



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tomi Tiilikainen

Aurinkosähköjärjestelmän järjestelmä- kartoitus hankesuunnitteluvaiheessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

15.5.2018

Tekijä Otsikko	Tomi Tiilikainen Aurinkosähköjärjestelmän kartoitus hankesuunnitelmavaiheessa
Sivumäärä Aika	31 sivua + 1 liite 15.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Varatoimitusjohtaja Jonne Järvinen Lehtori Vesa Sippola
<p>Insinööriyön tarkoitus oli kartoittaa hankesuunnitelmavaiheessa olevaan uudisrakennuskohteeseen tulevaa aurinkosähköjärjestelmää. Järjestelmä pyrittiin mitoittamaan rakennuksen pohjakuormalle käytävissä olevien asennuspinta-alojen mukaan. Kartoituksen tehollaskennat toteutettiin pääsääntöisesti neliöperusteisten tehoarvioiden avulla, koska hankesuunnitelmavaiheessa ei vielä tiedetty lopullisia teknisiä ratkaisuja taloteknisten järjestelmien osalta.</p> <p>Aurinkosähköjärjestelmän hankintaperusteet ja vaatimukset oli Helsingin kaupungin strategisten tavoitteiden mukaan määritelty. Rakennuskohteen tarkkaa sijaintia tai käyttötarkoitusta ei voitu työn teko vaiheessa paljastaa kilpailutuksen vuoksi.</p> <p>Työssä tutkittiin myös uusiutuvan energian eettisiä ja ekologisia hyötyjä, sekä aurinkosähkön historiaa ja kehitystä.</p> <p>Kartoituksen perusteella saatiin tietoa asennettavan aurinkosähköjärjestelmän suuruusluokasta, sekä kuinka paljon sillä on mahdollista tuottaa aurinkosähköä ja paljon se kattaa kiinteistön sähkönkulutuksesta. Lopputuloksen sivutuotteena syntyi laskuri Stacon Oy:lle, jonka avulla aurinkopaneeliston mitoitus onnistuu täyttämällä halutun paneelin koko ja -painotiedot, sekä asennusalueen pinta-ala. Valitun järjestelmän tietoja ja tehollaskelmia käytetään suunnittelun edetessä hyödyksi ja toimitetaan rakennesuunnittelijalle, joka ottaa järjestelmän aiheuttamat rasitukset huomioon katon lujuuslaskennoissa.</p>	
Avainsanat	aurinkosähkö, hankesuunnitelma, ilmastonmuutos

Author Title	Tomi Tiilikainen Mapping out of a Solar Energy System at Project Plan Phase
Number of Pages Date	31 pages + 1 appendix 15 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Electrical Power Engineering
Instructors	Jonne Järvinen, Vice Managing Director Vesa Sippola, Lecturer
<p>The aim of this thesis work was to map out a solar energy system for a new building that will be built to Helsinki. The procurements and requirements of the system were made by Helsinki city strategic planning program.</p> <p>The thesis study was done by calculating building electricity consumption information and comparing this to electricity generation gain by the selected solar energy system. Because of the project planning phase it was not possible to get precise electricity consumption information. Therefore, the comparison was made by means of same kind of a building. The competition of the systems was made by competitive bidding and the dimensioning was made by fitting the system for the disposable installation area to get the maximum production.</p> <p>Thesis also considers ethical and ecological benefits of solar energy and studies the history and evolution of energy sources</p> <p>The result of this thesis work is an encompassing report of solar energy system that will be built to the destination. As a byproduct, a calculation chart for the Stacon Oy that can be used in dimensioning solar panel system by entering size and weight of selected solar panel and the area of the installation field, was produced.</p>	
Keywords	solar energy, project plan phase, global warming

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Aurinkoenergian kehitys	3
2.1	Energialähteiden historia	3
2.2	Aurinkosähkö ilmastonmuutoksen torjunnassa	4
3	Aurinkosähköjärjestelmä	8
3.1	Järjestelmän toimintaperiaate	8
3.2	Asennustapojen ja olosuhteiden vaikutukset	11
3.3	Järjestelmän hankintaperusteet	14
3.4	Järjestelmän mitoitus	14
4	Aurinkosähköjärjestelmän kartoitus	15
4.1	Kohdetiedot	15
4.2	Vaatimusmäärittely	17
4.3	Kohteen aurinkosähköpotentiaali	17
4.4	Kohteen huipputeholaskelma ja kulutusjakauma	19
4.5	Järjestelmätarjoukset	21
4.6	Järjestelmien vertailu	26
5	Yhteenveto	27
	Lähteet	29
	Liitteet	
	Liite 1. FinSolar – Kannattavuuslaskuri	

1 Johdanto

Työn tavoitteena on tuottaa hankesuunnitteluvaiheessa olevalle rakennuskohteelle aurinkosähköjärjestelmän kartoitus. Kartoitus kattaa rakennuksen neliöperusteisen huippu-teholaskelman ja järjestelmäkilpailutuksen, jonka perusteella kohteen tilaajalle voidaan esittää tietoa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuudesta, tuottavuudesta ja investointikustannuksista.

Hankesuunnitteluvaiheessa rakennushankkeelle määritetään kohteen laajuutta, toimivuutta, kustannuksia, ajoitusta ja ylläpitoa koskevat täsmälliset tavoitteet, joiden pohjalta tehdään hankesuunnitelma ja investointipäätös. Hankesuunnitelma voidaan koota yhdeksi tiedostoksi, jossa kohteen tilat on hahmoteltu, kustannukset ovat tiedossa ja tärkeimmät tekniset ratkaisut on valittu. Hankesuunnittelua tehdessä kohteen lähtötiedot voivat olla vielä vähäisiä, joka lisää järjestelmien mitoituksen ja samalla opinnäytetyön aiheen haastavuutta. [1;2.]

Sähkösuunnittelijan tehtäviin hankesuunnitteluvaiheessa voi sisältyä esimerkiksi:

- suunnittelutavoitteiden määrittely rakennuttajan kanssa
- jakeluverkkoon liittymismahdollisuuksien selvitys
- tontilla olevien rasitteiden selvitys (esimerkiksi kaapelit ja ilmajohdot)
- teknisten pääjärjestelmien määrittely
- osallistuminen aikataulun laadintaan
- investointikustannuksien arviointi.

Työssä perehdytään myös energialähteiden historiaan ja aurinkosähkön kehitykseen. Ilmaston lämpeneminen, maiden ja kaupunkien asettamat tavoitteet, sekä ekologiset ja eettiset syyt ympäröivät uusiutuvan energian hankintaan johtavia päätöksiä.

Kartoitus toteutetaan Insinööritoimisto Stacon Oy:lle, joka on vuonna 1993 perustettu sähkösuunnitteluyritys. Stacon Oy:n päätoimialana on talonrakentamisen uudistuotantoon ja peruskorjaukseen liittyvät sähkö-, tele-, ja turvatekniset suunnittelu-, konsultointi- ja valvontatehtävät.

2 Aurinkoenergian kehitys

2.1 Energialähteiden historia

Fossiilisia polttoaineita, kuten kivihiili, öljy ja maakaasu on käytetty laajamittaisesti teollisen vallankumouksen myötä 1800-luvun alusta. Teollisuuden höyrykoneiden voimalähteinä käytettiin paljon kivihiiltä, joka korvasi monissa maissa väheneviä puuvaroja. Parhaimmillaan kivihiilen käyttö oli 1920-luvulla, sen näytellessä noin 70 % osuutta energian käytöstä. [3.]

Noin sata vuotta sitten ensimmäisten öljylähteiden löydyttyä kivihiilen asema alkoi heikentyä. Helppokäyttöisyytensä vuoksi öljy ja siitä jalostetut polttoaineet nostivat suosioaan. Nestemäinen polttoaine mahdollisti uusien käyttökohteiden löytymisen erityisesti polttomoottoreissa, mutta öljyn käyttö yleistyi myös lämmön ja sähkön tuotannossa. Öljyn hinnan laskiessa 1970-luvulle saakka sen markkinaosuus nousi aina 50 %:iin asti. [3.]

Samaan aikaan maailman energian kokonaiskäyttö kasvoi ja toisen maailmansodan jälkeisten kolmen vuosikymmenen aikana maailman energiankäyttö kasvoi nelinkertaiseksi. Vuoden 1973 öljykriisi oli ensimmäinen tapahtuma, joka katkaisi öljyn käytön kasvun. Öljymarkkinoiden pienentyminen vielä tänäkin päivänä on kiihdyttänyt uusiutuvien energialähteiden tutkimusta ja kehitystä, mutta varsinaisesti energiantuoton ja ympäristösyiden kannalta niitä on alettu jalostamaan vasta viime vuosikymmenen aikana. [3.]

Vuoden 1973 öljykriisi näytti, että fossiiliset polttoaineet eivät ole loputtomia sähkön tuotannon polttoaineita, joka lisäsi kiinnostusta aurinkosähköön ympäri maailmaa. 70-luvun loppupuolella nähtiinkin Yhdysvalloissa ensimmäiset kaupalliseen tuotantoon tuotetut aurinkopaneelit, joita asennettiin esimerkiksi Etelä-Kalifornian aurinkoisiin osiin. Aurinkopaneelien hinta oli korkea verrattuna öljyllä tuotetun sähkön hintaan ja sen vuoksi varsinkin yksityisiä sijoittajia oli vaikea löytää. 1980-luvulla Saksassa ja Australiassa käynnistettiin kannustinohjelmat, joilla kannustettiin yhtiöitä, sekä yksityishenkilöitä sijoittamaan aurinkoenergiaan. Tällaisten kannustinohjelmien vuoksi aurinkoenergia alkaa kas-

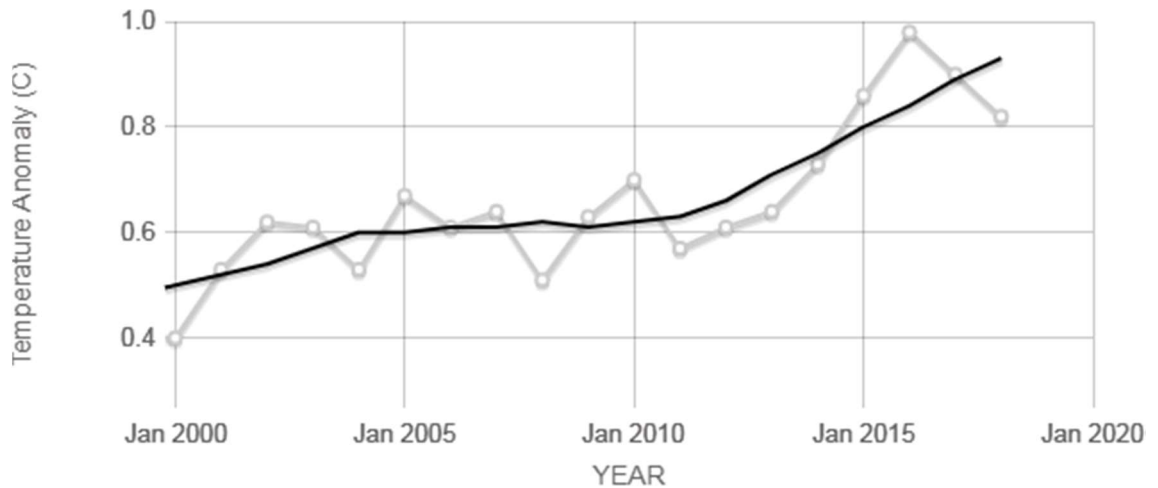
vamaan ja kehittymään 1990-luvun aikana. Varsinkin Saksan valtio teki valtavia sijoituksia aurinkosähköjärjestelmien tutkimuksiin ja kehitykseen, joka johti useiden tutkintolaitosten perustamiseen. Näiden päätösten ja sijoitusten takia Saksan aurinkoenergiateollisuus alkoi merkittävästi edistää maan taloutta ja on tehnyt niin tähänkin päivään asti. [4.]

