



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Antti Pitkänen

Aurinkoenergian hyödyntäminen osana taloyhtiön lämmitysjärjestelmää

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

13.8.2019

Tekijä Otsikko	Antti Pitkänen Aurinkoenergian hyödyntäminen osana taloyhtiön lämmitys- järjestelmää
Sivumäärä Aika	28 sivua
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	energiantuotantomenetelmät
Ohjaaja	yliopettaja Kari Salmi
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, millainen aurinkosähkö- tai aurinkolämpöjärjestelmä vastaisi parhaiten As. Oy Ojamonpuiston tarpeita. Yhtiö koostuu neljästä rivitalosta, joissa on yhteensä 26 asuntoa. Lähtökohtana oli yhtiön olemassaoleva maalämpöjärjestelmä, jonka tueksi aurinkoenergiaan perustuva järjestelmä tulisi integroida. Maalämpöpumppujen sähkönkulutus on aiempina vuosina ollut 122-161 MWh.</p> <p>Työssä selvitettiin järjestelmälle sopiva mitoitus suhteessa yhtiön dokumentoituun energiankulutukseen. Aurinkoenergiajärjestelmien arvioitua tuottoa verrattiin toteutuneisiin sähkönkulutuslukemiin todellisina käyttöpäivinä.</p> <p>Joiltakin laitetoimittajilta pyydettiin alustavat tarjoukset, joiden perusteella tehtiin laskelmat järjestelmien kannattavuudesta ja takaisinmaksuajasta.</p> <p>Tuloksena saatiin mitoitettua yhtiön tarpeisiin sopivat aurinkosähkö- ja lämpöjärjestelmät, joista aurinkosähköjärjestelmä on paremmin yhteensopiva yhtiön nykyisen talotekniikan kanssa. Laskelmien perusteella yhtiö tekee päätöksen aurinkosähkö- tai lämpöjärjestelmän mahdollisesta hankinnasta.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, aurinkolämpö, takaisinmaksuaika

Author Title	Antti Pitkänen Solar energy applications as part of condominium heating system
Number of Pages Date	28 pages 17 July 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and environmental technology
Professional Major	Energy production technologies
Instructor	Kari Salmi, Principal Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to find the kind of photovoltaic or solar thermal system that would best suit the needs of Ojamonpuisto condominium, which consists of twenty-six apartments in four terraced houses. The solar energy application was to be integrated to an existing geothermal system, thus lessening the need for grid electricity consumption. The consumption has been 122-161 MWh in previous years.</p> <p>The initial phase was dimensioning the appropriate scale solar energy systems in relation to the condominium's documented energy consumption. The estimated outputs of solar energy systems were compared to the consumption data of actual days of use.</p> <p>Cost and repayment term calculations were based on quotes from vendors that sell and assemble suitable systems.</p> <p>As a result of this thesis, a suitable configuration of both photovoltaic and solar thermal systems was determined, the photovoltaic one being the better match with the existing heating system. The thesis is a foundation on which Ojamonpuisto condominium can base their possible acquisition of a solar energy system.</p>	
Keywords	photovoltaic, solar water heater, repayment term

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kohde	1
3	Katsaus aurinkosähköteknologiaan	5
3.1	Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä	5
3.2	Järjestelmän teho	6
3.3	Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus	6
3.4	Aurinkosähköjärjestelmän hinta	7
3.5	Aurinkosähkötuotannon taloudellinen tukeminen	8
3.6	Huolto ja kunnossapito	9
3.7	Toimenpidelupa ja sähkötyöt	9
4	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusmenetelmiä	10
4.1	Pohjakulutukseen perustuva mitoitus	10
4.2	Kesäkuukausien keskimääräiseen kulutukseen perustuva mitoitus	10
4.3	Nollaenergiamitointus	11
4.4	Omavaraisuuteen tähtäävä mitoitus	11
4.5	As. Oy Ojamonpuiston aurinkosähköjärjestelmän mitoitus	12
5	Nestekiertoinen aurinkokeräin	14
5.1	Tasokeräin	15
5.2	Tyhjiöputkikeräin	16
5.3	Aurinkokeräimen teho ja hyötysuhde	17
5.4	Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus	19
5.5	As. Oy Ojamonpuiston aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus	21
6	Kustannukset ja takaisinmaksuaika	23
6.1	Järjestelmän hinta	23

6.2	Järjestelmän takaisinmaksuaika	24
7	Yhteenveto ja loppupäätelmät	26

1 Johdanto

Opinnäytetyön tarkoituksena on hankkia tietoa aurinkosähkö- tai lämpökeräinjärjestelmän sopivuudesta As. Oy Ojamonpuiston energiaomavaraisuuden lisäämiseksi. Tavoitteena on löytää nykyisen maalämpöjärjestelmän tueksi aurinkoenergian hyödyntämiseen perustuva järjestelmä, joka tuottaa yhtiön käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian kesäkuukausina. Tällä pyritään minimoimaan verkkosähkön käyttöä.

Oikein valittu aurinkoenergiajärjestelmä on ekologinen, kustannustehokas ja pitkäikäinen. Takaisinmaksuajan jälkeen se on myös osakkaiden hoitovastikkeita pienentävä ja taloyhtiön arvoa nostava tekijä.

Tarkoituksena on selvittää, kumpi teknologia vastaa paremmin As. Oy Ojamonpuiston tarpeita, ja kuinka suuriin kustannuksiin osakkaiden on varauduttava, mikäli järjestelmä päätetään hankkia.

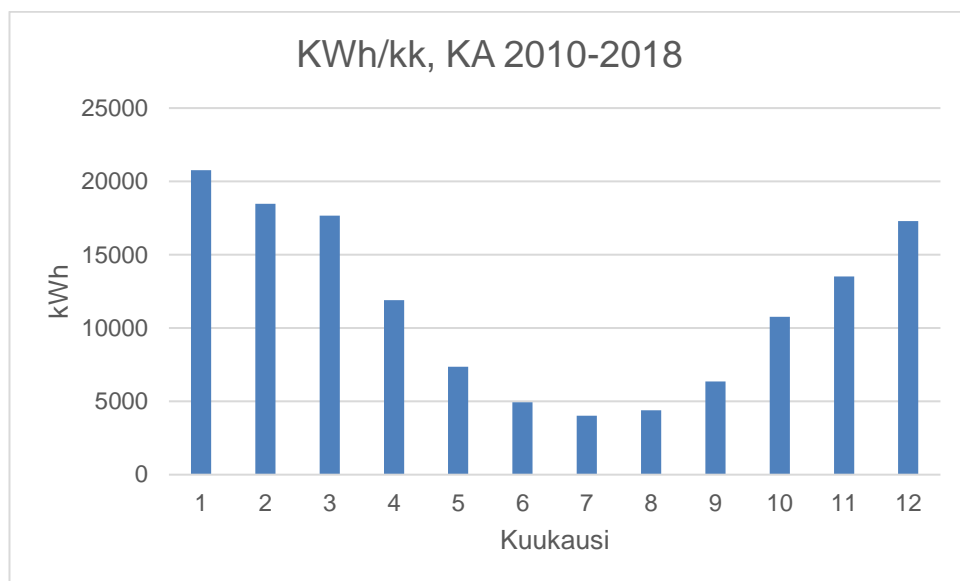
2 Kohde

Asunto-osakeyhtiö Ojamonpuisto sijaitsee Lohjalla, osoitteessa Vähä-Ojamonkatu 1. Taloyhtiö koostuu neljästä rivitalosta, jotka on rakennettu 1983. Asuntoja on yhteensä kaksikymmentäkuusi, ja niiden yhteenlaskettu huoneistopinta-ala on 2 322 neliömetriä. Rakennukset ovat aiemmin olleet kaukolämmön piirissä, mutta vuonna 2009 yhtiö hankki maalämpöjärjestelmän, jota on käytetty 1.9.2009 alkaen.

Maalämpöjärjestelmä perustuu kahteen 40-kilowattiseen Nibe F1330 -maalämpöpumppuun. Pumput tuottavat sekä asuntojen lämmitysveden että lämpimän käyttöveden. Maalämpöpumppujen lisänä on neljä 500 litran vetoista lämminvesivaraajaa, joista yksi on varustettu 6 kW tehoisella sähkövastuksella, jolla vettä lämmitetään kylmimpinä kausina, kun maalämpöpumppujen teho ei riitä. Kolme muuta varaajaa ovat puskurivaraajia, joissa sähkövastusta ei ole.

Maalämpöpumppujen ja sähkövastusten sähkönkulutusta on tilastoitu viikoittain koko niiden käyttöiän ajan. Kaaviossa (Kuva 1) on huomioitu vuodet 2010–2018, koska näiltä vuosilta on tiedossa täyden kalenterivuoden kulutuslukemat. Myös käyttöveden kulutus on tilastoitu, mutta tietoa lämpimän käyttöveden osuudesta ei ole, sillä vesimittari mittaa kylmän ja lämpimän veden yhteismäärää. Kesäkuukausina lämpöpumppuja on käytetty vain käyttöveden lämmitykseen, kun huoneistoja ei ole ollut tarpeen lämmittää.

Lämmityksen käyttämä sähköjärjestelmä on erillinen yhtiön muista sähköjärjestelmistä, eivätkä esimerkiksi pihavalaistuksen käyttämä sähkö tai asukkaiden käyttösähkö sisällynäihin kulutuslukemiin.



Kuva 1. Kunkin kalenterikuukauden keskimääräinen sähkönkulutus kahdeksan vuoden keskiarvona.

Rakennusten kattolappeet ovat ilmakuvan (Kuva 2) mukaisesti väli-ilmansuuntia kohti. Yhtiön ilmoittamat kattopinta-alat ovat koilliseen ja lounaaseen 934 m², sekä kaakkoon ja luoteeseen 772 m². Näistä kaakko ja lounas ovat aurinkoenergian hyödyntämiseen parhaiten soveltuvat suunnat. Tontti on tasainen, eikä ympärillä ole korkeita rakennuksia tai maastonmuotoja, jotka varjostaisivat auringonvalon lankeamista katoille.



Kuva 2. Rakennusten sijoittuminen ilmansuuntien suhteen

Rakennusten kattorakenteet ovat alkuperäiset, ja yhtiö on suunnitellut kattoremontin toteuttamista. Mikäli aurinkoenergiajärjestelmä päätetään hankkia, se on tarkoitus asentaa kattoremontin yhteydessä tai sen jälkeen. Kattokulma (Kuva 3) on 20° .



