on 441 kWh/m<sup>2</sup>. Kohteen vuosittaisella auringonsäteilyllä sen keskimääräinen vuosituotto olisi siis:

$$\frac{1127 \text{ kWh/m}^2}{1212 \text{ kWh/m}^2} \times 441 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 410 \text{ kWh/m}^2$$

Välttääkseen yli- tai alimitoitusta keräin mitoitetaan kesäajan vedenlämmitykselle, käyttämällä touko–heinäkuun säteilymäärän keskiarvoa. Kesäkuukausien säteilymäärän keskiarvo on 175,3 kWh/m<sup>2</sup>, mikä vastaa 15,55 % vuotuisesta säteilymäärästä. Kuukaudessa päivittäinen vedenkulutus kohteessa tarvitsisi 175 kWh energiaa.

$$\frac{175 \text{ kWh}}{0,1555 \times 410 \text{ kWh/m}^2} = 2,7448 \text{ m}^2$$

Tarvittavaksi pinta-alaksi saadaan 2,74 m<sup>2</sup>. 290 litran lämminvesivaraaja tarvitsisi keräin pinta-alaa vähintään noin 4–6 m<sup>2</sup>:in verran. Jakamalla tarvittava pinta-ala yhden tasokeräimen apertuuripinta-alalla saadaan keräimien tarvittava lukumäärä.

$$\frac{2,74 \text{ m}^2}{2,01 \text{ m}^2} = 1,363$$

Tasokeräimiä tarvitaan siis vähintään kaksi kappaletta. Järjestelmään tulee kaksi keräintä, joiden yhteispinta-ala  $2 \times 2,01 \text{ m}^2$  on 4,02 m<sup>2</sup>.

$$410 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 4,02 \text{ m}^2 = 1648,2 \text{ kWh}$$

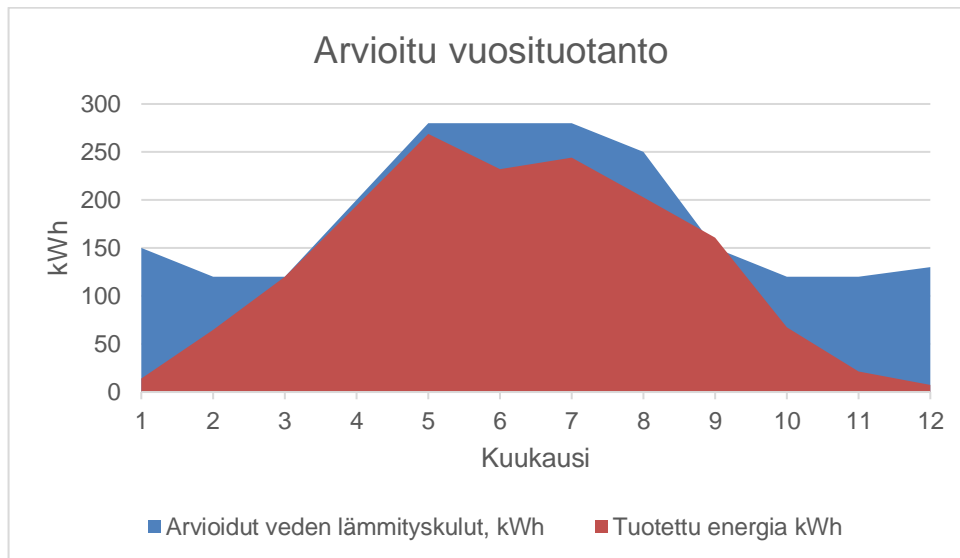
Kahden tasokeräimen vuosituotanto olisi siis 1648,2 kWh. Tästä vähennetään lämminvesivaraajan ja putkistojen aiheuttamat lämpöhäviöt, suurin piirtein 2,4 kWh/päivä eli vuodessa 876 kWh. Järjestelmän vuosituotannoksi tulisi siis 772,2 kWh. Tämä on alle puolet arvioidusta lämpimän veden tarvitsemasta vuotuisesta energiasta. Tätä arvoa lähemmäksi päästään kolmella tasokeräimellä, joiden yhteinen vuosituotanto on 1596,3 kWh lämpöhäviöiden jälkeen. Taulukko 7 esittää kolmen tasokeräimen aurinkoenergian tuotot kuukausittain.

Taulukko 7. Tasokeräinten energian tuotanto kuukausittain.

