

Aurinkoenergiaratkaisut kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämisen hankkeissa

Petri Muhonen

Opinnäytetyö

Toukokuu 2019

Tekniikan ala

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

Tekijä(t) Muhonen, Petri	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2019
	Sivumäärä 68	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Aurinkoenergiaratkaisut kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeissa		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Marjukka Nuutinen, Pekka Lähdesmäki		
Toimeksiantaja(t) Granlund Jyväskylä Oy		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Aurinkoenergia on uusiutuva energiamuoto, jota hyödyntämällä voidaan saavuttaa ilmastomuutoksen ohjaamia päästövähennyksiä. Aurinkoenergian hyödyntäminen kiinteistöissä on kasvanut viime vuosina merkittävästi, kuten myös suomalaisten kiinnostus aurinkoenergiaa kohtaan. Tämä johtuu aurinkoenergian vähäisistä päästöistä sekä sillä saavutettavista säästöistä.</p> <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää aurinkoenergian tuotantoon vaikuttavat tekijät. Tehtävänä oli kehittää laskentatyökalu toimeksiantajan kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeiden selvitysvaiheeseen, jossa tarkastellaan kiinteistöjen energiatehokkuutta ja erilaisia kehitysmahdollisuuksia.</p> <p>Opinnäytetyö toteutettiin monimenetelmäisellä tutkimusotteella, jossa yhdistettiin kvalitatiivisen ja kvantitatiivisen tutkimuksen keinoja. Laskentakaavat tehtiin hyödyntäen voimassa olevaa Suomen rakentamismääräyskokoelmaa ja toimivuus varmistettiin vertailemalla saatuja tuloksia verkosta löytyvien laskentaohjelmien tuloksiin.</p> <p>Opinnäytetyön tuotoksena on laskentatyökalu, joka toteutettiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla. Siihen sisällytettiin kaiken kokoisten aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmien tuotannon sekä kannattavuuden laskenta. Investoinnin kannattavuutta laskentatyökalu arvioi nettonykyarvon, sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan laskentamenetelmillä.</p> <p>Opinnäytetyön johtopäätöksenä voidaan todeta, että laskentatyökalu vastaa toimeksiantajan tarpeeseen ja palvelee käyttötarkoitustaan. Laskentatyökalun hyödyiksi voidaan katsoa sen monipuolisuus ja helppokäyttöisyys. Se erottuu edukseen yhdistämällä aurinkolämmön sekä aurinkosähkön yhteen kokonaisuuteen.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Aurinkoenergia, aurinkolämpö, aurinkosähkö, laskentatyökalu		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Muhonen, Petri	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2019
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 68	Permission for web publication: x
Title of publication Solar energy solutions in energy efficiency property projects		
Degree programme Degree Programme in Energy and Environmental Technology		
Supervisor(s) Nuutinen, Marjukka & Lähdesmäki, Pekka		
Assigned by Granlund Jyväskylä Oy		
<p>Abstract</p> <p>Solar energy is a renewable form of energy that can be used to achieve climate-controlled emission reductions. The use of solar energy in properties has increased significantly in recent years, as well as the Finns' interest in solar energy due to its low emissions and the resulting savings.</p> <p>The purpose of the thesis was to determine the factors influencing solar energy production. The task was to develop a computational tool for the assignor's survey phase of energy efficiency improvement projects in the properties, which examines the energy efficiency of the properties and different development opportunities.</p> <p>The thesis combines various qualitative and quantitative research methods. Calculation formulas were made utilizing The National Building Code of Finland and the validity was verified by comparing the results obtained with the results of calculation programs found on the internet.</p> <p>The result of the thesis was a computational tool that was implemented with Microsoft Excel. It included calculating the production and profitability of solar thermal and solar power systems of all sizes. The calculation tool assesses the profitability of the investment using the methods of calculating the net present value, the internal rate of return and the repayment period.</p> <p>The conclusion of the thesis is that the computing tool responds to the assignor's needs and serves its purpose. The benefits of the computing tool can be seen in its versatility and ease of use, as well as being distinguished by combining solar thermal and solar power.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Solar energy, solar thermal, solar power, computational tool		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Tutkimusasetelma	6
3	Kiinteistöjen energiankulutus ja energiatehokkuus	8
4	Aurinkoenergia.....	10
4.1	Aurinkoenergian perusteet	10
4.2	Aurinkoenergia Suomessa	12
4.3	Aurinkoenergian tuotantoon vaikuttavat tekijät	13
5	Aurinkolämpö.....	17
5.1	Aurinkolämmön hyödyntäminen	17
5.2	Nestekiertoiset keräimet.....	18
5.2.1	Tasokeräimet	19
5.2.2	Tyhjiöputkikeräimet	20
5.3	Ilmakiertoiset keräimet	21
5.4	Aurinkolämpöjärjestelmien hyödyntäminen muiden lämmitysratkaisujen yhteydessä	23
6	Aurinkosähkö	26
6.1	Aurinkosähkön hyödyntäminen	26
6.2	Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät	27
6.2.1	Aurinkopaneelit	27
6.2.2	Invertterit ja muut osat	30
7	Kustannukset.....	31
7.1	Aurinkolämmön kustannukset	31
7.2	Aurinkosähkön kustannukset	32
7.3	Energiatuki.....	33
7.4	Investoinnin kannattavuuden arviointi	34
7.4.1	Nettonykyarvo	35
7.4.2	Sisäinen korkokanta.....	35

8	Luvat	36
9	Työn toteutus	37
9.1	Aurinkolämpölaskuri	38
9.1.1	Syötettävät lähtötiedot	38
9.1.2	Käytettävät taustatiedot	40
9.1.3	Tuotannon laskenta	41
9.2	Aurinkosähkölaskuri	43
9.2.1	Syötettävät lähtötiedot	43
9.2.2	Käytettävät taustatiedot	44
9.2.3	Tuotannon laskenta	44
9.2.4	Aurinkosähköjärjestelmän tuntitason laskenta	46
9.3	Investointien kannattavuus laskelmat	47
9.3.1	Investoinnin kustannukset	47
9.3.2	Investointilaskelmat	49
9.4	Laskentatyökalun vertailussa käytetty materiaali.....	51
10	Tulokset	53
10.1	Kiinteistöjen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät	53
10.2	Aurinkoenergian kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.....	54
10.3	Laskureiden tulokset	55
10.4	Laskureiden tuloksien analysointi	56
10.5	Johtopäätökset	57
11	Pohdinta.....	57
	Lähteet	60
	Liitteet	63
	Liite 1. Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä kaukolämmön yhteyteen	63
	Liite 2. Aurinkolämpölaskuri-kuvakaappaus	64
	Liite 3. Aurinkosähkölaskuri-kuvakaappaus.....	65
	Liite 4. Aurinkolämpö- ja aurinkosähkölaskureiden tulokset	66

Kuviot

Kuvio 1. 1960-80-luvulla rakennetun asuinkerrostalon lämpöenergiatase	9
Kuvio 2. Auringonsäteily maapallolle	11
Kuvio 3. Aurinkoenergian tuotantokapasiteetti Suomessa.....	12
Kuvio 4. Auringonsäteily Euroopassa	13
Kuvio 5. Tulokulma, kallistuskulma ja atsimuuttikulma	15
Kuvio 6. Keräinlaitteen säätötavat seurantalaitteella	16
Kuvio 7. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate.....	18
Kuvio 8. Tasokeräimen rakenne	19
Kuvio 9. U-putkella varustetun tyhjiöputkikeräimen läpileikkaus	20
Kuvio 10. Heat pipe -tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate	21
Kuvio 11. Puhaltimella varustetun ilmakeräimen toimintaperiaate	22
Kuvio 12. Eri keräintyyppien hyötysuhteet	24
Kuvio 13. Aurinkolämpöjärjestelmä kaukolämmön rinnalla	26
Kuvio 14. Aurinkopaneelin toimintaperiaate	28
Kuvio 15. Aurinkolämpölaskuriin syötettävät tiedot.....	38
Kuvio 16. Suomen säävyöhykkeet	39
Kuvio 17. Aurinkolämpölaskurin vuositason diagrammi	42
Kuvio 18. Aurinkosähkölaskuriin syötettävät tiedot	43
Kuvio 19. Aurinkosähkölaskurin vuositason diagrammi.....	46
Kuvio 20. Alkuinvestoinnista tehty diagrammi ja trendiviiva.....	47
Kuvio 21. Kuvakaappaus aurinkolämpölaskurin Investointilaskelmat-osioista	49
Kuvio 22. Kuvakaappaus Välituloksia-osioista aurinkolämpölaskurissa.....	50
Kuvio 23. Esimerkki tuloksien vertailudiagrammista.....	55

Taulukot

Taulukko 1. Atsimuuttikulman arvot	14
Taulukko 2. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset.....	32
Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hinnat asennettuna	33
Taulukko 4. Esimerkkinä käytetyt kiinteistöt.....	51
Taulukko 5. Aurinkolämpölaskurien vertailussa käytetyt lähtötiedot	52
Taulukko 6. Aurinkosähkölaskurien vertailussa käytetyt lähtötiedot	53
Taulukko 7. Laskureiden tuotantojen prosenttiosuudet kulutuksista	56

1 Johdanto

Elämme globaalia energiamurroksen aikaa, missä myös Suomen rooli on suuri. Ilmastomuutos ohjaa päästövähennyksiin etenkin energia-alalla. Suomen tulee pysyä suunnannäyttäjänä, joka tarjoaa ratkaisuja globaaleihin ympäristö- ja energiasektorin haasteisiin. Suomen kansalaiset pitävät ilmastomuutosta globaalina uhkana, johon vastaamisessa uusiutuvan energian lisääminen on yksi tärkeimmistä tavoitteista ilmastomuutoksen ja päästöjen hillitsemisen rinnalla. Selvityksen mukaan Suomen kansalaisista 93 prosenttia kehittäisi etenkin sähköntuotantoa enemmän aurinkosähkön suuntaan (Energia-asenteet 2018).

Kiinnostus aurinkoenergiaa kohtaan on kasvanut ja jatkaa kasvuaan niin maailmanlaajuisesti kuin myös Suomessa. Suomessa aurinkoenergia on usein edullisempi ratkaisu kuin esimerkiksi öljylämmitys tai sähkö ostettuna suoraan verkosta. Hintaero on tosin vielä pieni, mutta järjestelmien tekniikan kehittyessä aurinkoenergialaitteiden hinta halpenee koko ajan. Sähkön ja lämmön hinnan nouseminen sekä aurinkoenergiajärjestelmien rakentamisprosessien vakioituminen parantavat aurinkoenergian kilpailukykyä entisestään. (Erat, Hänninen, Nyman, Rasinkoski, Tahkokorpi & Wiljander 2016, 9; Energia-asenteet 2018.)

Aurinkoenergiaa on saatavilla aina päiväsaikaan. Usein luullaan, että aurinkoenergia on täysin hiilineutraali energiamuoto, mutta näin ei kuitenkaan ole. Aurinkoenergian hiilidioksidipäästöt (CO₂) ovat 20–81 grammaa (gCO₂) tuotettua kilowattituntia (kWh) kohden (Solar Photovoltaic Energy 2014, 31). Hiilidioksidipäästöt johtuvat kuitenkin laitteisiin tarvittavien materiaalien valmistuksesta, logistiikasta ja järjestelmien rakentamisesta, eivätkä niinkään itse energiantuotannosta (Newton 2015, 130). Aurinkoenergia ei luonteensa vuoksi sovellu primääriseksi energian tuotantomuodoksi. Sen käyttäminen sekundäärisenä energiamuotona on kuitenkin erittäin toimiva ratkaisu. (Clark & Cooke 2015, 125-126.)

2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuuden ja soveltuvuuden tarkastelua toimeksiantajan energiatehokkuuden kehittämishankkeissa. Opinnäytetyössä selvitettiin aurinkoenergian tuotantoon vaikuttavat tekijät sekä laskentaperiaatteet ja luotiin niiden perusteella toimeksiantajalle laskentatyökalu kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeisiin. Työssä keskityttiin löytämään vastaukset seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Mitkä tekijät vaikuttavat kiinteistöjen energiatehokkuuteen?
- Mitkä tekijät vaikuttavat aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuuteen?

Opinnäytetyö rajattiin siten, että saatava tulos olisi mahdollista yhdistää osaksi toimeksiantajan kehittämishankeprosessia. Toimeksiantaja tekee kehittämishankkeita lähinnä jo olemassa oleviin toimitila- ja teollisuuskiinteistöihin, joten uudisrakennukset ja asuinrakennukset jätettiin työn ulkopuolelle. Työssä keskityttiin kiinteistöihin soveltuviin aurinkoenergiaratkaisuihin, joihin kuuluvat aurinkosähköjärjestelmät ja aktiiviset aurinkolämpöjärjestelmät. Työssä tarkastelun ulkopuolelle jätettiin passiivinen aurinkolämpö ja keskittävä aurinkovoima, koska ne eivät työhön sovellu. Opinnäytetyössä selvitettiin kiinteistöjen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät, aurinkoenergiaratkaisujen toimintaperiaatteet sekä tuotannossa tarvittavat laitteistot.

Opinnäytetyö on tyypiltään kehittämistutkimus, koska työssä tehtiin laskentatyökalu osaksi toimeksiantajan energiatehokkuuden kehittämishankeprosessia. Opinnäytetyön tutkimusote oli monimenetelmäinen, sillä tutkimusotetta ei voitu lokeroida puhtaasti kvalitatiiviseksi tai kvantitatiiviseksi. Monimenetelmäinen tutkimusote on tyypillistä kehittämistutkimuksille, koska teorian ja käytännön suhde on vuorottelevaa (Kananen 2015, 66-67).

Opinnäytetyön konkreettinen tulos (laskentatyökalu) saavutettiin kvalitatiivisilla eli laadullisilla keinoilla, mutta sen toimivuutta tarkasteltiin kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen keinoilla. Opinnäytetyön lähestymistapa oli kvalitatiivinen, koska

työssä käytettävä materiaali oli teoria- ja aineistolähtöistä. Teorialähtöistä aineistoa opinnäytetyössä olivat Suomen rakentamismääräyskokoelma, jonka ohjeita ja asetuksia hyödynnettiin tarkasteltavan ilmiön ymmärtämiseen ja laskentatyökalun tekemiseen. Aineistolähtöisenä materiaalina käytettiin kolmen erityyppisen kiinteistön sijainti- ja kulutustietoja. Toteutuneita kiinteistöjen kulutustietoja käytettiin laskentatyökalun toimivuuden tarkasteluun. Kvalitatiivinen lähestymistapa sopi opinnäytetyöhön, koska kvalitatiivisessa tutkimuksessa tulee ymmärtää tarkasteltava kohde ja ilmiö (Kananen 2015, 323-326). Opinnäytetyön tuloksen toimivuutta tarkasteltiin kvantitatiivisesti, sillä laskurista saatavat tulokset ovat numeraalisia. Lisäksi laskentatyökalun toimivuutta ja luotettavuutta tarkasteltiin vertailemalla laskentatyökalusta saatavaa numeraalista dataa muiden laskentaohjelmien antamiin numeraalisiin datoihin.

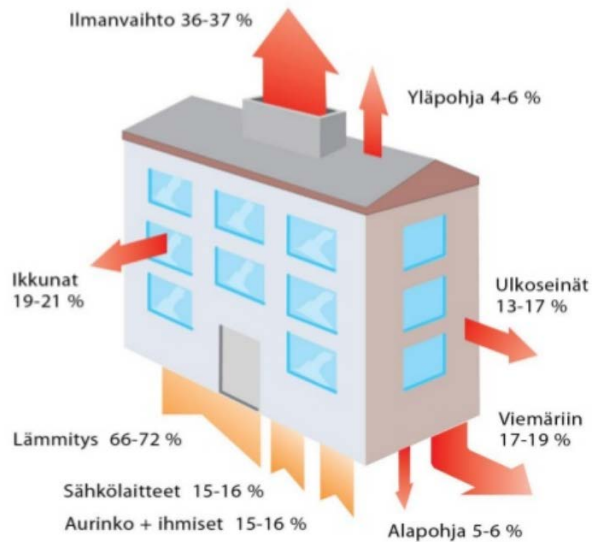
Toimeksiantajan kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeet koostuvat neljästä eri vaiheesta: selvitys, suunnittelu, toteutus ja seuranta. Opinnäytetyöstä tuloksena saatava laskentatyökalu aurinkoenergiaratkaisuille suunniteltiin selvitysvaiheessa käytettäväksi. Selvitysvaihe koostuu tarkasteltavan kiinteistön nykytilan kartoituksesta sekä mahdollisten toimenpiteiden toteutettavuuden ja kustannustehokkuuden määrittämisestä (Kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittäminen 2018). Valmiilla laskentatyökalulla voidaan arvioida eri aurinkoenergiaratkaisujen tuotantoa ja kannattavuutta, eikä siihen sisällytetty järjestelmissä tarvittavien laitteiden tarkempaa mitoitusta, koska tarkempi suunnittelu ja mitoitus kuuluu kehityshankkeiden suunnitteluvaiheeseen. Valmiin laskentatyökalun toimivuutta testattiin kolmen kiinteistön toteutuneilla energiankulutustiedoilla. Laskentatyökalusta saatuja tuloksia verrattiin verkosta löytyvien laskentaohjelmien tuloksiin. Vertailulla pystyttiin arvioimaan laskentatyökalun luotettavuutta.

3 Kiinteistöjen energiankulutus ja energiatehokkuus

Suomessa kiinteistöllä tarkoitetaan maanpinnan tasossa olevaa itsenäistä maanomistuksikköä eli maa- tai vesialuetta, joka on merkitty (tai voidaan merkitä) kiinteistönä kiinteistörekisteriin. Kiinteistörekisteri kattaa nykyään lähes koko Suomen pinta-alan. Vaikka kiinteistö laajempänä käsitteenä kattaa tilojen ja tonttien lisäksi myös maa- ja vesialueet, yleensä kiinteistöllä tarkoitetaan tonttimaata ja sillä sijaitsevia rakennuksia sekä kiinteitä koneita ja laitteita. (Jokela, Kartio & Ojanen 2010, 25-26.)

Rakennusten ylä- tai alapuolisia kerroksia on ollut mahdollista jakaa omiksi kiinteistöiksi eli ns. kolmiulotteisiksi (3D) kiinteistöiksi 1.8.2018 lähtien. 3D-kiinteistöjä ei vielä juurikaan ole, ja niiden muodostaminen on vielä enemmänkin poikkeustapaus. Suurin osa kiinteistöistä on vielä pitkään tavallisia 2D-kiinteistöjä. 3D-kiinteistöjärjestelmä on kehitetty kaupunkirakentamisen haasteita ajatellen. Kaupunkirakentamisessa monikerroksellinen rakentaminen on ominaista, jolloin rakennuksen kerroksilla voi olla monia erilaisia käyttötarkoituksia. 3D-kiinteistöjärjestelmä mahdollistaa päällekkäisten ja itsenäisten omistuksyksiköiden muodostamisen, jolloin ei tarvitse laatia monimutkaisia yksityisoikeudellisia sopimuksia, sekä helpottaa esimerkiksi parkkipaikkojen rakentamista maan alle. (3D-kiinteistönmuodostamisen käsikirja 2018.)

Rakennuksissa energiaa kuluu pääsääntöisesti lämmitykseen, jäähdytykseen, ilmastointiin ja ilmanvaihtoon, käyttöveden lämmitykseen sekä valaistukseen ja muihin sähkölaitteisiin (ks. kuvio 1). Rakennusten lämpöenergia kuluu pääsääntöisesti lämmitykseen, ilmastointiin ja ilmanvaihtoon sekä lämpimän käyttöveden valmistukseen, kun taas sähköenergia kuluu valaistukseen, LVI-laitteisiin ja muihin sähkölaitteisiin. Rakennusten energiankäyttöön pystytään vaikuttamaan järjestelmien ja laitteiden halutunlaisella toiminnalla sekä vaikuttamalla rakennuksen käyttäjien toimintaan. Energiatehokkaampi rakennuksen energiankäyttö pienentää kustannuksia sekä rakennuksesta aiheutuvia ympäristöpäästöjä. (Myyryläinen 2008.)



Kuvio 1. 1960-80-luvulla rakennetun asuinkerrostalon lämpöenergiatase (Kurnitski, Virta & Pylsy 2012, 3)

Energiatehokkuuteen vaikuttavat rakennuksen käyttötarkoitus, rakentamivuosi ja käyttötapa. Jokaiselle rakennukselle on mahdollista määrittää laskennallinen energiatehokkuuden vertailuluku eli E-luku. E-luvun avulla voidaan verrata eri rakennuksia, vaikka ne olisivat eri paikkakunnilla tai eri-ikäisiä. E-luku perustuu rakennuksen ominaisuuksiin ja niiden pohjalta määritettyihin energiankulutuksiin. E-lukuun eivät vaikuta rakennuksen käyttäjät tai heidän toimintansa. (Mikä on energiatodistus 2018.)

Kiinteistöjen energiatehokkuutta voidaan parantaa erilaisilla lämmöntalteenotto- ja energiantuotantoratkaisuilla sekä erilaisilla säätö- ja automaatiotoimenpiteillä. Kiinteistöissä käytettävää lämpöä voidaan ottaa talteen esimerkiksi poistoilmasta tai vedestä, jolloin kiinteistössä voidaan kierrättää lämpöenergiaa. Tilojen lämpötiloja voidaan tarkastella ja säätää kohtaamaan käyttötarkoitustaan. Ilmanvaihtoa tai ilmastointia voidaan ajoittaa tilojen käyttöaikojen mukaan, joko erilaisilla aikaohjelmilla tai rakennusautomaatiolla. On myös tärkeää, että tilojen ilmamäärät ovat tarpeenmukaiset ja riittävät, mikä vaikuttaa energiatehokkuuden lisäksi myös ihmisten terveyteen ja viireystilaan. Ilmanvaihtoa voidaan optimoida esimerkiksi säätämällä se mini-

miarvoon, kun tiloissa ei ole käyttöä, ja tehostamalla sitä tilojen käyttöajan lähestyessä. Lisäksi energiatehokkuuteen vaikuttaa myös kiinteistön sähkö- ja LVI-laitteiden kunto sekä niiden toiminta. Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää pitää laitteet kunnossa ja seurata, että ne toimivat halutulla tavalla. Mikäli toiminnassa huomataan poikkeamia, on selvitettävä mistä poikkeamat johtuvat ja tehtävä tarvittavia toimenpiteitä laitteiden toimivuuden parantamiseksi kuten laitteiden säätäminen, huolto tai uusiminen. Vanhojen laitteiden uusiminen voi olla paras ratkaisu tilanteissa, joissa laitteet ovat tekniikaltaan vanhoja, sillä uudet laitteet yleensä myös kuluttavat vähemmän energiaa kuin vanhat laitteet. (Kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämisen 2018.)

