



Jonne Jauhiainen

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja toiminta

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

25.11.2022

Tiivistelmä

Tekijä(t): Jonne Jauhiainen
Otsikko: Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus ja toiminta
Sivumäärä: 44 sivua + 0 liitettä
Aika: 25.11.2022

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto: Kiinteistöjen sähkötekniikka
Ohjaaja(t): Lehtori Ossi Hämäläinen

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan esimerkkikohteen avulla aurinkosähköjärjestelmä kahteen eri ilmansuuntaan. Työn alussa käydään läpi yleistä tietoa aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaatteesta sekä ominaisuuksista.

Aurinkopaneelien mitoituksessa käytetään avuksi suunnitteluohjelmistoa ja aurinkosähkölaskuria tuomaan selkeyttä prosessiin. Aurinkopaneelien valinnassa perehdytään Suomessa yleisimmin käytettyihin aurinkopaneelimalleihin.

Opinnäytetyön tuotoksena saadaan laskelmat aurinkosähköjärjestelmien eri mitoitusvaihtoehtoista ja nettonykyarvoista. Opinnäytetyössä perehdytään myös aurinkoenergian määrään Suomessa ja eri vuodenaikojen sekä ilmansuunnan vaikutukseen järjestelmästä saatavaan tuottoon.

Avainsanat: aurinkopaneeli, aurinkoenergia, invertteri

Abstract

Author(s): Jonne Jauhiainen
Title: Solar panel system dimensioning and action
Number of Pages: 44 pages
Date: 25 November 2022

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and automation engineering
Specialisation option: Electrical building services
Instructor(s): Ossi Hämäläinen, Senior Lecturer

In this bachelor's thesis work, the purpose was to design and calculate solar panel systems with three different examples in two different compass points. Solar panels were designed with different software to help the process. The goal was to offer information about the subject to someone who is interested in solar panels and how they work in Southern Finland.

In the project the first task was to recognize the differences between various solar panel types and how the whole system works. Secondly, it was essential to research how much sun and its shining affect the solar panel system output power over the year.

All the calculations that were carried out are presented at the end of the thesis. The calculations were made for each solar panel system to present how much the prices were in the beginning, and how much the panels can give value in 30 years time (NPV value).

Every system was designed with 3D-software to help manage the whole process and to receive the information of each solar system's assumed maximum capacity in the best conditions. The use of this software was essential and it helped to give the needed information to calculate solar panels output power in reality in this kind of building.

Keywords: solar panel, solar energy, inverter

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Aurinkosähköjärjestelmä	2
2.1	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	2
2.2	Invertteri	5
2.3	Liikatuotanto ja varastointi	7
3	Aurinkopaneeleiden hankinta	8
3.1	Aurinkopaneeleiden mallit ja valinta	8
3.2	Aurinkopaneeleiden asennus	13
3.3	Aurinkoenergian määrä Suomessa	14
4	Kohteen kuvaus	17
4.1	Kohteen esittely- ja lähtötiedot	17
4.2	Mallintamisen aloitus	23
4.3	Mallintaminen	24
5	Aurinkosähköjärjestelmän tuottotiedot	28
5.1	Tuottotietojen laskenta	28
5.2	Tuottotietojen yhteenveto	37
6	Investoinnin kannattavuuslaskenta	37
6.1	Kannattavuuslaskennan aloitus	37
6.2	Investoinnin kannattavuuslaskelman tulokset	41
6.3	Yhteenveto	43
	Lähteet	44

1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä kahteen eri ilmansuuntaan Etelä-Suomessa sijaitsevaan kohteeseen. Työn alussa käydään läpi aurinkosähköjärjestelmän yleistä toimintaperiaatetta ja tutustutaan Suomessa yleisimmin käytettyihin aurinkopaneelimalleihin. Työssä perehdytään myös aurinkopaneeleiden eroavaisuuksiin ja ominaisuuksiin.

Ennen mallintamisen aloitusta käydään läpi kohteen tiedot mittoineen ja tarvittavine esitietoineen. Tämän jälkeen siirrytään kohti mallintamista ja aurinkosähköjärjestelmien suunnittelua. Järjestelmistä tehdään eri mitoitusvaihtoehdot suunnittelu- ja tuottotietolaskuria hyödyntäen. Opinnäytetyössä lasketaan aurinkosähköjärjestelmien huipputeho ja tuotto todellisessa käyttötilanteessa.

Työssä käsitellään myös auringonpaisteen määrää Suomessa ja asioita, jotka vaikuttavat aurinkopaneeleista saatavaan hyötysuhteeseen sekä tuottoon. Työssä päästään suunnittelun jälkeen valmiisiin mitoitusvaihtoehtoihin sekä perehdytään ilmansuunnan ja paneelien asennuskulman merkitykseen myös lukujen valossa. Opinnäytetyön lopussa saadaan kohteen eri aurinkosähköjärjestelmien mitoitusvaihtoehdot nettonykyarvo- ja hankintahintoineen. Opinnäytetyön tarkoituksena on avata aurinkopaneeleiden hankintaan ja toimintaan liittyviä asioita sekä omalta osaltaan kannustaa aurinkopaneeleiden hankintaan sekä energiansäästöön.

2 Aurinkosähköjärjestelmä

2.1 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelin toiminta perustuu siihen, että se muuttaa auringon säteilyenergian tasasähköksi. Joskus on kuullut puhuttavan valosähköisistä paneeleista eli nimensä mukaan aurinkopaneelin tehtävä on muuttaa auringosta saatava valo sähköenergiaksi (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2022).

Aurinkopaneelin tuottama sähköenergia on tasasähköä, joka muutetaan myöhemmässä vaiheessa sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi. Aurinkopaneelien ominaisuuksissa on eroja muun muassa hyötysuhteissa, mutta niiden yleinen toimintaperiaate sähköntuotannossa on aina sama. Itsessään aurinkopaneelien toiminta on yksinkertaista ja perustuu valosähköilmiöön, eli aurinkopaneelit eivät sisällä mekaanisia osia, jotka liikkeellään tuottaisivat sähköä. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2022.)

Auringon säteily koostuu fotoneista, jotka vapauttavat puolijohdemateriaaliin osuessaan elektroneja. Valosähköilmiöllä tarkoitetaan säteilyn kykyä irrottaa elektroneja, eli auringon säteilyn osuessa aurinkopaneelin pintaan se vapauttaa elektroneja, jolloin tapahtuu valosähköilmiö ja sähköntuotanto käynnistyy. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2022.)

Kun aurinkopaneelit vastaanottavat kirkkautta, alkavat ne tuottamaan sähköä. Aurinkopaneelit eivät välttämättä tarvitse toimiakseen paljoa auringonpaistetta, vaan vähäinen määrä fotoneita riittää käynnistämään sähköntuotannon. Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö kulkee invertterille, jossa se muutetaan vaihtovirraksi ja josta se siirtyy vaihtovirtana talon sähkökeskukseen. Kun aurinkopaneelien tuottama sähkövirta saadaan vietyä rakennuksen sähkökeskukseen, voidaan sitä alkaa hyödyntämään osana rakennuksen sähköverkkoa. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2022.)

Oleellisena osana aurinkopaneelien valinnan ja niistä saatavan tuoton kannalta on paneelin hyötysuhde. Hyötysuhde voidaan laskea, kun tiedetään yksittäisen paneelin teho, pinta-ala ja paneelin pintaan tuleva säteily määrä. Säteily määränä käytetään ideaaliolosuhteissa saatavaa 1000 W/m² vakioarvoa. Tämä on yleisesti laskennassa käytettävä säteily määrä, jota voidaan käyttää Etelä - Suomessa eri aurinkopaneelimallien hyötysuhdetta laskiessa. Opinnäytetyössä käytettävien 330 Wp tehoisten aurinkopaneelien pinta-ala on 1,7 m², joten yksittäisen paneelin hyötysuhde lasketaan kaavalla 1. (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2022.)

$$\eta = \frac{W_p}{\left(m^2 \times \frac{W}{m^2}\right)} \quad (1)$$

η on hyötysuhde

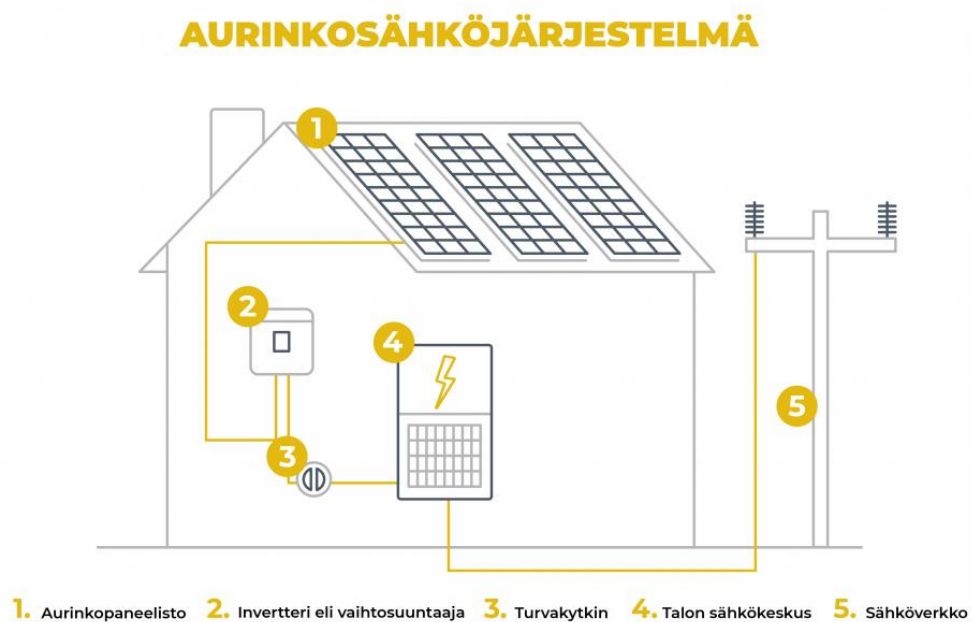
W_p on aurinkopaneelin teho

m^2 on aurinkopaneelin pinta-ala

$\frac{W}{m^2}$ on säteily määrä

Aurinkopaneelien hyötysuhteesta puhuttaessa tarkoitetaan suhdetta, jolla aurinkopaneelit pystyvät muuntamaan auringonsäteilyä sähköenergiaksi. Hyötysuhde ilmoitetaan aina prosenteissa. Aurinkopaneelin toimintaperiaatetta tarkemmin tutkittaessa auringon säteilyn kautta tulevat fotonit virittävät puolijohde- teessa olevan elektronin ja sitä kautta muodostavat uuden elektroni-aukkoparin. Aurinkopaneelissa sähkökenttä saa elektronin liikkumaan N-aineeseen eli kohti positiivista materiaalia ja aukon P-aineeseen kohti negatiivista materiaalia. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

Aurinkopaneelit tuottavat sähkövirtaa, kun fotonin virittämä elektroni eroaa aukosta, eikä sisäisen sähkökentän johdosta tapahdu näiden yhdistymistä. Jos virittyminen kuitenkin tapahtuu kaukana tyhjennysalueesta, elektroni ja aukko yhdistyvät. Tästä syystä aurinkokennojen suunnittelussa pyritään siihen, että suurin osa säteilystä saadaan tyhjennysalueelle. Lisäämällä kontakti aurinkokennoihin saadaan elektronit talteen ja muodostettu sähkövirta kiinteistön käyttöön. Aurinkosähköjärjestelmän toiminta esitetään kuvassa 1. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)



Kuva 1. Aurinkosähköjärjestelmän toiminta kiinteistössä (Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus 2022).