Kuukausi	Säteily määrä kWh/m <sup>2</sup>	Osuus kokonaissäteilystä %	Tuotettu energia kWh
Tammi	9,7	0,86	13,73
Helmi	45,7	4,05	64,69
Maalis	84,5	7,5	119,80
Huhti	137,2	12,17	194,40
Touko	189,7	16,83	268,84
Kesä	163,7	14,52	231,94
Heinä	172,5	15,3	244,40
Elo	143,2	12,7	202,86
Syys	113,5	10,07	160,85
Loka	47,6	4,22	67,40
Marras	14,9	1,32	21,08
Joulu	5,3	0,47	7,50
Koko vuosi	1127,3	100	1597,39

Tasokeräinten tuotanto touko–elokuun välillä kattaisi 59,34 % vuotuisesta tuotosta.

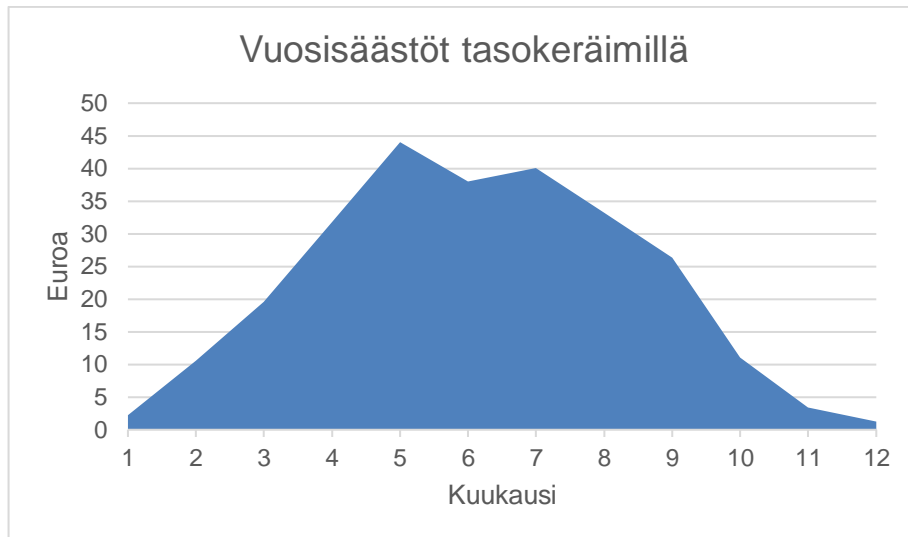
Kuviossa 10 olevasta arvioidusta vuosittaisen veden lämmityksen energian ajoittumisesta huomaa, kuinka aurinkokeräimien tuotto osuu erittäin hyvin arvioidun kulutuksen kanssa.



Kuvio 10. Veden lämmityskulujen sijoittuminen vuodessa sekä tuotettu energia kuukausittain.

Ainoastaan syyskuussa keräimet tuottavat hieman enemmän kuin sille on arvioitu tarvitsevan veden lämmitysenergiaa.

Kuviossa 11 näkyy tasokeräimillä tuotetut vuosisäästöt.



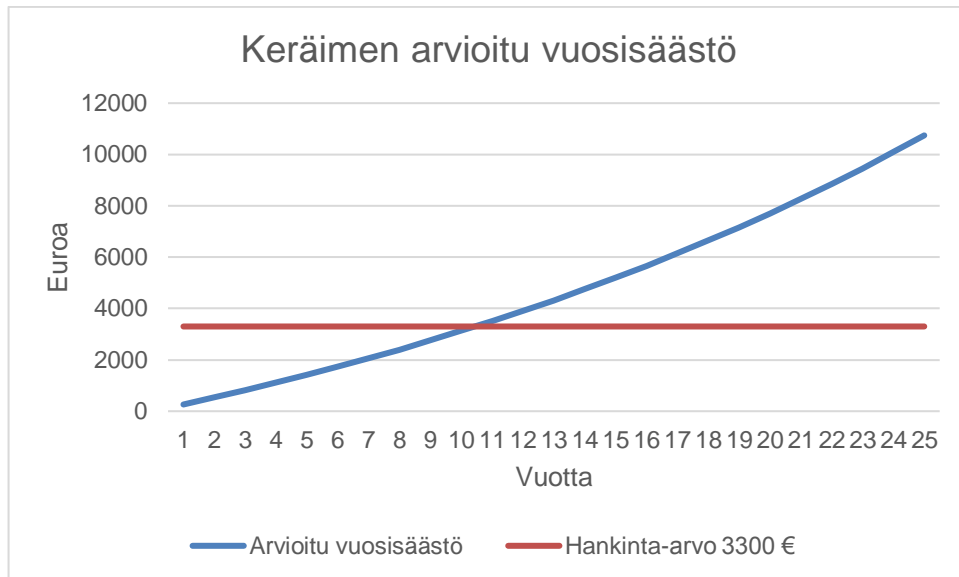
Kuvio 11. Vuosisäästöt kolmella tasokeräimellä euroissa.