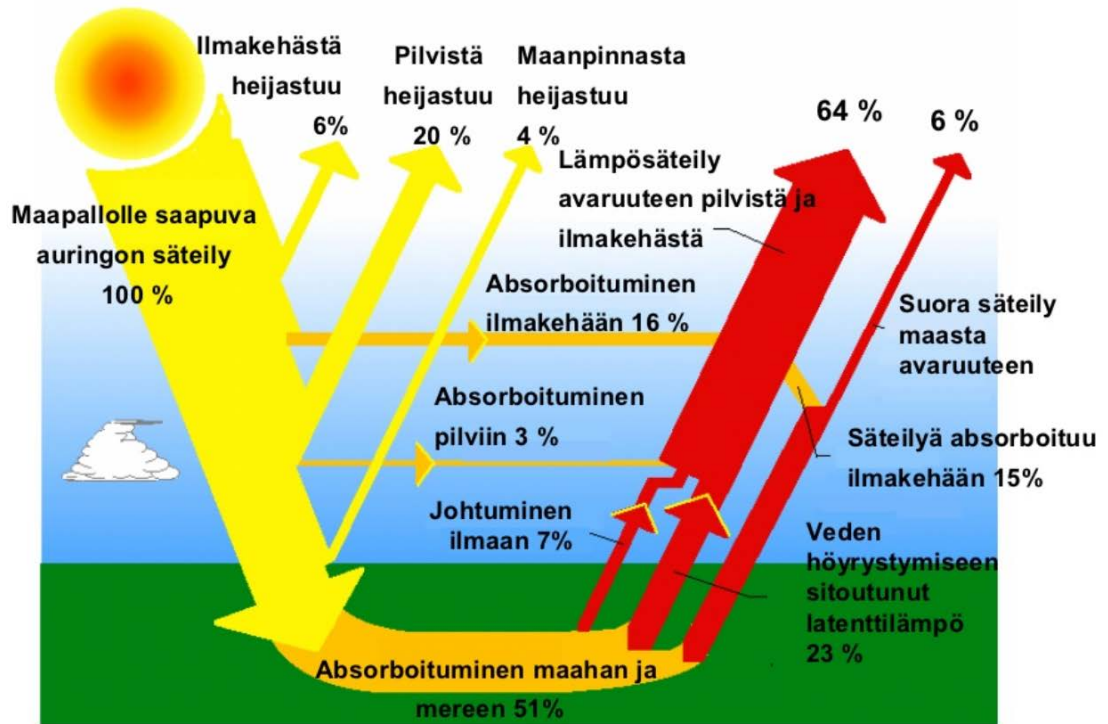
4 Aurinkoenergia

4.1 Aurinkoenergian perusteet

Auringonsäteilyenergian potentiaali on moninkertainen verrattuna maapallon tämän hetkiseen energiankulutukseen. Auringonsäteilyn tehoa kuvataan aurinkovakiolla. Se on tehollinen arvo, joka kohdistuu suoraan neliömetrin kokoiselle alueelle maapallon ilmakehän ulkopuolella. Aurinkovakion arvo on noin 1,368 kilowattia (kW). Nimestään huolimatta se ei ole vakioarvo, vaan se vaihtelee maapallon ja auringon etäisyyssvaihteluiden takia 3,5 prosenttia suuntaan tai toiseen. Ilmakehä suodattaa ja heijastaa tästä säteilytehosta osan, joten maanpinnalle pääsee säteilytehosta optimaalisissa sääolosuhteissa noin yhden kilowatin (1 kW) verran neliömetrin kokoiselle alueelle. (Erat ym. 2016, 12-13.)

Maapallon ilmakehä koostuu pääasiassa erilaisista kaasumolekyyleistä, vesihöyrystä ja epäpuhtauksista, jotka heikentävät auringon säteiden läpäisykykyä maanpinnalle (ks. kuvio 2). Tästä ilmiöstä on maapallolle niin haittaa kuin hyötyä. Ilmakehä säätelee ihmisille haitallisen UV-säteilyn määrää, mutta auringon säteilyteho pienenee sitä

enemmän, mitä pidempi matka säteillä on ilmakehän läpi. Tästä johtuu, että auringon säteilyteho on keskipäivällä suurempi kuin aamulla ja illalla sekä suurempi keuhällä kuin talvella. (Erat ym. 2016, 13-14.)



Kuvio 2. Auringonsäteily maapallolle (Ilmastonmuutos ja energia 2010, 5)

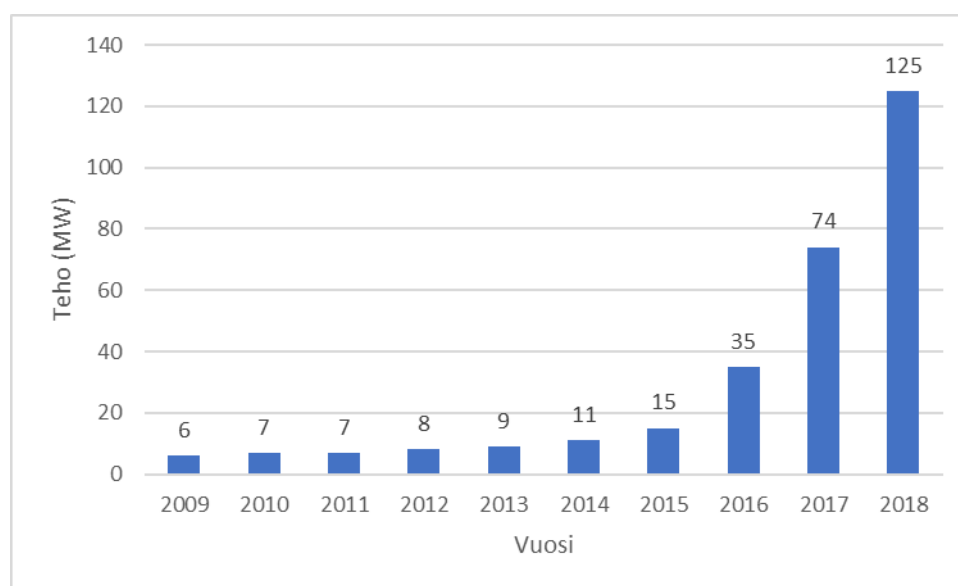
Maanpinnalle tuleva säteily pystytään jakamaan kolmeen säteilytyyppiin: suoraan auringonsäteilyyn, hajasäteilyyn ja ilmakehän vastasäteilyyn. Suora auringonsäteily on ilmakehän läpi suoraan tullutta säteilyä. Hajasäteilyllä tarkoitetaan säteilyä, joka heijastuu ilmakehässä olevista pilvistä ja erilaisista molekyyleistä, sekä maanpinnasta vastasäteilyinä. Ilmakehän sisältämät kasvihuonekaasut (mm. vesihöyry, hiilidioksidi, metaani ja otsoni) säteilevät maanpinnalta nousevaa lämpöä takaisin maanpinnalle, tätä kutsutaan ilmakehän vastasäteilyksi. (Erat ym. 2016, 14.)

Ilman ilmakehän vastasäteilyä maapallon keskilämpötila olisi noin $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, kun nyt keskilämpötila on noin $16\text{ }^{\circ}\text{C}$, tätä ilmiötä kutsutaan kasvihuoneilmiöksi (Kasvihuoneil-

miö n.d.). Hajasäteilyllä on suuri merkitys Suomessa, sen osuus on noin puolet kokonaissäteilystä vaakatasoiselle pinnalle. Kirkkaana kesäpäivänä hajasäteilyn osuus on noin 20 prosenttia ja pilvisellä säällä jopa 80 prosenttia. (Erat ym. 2016, 14.)

4.2 Aurinkoenergia Suomessa

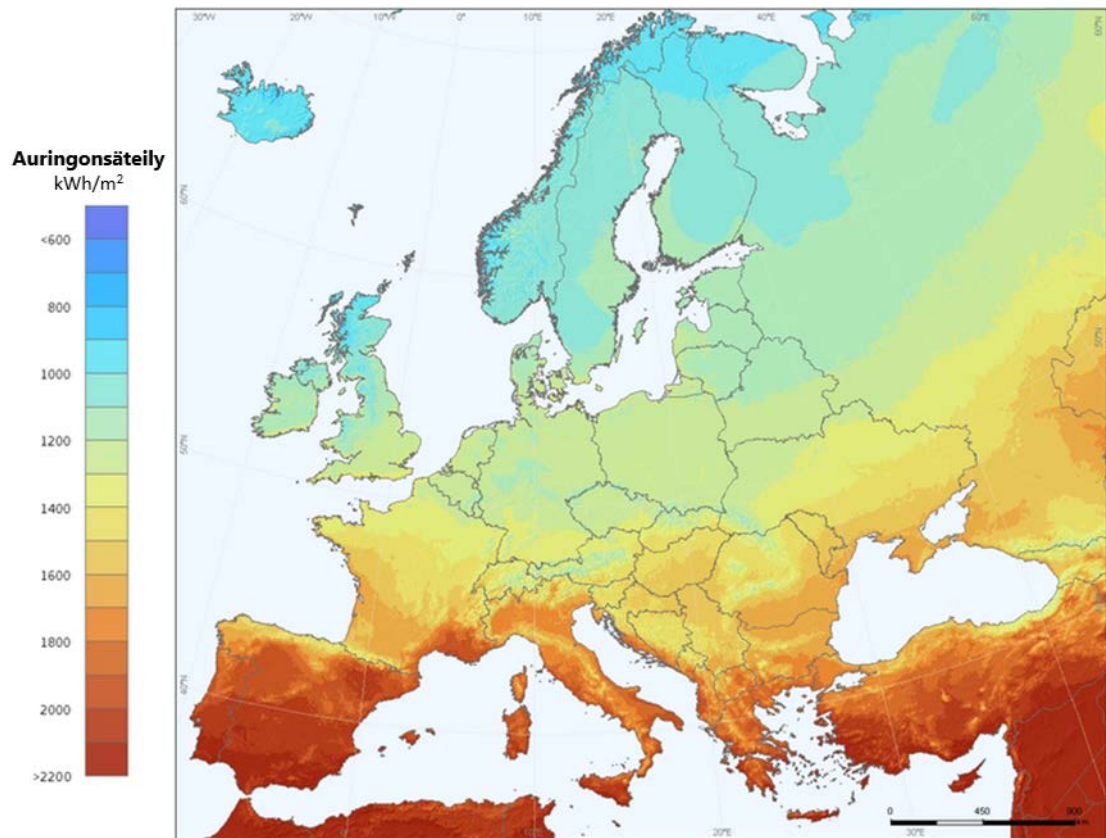
Aurinkoenergian tuotanto on Suomessa vielä vähäistä verrattuna esimerkiksi Keski-Eurooppaan. Euroopan ylivoimaisesti suurin aurinkoenergian tuottaja on Saksa. Vuonna 2018 Saksan tuotantokapasiteetti ylsi 45 932 megawattiin (MW), kun Suomen tuotantokapasiteetti saman vuonna ylsi 125 megawattiin (MW). Suomessa aurinkoenergian tuotantokapasiteetti on kuitenkin ollut viime vuosina kasvanut merkittävästi (ks. kuvio 3). Vuosina 2017-2018 tuotantokapasiteetti lisääntyi noin 69 prosentilla. (Renewable Capacity Statistics 2019.)



Kuvio 3. Aurinkoenergian tuotantokapasiteetti Suomessa (kuvion tiedot Renewable Capacity Statistics 2019)

Kuviosta 4 nähdään, että auringonsäteilyn määrä Suomessa vaihtelee välillä 900–1100 kilowattituntia neliometriä (kWh/m²) kohti vuositasolla ja optimaalisella suuntauksella. Arvon vaihtelu on riippuvainen leveysasteesta. Pohjois-Suomessa auringonsäteilyn määrä on vuositasolla noin 900 kWh/m² ja Keski-Suomessa määrä on

noin 1000 kWh/m². Etelä-Suomessa auringonsäteilyn määrä on lähes Pohjois-Saksan tasolla eli noin 1100 kWh/m². Etelä-Suomen ja Pohjois-Saksan säteilyerot ovat lähinnä riippuvaisia vuodenaajoista, sillä Suomessa auringonsäteily painottuu lähinnä kesäkuukausille. (Erat ym. 2016; Auringonsäteilyn määrä Suomessa 2018.)



Kuvio 4. Auringonsäteily Euroopassa (Huld & Pinedo-Pascua 2012, muokattu)

4.3 Aurinkoenergian tuotantoon vaikuttavat tekijät

Aurinkoenergian tuotannon tehokkuuteen vaikuttavat kolme päätekijää, mitkä ovat järjestelmän sijainti, suuntaus ja kallistuskulma. Lisäksi tuotantoa voidaan tehostaa rakentamalla auringon mukaan kääntyvä seurantalaittejärjestelmä. (Erat ym. 2016, 17-18.)

Sijainti

Energiantuotannon kannalta aurinkoenergiajärjestelmä tulisi asentaa täysin varjottoomaan paikkaan, jotta mahdollistetaan tasainen auringonsäteily koko keräinlaitteen pintaan. Keräinlaitteen sijoittelussa tulee ottaa huomioon kaikki mahdolliset esteet, mitkä voivat tuottaa varjoja laitteen pintaan. Yleisimmät varjostavat esteet ovat rakennukset ja niiden laitteistot (kuten suuret lauhduttimet rakennuksen katolla) sekä kasvillisuus. (Erat ym. 2016, 17.)

Suuntaus ja kallistuskulma

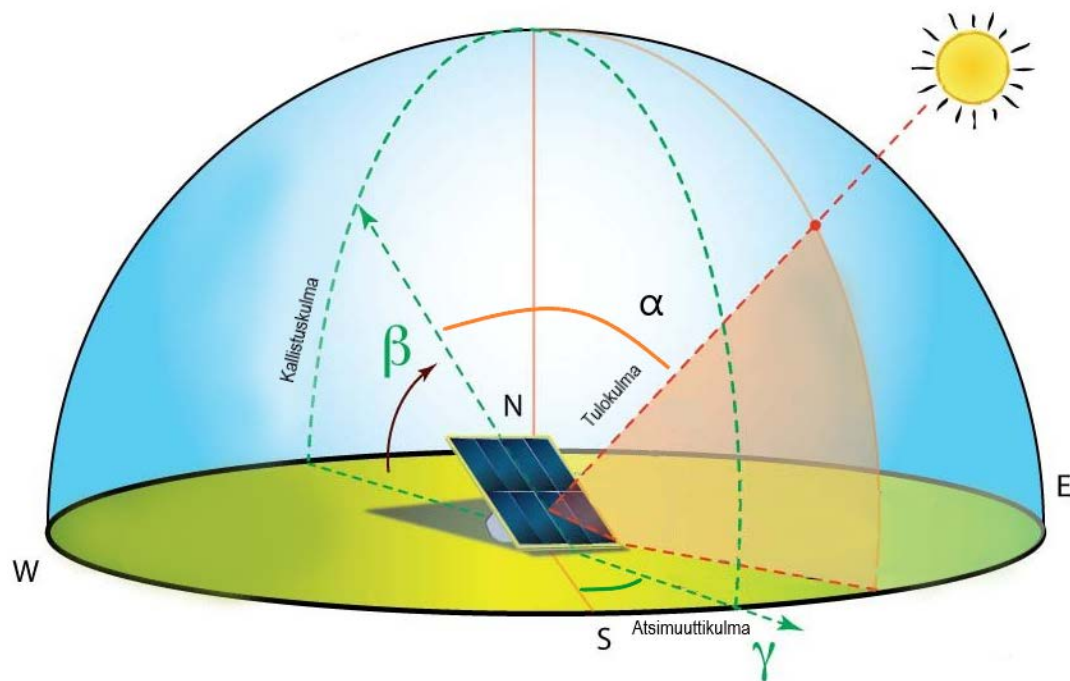
Auringonsäteilyn määrän ja voimakkuuden lisäksi aurinkoenergiajärjestelmällä tuotettavan energian määrään voidaan vaikuttaa keräinlaitteiden suuntauksella. Keräinlaitteiden suuntauksessa on kaksi kulmaa: atsimuuttikulma eli poikkeama etelästä ja kallistuskulma eli deklinaatiokulma (ks. kuvio 5). Kallistuskulma on vaakatasoisen pinnan ja keräinlaitteen pinnan välinen kulma. (Erat ym. 2016, 17-18.)

Aurinkoenergiajärjestelmissä atsimuuttikulman arvo vaihtelee idän (-90°) ja lännen ($+90^\circ$) välillä (ks. taulukko 1). Vaikka energiantuotannon kannalta optimaalisin suuntaus keräinlaitteille on suoraan etelään eli atsimuuttikulma 0° , voidaan keräinlaitteet suunnata myös kaakkoon (-45°) tai lounaaseen ($+45^\circ$). Tällöin voidaan vaikuttaa mihin aikaan vuorokaudessa energiantuotanto sijoittuu, mutta samalla saadaan vähemmän energiaa tuotettua verrattuna optimaaliseen suuntaukseen. Tuotannon alenema ei kuitenkaan ole merkittävä vaan se pysyy 7 prosentin alapuolella. Suuntaus idän suuntaan ajoittaa tuotantoa enemmän aamupäivälle, ja lännen suuntaan enemmän iltapäivälle. Suuntauksessa kannattaa siis ottaa huomioon kohteen kulutushuiput eli mihin aikaan energiankulutus rakennuksessa sijoittuu. (Erat ym. 2016, 17-18.)

Taulukko 1. Atsimuuttikulman arvot

Ilmansuunta	Atsimuuttikulma
Itä	-90°
Kaakko	-45°
Etelä	0°
Lounas	$+45^\circ$
Länsi	$+90^\circ$

Energiantuotantoon vaikuttaa auringonsäteilyn ja laitteen pinnan välinen kulma. Tätä kulmaa kutsutaan tulokulmaksi. Energiantuotannon kannalta optimaalisin tulokulma on 0° eli auringonsäteily tulee kohtisuoraan laitteen pintaan nähden. Auringon ja maapallon liikkeistä johtuen kiinteästi asennetun laitteen pintaan optimaalinen tulokulma osuu tarkasti vain 1-2 kertaa vuodessa. Tulokulmaan voidaan vaikuttaa keräinlaitteen kallistuskulmalla. Auringon korkeus vaihtelee paljon eri vuodenaikojen mukaan. Suomessa paras teho aurinkoenergiajärjestelmästä vuositasolla saadaan kallistuskulmalla 45° . Talviaikana parhaimman tehon saamiseksi keräinlaitteen tulisi olla lähes pystysuorassa (kallistuskulma 90°). (Erat ym. 2016, 17.)



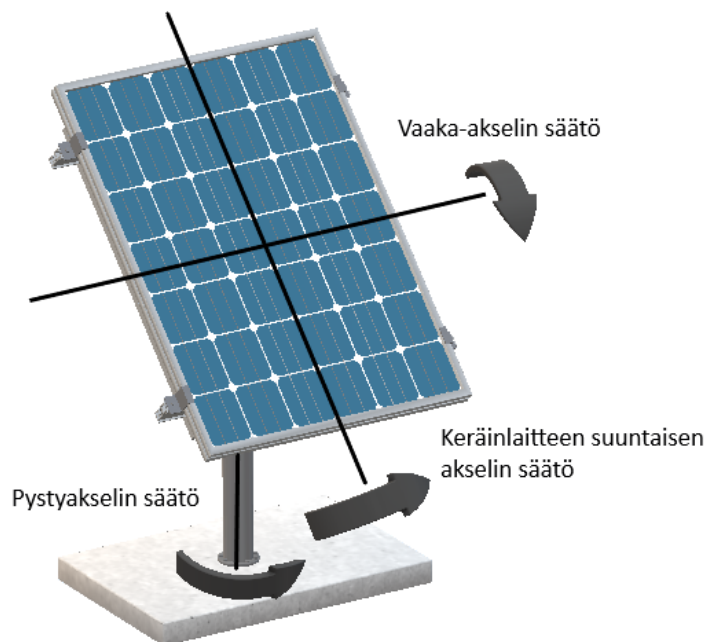
Kuvio 5. Tulokulma, kallistuskulma ja atsimuuttikulma (How to Get the Most Electricity from your Residential Solar Panels 2017, muokattu)

Seurantalaitteet

Seurantalaitteiden tarkoitus on seurata auringon liikettä parhaan mahdollisen tulokulman takaamiseksi ja näin maksimoida aurinkoenergiajärjestelmän tuotanto. Kiinteästi asennettavat järjestelmät ovat luotettavia ja edullisia verrattuna seurantalait-

teilla varustettuihin järjestelmiin, koska seurantalaitteilla varustetut järjestelmät vaativat enemmän huolto- ja kunnossapitotoimenpiteitä sekä vaativat energiaa toimiakseen. Seurantalaittejärjestelmä voi teoreettisesti nostaa energiantuotantoa jopa 30-60 prosenttia kesäaikaan, mutta talviaikaan ei juuri ollenkaan päivän lyhyiden takia. (Erat ym. 2016, 19-20.)

Seurantalaittejärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään niiden toimintaperiaatteen perusteella. Ne ovat yksiakseliset seurantajärjestelmät ja kaksiakseliset seurantajärjestelmät. Yksiakselisessa seurantajärjestelmässä säädetään keräinlaitetta auringon liikkeen mukaan joko keräinlaitteen suuntaisella akselilla tai pystyakselilla (ks. kuvio 6). Yksiakselisessa seurantajärjestelmässä kallistuskulma pysyy paikoillaan, kun taas kaksiakselisella seurantajärjestelmässä säädetään myös kallistuskulmaa. Kaksiakselisissa seurantalaitteissa vaaka-akselin säätö on yhdistetty joko pystyakselin säädön tai keräinlaitteen suuntaisen akselin säädön kanssa (ks. kuvio 6). (Alexandru & Pozna 2010, 798-799.)