Havainnekuvan avulla on selkeämpi esittää aurinkosähköjärjestelmän toimintaa. Kuvasta ilmenee aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat komponentit sekä invertterin sijainti. Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö vietään invertterille, jonka jälkeen sähkö kulkee vaihtosähköä turvakytkimen kautta talon sähkökeskukseen kiinteistön käytettäväksi. Aurinkopaneelien tuottama mahdollinen liikatuotanto myydään takaisin sähköverkkoon.

Aurinkopaneelin toimintaperiaate on loppujen lopuksi suhteellisen yksikertainen. Aurinkopaneelien yleisen toimintaperiaatteen tunteminen helpottaa aurinkopaneelien hankintaan ja laskentaan tarkemmin tutustumista. Seuraavissa luvuissa perehdytään invertterin toimintaan sekä eri aurinkopaneelimalleihin ja niiden eroavaisuuksiin.

2.2 Invertteri

Oleellinen osa aurinkosähköjärjestelmän toimintaa on invertteri. Aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön muuttaminen vaihtovirraksi tapahtuu aurinkopaneelien ja sähkökeskuksen väliin asennettavan invertterin eli vaihtosuuntaajan avulla, joka voidaan sijoittaa esimerkiksi rakennuksen ulkoseinälle tai sähkökeskuksen viereen. Suomessa invertteri kytketään sähköverkkoon jakeluverkkoyhtiön mittarin jälkeen kiinteistön kulutuslaitteiden rinnalle. Tällaisella kytkennällä järjestelmästä tulee yksinkertainen ja edullinen. Invertterin ja sähköpääkeskuksen väliin sijoitetaan turvakytin, jotta aurinkosähköjärjestelmä on erotettavissa verkosta. (Invertterin toiminta 2022.)

Aurinkosähköjärjestelmien inverttereitä on olemassa 1- ja 3-vaiheisia ja näistä yksivaiheisia käytetään pienemmissä järjestelmissä. Pienillä aurinkosähköjärjestelmillä tarkoitetaan matalatehoisilla inverttereillä toimivia aurinkosähköjärjestelmiä. Nämä pienempien aurinkosähköjärjestelmien invertterit ovat tehoiltaan 1,5–2,5 kVA. Suuremmissa aurinkosähköjärjestelmissä käytettävät 3-vaiheinvertterit ovat tehoiltaan tästä suurempia eli 3–12 kVA. Nämä invertterit ovat yleisimpiä kotitalouksien aurinkosähköjärjestelmissä. Tästä on olemassa vielä suurempia aurinkosähköjärjestelmiin käytettäviä 15–50 kVA:n inverttereitä, joita käytetään esimerkiksi yrityskäytössä ja maataloudessa. (Invertterin toiminta 2022.)

Aurinkosähköjärjestelmän invertterin mitoituksessa on tiedettävä järjestelmän kokonaisteho kWp. Esimerkiksi, jos aurinkosähköjärjestelmän kokonaisteho on 6,7 kWp, tämän teholuokan aurinkosähköjärjestelmiin olisi valintana Froniuksen Symo 6.0-3-M -merkinnöillä varustettu 3-vaiheinvertteri. Luku 6.0 tarkoittaa

invertterin tehoa 6,0 kW, M puolestaan sitä, että invertterissä on useampi seuraava ja, S-kirjain tarkoittaisi singleä. Aurinkopaneelit tuottavat harvoin koko nimellisellä tehollaan, ja siksi aurinkosähköinvertteriä ei ole järkevää mitoittaa tarkalleen 1:1 aurinkopaneelien tehon kanssa. (Kinnunen 2022.)

Froniuksen inverttereitä voi kuormittaa laitetakuun säilyttäen 1,5-kertaisesti niiden ilmoitetusta tehosta. Tämä tarkoittaa, ettei invertteriä välttämättä tarvitse vaihtaa aurinkosähköjärjestelmän kokonaistehon kasvaessa sallituissa rajoissa. Tämän opinnäytetyön kohdalla olisi invertterien valintana (yksi järjestelmä kerrallaan) seuraavat: Fronius Symo 3.7-3-M -invertteriä käytetään autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmässä kokonaistehon ollessa 4,62 kWp. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmälle valintana olisi Fronius Symo 10.0-0-3-M -invertteri, jota voitaisiin käyttää molemmissa mitoitustilanteissa. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kokonaistehot ovat 10,56 kWp ja 11,88 kWp. Aurinkosähköinvertteri esitetään kuvassa 2.



Kuva 2. Fronius Symo -aurinkosähköinvertteri (Tuontitukku 2022).

Hyvän invertterin hyötysuhde on arvoltaan 96–98%. Invertteri muuttaa hyötysuhteen ilmoittaman osan aurinkopaneelin tasasähköstä vaihtosähköksi. Lopputosa aurinkopaneelien tuottamasta sähköstä muuttuu invertterissä hukkalämmöksi. On myös tärkeää, että invertterin valmistaja vakuuttaa invertterin olevan eurooppalaisten vaatimusten mukainen ja sähköturvallinen. Tästä syystä

laitteen valmistaja kiinnittää invertteriin CE-merkinnän, joka tarkoittaa laitteen olevan turvallinen käyttäjälle. (Invertterin toiminta 2022.)

Kiinteistö käyttää aina ensisijaisesti aurinkopaneeleista saadun energian ensin ja sen jälkeen sähköverkkoyhtiön tuottaman sähkön. Invertterin valinnassa on hyvä olla tarkkana, sillä se on olennaisen osa aurinkosähköjärjestelmän toimintaa. Markkinoilla on saatavilla erilaisia inverttereitä, joilla on eroavaisuuksia teknisen puolen lisäksi niin kustannuksissa, laadussa kuin takuussa. Invertterin hankinnassa olisi myös huomioitava tulevaisuuden mahdolliset aurinkopaneelien laajennustarpeet aurinkosähköjärjestelmän kokonaistehon sen vaatiessa. Aurinkosähköjärjestelmä on pitkäaikainen hankinta, jossa toimivat ja oikein mitoitettut laitteet takaavat lasketun kustannustehokkuuden (Invertterin toiminta 2022).

2.3 Liikatuotanto ja varastointi

Aurinkopaneelien toiminnan kannalta on oleellista saada riittävä määrä kirkkautta paneelien pintaan, jotta sähköntuotanto saadaan käynnistettyä. Tämä on huomioitava paneeleita sijoittaessa, jotta paneelit asennetaan oikeaan paikkaan ja varjoa ei synny esimerkiksi viereisestä rakennuksesta tai puustosta. Puun tai rakennuksen aiheuttaman varjon vaikutus aurinkopaneeleista saadaan tuottoon voi olla merkittävä. Aurinkopaneeleita suunniteltaessa optimaalinen tilanne olisi saada järjestelmän tuottama sähkö oman talouden käyttöön eli olisi pyrittävä mahdollisimman hyvään omakäyttöasteeseen. Aurinkopaneelien liikatuotannolla tarkoitetaan korkeampaa tuottoa verrattuna sen hetkiseen käyttötarpeeseen (Kinnunen 2022).

Aurinkosähköjärjestelmän tuottamaa liikatuotantoa on mahdollista myydä takaisin sähköverkkoyhtiölle yhtiökohtaisen sopimushinnan mukaan. Myös tämän johdosta aurinkopaneelien sähköntuotannon maksimoiminen aurinkosähköjärjestelmää hankkiessa on perusteltua, vaikka hankintakustannukset ovatkin suuremmat. Aurinkopaneelien liikatuotanto on myös mahdollista varastoida erillisiin akkuihin, jotta liikatuotanto olisi myös jatkossa rakennuksen käytettävissä. Akkujen hankinta talouteen ei kuitenkaan ole aina kannattavuudeltaan järkevää tai kovinkaan yleistä, sillä akkujen hankintahinnat vievät aurinkopaneelien hankinnalla tavoitellun kustannustehokkuuden (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021).

3 Aurinkopaneelien hankinta

3.1 Aurinkopaneelien mallit ja valinta

Aurinkopaneelien on olemassa erityyppisiä, vaikka niiden yleinen toimintaperiaate on sama. Joskus asiakas voi tehdä viimeisen päätöksen aurinkopaneelin valinnassa, vaikka myyjä jotain ehdottaisikin. Yhtä ja oikeaa valintaa ei aina ole vaan, valintaan vaikuttavat paneelin hankintahinnan, mittojen sekä hyötysuhteen lisäksi muun muassa paneelin väri. Aurinkopaneelin valmistajan myöntämä takuu ja muut tekniset ominaisuudet vaikuttavat myös ostopäätökseen. Tämän lisäksi itse kohde ja sen sijainti ovat suuressa roolissa aurinkopaneelien valinnassa. Aurinkopaneelien valinnassa kannattaa myös suosia uusimpia malleja, sillä niiden teho ja lisäominaisuudet kehittyvät jatkuvasti. Olisi myös hyvä selvittää, löytyykö aurinkosähköjärjestelmän toimittajalta asiakaspalvelua tai kattavaa huoltoverkostoa mahdollisten vikatilanteiden ilmetessä (Kinnunen 2022).