Aurinkokeräinten vuotuinen tuotto on 261,60 €. Aurinkokeräinjärjestelmän hankintaku-  
luissa ei oteta huomioon huoltokuluja eikä lasketa pois syyskuun minimaalista ylituotan-  
toa, sillä niin pienen energian määrän voi siirtää lämminvesivaraajalle yksinkertaisesti  
nostamalla varaajan lämpöä tarvittaessa hieman tavanomaista 55 °C korkeammalle.  
Taulukossa 8 on järjestelmän kulut kolmen tasokeräimen kanssa.

Taulukko 8. Aurinkokeräinjärjestelmän investointikulut.

Investoinnit:	Hinta €
Keräimet	1500
Putkistot ja liittimet	250
Kattoläpivienti	50
Kattoasennus	1000
Kattoasennusarja	500
Yhteensä	3300

Kokonaisinvestointikuluksi kertyy 3 300 €. Käyttäen sähkön hinnan vuosikorkoa 3,9 %  
investointi maksaisi itsensä takaisin noin 11 vuodessa, kuten kuviossa 12 näkyy.

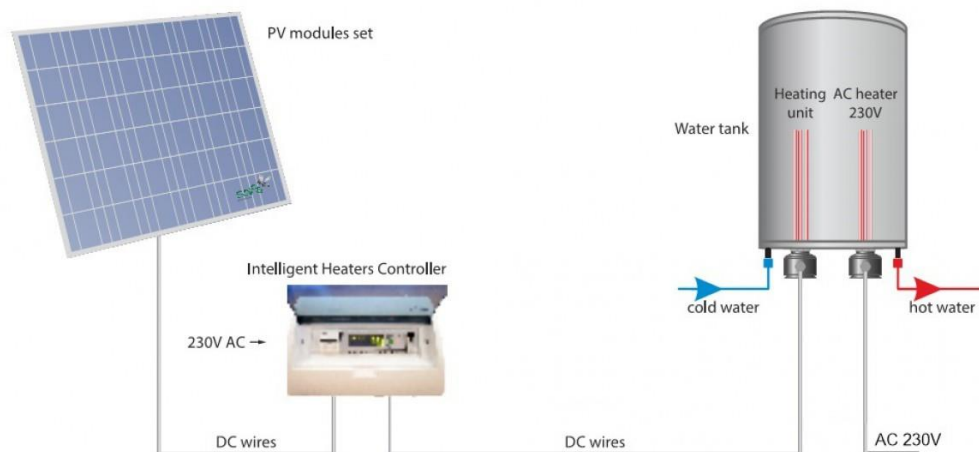


Kuvio 12. Tasokeräinten säästöt 25 vuoden ajalta.

Takaisinmaksuajan jälkeen keräimillä olisi vielä 14 vuotta hyvää käyttöaikaa. 25 vuoden aikana tuotto olisi 10 743,85 €, josta säästöä olisi 7 443,85 €.

Aurinkokeräinten lisäksi on myös mahdollista varata lämminvesivaraajaan lämpöä suoraan aurinkosähköpaneeleilla. Lämmityssäätimenä toimivalla MPPT eli Maximum Power Peak Tracking -säätimellä voidaan ohjata aurinkopaneelien tuottama virta lämminvesivaraajan vastukselle suoraan veden lämmitykseen lämpöanturin ohjauksella, jolloin invertteriä ei tarvita ja energiahävikki on minimaalinen. Lämmityssäädin käyttää kiinteistön omaa sähköverkkoa vastuksen lämmittämiseen silloin kun aurinkopaneelit eivät tuota sähköä. Kuva 13 esittää tämän kaltaisen järjestelmän toimintaperiaatteen.





Kuva 13. Aurinkopaneelin ja lämminvesivaraajan vastuksen yhteistoiminnan toimintaperiaate [41.].

Tällaisessa kytkennässä aurinkopaneelien tuottamaa sähköä ei siirry ollenkaan kiinteistön sähköverkkoon, jolloin kohteen laitteiden ja elektroniikan käytöstä siitä ei ole iloa. Perustelu tämänkaltaiselle kytkennälle onkin ympärivuotinen veden lämmitykseen tarvittava energia.