Kuvio 6. Keräinlaitteen säätötavat seurantalaitteella

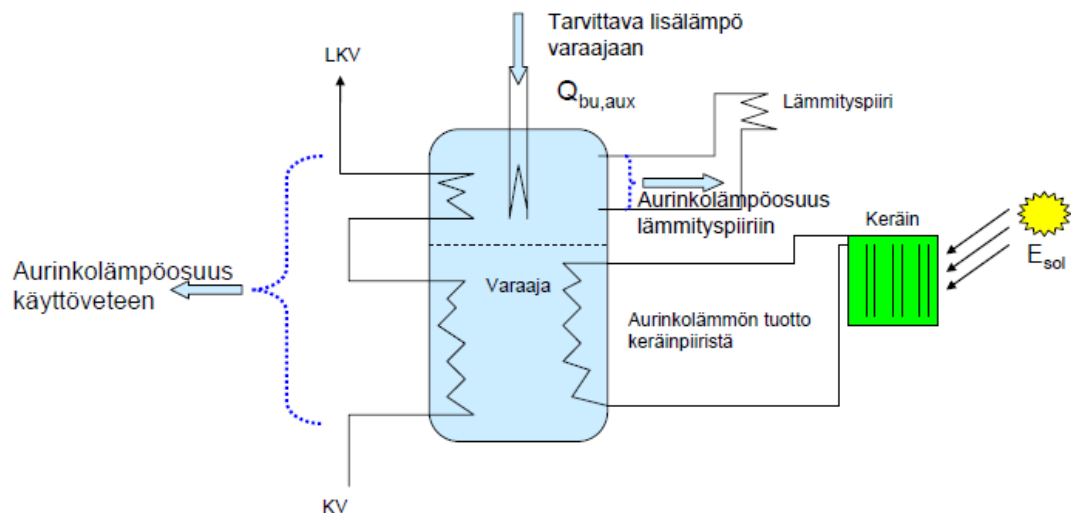
5 Aurinkolämpö

5.1 Aurinkolämmön hyödyntäminen

Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää joko aktiivisesti tai passiivisesti. Passiivisella aurinkolämmöllä tarkoitetaan auringon säteilyn hyödyntämistä rakennuksen lämmittämässä ilman erillisiä aurinkoenergian keräinlaitteistoja. Rakennus kerää aurinkoenergiaa ja lämpö varastoituu rakennuksen rakenteisiin. Passiivista aurinkoenergiaa voidaan tehostaan sijoittelemalla ja suunnittelemalla rakennus siten, että aurinkoenergian hyödyntäminen on optimaalisinta. (Erat ym. 2016, 55-57.)

Toisin kuin passiivisessa aurinkolämmössä, aktiivisessa aurinkolämmössä käytetään erillisiä laitteita, joilla voidaan hyödyntää aurinkoenergiaa tehokkaammin rakennusten lämmitysprosesseissa. Aurinkolämpöjärjestelmien tärkeimpänä osana toimii keruulaitteisto eli aurinkokeräin. Aurinkokeräimen lämmönkeräinpinta (absorptiopinta tai absorbaattori) vastaanottaa auringon säteilyn ja siirtää lämpöenergian lämmönsiirtoaineeseen. Keräinpinta on yleensä tumma absorboinnin maksimoimiseksi. Lämmönsiirtoaine voi olla joko ilmaa tai nestettä (vettä, kylmäainetta tai näiden sekoitusta). Lämpö siirretään lämmönsiirtoaineen avulla lämmönvaraajaan, josta lämpöä voidaan siirtää käyttökohteisiin tarpeen mukaan (ks. kuvio 7). On myös mahdollista siirtää lämpö suoraan keräinlaitteelta käyttökohteisiin. Lämmön siirtäminen suoraan käyttökohteisiin ei ole kovinkaan tehokasta, sillä kulutus ajoittuu harvoin auringon paisteen kanssa täysin samaan aikaan. (Solar Heat and Cooling 2012, 12-13; Erat ym. 2016, 77-78.)

Aurinkolämpöjärjestelmät koostuvat aina keräimisestä, pumppuyksiköstä, ohjausyksiköstä, lämmönvaraajasta, lämmönsiirtimestä, putkistosta ja varolaitteista. Nämä järjestelmien perusosat löytyvät jokaisesta järjestelmästä riippumatta järjestelmän käyttökohteesta tai kohteen päälämmönlähteestä.



Kuvio 7. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (Heimonen 2011, 11)

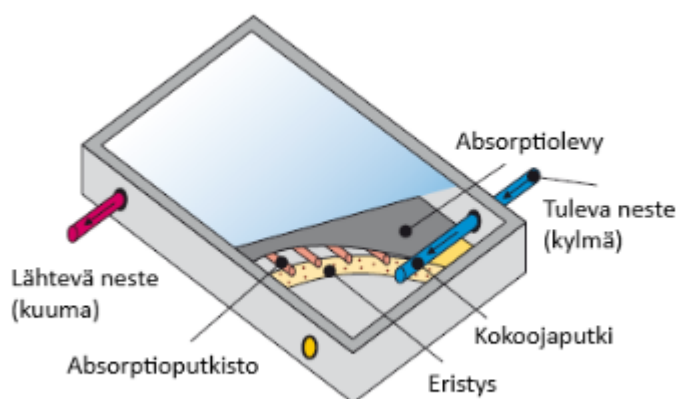
5.2 Nestekiertoiset keräimet

Nestekiertoisia keräimiä on kahden tyyppisiä, tasokeräimiä ja tyhjiöputkikeräimiä. Molemmat toimivat lämmönsiirtiminä. Niiden läpi kulkee lämmönsiirtoaine, mihin auringonsäteistä saatava lämpöenergia sitoutuu. Vedellä on paremmat lämmönsiirto-ominaisuudet kuin muilla nesteillä, mutta vettä voidaan käyttää vain jäätymisvaarattomissa järjestelmissä. Vesi sopii lämmönsiirtoaineeksi esimerkiksi vapaa-ajan asunnon aurinkolämpöjärjestelmään, mutta järjestelmä on tyhjennettävä vedestä ennen kuin ulkolämpötila laskee alle 0 celsiusasteen. Lämmönsiirtoaineena käytetään yleensä veden ja jäänestoaineen (propyleeniglykoli) sekoitusta jäätymisen ehkäisemiseksi, vaikkakin nesteseoksen lämmönsiirtokyky ja pumpattavuus on heikompi kuin vedellä. Nesteseoksen jäätymispiste on alhaisempi ja kiehumispiste korkeampi kuin pelkällä vedellä. Nestekiertoisten keräimien lämpöä keräävät pinnat on usein päällystetty selektiivisellä absorptiopinnalla. Selektiivinen absorptiopinnoite kasvattaa keräimen hyötysuhdetta. Pinnoite tehostaa lämpöenergian vastaanottokykyä auringonsäteilystä, eikä luovuta lämpöenergiaa niin helposti takaisin ulkoilmaan. (Erat ym. 2016, 87-88.)

5.2.1 Tasokeräimet

Tasokeräimet vastaanottavat auringonsäteilyä lähes koko pinta-alallaan. Tasokeräin on rakenteeltaan ohut kotelo, mikä koostuu putkistosta, absorptiopinnasta, lämmöneristeestä, runkorakenteesta ja mahdollisesti katteesta (ks. kuvio 8). Tasokeräimiä on kahta tyyppiä, katettuja ja kattamattomia. Kattamattomia tasokeräimiä käytetään vain alhaisen lämpötilan järjestelmissä, kuten uima-altaiden, lämpimän käyttöveden ja lämpöpumppujen kylmän puolen lämmittämisessä.

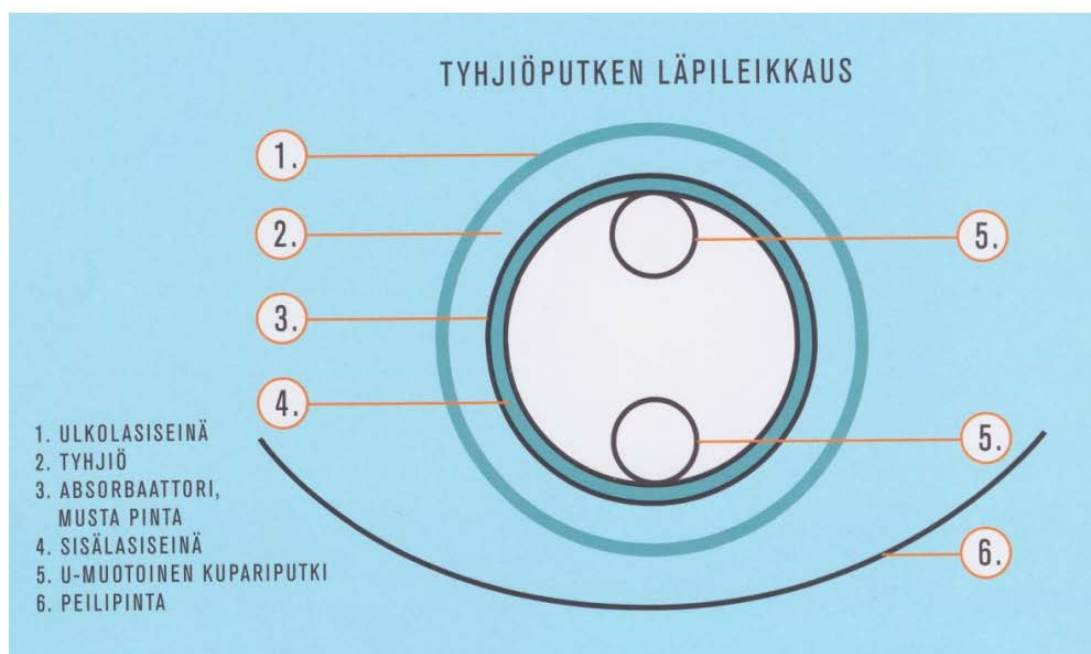
Katettujen tasokeräimien kate on valmistettu läpinäkyvästä materiaalista, yleensä lasista, lämpöhäviöiden minimoimiseksi. Karkaistulla lasikatteella varustettu tasokeräin onkin Euroopan alueen yleisimmin käytetty aurinkolämpökeräin (Erat ym. 2016, 82). Runkorakenne on yleensä alumiinista valmistettu kehikko, minkä sisällä on absorptiopinta ja absorptioputkisto, joko päällekkäin tai yhdistettynä yhdeksi absorptioelementiksi. Absorptioputkisto eli keräinputkisto on yhdistetty kokoojaputkiin yleensä rinnankytkentänä, jotta neste jakautuu tasaisesti koko keräimen pinta-alalle. Absorptioputkisto voi olla myös kytkettynä sarjaan kokoojaputkiin, jolloin keräimen sisällä kiertää vain yksi putki. Putkiston valmistuksessa käytetään yleensä kuparia, mutta alumiinin ja ruostumattoman teräksen käyttäminen on myös yleistymässä kustannussyiden takia. (Erat ym. 2016, 84.)



Kuvio 8. Tasokeräimen rakenne (Solar Heating and Cooling 2012, 13, muokattu)

5.2.2 Tyhjiöputkikeräimet

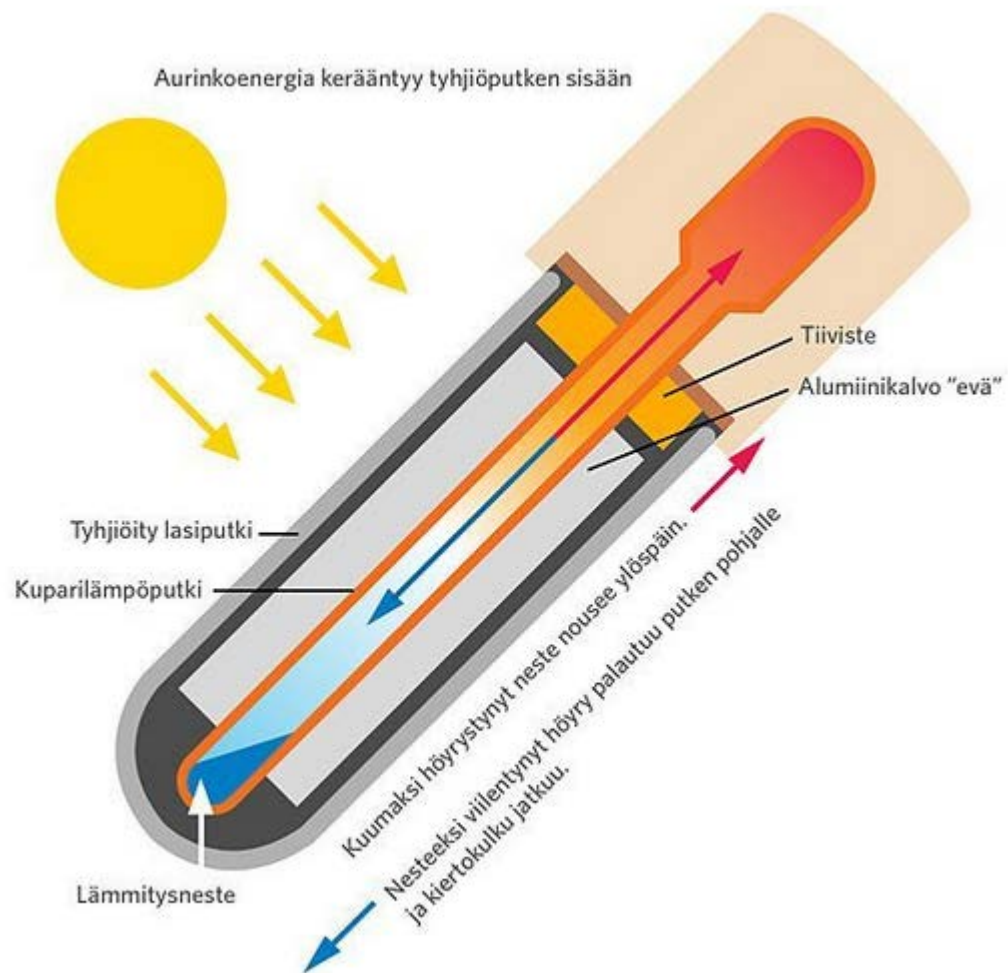
Tyhjiöputkikeräimissä kotelona toimii lasinen putki, jossa on tyhjiö. Tyhjiö toimii erittäin hyvin eristeenä, joten lämpöhäviöt ulkoilmaan pysyvät hyvin pienenä (Solar Heating and Cooling 2012, 13). Tyhjiöputkikeräimet jaetaan pääsääntöisesti kahteen ryhmään; nesteen kiertoon perustuvaan U-kirjaimen muotoisella lämpöputkella varustettuun keräimeen (ks. kuvio 9) ja erilliseen suljettuun heat pipe -lämpöputkeen, mikä perustuu nesteen höyrystymiseen.



Kuvio 9. U-putkella varustetun tyhjiöputkikeräimen läpileikkaus (Erat ym. 2016, 82)

Heat pipe -lämpöputkessa neste höyrystyy auringon säteiden vaikutuksesta ja nousee lämpöputkea pitkin ylös lämmönvaihtimeen, jossa höyry luovuttaa sitomansa lämmön kiertoineeseen. Höyrystynyt neste lauhtuu lämmönvaihtimessa, tiivistyy nesteeksi ja valuu takaisin lämpöputken pohjalle (ks. kuvio 10). Heat pipe -lämpöputken neste ei sekoitu kiertoineeseen lämmönvaihtimessa eli liitos on ns. kuiva, joten yksittäisiä lämpöputkia on helppo vaihtaa nesteitä poistamatta (Erat ym. 2016, 96). Heat pipe -lämpöputkessa nesteen höyrystyminen tapahtuu alhaisessa lämpötilassa. Tästä johtuen heat pipe -tyhjiöputkikeräin toimii tasokeräintä paremmin alhaisessa

ulkolämpötilassa ja alhaisissa säteilyolosuhteissa, joten lämmöntuotanto on tehokkaampaa kylminä vuodenaikoina, mutta lämpiminä vuodenaikoina keräimien lämmöntuotannoilla ei juurikaan ole eroa. (Solar Heat and Cooling 2012, 13.)



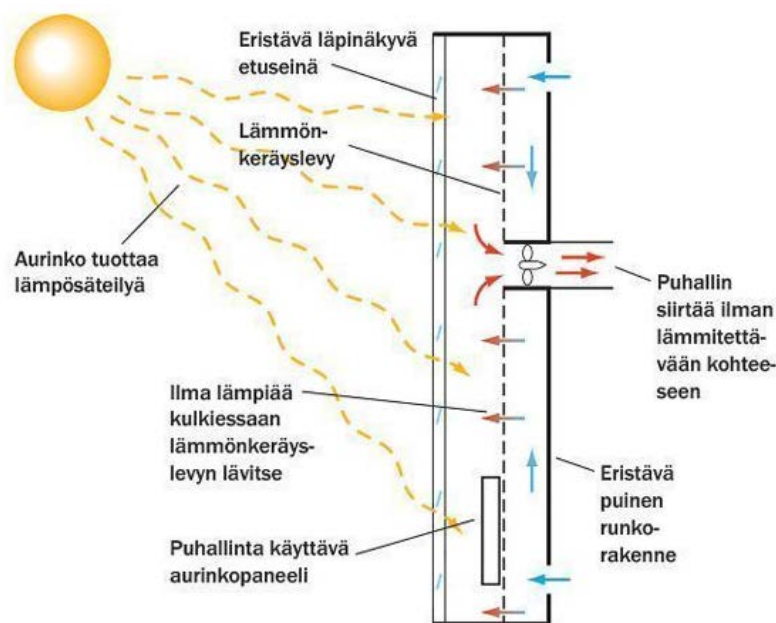
Kuvio 10. Heat pipe -tyhjiöputkikeräimen toimintaperiaate (Tyhjiöputkikeräimet 2016)

5.3 Ilmakiertoiset keräimet

Ilmakiertoisessa aurinkokeräimessä lämmönsiirtoaineena toimii ilma. Ilman lämmönsiirtokyky ja lämpökapasiteetti (lämmönvastaanottokyky) ovat heikommät verrattuna nesteeseen, joten suurilla lämmönsiirtopinnoilla varustetuilla keräinlaitteilla saadaan paremmin toimivia laitteistoja. Ilman ja veden saman lämpömäärän saavuttamiseksi

tarvitaan ilmalle noin 4000 kertaa suurempi tilavuusvirta, mikä edellyttää ilmakeräimelle suurempia kanavia, sillä ilman virtausnopeutta ei voida kasvattaa samassa suhteessa nesteen virtausnopeuden kanssa.

Ilmakiertoiset aurinkokeräimet ovat melko yksinkertaisia rakenteeltaan. Lämmitettävä ilma kulkee keräimessä eristetyn rungon ja absorptiolevyn välissä tai absorptiolevyn läpi riippuen keräimen rakenteesta. Ilmakiertoisia aurinkokeräimiä on kahden tyyppisiä: katettu ja kattamaton ilmakeräin. Katetussa ilmakeräinlaitteessa absorptiopinnan päällä on läpinäkyvä kate, mikä on yleensä valmistettu lasista tai muovista. Läpinäkyvä kate pienentää keräimen lämpöhäviöitä silloin, kun keräimen lämpötila on suurempi kuin ympäristössä vallitseva lämpötila. Ilmakeräinlaitteen konvektiohäviöitä voidaan pienentää puhaltimella. Puhallin asennetaan yleensä keräinlaitteen lähtevälle puolelle, josta se imee ilmaa keräimen läpi (ks. kuvio 11). Tällöin ehkäistään ilman nousemista absorptiopinnasta katteeseen. Lisäksi keräinlaitteen säteilyhäviöitä voidaan estää selektiivisellä absorptiopinnoitteella, niin kuin nestekiertoisella aurinkokeräimellä. (Erat ym. 2016, 86-92.)

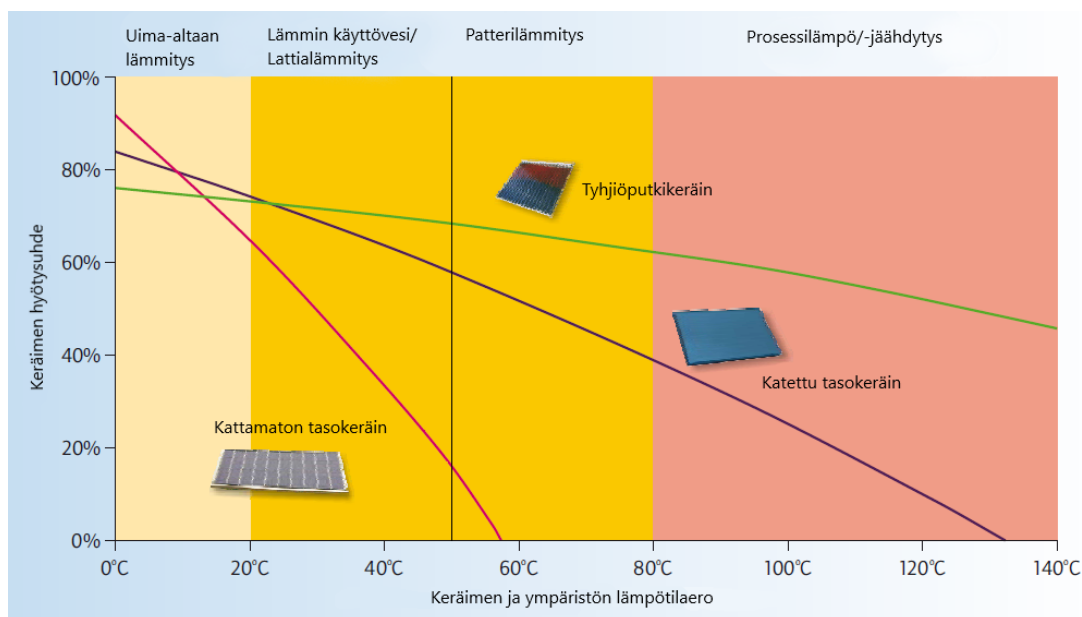


Kuvio 11. Puhaltimella varustetun ilmakeräimen toimintaperiaate (Ilmakeräimet 2016)

Ilmakiertoisen aurinkolämpöjärjestelmän etuina ovat, ettei ilma jäädy talviaikaan tai ylikuumene kesäaikaan toisin kuin nestekiertoisessa aurinkolämpöjärjestelmässä. Lisäksi ilman käyttö on turvallista, sillä mahdolliset vuodot eivät vahingoita rakennuksen rakenteita eikä aiheuta korroosiota. Ilmalla on kuitenkin alhainen lämpökapasiteetti ja järjestelmän säätäminen on vaikeampaa, eikä ilmakiertoinen aurinkolämpöjärjestelmä sovellu kovinkaan hyvin lämminvesivaraajan lämmittämiseen. (Erat ym. 2016, 90.)