Aurinkopaneelin valinnassa on yleisesti käytössä kolme eri vaihtoehtoa. Suurin ulkoinen eroavaisuus aurinkopaneeleissa on niiden värytys ja koko. Väreinä yleisimmin törmätään tummiin tai sinertäviin paneeleihin, ja mitoiltaan sekä tehoiltaan aurinkopaneeleita on valmistajasta ja mallista riippuen useita. Suosituimmat aurinkopaneelien tyypit ovat yksi- ja monikidepaneeleita, eli niissä on yksi- ja monikiteisiä kennoja. Lisäksi markkinoilla on vähemmän käytettyjä ohutkalvoteknologiaan perustuvia aurinkopaneeleita, joiden toimintaan ja ulkonäköön perehdytään tarkemmin seuraavissa kappaleissa. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

Yksi- ja monikiteiset aurinkopaneelit voidaan valmistaa samoista materiaaleista, sillä yksikiteisten aurinkopaneelien jätteistä voidaan valmistaa monikidepaneeleita. Tuotannossa syntyvä jäte sulatetaan ja valmistetaan sen jälkeen haluttuun muotoon. Valmistusprosessi aiheuttaa kidevirheitä piin kiderakenteeseen, ja tästä syystä materiaalia kutsutaan monikiteiseksi. Valmistuksessa syntyvät kidevirheet laskevat kennojen hyötysuhdetta, sillä ne voivat estää elektronin poistumisen vialliselta alueelta. Kennojen kontaktit eli useimmiten hopea painetaan paneelin etu- sekä takapinnoille, jolloin ne toimivat positiivisena ja negatiivisena elektrodina. Aurinkopaneelissa kennot on useimmiten juotettu toisiinsa sarjaan kytkennällä. Aurinkopaneelien kennot koteloidaan ja niiden pinnalle asetetaan lasia sekä taakse tarvittavat liittimet ja kaapeloinnit. Valmis aurinkopaneeli kehystetään alumiinikehyksellä, jotta kenno pysyy suojassa mekaaniselta rasitukselta ja kosteudelta. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

Asiasta tietämättömän on vaikea erottaa aurinkopaneeleja toisistaan, sillä niiden ulkoiset eroavaisuudet ovat hyvin pienet. Monesti yksi- ja monikidepaneeleiden kohdalla valintaan vaikuttaa niiden ulkonäkö, eli haluaako tummia vai sinertäviä aurinkopaneeleja omalle katolleen riippuen katon väryksestä ja materiaalista. Aurinkopaneelin ulkonäkö on suuressa roolissa kyseisten paneelimallien valinnassa vähäisten teknisten ja hankintahintojen eroista johtuen. Suomessa molemmat aurinkopaneelityypit ovat suosittuja, vaikka yksikiteinen

aurinkopaneeli on hyötysuhteeltaan hieman parempi. Yksikiteiset aurinkopaneelit pääsevät paremmin oikeuksiin paremman hyötysuhteen ansiosta, jos katon pinta-ala on rajallinen. Yksi- ja monikiteiset paneelit ovat myös herkempiä varjon vaikutukseen kuin ohutkalvoteknologiaan perustuvat paneelit. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

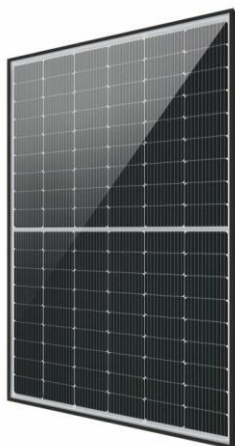
Ohutkalvopaneelit ovat ulkonäöltään erilaisia verrattuna yksi- ja monikidepaneeleihin. Ohutkalvopaneelit ovat nimensä mukaisesti ohuita, ja ne voidaan kiinnittää suoraan vesikattoon ilman erillisiä telineitä. Ohutkalvopaneelit ovat myös taipuisia, mikä helpottaa niiden asennusta. Ohutkalvopaneeleilla on näistä kolmesta vertailtavasta paneelimallista huonoin hyötysuhde, mikä omalta osaltaan vähentää kyseisen paneelin suosiota. Ohutkalvopaneelit ovat enimmäkseen käytössä kesämökeillä off-grid -järjestelmissä, eivätkä ne ole saavuttaneet suurta suosiota valtavirrassa. Seuraavissa kappaleissa kerrotaan lisää kyseisistä aurinkopaneelimalleista ja niiden ominaisuuksista. Monikidepaneeli esitetään kuvassa 3. (Aurinkopaneelin toimintaperiaate 2022.)



Kuva 3. Monikidepaneeli (Nordsolar 2022).

Monikidepaneeli on Suomessa yleisin aurinkopaneelityyppi. Monikidepaneelit ovat edullisia ja niiden tekniikka on todettu toimivaksi. Monikidepaneeleiden hyötysuhde on tyypillisesti 13–16 %. Monikidepaneelin tunnistaa sinertävästä väryksestään, ja niiden suosion syynä ovat edullinen hankintahinta sekä

toimintavarmuus. Paneeleilla on valmistajasta riippuen noin 20 vuoden tuotetakuu. Yksikidepaneeli esitetään kuvassa 4.



Kuva 4. Yksikidepaneeli (Nordsolar 2022).

Yksikidepaneeli on Suomessa toiseksi suosituin aurinkopaneelityyppi. Yksikidepaneeleissa on paras hyötysuhde, joka on tyypillisesti 15–20 %. Hyötysuhde ja musta väritys ovat tämän paneelin valttikortteja, vaikka yksikidepaneelit ovat hankintahinnaltaan hieman kalliimpia verrattuna monikidepaneeleihin. Yksikidepaneeleiden valmistajia on useita, ja värityksensä ansiosta se on huomaamattomampi vaihtoehto tummalle katolle. Yksikidepaneeleissa on muiden paneelien tapaan valmistajasta riippuen noin 20 vuoden tuotetakuu.

Opinnäytetyössä käytettävillä SolarThor -merkkisillä yksikidepaneeleilla on sähköntuoton tehotakuuta 25 vuotta. Tuotetakuulla tarkoitetaan paneelin teknistä takuuta ja tehotuottotakuulla tarkoitetaan sitä, että 25 vuoden toiminnan jälkeen paneelin tehosta tulisi olla vielä jäljellä vähintään 85,28 % nimellistehoon nähden. Opinnäytetyössä käytettävät aurinkopaneelit ovat mitoiltaan 1665 x 999 x 35 mm ja niiden hyötysuhde on 19,4 %. SolarThor on suhteellisen suosittu tuotemerkki maailmalla, ja paneelit ovat myös tätä kautta todettu toimiviksi, mikä omalta osaltaan vaikutti tämän paneelimerkin valintaan. SolarThor -aurinkopaneelit on valmistettu Winaicon toimesta, ja niillä on oma jälleenmyyjä sekä

tuotetuki Suomessa. Ohutkalvopaneeli esitetään kuvassa 5. (Opi ymmärtämään mihin investoit 2022.)



Kuva 5. Ohutkalvopaneeli (Aura-energia 2022).

Ohutkalvopaneelit ovat taipuisia ja ne voidaan asentaa ilman erillisiä telineitä. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on tyypillisesti 7–16 %, joka on huonoin kolmesta vertailtavista aurinkopaneelimallista. Ohutkalvopaneelit soveltuvat parhaiten esimerkiksi kesämökille niiden edullisen hankintahinnan vuoksi. Ohutkalvopaneeleita ei yleisesti käytetä kotitalouksien aurinkopaneelityyppinä, vaikka niiden asentaminen onkin helpompaa verrattuna yksi- ja monikidepaneeleihin. Ohutkalvopaneelien asentaminen onnistuu vertailtavista paneelimalleista helpoiten itse ja on myös sen takia hyvä valinta kesämökeille tai pieneen sähköntuotannon tarpeeseen. Ohutkalvopaneelien valttikortteja ovat ennen kaikkea niiden edullinen hankintahinta sekä asentamisen helppous. (Paneelien fyysinen asennus 2022.)

Ohutkalvopaneeleita voidaan valmistaa eri materiaaleista, ja niillä on materiaalista riippuen eroja hyötysuhteessa. Materiaalina käytetään CIGS- ja CdTe-yhdisteitä sekä mikrokiteistä ja amorfista piitä. Paneelin nimensä mukaisesti ohutkalvopaneelien valmistuksessa muodostetaan kerroksia eri materiaaleista, jotka tuottavat sähkövirtaa säteilyn eri aallonpituuksista. Yksi- ja monikiteisten

aurinkopaneelien valmistukseen käytetään selvästi enemmän piitä kuin ohutkalvopaneelien valmistukseen amorfisesta piistä.

Laboratoriotesteissä amorfisesta piistä valmistetun ohutkalvopaneelin paras saavutettu hyötysuhde on 13,6 %. Yleisimmät ohutkalvotekniikat ovat amorfisen piin lisäksi CdTe- ja CIGS-yhdisteet. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

Myös CIGS-yhdisteistä voidaan valmistaa taivutettavia ohutkalvopaneeleita. Laboratoriotesteissä CIGS-kennon paras saavutettu hyötysuhde on 22,3 %. CdTe-yhdisteistä valmistettuja ohutkalvopaneeleita käytetään suurimmilta osin aurinkoenergiasovelluksissa. CdTe-yhdisteistä valmistetut ohutkalvopaneelit ovat halvempia kuin perinteiset piikennot, mutta kadmiumin myrkyllisyys on tämän valmistusmateriaalin haittapuolena. Lisäksi kadmiumista tehtyjen kennojen kierrättäminen on hankalaa. Laboratoriotesteissä CdTe-yhdisteistä valmistettujen ohutkalvopaneelien paras saavutettu hyötysuhde on 22,1 %. (Lehto, Orrberg, Ylinen & Andersén 2021.)

3.2 Aurinkopaneelien asennus

Aurinkopaneelien asennuksesta löytyy kattavasti ohjeita verkossa, ja tässä käydäänkin pintapuolisesti läpi aurinkopaneelien asennuksessa huomioitavia asioita. Asennuksessa käytettävissä asennusmateriaaleissa ja asennustavoissa on yrityskohtaisia eroja. Aurinkopaneelien asennuksessa on huomioitava paneelin kulman ja sijoituksen lisäksi niiden tuuletusraot sekä oikeaoppinen turvallinen kiinnitys. Ennen aurinkopaneelien asennusta on selvitettävä invertterin sijainti sekä vietävä kaapelit valmiiksi aurinkopaneelien telineiden päälle helpottamaan asennusta. Aurinkopaneelien asennuksessa käytetään avuksi niin sanottua linjalankaa, jolla saadaan asennettua paneelit suoraan. Linjalanka kiinnitetään paneelirivin päihin asennettuihin laudanpätkiin. (Paneelien fyysinen asennus 2022.)

Paneelien päätykiinnikkeet kiinnitetään telineisiin 50 mm paneelirivin reunasta. Paneelirivin päälle jätetään 22 mm:n tuuletusrako ennen seuraavan paneelin alareunaa, ja sivuttaissuunnassa aurinkopaneelin väleihin jätetään myös 22

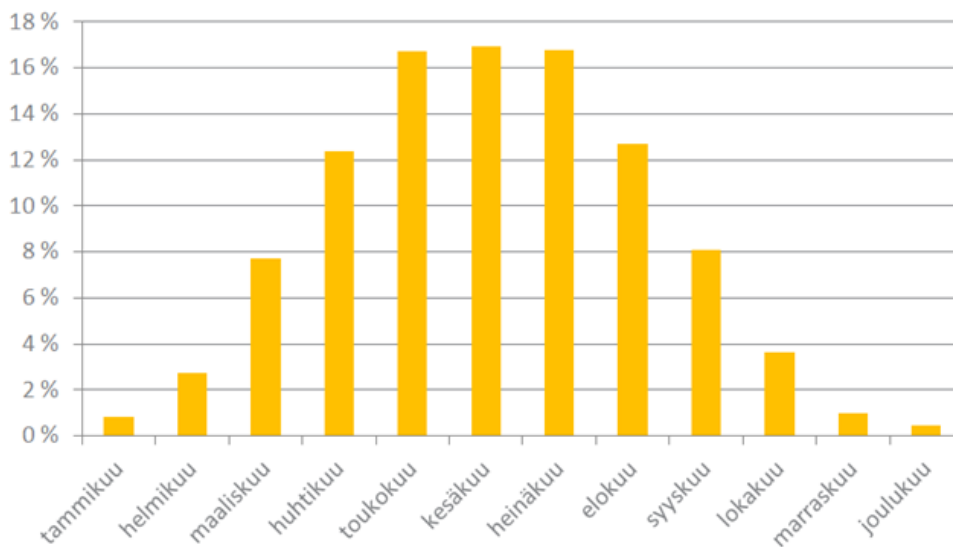
mm:n tila. Sivuttaissuunnassa aurinkopaneelien väliin jäävä rako muodostuu käytettävästä välikiinnikkeestä ja välikiinnikkeen sekä paneelin väliin jätettävästä 0,5–1,0 mm raosta. Tämän 0,5–1,0 mm kokoisen raon tarkoitus on huomioida aurinkopaneelin mahdollinen lämpölaajeneminen. Välikiinnikkeet helpottavat myös paneelirivin linjaan asennusta kiinnikkeen vakiomitan takia. (Paneelien fyysinen asennus 2022.)