Mitoittaessa aurinkosähköjärjestelmää kesäisen sähkön pohjakulutuksen mukaan laskettiin vuosituotannot neljän Amerisolar 300 W -yksipaneelin aurinkosähköjärjestelmälle, saaden tulokseksi 1 243,502 kWh. Lisäämällä aiemmasta laskuista vähennetyn invertterihäviön (2 %) tähän saadaan laskettua paneelien vuosituotanto järjestelmälle, jossa paneelien tuottama sähkö käytetään suoraan lämminvesivaraajan veden lämmittämiseen.

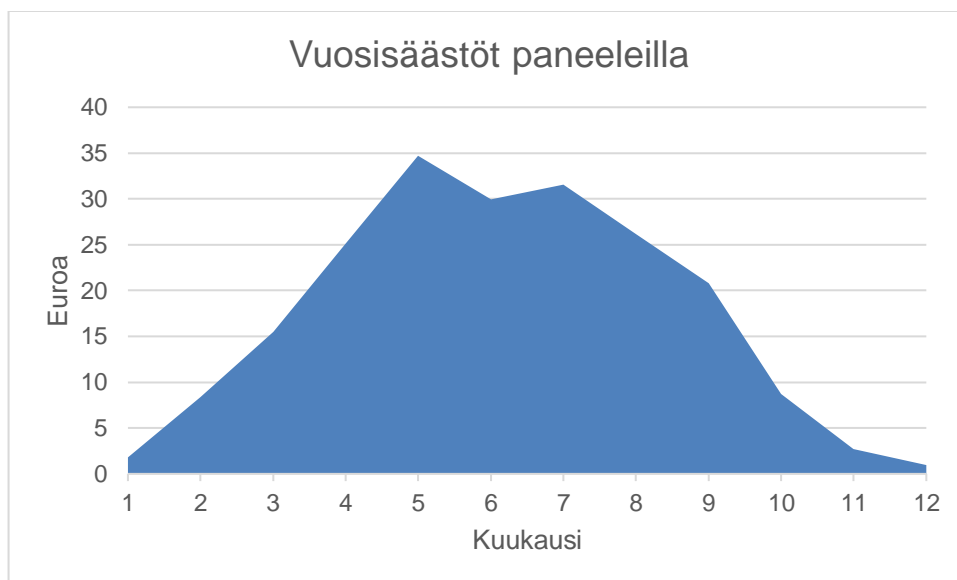
$$1234,502 \text{ kWh} \times 1,02 = 1259,19204 \text{ kWh}$$

Tämän järjestelmän paneelien vuosituotanto on siis 1 259,192 kWh. Tätä energiaa ei syötetä kohteen sähköverkkoon vaan ainoastaan lämminvesivaraajan vastukselle. Taulukossa 9 näkyy tällaisen järjestelmän vuosituotannon jakautuminen eri kuukausille.

Taulukko 9. Järjestelmän vuosituotannon jakautuminen kuukausittain.

Kuukausi	Säteily määrä kWh/m <sup>2</sup>	Osuus kokonaissäteilystä %	Paneelien tuotanto kWh
Tammi	9,7	0,86	10,82
Helmi	45,7	4,05	50,99
Maalis	84,5	7,5	94,43
Huhti	137,2	12,17	153,24
Touko	189,7	16,83	211,92
Kesä	163,7	14,52	182,83
Heinä	172,5	15,3	192,65
Elo	143,2	12,7	159,91
Syys	113,5	10,07	126,80
Loka	47,6	4,22	53,13
Marras	14,9	1,32	16,62
Joulu	5,3	0,47	5,91
Koko vuosi	1127,3	100	1259,19

Kuviossa 13 esitetään järjestelmän vuosisäästön profiili, joka on lähes identtinen aurinkokeräinjärjestelmän vuosisäästön kanssa.