Siitäkin huolimatta, että Saksan sijoittaminen aurinkoenergiaan on näyttäytynyt oikeana päätöksenä, joudutaan menemään vuoteen 2009, jolloin vastaavanlaisia sijoituksia tapahtui Yhdysvalloissa. Sinä vuonna Barack Obama hyväksyi taloudellisen kannustimen, jonka mukaan amerikkalaisten kotitalouksien oli mahdollisuus vaatia aurinkoenergia investoinneistaan 30% takaisin verotuksessa. [4.]

Yksityishenkilöiden kannustimien lisäksi Obama oli avokätinen aurinkosähkökehityksen tukemisessa myös teollisuudessa. Vuonna 2016 Amerikassa aurinkoenergian kanssa työskenteli 219 000 työntekijää, joka on 35 000 enemmän, kuin vuotta aiemmin. Samaan aikaan vähennettiin 17 000 työpaikkaa öljyteollisuudessa. [4.]

2.2 Aurinkosähkö ilmastonmuutoksen torjunnassa

Öljyvarojen hupenemisen ja poliittisten syiden, kuten öljysotien lisäksi uusiutuvien energiamuotojen lisäämiseen pakottaa ilmastonmuutos. Kuten kuvasta 1 nähdään, maapallon keskilämpötila on noussut vuosien 1951–1980 keskiarvosta 0,82 celsiusastetta, ja lämpeneminen on kolmin kertaistunut 2000-luvun aikana. [5.]

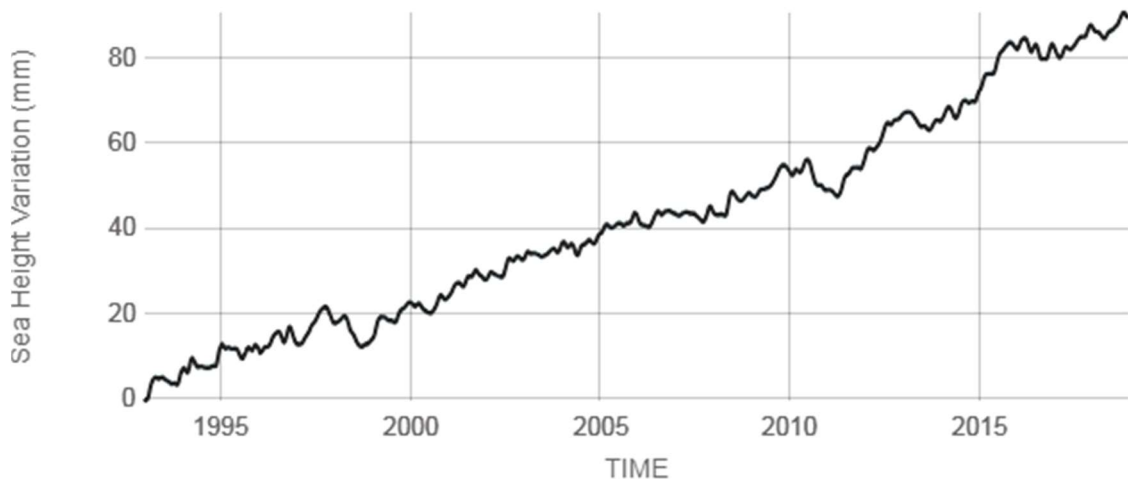


Source: climate.nasa.gov

Kuva 1. Maapallon keskilämpötila, poikkeama vuosien 1951–1980 keskiarvosta, [5.]

Jo vertailuvuosina maapallo oli ehtinyt lämmetä teollistumisen vuoksi, siksi näihin vertailulukuihin voidaan lisätä noin 0,2 astetta. Maapallo on nyt siis lämmennyt yhteensä celsiusasteen verran. [6.]

Luku voi kuulostaa äkkiseltään pieneltä ja voi olla vaikea hahmottaa käytännössä. Yksi selkeä vaikutus ilmaston lämpenemisestä johtuen on vedenpinnan nousu. Kuvassa 2 tummennettu viiva esittää lämpenemisen keskiarviota ja siitä voidaan havaita, että viimeisen 25 vuoden aikana merenpinta on noussut 90 mm, jonka vaikutus nähdään puolestaan tulvien ja luonnonkatastrofien määrässä. [5.]



Source: climate.nasa.gov

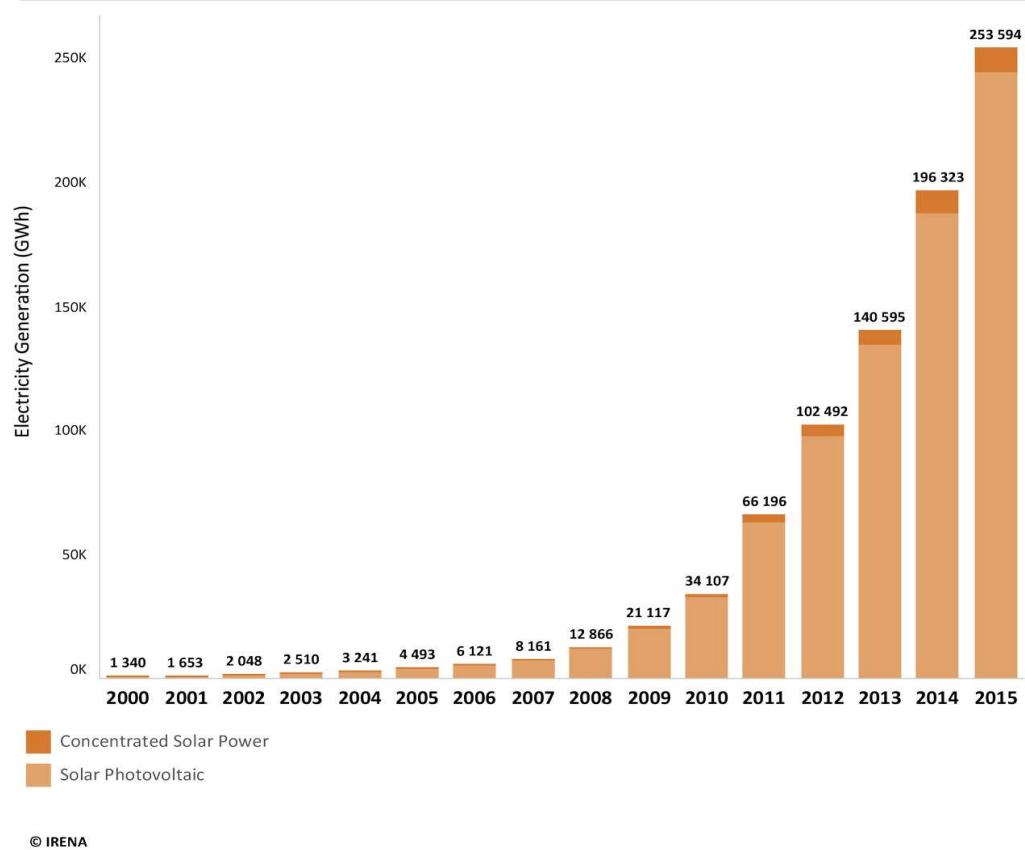
Kuva 2. Merenpinnan nousu 1993–2018, [5.]

Ilmastonlämpenemistä voidaan tarkastella myös esimerkiksi mittaamalla lumipeitteen kestoaikaa, joka voi olla suomalaisille helppo hahmottaa. Vuosina 1971–2000 Etelä-Suomessa oli lumipeite 120–150 vuorokautta vuodessa. Ennuste lumipeitteen kestolle vuosina 2010–2039 on vain 60–90 vuorokautta vuodessa. Voidaan siis todeta, että maapallo muuttuu koko ajan lämpimämpään suuntaan. [7.]

”Rajut trooppiset myrskyt ovat lisääntyneet viime vuosina yli 400 prosenttia mittaushistorian aikana”, tiivistää Potsdamin yliopiston professori Stefan Rahmstorf. Samalla kasvavat kustannukset, joita kulutetaan tuhojen korjaamiseen. Vuonna 2017 trooppisten myrskyjen aiheuttamat globaalit tappiot olivat yhteensä 258 miljardia euroa. [8.]

Ilmastonmuutoksen ennustetaan jatkavan nousuaan, vaikka sitä yritettäisiinkin hidastaa. Tämä johtuu siitä, että valtameret toimivat ilmastojärjestelmässä valtavana lämpöakustoina ja varastoivat lämpöä. Useat maat ja kaupungit pyrkivät kuitenkin tekemään oman osuutensa ilmastonlämpenemisen hidastamisessa. Energiantuotannon päästöjä voidaan vähentää lisäämällä uusiutuvan energian osuutta, parantamalla tuotannon ja energian siirron tehokkuutta sekä vähentämällä energiankulutusta. [9; 10.]

Trends in Renewable Energy (Electricity Generation)



Kuva 3. Aurinkoenergian kehitys 2000–2015 [11.]

Vuonna 2016 maailmassa kulutettiin yli 150 000 terawattituntia primäärienergiaa. Määrä vastaa 13 miljardia öljytonnia. Tästä kaikesta energiasta öljyllä oli tuotettu kolmannes ja hiukan alle 30 % kivihieillä. Uusiutuvien energiamuotojen osuus oli pieni, tuuli- ja aurinkoenergiaa oli kulutettu yhteensä alle yksi prosentti. Kun tarkastellaan kasvulukujen kasvua, tilanne on parempi. Kuvassa 3 on kuvattu aurinkoenergian tuottoa vuosina 200–2015 ja vuodesta 2005 aurinkoenergian tuotto on kasvanut 50,7 % vuosittain. Samalla aikavälillä maailman energiankulutus on kasvanut keskimäärin 1,8 % vuodessa. [11.]

Aurinkoenergian tuotanto on lisääntynyt viimeisen kahden vuosikymmenen aikana lähes 200-kertaiseksi. Maailmassa onkin olemassa kaikki ratkaisut ja riittävä teknologia siihen, että maailman tarvitsema koko energiamäärä voitaisiin tuottaa uusiutuvilla energianlähteillä jo vuonna 2050. [12.]

Uusiutuva energia Suomessa

Euroopan unionikin on määrännyt jäsenmailleen päästövähennysvelvoitteita. Euroopan unionin jäsenmaat ovat laatineet kansallisia ilmasto- ja energiastrategioita, joilla ne pyrkii saavuttamaan nämä tavoitteet. Suomen keskeisimmät päästövähennystavoitteita ovat:

- Vuoteen 2020 mennessä päästöjen vähentäminen, uusiutuvan energian lisääminen ja energiatehokkuuden parantaminen 20 %:lla vuoden 2005 vertailutasosta.
- Vuoteen 2050 mennessä päästöjen leikkaaminen vähintään 80 % vuoden 1990 vertailutasosta.

Lisäksi kaupungeilla on omia tavoitteita kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi. Helsingin kaupungin tavoitteena on olla kokonaan hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Tämä tarkoittaa siirtymistä pääosin uusiutuvaan energiaan ja jäljelle jääneiden päästöjen kompensointia ja hiilidioksidin talteen ottamista. [10; 12.]

Suomessa edistetään uusiutuvaa energiaa myös taloudellisten tukien avulla. Työ- ja elinkeinoministeriö sekä valtion vienninedistämisenorganisaatio ja innovaatiokeskus Business Finland myöntävät uusiutuvan energian investointeihin tukea yrityksille ja yhteisöille, kuten kunnille, seurakunnille ja säätiöille. Tuella yritetään edistää uusiutuvan energian tuottoa ja käyttöä sekä kannustaa energian säästämistä. Aurinkosähköhankkeille tukea myönnetään 20 % niiden investointikustannuksista. [14.]