5.4 Aurinkolämpöjärjestelmien hyödyntäminen muiden lämmitysratkaisujen yhteydessä

Aurinkokeräimien tehokkuus vaihtelee merkittävästi keräimen ja sen ympäristön lämpötilaeron mukaan (ks. kuvio 12). Mitä enemmän keräimestä koituu lämpöhäviöitä, sitä nopeammin sen hyötysuhde laskee lämpötilaeron kasvaessa. Lähtötilanteessa tyhjiöputkikeräimillä on huonompi hyötysuhde kuin tasokeräimillä, mutta tyhjiöputkikeräimen lämpötilan kasvaessa sen tehokkuus pienenee paljon hillitymmin verrattuna tasokeräimiin tyhjiöputkea eristävän tyhjiön takia. Tästä syystä on valittava oikeanlainen aurinkokeräin järjestelmän käyttötarkoituksen mukaan. (Solar Heating and Cooling 2012, 20.)



Kuvio 12. Eri keräintyyppien hyötysuhteet (Solar Heating and Cooling 2012, 20, muokattu)

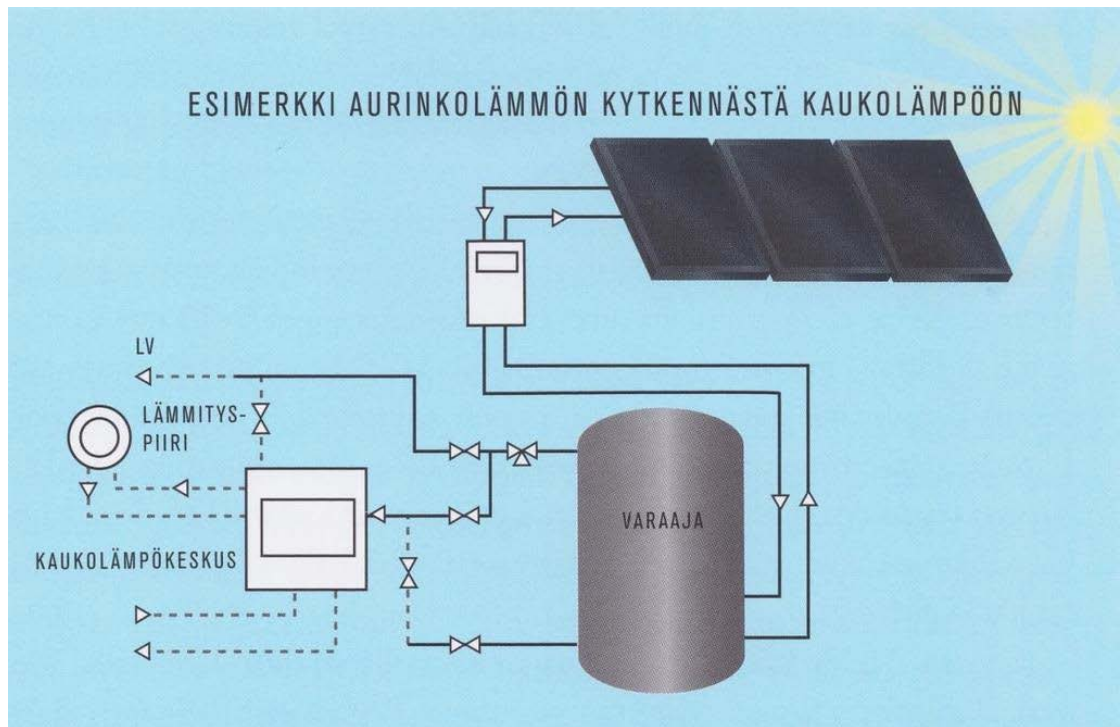
Aurinkolämpöjärjestelmiä voidaan rakennuksissa hyödyntää joko pelkästään lämpimän käyttöveden lämmitykseen tai myös rakennuksen lämmitykseen. Aurinkolämpöä voidaan hyödyntää vain lämpimän käyttöveden valmistukseen, jos aurinkolämpöjärjestelmä yhdistetään suoralla sähkölämmityksellä varustettuun rakennukseen. Suoralla sähkölämmityksellä tarkoitetaan sähkökäyttöisiä pattereita, lattialämmitystä, ikkunälämmitystä ja kattolämmitystä tai näiden yhdistelmää. Aurinkolämpöjärjestelmän yhdistäminen vesikiertoisen sähkölämmityksen rinnalle onnistuu lisäämällä varaajaan ylimääräinen lämmönsiirrin aurinkolämpöputkistolle. Vanhaan varaajaan ei saa tehdä uusia läpivientejä. Jos olemassa olevassa varaajassa ei ole ylimääräistä laippaliitosta lämmönsiirtimelle, joudutaan hankkimaan joko uusi varaaja tarvittavilla liitoksilla tai toinen varaaja vanhan rinnalle. (Erat ym. 2016, 117-118.)

Aurinkolämmön yhdistäminen öljylämmityksen rinnalle onnistuu myös. Tällöin tarvitaan uusi varaaja öljykattilan rinnalle, kuten aurinkolämmön yhdistämisessä vesikiertoisen sähkölämmityksen yhteyteen. Varaajaa suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon myös öljylämmityksen käyttöikä päälämmönlähteen vaihtaminen. Varaavan vesi-

kiertoisen puulämmityksen (tai muun biomassalämmityksen) yhteydessä aurinkolämpöjärjestelmä mitoitetaan kesäaikaisen lämmönkulutuksen mukaan, jolloin kesäaikainen puunpoltto voidaan korvata aurinkolämmöllä kokonaan. Aurinkolämpöjärjestelmän yhdistäminen puulämmityksen rinnalle onnistuu myös samalla periaatteella, kuin vesikiertoisessa sähkölämmityksessä. (Erat ym. 2016, 120-122.)

Maalämpöjärjestelmien vaakasuuntaista keruuputkistoa tai maalämpökaivoa voidaan hyödyntää myös aurinkolämmön kausivarastona. Tällöin auringolla tuotettu ylimääräinen lämpöenergia johdetaan maahan, josta lämpöä voidaan käyttää kylminä vuodenaikoina lämpöpumppujen avulla. Helpoin tapa on kuitenkin liittää aurinkolämpöjärjestelmä maalämpöjärjestelmän varaajaan. Maalämpöjärjestelmissä on joko sisäänrakennettu varaaja tai erillinen varaaja. Sisäänrakennetun varaajan rinnalle voidaan hankkia uusi varaaja aurinkolämmön yhdistämiseksi, jos varaajassa ei ole ylimääräistä laippaliitosta lämmönsiirtimen liittämiseksi. Erillisissä varaajissa yleensä on ylimääräinen laippaliitos, johon lämmönsiirtimen voi asentaa. Aurinkolämpöjärjestelmällä voidaan myös esilämmittää lämpöpumppujen tulopuolta, jolloin aurinkokeräimistä saadaan optimaalisin tuotto. Tulopuolen esilämmittäminen on tehokkain tapa hyödyntää aurinkolämpöä lämpöpumppujen yhteydessä, mutta myös kaikista haastavin tapa toteuttaa. (Erat ym. 2016, 123-124.)

Kaukolämpö-aurinkolämpö -yhdistelmässä voidaan aurinkolämmöllä valmistaa joko pelkästään lämminkäyttövesi tai myös lämpöenergiaa tilojen lämmittämiseen (ks. liite 1). Aurinkolämpöjärjestelmä kytketään suoraan tai varaajan välityksellä joko kaukolämmön ensiö- tai toisiopuolelle. Aurinkolämpövaraajan välityksellä voidaan esilämmittää lämminkäyttövesi ja kaukolämpö takaa tarvitun lämpötilan käyttövedelle sääolosuhteista huolimatta (ks. kuvio 13). Aurinkolämmön kytkennästä kaukolämpöverkkoon tulee olla yhteydessä kaukolämmön toimittajan kanssa, koska vielä ei ole vakiintunutta käytäntöä tai kaukolämpöyritysten hyväksymää mallikytkentää. (Erat ym. 2016, 124-125.)



Kuvio 13. Aurinkolämpöjärjestelmä kaukolämmön rinnalla (Erat ym. 2016, 125)

6 Aurinkosähkö

6.1 Aurinkosähkön hyödyntäminen

Aurinkosähköä voidaan hyödyntää kahdella tavalla, joko sähköverkkoon kytkettynä järjestelmänä (on-grid) tai itsenäisenä järjestelmänä (off-grid), jolloin aurinkosähköjärjestelmää ei ole kytketty sähköverkkoon. Off-grid-järjestelmät ovat yleensä kannattavia kohteisiin, mitä ei ole liitetty sähköverkkoon. Tällaisia kohteita ovat mm. loma-asunnot, laivat, veneet ja asuntoautot. (Erat ym. 2016.)

Tässä työssä keskityttiin verkkoon kytkettyihin on-grid-järjestelmiin, missä tuotettu aurinkosähkö kulutetaan pääsääntöisesti kiinteistössä ja myydään mahdollinen ylijäämä sähkö jakeluverkkoon. Ylijäämänsähkön myynnistä tulee sopia aurinkosähkön tuottajan ja sähkön myyjän kanssa. Aurinkosähkön syöttö jakeluverkkoon ei ole yhtä kannattavaa kuin tuotetun sähkön käyttäminen kiinteistössä. Aurinkosähkön myyntihinta jakeluverkkoon vastaa keskimäärin pelkkää sähköenergian ostohintaa,

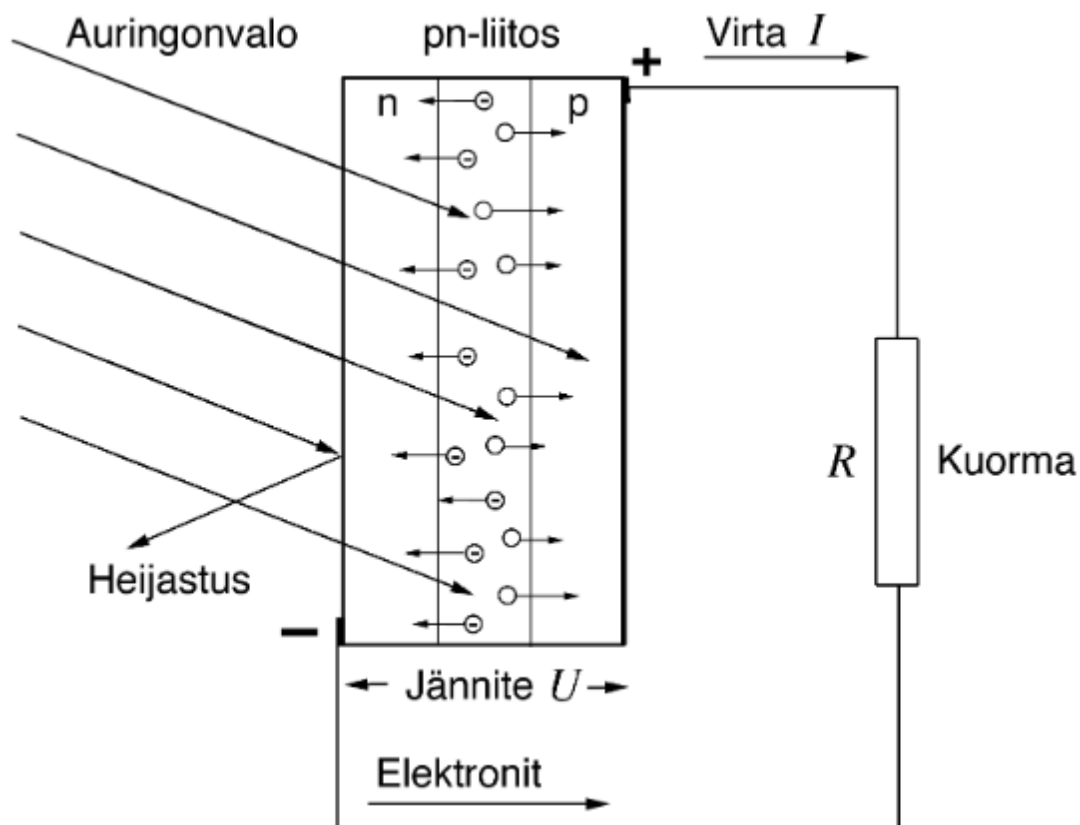
mikä on noin kolmasosa ostetun sähkön kokonaishinnasta. Sähkön kokonaishinta muodostuu sähkön siirrosta, sähköenergiasta ja veroista sekä sähkösopimuksesta riippuen myös perusmaksusta, mikä maksetaan kuukausittain. Lisäksi sähköenergian ostohinta on yleensä korkeimmillaan päiväaikaan eli silloin, kun aurinkosähköä on mahdollista tuottaa. Ylijäämäsähkö kannattaa ennemmin hyödyntää kiinteistöjen suurissa kulutuskohteissa, kuten jäähdytyksessä tai esimerkiksi lattialämmityksessä ja lämminvesivaraajassa, mitkä myös varastoivat energiaa. (Ylijäämäsähkön myynti n.d.)

6.2 Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät

Sähköverkkoon kytkettyjen on-grid-järjestelmien pääkomponentit ovat aurinkopaneelit ja invertterit. Verkkoon kytketty järjestelmä on yleisin aurinkosähkön hyödyntämistapa maailmanlaajuisesti. Järjestelmiin voidaan mahdollisesti kytkeä myös sähkönvarastointiin käytettäviä akkuja, mutta varastointi on vielä kannattamatonta, vaikka akkujen hinnat ovat olleet pitkään laskussa ja jatkavat laskuaan. Yleensä kuitenkin Off-grid-järjestelmissä käytetään akkuja, joilla saadaan kompensoitua sähkönkulutuksen ja -tuotannon kohtaamattomuutta. (Erat ym. 2016, 136; Solar Photovoltaic Energy 2014, 11.)

6.2.1 Aurinkopaneelit

Aurinkokennossa auringonsäteily muuttuu suoraan sähkövirraksi. Kennot on valmistettu puolijohdemateriaalista. Puolijohdemateriaali tarkoittaa materiaalia mikä johtaa sähkövirtaa paremmin kuin eriste, mutta huonommin kuin johde. Kennon toiminta perustuu valosähköiseen ilmiöön. Fotonit ovat auringonsäteilyenergiaa kuljettavia hiukkasia, mitkä saavat aikaan puolijohdemateriaalissa elektroni-aukkopareja. Pn-liitokseen (ks. kuvio 14) muodostuvista elektroni-aukkopareista elektronit vetäytyvät n-tyyppisen puolijohteen (negatiiviselle) puolelle ja aukot vetäytyvät p-tyyppisen puolijohteen (positiiviselle) puolelle. Kennon rajapintaan muodostuneen sähkökentän ansiosta elektronit voivat kulkea vain yhtä kautta ulkoiseen sähköpiiriin saaden aikaan sähkövirran. (Aurinkopaneelit n.d., 1.)



Kuvio 14. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (Aurinkopaneelit n.d.)

Yleisimmät kaupalliset aurinkopaneelit koostuvat useasta yksittäisestä aurinkokennosta, mitkä ovat yleensä yhdistetty sarjakytkennällä toisiinsa. Tätä kutsutaan aurinkokennostoksi. Kennot ovat yleisimmissä kaupallisissa aurinkopaneeleissa valmistettu yleensä yksi- tai monikiteisestä piistä. Muitakin materiaaleja on testattu ja on myös käytössä, mutta ne soveltuvat vain erityiskäyttöön. Vaihtoehtoisia materiaaleja käytetään erilaisissa ns. ohutkalvokennotekniikalla valmistetuissa aurinkopaneeleissa, joissa keräinrakenne ei ole koottu yksittäisistä aurinkokennoista vaan useasta päällekkäisestä kalvosta. Aurinkopaneeleilla on mekaanisesti ja ympäristön olosuhteet huomioiden kestävä rakenne. Se sisältää ilmatiiviisti etulasin alle asennetun aurinkokennoston lisäksi yleensä alumiinista valmistetun kehyksen. (Erat ym. 2016, 137; Solar Photovoltaic Energy 2014, 11.)

Aurinkopaneelit ovat yleensä nimelliseltä huipputeholtaan 200-330 W. Huipputeho tai ns. ”piikkiteho” ilmoitetaan ”piikkiwatteina”, minkä yksikkö ilmoitetaan muodossa W_p . Tämä teho ei ole paneelin maksimiteho, vaan se on standarditestiolosuhteissa (engl. Standard Test Conditions, lyhenne STC) testattu paneelin teho. Paneeleita testatessa käytetään aina samoja standarditestiolosuhteita, mitkä ovat:

- Auringonsäteily määrä 1000 W/m², mikä vastaa säteilyä kohtisuoraan maanpinnalle hyvissä olosuhteissa
- Kennojen lämpötila +25 °C, mikä vastaa noin -5 °C – +5 °C ympäristön lämpötilaa, kennojen säteilystä johtuvan lämpenemisen takia
- Ilmakehän paksuus AM 1,5 (engl. Air Mass), mikä vastaa suodatettua säteilyä, kun se kulkee ilmakehässä 1,5 kertaisen ilmakehän matkan.

Paneelin tuotanto voi ylittää nimellistehoarvon johtuen auringonsäteilystä ja ympäristön lämpötilasta. Puolijohdemateriaalien ominaisuuksista johtuen, paneelin lämpötila vaikuttaa tehoon. Paneelin jännite ja teho laskee noin 0,4 prosenttia 1 celsius astetta kohti, kun kennojen lämpötila ylittää 25 °C. Kylmästä ilmastosta on hyötyä, sillä alhainen lämpötila kennossa parantaa sähköntuotantoa ja hyötysuhdetta. Suomessa tämän kaltainen tilanne on mahdollista kirkkaalla säällä ja alhaisessa lämpötilassa, tyypillisesti keväällä, kun paneeleihin osuu suoran säteilyn lisäksi hajasäteilyä lumesta. Tällaisissa tilanteissa paneelin tuotanto voi hetkellisesti nousta jopa 120 prosenttiin nimellistehosta. (Erat ym. 2016, 137-139; Solar Photovoltaic Energy 2014, 12.)

Aurinkopaneelin ominaiskäyrä kertoo, millä jännitteen ja virran arvoilla paneelin on mahdollista toimia ja miten se käyttäytyy kyseisillä arvoilla. Ominaiskäyrästä voidaan selvittää millaisilla jännitteen ja virran arvoilla paneeli tuottaa maksimitehon eli maksimitehopiste. Ominaiskäyrään liittyy myös muita pisteitä, mitkä ovat tyhjäkäyntijännite ja oikosulkuvirta. Tyhjäkäyntijännite kertoo paneelin jännitteen silloin, kun kuormaa ei ole kytketty. Oikosulkuvirta on maksimivirta, kun paneelin navat ovat kytkettyä yhteen eli oikosulkuun. (Erat ym. 2016, 137-141.)

Aurinkopaneelien hyötysuhde on osuus auringon säteilyenergiasta, mikä voidaan muuttaa kennostossa sähköksi. Yleisimpien kaupalliset aurinkopaneelien hyötysuhteet vaihtelevat 15-17 prosentin välillä. Parhaiden kaupallisten aurinkopaneelien hyötysuhde voi olla jopa 20 prosenttia, mutta ne ovat kalliimpia. Aurinkopaneelien hyötysuhteeseen vaikuttaa valmistuksessa käytettävien materiaalien laatu ja viimeistely, kuten aurinkokennoston ja etulasin laatu sekä paneelin rakenne. (Erat ym. 2016, 142; Solar Photovoltaic Energy 2014, 12.)

Aurinkopaneelien käyttöikä voi olla jopa 40 vuotta. Paneelivalmistajat antavat tehontuottotakuun yleensä 25 vuoden käyttöikään asti aurinkopaneeli tuottaa ainakin 80 prosenttia niiden nimellistehosta tai 30 vuoden käyttöikään asti tuotanto on ainakin 70 prosenttia nimellistehosta. (Solar Photovoltaic Energy 2014, 12.)

6.2.2 Invertterit ja muut osat

Aurinkopaneeli tuottaa tasasähköä (DC), minkä invertteri eli vaihtosuuntaaja muuttaa vaihtosähköksi (AC). Invertterin muuttama vaihtosähkö vastaa kiinteistön sähkölaitteiden ja sähköverkon sekä sähköjakeluverkon vaatimia sähkönlaatuvaatimuksista. Aurinkopaneelit kytketään invertterin kautta kiinteistön sähkökeskukseen, mistä sähkö jakautuu kiinteistön sähkölaitteiden käyttöön. Inverttereitä on olemassa yksi- ja kolmivaiheisia, joista yksivaiheisia käytetään vain pienissä alle kolmen kilowatin järjestelmissä. Kolmivaiheiset invertterit kytketään sähköverkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Suurimman hyödyn saamiseksi sähkölaitteiden tulisi olla ryhmiteltynä tasaisesti jokaiselle vaiheelle, jotta sähkökuorma olisi mahdollisimman tasainen. Tällöin ei synny esimerkiksi tilannetta, missä yksi vaiheista syöttää sähköä ylijäämäänä jakeluverkkoon, koska vaiheessa ei ole kuormaa. (Erat ym. 2016, 144-145.)

Varsinaisten toiminnallisten komponenttien eli aurinkopaneelien ja inverttereiden lisäksi aurinkosähköjärjestelmään kuuluu mm. kaapeloinnit ja mekaaniset komponentit, kuten paneelien asennustelineet. Lisäksi Suomen sähköverkkomääräysten mukaan järjestelmään tulee asentaa turvakytin aurinkopaneeleiden ja sähköverkon vä-

liin. Turvakytkimellä voidaan tehdä sähköverkko jännitteettömäksi aurinkosähköjärjestelmän osalta, mutta aurinkopaneeleita ja niistä lähteviä kaapeleita ei saa jännitteettömäksi.