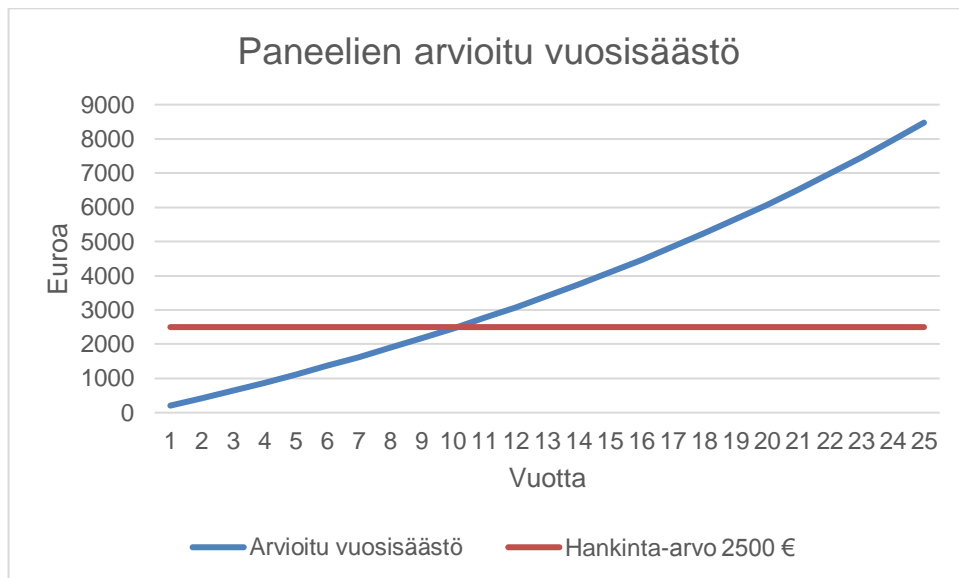
Kuvio 13. Vuosisäästö neljän aurinkopaneelin järjestelmällä kuukausittain.

Aurinkosähköjärjestelmään, joka syöttää tuottamansa sähkön lämminvesivaraajan vas-  
tukseen, tulee verkkoinvertterin sijaan lämmityksensäätimen tehtävää ajava MPPT-sää-  
din. Muulla tavoin kulut vastaavat neljän aurinkosähköpaneelin järjestelmää ja sellaisen  
asennuskuluja. Taulukko 10 esittää järjestelmän investoinnin kokonaiskulut.

Taulukko 10. Järjestelmän investointikulut.

Investoinnit:	Hinta:
Aurinkopaneelit	600
Kattokiinnitysjärjes- telmä	200
Lämmityssäädin	500
Kaapelit ja liittimet	200
Asennus ja piirustukset	1000
Yhteensä	2500

Kokonaisinvestointi on siis 2 500 €. Käyttäen sähkön hinnan vuosikorkoa 3,9 % inves-  
tointi maksaisi itsensä takaisin noin 11 vuodessa, kuten kuviossa 14 näkyy.



Kuvio 14. Paneelijärjestelmän vuosisäästöt 25 vuoden ajalta.

Takaisinmaksuajan jälkeen paneeleilla olisi vielä 14 vuotta käyttöaikaa, eli saman verran kuin aurinkokeräinjärjestelmällä. 25 vuoden aikana tuotto olisi 8 473,37 €, josta säästöä olisi 5 973,35 €.

## 6 Järjestelmän valinta

Työn tarkoituksena oli tutkia eri aurinkoenergiajärjestelmiä, niiden tuotantoa sekä mielekkyyttä kohteessa. Koska kyseiselle työlle ei oltu annettu tarkkaa budjettia, tärkeimmäksi valintakriteeriksi otettiin takaisinmaksuaika ja katon tilan käyttö. Järjestelmiä mitoitettiin sekä sähköä tuottaville aurinkosähköpaneelille että auringonlämpöä kerääville tasokeräimille, erikseen sähkönkulutuksen ja lämpimän veden tarpeen mukaan.

Aurinkosähköjärjestelmät kolmella eri paneelityypillä toteutettuna eivät osoittautuneet kannattaviksi, kun mitoitus tehdään kohteen kesäajan sähkön pohjakulutuksen mukaan. Yli 30 vuoden takaisinmaksuaika ei yksinkertaisesti ole järkeenkäyvä vaihtoehto. Katon käytettävissä olevan pinta-alan perusteella mitoitettujen aurinkosähköjärjestelmien takaisinmaksuajat olivat 19 vuotta yksi- ja monikidepaneelijärjestelmillä ja 24 vuotta ohutkalvoisella paneelijärjestelmällä. 19 vuotta lähenee eri aurinkosähköyhtiöiden arviointilaskureiden kohteelle antamaa 17–18 vuoden takaisinmaksuaikaa. Paras taloudellinen säästö 25 vuoden jälkeen olisi näillä järjestelmillä 3 500 €, mikä on ainoastaan 60,34 % alkuinvestoinnista. Näiden järjestelmien kannattavuuden suurimmat riippakivet ovat tuotetun sähkön myyntiä varten tarvittavien verkkoinverttereiden hinnat ja huolto, sekä tuotetun sähkön myynnin vähäiset voitot, mikä johtuu markkinasähkön nykyisestä hinnasta.