Aurinkopaneelien asennus aloitetaan tilanteesta riippuen katon alaosaan. Asennuksen aikana on vältettävä aurinkopaneelien pintaan koskemista ilman suojakäsineitä. Asentamisessa on myös huomioitava mahdollisten lumiesteiden korko ja niiden sijoitusmuutokset, jotta aurinkopaneelit eivät nouse korkeudeltaan lumiesteiden yli. Aurinkopaneelien kiinnitykseen käytetään kiskoja, jotka kulkevat poikittaissuunnassa katolla. Kiinnittämistä voidaan myös helpottaa erilaisilla kiinnityksillä paneelin ympäriltä. Aurinkopaneelien kiinnityskiskoja on annettava paneelille riittävästi korkeutta katon pinnan ja paneelin takaosan väliin, jotta riittävä ilmarako saavutetaan (Paneelien fyysinen asennus 2022).

Ilmaraon tarkoituksena on antaa aurinkopaneelin ”hengittää”, ettei paneelin takaosaan säteilevä lämpö kattopinnasta alenna aurinkopaneelistä saatavaa hyötysuhdetta, sekä turvata sadeveden estoton kulku. Lopuksi aurinkopaneelien kiinnikkeet kiristetään 15 Nm:n lujuteen momenttiavainta hyödyntäen. Katolla olisi aina hyvä kulkea järjestelmällisesti ja katsoa, että kaikki paneelit on muistettu oikeaoppisesti kiinnittää. Kaapelointiin tai sen liitoksiin ei saa syntyä vetoa missään asennusvaiheessa. (Paneelien fyysinen asennus 2022.)

3.3 Aurinkoenergian määrä Suomessa

Etelä-Suomessa auringosta saatava aurinkoenergia on suurinta toukokuusta heinäkuuhun. Auringonpaiste on taas vähäisintä marraskuusta tammikuuhun. Tästä syystä Suomessa aurinkosähköjärjestelmän kannattavuus ei pääse esimerkiksi Etelä-Euroopan tasolle. Talvisin kiinteistön sähköntarve on suurimmillaan, mutta samalla auringosta saatava aurinkoenergia vähäisimmillään. Aurinkoenergian määrä Etelä-Suomessa esitetään kuvassa 6.

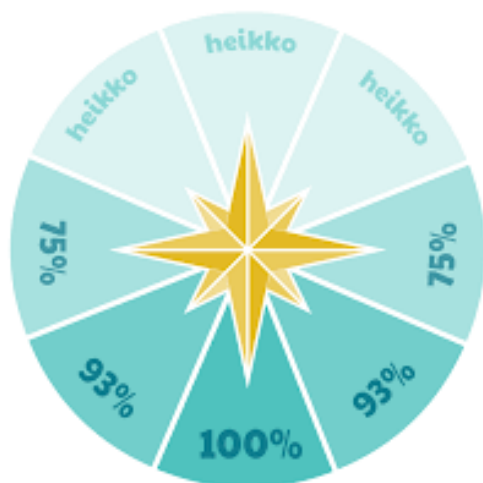


Kuva 6. Aurinkoenergian määrä Etelä-Suomessa (Helen 2022).

Kuvasta ilmenee Helsingissä aurinkopaisteen määrä vuoden ajanjaksolla. Kesäkuukausina auringosta saatava energia on moninkertaista talvikuukausiin verrattuna. Talvikuukausista huolimatta Etelä-Suomessa auringonpaiste on kohtuullisella tasolla mietittäessä aurinkosähköjärjestelmän hankintaa optimaaliseen ilmansuuntaan laadukkailla paneeleilla.

Etelä-Suomessa auringonpaisteen määrä on noin 1000 kWh neliometriä kohti, kun taas Pohjois-Suomessa luku on 800–900 kWh neliometriä kohti. Maan pinnalle saapuva vuotuinen auringon säteilyenergia on Etelä-Suomessa samaa suuruusluokkaa kuin Pohjois-Saksassa. Vain ajoitus on Suomessa erilainen, sillä auringonpaiste painottuu enemmän kesäaikaan ja vastaavasti marraskuusta tammikuuhun aurinkosähköjärjestelmän sähköntuotto on hyvin vähäistä. (Aurinkosähkö 2022.)

Auringosta saatavaan hyötysuhteeseen ja kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti mihin ilmansuuntaan aurinkopaneelit asennetaan. Paras ilmansuunta aurinkopaneelien tuoton kannalta on asentaa aurinkopaneelit etelään kohti päiväntasaajaa. Kaakko ja lounas ovat toiseksi parhaat vaihtoehdot aurinkopaneelien suuntaukselle ja tämän jälkeen 75 % tuotto-odotuksella itä ja länsi. Ilmansuunnan vaikutus aurinkopaneelista saatavaan tuottoon esitetään kuvassa 7 (Aurinkosähkö 2022).



Kuva 7. Aurinkopaneelit olisi suunnattava etelään parhaan tuoton saavuttamiseksi (Aurinkopaneelin sijoittaminen ja suuntaus 2022).

Kuvasta nähdään, että aurinkosähköjärjestelmän asentaminen luoteen ja koillisen väliselle suunnalle on kyseenalaista heikon tuottoarvion vuoksi, ja siksi olisi aina lähtökohtaisesti pyrittävä suuntaamaan aurinkopaneelit ilmansuuntaan etelä. Aurinkopaneelit olisi asennettava 35–45 asteen kulmaan, jotta auringosta saatava tuotto saataisiin parhaiten hyödynnettyä (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2022).

Aurinkopaneelin ilmansuunnan merkitys ilmenee tämän opinnäytetyön laskelmissa sekä edellisessä kohdassa kuvan muodossa. Aurinkopaneelien asennuksessa optimaalinen ilmansuunta ja asennuskulma korostuu etenkin vähäisempiä paneelimääriä käytettäessä tai paikoissa, joissa auringonpaiste on maantieteellisesti vähäisenpää.

4 Kohteen kuvaus

4.1 Kohteen esittely- ja lähtötiedot

Kohde on pääkaupunkiseudulla sijaitseva omakotitalorakennus. Rakennuksen jatkeena on autotallirakennus, jonka katolle myös suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmä. Asuin- ja autotallirakennus ovat siis kiinni toisissaan, vaikka ne tässä opinnäytetyössä esitetäänkin erillisinä rakennuksina myöhemmässä vaiheessa myös kuvien muodossa. Tällä on tarkoitus selventää ilmansuunnan vaikutusta aurinkopaneeleista saatavaan tuottoon sekä helpottaa asian seuraamista. Opinnäytetyössä tullaan myös tarkentamaan ilmansuuntien muodostamista aurinkosähköjärjestelmästä on milloinkin kyse.

Aurinkosähköjärjestelmät suunnitellaan tuoton kannalta optimaalisimpiin ilmansuuntiin eli asuinrakennuksen katolle etelään sekä autotallirakennuksen katolle länteen. Rakennuksien vastapuolisille katoille ei suunnitella aurinkosähköjärjestelmää niiden tuoton kannalta epäedullisen ilmansuunnan takia. Rakennuksen kattojen materiaali on pelti, eikä kohteeseen ole lähitulevaisuudessa suunnitella kattoremonttia. Mahdollinen kattoremontin tarve on aina huomioitava ennen aurinkosähköjärjestelmän hankintaa.

Kolmessa eri mitoitusvaihtoehdossa pyritään hyödyntämään käytettävissä oleva katon pinta-ala mahdollisimman hyvin ja siksi on päädytty juuri kyseisiin mitoitusvaihtoehtoihin. Poikkeuksena asuinrakennuksen optimaalinen mitoitus, jossa on tarkoituksella jätetty tilaa aurinkosähköjärjestelmän ympärille, jotta saataisiin

vertailua aikaiseksi kyseisen ilmansuunnan suuremman aurinkopaneelimäärän kanssa.

Rakennuksen vuotuinen energiankulutus oli vuonna 2021 mitattuna 18 476 kilowattituntia, ja sen oletetaan pysyvän samana myös tulevaisuudessa. Energiankulutuksen oletetaan pysyvän samana, sillä rakennuksiin ei ole suunnitteilla laitteita tai sähkönkulutuksen kannalta lisääviä tekijöitä. Kattojen mitat on saatu rakennepiirustuksista, ja niiden avulla on saatu luotua 3D-malli aurinkopaneelien sijoitusta varten. Autotallirakennuksen katolle aurinko paistaa enimmäkseen iltapäivällä, mikä vaikuttaa alentavasti aurinkopaneeleista saatavaan tuottoon ja hyötysuhteeseen. Asuinrakennuksen katto on sijainniltaan optimaalisempi ja takaa paremman paisteajan läpi päivän.

Kohteeseen suunniteltujen aurinkopaneelien on tarkoitus olla huomaamattomia ja samalla saavuttaa mahdollisimman hyvä hyötysuhde, jolloin paneeleiksi valitaan tummat yksikiteiset paneelit. Aurinkopaneelit ja niiden ominaisuudet on tarkemmin esitelty opinnäytetyön alussa. Kohteessa käytettävien aurinkopaneelien tehot ovat 330 Wp, ja ne ovat hyötysuhteeltaan 19,4 %.

Rakennuksen katoille tehdään siis aurinkosähköjärjestelmien mitoitussuunnitelmat kahteen eri ilmasuuntaan, jotta saataisiin vertailua aikaiseksi ja korostettua ilmansuunnan merkitystä. Asuinrakennuksen paremmasta ilmansuunnasta huolimatta kiinnostavampi vaihtoehto olisi sijoittaa aurinkopaneelit autotallirakennuksen katolle, sillä asuinrakennuksen katolle syntyy varjoa viereisestä määnystä. Puu luo varjoa eteläiselle katolle läpi päivän merkittävällä osuudella katon kokonaispintalasta, ja tämä vaikuttaa luonnollisesti aurinkopaneeleista saatavaan sähköntuotannon määrään.

Tässä opinnäytetyössä aurinkopaneeleiden tuottolaskelmat tehdään vastaamaan tilannetta ilman puusta aiheutuvaa varjoa, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia keskenään. Puusta aiheutuvan varjon huomioiminen todellisessa tuottilanteessa olisi tasavertaisen laskennan kannalta hankalaa muun muassa varjon muuttuvan pinta-alan takia. Aurinkopaneeleita kohteeseen asentaessa varjoa aiheuttavat puut tultaisiin joka tapauksessa kaatamaan rakennuksen edestä. Aurinkopaneeleiden sarjakytkentöjen vuoksi aurinkopaneeleiden mahdollinen varjoon jääminen kuitenkin alentaisi järjestelmästä saatavaa tuottoa huomattavasti (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2022).