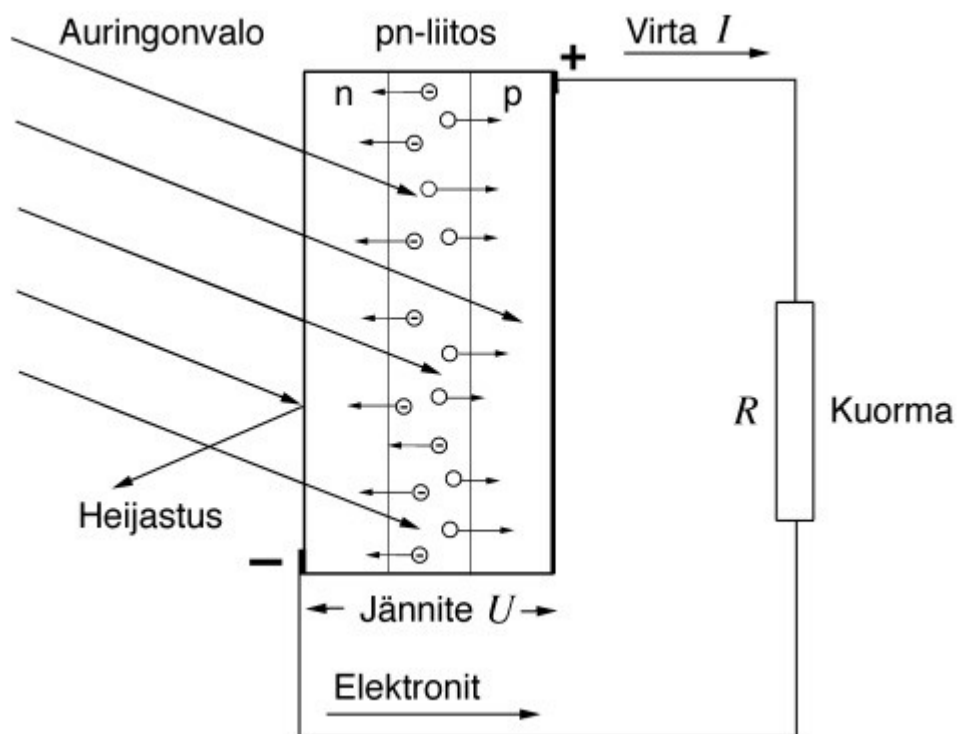
3 Aurinkosähköjärjestelmä

3.1 Järjestelmän toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu tyypillisesti aurinkopaneeleista, kiinnitysjärjestelmästä, invertteristä, johdotuksista ja mahdollisesti akustosta. Sähköverkkoon kytkettyyn aurinkosähköjärjestelmään ei yleensä kytketä akkuja, koska ne ovat vielä tänä päivänä kalliita, eikä niillä toistaiseksi saavuteta merkittäviä hyötyjä. Lisäksi paikallisakkuja käytäessä ja akkujen varastoisissa on noudatettava ylimääräistä standardia SFS-EN IEC 62485–2:2018. Standardin mukaisen, mahdollisesti erinäisen akutilan rakentaminen voi

myös lisätä rakennuskustannuksia. Energian hinnan noustessa ja tekniikan kehittyessä erilaiset akustoratkaisut tulevat varmasti lisääntymään, sekä akkujen hinnat laskemaan. [13; 15.]

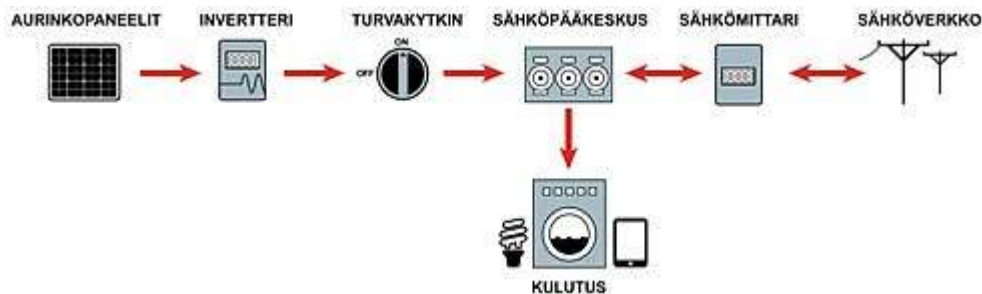
Aurinkopaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän osa, joka muuttaa auringon säteilyn sähköksi. Auringonvalon fotonit osuvat aurinkopaneeliin ja yhdistyvät paneelin puolijohdemateriaaliin, joka on yleensä piitä. Fotonien energia siirtyy atomeihin ja saa puolijohdeen irrottamaan elektroneita atomeistaan. Tällöin elektronit pääsevät vapaasti virtaamaan, mutta paneelin rakenteen vuoksi vain tiettyyn suuntaan. Tämän takia elektronien on kuljettava ulkoisen virtapiirin kautta, jolloin syntyy sähköä. Aurinkopaneelin toimintaa on kuvattu kuvassa 4. [16.]



Kuva 4. Aurinkopaneelin toimintaperiaate [18.].

Paneeleita on useita erilaisia, mutta noin 90 % myynnissä olevista paneeleista on yksikide- tai monikidepiipaneeleja. Yksikidepaneelien hyötysuhde on noin 15–20 prosenttia,

mutta ovat kalliimpia ja herkempiä lialle ja varjostumille. Monikidepaneelien hyötysuhde on 13–16 prosenttia, mutta niiden koko on helpommin muokattavissa ja paneelin pinta-ala on kokonaan katettavissa, koska monikidepaneelin pii on sulatettu ja kiteytetty haluttuun muotoon. [17; 13.]



Kuva 5. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä [17]

Aurinkopaneelit asennetaan haluttuun pintaan erilaisilla kiinnitysjärjestelmillä. Jokaiselle katto- ja seinätyypille on oma järjestelmänsä ja ne voidaan asentaa, joko kiinteästi tai ns. kelluvana järjestelmänä tekemättä pintaan reikiä. [15.]

Kuvassa 5 on esitetty tavallinen aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaate. Aurinkopaneelilta tuleva tasavirta kulkee johdotuksia pitkin invertterille, joka muuntaa sähköä vaihtovirraksi ja varmistaa, että paneeleista saadaan käyttöön mahdollisimman suuri teho. Invertteriä joudutaan toisinaan huoltamaan, sekä tavallisesti ainakin kerran uusimaan paneelien elinkaaren aikana. Inverttereille myönnetyt takuut ovat 2–20 vuotta riippuen laitetoimittajasta. [15.]

Invertteriltä sähkö syötetään sähkökeskukseen, joka kannattaa valita ympärivuotisen käytön mukaan, jotta aurinkosähkölle on mahdollisimman tasaisesti kuormaa ympärivuoden ja hetkittäisiltä ylimitoituksilta vältytään. Usein tähän tarkoitukseen sopiva keskus on IV-konehuoneen keskus tai sähköpääkeskus. Kuvassa 6 on esimerkki erään kohteen inverttereiden, turvakytkimien ja aurinkosähkökeskuksen asennuksesta. [18.]



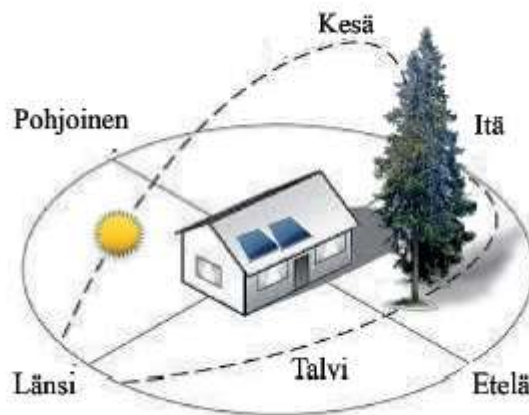
Kuva 6. Aurinkosähköjärjestelmän osakokoonpano.

3.2 Asennustapojen ja olosuhteiden vaikutukset

Aurinkosähköjärjestelmän tuottoon vaikuttavat olennaisesti paneelien varjostukset, kallistuskulmat, suuntaus ja paneelien lämpötila. Nämä ovat tärkeitä tietoja, joita tulee huomioida jo suunnitteluvaiheessa järjestelmää kartoitettaessa. Esimerkiksi pienikin toisen paneelin luoma varjostus voi heikentää vuosituotantoa olennaisesti. [13.]

Yleensä pelkästään paneelien kallistuskulmaa muuttamalla pystytään optimoimaan järjestelmän tuotanto kohteen energiakulutukseen sopivaksi, jolloin vuosituotanto pysyy lähes samalla tasolla, mutta tuotannon vuosijakauma muuttuu tasaisemmaksi. Toisin sanottuna, jos sähköntarve on suurempi talvella, voidaan paneelit asentaa suurempaan

asennuskulmaan etelän puolelle, josta aurinko liikkuu talven aikaan. Auringon radan vaihtelun vaikutuksia on hahmotettu kuvassa 7. [13.]



Kuva 7. Auringon radan vaihtelu eri vuodenaikoina. [12]

Vaikeinta näiden suuntausten ja asennustapojen arvioinnista tekee eri tekijöiden vaikutusten yhteensovittaminen. On jopa mahdollista, että näennäisesti heikommalla suuntauksella saavutetaan suuremmat vuosituotot varjostuksista huolimatta. [13.]

Aurinkosähköjärjestelmän suuntauskulma, atsimuutti, eli poikkeama etelän suunnasta ilmoitetaan asteina. 0° tarkoittaa etelään, -90° itään ja $+90^\circ$ länteen [13].

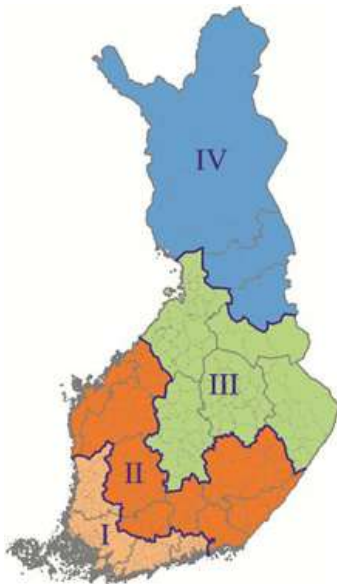
Aurinkopaneelien kallistuskulma tarkoittaa kulmaa, johon paneelit asennetaan. Kallistus kulma 0° tarkoittaa, että paneelit makaavat vaakatasossa ja 90° vastaavasti, että paneelit ovat pystysuorassa. Paneelien kallistuskulma vaikuttaa suurelta osin vuosituotannon jakautumiseen. Vuosituotanto alkaa heiketä merkittävästi vasta, kun paneelit asennetaan alle 30 asteen kulmaan tai yli 60 asteen kulmaan. Kuvassa 8 on esitetty kallistuskulman ja suuntauksen vaikutukset. Paneelien kallistuskulma vaikuttaa myös asennusetäisyyteen. Pystymässä olevat paneelit varjostavat takana olevia paneeleita enemmän, joka tulee huomioida järjestelmää mitoittaessa. Varjostuksien suuri vaikutus johtuu paneelien sisäisistä kytkennöistä ja paneelien sarjaan kytkemisestä. Tietyin päin oleva pienikin varjo voi pahimmassa tapauksessa lakkauttaa koko ketjun tuotannon.

	länsi						Etelä						itään	
	270°	255°	240°	225°	210°	195°	180°	165°	150°	135°	120°	105°		90°
Katon kaltevuus (°)	0°	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%	83%
10°	82%	84%	86%	88%	89%	90%	90%	90%	89%	88%	86%	84%	82%	
20°	81%	85%	89%	92%	94%	95%	95%	95%	94%	92%	89%	85%	81%	
30°	80%	86%	90%	94%	97%	98%	99%	98%	97%	94%	90%	86%	80%	
40°	78%	85%	90%	94%	97%	99%	100%	99%	97%	94%	90%	85%	78%	
50°	75%	82%	88%	93%	96%	98%	99%	98%	96%	93%	88%	82%	75%	
60°	71%	79%	85%	90%	93%	95%	96%	95%	93%	90%	85%	79%	71%	
70°	66%	73%	80%	85%	88%	90%	91%	90%	88%	85%	80%	73%	66%	
80°	60%	67%	73%	78%	81%	83%	83%	83%	81%	78%	73%	67%	60%	
90°	53%	60%	65%	69%	72%	74%	74%	74%	72%	69%	65%	60%	53%	

Kuva 8. Kallistuskulman ja ilmansuunnan vaikutus sähköntuotantoon. [19].