Kuva 3. A-rakennuksen kattoprofiili.

Huomioita asennuskulmasta ja suuntauksesta

Suomen leveysasteilla optimaalisena asennustapana aurinkopaneeleille ja aurinkoke-
räimille pidetään suuntausta etelään 45°:n kallistuksella vaakatasoon nähden. Tätä pys-
tympi asennuskulma pienentää kesäkuukausina saatavaa säteilymäärää, mutta toisaalta
hieman lisää sitä talviaikaan, kun aurinko on horisontissa matalammalla. Vastaavasti loi-
vempi asennuskulma kasvattaa tuotetun energian määrää kesäisin, ja heikentää sitä
muina vuodenaikoina. [1. s.24] Ojamonpuiston tapauksessa järjestelmän maksimihyöty
pyritään ulosmittaamaan kesäkuukausina, joten 20°:n kattokulma on tarkoitukseen hyvä,
vaikka se vähentääkin koko vuoden energiantuotantoa noin viisi prosenttia verrattuna
perinteiseen 45°:n asennukseen. (Taulukko 1)

Suuntaus etelän sijasta lounaaseen tai kaakkoon vähentää saatavaa kokonaissäteily-
määrää noin seitsemän prosenttia. Etelästä poikkeava suuntaus ei kuitenkaan ole vält-
tämättä huono asia, sillä suuntauksella voidaan ajoittaa energian maksimituotanto vuo-
rokauden niille tunneille, jolloin lämmintä käyttövettä kuluu eniten. Asuinrakennuksessa
nämä tunnit osuvat tyypillisesti aamuun ja iltaan, ja harvemmin keskipäivälle, jolloin au-
rinko paistaa etelästä. [2.]

Taulukko 1. 10 kW:n esimerkkijärjestelmä suunnattuna etelään kolmessa eri kallistuskul-
massa. [2.]

Fixed system: inclination=20°, orientation=0°					Fixed system: inclination=45°, orientation=0°					Fixed system: inclination=70°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m	Month	E_d	E_m	H_d	H_m	Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	3.65	113	0.44	13.6	Jan	5.35	166	0.60	18.8	Jan	6.05	187	0.68	21.1
Feb	12.80	359	1.50	42.1	Feb	17.40	487	2.02	56.7	Feb	19.00	531	2.22	62.2
Mar	22.30	691	2.69	83.3	Mar	26.10	809	3.17	98.2	Mar	26.10	809	3.18	98.4
Apr	34.90	1050	4.39	132	Apr	36.80	1100	4.68	140	Apr	33.70	1010	4.28	128
May	43.10	1340	5.68	176	May	41.90	1300	5.59	173	May	35.50	1100	4.73	147
Jun	43.60	1310	5.89	177	Jun	40.80	1220	5.58	167	Jun	33.30	999	4.56	137
Jul	42.60	1320	5.83	181	Jul	40.50	1260	5.62	174	Jul	33.70	1040	4.67	145
Aug	32.20	997	4.31	134	Aug	32.30	1000	4.38	136	Aug	28.40	880	3.85	119
Sep	21.30	638	2.75	82.4	Sep	23.40	702	3.04	91.3	Sep	22.40	671	2.91	87.3
Oct	11.00	342	1.37	42.5	Oct	13.50	418	1.66	51.5	Oct	13.90	430	1.71	53.2
Nov	4.01	120	0.50	14.9	Nov	5.37	161	0.64	19.2	Nov	5.81	174	0.69	20.7
Dec	1.96	60.8	0.24	7.44	Dec	2.88	89.1	0.33	10.3	Dec	3.25	101	0.38	11.6
Yearly average	22.8	694	2.97	90.4	Yearly average	23.9	726	3.11	94.7	Yearly average	21.7	661	2.82	85.9
Total for year		8330		1090	Total for year		8720		1140	Total for year		7940		1030

3 Katsaus aurinkosähköteknologiaan

Aurinkokennojen yleisin valmistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii. Noin 90 prosenttia markkinoilla olevista aurinkokennoista on piikidekennoja, valtaosin monikiteistä tyyppiä. Kaupallisissa sovelluksissa piikidekennoista valmistettujen aurinkosähköpaneelien hyötysuhde on tyypillisesti 15–17 prosenttia. [3.]

Aurinkopaneelin hyötysuhde määritellään kaavan 1 mukaisesti $\eta = \frac{P}{A \cdot 1000W/m^2}$ (1)

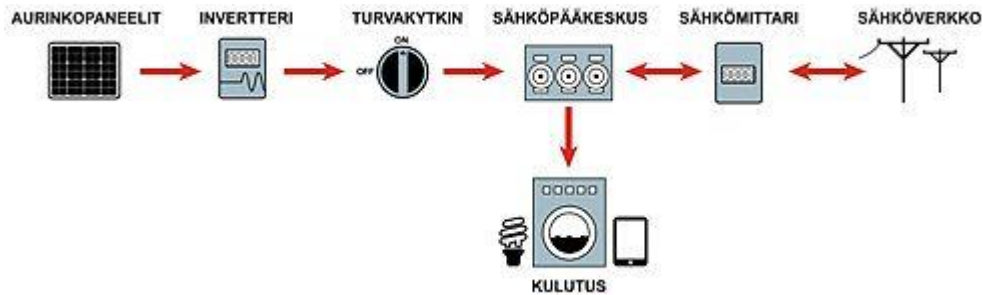
P = nimellisteho (W_p)

A = pinta-ala (m^2) [4.].

3.1 Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä

Pääkomponentit verkkoon liitettyssä aurinkosähköjärjestelmässä (Kuva 4) ovat aurinkopaneelit ja invertteri eli vaihtosuuntain, joka voi käyttökohteesta riippuen olla yksi- tai kolmivaiheinen. Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa, jonka invertteri muuntaa kiinteistön ja jakeluverkon vaatimuksia vastaavaksi vaihtovirraksi. Yksivaiheinen invertteri kytkeytyy yhteen kolmesta verkon vaiheesta, jolloin tuotettua aurinkosähköä voivat hyödyntää vain kyseiseen vaiheeseen kytketyt sähkölaitteet. Yksivaiheista invertteriä käytetään tyypillisesti pienissä, alle kolmen kilowatin järjestelmissä. Kolmivaiheinen invertteri kytketään verkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen, jolloin aurinkopaneeleista saadaan suurin hyöty. Suurta sähkötehoa tarvitsevat laitteet kuten lämminvesivaraajat on tavallisesti kytketty verkon kaikkiin kolmeen vaiheeseen. Suojalaitteet ja turvakytkimet on yleensä integroitu invertteriin, mutta joissain tapauksissa ne voidaan joutua asentamaan erikseen.

Aurinkosähköjärjestelmän on oltava erotettavissa sähköverkosta lukittavalla vaihtovirtapiirin turvakytkimellä, johon sähköverkkoyhtiön työntekijöillä on vapaa pääsy. Järjestelmään kuuluu myös jakeluverkon haltijan vastuulla oleva kiinteistön energiamittari, joka mittaa verkkoon syötettyä ja sieltä otettua tehoa. [5.]



Kuva 4. Verkkoon kytketyn aurinkosähköjärjestelmän komponentit [5.]

3.2 Järjestelmän teho

Aurinkopaneelien nimellisteho ilmoitetaan huipputehona eli piikkiwatteina (W_p), joka tarkoittaa paneelin enimmillään tuottamaa tehoa standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily määrä on $1\ 000\text{W}/\text{m}^2$ ja kennon lämpötila $25\text{ }^\circ\text{C}$. Käytännössä aurinkopaneeli voi tuottaa hetkellisesti sähköä nimellistehoaan suuremmalla tai pienemmällä teholla, sille tulevan säteilyn määrästä riippuen. Tähän vaikuttavat suuntauskulma, mahdolliset varjot ja puhtaanapito. Ympäristön lämpötila vaikuttaa paneelien tehoon siten, että matalammissa lämpötiloissa sähköntuotanto on suurempaa.

Aurinkopaneelien käyttöikä voi ylittää 30 vuotta, ja niille on saatavilla jopa 25 vuoden tehontuottotakuuta. Takuun myöntävä valmistaja lupaa, että paneelit tuottavat sähköä vähintään 80 prosenttia ilmoitetusta nimellistehosta 25 vuoden ajan. Järjestelmän muiden komponenttien, kuten invertterin ja mahdollisten akkujen, tekninen käyttöikä on tavallisesti tätä lyhyempi. [4.]

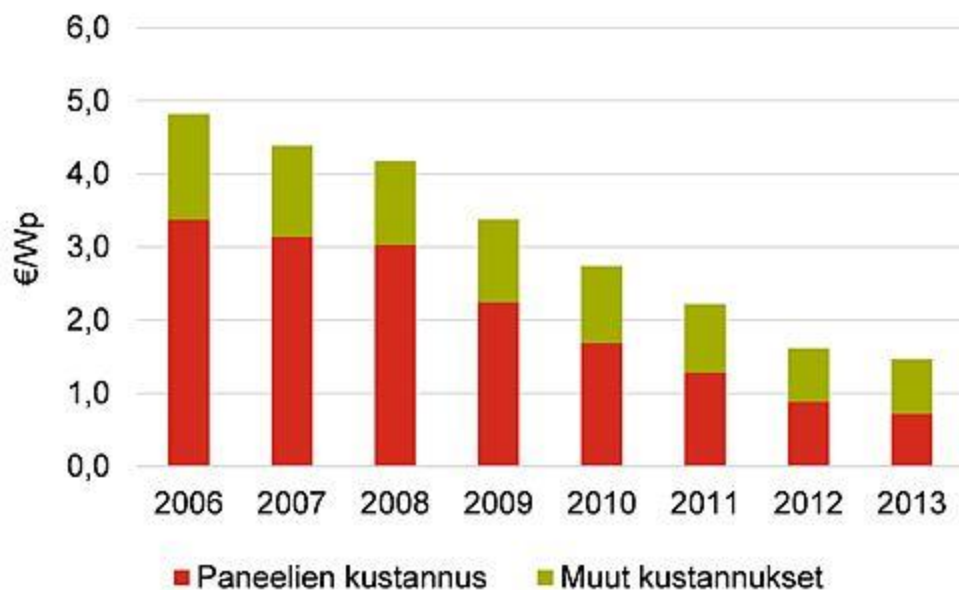
3.3 Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus

Järjestelmän hankinnan ja käytön kannattavuuteen vaikuttavia seikkoja ovat mitoitus ja hinta, verkkosähkön hinta, auringon säteily määrä ja paneelien asennustapa. Aurinkopaneelit vaativat tilaa ja asennus on toteutettava siten, että paneeleille muodostuvat varjostukset saadaan minimoitua. Aurinkosähkön tuottajan kannattaa pitää omakäyttöaste mahdollisimman suurena, jolloin ylijäämäsähköä jää myytäväksi vähän tai ei lainkaan. [6.]