Myös peltikatto materiaalina voi vähentää aurinkopaneeleista saatavaa hyötysuhdetta epäedullisesti paneelin takaosaan säteilevän lämmön takia. Tämä voi konkretisoitua kesällä lämpötilojen ollessa korkeimmillaan, jolloin samalla aurinkopaneeleista saatava tuotto on parhaimmillaan suuren aurinkomäärän ansiosta. Hyötysuhteen aleneminen lämpösäteilyn vuoksi ei kuitenkaan ole tavanomaista Suomen korkeusasteella alhaisten ulkolämpötilojen takia. Tähän vaikuttaa ennen kaikkea aurinkopaneelin takaosaan jätettävän ilmaraon koko ja katon materiaali (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2022).

Aurinkopaneeleiden asennuskulmaa joudutaan säätämään manuaalisesti asennusvaiheessa parhaan tuoton saavuttamiseksi. Tällä helpotetaan paremman tuoton lisäksi lumen poistumista aurinkopaneelien päältä. Optimaalinen kulma aurinkopaneeleiden asennukselle on 35–45°. Kaikissa aurinkosähköjärjestelmien laskelmissa käytetään 40 asteen asennuskulmaa tasavertaisuuden ja parhaan tuottoarvion vuoksi. Aurinkopaneelit eivät kuitenkaan ole asennuskulman suhteen niin kriittisiä, kuin ehkä voisi olettaa. Kallistuskulman ollessa yli 60° aurinkopaneeleista saatava tuotto heikkenee merkittävästi. Aurinkopaneeleiden kulman ja ilmansuunnan merkitys esitetään kuvassa 8 (Aurinkosähköjärjestelmän teho 2022).

Kulma	Tuotto	Ilmansuunta	Tuotto
10°	90 %	Itä	80 %
15°	93 %	Kaakko	93 %
30°	99 %	Etelä	100 %
40°	100 %	Lounas	94 %
60°	94 %	Länsi	81 %
90°	69 %	Pohjoinen	70 %

Kuva 8. Aurinkopaneeleiden tuotto on parhaimmillaan 40 asteen kulmassa ilmansuuntaan etelä (Keravan Energia 2022).

Kallistuskulmasta johtuvat erot korostuvat parhaiten auringonpaisteen ollessa suurimmillaan huhtikuusta elokuuhun. Muuten aurinkopaneeleiden kallistuskulman vaikutukset tuottoon ovat vähäiset. Aurinkopaneeleiden kulman ollessa 30–60 asteen välillä ei kokonaistuottomäärissä saavuteta pienemmän kokoluokan aurinkosähköjärjestelmissä merkittävää eroa.

Taulukosta saa parhaan käsityksen kulman ja ilmansuunnan vaikutuksesta aurinkopaneeleista saatavaan tuottoon. Taulukon mukaan paras tuotto saavutaan sijoittaessa aurinkopaneelit 40 asteessa etelään kohti päiväntasaajaa. Oikealla kuvassa ilmenee ilmansuunnan merkitys aurinkopaneeleista saatavaan tuottomäärään prosenttien muodossa.

Autotallirakennuksen katto on mitoiltaan 4,7 m x 7,1 m, jolloin kokonaispinta-alaksi saadaan 33,37 m². Aurinkopaneelit piirrettään 3D-tyyppisesti rakennuksen katolle, jotta paneelien sijoittaminen ja käytössä olevan tilan hahmottaminen olisi selkeämpää. Katolle tehdään ainoastaan yksi aurinkosähköjärjestelmän mitoitusvaihtoehto katon rajallisen pinta-alan takia. Kuvassa 9 esitetään autotallirakennuksen katto ilmansuuntaan länsi.



Kuva 9. Autotallirakennuksen katto ilmansuuntaan länsi.

Mallinnuksen avulla saadaan järjestelmän huipputehoarvo myöhemmässä vaiheessa tehtävää tuottotietolaskentaa varten. Aurinkopaneelien määrän ja järjestelmän huipputehoarvon voi laskea myös manuaalisesti, jolloin erilliselle suunnitteluohjelmalle ei välttämättä ole tarvetta. Katon lumieste on huomioitu mallintamisessa, eikä sillä ole vaikutusta katolle sijoitettujen aurinkopaneelien määrään.

Asuinrakennuksen katto sijoittuu ilmansuunnaltaan edullisimpaan suuntaan aurinkopaneelien sijoituksen suhteen eli etelään. Katto on myös pinta-alaltaan yli kaksinkertainen verrattuna autotallirakennuksen kattoon, mikä osaltaan vaikuttaa aurinkopaneeleista saatavaan tuottoarvioon. Rakennuksen katto on mitoiltaan 7,1 m x 9,8 m, jolloin kokonaispinta-alaksi saadaan 69,58 m². Katolle tehdään vertailun vuoksi kaksi erillistä mitoitusvaihtoehtoa, jotka ovat täyteen mitoitus sekä optimoitu mitoitus. Katolle mallinnetaan 3D-tyyppisesti molemmat aurinkosähköjärjestelmän mitoitusvaihtoehdot, tämän jälkeen saadaan järjestelmien huipputehoarvot tuottotietolaskentaa varten. Tässäkin tapauksessa aurinkopaneelien kokonaismäärät ja järjestelmän huipputehoarvot olisi saatavilla manuaalisella laskennalla ilman erillistä suunnitteluohjelmaa. Kuvassa 10 esitetään asuinrakennuksen katto ilmansuuntaan etelä.



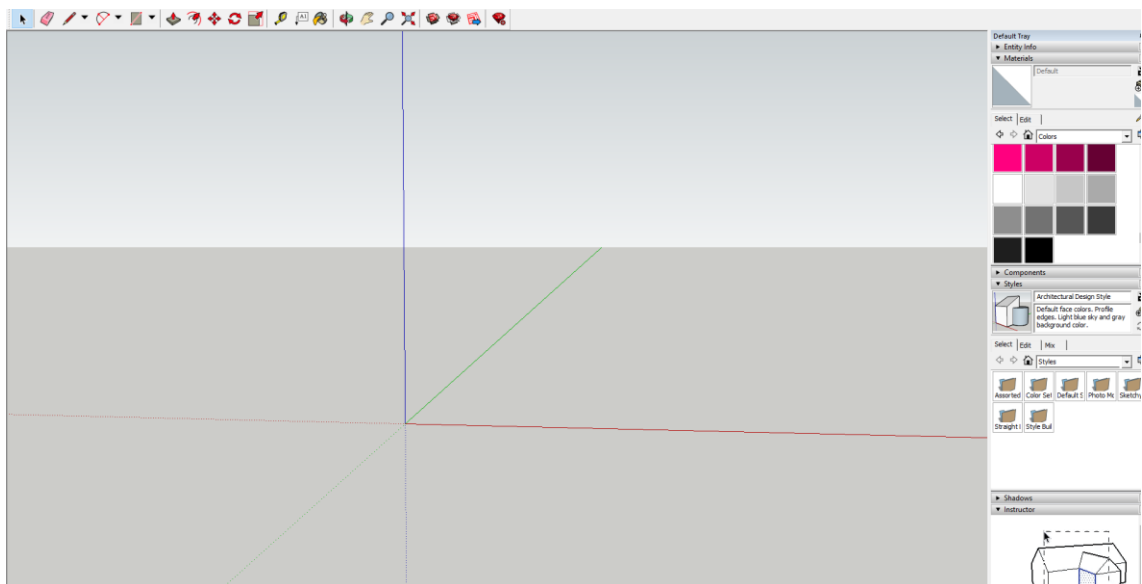
Kuva 10. Asuinrakennuksen katto ilmansuuntaan etelä.

Mallintamisen tärkein tehtävä on näyttää aurinkosähköjärjestelmien tilanne katolla mahdollisimman totuudenmukaisesti. Lisäksi mallintamisen avulla saadaan esitettyä paremmin rakennuksen todellinen muoto, mikä helpottaa aurinkosähköjärjestelmän hahmottamista katolla myös lukijan näkökulmasta. Mallintamisen avulla saadaan kolmen erilaisen ja kokoisen aurinkosähköjärjestelmän huipputehoarvot ja aurinkopaneelien kokonaismäärät myöhemmässä vaiheessa tehtävää järjestelmien tuottotietolaskentaa varten. Tuottotietolaskentaa tarvitaan viimeisessä vaiheessa tehtävää järjestelmien kannattavuuslaskentaa varten.

4.2 Mallintamisen aloitus

Mallintaminen aloitetaan syöttämällä SketchUp 3D -ohjelmaan rakennuksen mitat. Tarvittavat mitat löytyivät rakennuksen piirustuksista, jolloin saadaan suunniteltua rakennuksen ja kattojen kokonaispinta-alat todellisuutta vastaaviksi. Mitat tarkistettiin kohteessa manuaalisesti ennen niiden ohjelmistoon syöttämistä. Kun rakennuksen mitat on syötetty ohjelmistoon ja mallintaminen saatu valmiiksi niin tämän jälkeen tarkistetaan mittojen totuudenmukaisuus ohjelmasta löytyvän mittatyökalun sekä automaattisen laskennan avulla. Tuloksena katoille saadaan kolme erilaista aurinkosähköjärjestelmää ja näiden huipputehoarvot sekä paneelien kokonaismäärät.

Ohjelmiston aloitusnäytön ylärivistä löytyy erilaisia pikatoimintoja erilaisille suunnitteluun tarvittaville toiminnoille ja oikeilta löytyvät hienosäätöön tarvittavat toiminnot, kuten väritys ja erilaiset rekvisiitat. Pikatoimintoja on mahdollista lisätä tai vähentää vakiomäärästä, mutta tämän opinnäytetyön kannalta tarvittavat toiminnot löytyivät valmiiksi ohjelman yläreunasta. Ohjelmasta on saatavilla myös maksullinen versio laajempia suunnitteluprojekteja ja tarpeita varten. Kuvassa 11 esitetään ohjelman aloitusnäkyä.



Kuva 11. SketchUp 3D -ohjelman aloitusnäkyä (Downloading SketchUp 2017).

Aurinkopaneelien mitat löytyvät jälleenmyyjän verkkosivulta. Mittojen avulla paneelit sijoitettiin katoille siten, että suunnittelussa huomioitiin kattojen mahdolliset esteet aurinkopaneelien asennukselle. Aurinkopaneelien ja rakennuksien piirtämisen jälkeen tuloksena olivat tarvittavat lisätiedot tuottotietojen laskentaa varten. Näistä tärkeimpänä huipputehoarvo kWp, joka on oleellinen osa aurinkosähköjärjestelmän todellisia tuottotietoja laskettaessa.