Aurinkopaneelien sähköntuotannon määrään vaikuttaa myös paneelien lämpötila. Paneelien lämpötila voi kohota kuumassa ympäristön lämpötilassa jopa 70 °C:seen. Paneelien standardoitu testilämpötila on 25 °C, ja siitä jo parin asteen lämpötilan nousu heikentää tuotantoa noin prosentilla. Lämpötilan vaikutus vaihtelee eri paneelityypeillä, mutta heikosti tuulettuvissa asennusaloissa energiantuotto voi pudota jopa 30 % lämpötilan takia. Tästä syystä Suomi sopii erinomaisesti aurinkopaneelien asennukseen viileän ilmaston vuoksi. [13.]

Aurinkosähköjärjestelmän tuottoon vaikuttaa asennusteknisten asioiden lisäksi asennuspaikan sijainnissa saatavan auringonsäteilyenergian määrä. Suomi on jaettu neljään lämpötilavyöhykkeeseen, joista kahdelle eteläisimmälle käytetään samoja arvoja, koska keskinäiset erot ovat pieniä. Kartta kyseisistä alueista on esitetty kuvassa 9.



Kuva 9. Suomen lämpötilavyöhykkeet. [20.]

Aluejaon perusteella saa tietoja auringon kokonaissäteilyenergiasta. Suomen maantieteellisestä sijainnista johtuen vuotuinen säteilyn määrä vaihtelee suuresti keskiarvon ollessa Etelä-Suomessa n. 980 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa n. 750 kWh/m². [21.]

Pohjoisesta sijainnista huolimatta Suomen aurinkosähköpotentiaali on suuri. Esimerkiksi Lappeenrannassa ja Frankfurtissa aurinkoenergiaa voidaan tuottaa yhtä paljon, koska paneeleja ei Suomessa yleensä asenneta vaakasuoraan, vaan ne kallistetaan Etelään päin hyödynnettävän säteilymäärän optimoimiseksi. Pohjoisen sijainnin vuoksi vuosittainen säteilymäärä painottuu kevästä syksyyn ja kylmemmästä säästä saadaan hyötyä paneelien lämpötilan tasaamiseen. [22.]

3.3 Järjestelmän hankintaperusteet

Aurinkosähköjärjestelmän hankintaan vaikuttavia syitä on useita. Usein ensimmäinen hankintaan vaikuttava kriteeri on järjestelmän hinta ja siitä saatava rahallinen tuotto. Auringosta hyödynnetty energia on ilmaista ja Finsolarin johtajan Karoliina Auvisen mukaan oikein mitoitettu järjestelmä maksaa itsensä takaisin 18–25 vuodessa. Järjestelmien käyttöikä voi olla jopa 40 vuotta, joten puolet elinkaaren tuotoista voi tulla suoraan järjestelmän haltijalle. [23.]

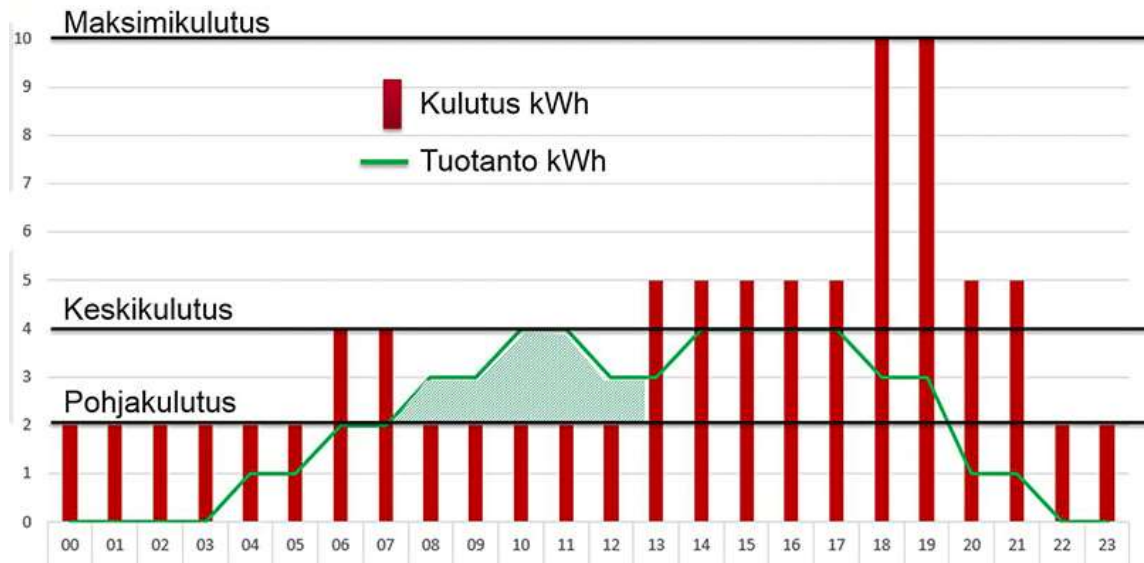
Taloudellisen näkökulman lisäksi aurinkosähköjärjestelmän hankinnalla voi vaikuttaa osaltaan ekologisuuteen ja auttaa ilmaston lämpenemisen torjunnassa. Lisäksi aurinkopaneelijärjestelmä on huomiota kiinnittävä osa rakennusta ja uusi teknologia kiinnostaa ihmisiä. Tyylikkäästi rakennettu aurinkopaneelisto nostaa kiinteistön arvoa ja rakennuksen imagoa. [24.]

3.4 Järjestelmän mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmän merkittävin taloudellisen mitoituksen ohjenuora on mitoittaa järjestelmä siten, että se kattaa kohteen oman sähkönkulutuksen. Sähkön myynnistä saatava korvaus ei tällä hetkellä, eikä lähitulevaisuudessa ole sillä tasolla, että järjes-

telmä kannattaisi ylivoimaisesti. Usein suuremmissa kiinteistöissä on omat kattavat sähkömittaukset ja useat verkkoyhtiöt tarjoavat tuntikohtaisia sähkön käyttötietoja, joiden perusteella aurinkosähköjärjestelmän mitoitus on helppo tehdä. [25.]

Kuvassa 10 on esitetty tuntikohtainen esimerkki aurinkosähköjärjestelmän mitoituksesta siten, että ylituotanto on pyritty minimoimaan, mutta kuitenkin siten, että aurinkosähköä on mahdollisimman paljon saatavilla.



Kuva 10. Esimerkki aurinkosähköjärjestelmän tuotannosta ja kulutuksesta [25.]

Mitoituksessa on siis syytä arvioida, kuinka suuri kulutus kohteessa on auringonpaisteen aikana. Esimerkiksi kohteet, joissa on paljon jäähdytettävää, kuten kaupat, hyötyvät suuresta aurinkosähköjärjestelmästä helposti kulutuksen ollessa korkeinta kesäaikaan. [25.]

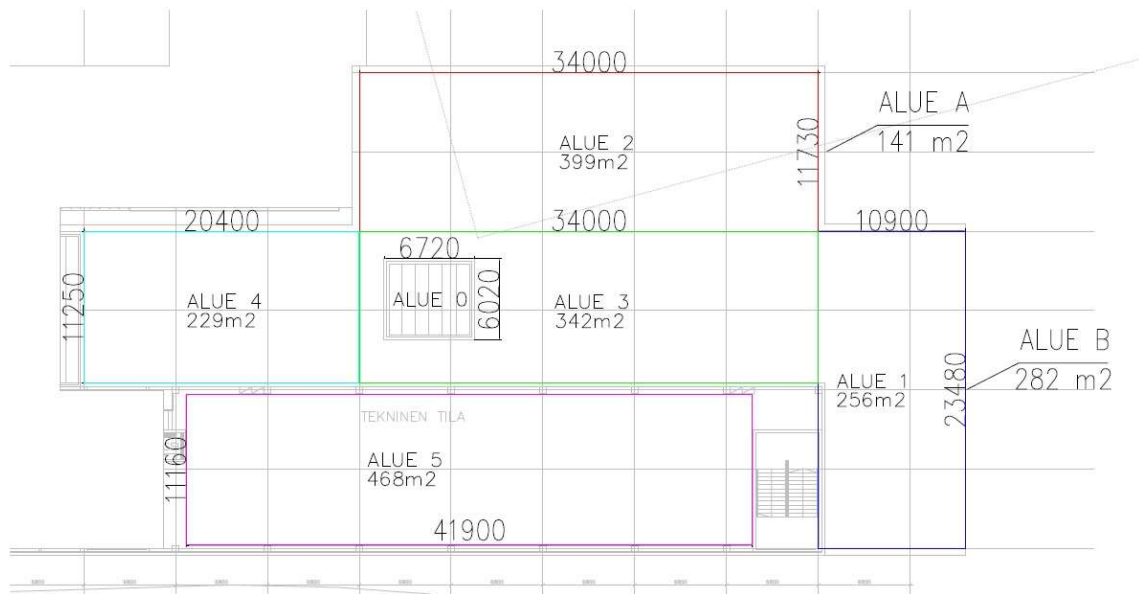
4 Aurinkosähköjärjestelmän kartoitus

4.1 Kohdetiedot

Tämän opinnäytetyön kohteena on Helsinkiin rakennettava monitoimirakennus, jonka tarkempaa käyttötarkoitusta tai sijaintia ei voida tässä vaiheessa suunnitteluprojektia paljastaa. Kohde on viisikerroksinen rakennus, jossa bruttoalaa on yhteensä 11 087 neliötä.

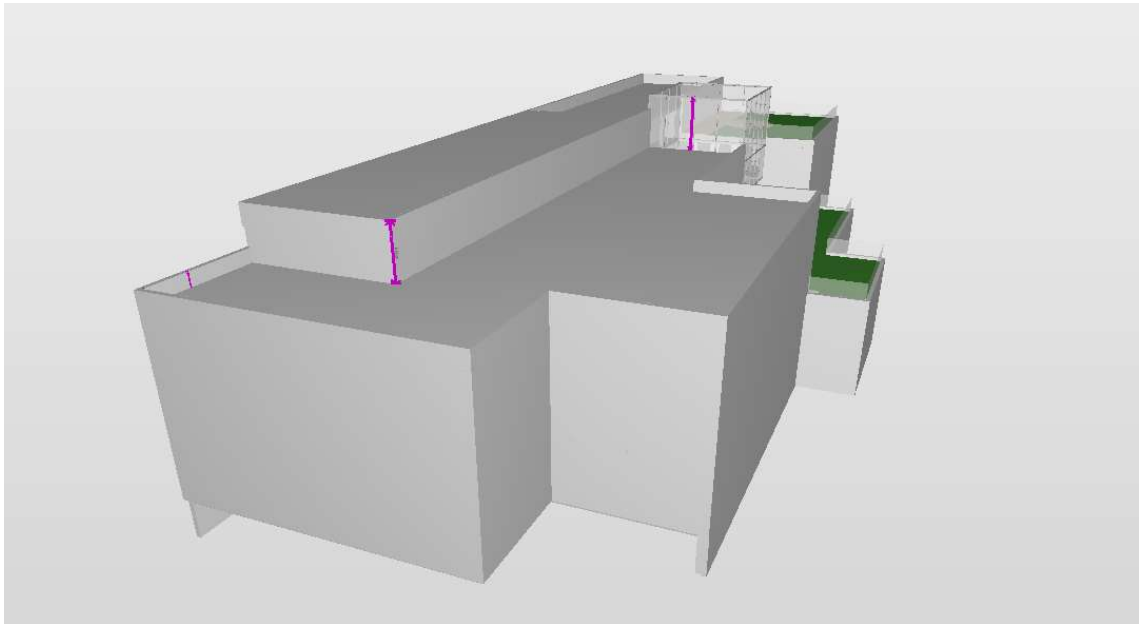
Lähtötietojen perusteella voidaan olettaa, että kiinteistön sähkönkulutus jakautuu tasaisesti vuoden ympäri lukuun ottamatta kesää, jolloin kohteen käyttöaste on pienempi.

Kohteen katolta ja etelän puoleisilta seiniltä on varattu tilaa aurinkopaneeleille, ja ne on esitetty kuvassa 11 asennusalueisiin jaettuna.



Kuva 11. Aurinkopaneelien asennuspinta-alat.