Kun tuotettua sähköä myydään verkkoon, sen hinnoittelussa käytetään yleisimmin sähköpörssissä noteerattavaa Spot-hintaa, joka muuttuu tunneittain. Tällöin tuottaja saa tuottamastaan sähköstä osapuilleen saman hinnan, millä energiayhtiö myy sähköä asiakkailleen. Eroa osto- ja myyntihintojen välille muodostuu kuitenkin sähkönsiirron ja verkkojen osuuksista, mitkä voivat muodostaa jopa yli 60 prosenttia kuluttajan maksamasta sähkölaskusta.

3.4 Aurinkosähköjärjestelmän hinta

Kasvaneista tuotantomääristä ja teknisestä kehityksestä johtuen aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet 2000-luvun aikana yli 80 prosenttia. Järjestelmien kokonaiskustannukset (Kuva 5) eivät kuitenkaan ole laskeneet yhtä voimakkaasti, sillä niihin sisältyy paneelien lisäksi myös oheislaitteiden ja tarvikkeiden kustannukset, sekä suunnittelu- ja asennustyö.

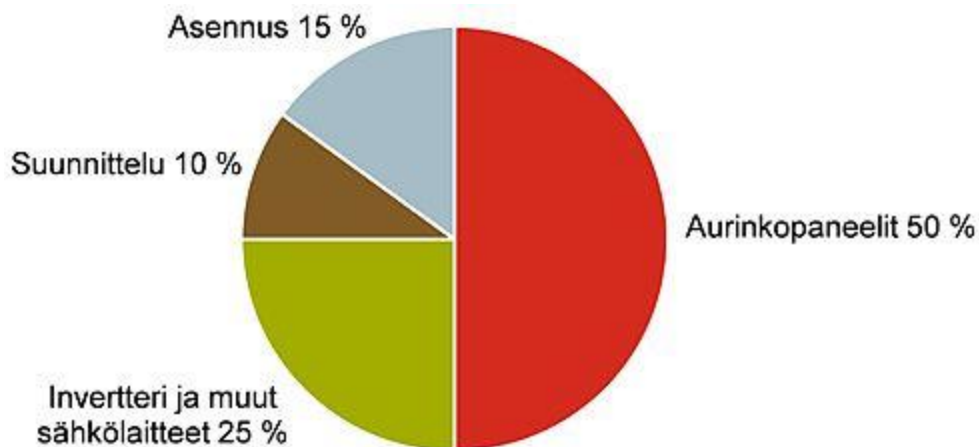


Kuva 5. Rakennuksiin integroitujen suuritehoisten (10-100 kW_p) aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys Saksassa (ALV. 0%) [7.]

Aurinkopaneelien suuri tuotantomäärä on aiheuttanut piiraaka-aineen hinnan nousua, minkä vuoksi paneelien hintojen lasku pysähtyi vuoden 2016 aikana. Hintojen ei

ennusteta laskevan lähivuosina, mutta hyötysuhteen on arveltu jossain määrin paranevan paneelitekniikan edelleen kehittyessä. [7.]

Aurinkosähköjärjestelmän hinta suhteutetaan tyypillisesti järjestelmän nimellistehoon. Suomessa asennetun pientalojärjestelmän hinta vuonna 2013 oli koosta ja toimittajasta riippuen noin 1,8–4,0 €/Wp. Hintaan sisältyy ALV 24%. Pientalokokoluokassa paneelien hinta muodostaa noin puolet kokonaishinnasta, ja toinen puolikas jakautuu (Kuva 6) asennuksen, suunnittelun ja oheislaitteiden välille. [7.]



Kuva 6. Aurinkosähköjärjestelmän hankintakustannusten suuntaa-antava jakautuminen. [7.]

3.5 Aurinkosähkötuotannon taloudellinen tukeminen

Yksityishenkilöille ja yhteisöille on erilaisia tukimuotoja aurinkosähkön käyttöönottoa varten. Yksityishenkilöiden tapauksessa 45 prosenttia asennuskustannuksista voidaan hyväksyä kotitalousvähennykseen, kuitenkin enintään 2 400 euroa. Yritykset, kunnat ja muut yhteisöt voivat hakea Työ- ja elinkeinoministeriön energiatukea, jota myönnetään hankekohtaisen harkinnan perusteella. [8.]

Asunto-osakeyhtiöille, asuinkiinteistöille tai maataloille energiatukea kuitenkin ei myönnetä [9].

3.6 Huolto ja kunnossapito

Aurinkosähköjärjestelmät eivät vaadi paljoakaan huoltoa käyttöaikanaan. Paneelien pinnoille kertyvät roskat, pöly ja puiden lehdet on syytä poistaa paneelien päältä, sillä ne heikentävät kennojen optimaalista toimintaa, ja siten vaikuttavat suoraan saatavaan sähkön määrään. Paneelien päälle kertyvä lumi voi estää sähköntuotannon, mutta talvisin aurinkosähkön tuotanto on muutoinkin vähäistä.

Invertterit joudutaan useimmiten vaihtamaan kerran paneelien käyttöiän aikana. Vaihtotyö ja kytkennät kuuluvat sähköurakoitsijalle. [10.]

3.7 Toimenpidelupa ja sähkötyöt

Lupakäytännöt aurinkopaneelien asentamiseksi vaihtelevat rakennustyyppin ja asennustavan mukaan. Nykyisen Maankäyttö- ja rakennuslain mukaan vain merkittävästi kaupunkikuvaan tai ympäristöön vaikuttavan aurinkopaneeli- tai keräinjärjestelmän asentaminen vaatii toimenpideluvan. Suojeltuun rakennukseen asennus on lähtökohtaisesti kokonaan kielletty. Muihin rakennuksiin voidaan vaatia lupa tai ilmoitus, mikäli järjestelmä on kooltaan suuri ja siten vaikuttaa kaupunkikuvaan. Käytännöt vaihtelevat paikkakunnittain, minkä vuoksi asia on tarkastettava kunnan rakennusvalvonnasta ennen laitteistojen hankintaa.

Verkkoon kytkettyjen vaihtojännitteisten aurinkosähköjärjestelmien sähkötöitä saa tehdä vain yritys, jolla on sähköasennusoikeudet. Lisäksi järjestelmälle on tehtävä käyttöönottotarkastus. Urakoitsijan on aina tarkastettava asennukset itse ennen käyttöönottoa. Sähköverkonhaltijan on kohtuullista korvausta vastaan liitettävä sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitokset toiminta-alueellaan. Verkkoyhtiöön on oltava yhteydessä jo ennen aurinkosähköjärjestelmän hankintaa. Verkkoyhtiö ei saa osallistua sähkökauppaan, vaan aurinkosähkön tuottajan on sovittava valitsemansa sähkönmyyjän kanssa verkkoon syötetyn aurinkosähkön myymisestä. [11.]

4 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusmenetelmiä

4.1 Pohjakulutukseen perustuva mitoitus

Mikäli aurinkosähköjärjestelmälle tahdotaan mahdollisimman lyhyt takaisinmaksuaika, paneelien yhteenlaskettu nimellisteho on mitoitettava pienimmän jatkuvan sähkötehon tarpeen mukaan. Näin mahdollistetaan tuotetun aurinkosähkön välitön kulutus kohteessa, eikä sähköverkkoon myytävää tai akustoihin varastoitavaa ylijäämää muodostu lainkaan. Yöhön ajoittuva hetkellinen tehontarve voi olla pienempi kuin paneelien nimellisteho, sillä yöllä myös paneelien tuotto on olematon. Toimistorakennuksissa ja muissa kohteissa, joissa valtaosa sähkönkulutuksesta ajoittuu päiväaikaan, voidaan pohjakulutukseen perustuvalla mitoituksella kattaa merkittävä osuus sähkön kokonaiskulutuksesta.

Pientalossa pohjakulutus muodostuu tyypillisesti koneellisen ilmanvaihdon, lämmitysjärjestelmän ja jatkuvasti käynnissä olevien sähkölaitteiden, kuten kylmlaitteiden, sähkönkulutuksesta. Näiden yhteenlaskettu nimellisteho ei kuitenkaan anna todellista kuvaa jatkuvan tehon tarpeesta, sillä esimerkiksi termostaattiohjattu lämmitysjärjestelmä käynnistyy tarpeen mukaan, ja on ajoittain kokonaan pois päältä. Sen tehontarve siis vaihtelee nollan ja nimellistehon välillä. Todellista pohjakulutusta voidaan mitata jatkuvatoimisella tehomittarilla, mutta tavallisesti kotitalouksissa tyydytään karkeaan arvioon jatkuvasti toiminnassa olevien laitteiden keskimääräisestä kulutuksesta. [12.]

4.2 Kesäkuukausien keskimääräiseen kulutukseen perustuva mitoitus

Kun tavoitteena on kattaa aurinkosähköllä merkittävä osa kiinteistön sähköntarpeesta kesäkaudella, on varauduttava ylijäämäsähkön syöttämiseen sähköverkkoon. Se pidentää järjestelmän takaisinmaksuaikaa, sillä aurinkosähkön tuottaja saa verkkoon syöttämästään sähköstä tyypillisesti pörssihinnan vähennettynä energiayhtiön perimällä palvelumaksulla. Myyty sähkö on siten halvempaa kuin ostettu. Ylijäämäsähkö voidaan myynnin sijaan myös varastoida akustoon myöhempää (esimerkiksi yöaikaista) käyttöä varten, tai esimerkiksi muuttaa lämmöksi lämminvesivaraajan sähkövastuksilla. [13.]