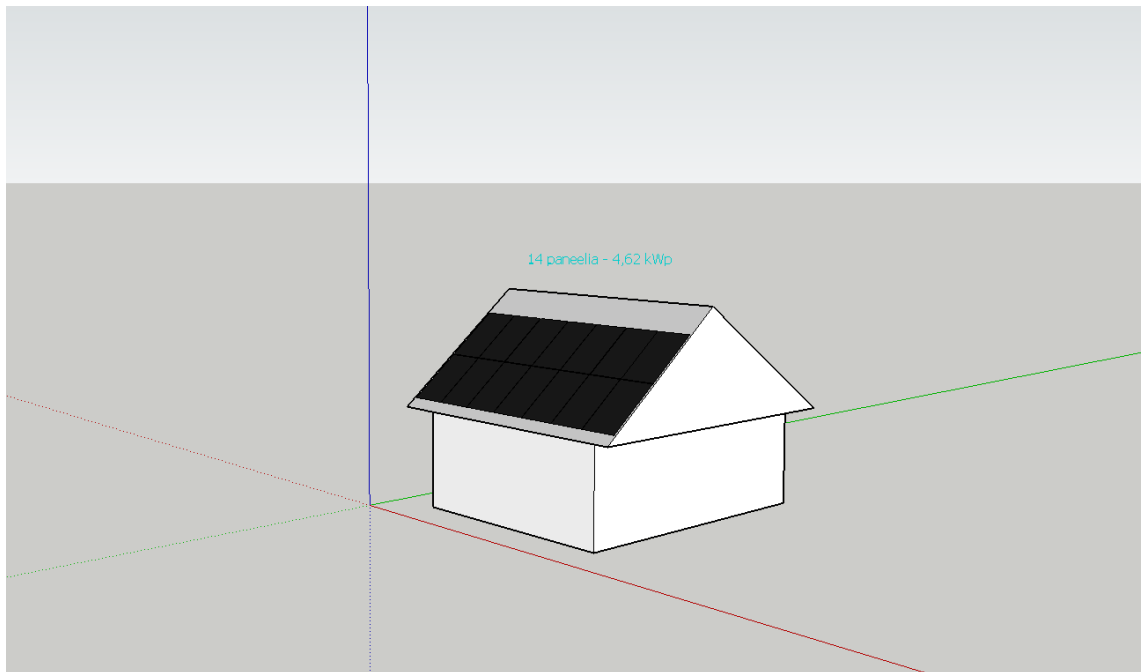
Huipputehoarvolla tarkoitetaan aurinkosähköjärjestelmän kykyä tuottaa sähköä parhaassa mahdollisessa tilanteessa. Myöhemmässä vaiheessa esitetyn mallintamisen avulla saatu huipputehoarvo syötetään aurinkopaneelien tuottotietolaskentaan. Tuottotietolaskennassa saadaan aurinkosähköjärjestelmän todellinen tuottotieto eli järjestelmän sähköntuotto kyseisellä asennuspaikalla ja arvoilla asennetussa mittakaavassa.

Aurinkopaneelien suunnittelussa käytettiin SketchUp 3D -ohjelmaa aikaisemman käyttökokemuksen perusteella ja sen käyttämisen helppouden takia. Ohjelmassa on paljon eri ominaisuuksia, ja sillä saatavat tuotokset vastasivat aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun vaadittavia tarpeita. Ohjelma on ennen kaikkea tarkoitettu rakennusten piirtämiseen, joten valinta oli myös tätä kautta selkeä. Ohjelmiston käyttöön on myös saatavilla ilmaista opetusmateriaalia, joka mahdollistaa ohjelmiston käyttämisen aloituksen ilman aikaisempaa käyttökokemusta. Ohjelmistosta on saatavilla kuukauden kestoinen maksuton kokeiluversio ohjelmistoon tutustumista varten.

4.3 Mallintaminen

Mallintamisessa tärkeintä tämän opinnäytetyön kannalta on laskea sijoitettujen aurinkopaneelien kokonaismäärät katoilla, jotta saadaan laskettua aurinkosähköjärjestelmien huipputehoarvot. Opinnäytetyössä on tarkoituksena edetä järjestelmällisesti erilaisten tietojen selvittämisen suhteen kohti kannattavuuslaskentaa. Kohteeseen valitut aurinkopaneelit ovat valmistajan mukaan tehoiltaan 330 Wp.

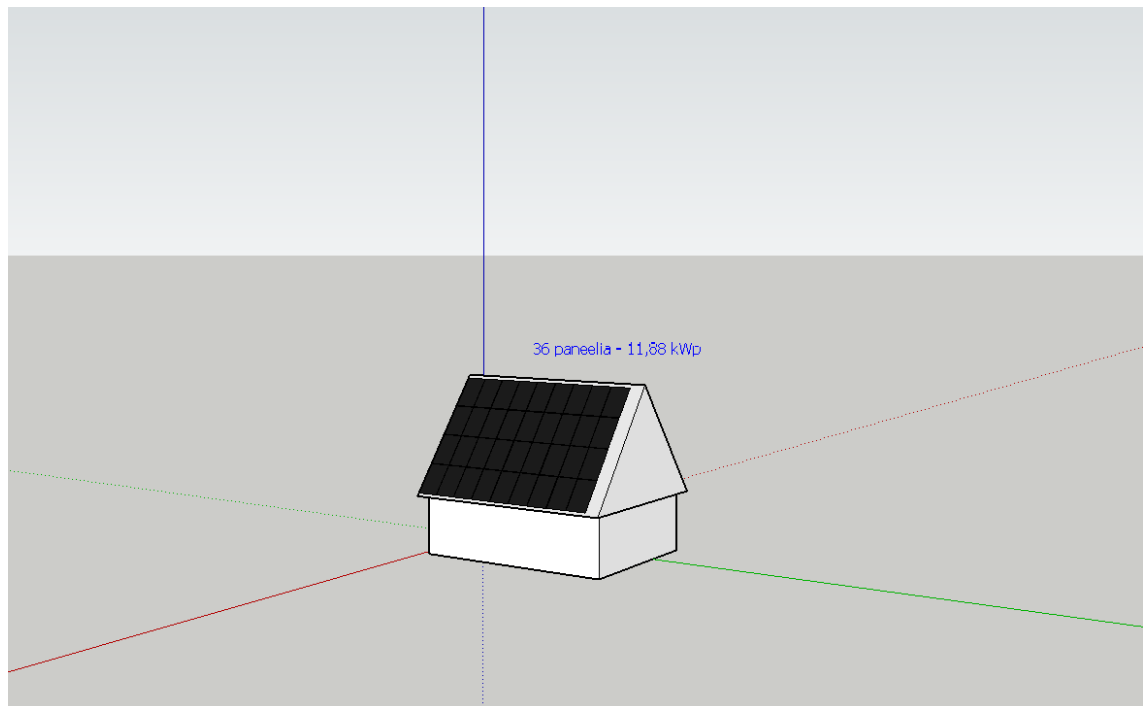
Tämä tarkoittaa, että vuodessa yhden 330 Wp aurinkopaneelin tuottoarvio on 330 kWh, jolloin kymmenen 330 Wp aurinkopaneelin eli 3,3 kWp tehoisen järjestelmän teoreettinen vuosituotto on 3 300 kWh. Huipputehoarvon lyhenne kWp tulee sanoista kilowattpeak. Seuraavissa kappaleissa perehdytään eri aurinkosähköjärjestelmien mallintamisen vaiheisiin ja valmiisiin havainnekuviin. Kuvassa 12 sijoitetaan autotallirakennuksen katolle 14 kappaletta aurinkopaneelia ilmansuuntaan länsi.



Kuva 12. Autotallirakennuksen katolle sijoitetaan 14 kappaletta aurinkopaneelia, jolloin huipputehoksi saadaan 4,62 kWp.

Mallintaminen aloitettiin autotallirakennuksesta sijoittamalla aurinkopaneelit katolle. Katolle sijoitettiin 14 kappaletta tehoiltaan 330 Wp:n aurinkopaneelia, jolloin järjestelmän huipputehoksi saadaan 4,62 kWp. Pystysuunnassa kolmatta paneeliriviä rajoittaa 4,7 m korkea katto, jolloin kolmas paneelirivi olisi ollut 4,9 metrin korkeudessa. Paneelien sijoittamisessa on huomioitu tarvittavat ilmaroot ja kiinnikkeet sekä katon alareunaan on jätetty tilaa olemassa olevalle lumiesteelle.

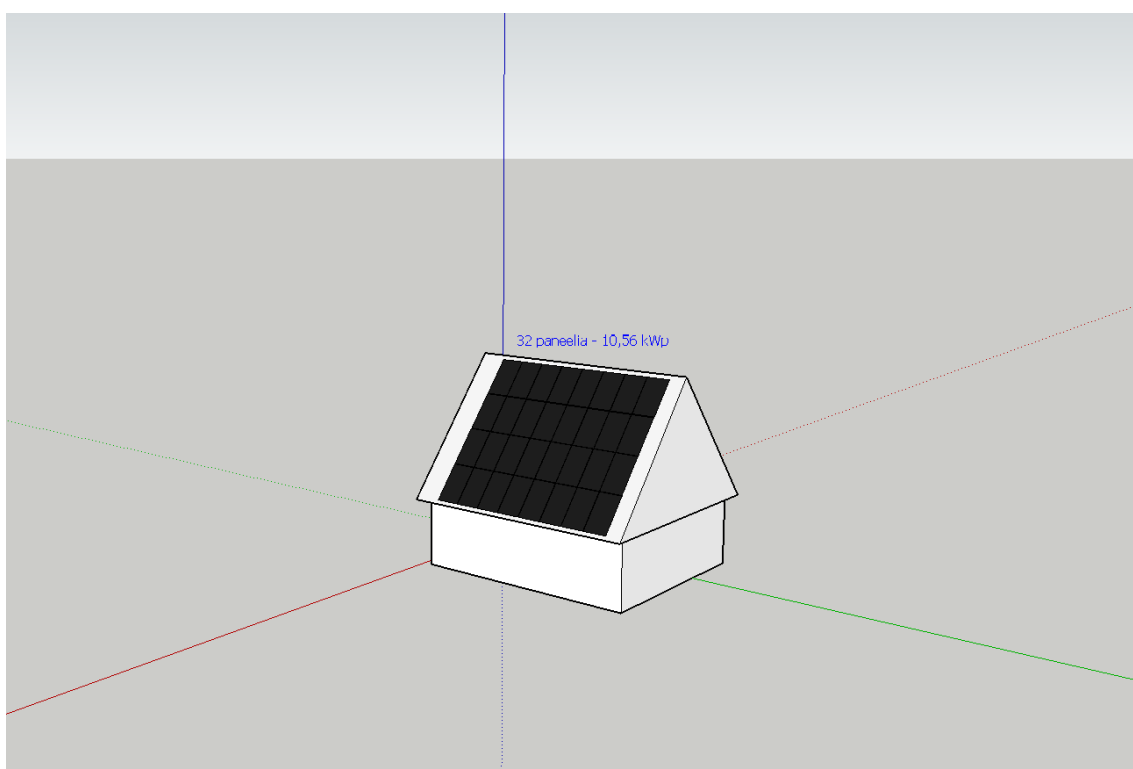
Autotallirakennuksen katolle tehtyä mitoitusvaihtoehtoa verrataan asuinrakennuksen kahteen eri mitoitusvaihtoehtoon tuoton sekä nettonykyarvon ja hankintahinnan suhteen. Tämän mitoituksen tarkoituksena oli hyödyntää koko käytössä oleva katon pinta-ala mahdollisimman tehokkaasti. Aurinkopaneelit voidaan myös vaihtoehtoisesti asentaa suunnitelmasta poiketen ylemmäksi tai vastavuoroisesti hyödyntää katon toista puolta eli asentaa aurinkopaneelit itään, jolloin myös kokonaistuotto laskisi oletetusti nykyisestä. Katon mataluudesta johtuen aurinkopaneelien asennuksessa voidaan tarvittaessa hyödyntää rakennustelineitä. Seuraavaksi siirrytään asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmään, jossa katolle sijoitetaan 36 kappaletta aurinkopaneeleita. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmä esitetään kuvassa 13.