7 Kustannukset

7.1 Aurinkolämmön kustannukset

Aurinkoenergiajärjestelmien kannattavuutta voidaan tarkastella yksinkertaistettua tuotantohintaa hyödyntäen. Yksinkertainen tuotantohinta (engl. levelised cost of energy, lyhenne LCOE) muodostuu alkuinvestoinnin ja ylläpitokustannusten suuruudesta, mitkä suhteutetaan järjestelmän tuottamaan energiamäärään koko elinkaaren aikana. Yksinkertainen LCOE-tuotantohinta voidaan laskea yhtälöllä 1.

$$\text{Tuotantohinta} \left[\frac{\text{€}}{\text{MWh}} \right] = \frac{(\text{Alkuinvestointi} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right] + \text{Ylläpito} \left[\frac{\text{€}}{\text{m}^2} \right])}{\text{Vuosituotto} \left[\frac{\text{MWh}}{\text{m}^2} \right] * \text{Pitoaika (vuosina)}} \quad (1)$$

Alkuinvestointiin lasketaan teknisten laitteiden ja muiden tarvikkeiden hankintahinnat sekä asennustöistä johtuvat kulut. Ylläpitokustannuksiin kuuluvat kaikki käyttö- ja huoltokustannukset. Alkuinvestointi ja ylläpitokustannukset ilmoitetaan muodossa €/m² eli hinta keräin-neliometriä kohti. (Solar Photovoltaic Energy 2014, 12.)

Suomessa aurinkolämpöjärjestelmien vuosituotanto on keskimäärin 0,4–0,5 megawattituntia keräinneliometriä kohti (MWh/m²). Jos tuotettu lämpöenergia käytetään pelkän käyttöveden lämmitykseen, vuosituotanto on tyypillisesti noin 0,4 MWh/m². Jos lämpöenergiaa käytetään myös tilojen lämmitykseen vuosituotanto on vähintään 0,5 MWh/m². Aurinkolämpöjärjestelmien keskimääräiset kustannukset ja tuotantohinnat järjestelmien koon mukaan ovat esitettyinä taulukossa 2. Taulukon hinnat ovat vuosilta 2014–2015. Hinnat eivät sisällä veroja, korkokustannuksia tai investointitukia. (Auvinen 2016.)

Taulukko 2. Aurinkolämpöjärjestelmän kustannukset (Auvinen 2016, mukailtu)

Järjestelmän koko	Alkuinvestointi €/keräin-m ²	Ylläpitokulut		Tuotantohinta	
		%*	€/keräin-m ²	Tuotto 0,4 MWh/m ² €/MWh	Tuotto 0,5 MWh/m ² €/MWh
Pieni 4-20 keräin-m ²	500 – 1000	10	50 – 100	46 – 92	37 – 73
Keskikokoinen 20-100 keräin-m ²	500 – 750	8	40 – 60	45 – 68	36 – 54
Suuri 100-1000 keräin-m ²	400 – 500	5	20 – 25	35 – 44	28 – 35
Teollinen 15000 keräin-m ²	280 – 340	–	noin 20	–	20 – 24

*prosenttiosuus alkuinvestoinnista

Aurinkolämpöjärjestelmän pitoaika on noin 30 vuotta. Ylläpitokustannukset vaihtelevat välillä 5–10 prosenttia alkuinvestoinnin suuruudesta. Vaihtelu riippuu järjestelmän koosta, koska suurilla järjestelmillä on suhteessa pienemmät käyttö- ja huoltokustannukset kuin pienillä järjestelmillä. Ylläpitokustannuksiin on laskettu ohjausyksikön, paisunta-astian ja lämmönsiirtonesteiden vaihdot. Pitoaikana ohjausyksikkö ja paisunta-astia joudutaan vaihtamaan kerran ja lämmönsiirtonesteet kaksi kertaa. Pumpua ei lasketa ylläpitokustannuksiin, koska se kestää yleensä koko järjestelmän elinkaaren. Ylläpitokustannukset sisältävät myös järjestelmän sähkökulutuksen. (Auvinen 2016.)

7.2 Aurinkosähkön kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmien hinnat johtuvat monista tekijöistä. Hintaan vaikuttaa järjestelmän koko, laitteet ja niiden laatu sekä asennustyöt. Suuret järjestelmät ovat kalliimpia, mutta niiden yksikkökustannus on halvempi kuin pienissä järjestelmissä. Lisäksi laadukkaat komponentit ovat kustannuksiltaan kalliimpia, mutta niiden käyttöikä on pidempi ja huollontarve pienempi. Järjestelmien tuotantohinnat vaihtelevat välillä 4,2–8,6 senttiä kilowattituntia kohti (snt/kWh). Näihin hintoihin ei ole otettu huomioon investointitukia tai veroja. Tyypillinen kohde tuotantohinnalle 4,2 snt/kWh on suuri (900 kW) aurinkosähköjärjestelmä teollisuuslaitoksen katolla. Tuotantohinnalle 8,6 snt/kWh tyypillinen kohde on pieni (3 kW) aurinkosähköjärjestelmä taloyh-

tiön katolla. Taulukossa 3 on esitetty aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hinnat sisältäen asennukset. Taulukon hinnat ovat vuosilta 2014–2016. Hinnat eivät sisällä veroja, korkokustannuksia tai investointitukia. (Auvinen & Jalas 2017.)

Taulukko 3. Aurinkosähköjärjestelmien keskimääräiset hinnat asennettuna (Auvinen & Jalas 2017, mukailtu)

Järjestelmän koko (asennustapa)	Kohde	Hinta (alv 0%) €/kWp
>1000 kW (maa-asennus)	Teollisen mittakaavan aurinkovoimalat	1200 – 1000
>250kW (kattoasennus)	Teollisuus- tai kauppakiinteistöt	1300 – 950
10-250 kW (kattoasennus)	Toimisto-, kauppa- tai kuntakiinteistöt	1350 – 1050
<10 kW (on-grid)	Omakotitalot tai pienrakennukset	2000 – 1300
>1kW (off-grid)	Verkkoon kytkemättömät vapaa-ajan asunnot ja pienrakennukset	3500
<1kW (off-grid)	Veneet, Asuntovaunut tai pienrakennukset	5000

Aurinkosähköjärjestelmät ovat pitkäikäisiä. Niiden laskennallinen pitoaika on 30 vuotta. Pitoajan määrittelee lähinnä aurinkopaneelien käyttöikä, mikä on noin 30-40 vuotta riippuen aurinkopaneelien laadusta. Inverttereiden käyttöikä on noin 15 vuotta. Järjestelmän pitoaikana invertterit joudutaan vaihtamaan kerran ja se otetaan huomioon ylläpitokustannuksissa muiden huoltokustannusten lisäksi. Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuden arvioinnissa huomioidaan sähköntuotannon alenema, mikä on noin 0,5 prosenttia vuodessa. (Auvinen & Jalas 2017.)

7.3 Energiatuki

Energiatuki on rahoitus, mikä on kehitetty tukemaan ja edistämään uusien energiaratkaisujen kehittämistä energiasektorilla. Se haetaan kohdekohtaisesti energiatukihakemuksella, minkä pääsääntöisesti käsittelee Innovaatiorahoituskeskus Business Finland. Energiatuen myöntää Työ- ja elinkeinoministeriö (TEM), jos hankkeen kustannukset ovat enemmän kuin 5 miljoonaa euroa tai, jos hankkeeseen kuuluu uutta

teknologiaa ja sen kustannukset ylittävät miljoona euroa. Energiatuen tavoitteena on tukea energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi pitkällä aikavälillä. Energiatukea on mahdollista saada investointi- ja selvityshankkeisiin, jotka:

- edistävät uusiutuvaa energiantuotantoa ja -käyttöä
- parantavat energiansäästöä tai energiantuotannon ja -käytön tehostamista
- tukevat energiajärjestelmän muuttumista vähähiiliseksi (Energiatuki n.d.)

Energiatuen myöntäminen on mahdollista kaiken kokoisille yrityksille sekä kuntasektorille ja muille yhteisöille, jos ne eivät saa muuta rahoitusta valtiolta ja ovat taloudellisesti vakaalla pohjalla. Energiatukea ei tällä hetkellä myönnetä asunto-osaakeyhtiöille tai asuinkiinteistöille. (Energiatuki n.d.)

Yritysten ja kuntasektorin energiakatselmuksiin, mitkä liittyvät energiatehokkuussovimuksiin, on mahdollista saada 50 prosenttia tukea. Muihin energiakatselmuksiin, -analyysiin tai selvityshankkeisiin tukimäärä on 40 prosenttia. Aurinkoenergiashankkeisiin myönnetään energiataukea. Aurinkolämpöshankkeisiin energiataukea voi saada 20 prosenttia investoinnista. Tukeya ei normaalisti myönnetä uudisrakennuksiin, mutta poikkeuksellisesti aurinkosähköshankkeisiin uudisrakennuksen yhteyteen voidaan energiatauki myöntää. Aurinkosähköshankkeiden uusi energiataukimäärä on 20 prosenttia (alkaen 1.5.2019). Aikaisemmin aurinkosähköshankkeista oli mahdollista saada 25 prosenttia energiataukea. (Energiatuki n.d.)

7.4 Investoinnin kannattavuuden arviointi

Investointien kannattavuutta arvioidaan nettonykyarvon, sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan laskentamenetelmillä. Laskentatyökalussa käytetään Excel-tilulukkolaskentaohjelman funktioita nettonykyarvon ja sisäisen korkokannan osalta. Seuraavissa kappaleissa on esitetty arvojen laskennassa käytettävät yhtälöt menetelmien havainnollistamiseksi.

7.4.1 Nettonykyarvo

Nettonykyarvoa (engl. Net Present Value, lyhenne NPV) laskettaessa vertaillaan investoinnista aiheutuvia tuloja ja menoja ottaen huomioon rahan ajallinen arvo. Eriaikainen tulojen ja menojen rahallinen suuruus siirretään nykyaikaan eli diskontataan. Diskonttaus on tärkeää johtuen investoinnin alussa aiheutuvan suuren negatiivisen kassavirran ja vasta myöhemmin tapahtuvien positiivisten kassavirtojen eriaikaisuudesta. Diskonttokorkokantaa voidaan käyttää myös keskimääräisenä tuottovaatimukseksi investointiin käytetystä pääomasta, mikäli investointi rahoitetaan omasta pääomasta. Nettonykyarvon perusteella investointi on kannattava, jos arvo on positiivinen. Jos tarkastelun kohteena on useampi investointi, valitaan investointi, minkä nettonykyarvo on suurin. Nettonykyarvo lasketaan Excel-taulukkolaskentaohjelman funktiolla *NNA* tai yhtälöllä 2. (Vaihekoski 2016.)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+r)^t} + \frac{JA_n}{(1+r)^n} - I_0 \quad (2)$$

missä S_t = investoinnin tuottama kassavirta vuonna t

r = käytettävä diskonttokorkokanta

JA_n = investoinnin jäännösarvo pitoajan jälkeen

n = investoinnin pitoaika

I_0 = investointimeno lähtötilanteessa

7.4.2 Sisäinen korkokanta

Sisäinen korkokanta (engl. Internal Rate of Return, lyhenne IRR) on arvo, jolla diskontattuna investoinnin nettonykyarvoksi saadaan nolla. Investointi on kannattava, jos

sisäinen korkokanta on suurempi kuin investoinnin tuottovaatimus eli diskonttokorkokanta yhtälössä 2. Investointi hylätään, jos sisäinen korkokanta on pienempi kuin investoinnin tuottovaatimus. Jos tarkastelun kohteena on useampi investointi, valitaan investointi, minkä sisäinen korkokanta on suurin. Sisäinen korkokanta lasketaan Excel-taulukkolaskentaohjelman funktiolla *Sisäinen.Korko* tai yhtälöllä 3. Nettonykyarvon perusteella lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaika saadaan laskemalla yhteen järjestelmän elinaikaiset vuodet siihen asti, kunnes nettonykyarvo muuttuu positiiviseksi. (Vaihekoski 2016.)

$$\sum_{t=1}^n \frac{S_t}{(1+IRR)^t} + \frac{JA_n}{(1+IRR)^n} - I_0 = 0 \quad (3)$$

missä S_t = investoinnin tuottama kassavirta vuonna t

JA_n = investoinnin jäännösarvo pitoajan jälkeen

n = investoinnin pitoaika

I_0 = investointimeno lähtötilanteessa

8 Luvat

Aurinkoenergiajärjestelmien asentamisessa vaadittavat luvat määrittelee kohteen paikkakunnan oma rakennusvalvonta. Lupakäytännöt riippuvat pääsääntöisesti kiinteistön tyypistä, koosta ja sijainnista. Yleensä toimenpidelupa vaaditaan vain, jos järjestelmä vaikuttaa merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön. Rakennusvalvonta voi vaatia toimenpideluvan sijasta esimerkiksi kaupunkikuva-arkkitehdin hyväksynnän kirjallisena. Rakennuslupa vaaditaan lähtökohtaisesti vain suurista järjestelmistä. Jos rakennus on suojeltu, järjestelmän asentaminen on pääsääntöisesti kielletty. (Lupa-asiat 2018.)

Sähköverkkoon kytkettyjen aurinkosähköjärjestelmien 230 voltin vaihtojännitteiset (230 VAC) sähkötyöt saa tehdä vain sähköasennusoikeudet omaava yritys eli sähköurakoitsija, joka tekee järjestelmille myös käyttöönottotarkastuksen. Ilman erillisiä pätevyyskysymyksiä pystytään tekemään aurinkoenergiajärjestelmien mekaanisia asennustöitä sekä sähkölaitteistojen asennustöitä, jos sähkölaitteistot toimii enintään 50 voltin vaihtojännitteellä tai 120 voltin tasajännitteellä. Tällaisten matalan jännitteen sähkötyöiden suorittajan on kuitenkin perehdyttävä sähkötyöhön ja niitä koskeviin turvallisuusvaatimuksiin. (Lupa-asiat 2018.)

Aurinkosähköjärjestelmien liittämisen sähköjakeluverkkoon hoitaa pätevä sähköurakoitsija paikallisen verkkoyhtiön luvalla. Luvan lisäksi sähkölaitteiden ja -asennusten on täytettävä jakeluverkon tekniset vaatimukset. Paikallinen verkkoyhtiö on velvoitettu liittämään toimialueensa sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset jakeluverkkoon kohtuullista korvausta vastaan. Verkkoon siirrettävälle aurinkosähkölle tulee olla ostaja, joten sähkön myymisestä on sovittava sähkömyyjän kanssa. Aurinkosähköä ei voi myydä verkkoyhtiölle, sillä se ei saa osallistua sähkökauppaan. (Lupa-asiat 2018.)

9 Työn toteutus

Laskentatyökalun lähtökohtana oli aurinkoenergiajärjestelmien kannattavuuden tarkastelu nopeasti ja helposti kiinteistön tietoja hyödyntäen. Laskentatyökalu koostuu aurinkolämpö- ja aurinkosähkölaskurista. Kuvakaappaus aurinkolämpölaskurista löytyy liitteestä 2 ja aurinkosähkölaskurista liitteestä 3. Laskentatyökalussa on erikseen välilehdet, joista näkyy tärkeimmät arvot ja tulokset sekä välilehdet, joista löytyy laskennassa tarvittavia taustatietoja.

Laskentatyökalu tehtiin siten, että se soveltuu kaikenkokoisille järjestelmille sekä erityyppisille kiinteistöille, kiinteistön sijainti huomioiden. Laskentatyökaluun syötettävät lähtöarvot ja tärkeimmät tulokset korostettiin eri väreillä. Työkalussa keltaisella

pohjalla olevat arvot ovat syötettävää tietoa, minkä perusteella työkalu suorittaa laskennan kiinteistökohtaisesti. Työkalun vihreällä pohjalla olevat arvot ovat tärkeimpiä laskennantuloksia. Työkaluun lisättiin myös diagrammeja, mitkä havainnollistavat kiinteistön energiankulutuksen ja -tuotannon jakautumista.

9.1 Aurinkolämpölaskuri

9.1.1 Syötettävät lähtötiedot

Aurinkolämpölaskuri toteutettiin siten, että keräinten pinta-alaa muuttamalla voidaan löytää energiantuotannon kannalta kiinteistölle paras mahdollinen keräinten kokoluokka. Laskuriin sisällytettiin useita otsikoituja osioita, joista tärkeimmät näkyvät kuviossa 15. Osiot jaettiin ja otsikoitiin niiden sisällön mukaan.

Kiinteistön tiedot	
Paikkakunta	Jyväskylä
Käyttötarkoitus	Liikerakennus
Pinta-ala	3000 m ²

Aurinkokeräimet	
Kallistuskulma	0°
Keräinten pinta-ala	100 m ²
Keräimen hyötysuhde	0,6
Siirto ja varastointi häviöt	25 %

Investoinnin kannattavuus	
Investoinnin laskentakorko	1 %
Nettonykyarvo (NPV)	35498,28 €
Sisäinen korkokanta (IRR)	6 %
Takaisinmaksuaika	15 vuotta
Tuotantohinta	39,48 €/MWh

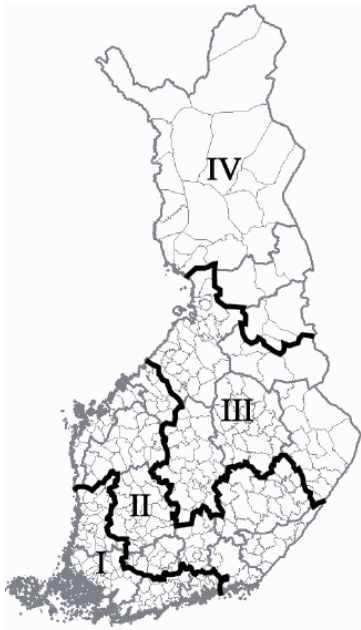
Lämmityksen tarve	
LKV: kulutus vuodessa	1728 m ³ /a
Arvio LKV:n kulutuksesta	1800 m ³ /a
Arvio LKV:n lämpöenergian tarpeesta	105000 kWh/a
LKV:n lämpöenergian nettotarve	100800 kWh/a
Tilojen lämmitysenergian tarve	0 kWh/a
LKV:n lämmitystarve	100800 kWh/a

Investointi ja kustannukset	
Nykyinen lämpöenergian hinta	0,08 €/kWh
Arvio lämpöenergian hinnan noususta	1 % vuodessa
Järjestelmän investointikustannus	55813,39 €
Energiatuki	20 %
Investointi energiatuen jälkeen	44650,71 €
Ylijäämälämmön myyntihinta	0 €/kWh

Välituloksia	
Aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotanto	40041,00 kWh
Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto	0,40 MWh/keräin-m ²
Aurinkolämmön osuus lämmönkulutuksesta	6 %
Järjestelmän käyttöaika	30 vuotta
Ylläpitokustannukset käyttöajan aikana	5 % investoinnista
Ylläpitokustannukset yhteensä	2790,67 €
Järjestelmän tuotannon alenema vuodessa	-1 %

Kuvio 15. Aurinkolämpölaskuriin syötettävät tiedot

Kiinteistön tiedot -osioon syötetään tiedot tarkasteltavan kiinteistön sijainnista, käyttötarkoituksesta ja pinta-alasta. Kiinteistön sijainti valitaan pudotusvalikosta. Vaihtoehtoina ovat Helsinki, Jyväskylä ja Sodankylä. Suomen säävyöhykkeet jaetaan neljään osaan (ks. kuvio 16), joista vyöhykkeillä yksi ja kaksi on samat ulkoilman keskilämpötilat ja auringon säteilyenergiat (A 1010/2017, 17-18). Tästä syystä paikkakunnan vaihtoehtoina on vain aiemmin mainitut kolme vaihtoehtoa. Kiinteistön sijaintia laskenta työkalu käyttää auringon säteilyenergian laskemiseen.



Kuvio 16. Suomen säävyöhykkeet (A 1010/2017, 17)

Kiinteistön käyttötarkoitus valitaan myös pudotusvalikosta, missä vaihtoehtoina ovat asuin-, toimisto-, liike-, majoitusliike-, opetus- ja päiväkotirakennus sekä liikuntahalli ja sairaala. Nämä vaihtoehdot pohjautuvat lämpimän käyttöveden ominaiskulutukseen (A 1010/2017). Kiinteistön pinta-ala ilmoitetaan neliömetreinä. Kiinteistön käyttötarkoituksen ja pinta-alan perusteella laskentatyökalu arvioi lämpimän käyttöveden kulutuksen kuutiometreinä ja laskee sen perusteella lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarpeen RakMK:n (RakMK Energiatehokkuus 2017) mukaan yhtälöllä 4.

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (4)$$

missä, $Q_{lkv,netto}$ = lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve

ρ_v = vedentiheys (1000 kg/m³)

c_{pv} = veden ominaislämpökapasiteetti (4,2 kJ/kgK)

paikkakunta- ja kuukausikohtaiset säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle sekä kallistuskulmasta riippuvainen säteilyenergian korjauskerroin. Säteilyenergiat vaakasuoralle pinnalle saatiin Ympäristöministeriön asetuksen 1010/2017 liitteestä 1. Säteilyenergian korjauskertoimet saatiin Aurinko-oppaasta (Heimonen 2011, 16-17).