Esimerkki litiumioni-akuston kannattavuudesta osana aurinkosähköjärjestelmää:

Sähkölämmitteisen pientalon vuotuinen sähkönkulutus on noin 17 000 kWh. Taloon asennetaan jotakuinkin keskimääräistä hetkellistä tehontarvetta vastaava 2 kWp:n aurinkosähköjärjestelmä (vuosituotanto noin 1 400–2 000 kWh), jonka avaimet käteen -hintana on arviolta 5 000 euroa (alv. 24 %).

Mikäli akusto mitoitetaan siten, että verkkoon ei tarvitse syöttää tuotettua sähköä lainkaan, on akkukapasiteetin oltava arviolta 7 kWh. Tämän tehoinen litiumioni-akusto maksaa noin 6 000–9 000 euroa (alv. 24 %). Akuston massa olisi noin 250 kg, ja se olisi ulkoisilta mitoiltaan jotakuinkin tavallisen jääkaappipakastimen kokoinen. Kun akuston täysiä lataus-purkusyklejä syntyy arviolta 100-150 kappaletta vuodessa, saadaan samalla ajalla noin 50 euron säästö siitä, ettei sähköä tarvitse syöttää verkkoon. Silloin akuston koroton takaisinmaksuaika olisi vähintään 100 vuotta eli huomattavasti pitempi kuin akuston elinikä. Akusto ei siis ole teknistaloudellisesti kannattava ratkaisu. [13.]

4.3 Nollaenergiamitoitus

Aurinkosähköjärjestelmä voidaan mitoitaa siten, että sen tuotto vastaa kohteen koko vuosikulutusta. Suomen olosuhteissa paneeleilla olisi tuotettava kesäkaudella runsaasti yli oman tarpeen, koska talvella saatava tuotanto jää väistämättä alle kiinteistön oman kulutuksen. Kesäpäivinä tuotettu ja sähköverkkoon myyty ylijäämä ostetaan energiayhtiöltä takaisin öisin ja talvikuukausina, tuotanto- ja kulutusmäärien ollessa mahdollisimman lähellä toisiaan. Investointina nollaenergiamitoitus on kallis, eikä useinkaan taloudellisesti kannattava Pohjois-Euroopassa. [14.]

4.4 Omavaraisuuteen tähtäävä mitoitus

Energiaomavaraiseksi mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä eroaa nollaenergiamitoituksesta siten, että verkkosähköä ei käytetä lainkaan, vaan kaikki käytetty sähkö tuotetaan itse. Suomen leveysasteilla tämä ei ole taloudellisesti järkevää, jos kiinteistö on ympärivuotisessa käytössä. Aurinkoenergiaa ei saada talvella riittävästi, minkä vuoksi paneelijärjestelmä olisi mitoitettava moninkertaisesti yli kesäaikaisen tarpeen, jotta ylituotantoa riittäisi varastoitavaksi pimeän ajan käyttöä varten. Sähkön varastointi suuressa mittakaavassa on ainakin toistaiseksi kallista ja teknisesti kehittymätöntä.

Sähkön käyttöä voidaan pyrkiä optimoimaan aurinkosähkön tuotantoa vastaavaksi, ohjaamalla kulutusta hetkille, jolloin aurinkosähköä on parhaiten saatavilla. Ohjaus voidaan

toteuttaa muuttamalla kulutustottumuksia tai lisäämällä automaatiota. Käytännössä omavaraisuus on kuitenkin taloudellisesti järkevää vain vapaa-ajan asunnoissa, joissa sähkön kulutus on vakituista asuntoa pienempää, ja painottuu kesäkuukausiin. [15.]

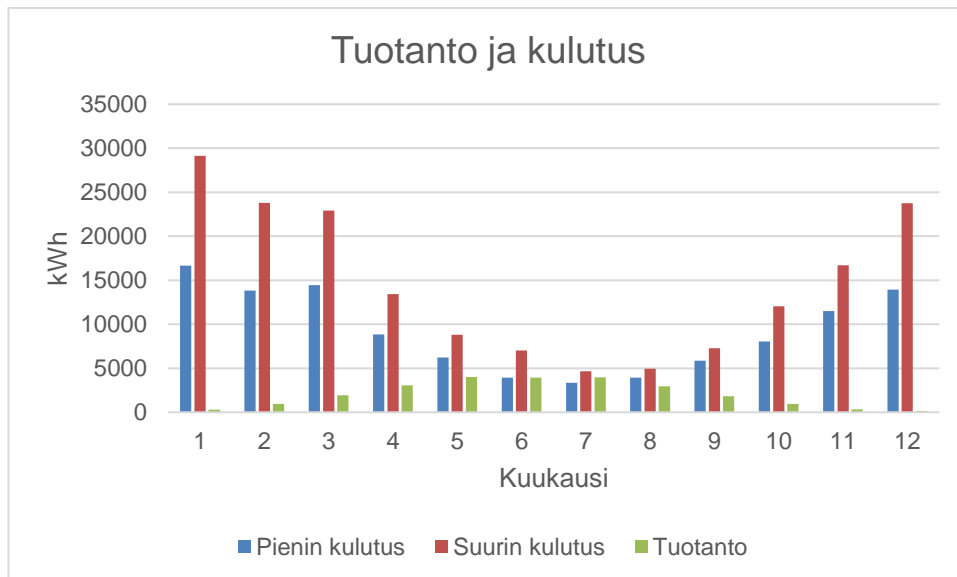
4.5 As. Oy Ojamonpuiston aurinkosähköjärjestelmän mitoitus

Yhtiön tavoitteita parhaiten vastaava mitoitus on kesäkuukausien keskimääräiseen kulutukseen perustuva mitoitus. Kun tarkastellaan vuosien 2010–2018 sähkömittarilukemia, havaitaan kulutuksen olleen keskimäärin alimmillaan heinäkuiden aikana, jolloin maalämpöpumput ovat kuluttaneet energiaa 3 352–4 664 kWh. Euroopan komission tutkimuslaitoksen JRC:n (Joint Research Centre) PVGIS solar radiation datan tietokantojen [2] perusteella lounaaseen suunnattu 29 kWp järjestelmä 20° asennuskulmalla tuottaa Lohjalle sijoitettuna vuodessa sähköä 24 300 kWh (Taulukko 2) heinäkuun osuuden ollessa 3 960 kWh.

Taulukko 2. PVGIS-järjestelmän laskurilla määritetty tuotanto-odotus 29 kilowatin järjestelmälle.

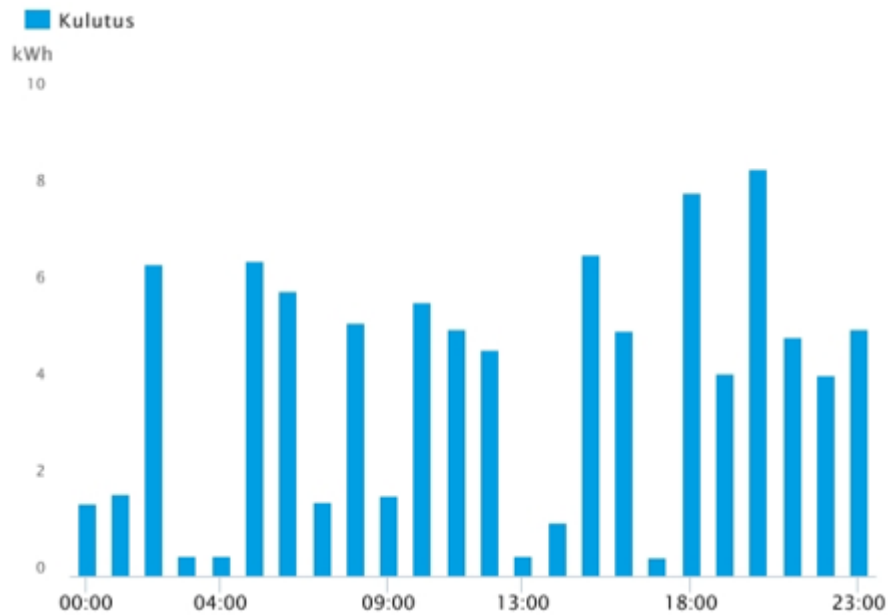
Fixed system: inclination=20°, orientation=45°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	9.29	288	0.39	12.0
Feb	33.70	944	1.33	37.4
Mar	62.40	1930	2.50	77.5
Apr	102.00	3060	4.22	127
May	129.00	3990	5.58	173
Jun	132.00	3950	5.84	175
Jul	128.00	3960	5.75	178
Aug	95.00	2940	4.19	130
Sep	60.90	1830	2.60	78.0
Oct	30.30	940	1.26	39.1
Nov	10.60	318	0.45	13.5
Dec	5.00	155	0.21	6.59
Yearly average	66.6	2030	2.87	87.3
Total for year		24300		1050

Kun tällä tavoin mitoitettun aurinkopaneelijärjestelmän tuotanto-odotusta verrataan As. Oy Ojamonpuiston sähkönkulutusdataan (Kuva 7), voidaan sen todeta vastaavan hyvin yhtiön tarpeita.



Kuva 7. Kunkin kuukauden pienin ja suurin kulutuslukema vuosien 2010–2018 välillä, sekä tuotanto-odotus 29 kW aurinkosähköjärjestelmällä.

Vuorokauden minimikulutukseen perustuva mitoitus ei As. Oy Ojamonpuiston tapauksessa ole järkevä, sillä lämmityksen käyttämän erillisen sähköjärjestelmän pohjakulutus menee lämpimimpinä kesäkuukausina lähes nollaan (Kuva 8) niinä tunteina, jolloin lämpöpumppu ei ole käynnissä.



Kuva 8. Lämpöpumpujen käyttämä sähkö 17.7.2018

Paneelien tuottamaa sähköä tulee siis joka tapauksessa yli oman kulutuksen silloin, kun lämpöpumput eivät ole käynnissä. Mikäli kaikissa lämminvesivaraajissa olisi sähkövarastukset, voitaisiin paneelien tuottamaa sähköä ohjata niihin, eikä lämpöpumpujen tarvitsisi välttämättä kesäisin käydä lainkaan aurinkoisina tunteina. Tällöin myös verkkoon myytävän sähkön määrä vähenisi.