Kohteen arvioidun veden kulutuksen perusteella mitoitettun aurinkokeräinjärjestelmän takaisinmaksuaika olisi ainoastaan 11 vuotta, taloudellisen säästön ollessa 25 vuoden jälkeen 7 443,85 €, mikä on 225,57 % alkuinvestoinnista.

Samoihin tuloksiin päästiin aurinkosähköjärjestelmällä, jonka tuottama sähkö käytettiin suoraan lämminvesivaraajan vastukseen ilman invertteriä, lämmittäen siten ainoastaan vettä. Tällaisen järjestelmän takaisinmaksu on myös 11 vuotta, 25 vuoden jälkeen sillä kertyisi säästöä 5 973,35 €, mikä on 238,93 % järjestelmän alkuinvestoinnista.

Näiden tietojen ja laskettujen tulosten pohjalta kannattavin järjestelmä kohteelle olisi kohteen veden kulutuksen mukaan mitoitettut järjestelmät. Lämpimän veden ylläpitäminen ja kulutetun veden lämmittäminen tarvitsee joka tapauksessa energiaa kohteessa ympäri vuoden.

## 7 Yhteenveto

Työn tarkoitus oli tutkia Keski-Suomessa sijaitsevan kesähuvilan aurinkoenergian hyödyntämismahdollisuutta suhteessa kesäajan sähkökulutukseen, verrata aurinkosähkö- ja aurinkokeräinjärjestelmien mielekkyyttä kohteessa, sekä valita niistä kohteelle sopiva järjestelmä. Työssä tuli selville, kuinka aurinkoenergiajärjestelmien paneelien suuntaus, kallistuskulmat sekä ilmastolliset olosuhteet vaikuttavat järjestelmien tuotantoon. Tämän lisäksi selvitettiin, mitä vaatimuksia kyseisen kohteen verkkoyhtiö asettaa aurinkosähkön tuotannon liittämistä ja myynnistä jakeluverkkoon.

Kohteen sähkökulutusta ja vuotuisen auringonsäteilyn arvoja verratessa toistuvasti tuli vastaan Suomen epäedullinen tilanne aurinkosähköntuoton kannalta. Toisin sanoen sähkön kulutus on huipussaan talvella, jolloin sähköntuotannon mahdollisuus on vähäisintä ja päinvastoin kesällä kulutus on vähäisintä, vaikka silloin edellytykset tuotantoon ovat vuoden parhaat. Suomen tavanomaista suurempi keväinen auringon kokonaissäteilyn määrä selittyy alkukevään lumikerroksesta heijastuvalla valolla. Suuremman kokonaissäteilyn ja alhaisen lämpötilan yhteisvaikutuksen takia aurinkosähköjärjestelmät voisivat tuottaa paremmin sähköä, jos järjestelmissä otettaisiin paremmin huomioon keväen ajan tuotantomahdollisuudet.

Muutoksia markkinasähkön hintaan ei voida ennustaa 25 vuoden päähän, mutta 3,9 % jatkuva vuosinousu ei ole ollenkaan liian optimistinen, jos tarkkailee viime vuosien hinnan kehitystä kokonaistuoton kannalta. Eri järjestelmän mitoitustulosten perusteella ainoastaan aurinkokeräinjärjestelmä tai vaihtoehtoisesti järjestelmä, jossa aurinkosähköpaneelien tuottama virta käytetään lämminvesivaraajan vastukseen, ovat hankinnanarvoisia vaihtoehtoja kohteelle.

Kyseiset vaihtoehdot ja niiden mitatut tulokset esitetään kohteen kiinteistön nykyisille omistajille sekä jätetään kiinteistön tulevan omistajan harkintaan, joka lopulta tekee päätöksen järjestelmän hankkimisesta.