Kattoalueet 1–5 ovat vapaasti käytettävissä asennuksiin. Alue 0 ei ole käytössä. Lisäksi etelän puoleiset seinäalueet A ja B ovat tarpeen mukaan käytettävissä, mutta näkyvyys ikkunoiden läpi on säilyttävä. Käytettävissä olevaa asennuspinta-alaa on katolla 1 226 m² ja seinillä 423 m². Alue 5 on teknisen tilan katto, joka on muuta kattopinta-alaa 4,5 metriä korkeammalla ja luo varjostuksia muille alueille auringon paistaessa lännestä. Lisäksi alueen 4 pohjoispuolella on lasinen rakennelma, joka estää pohjoisesta tulevaa säteilyä. Rakennuksesta tehty tietomallinnus on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Kohteen tietomallinnus ja varjostavat alueet.

4.2 Vaatimusmäärittely

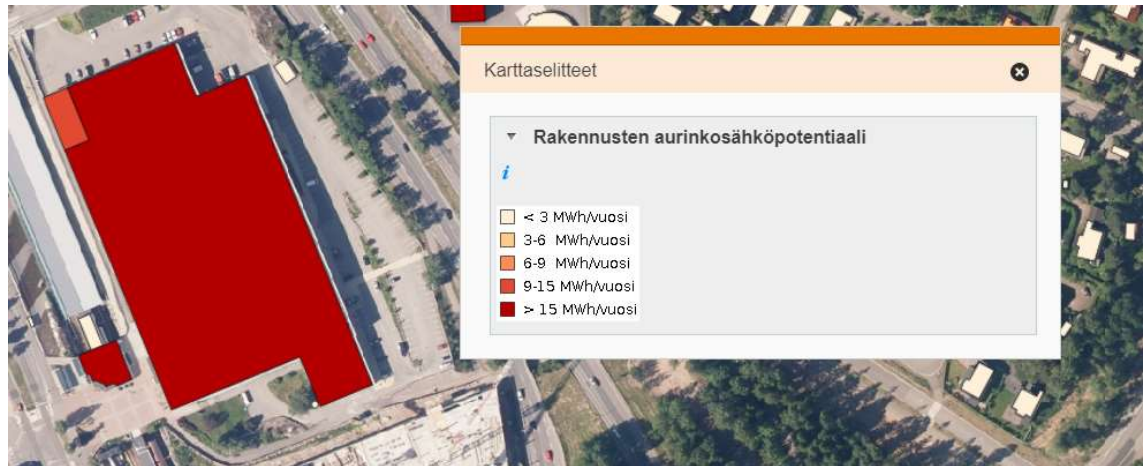
Kohteeseen on päätetty aurinkosähköjärjestelmän rakentamisesta Helsingin kaupungin strategisten tavoitteiden mukaan. Järjestelmä tulee edistämään Helsingin siirtymistä hiilineutraaliksi vuoteen 2035 mennessä. Helsingin kaupungin tavoitteena on tuottaa palvelurakennuksien energiatarpeesta 10 % uusiutuvalla energialla. [26.]

Aurinkosähköjärjestelmän lisäksi kohteeseen on suunniteltu myös muita ekologisia ratkaisuja, kuten pientuulivoimalaa, mutta suunnittelu on vielä työn alla. Kohteelta edellytetään RTS-ympäristöluokitusta ja teknisten ekologisten ratkaisujen lisäksi kohteeseen on tulossa myös viherkattoja. Lopullisista toteutusvaihtoehdoista tullaan tekemään hiilijalanjälki ja elinkaarikustannuslaskelmat. Kohteen tehohuipun sijoitettua talviaikaan on tekniset järjestelmät mitoitettava rakennuksen pohjakuormalle. [26.]

4.3 Kohteen aurinkosähköpotentiaali

Aurinkosähköjärjestelmän kartoitus aloitettiin tarkastamalla kohteen aurinkosähköpotentiaali Helsingin kaupungin karttapalvelun avulla. Kuvassa 13 on rakennusteknisesti ja

sijainnillisesti vastaavan kohteen selvitys, josta huomataan, että potentiaalia aurinkosähkön keräämiseen on yli 15 MWh:n vuosituotolle. Karttapalvelun perusteella voidaan myös todeta, että aurinkosähköjärjestelmä on kannattavaa asentaa, eikä korkeita rakennuksia tai varjostuksia ole järjestelmän asentamisen esteenä.



Kuva 13. Rakennuksen aurinkosähköpotentiaali.

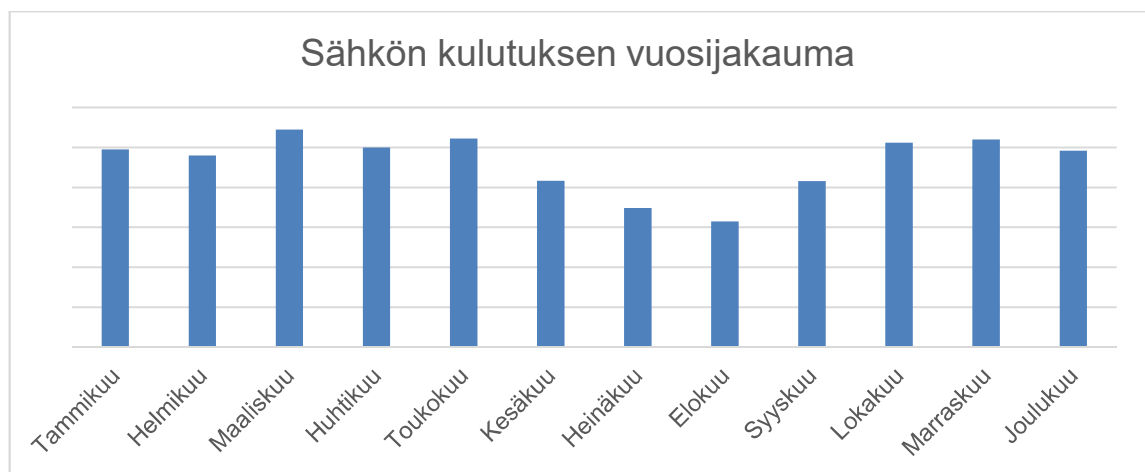
Seuraavaksi tarkasteltiin käytössä olevan asennuspinta-alan avulla saatavissa olevan aurinkosähkön määrää. Tarkastelua varten luotiin Excel – taulukko, johon syötetään halutun esimerkkipaneelin pituus, leveys ja paino sekä haluttu asennuskulma ja auringonsäteilyn tulokulman keskiarvo. Lopputuloksena saadaan paneelien käyttämä pinta-ala, sekä vaadittava asennusetäisyys toisistaan siten, että paneelit eivät varjosta toisiaan. Lisäksi laskelmaan voidaan syöttää käytettävissä olevan asennusalueen pinta-ala, jolloin taulukko laskee asennettavien paneelien maksimimäärän. Taulukko ottaa myös huomioon katon reunoihin jätettävän 1,5 metrin tyhjän tilan, joka tulee huomioida asennusvaiheessa. [27; 28.]

Laskennassa käytettiin Naps Solarin 290 W:n paneelia. Todettiin, että kaikella kohteessa käytössä olevalla katto pinta-alalla paneeleita saadaan asennettua jopa 800 kappaletta. Esimerkkipaneelin tiedoilla tämä vastaisi noin 232 kWp:n aurinkosähköjärjestelmää. Painokuormaa kyseisistä paneeleista katolle syntyisi 14 400 kg.

4.4 Kohteen huipputeholaskelma ja kulutusjakauma

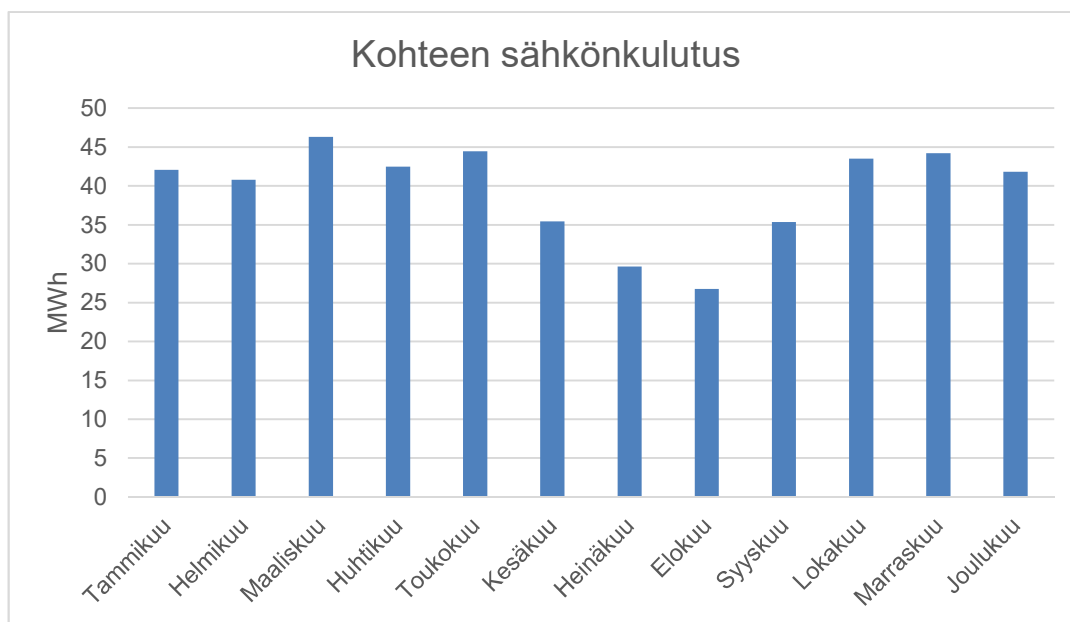
Järjestelmän potentiaalin ja suuruusluokan tarkastelun jälkeen selvitettiin rakennuksen huipputeho ja kulutusjakauma. Teholaskelmat ovat tietojen rajallisuuden vuoksi vielä tässä suunnittelun vaiheessa vaikea arvioida. Kartoitus laadittiin kuormatyyppikohtaisesti käyttäen pääosin pinta-alojen ja tilatyyppien mukaan arvioituja neliötehoja. Rakennuksen pinta-alat laskettiin kerroskohtaisesti ja jaettiin tilatyyppittäin kuuteen eri tilaprofiiliin. Tämän jälkeen arvioitiin kohteen kulutusta käyttäen samanaikaisuus kertoimia. Laskelman apuna käytettiin Stacon Oy:n luomaa taulukkopohjaa, johon tilat jaoteltiin kategoriittain ja lopputulemana saatiin rakennuksen huipputeho. LVI kuormien suuruuden arviointiin apua saatiin LVI-suunnittelijalta, joka joutui myös vielä tässä vaiheessa osaksi arvioimaan ilmanvaihtokoneiden vaatimia tehoja [29.].

Saadun huipputehon avulla pystyttiin hahmottelemaan kohteen sähkönkulutuksen vuosijakaumaa. Jakautumisen arviointiin käytettiin avuksi vastaavan rakennuksen sähkönkulutustietoja, jotka saatiin Helsingin kaupungin edustajalta.



Kuva 14. Sähkönkulutuksen vuosijakauma referenssikohteessa. [30.]

Referenssikohteeksi valikoitui käyttötarkoitukseltaan vastaavanlainen rakennus, jonka sähkönkulutuksen vuosijakauma vastaa kohteemme vuosijakaumaa. Vuosijakauma on esitetty kuvassa 14 ja sen perusteella voidaan laskea kohteen karkea sähkönkulutus kuukausittain. Kohteen kuukausittainen sähkön kulutus on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. Kohteen sähkönkulutus pinta-alan perusteella laskettuna.