5 Nestekiertoinen aurinkokeräin

Aurinkolämpökeräinjärjestelmän muodostavat absorbereihin perustuva aurinkolämpökeräin, eristetty lämmönsiirtoverkko ja lämpövarasto, joka kiinteistökohteessa tyypillisesti on lämminvesivaraaja. Lämpövarasto on tarpeen siksi, että lämpöä kulutetaan myös muulloin kuin auringon paistaessa.

Keräinpiiri on suljettu nestejärjestelmä, jossa on pumppuyksikkö ja ohjauskeskus. Varaajan yhteydessä on kuparikierukka, josta propyleeniglykolista ja vedestä muodostuvaan siirtonesteeseen varastoitunut lämpöenergia siirtyy lämmitettävään veteen. Glykoli estää keruunesteen jäätyksen. Suomen oloissa propyleeniglykolia on käytettävä noin 50% nesteen tilavuudesta. Lisäksi nesteeseen lisätään korroosionestoaineita

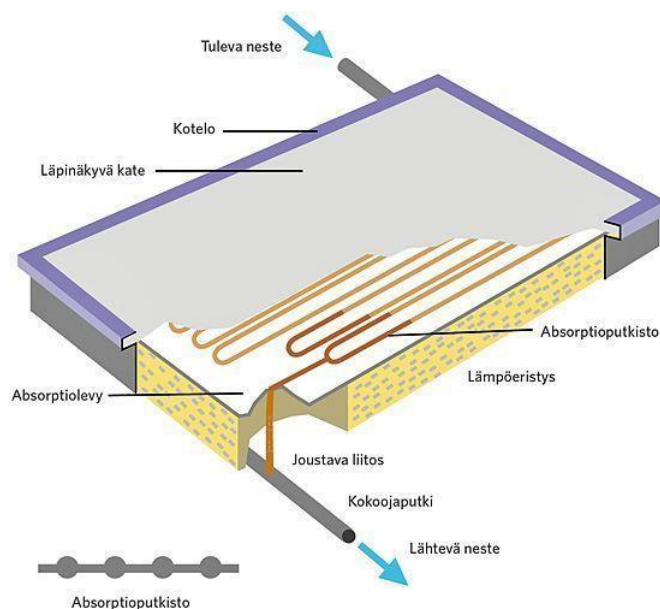
alumiiniabsorberien ja putkiston suojaamiseksi. Koska lämpötilan vaihtelu muuttaa piirissä kiertävän nesteen tilavuutta, on piirissä oltava paisunta-astia tilavuusvaihteluiden tasaamiseksi.

Nesteen virtausnopeus tasokeräimessä on 30–60 l/m²/h. Nykyaikaisissa järjestelmissä säädin optimoi pumpun kierrosnopeutta, jotta lämmöntuotto keräimissä olisi optimaalinen. [16.]

Nestekiertoisten aurinkokeräimien kaksi päätyyppiä ovat tyhjiöputki- ja tasokeräin. Tasokeräin on näistä yksinkertaisempi ja halvempi valmistaa, ja siksi yleisempi keräintyyppi Euroopassa. Pohjoismaissa lähes kaikki uudet keräinasennukset perustuvat tasokeräimiin, sillä ne kestävät paremmin lumikuormaa.

5.1 Tasokeräin

Tasokeräin perustuu tummaan metallirakenteiseen keräinelementtiin, jonka pinta lämpeenee absorboidessaan auringon säteilyä. Lähes koko keräimen pinta ottaa säteilyä vastaan. Elementtiin integroitu putkisto kuljettaa nestettä, johon lämpöenergia sitoutuu. Keräinelementin suojana on kirkas muovilevy tai karkaistua lasia. (Kuva 9)



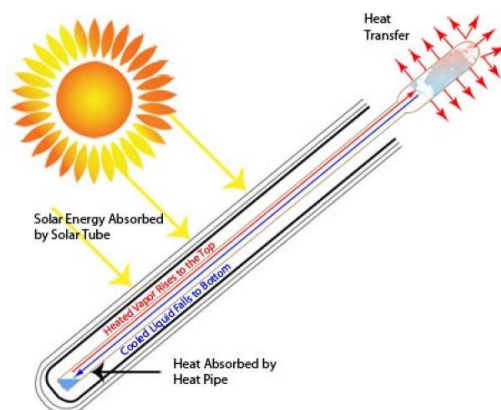
Kuva 9. Tasokeräimen rakenne [17.]

Keräimen putkisto kytketään useimmiten rinnan siten, että kiertoneste jakautuu tasan keräimen alareunasta yläreunaan meneviin putkiin. Ylä- ja alareunassa ne yhtyvät kokoojaputkiin. Putkistot on perinteisesti valmistettu kuparista, mutta nykyisin alumiiniset absorptiolevyt ja kanavistot ovat yleistyneet. [17.]

5.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkiin perustuvan keräimen absorptiopinta on putkimaisessa muodossa (Kuva 10), eikä suorana levynä kuten tasokeräimessä. Lasiputken tyhjiö toimii tehokkaana lämmöneristeenä, ja estää siten absorboitua lämpöä karkaamasta takaisin ulkoilmaan. Tämän vuoksi lämmöntuotto tyhjiöputkissa voi kylminä vuodenaikoina olla tasokeräintä suurempi. Lämpiminä kesäkuukausina taso- ja tyhjiöputkikeräinten lämmöntuotannoissa ei ole suuria eroja.

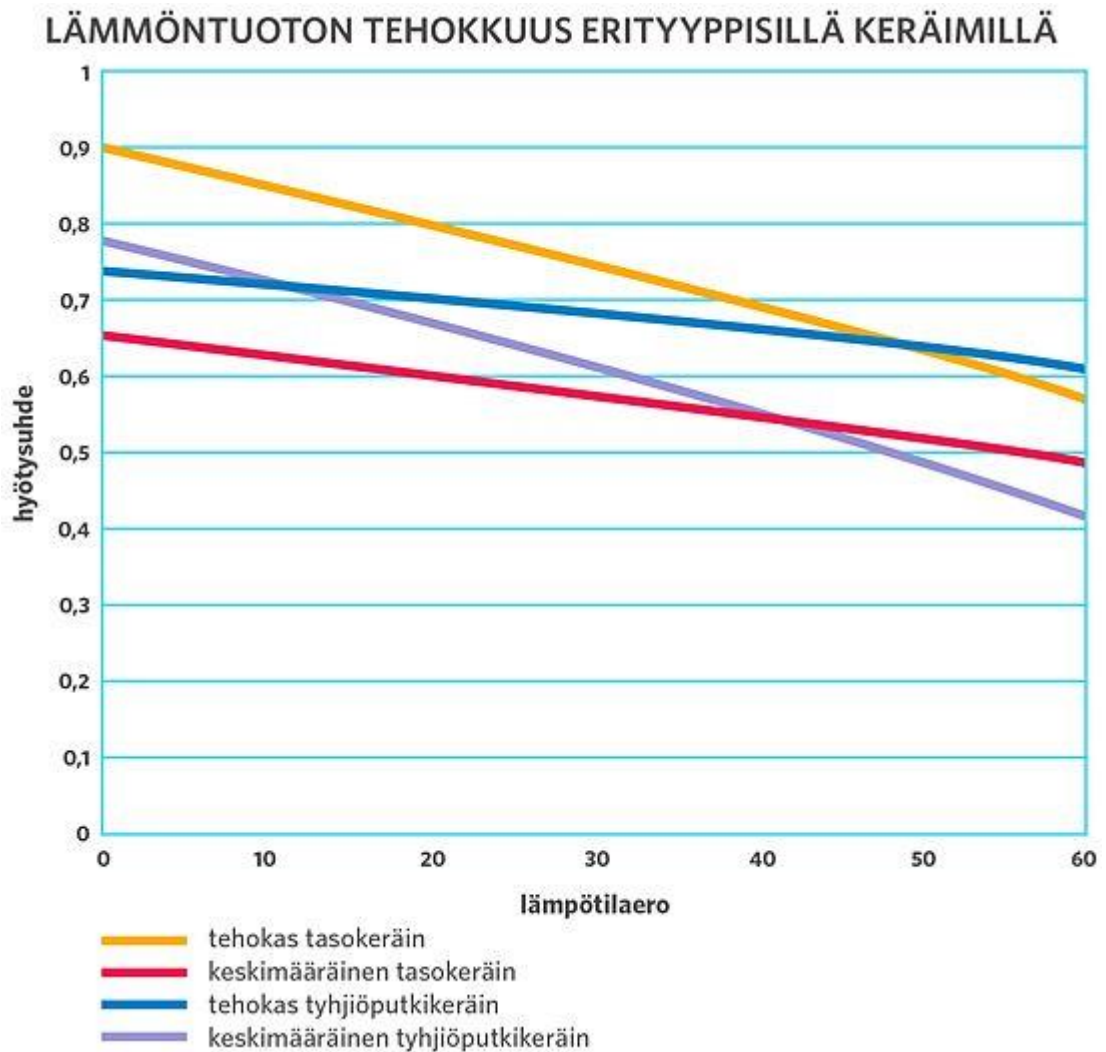
Nestekiertoisissa tyhjiöputkikeräimissä hyödynnetään selektiivistä absorptiopinnoitetta, joka absorboi lyhytaaltoista säteilyä (aallonpituus 0,3–2 μm) ja säteilee heikosti takaisin pidempiä aallonpituuksia. Tämä parantaa keräimen hyötysuhdetta. Teollisesti valmistettuna tällaiset pinnat ovat tavallisesti mustakromia tai mustanikkeliä. [18, s. 80–87.]



Kuva 10. Tyhjiöputkikeräimen rakenne [19]

5.3 Aurinkokeräimen teho ja hyötysuhde

Aurinkokeräimen hyötysuhde (Kuva 11) voi optimaalisissa olosuhteissa olla jopa yli 90 prosenttia. Koko järjestelmän hyötysuhde jää kuitenkin tätä alhaisemmaksi, sillä siihen vaikuttavat myös esimerkiksi lämpöenergian varastointikapasiteetti, putkiston lämpöhäviöt, lämmönvaihtimen hyötysuhde ja ympäristön lämpötila. [20.]