9.1.3 Tuotannon laskenta

Aurinkolämpölaskuri laskee aurinkolämpöjärjestelmän energiatuotannon kuukausitasolla, pohjautuen annettaviin lähtötietoihin. Aurinkolämmöntuotannon laskenta perustuu Aurinko-oppaan (Heimonen 2011) laskentamenetelmään. Säteilyenergian määrä lasketaan yhtälöllä 5, missä otetaan huomioon kiinteistön sijaintiin perustuvat säteilyenergiat kuukausitasolla, keräinten kallistuskulmasta ja sijainnista riippuvan korjauskertoimen.

$$Q_{keräin} = k * Q_{sät,0°} \quad (5)$$

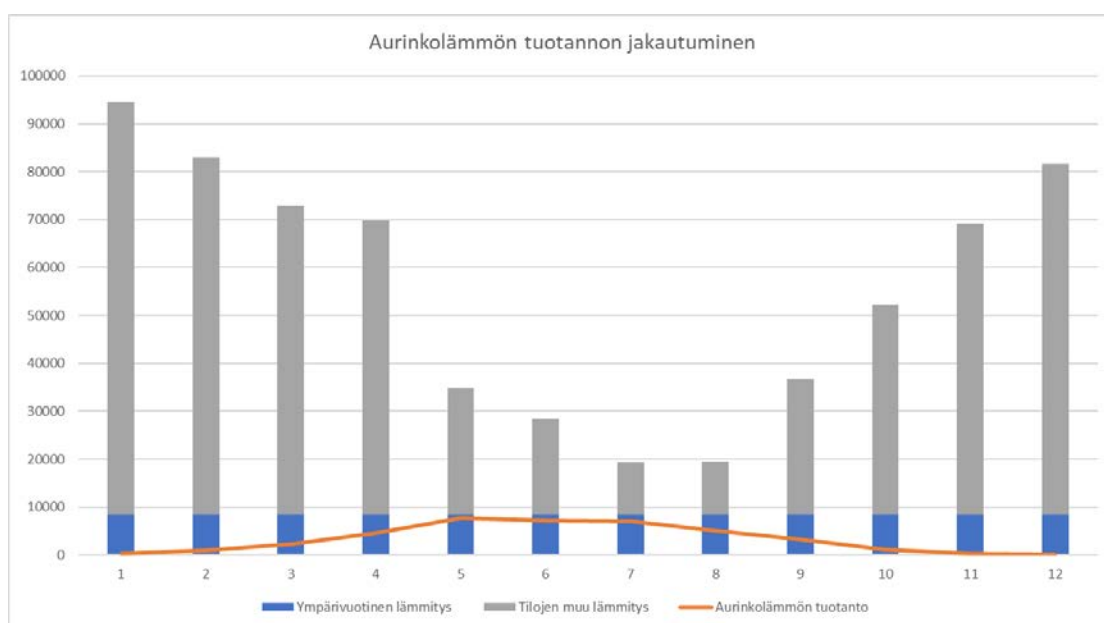
missä $Q_{keräin}$ = keräimen osuva auringonsäteilyenergia tarkastelujaksolla

$Q_{sät,0°}$ = paikkakuntakohtainen auringonsäteilyenergia vaakatasoon

k = korjauskerroin etelään suunnatulle keräimelle

Käytännössä aurinkolämmöntuotannon laskenta toteutettiin käyttämällä Excel-taulukkolaskentaohjelman PHAKU- ja JOS-kaavaa. PHAKU-kaavalla laskentatyökalu hakee TTAL-välilehdeltä kallistuskulmaan valitun arvon ja kiinteistön sijainnin mukaan oikean korjauskertoimen ja kertoo sen paikkakunnan auringonsäteilytiedoilla. Tällöin saadaan auringonsäteilyn määrä kallistetulle pinnalle kyseiselle paikkakunnalle keräin-neliömetriä kohti. Varsinainen aurinkolämmön tuotanto saadaan kertomalla kyseinen auringonsäteilyn määrä keräinten pinta-alalla ja hyötysuhteella sekä lämmön-siirtoaineen siirrosta ja varastoinnista aiheutuvien häviöiden osuudella.

Kiinteistön lämpöenergian tarvetta arvioitaessa laskentatyökalulla on mahdollista ilmoittaa erikseen lämpimän käyttöveden lämpöenergian nettotarve ja muun ympäristöisen lämmityskohteen energiankulutus, mikä jakautuu tasaisesti kaikille kuukausille. Tällaisia lämmityskohteita ovat esimerkiksi kosteiden tilojen vesikiertoiset lattialämmitykset. Lisäksi taulukkoon on mahdollista lisätä tilojen muu lämmitysenergian tarve kuukausikohtaisesti, mikä tulee myös näkymään vuositason diagrammiin (ks. kuvio 17). Diagrammi näyttää aurinkolämmön tuotannon ja kiinteistön lämmönkulutuksen jaoteltuna kuukausille. Diagrammilla voidaan tarkastella, kuinka hyvin aurinkolämpöä voidaan keräimillä tuottaa ja käyttää kiinteistössä. Diagrammin arvot muuttuvat samalla, kun laskurin lähtöarvoja muutetaan.



Kuvio 17. Aurinkolämpölaskurin vuositason diagrammi

Kiinteistön lämpöenergian kulutuksen ja aurinkolämmön tuotannon perusteella laskentatyökalu laskee kiinteistössä käytettävän aurinkoenergian määrän ja mahdollisen ylijäämälämmön eli lämpöenergian määrän, mitä ei kiinteistössä voida hyödyntää. Ylijäämää voidaan myös pienentää esimerkiksi ohjaamalla ylijäämälämpö esimerkiksi lattialämmitykseen, joka voidaan myös merkitä taulukkoon erikseen. Laskentatyöka-

lussa on myös huomioitu, jos kiinteistössä on mahdollista myydä ylijäämälämpö kaukolämpöverkkoon. Taulukkoon voidaan syöttää ylijäämälämmön myyntihinta, minkä laskentatyökalu huomioi investoinnin kannattavuuslaskennassa.

9.2 Aurinkosähkölaskuri

9.2.1 Syötettävät lähtötiedot

Aurinkosähkölaskurista tehtiin ulkoasultaan ja toiminnaltaan hyvin samankaltainen aurinkolämpölaskurin kanssa. Aurinkosähkölaskuri toteutettiin aurinkolämpölaskurin tavoin siten, että paneelien pinta-alaa muuttamalla voidaan löytää energiantuotannon kannalta kiinteistölle paras mahdollinen paneelien kokoluokka. Aurinkosähkölaskurin otsikoiduissa osioissa (ks. kuvio 18) on hieman eroja verrattuna aurinkolämpölaskuriin. Osioden otsikot ja sisällöt tehtiin palvelemaan aurinkosähkölaskurin tuotannon laskentaa. Kiinteistön tiedot -osio on molemmissa laskureissa samanlainen.

Kiinteistön tiedot	
Paikkakunta	Jyväskylä
Käyttötarkoitus	Liikerakennus
Pinta-ala	3000 m ²

Aurinkopaneelit	
Kallistuskulma	45°
Suuntaus	Etelä
Paneelin keräinala	1,6 m ²
Paneelin nimellisteho	265 W _p
Paneelien pinta-ala	400 m ²
Järjestelmän koko	66,25 kW _p
Paneelien määrä	250,0 kpl
Paneelien hyötysuhde	0,15
Siirtohäviöt	10 %

Investoinnin kannattavuus	
Investoinnin laskentakorko	1 %
Nettonykyarvo (NVP)	96702,39 €
Sisäinen korkokanta (IRR)	10 %
Takaisinmaksuaika	11 vuotta
Tuotantohinta	33,34 €/MWh

Investointi ja kustannukset	
Nykyinen sähköenergianhinta	0,05 €/kWh
Sähkönsiirron energiamaksu	0,014 €/kWh
Sähkövero	0,02253 €/kWh
Nykyinen sähkön hinta yhteensä	0,09 €/kWh
Kuukausittainen perusmaksu	150 €/kk
Arvio sähköenergian hinnan noususta	2 % vuodessa
Järjestelmän investointikustannus	64392,36 €
Energiatuki	20 %
Investointi energiatuen jälkeen	51513,89 €
Ylijäämänsähkön myyntihinta verkkoon	0,05 €/kWh

Välituloksia	
Aurinkosähkölaskurin vuosituotanto	54718,20 kWh
Maksimi vuosituotanto	60557,40 kWh
Aurinkosähkön osuus sähkönkulutuksesta	31 %
Järjestelmän käyttöaika	30 vuotta
Ylläpitokustannukset käyttöajan aikana	5 % investoinnista
Ylläpitokustannukset yhteensä	3219,62 €
Järjestelmän tuotannon alenema vuodessa	-0,5 %

Kuvio 18. Aurinkosähkölaskuriin syötettävät tiedot

Aurinkopaneelit-osiossa valitaan paneelien kallistuskulma ja suuntaus pudotusvalikoista. Paneelien kallistuskulman vaihtoehdot ovat 0 – 90 astetta, 15 asteen välein. Suuntauksen vaihtoehdot on valittu taulukon 1 mukaan eli itä, kaakko, etelä, lounas

ja länsi. Osioon sijoitettiin valmiiksi aurinkopaneelin keräinala ja nimellisteho. Arvot ovat tarvittaessa muutettavissa. Laskuri ilmoittaa järjestelmän koon kilowatteina sekä tarvittavien paneelien määrän. Osioon sijoitetaan paneelien hyötysuhde sekä mahdolliset sähkön siirtohäviöt, joita laskuri käyttää aurinkosähkön tuotannon laskennassa.

Investointi ja kustannukset -osioon sijoitetaan tiedot nykyisestä sähkönhinnasta ja arviosta sähkön hinnan noususta. Sähkön kokonaishinnan määrittämiseksi laskuriin sijoitetaan tiedot sähkön siirron, sähköenergian ja verojen määristä sekä kuukausittainen perusmaksun määrä. Lisäksi osioon sijoitetaan mahdollinen energiatuen määrä sekä ylijäämäsähkön myyntihinta.

9.2.2 Käytettävät taustatiedot

Aurinkosähkölaskuri käyttää laskennassa TTAS-välilehden taustatietoja. TTAS-välilehdelle koottiin sellaisia laskennassa tarvittavia vakioarvoja, mitkä suuren määrän vuoksi tekisivät laskurin tulostuloksesta sekavan. Tällaisia vakioarvoja ovat paikkakunta- ja kuukausikohtaiset säteilyenergiat sekä suuntauksesta ja kallistuskulmasta riippuva säteilyenergian korjauskerroin. Säteilyenergiat saatiin Suomen rakentamismääräyskokoelmasta (RakMK Energiatehokkuus 2017, 72). Säteilyenergiat ovat pinnalle, joka on suunnattu etelään, kallistuskulmalla 45 astetta. Suuntauksen ja kallistuskulman huomioivat korjauskertoimet saatiin RakMK Energiatehokkuus -ohjeen (2017) liitteestä 4.

9.2.3 Tuotannon laskenta

Aurinkosähköntuotanto lasketaan RakMK Energiatehokkuus -ohjeen (2017) mukaan yhtälöllä 6. Tällä yhtälöllä lasketaan aurinkosähköjärjestelmän maksimi tuotanto. Lisäksi laskuri huomioi sähkönsiirrosta aiheutuvat häviöt tuotantoa laskettaessa. Tätä tuotantoa laskuri käyttää ylijäämien, säästöjen ja investointien laskennassa. Laskurin käyttäjä voi itse määrittää häviöiden osuuden prosentteina.

$$W_{pv,i} = \eta_{kenno} F G_{aur,i} A_{kenno} \quad (6)$$

missä, $W_{pv,i}$ = aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia kuukaudessa i

η_{kenno} = kennoston hyötysuhde

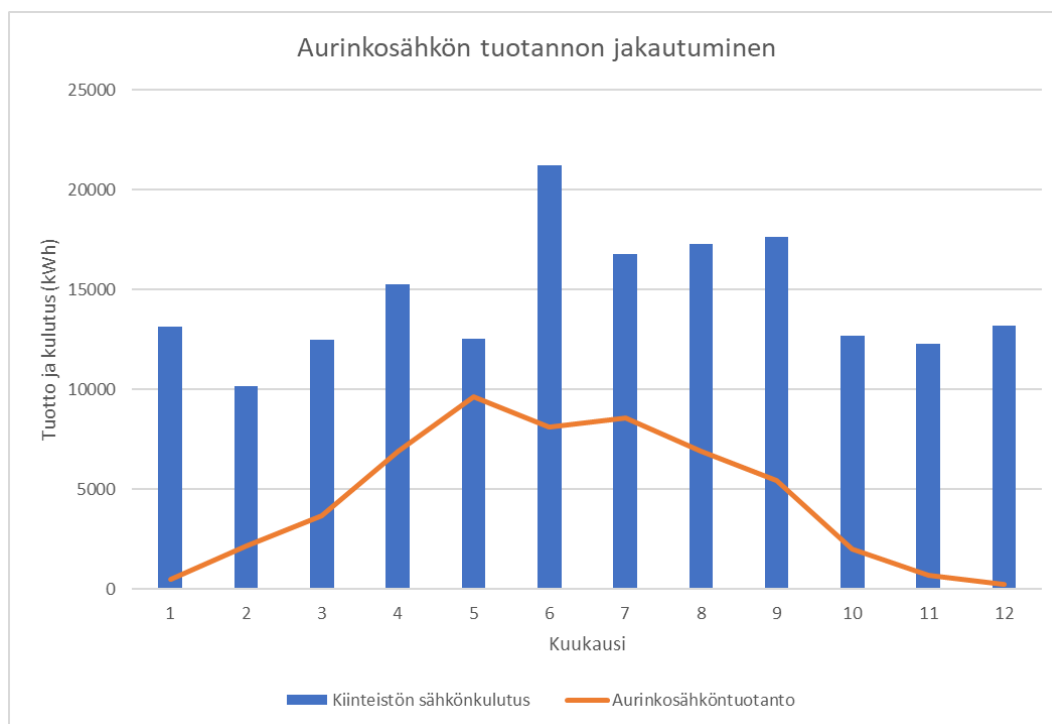
F = suuntauksen ja kallistuskulman korjauskerroin kuukaudessa i

$G_{aur,i}$ = säteilyenergia kuukaudessa i (suuntaus etelään, kallistus 45°)

A_{kenno} = paneelin pinta-ala ilman kehystä

Käytännössä aurinkosähköntuotannon laskenta toteutettiin hyvin samalla tavalla kuin aurinkolämpölaskurissa. Korjauskertoimet sijoitettiin TTAS-välilehdelle niiden suuren määrän takia. Välilehdelle tehtiin väliaikainen taulukko kaavojen helpottamiseksi laskurin tulostvälilehdessä. Väliaikainen taulukko hakee PHAKU-kaavaa käyttäen oikeat korjauskertoimet paikkakunnan, suuntauksen ja kallistuskulman perusteella, jokaiselle kuukaudelle.

Kiinteistön sähkönkulutus syötetään laskuriin kuukausitasolla. Laskuri laskee kiinteistössä käytettäväksi tulevan aurinkosähkön määrän sekä ylijäämän, mitkä on mahdollista myydä jakeluverkkoon. Aurinkosähkön tuotantoa ja kulutusta voidaan vertailla laskuriin luodulla diagrammilla (ks. kuvio 19). Diagrammilla voidaan tarkastella, kuinka hyvin aurinkosähköä voidaan tuottaa ja käyttää kiinteistössä. Diagrammin arvot muuttuvat samalla, kun laskentatyökalun lähtötietoja muutetaan.



Kuvio 19. Aurinkosähkölaskurin vuositason diagrammi

9.2.4 Aurinkosähkölaskurin tuntitason laskenta

Aurinkosähkön tuotannon ja kulutuksen eriaikaisuuksien takia laskentatyökaluun tehtiin omalle välilehdelle myös tuntitason tuotannon laskuri. Laskuri käyttää aurinkosähkö-välilehdelle syötettyjä tietoja hyväkseen, ettei tarvitsisi uudestaan sijoittaa samoja arvoja toiselle välilehdelle.

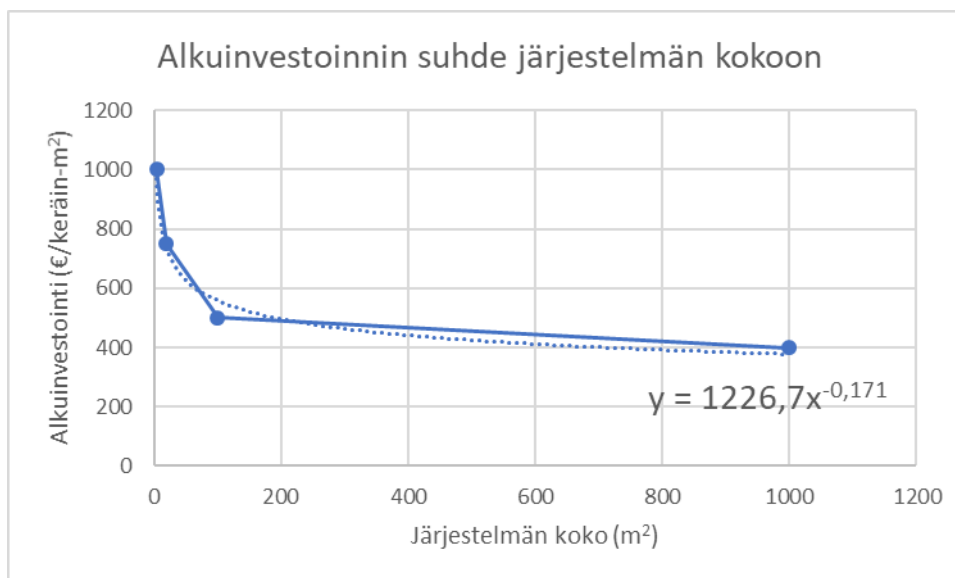
Laskurin tuntitason tuotannon arviointi toteutettiin siten, että käytettiin PVGIS-verkkosivuilta ladattavaa auringonsäteilydataa 12 vuoden ajalta (2005-2016). Aurinkosäteilydatana käytettiin vain Jyväskylän toteutuneita säteilyenergianmääriä datan suuren määrän vuoksi. Tästä johtuen tuntitason laskuri ei anna tarkkaa arvoa muista kuin Jyväskylän sääalueen paikkakunnista. Auringonsäteilydata käsiteltiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla siten, että saatiin jokaiselle vuoden tunnille keskiarvo auringonsäteilystä. Auringonsäteily muutettiin prosenttiosuudeksi periaatteella; tunnin auringonsäteily jaettuna koko vuoden tuotannolla. Auringonsäteilyn tuntikohtaiset

prosenttiosuudet siirrettiin laskentatyökalun välilehdelle. Tätä prosenttiosuutta laskuri hyödyntää siten, että se hakee Aurinkosähkö-välilehdeä vuosituotannon ja kertoo sen jokaiselle vuoden tunnille erikseen, jolloin nähdään kuinka paljon minäkin aika aurinkosähköjärjestelmä tuottaa.

9.3 Investointien kannattavuus laskelmat

9.3.1 Investoinnin kustannukset

Laskentatyökalu laskee automaattisesti investoinnin kustannukset. Keskimääräiset kustannukset järjestelmän koon mukaan on esitetty aurinkolämpöjärjestelmissä taulukossa 2 ja aurinkosähköjärjestelmissä taulukossa 3. Niiden perusteella tehtiin diagrammit ja niihin trendiviivat vastaamaan mahdollisimman lähelle taulukon arvoista muodostunutta käyrää. Trendiviivoista saatiin kaavat, joita käytetään järjestelmien hintojen arvioinnissa. Kuviossa 20 nähdään esimerkkinä aurinkolämpöjärjestelmän alkuinvestoinnin käyrä sekä trendiviiva ja sen kaava.



Kuvio 20. Alkuinvestoinnista tehty diagrammi ja trendiviiva

Energiatuki vaikuttaa myös investoinnin kannattavuuteen. Laskentatyökaluun voidaan syöttää mahdollinen energiatuen määrä, joka huomioidaan investoinnin kannattavuuden laskennassa. Energiatuen määrä ilmoitetaan prosentteina. Jos energiatukea investointiin ei ole mahdollista saada, energiatuen määrä ilmoitetaan arvona 0 prosenttia.

Järjestelmän kannattavuuteen vaikuttaa nykyisen käytettävän energian hinta, jota aurinkoenergialla halutaan korvata. Laskentatyökaluun nykyiset energian hinnat syötetään euroina kilowattituntia kohti. Sen lisäksi laskentatyökaluun syötetään arvio energian hinnan vuotuisesta noususta prosentteina sekä ylijäämäenergian myyntihinta. Näiden tietojen perusteella laskentatyökalu laskee koituvat säästöt ja ylijäämäenergian myyntitulot kuukausitasolla. Kuukausitason tulojen ja säästöjen summalla saadaan aurinkoenergian tuotannon arvo vuodessa. Tuotannon arvo lasketaan jokaiselle vuodelle järjestelmän laskennallisen 30 vuoden käyttöiän aikana (ks. kuvio 21).

Investointilaskelmat						
Järjestelmän käyttöikä	Tuotannon arvo	Kustannukset	Kassavirta	Kumulatiivinen tuotto	Nettonyky arvo NPV	TMA
€	€	€	€	€	€	
0	0,00	-44650,71	-44650,71	-44650,71		
1	3203,28	0	3203,28	-41447,43	-41 479,14 €	1
2	3202,96	0	3202,96	-38244,47	-38 339,30 €	1
3	3202,64	0	3202,64	-35041,83	-35 230,84 €	1
4	3202,32	0	3202,32	-31839,51	-32 153,48 €	1
5	3202,00	0	3202,00	-28637,51	-29 106,89 €	1
6	3201,68	0	3201,68	-25435,83	-26 090,76 €	1
7	3201,36	0	3201,36	-22234,47	-23 104,80 €	1
8	3201,04	0	3201,04	-19033,44	-20 148,69 €	1
9	3200,72	0	3200,72	-15832,72	-17 222,15 €	1
10	3200,40	-1395,33	1805,06	-14027,65	-15 588,05 €	1
11	3200,08	0	3200,08	-10827,58	-12 719,74 €	1
12	3199,76	0	3199,76	-7627,82	-9 880,12 €	1
13	3199,44	0	3199,44	-4428,38	-7 068,89 €	1
14	3199,12	0	3199,12	-1229,26	-4 285,78 €	1
15	3198,80	0	3198,80	1969,54	-1 530,49 €	1
16	3198,48	0	3198,48	5168,02	1 197,24 €	0
17	3198,16	0	3198,16	8366,17	3 897,69 €	0
18	3197,84	0	3197,84	11564,01	6 571,14 €	0
19	3197,52	0	3197,52	14761,53	9 217,85 €	0
20	3197,20	-1395,33	1801,86	16563,40	10 694,56 €	0
21	3196,88	0	3196,88	19760,28	13 288,61 €	0
22	3196,56	0	3196,56	22956,84	15 856,71 €	0
23	3196,24	0	3196,24	26153,08	18 399,13 €	0
24	3195,92	0	3195,92	29349,00	20 916,13 €	0
25	3195,60	0	3195,60	32544,60	23 407,96 €	0
26	3195,28	0	3195,28	35739,88	25 874,87 €	0
27	3194,96	0	3194,96	38934,84	28 317,11 €	0
28	3194,64	0	3194,64	42129,48	30 734,93 €	0
29	3194,32	0	3194,32	45323,81	33 128,57 €	0
30	3194,00	0	3194,00	48517,81	35 498,28 €	0
Käyttöiän jälkeen	82555,70		35498,28			15

Kuvio 21. Kuvakaappaus aurinkolämpölaskurin Investointilaskelmat-osiosta

9.3.2 Investointilaskelmat

Laskentatyökalu laskee investoinnin käyttöajan kustannukset käyttäen alkuinvestointia ja järjestelmän käyttöiän aikaisia ylläpitokuluja. Aurinkolämpöjärjestelmän ylläpitokulut määräytyvät taulukon 2 mukaan ja aurinkosähköjärjestelmän ylläpitokulut määräytyvät taulukon 3 mukaan. Laskentatyökalu määrittää ylläpitokustannukset au-

tomaattisesti järjestelmän koon mukaan niin aurinkosähkön kuin -lämmön osalta. Ylläpitokustannukset näkyvät molempien laskureiden Välituloksia-osiossa. Kuviossa 22 näkyy esimerkkinä kuvakaappaus aurinkolämpölaskurin Välituloksia-osiosta.