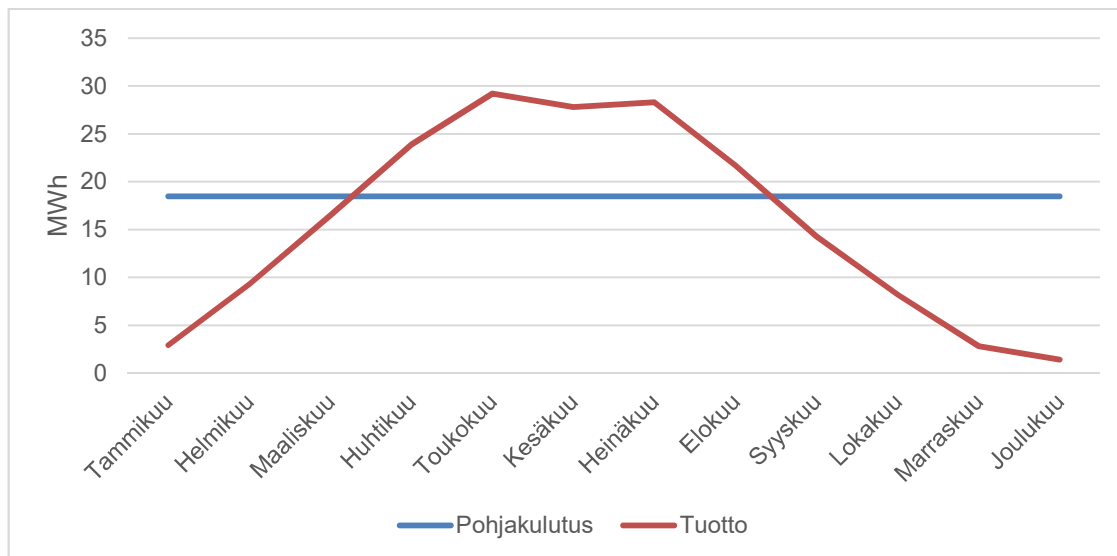
Kohteen huippuhetkinen sähkön kulutus olisi neliöperusteisen arvion mukaan noin 46 000 kWh. Huipputeholaskelman mukaan rakennuksen huipputeho on noin 1178 kW. Uudehkoissa julkisissa rakennuksissa sähkönkulutuksen voidaan olettaa olevan noin 40 kWh/m² ja siitä ympärivuotisen pohjakuorman osuuden olevan noin 20 kWh/m² [31.].

Paneeliston teho (kWp)	Sähkön tuotanto (kWh)
20	16000
25	20000
35	28000

Taulukko 1. Aurinkopaneeliston tuotto vuodessa [32.]

Taulukon 1 mukaan 1 kWp:n sähköpaneeliston teholla saadaan tuotettua 800 kWh sähköä vuodessa. Esimerkkipaneelien tietojen ja laskelman mukaisella 232 kWp:n järjestelmällä tämä tarkoittaisi 185 600 kWh:n tuotantoa vuodessa.

Kun lasketaan kohteen neliöperusteinen pohjakuorma, saadaan vuosittaiseksi pohjakulutukseksi 221 740 kWh. Kuukausittainen pohjakulutus olisi tällöin 18,478 kWh.



Kuva 16. Kuukausittainen sähköntuotanto pohjakulutukseen verrattuna.

Euroopan komission ylläpitämällä PVGIS-laskurilla saatiin laskettua kohteen sijainnin ja aurinkopaneeliston tehon avulla kuukausittaiset tuottoarviot. Kuvassa 16 on kuvattu kuukausittaisia tuottoarvioita pohjakulutukseen ja huomataan, että 232 kWp:n järjestelmä tuottaa kesäkuukausina noin 30 % yli pohjakulutuksen. Lopullisen mitoitettavan järjestelmän kannattaisi siis olla hieman tätä pienempi, jättäen samalla varjostetut alueet tyhjiksi asennuksista nostaten järjestelmän hyötysuhdetta.

4.5 Järjestelmätarjoukset

Kohteen sähkönkulutuksen ja käytössä olevien asennuspinta-alojen perusteella kilpailutettiin järjestelmiä ja kartoitettiin järjestelmän budjettihintaa. Lopullisia järjestelmätarjouksia saatiin kahdelta järjestelmätoimittajalta, joiden perusteella tehdään vertailua ja kartoitetaan hankintakustannuksia ja sähköntuottokapasiteettia sekä ilmoitetaan kohteen rakennesuunnittelijalle asennuksista koituvat painokuormat.

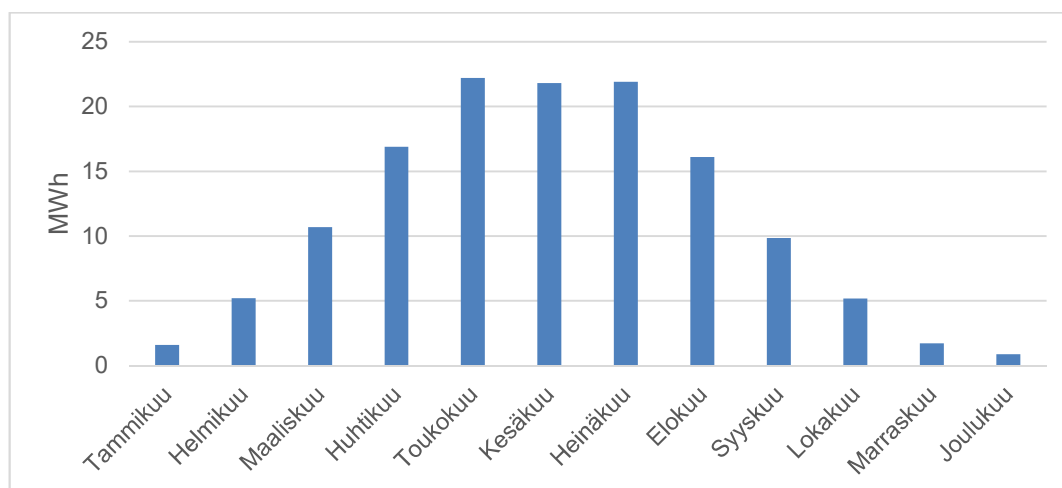
Ensimmäisen tarjouksen antoi Aii Energy Systems, joka on Helsingissä toimiva avaimet käteen -tyyppinen järjestelmätoimittaja. Aii on toimittanut 50–900 kWp aurinkosähköjärjestelmiä ympäri Suomea. Käytetyt tuotteet ovat Euroopassa valmistettuja ja toimitukseen sisältyy myös asiakasportaali, jonka avulla loppukäyttäjä pystyy tarkkailemaan kokonaistuottoa esimerkiksi tuntitasolla. [33.]

Järjestelmäksi valikoitui 150 kWp:n järjestelmä, jonka järjestelmätoimittajan arvioima tuotto on 135,3 MWh vuodessa. Käytetty paneeli on Trina Solarin valmistama TSM-PD05, 280 Wp:n monikidepaneeli. Paneelin maksimihyötysuhde on 17,1 %, joka on monikidepaneelille erinomainen [13; 17]. Paneelien ennustettu ikääntymisestä aiheutuva tuotannon vuotuinen vähenemä on 0,5 %. Paneelit asennetaan etelään päin suunnattuna kelluvalla asennusjärjestelmällä 15 asteen kallistuskulmaan.

Invertterinä järjestelmässä on Schneider Electricin Conext CL-60, joka on 66 kW:n invertteri >97 % hyötysuhteella. Takuuta invertterille myönnetään viisi vuotta. Invertterissä on automaattinen irtikytkentä mahdollisen verkkovian tapahtuessa.

Lisäksi järjestelmässä on sisäänrakennettuna suojaus ja toiminnan ohjaus varjostuksien hallintaan. Joka kolmannessa paneelin yksikössä on suojauspiiri, joka ohitusdiodien avulla säätelee varjostuksen sattuessa käytössä olevien paneelien määrää.

Kuvassa 17 on PVGIS-laskurilla laskettuna järjestelmän arvioitu tuotto kuukausittain.



Kuva 17. Aii Systemsin järjestelmän tuottoarvio PVGIS-laskurilla

Järjestelmätoimittaja ei ilmoittanut tarjoukseen sisältyvien paneelien lukumäärää, joten luodun paneelilaskelmataulukon avulla laskettiin järjestelmään kuuluvien paneelien määrä ja paneelien vaatima asennuspinta-ala. Paneelien määräksi saatiin 535 kappaletta.

Yksittäisen paneelin vaatima pinta-ala asennettuna saatiin paneelien kokotietojen ja kallistuskulman perusteella laskettuna. Paneelin vaatimaan pinta-alaan lisättiin paneelien väleihin jätettävä tyhjä alue, jotta vältetään paneelien luomilta varjostuksilta. Tällöin asennettavien koko järjestelmän paneeliston vaatima asennuspinta-ala on 1 150 m². Lopullisissa asennussuunnitelussa tulee huomioida myös muut katolla tilaa käyttävät asennukset, kuten kaivot ja puhaltimet, mutta niitä ei ole vielä hankesuunnitelmavaiheessa käytettävissä. Esimerkki tällaisista esteistä on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Paneelien asennuksia rajoittavat tekijät.

Tarjouksen mukaan paneelit asennetaan esitettyjen asennusalueiden mukaisesti tarjolla olevien liittytinpisteiden virtakestoisuuksien perusteella. Syötettäväksi keskuksiksi arvioidaan IV-konehuoneen keskusta sijaintinsa ja ympärivuotisen käytön perusteella. Tarkempia keskusvalintoja voidaan tehdä projektin edetessä, kun tarkempia tehotietoja ja keskuskohtaisia jakautumia saadaan selvitettyä.

Ensisijaisina asennusalueina on alueet 1, 2 ja 5, koska niihin ei aiheudu ylimääräisiä varjostuksia. Alueille 3 ja 4 asennetaan paneelit siten, että IV-konehuoneen itäpuolelle jää leveämpi tyhjä alue, jolloin korkeamman kattoalueen luomien varjostuksien vaikutukset saadaan minimoitua.

Asennettujen paneelien määrä jaettiin alueisiin ja ne on esitetty kuvassa 19. Tiedot paneelien luomista painokuormista toimitettiin rakennesuunnittelijalle, joka huomioi rasitteet katon lujuuslaskelmissa.



Kuva 19. Aurinkosähköjärjestelmän asennusjako

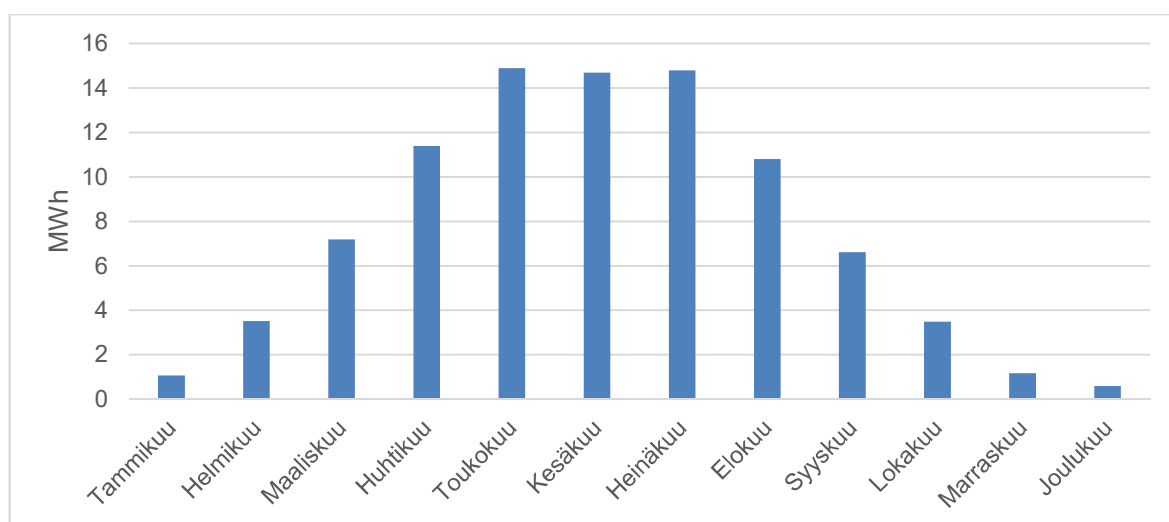
Aii Systemsin tarjouksen hinta oli 102 000 € (ALV 0 %), joka sisältää koko järjestelmän, suunnitteluineen ja käyttöönottoineen.