Kuva 11. Eri keräintyyppien eroja

Esimerkki kuvassa 1 esitetyn kuvaajan lukemisesta: Keräimeen menee sisään 40-asteinen neste ja neste on keräimessä lämmitettyään 60-asteista. Keräinnesteen keskimääräinen lämpötila keräimessä on silloin 50 °C. Jos ulkolämpötila on 20 °C, kuvaajan tarkoittamaksi lämpötilaeroksi tulee 30 °C. Kuvaajasta luettaessa

hyötysuhde on tällöin keräintekniikasta riippuen noin 0,57–0,85 (eli 57-85 prosenttia). [20.]

Kaupallisille aurinkokeräimille määritellään termiset parametrit, joiden pohjalta tuotetun lämpöenergian määrä voidaan määrittää.

Keräimen hyötysuhde lasketaan kaavalla 2

$$\eta = \eta_o - a_1(T_m - T_a)/G - a_2(T_m - T_a)^2/G \quad (2)$$

η = hyötysuhde

η_o = lämpöhäviötön hyötysuhde

T_m = keräimen lämpötila, K

T_a) ympäristön lämpötila, K

G = auringon säteilyteho (W/m^2)

Hyötysuhde siis heikkenee, kun lämpötilaero keräimen ja ympäristön välillä kasvaa.

Tuotetun lämpötehon laskukaava (Kaava 3) on

$$P = A(n_o G - a_1(T_m - T_a) - a_2(T_m - T_a)^2) \quad (3)$$

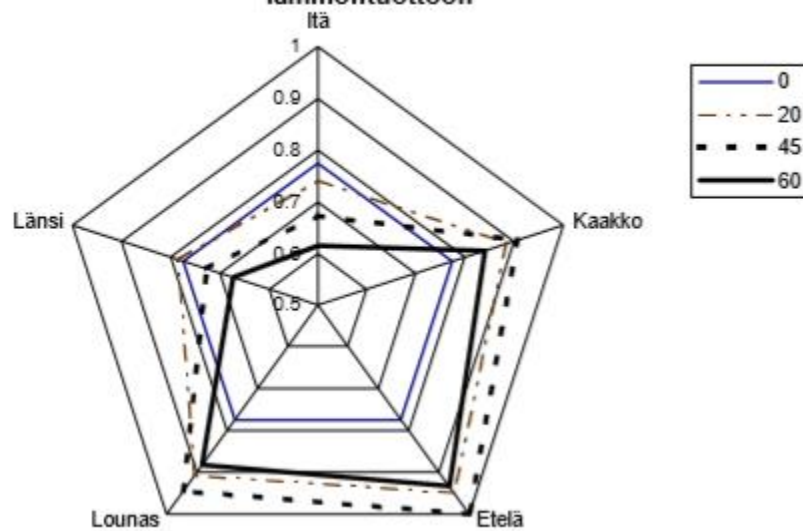
P = keräimen lämpöteho

A = keräimen tehollinen pinta-ala (m^2)

Tällä kaavalla laskettu lämpöteho koskee staattista tilannetta, jolloin mikään parametri ei oleellisesti muutu. Todellisissa käyttöolosuhteissa ulkoiset parametrit kuitenkin elävät jatkuvasti, minkä vuoksi kaavaa käytetään ensisijaisesti järjestelmän karkeaan simulointiin. [18, s. 93–95]

Lisäksi keräimen suuntaus (Kuva 12) vaikuttaa luonnollisesti siitä saatavaan lämpötehoon.

Aurinkokeräimen suuntauksen ja kallistuksen vaikutus sen lämmöntuottoon

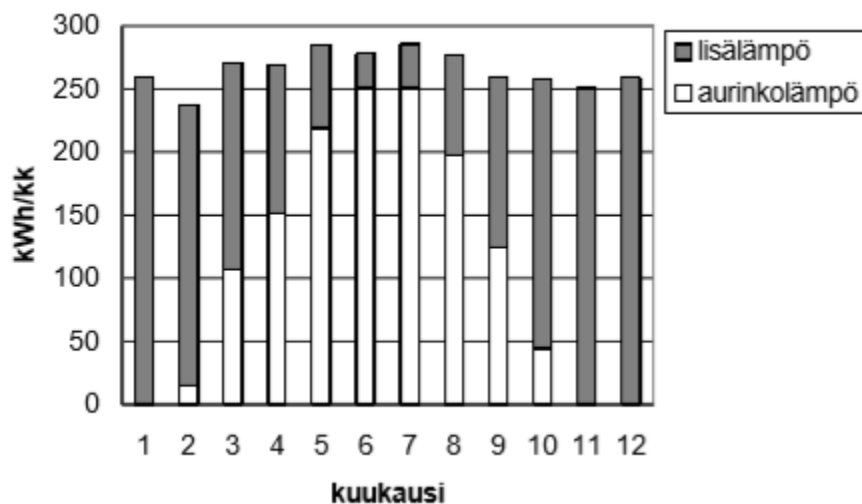


Kuva 12. Aurinkokeräimen suuntauksen ja kallistuskulman vaikutus vuosittaiseen lämmön tuottoon. 1=paras tuotto. [21]

5.4 Aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus

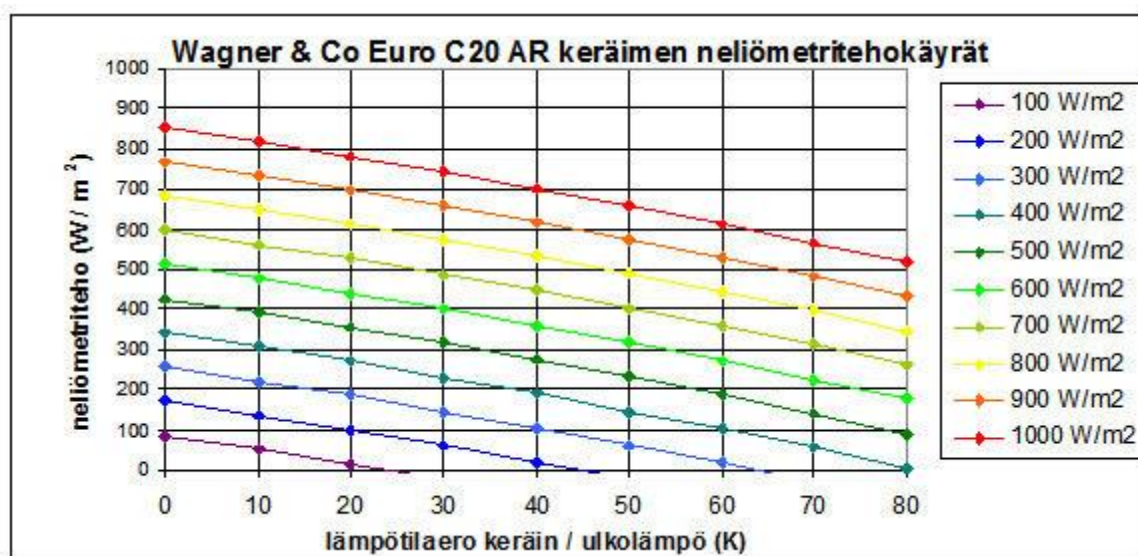
Kun lämpimän käyttöveden tarve on tiedossa, voidaan arvioida tarvittavan lämminvesivaraajan tilavuus. Sen tulisi olla 2–3 kertaa päivittäinen lämpimän veden tarve, jotta kulutushuippujen ja pilvisten päivien vaikutus lämpimän veden saatavuuteen pysyisi pieninä, ja veden lämmittämiseen sähköllä tarvitsisi turvautua mahdollisimman harvoin.

Aurinkokeräinten mitoitusperusteena on yllilämmön välttäminen. Keräimet mitoitetaan useimmiten siten, että ne tuottavat 100% kesäkuukausien lämmön tarpeesta. Tällöin saadaan vuositasolla noin 40–50 prosenttia kaikesta lämpimästä käyttövedestä. [21.] Pienissä järjestelmissä (Kuva 13) voidaan myös kesäkuukausina tarvita lisälämpöä.

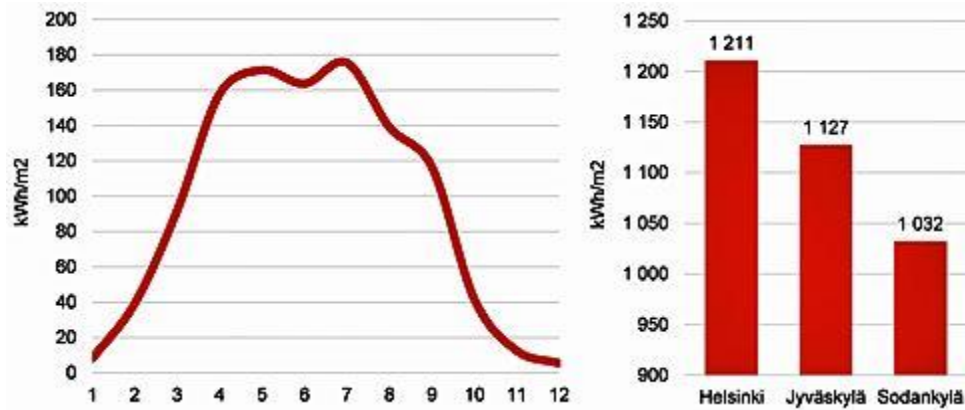


Kuva 13. Esimerkki pientalon aurinkolämpöjärjestelmän tuotosta (lämmin käyttövesi) [21]

Käyttövettä lämmitettäessä nykyaikainen aurinkokeräinjärjestelmä tuottaa tyypillisesti noin 400 kWh/m² [1, s. 28], [22]. Keräinten malli (Kuva 14) ja maantieteellinen sijainti (Kuva 15) vaikuttavat todelliseen tehonsaantoon.



Kuva 14. Wagner & Co Euro C 20 AR -tasokeräimen tehokäyrät [23]



Kuva 15. Keskimääräiset kuukausittaiset säteilymäärät sekä erot vuotuisissa säteilymäärissä eri kaupungeissa. [24.]