## Lähteet

- 1 Auringon rakenne ja elinkaari. 2019. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <https://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>. Luettu 9.4.2019.
- 2 Aurinkoenergia ja aurinkosähkö Suomessa 2014. Verkkoaineisto. LUT university. [https://www.lut.fi/uutiset/-/asset\\_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa](https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/aurinkoenergia-ja-aurinkosahko-suomessa). Luettu 9.4.2019.
- 3 Aurinkosähkö. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiantuotanto/sahkontuotanto/aurinkovoima). Luettu 9.4.2019.
- 4 Aurinkovoima. 2019. Verkkoaineisto. Vattenfall. <https://www.vattenfall.fi/sahkosopimukset/tuotantomuodot/aurinkovoima/>. Luettu 9.4.2019.
- 5 Aurinkoenergian kannattavuus. 2018. Verkkoaineisto. Halikon Huoltosähkö oy. <https://www.huoltosahko.com/aurinkoenergia-salo>. Luettu 9.4.2019.
- 6 Nämä 4 asiaa vaikuttavat aurinkopaneelien hyötysuhteeseen. 2018. Verkkoaineisto. Halikon Huoltosähkö oy. [https://www.huoltosahko.com/aurinkopaneelin\\_hyotysuhde](https://www.huoltosahko.com/aurinkopaneelin_hyotysuhde). Luettu 9.4.2019.
- 7 Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries 2012. Verkkoaineisto. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/EU-Glob\\_opta\\_presentation.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/countries/europe/EU-Glob_opta_presentation.png). Luettu 9.4.2019.
- 8 Junttila, Janne. 2015. Suomen sään valoisa puoli: aurinkopaneeli tuottaa parhaiten kylmässä. Verkkoaineisto. YLE. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa#&gid=0&pid=17-37424563cc0d974158>. Luettu 9.4.2019.
- 9 Aurinkolämpösanasto. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto). Luettu 27.3.2019.
- 10 Characteristics of Incident Solar Radiation. 2019. Verkkoaineisto. Solar Energy. <http://energyprofessionalsymposium.com/?p=39032>. Luettu 9.4.2019.
- 11 Energialaskennan testivuodet nykyilmastossa 2012. Verkkoaineisto. Ilmatieteenlaitos. <https://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>. Luettu 6.2.2019.

- 12 Aurinkopaneelien sijoitus ja suuntaus. 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkopaneelien-sijoitus-ja-suuntaus/>. Luettu 8.2.2019.
- 13 Hajautettua sähkön pientuotantoa. 2019. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. [https://energia.fi/perustietoa\\_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon\\_pientuotanto](https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/asiakkaat/sahkoasiakkuus/sahkon_pientuotanto). Luettu 11.2.2019.
- 14 Lehto, Ina. 2016. Sähkötuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. [https://energia.fi/files/1249/tekninen\\_liite\\_1\\_-\\_enintaan\\_100\\_kva\\_paivitetty\\_20160427.pdf](https://energia.fi/files/1249/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kva_paivitetty_20160427.pdf). Luettu 13.2.2019.
- 15 Tuuli -ja aurinkoenergia energialähteinä. 2019. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/hillinta/-/artikkeli/83fa215b-3f3d-4b48-9456-ce3a5940e830/tuuli-ja-aurinkoenergia.html>. Luettu 13.2.2019.
- 16 Jones, Andrew Zimmerman. 2019. The Photoelectric Effect. Verkkoaineisto. ThoughtCo. <https://www.thoughtco.com/the-photoelectric-effect-2699352>. Luettu 9.4.2019.
- 17 Aurinkopaneelien toiminta. 2019. Verkkoaineisto. Ahjo Energia. <http://www.ahjoenergia.fi/index.php/periaatteet/aurinkopaneelien-toiminta>. Luettu 15.3.2019.
- 18 Aurinkopaneelit. 2019. Verkkoaineisto. SunTekno Oy. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>. Luettu 8.2.2019.
- 19 The Relationship among cell, module and array. 2018. Verkkoaineisto. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/The-Relationship-among-cell-module-and-array\\_fig3\\_322738988](https://www.researchgate.net/figure/The-Relationship-among-cell-module-and-array_fig3_322738988). Luettu 9.4.2019.
- 20 A-Luokan monokiteinen aurinkokenno. 2019. Verkkoaineisto. EO Solar Energy. <http://fi.eo-solar-energy.com/solar-cell/monocystalline-solar-cell/grade-a-monocrystalline-solar-cell.html> Luettu. 10.2.2019.
- 21 Korkean tehokkuuden monikiteinen aurinkokenno. 2019. Verkkoaineisto. EO Solar Energy. <http://fi.eo-solar-energy.com/solar-cell/polycrystalline-solar-cell/high-efficiency-polycrystalline-solar-cell.html>. Luettu 10.2.2019.
- 22 Mono- vs. Polycrystalline vs. Thin Film. 2019. Verkkoaineisto. Energy Informative. <https://energyinformative.org/best-solar-panel-monocrystalline-polycrystalline-thin-film/#crystalline-silicon>. Luettu 9.4.2019.
- 23 Aurinko ja tuulisähkö. 2019. Verkkoaineisto. Pellettipojat Ky. <http://www.pellettipojat.fi/page1.php>. Luettu 9.4.2019.