Kuva 13. Asuinrakennuksen katolle sijoitetaan 36 kappaletta aurinkopaneeleita, jolloin huipputehoksi saadaan 11,88 kWp.

Asuinrakennuksen katon ensimmäisessä mitoitusvaihtoehdossa katolle sijoitetaan 36 kappaletta tehoiltaan 330 Wp:n aurinkopaneelia järjestelmän huipputeholla 11,88 kWp. Kyseisessä mitoituksessa on myös tarkoituksena hyödyntää katon kokonaispinta-ala mahdollisimman tehokkaasti. Tämä mahdollistaa suuremman aurinkopaneelimäärän sekä järjestelmän kokonaistuoton.

Aurinkopaneelien sijoituksessa on tässäkin tilanteessa huomioitu kiinnikeväli ja tarvittavat ilmaratot sekä muut esteet. Aurinkopaneelit on myös mahdollista asentaa lähemmäksi katon harjannetta tilan sen mahdollistaessa. Katon matalan alareunan vuoksi asennus onnistuu myös tarvittaessa rakennustelineitä hyödyntäen. Seuraavaksi siirrytään asuinrakennuksen optimoituun mitoitukseen, jossa katolle sijoitetaan 32 kappaletta aurinkopaneeleita. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmä esitetään kuvassa 14.



Kuva 14. Asuinrakennuksen katolle sijoitetaan 32 kappaletta aurinkopaneeleita, jolloin huipputehoksi saadaan 10,56 kWp.

Asuinrakennuksen toisessa mitoitusvaihtoehdossa katolle sijoitetaan 32 kappaletta tehoiltaan 330 Wp:n aurinkopaneelia järjestelmän huipputeholla 10,56 kWp. Vähäisempi aurinkopaneelimäärä mahdollistaa matalampien hankintakustannusten lisäksi järjestelmän eri asennusvariaatiot myös sivuttaissuunnassa. Aurinkopaneelit ovat 3–8 metrin korkeudessa maanpinnasta, mikä tässäkin tilanteessa mahdollistaa asennuksen rakennustelineitä hyödyntäen. Kuvassa 15 näytetään aurinkosähköjärjestelmien huipputehoarvot sekä aurinkopaneelien määrät.

14 paneelia (4,62 kWp)	32 paneelia (10,56 kWp)	36 paneelia (11,88 kWp)
------------------------	-------------------------	-------------------------

Kuva 15. Aurinkosähköjärjestelmien huipputehoarvot ja järjestelmäkohtaiset aurinkopaneeleiden määrät, jossa suurempi paneelimäärä tarkoittaa suurempaa huipputehoa.

5 Aurinkosähköjärjestelmän tuottotiedot

5.1 Tuottotietojen laskenta

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen kannalta oleelliset tuottotiedot saadaan PVGIS sivulta, josta löytyy aurinkopaneeleiden tuottotietolaskuri. Sivuston laskuriin syötetään tarvittavat koordinaatit sekä aurinkopaneeleiden tiedot. Laskuriin syötetään myös mallintamisesta saadut aurinkosähköjärjestelmän huipputehoarvot, joiden avulla saadaan järjestelmien todellinen tuottotieto eri mitoitusvaihtoehdoista. Tiedot voidaan myös tarvittaessa ladata sivustolta suoraan Exceliin, minkä jälkeen niitä on helpompi käsitellä ja vertailla keskenään (PVGIS 2022).

Tuottotietojen laskentaa varten on selvitettävä kohteen kattojen suuntauskulmat eli atsimuuttikulmat, mikä tarkoittaa aurinkopaneelin akselin sekä etelän välistä kulmaa. Aurinkosähköjärjestelmissä suuntauskulma ilmoitetaan yleensä siten, että 0° tarkoittaa etelään, -90° itään ja $+90^\circ$ länteen päin. Tarvittavat suuntauskulmat saadaan piirtämällä karttapalveluun viiva paneelien suuntaisesti kuvaamaan paneelien asennussuuntaa. Aurinkopaneelien suuntaa kuvaavasta viivasta lasketaan erillisellä kulmatyökalulla aurinkopaneelien ja etelän välinen kulma. Etelän puoleisen katon atsimuuttikulmaksi saadaan -6° ja lännen puoleisen katon atsimuuttikulmaksi 80° . Auringon atsimuuttikulma voidaan myös laskea kaavalla 2 (Sparks, 2002).

$$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(\alpha)} \quad (2)$$

γ_s on auringon atsimuuttikulma [°]



α on auringon korkeuskulma [°]








δ on maapallon akselin kaltevuus [°]

ω on tuntikulma [°]

PVGIS laskurilla on mahdollista laskea aurinkosähköjärjestelmän tuottotiedot tuntien tarkkuudesta vuoden tarkkuuteen. Laskuriin syötetään myös oletettu järjestelmän tehoalenema, jossa käytetään laskurin vakioarvoa 14 %. Tehoaleneman vakioarvo koostuu aurinkopaneeleiden käyttöiän aikana syntyvästä tehohäviöstä. Tuottotietolaskuri ilmoittaa aurinkopaneeleiden kuukausikohtaiset tuottotiedot valmiin taulukon muodossa, mikä helpottaa tulosten vertailua. Ensimmäisessä tilanteessa tuottotietolaskuriin syötetään autotallirakennuksen mallinnuksessa saatu huipputehoarvo 4,62 kWp (PVGIS 2022).

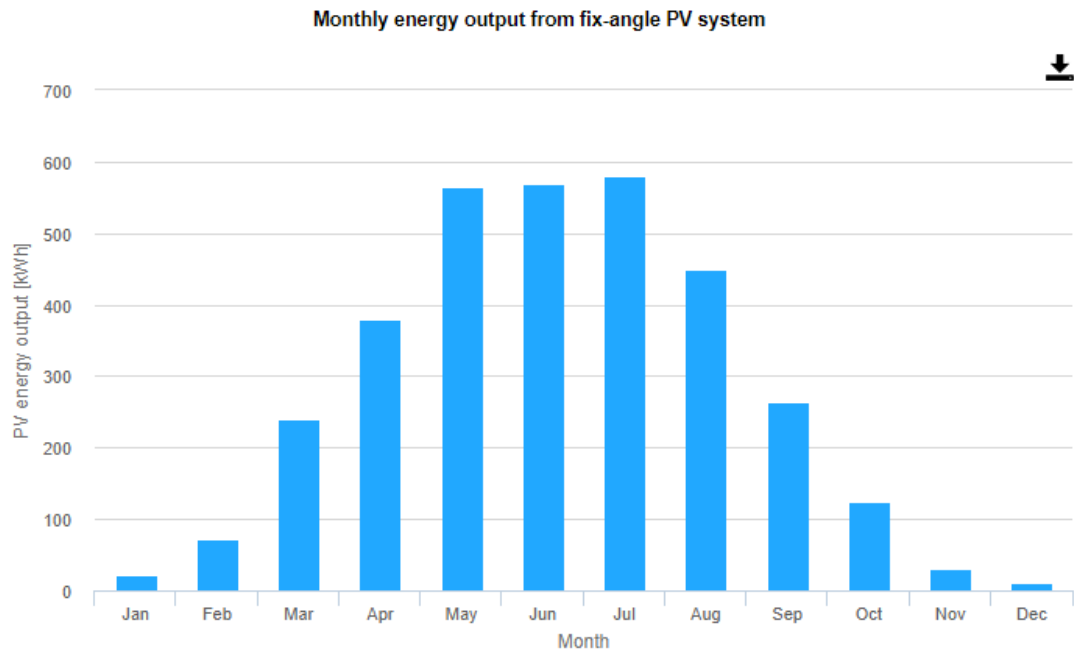
Tämän jälkeen laskentaan syötetään kaikissa vertailuissa käytettävä aurinkopaneeleiden asennuskulma 40 astetta sekä laskennassa käytettävä lännen 80 asteen atsimuuttikulma. Tuottotietolaskuriin syötetään myös kohteen koordinaatit ja aurinkopaneeleiden materiaali, joka on tässä tapauksessa crystalline silicon (c-Si). Laskuriin on syötetty autotallirakennuksen edellisessä kohdassa käytyt aurinkosähköjärjestelmän arvot. Tuottotietolaskurin aloitusnäkyä esitetään kuvassa 16.

 PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV


Solar radiation database*	PVGIS-SARAH 
PV technology*	Crystalline silicon 
Installed peak PV power [kWp]*	4,62 
System loss [%]*	14 
Fixed mounting options	
Mounting position *	Roof added / Building integrated 
Slope [°]*	40 
Azimuth [°]*	80 
<input type="checkbox"/> PV electricity price	<input type="checkbox"/> Optimize slope
PV system cost (your currency)	<input type="text"/>
Interest [%/year]	<input type="text"/>
Lifetime [years]	<input type="text"/>
	<input type="checkbox"/> Optimize slope and azimuth

Kuva 16. PVGIS tuottotietolaskurin aloitusnäkyä autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tiedoilla (PVGIS 2022).

Tämän jälkeen laskennan tulokset saadaan kuukausikohtaisella tarkkuudella alempana sijaitsevan taulukon muodossa, mikä helpottaa tulosten analysointia. Taulukosta ilmenee, että toukokuusta heinäkuuhun aurinkosähköjärjestelmän tuotto on parhaimmillaan. Aurinkopaneeleista saatava tuotto on alimmillaan marraskuusta tammikuuhun auringonpaisteen ollessa vähäisintä. Kuvassa 17 esitetään autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuotto eri kuukausille jaettuna.



Kuva 17. Autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kuukausikohtainen tuottotieto osoittaa, että järjestelmästä saatava tuotto on vähäisintä marraskuun ja helmikuun välisenä aikana.