5.5 As. Oy Ojamonpuiston aurinkolämpöjärjestelmän mitoitus

Veden lämmityksessä tarvittavan energian määrä saadaan laskettua kaavalla 4:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4)$$

Q = lämpöenergia [J]

m = massa [kg]

c = ominaislämpökapasiteetti [kJ/kgK]

ΔT = lämpötilan muutos [K]

Käyttövettä on yhtiössä kulunut keskimäärin 219 m^3 kuukaudessa, josta 40 prosenttia oletetaan lämpimän käyttöveden osuudeksi [21]. Vuorokaudessa kuluva lämpimän veden määrä on siten

$$\frac{219 \text{ m}^3 \cdot 0,4}{30} = 2,92 \text{ m}^3 \text{ eli } 2\,920 \text{ litraa vuorokaudessa.}$$

As. Oy Ojamonpuiston lämminvesivaraajien yhteiskapasiteetti on 2000 litraa. Tämän kokoiseen aurinkolämpöjärjestelmään suositellaan suurempaa varaajaa. Lisäksi aurinkokierukka pitäisi saada asennettua jokaiseen varaajaan, kun nyt sähköinen lämmitysvastus on vain yhdessä niistä.

Käyttöveden lämmittämiseen tarvittava energia, kun 5°C vesijohtovesi lämmitetään 55°C lämpötilaan:

$$Q = 2\,920 \text{ kg} \cdot 4,19 \text{ kJ/kgK} \cdot 50 \text{ K}$$

$$Q = 611\,740 \text{ kJ}$$

$611\,740 \text{ kJ} / 3\,600 \text{ s} = 170 \text{ kW/vrk}$. Kuukausittainen energiantarve on siis 5,1 MW.

As. Oy Ojamonpuiston sähkönkulutustilaston perusteella käyttöveden lämmitykseen on kuitenkin kulunut sähköä vain keskimäärin 133 kW/vrk. Ero selittyy maalämpöjärjestelmän hyvällä hyötysuhteella ja asukkaiden vedenkäyttötottumuksilla.

Tarvittava keräinpinta-ala lasketaan jakamalla lämmitykseen tarvittava energia aurin-gosta saatavalla energialla (Taulukko 3 neljän kesäkuukauden aikana).

Taulukko 3. Auringon säteily määrä lounaaseen suunnatulle pinnalle Uudenmaan alueella [25]

	kWh/m ²
Toukokuu	171,8
Kesäkuu	168,4
Heinäkuu	187,5
Elokuu	136,9
Yht	664,6

Laskennassa käytettäviä vuorokausia on 123, joten kokonaislämmöntarve on 133 kWh * 123 vrk = 16 359 kWh. Saman ajanjakson säteily määrä on 664,6 kWh. Kun keräimien hyötysuhteeksi oletetaan 80%, tarvittavaksi keräinpinta-alaksi saadaan 16 359 kWh / 664,6 kWh/m² / 0,8 = 30,8 m².

6 Kustannukset ja takaisinmaksuaika

6.1 Järjestelmän hinta

Jotta laskelmia järjestelmien kannattavuudesta ei tarvitsisi perustaa pelkkien omien arvioiden varaan, pyydettiin muutamista aurinkoenergiajärjestelmiä myyvistä yrityksistä alustavia kustannusarvioita (Taulukko 4, Taulukko 5) tarvittavan kokoluokan järjestelmille. Arviot sisältävät järjestelmän ja asennustyön yhteishinnan, sekä 24 prosentin arvonlisäveron. Hinnat eivät kuitenkaan ole suoraan vertailukelpoisia, sillä kustannukset mahdollisista lisätöistä (esimerkiksi kaapelin tai putken kaivamisesta maan alle) vaihtelevat. Hinta-arviot ovat luottamuksellisia, minkä vuoksi yritysten nimiä ei tässä mainita.

Todelliset hinnat määräytyvät As. Oy Ojamonpuiston ja laitetoimittajan kesken, mikäli järjestelmä päätetään hankkia.

Taulukko 4. Aurinkosähköjärjestelmien hinta-arvioita (5/2019)

Yritys	Järjestelmän koko, kWp	Hinta asennettuna, €	€/kWp
A	29,5	36 701	1 244
B	27,5	47 926	1 743
C	29,5	33 000	1 119

Taulukko 5. Aurinkolämpöjärjestelmien hinta-arvioita (5/2019)

Yritys	Järjestelmän koko, m ²	Hinta €	€/m ²
D	30	20 460	682
B	30,5	26 040	854

Aurinkokeräinjärjestelmien hinta-arvioissa on huomioitava se, että niihin ei sisälly vesi-varaajien vaatimat muutostyöt. As. Oy Ojamonpuiston nykyiset lämminvesivaraajat eivät ole yhteensopivia aurinkokierukoiden kanssa, joten ne tulisi joko modifioida tai uusia kokonaan, ennen kuin aurinkolämpöjärjestelmä voidaan asentaa. Yhteensopivan 2000-litran varajaan myyntihinta on noin 3 000–5 000 euroa [26], minkä lisäksi tulevat putki- ja muiden asennusten hinnat.

6.2 Järjestelmän takaisinmaksuaika

Aurinkosähköjärjestelmän takaisinmaksuajan laskemiseen käytettiin Aalto-yliopiston Finsolar-hankkeen [27] julkaisemia laskentaohjelmia. Sähköenergian ostohinta As Oy Ojamonpuistolla on nykyisen sähkönsopimuksen mukaisesti 2,99 snt/kWh, minkä lisäksi verkkoyhtiö Caruna veloittaa sähkönsiirrosta 3,1 snt/kWh. Sähköveron määrä v. 2019 on 2,253 snt/kWh [28] ja ostosähkön arvonlisävero 24%. Järjestelmän asennushinnaksi arvioitiin halvimman tarjouksen mukainen 33 000 euroa.

Rahoituskorkona laskelmassa käytettiin yhtä prosenttia. Aurinkosähkön oman käytön osuuden hahmottamiseksi käytettiin Carunan käyttöpaikkakohtaista kulutusdataa, minkä perusteella sen arvioitiin olevan 90%. Verkkoon myytävän sähkön hinta riippuu sähköyhtiöstä, mutta määräytyy tyypillisesti sähkön senhetkisen spot-hinnan mukaan. Vuosina 2018–2019 spot-hintojen kuukausikeskiarvo [29] on ollut 33–57 €/MWh, minkä perusteella laskennassa käytettiin arvoa 40 €/KWh, sillä se on melko hyvin linjassa pidemmän aikavälin (2013–2019) keskiarvon kanssa. Invertterin vaihdon oletettiin tapahtuvan 15. käyttövuoden aikana, ja sen kustannuksen olevan viisi prosenttia alkuinvestoinnista. (Taulukko 6.)

Taulukko 6. Finsolar-hankkeen laskurin tulos kustannuksista ja takaisinmaksuajasta

Aurinkosähkön tuotto- ja talouslaskelmat elinkaaren aikana:

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähkötuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpitokustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (0% korko)	Investoinnin nettohyötyarvo (NPV) valitulla	Takaisinmaksu-aika valitulla investoinnin	Ostosähkön hinta [eur/kWh]	Myyntiin menevän ylijäämäsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v
0	0.0 €	-33 000.0 €	-33 000.0 €		-33 000 €			0.07 €		
1	1 604.8 €	0.0 €	1 604.8 €	-95.1%	-31 395 €	-31 395 €	1	0.07 €	0.04 €	26238
2	1 628.7 €	0.0 €	1 628.7 €	-75.2%	-29 766 €	-29 766 €	1	0.07 €	0.04 €	26107
3	1 653.0 €	0.0 €	1 653.0 €	-56.8%	-28 113 €	-28 113 €	1	0.07 €	0.04 €	25976
4	1 677.6 €	0.0 €	1 677.6 €	-43.2%	-26 436 €	-26 436 €	1	0.08 €	0.04 €	25847
5	1 702.6 €	0.0 €	1 702.6 €	-33.3%	-24 733 €	-24 733 €	1	0.08 €	0.04 €	25717
6	1 728.0 €	0.0 €	1 728.0 €	-26.0%	-23 005 €	-23 005 €	1	0.08 €	0.04 €	25589
7	1 753.7 €	0.0 €	1 753.7 €	-20.5%	-21 252 €	-21 252 €	1	0.08 €	0.05 €	25461
8	1 779.9 €	0.0 €	1 779.9 €	-16.2%	-19 472 €	-19 472 €	1	0.08 €	0.05 €	25333
9	1 806.4 €	0.0 €	1 806.4 €	-12.9%	-17 665 €	-17 665 €	1	0.08 €	0.05 €	25207
10	1 833.3 €	0.0 €	1 833.3 €	-10.2%	-15 832 €	-15 832 €	1	0.08 €	0.05 €	25081
11	1 860.6 €	0.0 €	1 860.6 €	-8.0%	-13 971 €	-13 971 €	1	0.09 €	0.05 €	24955
12	1 888.3 €	0.0 €	1 888.3 €	-6.3%	-12 083 €	-12 083 €	1	0.09 €	0.05 €	24831
13	1 916.5 €	0.0 €	1 916.5 €	-4.8%	-10 167 €	-10 167 €	1	0.09 €	0.05 €	24706
14	1 945.0 €	0.0 €	1 945.0 €	-3.5%	-8 222 €	-8 222 €	1	0.09 €	0.05 €	24583
15	1 974.0 €	-1 650.0 €	324.0 €	-3.3%	-7 898 €	-7 898 €	1	0.09 €	0.05 €	24460
16	2 003.4 €	0.0 €	2 003.4 €	-2.2%	-5 894 €	-5 894 €	1	0.10 €	0.05 €	24338
17	2 033.3 €	0.0 €	2 033.3 €	-1.3%	-3 861 €	-3 861 €	1	0.10 €	0.05 €	24216
18	2 063.6 €	0.0 €	2 063.6 €	-0.6%	-1 797 €	-1 797 €	1	0.10 €	0.06 €	24095
19	2 094.3 €	0.0 €	2 094.3 €	0.1%	297 €	297 €	0	0.10 €	0.06 €	23974
20	2 125.5 €	0.0 €	2 125.5 €	0.7%	2 423 €	2 423 €	0	0.10 €	0.06 €	23855
21	2 157.2 €	0.0 €	2 157.2 €	1.2%	4 580 €	4 580 €	0	0.11 €	0.06 €	23735
22	2 189.3 €	0.0 €	2 189.3 €	1.6%	6 769 €	6 769 €	0	0.11 €	0.06 €	23617
23	2 222.0 €	0.0 €	2 222.0 €	2.0%	8 991 €	8 991 €	0	0.11 €	0.06 €	23499
24	2 255.1 €	0.0 €	2 255.1 €	2.4%	11 246 €	11 246 €	0	0.11 €	0.06 €	23381
25	2 288.7 €	0.0 €	2 288.7 €	2.7%	13 535 €	13 535 €	0	0.11 €	0.06 €	23264
26	2 322.8 €	0.0 €	2 322.8 €	3.0%	15 858 €	15 858 €	0	0.12 €	0.07 €	23148
27	2 357.4 €	0.0 €	2 357.4 €	3.2%	18 215 €	18 215 €	0	0.12 €	0.07 €	23032
28	2 392.5 €	0.0 €	2 392.5 €	3.4%	20 607 €	20 607 €	0	0.12 €	0.07 €	22917
29	2 428.1 €	0.0 €	2 428.1 €	3.6%	23 036 €	23 036 €	0	0.12 €	0.07 €	22802
30	2 464.3 €	0.0 €	2 464.3 €	3.8%	25 500 €	25 500 €	0	0.13 €	0.07 €	22688
YHTEENSÄ	60 149.9 €	-34 650.0 €	25 499.9 €				18			732651

Näillä arvoilla takaisinmaksuajaksi (Taulukko 6) muodostuisi 18 vuotta. Todellisen takaisinmaksuajan pituuteen vaikuttavat sähkön hinnan ja verotuksen mahdolliset muutokset, omakäyttöasteen vaihtelut sekä sääolosuhteet.