Toisen tarjouksen antoi Rexel Finland Oy. Rexel on ympäri Suomea toimiva sähköalan jakelija, jonka valikoimaan kuuluu tavallisten sähkömateriaalin lisäksi energiansäästöratkaisuja, sekä uusiutuvan energian ratkaisuja. Rexelillä on 35 myymälää ympäri Suomea ja ne ovat auki 24 tuntia vuorokaudessa. [34.]

Rexelin tarjoama järjestelmä oli 369 aurinkopaneelin kokonaisuus, jonka kokonaisteho on 101 kWp. Tarjoukseen sisältyvä paneeli oli Astronergyn toimittama Astro Halo 275 Wp monikristallipaneeli, jotka valmistetaan Malesiassa ja Saksassa. Paneelin hyötysuhde on 16,9 % ja vuotuinen vähenemä ensimmäisenä vuotena noin 2,5 %, jonka jälkeen noin 0,7 % vuodessa. Paneelin takuu on 10 vuotta, mutta tuotannon vähenemiselle myönnetään 25 vuoden takuu. Paneelit tullaan asentamaan Aii Systemsin tarjouksen tavoin 15 asteen kallistuskulmaan kelluvalla järjestelmällä.

Järjestelmän invertteriksi tarjottiin ABB:n PVS-100-TL, jonka teho on 100 kW. Invertterin takuuaikaa tai käyttöikää ei ole mainittu, mutta hyötysuhde on 98,4 %.

Järjestelmän tuotto laskettiin PVGIS-laskurilla, koska tarjoukseen ei tuottoarvioita sisällynyt. Arvioiduksi kokonaistuotoksi saadaan 90,3 MWh vuodessa. Kuvassa 20 on esitetty arvioitu kuukausikohtainen tuotanto.

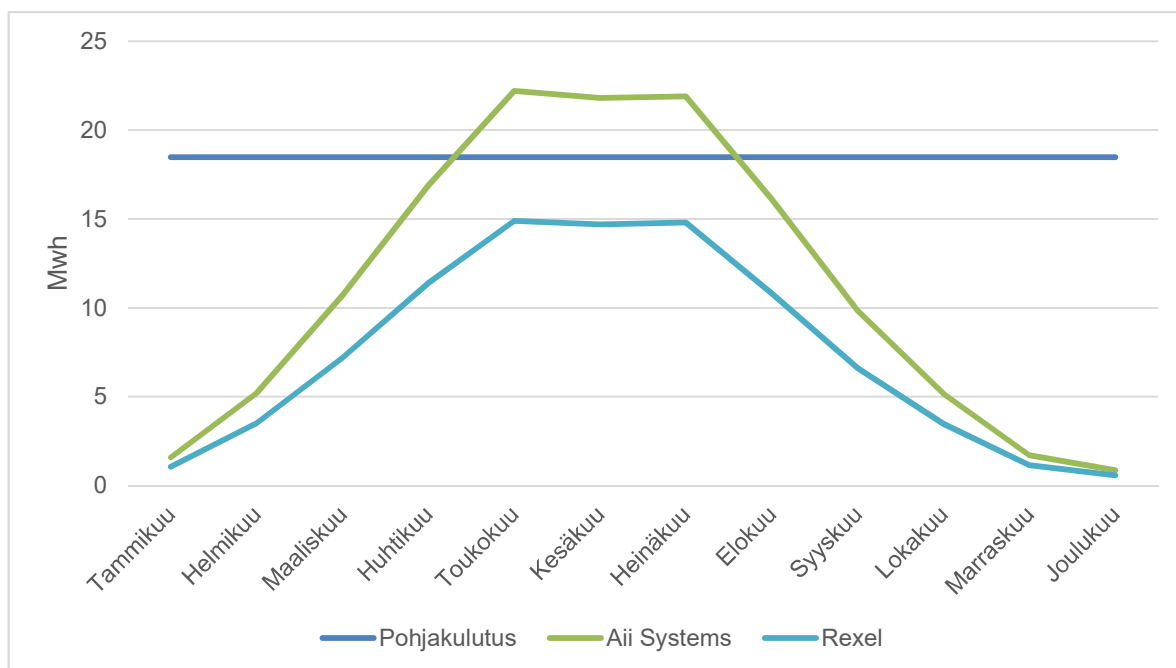


Kuva 20. Rexelin järjestelmän tuottoarvio PVGIS-laskurilla

Järjestelmän kokonaishinta on 51 192 € (ALV 0 %), joka sisältää pelkän laitteiston ilman asennustöitä tai käyttöönottoa.

4.6 Järjestelmien vertailu

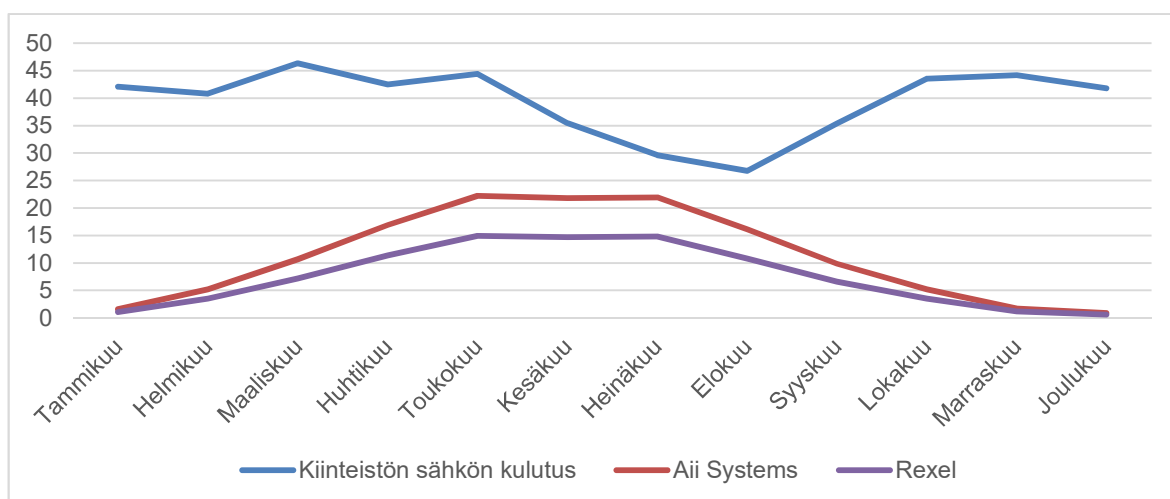
Kahden saadun tarjouksen tuottoarvioita verrailtiin ja verrattiin kiinteistön pohjakulutukseen.



Kuva 21. Järjestelmien tuotto verrattuna kiinteistön pohjakulutukseen

Kuvasta 21 huomataan, että Aii Systemsin tarjoaman 150 kWp:n järjestelmän tuotto ylittää kiinteistön pohjakulutuksen toukokuun ja elokuun välisenä aikana.

Kuitenkin, jos järjestelmien tuottoa verrataan arvioituun kiinteistön kokonaissähkönkulutukseen huomataan, että 150 kWp:n järjestelmä ei ylitä sähkön tarvetta minään kuukautena. Tämä huomataan kuvasta 22.



Kuva 22. Järjestelmien tuotanto kiinteistön kokonaiskulutukseen verrattuna

Tarjosten hinnat eivät ole keskenään tällaisenaan vertailukelpoisia, koska toinen tarjous sisältää myös asennuksen ja käyttöönoton. Lopullista hankintaa tehtäessä tulee miettiä, että halutaanko järjestelmä ja asennus ottaa samalta taholta, jolloin rakennusvaiheen aikaisen tiedonkulun ja mahdollisten korjaustöiden tekeminen helpottuu.

Aii Systemsin tarjoaman ”avaimet käteen” -tyyppisen tarjouksen taloudellista kannattavuutta laskettiin FinSolarin luoman laskurin avulla. Laskuriin syötettiin Helen Oy:n perussähkön hintatiedot ja laskelmien perusteella tuotetusta sähköstä oletetaan saatavan 95 % omaan käyttöön, sillä pohjakuorma ylitetään reilun kolmen kuukauden aikana. Liitteessä 1 on esitetty koko taulukko lähtötietoineen.

5 Yhteenveto

Erikokoisia aurinkosähköjärjestelmiä on saatavilla pienistä kesämökeille sopivista ratkaisuista suuriin satojen paneelien kokonaisuuksiin. Aurinkosähkö on helppo tapa pienentää omaa sähkölaskuaan, ja elinikänsä aikana aurinkosähköjärjestelmä on taloudellisesti tuottava ratkaisu.

Työssä tehdyn tutkimuksen ja järjestelmävertailun perusteella kohteeseen on kaikin puolin järkevää asentaa aurinkosähköjärjestelmä. Kiinteistön pohjakulutus on tämän hetkisten arvioiden mukaan noin 18 MWh kuukaudessa, joka tarkoittaa 2 600 € kuukausittaista

sähkölaskua ilman minkäänlaista rakennuksen käyttöä. Suunnittelun tässä vaiheessa tiedot ovat vielä vajanaisia ja tulokset perustuvat pitkälti neliömääräisiin arvioihin ja lopullista sähkönkulutusta voidaan mahdollisesti pienentää esimerkiksi älykkäillä valaistuksen ja ilmanvaihdon ohjauksilla. Kuitenkin, jos kiinteistössä tulee olemaan jonkinlaista käyttöä ympäri vuoden, voidaan aurinkosähköjärjestelmällä tuottaa 30 vuotisen elinkaaren aikana jopa 278 000 € vaatimatta sen suurempaa työtä.

Helsingin kaupungin tavoite tuottaa palvelurakennuksien energiatarpeesta 10 % uusiutuvalla energialla toteutuu kummallakin tarjotulla järjestelmällä. Aii Systemsin 150 kWp järjestelmän tuotto on 28 %, ja Rexelin tarjoaman 101 kWp:n järjestelmän tuotto on 19 % kiinteistön sähkön kulutuksesta. Aii Systemsin touko–kesäkuisen pohjakulutuksen ylitys on huomioitava järjestelmää hankkiessa, kun sähkönkulutustiedot ovat tarkempia ja rakennuksen kesäinen käyttöaste on selventynyt.

Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelon mukaan rakentamisen ja hankinnan edellyttämät suunnitelmat tehdään vasta toteutussuunnitteluvaiheessa, joten lopullista järjestelmävalintaa ei tässä suunnitteluvaiheessa ollutkaan tarkoitus tehdä. Tarjouksien rakenteiden eroavaisuuksien vuoksi hintavertailua on mahdoton tässä vaiheessa tehdä. Asiakas saa kuitenkin tietoonsa hintaluokan asennetun ja asentamattoman järjestelmän välillä, sekä suunnitelmien edetessä voidaan määrittää, halutaanko järjestelmä hankkia kokonaisuutena vai kilpailuttaa asennustyö eri tahoilla. Molemmat tarjotuista järjestelmistä oli tarjottu kelluvilla kiinnitystelineillä ja kohteen ollessa uudisrakennus on myös kiinteiden asennustelineiden asennus vartenotettava vaihtoehto, jota tulee miettiä suunnittelun edetessä.