Välituloksia	
Aurinkolämpöjärjestelmän vuosituotanto	40041,00 kWh
Aurinkolämpöjärjestelmän tuotanto	0,40 MWh/keräin-m ²
Aurinkolämmön osuus lämmönkulutuksesta	6 %
Järjestelmän käyttöaika	30 vuotta
Ylläpitokustannukset käyttöiän aikana	5 % investoinnista
Ylläpitokustannukset yhteensä	2790,67 €
Järjestelmän tuotannon alenema vuodessa	-1 %

Kuvio 22. Kuvakaappaus Välituloksia-osiosta aurinkolämpölaskurissa

Laskentatyökalu laskee käyttöiän aikaiset kassavirrat vuosittain, käyttäen kyseisen vuoden tuotannon arvoa ja aiheutuvia kustannuksia. Kassavirtojen perusteella investoinnista lasketaan kumulatiivinen tuotto eli ns. kasaantuva tuotto vuosittain (ks. kuvio 21). Kumulatiivinen tuotto ei kuitenkaan ota huomioon rahan ajallista arvoa toisin kuin nettonykyarvo, joten kumulatiivisella tuotolla ei voida kovinkaan hyvin arvioida investoinnin kannattavuutta.

Investoinnin kannattavuutta tarkastellaan nettonykyarvon, sisäisen korkokannan ja takaisinmaksuajan avulla. Ne koottiin laskurien Investoinnin kannattavuus -osioihin, johon lisättiin myös käyttöiän aikainen aurinkoenergian tuotantohinta. Nettonykyarvon laskemiseen tarvitaan investoinnin laskentakorko, joka voidaan syöttää laskentatyökaluun. Nettonykyarvot toteutettiin käyttämällä Excel-taulukkolaskentaohjelman NNA-funktiota. NNA-funktio käyttää laskennassa vuotuista kassavirtaa ja laskentakorkoa. Laskentakorko on mahdollista muuttaa halutun suuruiseksi laskurien Investoinnin kannattavuus -osioissa. Nettonykyarvon perusteella lasketaan järjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuajan määrittäminen toteutettiin siten, että laskentatyökalu laskee yhteen järjestelmän elinaikaiset vuodet siihen asti, kunnes nettonykyarvo muuttuu positiiviseksi. Sisäinen korkokanta toteutettiin käyttämällä Excel-taulukkolaskentaohjelman Sisäinen.Korko-funktiota.

9.4 Laskentatyökalun vertailussa käytetty materiaali

Laskentatyökalun luotettavuutta tarkasteltiin käyttämällä kolmen erityyppisen kiinteistön vuonna 2017 toteutuneita kulutustietoja. Kiinteistöt näkyvät taulukossa 4. Kiinteistöjen kulutustietoihin kuului sähkön-, lämmön- ja lämpimän käyttövedenkulutus kuukausitasolla. Kaikki kiinteistöt käyttävät lämmitykseen kaukolämpöä.

Taulukko 4. Esimerkkinä käytetyt kiinteistöt

	Sijainti	Kiinteistön käyttötarkoitus/toiminta
Kiinteistö 1	Jyväskylä	Monipuolista toimintaa mm. terveydenhoitoa, ravintola, toimisto ja asuntoja
Kiinteistö 2	Vaasa	Suuri toimistorakennus
Kiinteistö 3	Jyväskylä	Opetusrakennus

Aurinkolämpölaskurin vertailussa käytetty materiaali

Aurinkolämpölaskurin tuloksia verrattiin yhteen verkosta löytyvään laskuriin. Työn tarkoituksena oli verrata tuloksia useamman laskurin tuloksiin, mutta lähes kaikki verkosta löytyvät laskurit soveltuivat vain pienille järjestelmille asuinrakennuksiin. Vertailtavana laskentatyökaluna käytettiin finsolar-verkkosivuilta ladattavaa laskentatyökalua.

Laskentatyökaluihin pyrittiin sijoittamaan esimerkkinä olleiden vertailussa käytettävät lähtötiedot järjestelmistä sekä kiinteistöjen lämmönkulutustiedot mahdollisimman tarkasti ja samanlaisesti. Taulukossa 5 on esitettynä vertailussa käytetyt lähtötiedot jokaiselle esimerkkinä olleelle kiinteistölle. Edellä mainittujen lähtötietojen lisäksi aurinkokeräimien hyötysuhteena käytettiin 60 prosenttia.

Taulukko 5. Aurinkolämpölaskurien vertailussa käytetyt lähtötiedot

Käytetyt lähtötiedot				
	Kiinteistö 1	Kiinteistö 2	Kiinteistö 3	
Suuntaus	Etelä	Lounas	Kaakko	
Kallistus	45 (40)	30 (28)	90	
Pinta-ala	60	100	120	m ²

Vertailtavaan laskuriin jouduttiin hakemaan tarkemmat auringonsäteilytiedot solar electricity handbook -verkkosivulta, mihin ei voitu syöttää lähtötietoja samalla tarkkuudella. Lähtötietojen merkittävimmät erot olivat säävyöhykkeissä ja kallistuskulmassa. Verkkosivujen paikkakunnat eivät vastanneet kovinkaan hyvin Suomen säävyöhykkeitä. Lisäksi kallistuskulma valittiin kuudesta vaihtoehdosta, jotka olivat 90, 28, 13, 43 ja 0 astetta tai säätyvä kallistuskulma. Taulukossa 5 on esitetty vertailulasurissa käytetyt kallistuskulmat sulkujen sisällä.

Aurinkosähkölaskurin vertailussa käytetty materiaali

Aurinkosähkölaskurin tuloksia verrattiin verkosta löytyvien laskentatyökalujen tuloksiin. Vertailu laskentatyökaluiksi valikoitui Euroopan komission PVGIS-laskentatyökalu ja suomalainen Solar Arena -laskentatyökalu. Laskentatyökaluihin pyrittiin sijoittamaan esimerkkinä olleiden kiinteistöjen sähkönkulutustiedot sekä vertailussa käytettävät lähtötiedot järjestelmistä mahdollisimman tarkasti ja samanlaisesti. Taulukossa 6 on esitettynä vertailussa käytetyt lähtötiedot jokaiselle esimerkki-kiinteistölle. Edellä mainittujen lähtötietojen lisäksi aurinkopaneelien hyötysuhteena käytettiin 15 prosenttia.

Taulukko 6. Aurinkosähkölaskurien vertailussa käytetyt lähtötiedot

Käytetyt lähtötiedot				
	Kiinteistö 1	Kiinteistö 2	Kiinteistö 3	
Suuntaus	Lounas	Kaakko	Etelä	
Kallistus	90	30	45	
Pinta-ala	1198,4	998,4	998,4	m ²
Paneeli määrä	749	1000	1000	kpl
Järjestelmän koko	187250	250000	250000	kWp
Paneelin nimellisteho	250	250	250	Wp

Vertailtaviin laskentatyökaluihin ei ollut mahdollista syöttää sähkönkulutustietoja halutulla tarkkuudella. PVGIS-laskuriin ei ollut mahdollista syöttää ollenkaan sähkönkulutustietoja, kun taas Solar Arena -laskuriin pystyi syöttämään niitä vain tuntitasolla. Tästä johtuen aurinkosähkölaskureita vertailtiin vain aurinkosähköntuotannon kannalta.

10 Tulokset

10.1 Kiinteistöjen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Energiatehokkuuteen vaikuttavat kiinteistöjen käyttötarkoitus ja -tapa sekä kiinteistöjen käyttäjät ja heidän toimintansa. Energiatehokkuuden kannalta on tärkeää tietää mihin energia kiinteistössä kuluu ja mitkä laitteet sitä kuluttavat. Energiankulutukseen pystytään vaikuttamaan järjestelmien ja laitteiden suunnitelmallisella ja halutunlaisella toiminnalla sekä ohjeistamalla käyttäjiä kiinteistössä toimimiseen.

Kiinteistöissä energiaa kuluttavat laitteet ovat sähkö- ja LVI-laitteet. Niiden kuntoa on ylläpidettävä ja toimintaa seurattava energiatehokkuuden ylläpitämiseksi. Vanhoja iäkkäitä laitteita kannattaa myös uusia, sillä uudet laitteet ovat pääsääntöisesti energiatehokkaampia.

10.2 Aurinkoenergian kannattavuuteen vaikuttavat tekijät

Aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuuteen vaikuttaa erityisesti yrityksille myönnettävä energiatuki, sillä se laskee alkuinvestoinnin määrää 20 prosentilla. Lisäksi aurinkoenergian tuotannossa tarvittavien komponenttien hinnat ovat halventuneet huomattavasti ja jatkavat halventumistaan, mikä vaikuttaa alkuinvestoinnin suuruuteen.

Aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuuteen vaikuttaa kiinteistössä käytetyn energian hinta, jota aurinkoenergialla halutaan korvata. Ylijäämäenergian tämän hetkiset alhaiset myyntihinnat tekevät järjestelmien ylivoimattomasta kannattamattoman. Järjestelmät on suunniteltava siten, että järjestelmällä tuotettu energia on mahdollista hyödyntää kiinteistössä kokonaisuudessaan. Erityisesti sähköenergian hinta on yleensä korkeimmillaan päivällä, jolloin myös aurinkosähköä on mahdollista tuottaa.

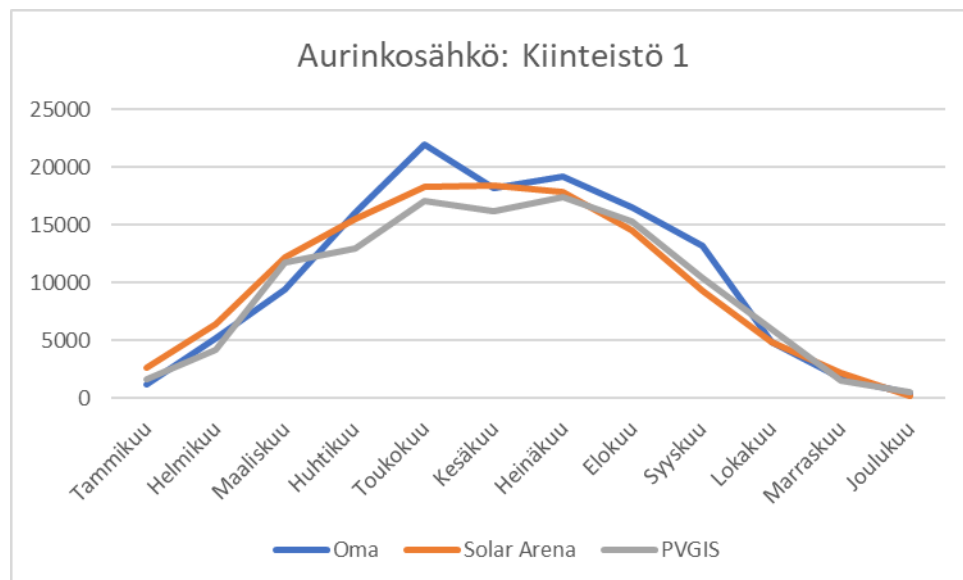
Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuutta voidaan parantaa, kun lämmitetään käyttöveden lisäksi tiloja erilaisilla vesikiertoisilla lämmitysratkaisuilla, joissa lämpöä tarvitaan vuoden ympäri esimerkiksi kosteiden tilojen kuivattaminen vesikiertoisella lattialämmityksellä. Aurinkolämpöjärjestelmän kannattavuus ei sitoudu niin tarkasti käyttöajan ja tuotannon kohtaamiseen, sillä niissä varastoidaan lämpöä lämmönvaraajaan. Kannattavuuteen vaikuttaa keräimien hyötysuhde, joka määräytyy keräintyyppin sekä halutun lämpötilataso mukaan. Aurinkolämpöjärjestelmiä suunnitellessa on huomioitava lämmönkäyttökohde ja valittava oikeanlainen keräintyyppi käyttökohteen mukaan.

Aurinkosähköjärjestelmien kannattavuuteen vaikuttaa energian tuotannon ja käytön kohtaamattomuus kiinteistöissä, koska yleensä sähkön käyttö ajoittuu vuorokauden pimeimpiin aikoihin eli aamuun ja iltaan. Sähköenergian varastoiminen akkuihin ei vielä tällä hetkellä ole kannattavaa, mutta järjestelmien kannattavuutta voidaan parantaa käyttämällä tuotettu sähkö kiinteistöjen suurissa kulutuskohteissa, jotka myös varastoivat energiaa esimerkiksi lattialämmityksessä tai lämminvesivaraajassa. Aurinkosähköjärjestelmät ovat erityisen kannattavia kiinteistöissä, jotka käyttävät paljon

sähköenergiaa päiväsaikaan esimerkiksi jäähdytykseen, ilmastointiin tai kylmälaitteisiin.

10.3 Laskureiden tulokset

Aurinkolämpö- ja aurinkosähkölaskureista saadut tulokset koottiin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. Tulokset jaoteltiin laskentatyökaluittain kuukausikohtaisesti jokaiselle esimerkki kiinteistölle erikseen. Tuloksista tehtiin viivadiagrammit, joiden ansiosta tuotantoja on helppo vertailla keskenään. Kuviossa 23 on esitetty esimerkkinä diagrammi aurinkosähkölaskureiden tuloksista kiinteistössä 1. Kaikki diagrammit on esitetty liitteessä 4.



Kuvio 23. Esimerkki tuloksien vertailudiagrammista

Tuloksia vertailtiin keskenään tuotannon osuuksilla kokonaiskulutuksiin. Jokaisen laskentatyökalun vuosituotannon osuus kokonaiskulutuksista laskettiin prosentteina. Lasketut prosenttiosuudet taulukoitiin vertailun helpottamiseksi (ks. taulukko 7).

Taulukko 7. Laskureiden tuotantojen prosenttiosuudet kulutuksista

Sähköntuotannon osuus kokonaiskulutuksesta			
	Oma	Solar Arena	PVGIS
Kiinteistö 1	73,4 %	70,4 %	66,0 %
Kiinteistö 2	4,8 %	4,7 %	5,7 %
Kiinteistö 3	11,7 %	11,9 %	12,2 %
Lämmöntuotannon osuus kokonaiskulutuksesta			
	Oma	Finsolar.net	
Kiinteistö 1	5,7 %	5,7 %	
Kiinteistö 2	4,0 %	3,7 %	
Kiinteistö 3	3,4 %	4,3 %	

10.4 Laskureiden tuloksien analysointi

Vertailussa käytetyt laskurit eivät olleet käytettävyydeltään ja monipuolisuudeltaan yhtä kattavia kuin työssä toteutettu laskentatyökalu. Lisäksi investointien kannattavuus laskelmat eivät olleet läheskään yhtä kattavat kuin toteutetussa laskentatyökalussa. Laskentatyökalun ja vertailussa olleiden laskureiden tuotantojen eroavaisuuksia on vaikea selittää, koska laskureiden laskentaperiaatteet eivät olleet tarkemmin saatavilla. Lisäksi ei voida poissulkea mahdollisuutta, että laskentatyökaluissa olisi virheitä. Aurinkosähkölaskureiden vertailussa kuitenkin huomattiin, että PVGIS-laskurin tuloksista tehty käyrä on hyvin tasainen, kun taas Solar Arena -laskurissa sekä työssä tehdyssä aurinkosähkölaskurissa on enemmän vaihteluita. Nämä laskurit ottavat Suomen säävaihtelut paremmin huomioon, koska aurinkosähköjärjestelmä tuottaa paremmin viileällä säällä. Toukokuussa ja heinäkuussa tuotanto on suurempaa verrattuna kesäkuuhun, kesäkuun suuremmasta keskilämpötilasta johtuen. Laskureiden tuotantojen erot ovat kuitenkin hyvin vähäiset.

Aurinkolämpölaskurien tuotantojen eroja voidaan osittain selittää keräinten suuntauksen ja kallistuskulman syöttämisen eroavaisuudella ja myös osittain vertailussa käytetyn laskurin paikkakuntien puutteellisuudella. Vertailussa käytettyyn laskuriin jouduttiin hakemaan säteilytiedot ulkomaiselta verkkosivulta ja puutteellisilla paikka-

kuntatiedoilla, mistä voidaan arvioida, etteivät verkkosivujen säteilytiedot välttämättä huomioi kuukausien keskilämpötiloja yhtä hyvin kuin toteutettu laskuri. Toisaalta toteutettu aurinkolämpölaskuri ei ota yhtä hyvin huomioon keräinten suuntausta kuin vertailun kohteena ollut laskuri.

10.5 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuuden ja soveltuvuuden tarkastelua toimeksiantajan energiatehokkuuden kehittämishankkeissa. Laskentatyökalun toteutuksen lähtökohtana oli aurinkoenergiajärjestelmien kannattavuuden tarkastelu nopeasti ja helposti tarkasteltavan kiinteistön tietoja hyödyntäen.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että kehitetty laskentatyökalu on toimiva ja palvelee tarkoitustaan toimeksiantajan kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeissa. Toimeksiantajan on mahdollista hyödyntää laskentatyökalua kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittämishankkeiden selvitysvaiheessa. Laskentatyökalu tulee toimeksiantajan työntekijöille käytettäväksi toimeksiantajan sisäiseen tietokantaan, josta sitä on mahdollista käyttää tarpeen mukaan.

11 Pohdinta

Opinnäytetyön tulokset saavutettiin monimenetelmäisellä tutkimusotteella. Työn lähestymistapa oli kvalitatiivinen eli laadullinen, missä tarkasteltava kohde ja ilmiö tulee ymmärtää. Opinnäytetyössä käytetty materiaali oli, kvalitatiivisen tutkimuksen tavoin, teoria- ja aineistolähtöistä. Materiaalin pohjalta selvitettiin vastaukset muodostuneisiin tutkimuskysymyksiin ja toteutettiin laskentatyökalu toimeksiantajan käyttöön. Laskentatyökalun toimivuutta ja luotettavuutta arvioitiin kvantitatiivisella eli määrällisellä tutkimusotteella, sillä laskentatyökalusta saadut tulokset olivat numeraalista dataa.

Esimerkkikiinteistöjen kulutustietoja oli tarkoitus käyttää laajemmin laskureiden vertailussa. Etsinnöistä huolimatta ei löydetty sellaisia laskureita, mitä olisi voinut halutulla tavalla ja laajuudella hyödyntää. Vertailussa käytettyihin laskureihin ei ollut mahdollista syöttää energiankulutustietoja tai muita lähtöarvoja yhtä kattavasti kuin työssä toteutettuun laskentatyökaluun. Lähes kaikki verkosta löydetyt aurinkolämpölaskurit olivat tarkoitettu lähinnä asuinrakennuksiin asennettaville pienille järjestelmille, vaikka aurinkolämpöä voitaisiin hyödyntää myös isommassa mittakaavassa varsin kannattavasti kohteissa, joissa lämmitettävän veden lämpötilatasot pysyvät matalina kuten esimerkiksi uimahallien veden lämmityksessä.

Toteutettua laskentatyökalun luotettavuutta testattiin myös käytännössä vertaamalla toimeksiantajan edustajan aurinkoenergiälaskelmien tuloksia opinnäytetyössä toteutetun laskentatyökalun antamiin tuloksiin eräästä esimerkkikiinteistöstä. Tulokset olivat lähes täysin samanlaiset, joten voidaan laskentatyökalu todettiin luotettavaksi.

Opinnäytetyössä toteutettu laskentatyökalu erottuu muista vastaavista laskentatyökaluista ja -ohjelmista sen monipuolisuuden vuoksi. Laskentatyökalussa voidaan helposti kokeilla erilaisia skenaarioita kallistuskulmia ja suuntauksia sekä keräinpinta-alaa muuttamalla. Lisäksi laskentatyökalu yhdistää aurinkolämmön- ja aurinkosähkönlaskurit yhdeksi kokonaisuudeksi, vastaavaa ei ole vastaan tullut. Laskentatyökalun laskennassa käytettäviä taustatietoja on mahdollista muuttaa tarpeen mukaan taustatietojen omilta välilehdiltä, kuten esimerkiksi järjestelmien hintoja vastaamaan yrityksen saamia tarjouksia järjestelmien toimittajilta. Aurinkosähkön tuntitason laskuri oli myös toimiva ja luotettava sillä se käyttää aurinkosähkölaskurin kuukausittaisia tuotannon arvoja. Tuntitason laskuriin ei kuitenkaan aikataulullisista syistä sisällytetty kiinteistöjen sähkönkulutuksen tuntitason arviointia. Jatkotutkimuksena tällaisesta erilaisten kiinteistöjen sähkönkulutuksen arvioinnista voitaisiin saada jopa opinnäytetyön laajuinen selvitys.

Lisäksi jatkotutkimuksena voitaisiin tehdä myös kuluttajiin kohdistuvaa kyselyä, jossa selvitetäisiin kuluttajan näkökulmaa yritysten aurinkoenergian hyödyntämisestä.

Tässä opinnäytetyössä aurinkoenergiaratkaisujen kannattavuutta käsiteltiin vain taloudellisesta näkökulmasta, on syytä kuitenkin pohtia myös aurinkoenergian arvoja, joita ei voida mitata rahallisesti. Yrityksen käyttämä aurinkoenergia mahdollisesti luo yrityksestä ympäristötietoista vaikutelmaa kuluttajille, jolloin myös yrityksen imago kasvaa. Ympäristötietoinen kuluttaja voi mahdollisesti tehdä ostopäätöksen juurikin tällaisen seikan vuoksi. Toisaalta aurinkoenergian käyttäjä, oli se sitten yritys tai kuluttaja, voi omalta osaltaan olla hillitsemässä ilmastonmuutosta valitsemalla fossiilisten polttoaineiden sijaan aurinkoenergian.

Lähteet

3D-kiinteistönmuodostamisen käsikirja. 2018. PDF-käsikirja Maanmittauslaitoksen verkkosivuilla. Viitattu 11.3.2019.