Työn tilaajan pyynnöstä laskettiin myös takaisinmaksuaika suuremmalle, sähkön myyntiin painottuvalle aurinkosähkölaitteistolle. Kun sekä järjestelmän koko että hinta ne-linkertaistettiin muiden arvojen pysyessä samoina, oli takaisinmaksuaika 22 vuotta.

Aurinkolämpöjärjestelmän takaisinmaksuaikaa ei katsottu järkeväksi laskea lainkaan, sillä se ei ole asennettavissa yhtiön nykyiseen LVI-järjestelmään. Koska LVI-muutosten kustannukset eivät ole edes likimain tiedossa, laskelma perustuisi käytännössä pelkkiin arvailuihin.

7 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää As Oy Ojamonpuiston tarpeita parhaiten vastaava aurinkoenergiaratkaisu. Tavoitteena oli tarjota yhtiölle ajantasaista tietoa eri järjestelmien tarjonnasta ja soveltuvuudesta sen tarpeisiin.

Työssä on esitelty perusteet kummankin teknologian toimintaperiaatteista, asennustavoista ja vaatimuksista, kuten lainsäädännöstä. Investoinnin kannattavuutta tarkasteltiin tuotanto-odotusten, hankintakustannusten ja takaisinmaksuajan avulla. Takaisinmaksu-aikaan vaikuttaa kuitenkin merkittävästi sähkömarkkinoiden kehitys, minkä vuoksi laskelmaa voi pitää vain suuntaa-antavana.

Vaihtoehtoja rajaavaksi tekijäksi osoittautui taloyhtiön nykyinen LVI-järjestelmä, joka on yhteensopimaton aurinkolämpöjärjestelmän kanssa. Mikäli lämminvesivaraajia ei voida tai haluta uusia, aurinkosähköjärjestelmä on näistä vaihtoehtoista ainoa tarkoituksenmukainen vaihtoehto. Optimaalisellakaan mitoituksella ei voida täysin välttyä sähkön myynniltä verkkoon, sillä maalämpöpumppujen sähkönkulutus on aurinkoisina päivinä ajoittain nollassa.

Taloyhtiön kesäkuukausien kulutuksen perusteella mitoitettu aurinkosähköjärjestelmä on investointina kannattava, sillä se maksaa suurella todennäköisyydellä itsensä takaisin huomattavasti paneelien käyttöikä lyhyemmässä ajassa. Lisäksi sillä on asuntojen arvoa korottava vaikutus, ja se on energiamuotona ekologinen.

Lähteet

1. Erkkilä, Vesa; Mattila, Vesa Ville. 2003. Aurinkolämpöopas itserakentajille. Helsinki: Särmälä.
2. Photovoltaic Geographical Information System. 2019. Verkkodokumentti. PVGIS solar radiation database. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>. Luettu 5.5.2019.
3. Aurinkosähköteknologiat. 2017. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat. Päivitetty 19.9.2017. Luettu 12.5.2019
4. Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2017. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho. Päivitetty 24.8.2017 Luettu 12.5.2019.
5. Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma. Päivitetty 15.11.2016. Luettu 1.6.2019.
6. Järjestelmän kannattavuus. 2018. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/jarjestelman_kannattavuus. Päivitetty 5.1.2018. Luettu 4.6.2019.
7. Aurinkosähköjärjestelmien hinta. 2017. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta. Päivitetty 2.8.2017. Luettu 4.6.2019.
8. Aurinkosähkötuotannon taloudellinen tukeminen. 2017. Verkkodokumentti. Motiva Oy.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-
man_valinta/aurinkosahkotuotannon_taloudellinen_tukeminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestel-
man_valinta/aurinkosahkotuotannon_taloudellinen_tukeminen). Päivitetty
27.9.2017. Luettu 13.6.2019.

9. Energiatuki. 2019. Verkkodokumentti. Työ- ja elinkeinoministeriö.
<https://tem.fi/energiatuki>. Luettu 13.6.2019.
10. Huolto ja kunnossapito. 2019. Verkkodokumentti. Motiva Oy. [https://www.mo-
tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestel-
man_kaytto/huolto_ja_kunnossapito](https://www.mo-
tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestel-
man_kaytto/huolto_ja_kunnossapito). Päivitetty 29.5.2019. Luettu 3.6.2019.
11. Lupa-asiat. 2018. Verkkodokumentti. Motiva Oy. [https://www.motiva.fi/ratkai-
sut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat](https://www.motiva.fi/ratkai-
sut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/ennen_jarjestelman_hankintaa/lupa-asiat).
Päivitetty 1.8.2018. Luettu 14.6.2019.
12. Pohjakulutukseen perustuva mitoitus. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohja-
kulutukseen_perustuva_mitoitus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/pohja-
kulutukseen_perustuva_mitoitus). Päivitetty 15.11.2016. Luettu 14.6.2019.
13. Keskimääräinen tai enimmäiskulutus kesällä. 2016. Verkkodokumentti. Motiva
Oy. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keski-
maarainen_tai_enimmaiskulutus_kesalla](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/keski-
maarainen_tai_enimmaiskulutus_kesalla). Päivitetty 15.11.2016. Luettu
5.5.2019.
14. Nollaenergiamitoitus. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. [https://www.mo-
tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurin-
kosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/nollaenergiamitoitus](https://www.mo-
tiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurin-
kosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetelmia/nollaenergiamitoitus). Päivi-
tetty 15.11.2016. Luettu 5.5.2019.
15. Sähköenergian omavaraisuus. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy.
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetel-
mia/sahkoenergian_omavaraisuus](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/han-
kinta_ja_asennus/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/mitoitusmenetel-
mia/sahkoenergian_omavaraisuus). Päivitetty 15.11.2016. Luettu 5.5.2019.

16. Aurinkolämpöjärjestelmät. 2018. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat. Päivitetty 5.1.2018. Luettu 13.5.2019.
17. Nestekiertoiset keräimet. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/nestekiertoiset_keraimet. Päivitetty 11.11.2016. Luettu 13.5.2019.
18. Tahkokorpi, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into kustannus.
19. Aurinkolämpö. Verkkodokumentti. Saimaa Gardens Services. <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=73>. Luettu 13.5.2019.
20. Aurinkokeräinten hyötysuhteet. 2016. Verkkodokumentti. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolampojarjestelmat/aurinkokerainten_hyotysuhteet. Päivitetty 11.11.2016. Luettu 13.5.2019.
21. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. EU-projekti: Extend Accredited Renewables Training for Heating (EARTH). 2006. Verkkodokumentti. Solpros. www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf. Luettu 13.5.2019.
22. Auvinen K. 2016. Aurinkolämpöjärjestelmien hintatasot ja kannattavuus. Verkkodokumentti. Finsolar. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/aurinkolampojarjestelmien-hintatasot-ja-kannattavuus-suomessa/>. Päivitetty 26.9.2016. Luettu 14.5.2019.
23. Teho ja tuotto. Verkkojulkaisu. Energiakauppa. <https://www.energiakauppa.com/Verkko-aurinkosaehkoe/Yleistae-aurinkolaemmoestae/Teho-ja-tuotto-1>. Luettu 14.5.2019.
24. Auringonsäteilyn määrä Suomessa. 2018. Verkkojulkaisu. Motiva Oy. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkon_perusteet/auringonsateilyn_maara_suomessa. Päivitetty 17.8.2018. Luettu 8.6.2019.

25. Auringon kokonaissäteilyenergia eri ilmansuuntiin osoitaville pystypinnoille vyöhykkeillä I ja II (Vantaa). Verkkojulkaisu. Ilmatieteen laitos. https://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=59f4381f-541a-4c28-8b1a-8d7a7af90863&groupId=30106. Luettu 8.6.2019.
26. Lämminvesivaraajat 1000-2000 litraa. Verkkojulkaisu. Taloon.com. <https://www.taloon.com/lamminvesivaraajat-1000-2000-litkaa/16207/dg>. Luettu 1.7.2019.
27. Kannattavuuslaskurit. Verkkojulkaisu. Finsolar. <http://www.finsolar.net/aurinkoenergian-hankintaohjeita/kannattavuuslaskurit/>. Luettu 1.7.2019.
28. Tax rates on electricity and certain fuels. 2019. Verkkojulkaisu. Vero.fi. https://www.vero.fi/en/businesses-and-corporations/about-corporate-taxes/excise_taxes/valmisteverolajit/sahko_ja_eraat_polttoaineet/sahkon-ja-eraiden-polttoaineiden-verotaulukot/. Päivitetty 1.1.2019. Luettu 20.6.2019.
29. Tilasto: Energian hinnat. ISSN=1799-7984. 1. Vuosineljännes 2019, Liitekuvio 6. Nord Pool Spot -sähköpörssin kuukausikeskiarvot. Helsinki: Tilastokeskus. http://www.stat.fi/til/ehi/2019/01/ehi_2019_01_2019-06-12_kuv_006_fi.html. Luettu 15.7.2019.