- 24 Flexible Thin Film Solar Panels: Technology and Different Applications of Bendable Solar Panels 2016. Verkkoaineisto. Power From Sunlight. <https://www.powerfromsunlight.com/flexible-thin-film-solar-panels-technology-different-applications-bendable-solar-panels/>. Luettu 9.4.2019.
- 25 Invertteri. 2019. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>. Luettu 9.4.2019.
- 26 Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. 2019. Verkkoaineisto. Motiva Oy. <https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>. Luettu 15.3.2019.
- 27 Aurinkopaneelit tuottamaan kodin omaa sähköä. 2019. Verkkoaineisto. Kodin vihreä energia Oy. <https://sites.google.com/site/kodinvihreaenergia/mikroinvertterit>. Luettu 28.3.2019.
- 28 Micro-Inverters vs. Central Inverters. 2019. Verkkoaineisto. Energy Informative. <https://energyinformative.org/are-solar-micro-inverters-better-than-central-inverters/>. Luettu 9.4.2019.
- 29 Aurinkosähkön toimintaperiaate 2015. Verkkoaineisto. Rytlyn Kone ja Sähkö Oy. <http://rksoy.fi/fi/prosessisahkoistys/aurinkosahkon-toimintaperiaate/>. Luettu 18.2.2019.
- 30 Aurinkokeräin. 2019. Verkkoaineisto. Jodat Ympäristöenergia Oy. <https://www.energiakauppa.com/Aurinkokerain>. Luettu 27.3.2019.
- 31 Tietoa aurinkokeräimistä 2016. Verkkoaineisto. Aurinkopuisto. <http://www.aurinkopuisto.com/Tietoa-aurinkokeräimistä.php>. Luettu 27.3.2019.
- 32 Käyttövedenlämmitin Jäspi SOLAR 300 aurinkolämmitys. 2019. Verkkoaineisto. Taloon.com. <https://www.taloon.com/kayttovedenlammitin-jaspi-solar-300-aurinkolammitys/LVI-5260097/dp?openGroup=7651>. Luettu 28.3.2019.
- 33 Varastointi vesivaraajaan. 2016. Verkkoaineisto. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman\\_kaytto/aurinkolammon\\_varastointi/varastointi\\_vesivaraajaan](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelman_kaytto/aurinkolammon_varastointi/varastointi_vesivaraajaan). Luettu 28.3.2019.
- 34 Energiantuotanto. 2019. Verkkoaineisto. Savon Voima Oyj. <https://www.savonvoima.fi/konserni/tietoa-meista/energiantuotanto/>. Luettu 24.2.2019.
- 35 D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma 2012. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriö. [https://www.ouka.fi/c/document\\_library/get\\_file?uuid=064e69e6-ada2-4c0d-958d-a54cc99ed3f0&groupId=486338](https://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=064e69e6-ada2-4c0d-958d-a54cc99ed3f0&groupId=486338). Luettu 27.3.2019.

- 36 Sähkötuotantolaitteiston verkkoon liittämisen tekniset ehdot. 2009. Verkkoaineisto. Savon Voima Oyj. [https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/hinnat-ja-ehdot/svv/svv\\_stuot\\_tekn\\_ehdot\\_2010.pdf](https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/hinnat-ja-ehdot/svv/svv_stuot_tekn_ehdot_2010.pdf). Luettu 17.2.2019.
- 37 Mikrotuotantolaitteiston liittäminen verkkoon, yleistietolomake. 2019. Verkkoaineisto. Savon Voima Oyj. [https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/mikrotuotantolaitteiston\\_liittaminen.pdf](https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/mikrotuotantolaitteiston_liittaminen.pdf). Luettu 17.2.2019.
- 38 Sähkötuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon 2016. Verkkoaineisto. Energiateollisuus ry. [https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/yleisohje\\_tuotannon\\_liittamisesta\\_verkkoon\\_2016.pdf](https://www.savonvoima.fi/globalassets/dokumentit/savon-voima-verkko/urakoitsijaohjeet/yleisohje_tuotannon_liittamisesta_verkkoon_2016.pdf). Luettu 17.2.2019.
- 39 PV Potential Estimation Utility. 2019. Verkkoaineisto. Euroopan Komissio. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Luettu 18.2.2019.
- 40 Oma sähköntuotanto. 2019. Verkkoaineisto. Savon Voima Oyj. <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/sahkoliittyma-tilaus/oma-sahkontuotanto/>. Luettu 24.2.2019.
- 41 Aurinkoenergian varastointi veteen. 2019. Verkkoaineisto. Energiatukku. [http://profil.fi/info/PWCWU.3\\_EN.pdf](http://profil.fi/info/PWCWU.3_EN.pdf). Luettu 9.4.2019.