<https://www.maanmittauslaitos.fi/sites/maanmittauslaitos.fi/files/attachments/2018/10/3D-kiinteist%C3%B6nmuodostaminen.K%C3%A4sikirja.pdf>

A 1010/2017. Ympäristöministeriön asetus rakennusten energiatehokkuudesta.

Viitattu 1.5.2019. <https://www.ym.fi/fi->

[FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoe](https://www.ym.fi/fi-)
[lma/Energiatehokkuus](https://www.ym.fi/fi-)

Alexandru, C. & Pozna, C. 2010. Simulation of dual-axis solar tracker for improving the performance of photovoltaic panel. Transilvania University of Brasov yliopiston artikkelijulkaisu. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A: Journal of Power and Energy, 224, 6, 797-811. Viitattu 18.3.2019.

https://www.researchgate.net/publication/235770378_Simulation_of_a_dual-axis_solar_tracker_for_improving_the_performance_of_a_photovoltaic_panel

Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2018. Motiva Oy:n verkkosivut. Viitattu 3.4.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_p_
[erusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_p_)

Aurinkopaneelit. N.d. Julkaisu Suntekno Oy:n verkkosivujen tietopankissa. Viitattu 3.4.2019. <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>

Auvinen, K. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Julkaisu Finsolarin verkkosivuilla. Viitattu 6.4.2019. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>

Auvinen, K. & Jalas, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Julkaisu Finsolarin verkkosivuilla. Viitattu 6.4.2019. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/>

Clark, W. & Cooke, G. 2015. The Green Industrial Revolution: Energy, Engineering and Economics. Oxford: Elsevier Inc. Viitattu 16.3.2019. <https://janet.finna.fi, Ebsco.>

Energia-asenteet. 2018. Ilmastonmuutos on suomalaisille maailmanlaajuinen uhka, jota on torjuttava kaikin keinoin. Artikkelit Energiatoimikunta ry:n verkkosivuilla. Viitattu 22.3.2019.

https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/energia-asenteet_2018_ilmastonmuutos_on_suomalaisille_maailmanlaajuinen_uhka_jota_on_torjuttava_kaikin_keinoin.html#material-view

Energiatuki. N.d. Business Finlandin verkkosivut. Viitattu 4.4.2019.

<https://www.businessfinland.fi/energiatuki/>

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

Heimonen, I. 2011. Aurinko-opas 2012. Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D5 aurinkolämmön ja -sähkön energiatuoton laskennan opas. Ympäristöministeriön verkkosivuilta ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 1.5.2019. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus

How to Get the Most Electricity from your Residential Solar Panels. 2017. Artikkelimozaw.com verkkosivuilla. Viitattu 18.3.2019. https://mozaw.com/get-more-electricity-residential-solar-panels/#top_ankor

Huld, T. & Pinedo-Pascua, I. 2012. Euroopan komission verkkojulkaisu. Viitattu 3.4.2019. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/PVGIS_EU_2012_publication.png

Ilmakeräimet. 2016. Motiva Oy:n verkkosivut. Viitattu 26.3.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/ilmakeraimet

Ilmastomuutos ja energia. 2010. Esitysmateriaalia ilmastomuutoksesta ja energiasektorista Energiateollisuus ry:n SlideShare-esitystenjakopalvelussa. Viitattu 16.3.2019. <https://www.slideshare.net/energiateollisuus/ilmastonmuutos-ja-energia>

Jokela, M., Kartio, L. & Ojanen, I. 2010. Maakaari. 5. p. Helsinki: Alma Talent Oy. Viitattu 8.3.2019. <https://janet.finna.fi>, Alma Talent Pro Verkkokirjahylly.

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

Kasvihuoneilmiö. N.d. Ilmakehä-ABC -hakemisto Ilmatieteenlaitoksen verkkosivuilla. Viitattu 15.3.2019. <https://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-abc/Kasvihuoneilmi%C3%B6>

Kiinteistöjen energiatehokkuuden kehittäminen. 2018. Yrityksen Granlund Jyväskylä Oy julkaisematon diaesitys.

Kurnitski, J., Virta, J. & Pylsy, P. 2012. Taloyhtiön energiakirja. Sitran ja Kiinteistöliiton SlideShare-esitystenjakopalvelussa. Viitattu 18.3.2019. <https://www.slideshare.net/Tekesslide/225-jarek-kurnitski>

Lupa-asiat. 2018. Motiva Oy:n verkkosivut. Viitattu 3.4.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat

Mikä on energiatodistus. 2018. Motivan energiatodistusta käsittelevät verkkosivut. Viitattu 13.3.2019. <http://energiatodistus.motiva.fi/mika-on-energiatodistus/>

Myyryläinen, L. 2008. Kiinteistön teknisen huollonkäsikirja. 2. p. Helsinki: Kiinteistöalan kustannus.

Newton, D. 2015. Solar Energy: A Reference Handbook. California: ABC-CLIO. Viitattu 16.3.2019. <https://janet.finna.fi>, Ebsco.

Rakennusten kaukolämmitys. 2014. Energiategollisuuden julkaisu K1/2013. Viitattu 31.3.2019. https://energia.fi/files/502/JulkaisuK1_2013_20140509.pdf

RakMK Energiategokkuus. 2017. Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ympäristöministeriön verkkosivuilta ladattava PDF-tiedosto. Viitattu 1.5.2019. https://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/RakentamismaarayskokoeIma/Energiategokkuus

Renewable Capacity Statistics. 2019. IRENA:n julkaisu uusiutuvista energianlähteistä. Viitattu 4.4.2019. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2019.pdf

Solar Heating and Cooling. 2012. Technology Roadmap -julkaisu ladattavissa IEA:n verkkosivuilta. Viitattu 19.3.2019. <https://webstore.iea.org/technology-roadmap-solar-heating-and-cooling>

Solar Photovoltaic Energy. 2014. Technology Roadmap -julkaisu ladattavissa IEA:n verkkosivuilta. Viitattu 19.3.2019. <https://webstore.iea.org/technology-roadmap-solar-photovoltaic-energy-2014>

Tyhjiöputkikeräimet. 2016. Motiva Oy:n verkkosivut. Viitattu 27.3.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet/tyhjioputkikeraimet

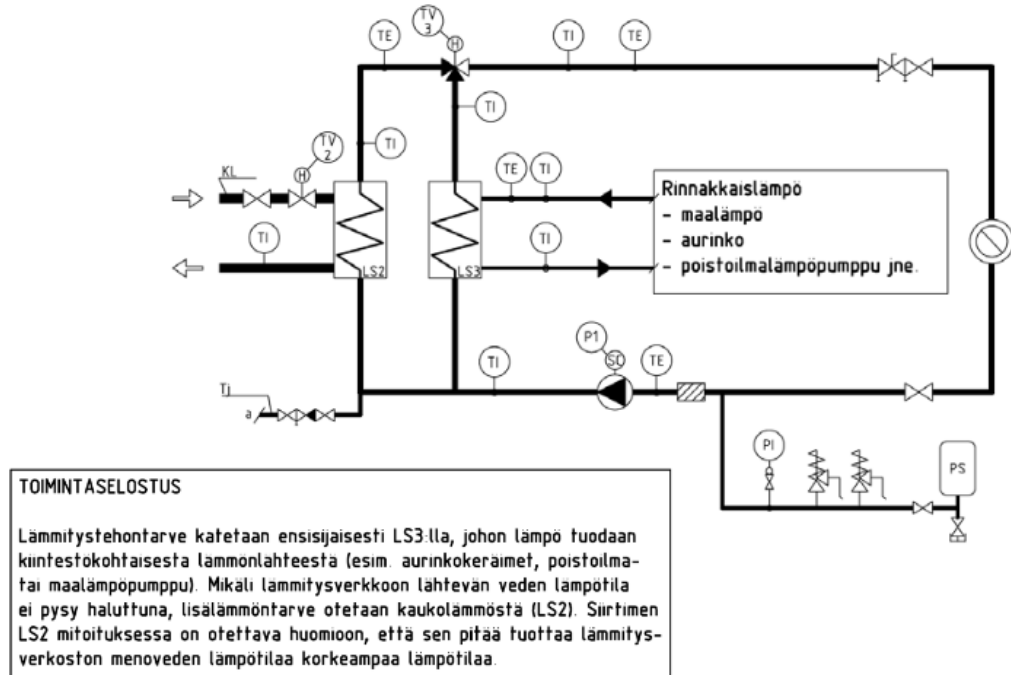
Vaihekoski, M. 2016. Rahoitusalan sovellukset ja Excel. Talentum Oy. Viitattu 12.4.2019. <https://janet.finna.fi>, Alma Talent Pro Verkkokirjahylly.

Ylijäämäsähkön myynti. N.d. Motiva Oy:n verkkosivut. Viitattu 3.4.2019. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelman_kaytto/ylijaamasahkon_myynti

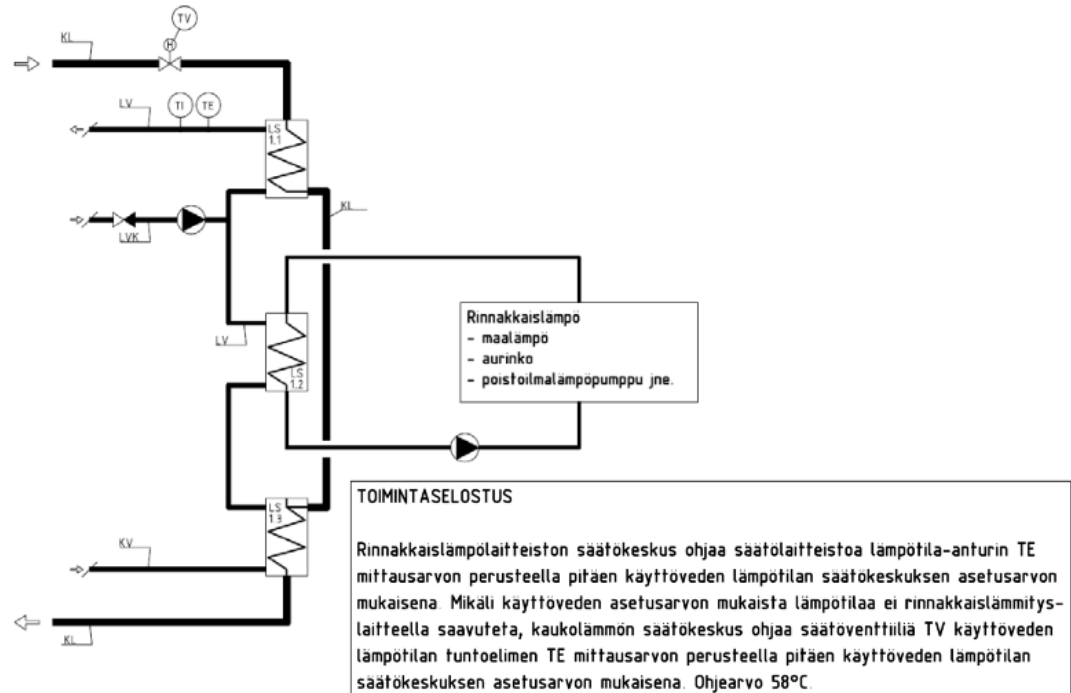
Liitteet

Liite 1. Rinnakkaislämmönlähteen kytkentä kaukolämmön yhteyteen (Rakennusten kaukolämmitys 2014, 89.)

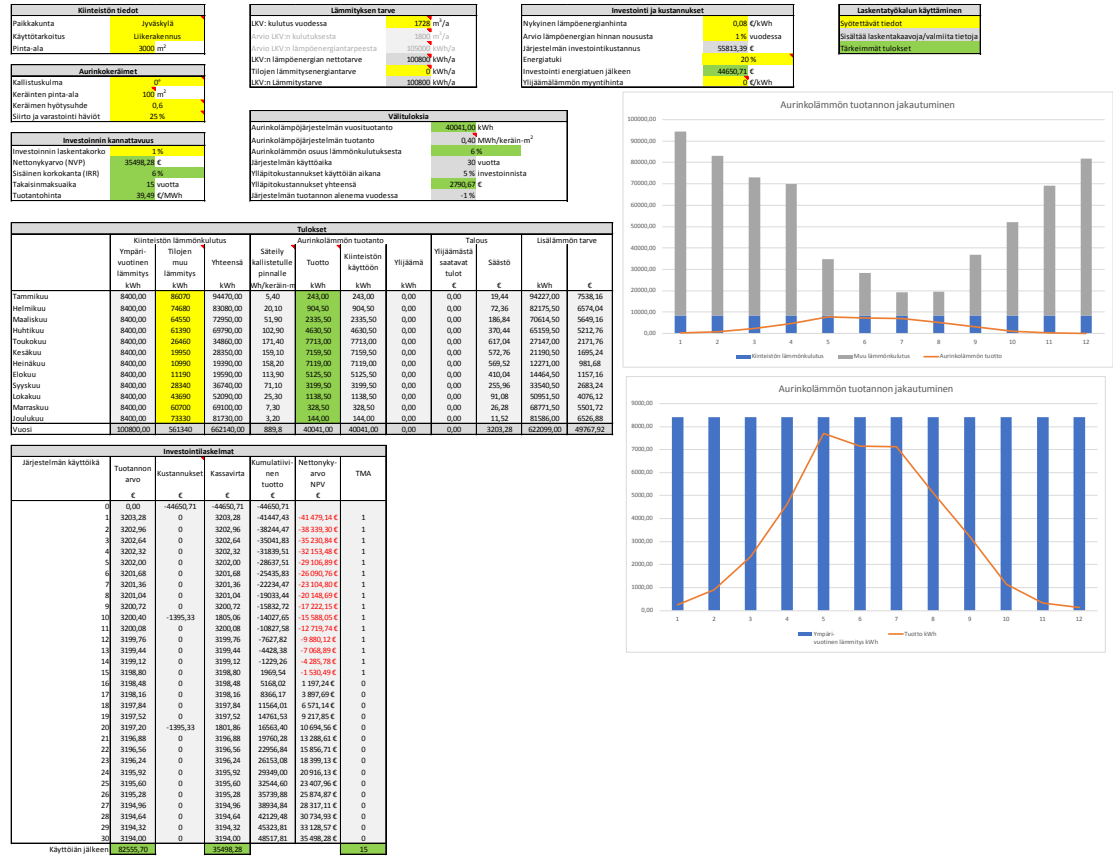
Rinnakkaislämmön (rakennuskohtaisen lämmönlähteen) kytkentä tilojen lämmitykseen



Rinnakkaislämmön kytkentä käyttöveden lämmitykseen



Liite 2. Aurinkolämpölaskuri-kuvakaappaus



Liite 3. Aurinkosähkölaskuri-kuvakaappaus

Kiinteistön tiedot	
Paikkakunta	Jyväskylä
Käyttötarkoitus	Liikerakennus
Pinta-ala	3000 m ²

Aurinkopaneelit	
Kallistuskulma	45°
Suuntaus	Etelä
Paneelin keräinala	1,6 m ²
Paneelin nimellisteho	265 W _p
Paneelien pinta-ala	400 m ²
Järjestelmän koko	66,25 kW _p
Paneelien määrä	250,0 kpl
Paneelien hyötysuhde	0,15
Siirtohäviöt	10 %

Investoinnin kannattavuus	
Investoinnin laskentakorko	1 %
Nettonykyarvo (NPV)	96702,39 €
Sisäinen korkokanta (IRR)	10 %
Takaisinmaksuaika	11 vuotta
Tuotantohinta	33,34 €/MWh

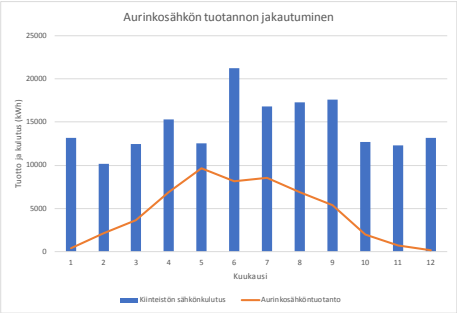
Investointi ja kustannukset	
Nykyinen sähköenergian hinta	0,05 €/kWh
Sähkösiirron energiamaksu	0,002 €/kWh
Sähkövero	0,02252 €/kWh
Nykyinen sähkön hinta yhteensä	0,09 €/kWh
Sähkösiirron perusmaksu	150 €/kk
Arvio sähköenergian hinnan noususta	2 % vuodessa
Järjestelmän investointikustannus	64392,36 €
Energiatuki	20 %
Investointi energiatuen jälkeen	51513,89 €
Ylijäämäsihön myyntihinta verkkoon	0,05 €/kWh

Välituloksia	
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotanto	54718,20 kWh
Maksimi vuosituotanto	60557,40 kWh
Aurinkosähkön osuus sähkönkulutuksesta	31 %
Järjestelmän käyttöaika	30 vuotta
Yläpitokustannukset käyttöajan aikana	5 % investoinnista
Yläpitokustannukset yhteensä	3219,62 €
Järjestelmän tuotannon alenema vuodessa	-0,5 %

Laskentatyökalun käyttäminen	
Syötettävät tiedot	
Sisältää laskentakaavoja/vaimita tietoja	
Tärkeimmät tulokset	

Tulokset									
	Kiinteistön sähkönkulutus kWh	Maksimi Tuotto kWh	Aurinkosähkön tuotanto		Ylijäämä kWh	Talous		Verkosta ostettava sähkö	
			Tuotto kWh	Kiinteistön käyttöön kWh		Ylijäämän myyntitulot €	Säästö €	kWh	€
Tammikuu	13164	504,00	453,60	453,60	0,00	0,00	39,25	12710,40	1249,83
Helmikuu	10180	2165,40	2165,40	2165,40	0,00	0,00	187,37	8014,60	843,50
Maaliskuu	12476	4080,00	3672,00	3672,00	0,00	0,00	317,74	8804,00	911,81
Huhtikuu	15277	7638,00	6874,20	6874,20	0,00	0,00	594,82	8402,80	877,09
Toukokuu	12542	10710,00	9639,00	9639,00	0,00	0,00	834,06	2903,00	401,20
Kesäkuu	21234	9024,00	8121,60	8121,60	0,00	0,00	702,76	13112,40	1284,62
Heinäkku	16797	9594,00	8553,60	8553,60	0,00	0,00	740,14	8243,40	863,30
Elokuu	17295	7674,00	6906,60	6906,60	0,00	0,00	597,63	10388,40	1048,91
Syyskuu	17634	6030,00	5427,00	5427,00	0,00	0,00	469,60	12207,00	1206,27
Lokakuu	12678	2232,00	2008,80	2008,80	0,00	0,00	173,82	10669,20	1073,21
Marraskuu	12299	774,00	696,60	696,60	0,00	0,00	60,28	11602,40	1153,96
Joulukuu	13185	222,00	199,80	199,80	0,00	0,00	17,29	12985,20	1273,61
Vuosi	174761	60557,40	54718,20	54718,20	0,00	0,00	4734,77	120042,80	12187,30

Investointilaskelmat					
Järjestelmän käyttöikä	Tuotannon arvo	Kustannukset	Kassavirta	Kumulatiivinen tuotto	Nettonykyarvo NPV
€	€	€	€	€	€
0	0,0 €	-51 513,9 €	-51 513,9 €	-51 513,9 €	
1	4 734,8 €	0,0 €	4 734,8 €	-46 779,1 €	-46 826,0 €
2	4 805,3 €	0,0 €	4 805,3 €	-41 973,8 €	-42 115,4 €
3	4 876,9 €	0,0 €	4 876,9 €	-37 096,9 €	-37 381,9 €
4	4 949,6 €	0,0 €	4 949,6 €	-32 147,3 €	-32 625,4 €
5	5 023,3 €	0,0 €	5 023,3 €	-27 124,0 €	-27 845,9 €
6	5 098,2 €	0,0 €	5 098,2 €	-22 025,8 €	-23 043,2 €
7	5 174,1 €	0,0 €	5 174,1 €	-16 851,7 €	-18 217,2 €
8	5 251,2 €	0,0 €	5 251,2 €	-11 600,4 €	-13 367,8 €
9	5 329,5 €	0,0 €	5 329,5 €	-6 271,0 €	-8 494,8 €
10	5 408,9 €	-1 609,8 €	3 799,1 €	-2 471,9 €	-5 055,6 €
11	5 489,5 €	0,0 €	5 489,5 €	3 017,6 €	-135,2 €
12	5 571,3 €	0,0 €	5 571,3 €	8 588,9 €	4 809,0 €
13	5 654,3 €	0,0 €	5 654,3 €	14 243,1 €	9 777,2 €
14	5 738,5 €	0,0 €	5 738,5 €	19 981,7 €	14 769,5 €
15	5 824,0 €	0,0 €	5 824,0 €	25 805,7 €	19 796,1 €
16	5 910,8 €	0,0 €	5 910,8 €	31 716,5 €	24 826,9 €
17	5 998,9 €	0,0 €	5 998,9 €	37 715,4 €	29 892,2 €
18	6 088,3 €	0,0 €	6 088,3 €	43 803,7 €	34 982,1 €
19	6 179,0 €	0,0 €	6 179,0 €	49 982,7 €	40 096,7 €
20	6 271,1 €	-1 609,8 €	4 661,2 €	54 644,0 €	43 916,8 €
21	6 364,5 €	0,0 €	6 364,5 €	61 008,4 €	49 061,2 €
22	6 459,3 €	0,0 €	6 459,3 €	67 467,7 €	54 270,6 €
23	6 555,6 €	0,0 €	6 555,6 €	74 023,3 €	59 485,1 €
24	6 653,2 €	0,0 €	6 653,2 €	80 676,5 €	64 725,0 €
25	6 752,4 €	0,0 €	6 752,4 €	87 428,9 €	69 990,3 €
26	6 853,0 €	0,0 €	6 853,0 €	94 281,9 €	75 281,1 €
27	6 955,1 €	0,0 €	6 955,1 €	101 237,0 €	80 597,6 €
28	7 058,7 €	0,0 €	7 058,7 €	108 295,7 €	85 939,9 €
29	7 163,9 €	0,0 €	7 163,9 €	115 459,6 €	91 308,1 €
30	7 270,6 €	0,0 €	7 270,6 €	122 730,2 €	96 702,4 €
Käyttöajan jälkeen	150992,93		96702,39		11



Liite 4. Aurinkolämpö- ja aurinkosähkölaskureiden tulokset