Lähteet

- 1 Taloteknisen suunnittelun tehtäväluettelo TATE18. Rakennustieto Oy.
- 2 Sippola, Vesa. 2018. Dokumentteja eri työvaiheissa. Opetusmateriaali.
- 3 Energialähteet ennen ja nyt. 2003, Verkkoaineisto. Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu ja Motiva Oy. <http://elearn.ncp.fi/materiaali/kainulainens/energia-verkko/mista_energiaa/ennenjanyt.htm>. Luettu 15.3.2019.
- 4 Eikelenboom, Arjan. 2016. Solar Energy. How it started and where it's going. Verkkoaineisto. <<https://www.renewableenergyworld.com/ugc/articles/2016/01/solar-energy-how-it-started-and-where-its-going.html>>. Luettu 19.3.2019.
- 5 Global Temperature. 2019, Verkkoaineisto. NASA. <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>>. Luettu 21.3.2019.
- 6 Soininvaara, Osmo. 2019. Ilmaston lämpeneminen on kiihtymässä? Verkkoaineisto. <<http://www.soininvaara.fi/2019/01/01/ilmaston-lampeneminen-on-kiihtymassa/>>. Luettu 21.3.2019.
- 7 Lumipeitteen kesto aika. 2017, Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<http://ilmasto-opas.fi/fi/datat/vaikutukset#SykeDataPlace:vaikutukset>>. Luettu 21.3.2019.
- 8 Ilmastonmuutos maksaa kalliisti, 2018. Verkkoaineisto. Uusi uutiset. <<https://www.uusi uutiset.fi/ilmastonmuutos-maksaa-kalliisti/>>. Luettu 21.3.2019.
- 9 Maapallon ilmasto tulevaisuudessa, Verkkoaineisto. Ilmasto-opas.fi. <<https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/ilmio/-/artikkeli/6c5a9908-7033-47a8-9855-e745b4fa7604/maapallon-ilmasto-tulevaisuudessa.html>>. Luettu 21.3.2019.
- 10 Energiantuotanto Helsingissä, Verkkoaineisto. Stadin ilmasto. <<https://www.stadinilmasto.fi/energiantuotanto/>>. Luettu 21.3.2019.
- 11 Lampila, Jouko. 2018. Uusiutuvalla energialla on ehkä sittenkin toivoa. Verkkoaineisto. <<http://www.energiatalous.fi/?p=1957>>. Luettu 21.3.2019.
- 12 Usein kysytyt kysymykset. Verkkoaineisto. Ilmasto.org. <<http://ilmasto.org/ilmastonmuutos/usein-kysytyt-kysymykset>>. Luettu 21.3.2019
- 13 Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2017. ST-käsikirja 40. Espoo: Sähkötieto ry. Sähköinfo Oy.

- 14 Energiatuki. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/energiatuki/>>. Luettu 15.4.2019.
- 15 Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. Verkkosisältö. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>>. Luettu 25.3.2019
- 16 Aurinkopaneelit, verkkosisältö. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>>. Luettu 25.3.2019
- 17 Käpylehto, Janne. 2016. Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Helsinki, Into Kustannus Oy.
- 18 Seppänen, Teemu. 2019. Sähköinsinööri, Insinööritoimisto Stacon Oy, Helsinki. Keskustelu 4.4.2019.
- 19 Kuinka aurinkosähkö toimii? Verkkoaineisto. Rexel Oy. <<https://www.rexel.fi/Palvelut/Aurinkosahko/miten-aurinkosahko-toimii/>>. Luettu 29.3.2019.
- 20 <https://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>
- 21 Erat, Bruno; Erkkilä, Vesa; Nyman, Christer ym. 2008. Aurinko-opas – Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Aurinkoteknillinen Yhdistys ry.
- 22 Aurinkoenergian markkinat kasvuun Suomessa, 2016. Verkkoaineisto. Finsolar. <<https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/20264/isbn9789526067674.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Luettu 24.4.2019.
- 23 Huuhtanen, Pasi, 2018. Kannattaako aurinkopaneelien ostoa? Verkkoaineisto. <<https://www.helsingin uutiset.fi/artikkeli/604189-kannattaako-aurinkopaneelien-osto-nain-kauan-menee-etta-investointi-maksaa-itsensa>>. Luettu 18.4.2019.
- 24 Aurinkosähkö, miksi? Verkkoaineisto. Roaming Oy. <<https://www.roaming.fi/aurinkosahko-miksi/>>. Luettu 18.4.2019.
- 25 Orrberg, Matti. 2017. Aurinkosähköjärjestelmä kannattaa mitoittaa oikein. Verkkoaineisto. <http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/aurinkoenergia/fi_FI/aurinkosahkojarjestelman_mitoitus/>. Luettu 25.3.2019
- 26 Tapiala, Sara. 2019. Ympäristö ja energia-asiantuntija, Helsingin kaupunki, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 16.4.2019.
- 27 Aurinkopaneelit mökille. 2016, Verkkoaineisto. Finlumo. <<http://www.finlumo.fi/aurinkopaneelit-mokille/>>. Luettu 29.3.2019.

- 28 Sillanpää, Jouni. 2019. Myyntipäällikkö, Naps Solar Systems Oy, Helsinki. Puhelinkeskustelu. 20.3.2019.
- 29 Tikkala, Ossi. 2019. LVI-insinööri, Hepacon Oy, Helsinki. Puhelinkeskustelu 28.3.2019.
- 30 Toikka, Mika. 2019. Tekninen isännöitsijä, Helsingin kaupunki, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 18.4.2019.
- 31 Reinikainen, Erja. 2015. Granlund Oy, Verkkoaineisto. <https://www.taltek.fi/sites/default/files/file_attachments/finzeb-taustaraportti_5_laskentasaannot.pdf>. Luettu 26.4.2019 .
- 32 Puro, Vesa-Matti. Kysymyksiä aurinkosähköstä. Verkkoaineisto. <<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/kysymyksia/>>. Luettu 26.4.2019.
- 33 Virtainen, Riikka. 2019. Sales Manager, Aii Energy Systems, Helsinki. Sähköpostikeskustelu 3.4.2019.
- 34 Yritys. Rexel Finland Oy. Verkkoaineisto. <<https://www.rexel.fi/Yritys/>>. Luettu 26.4.2019.

Tiedot aurinkosähköjärjestelmän asennuskohteesta ja vertailukustannuksista:

Sähköenergian ostohinta	7,97	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	4,1	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	2,253	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	0 %	%
<i>Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön</i>	14,3	snt/kWh
Arvio vertailuhinnan noususta	0,2%	%/vuosi
Aurinkosähkön asennuskohteen (kiinteistö/ kiinteistöryhmä)	221740	kWh/v

Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä ja sen investointikustannuksista:

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	150,0	kWp
<i>Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m2</i>	1020	neliometriä
Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -	€102 000	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	680 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	20 %	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen</i>	81 600 €	euroa
Rahoituksen korko	1,0%	
Investoinnin tuottovaatimus	2,0%	
<i>Välitulos: Investoinnin laskentakorko</i>	3,0%	
Aurinkosähkön oman käytön osuus, %	93 %	
Aurinkosähkön myyntihinta verkkoon snt/kWh	0,0	snt/kWh
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista.	10 %	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut) %	0,1 %	
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	850	kWh/kWp
<i>Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa</i>	127500	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä	-0,5%	%

Aurinkosähkön tuotto- ja talouslaskelmat elinkaaren aikana:

Järjestelmän elinikä vuosina	Oman sähköntuotannon arvo ja myyntituotot €	Investointi- ja ylläpito-kustannukset €	Kassavirta €/v	Investoinnin sisäisiä korkokantoja % (IRR)	Investoinnin kumulatiivinen tuotto €/v (% korko)	Investoinnin nettonykykyarvoja (NPV) vaihtuilla laskentakorolla	Takaisinmaksuaika investoinnin laskentakorolla	Ostosähkön hinta [eur/kWh]	Myyntiin menevän ylijäämänsähkön hinta	Aurinkosähkön tuotanto kWh/v	Aurinkosähkön tuotantohinta LCDE [eur/kWh]
0	0,0 €	-81 600,0 €	-81 600					0,14 €		0	
1	16 983,5 €	-81,6 €	€16 902	-79,3%	-64 698 €	-63 292 €	1	0,14 €	0,00 €	127500	0,32 €
2	16 932,4 €	-81,6 €	€16 851	-43,0%	-47 847 €	-47 871 €	1	0,14 €	0,00 €	126863	0,32 €
3	16 881,4 €	-81,6 €	€16 800	-20,6%	-31 048 €	-32 944 €	1	0,14 €	0,00 €	126228	0,22 €
4	16 830,6 €	-81,6 €	€16 749	-7,3%	-14 299 €	-18 497 €	1	0,14 €	0,00 €	125597	0,16 €
5	16 779,9 €	-81,6 €	€16 698	1,0%	2 400 €	-4 512 €	1	0,14 €	0,00 €	124969	0,13 €
6	16 729,4 €	-81,6 €	€16 648	6,4%	19 048 €	9 024 €	0	0,14 €	0,00 €	124344	0,11 €
7	16 679,1 €	-81,6 €	€16 597	10,0%	35 645 €	22 126 €	0	0,14 €	0,00 €	123722	0,09 €
8	16 628,9 €	-81,6 €	€16 547	12,6%	52 192 €	34 809 €	0	0,15 €	0,00 €	123104	0,08 €
9	16 578,8 €	-81,6 €	€16 497	14,4%	68 690 €	47 084 €	0	0,15 €	0,00 €	122488	0,07 €
10	16 528,9 €	-81,6 €	€16 447	15,8%	85 137 €	58 966 €	0	0,15 €	0,00 €	121876	0,07 €
11	16 479,2 €	-81,6 €	€16 398	16,8%	101 534 €	70 467 €	0	0,15 €	0,00 €	121267	0,06 €
12	16 429,6 €	-81,6 €	€16 348	17,5%	117 882 €	81 599 €	0	0,15 €	0,00 €	120660	0,06 €
13	16 380,1 €	-81,6 €	€16 299	18,1%	134 181 €	92 374 €	0	0,15 €	0,00 €	120057	0,05 €
14	16 330,8 €	-81,6 €	€16 249	18,6%	150 430 €	102 804 €	0	0,15 €	0,00 €	119457	0,05 €
15	16 281,6 €	-81,6 €	€16 000	18,7%	156 430 €	106 543 €	0	0,15 €	0,00 €	118859	0,05 €
16	16 232,6 €	-81,6 €	€16 151	19,2%	172 581 €	116 313 €	0	0,15 €	0,00 €	118265	0,05 €
17	16 183,8 €	-81,6 €	€16 102	19,2%	188 683 €	125 773 €	0	0,15 €	0,00 €	117674	0,04 €
18	16 135,1 €	-81,6 €	€16 053	19,4%	204 737 €	134 928 €	0	0,15 €	0,00 €	117085	0,04 €
19	16 086,5 €	-81,6 €	€16 005	19,6%	220 742 €	143 790 €	0	0,15 €	0,00 €	116500	0,04 €
20	16 038,1 €	-81,6 €	€15 956	19,7%	236 698 €	152 367 €	0	0,15 €	0,00 €	115917	0,04 €
21	15 989,8 €	-81,6 €	€15 908	19,8%	252 606 €	160 669 €	0	0,15 €	0,00 €	115338	0,04 €
22	15 941,7 €	-81,6 €	€15 860	19,9%	268 467 €	168 706 €	0	0,15 €	0,00 €	114761	0,04 €
23	15 893,7 €	-81,6 €	€15 812	20,0%	284 279 €	176 484 €	0	0,15 €	0,00 €	114187	0,03 €
24	15 845,9 €	-81,6 €	€15 764	20,0%	300 043 €	184 013 €	0	0,15 €	0,00 €	113616	0,03 €
25	15 798,2 €	-81,6 €	€15 717	20,0%	315 759 €	191 301 €	0	0,15 €	0,00 €	113048	0,03 €
26	15 750,6 €	-81,6 €	€15 669	20,1%	331 428 €	198 355 €	0	0,15 €	0,00 €	112483	0,03 €
27	15 703,2 €	-81,6 €	€15 622	20,1%	347 050 €	205 183 €	0	0,15 €	0,00 €	111921	0,03 €
28	15 655,9 €	-81,6 €	€15 574	20,1%	362 624 €	211 792 €	0	0,15 €	0,00 €	111361	0,03 €
29	15 608,8 €	-81,6 €	€15 527	20,2%	378 152 €	218 189 €	0	0,15 €	0,00 €	110804	0,03 €
30	15 561,8 €	-81,6 €	€15 480	20,2%	393 632 €	224 380 €	0	0,15 €	0,00 €	110250	0,03 €
YHTEENSÄ	311 512,9 €	-94 248,0 €					5			3560203	

Yhteenveto: investoinnin tuotto- ja kannattavuuslaskelmat

Investoinnin nettonykykyarvo eli kokonaistuotto tai -tappio 30 vuoden käyttöajalla	224 380 €	5 vuotta
Takaisinmaksuaika laskentakorolla		

Vertaa:

Aurinkosähkön omakustannushinta 30 vuoden pitäjällä	2,6 snt/kWh
Arvioitu ostosähkön keskimääräinen hinta 30 vuoden aikana	15 snt/kWh