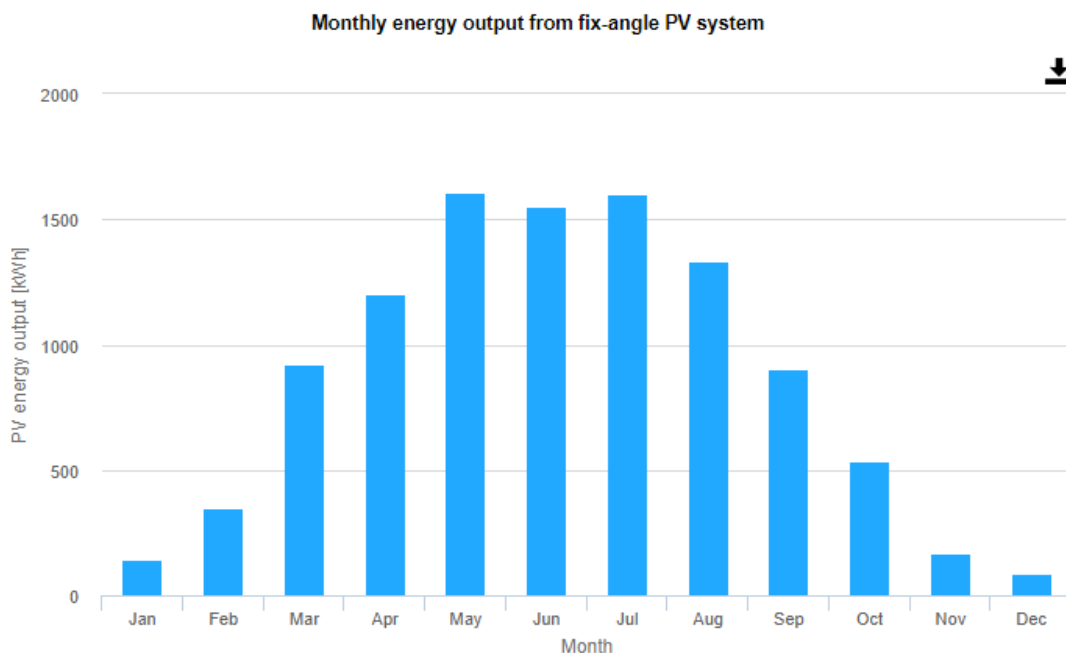
Tuottotietolaskurista saadaan autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän vuodenaikaiseksi kokonaistuotoksi 3307,34 kWh. Aurinkosähköjärjestelmän huipputehon ollessa 4,62 kWp on tuottotietolaskurin ilmoittama todellinen tuottoarvo noin 29 % alhaisempi, mikä johtuu suurimmilta osin aurinkopaneelien suuntauksen kannalta epäedullisesta ilmansuunnasta länsi. Kuvassa 18 esitetään autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto.

Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	4.62
System loss [%]:	14

Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	40
Azimuth angle [°]:	80
Yearly PV energy production [kWh]:	3307.34
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	937.82
Year-to-year variability [kWh]:	197.05
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-3.55
Spectral effects [%]:	NaN
Temperature and low irradiance [%]:	-7.97
Total loss [%]:	-23.67

Kuva 18. Autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuottotietolaskelmat, jossa vuosituotoksi saadaan 3307,34 kWh.

Toisessa tuottotietolaskennassa syötetään tuottotietolaskuriin asuinrakennuksen aurinkopaneeleiden kulmat, jotka ovat aurinkopaneeleiden 40 asteen asennuskulma sekä kyseisen ilmansuunnan -6 asteen atsimuuttikulma. Lisäksi laskentaan syötetään edellisen laskennan sijaan asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän huipputehoarvo. Laskennassa käytetyt koordinaatit ja oletettu 14 prosentin tehoalenema pysyvät samana. Kuvassa 19 esitetään järjestelmän tuottotieto kuukausikohtaisen tuottojakauman muodossa.



Kuva 19. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kuukausikohtainen tuototieto, jonka mukaan 36 kappaletta aurinkopaneeleita tuottavat eniten touko-kuussa ja heinäkuussa.

Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän optimaalinen ilmansuunta ja -6° atsimuuttikulman avulla aurinkopaneelien todellinen vuosituotto ja huipputehoarvo ovat suhteellisen lähellä toisiaan. Aurinkosähköjärjestelmän tuotanto on tasaisempaa läpi vuoden, mikä näkyy varsinkin kesäkuukausien osalta järjestelmän tuottomäärän tasaisuutena.

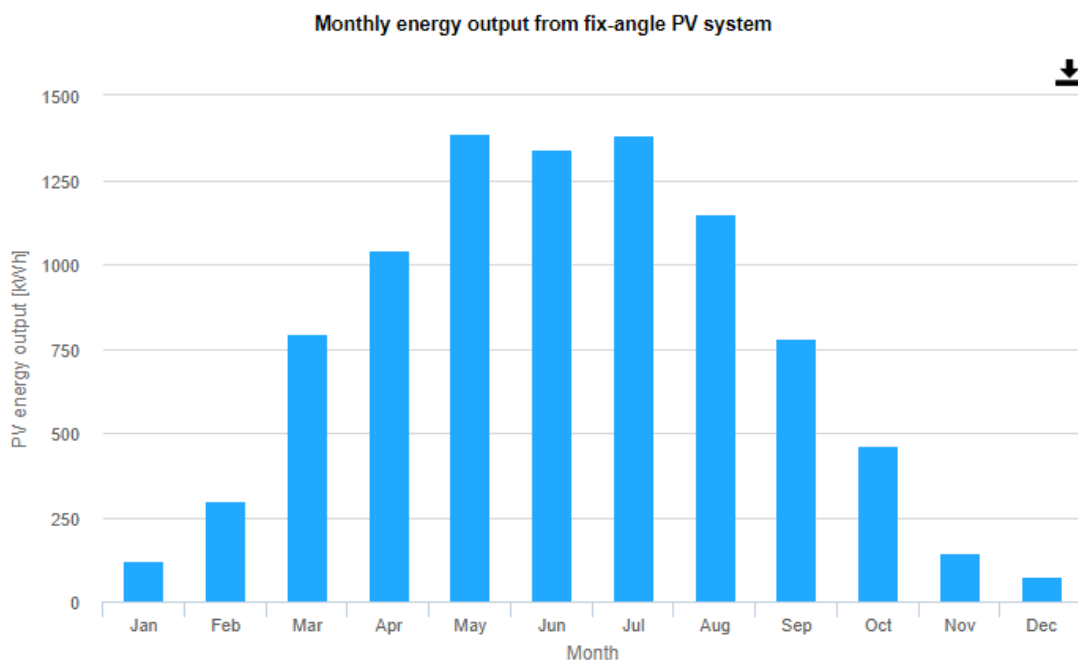
Aurinkosähköjärjestelmän kokonaisvuosituotoksi saadaan 10 393 kWh, joka on autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmästä poiketen selvästi lähempänä järjestelmän huipputehoarvoa. Laskelmasta voidaan huomata ilmansuunnan merkitys aurinkopaneelista saatavaan vuosituoton määrään. Kuvassa 20 esitetään aurinkosähköjärjestelmän vuosittaista tuottoa.

Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	11.88
System loss [%]:	14

Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	40
Azimuth angle [°]:	-6
Yearly PV energy production [kWh]:	10393
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1132.96
Year-to-year variability [kWh]:	618.86
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.89
Spectral effects [%]:	NaN
Temperature and low irradiance [%]:	-7.54
Total loss [%]:	-22.78

Kuva 20. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuottotietolaskenta osoittaa, että 36 kappaletta aurinkopaneeleita tuottavat 10 393 kWh vuodessa.

Asuinrakennuksen toisessa tuottotietolaskennassa käytetään edellisen laskennan tapaan samoja arvoja aurinkosähköjärjestelmän huipputehoa lukuun ottamatta. Mitoitustilanteessa on neljä aurinkopaneelia vähemmän, joten järjestelmän huipputehoksi saadaan 10,36 kWp. Kuukausikohtaisista tuottotiedoista ilmenee aurinkopaneelien tuottojen ollessa samassa mittasuhteessa edellisen katto täyteen mitoituksen kanssa. Tässä tuottotietolaskennassa järjestelmän todelliseksi vuosituotoksi saadaan 8975.77 kWh. Kuvassa 21 esitetään lasketun tuottotiedon jakautumista eri kuukausille.



Kuva 21. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kuukausikohtainen tuottotieto osoittaa, että 32 kappaletta aurinkopaneeleita tuottavat eniten kesällä aurinkonpaisteen ollessa suurinta.

Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmien tuottotietoa kuvaavat taulukot muistuttavat vahvasti toisiaan. Tuottojen jakauma vuositasolla on molemmissa järjestelmissä samalla tasolla ja eroja saavutetaan ainoastaan vuotuisessa kokonaistuotossa. Järjestelmien välisiä eroja tuottotiedoissa on vaikea huomata kuukausikohtaisella tarkastelulla. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmän tuottotiedot esitetään kuvassa 22.

Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	10.26
System loss [%]:	14

Simulation outputs:

Slope angle [°]:	40
Azimuth angle [°]:	-6
Yearly PV energy production [kWh]:	8975.77
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1132.96
Year-to-year variability [kWh]:	534.47
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.89
Spectral effects [%]:	NaN
Temperature and low irradiance [%]:	-7.54
Total loss [%]:	-22.78

Kuva 22. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmässä 32 kappaletta aurinkopaneeleita tuottavat 8975,77 kWh vuodessa.

Tuottotietolaskenta osoittaa asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmien eroksi 1417,23 kilowattituntia vuodessa. Muuten tuottotietolaskennassa ei saada järjestelmien välille merkittäviä eroja lasketulla aikavälillä, mutta eroa voidaan kuitenkin pitää merkittävänä pidemmällä aikavälillä tarkasteltaessa.

5.2 Tuottotietojen yhteenveto

Tuottotietojen yhteenvetona saatiin kolmen erikokoisen aurinkosähköjärjestelmän vuotuiset tuottotiedot sekä kuukausikohtaiset tuottojakaumat. Laskennassa autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmälle saatiin vertailtavista järjestelmistä matalin vuotuinen tuotto. Asuinrakennuksen aurinkosähköjärjestelmille saatiin laskennassa lähes identtiset vuosituotot. Laskennassa syntyneet erot olivat odotettuja ilmansuunnasta ja aurinkopaneeleiden määrästä johtuen.

Tuloksien valossa suurimmat tehohäviöt laskettuun järjestelmän huipputehoarvoon nähden tulivat autotallirakennuksen järjestelmästä ja paras reaalityttö asuinrakennuksen suuremmasta aurinkosähköjärjestelmästä. Myös järjestelmien huipputehoarvoihin nähden tulokset olivat samassa järjestyksessä verrattuna todelliseen vuosituottoon. Todellisia tuottotietoja vertailtaessa korostuivat ennen kaikkea ilmansuunnan merkitys ja aurinkopaneeleiden kokonaismäärät.

6 Investoinnin kannattavuuslaskenta

6.1 Kannattavuuslaskennan aloitus

Kannattavuuslaskenta tehdään laskurin avulla. Laskuriin syötetään edellisissä vaiheissa saadut aurinkosähköjärjestelmien todelliset tuottotiedot sekä sähkön markkinahinta ja muut tarvittavat kustannukset. Tätä kautta saadaan eri aurinkosähköjärjestelmien kustannus- ja tuottolaskelmat niiden suunnitellun 30 vuoden elinkaaren aikana. Investoinnin kannattavuuslaskelmaan on myös syötettävä aurinkosähköjärjestelmän investointikustannus, joka on 4,62 kWp järjestelmän kohdalla 7450 €.

Alle 10 000 € aurinkosähköjärjestelmien hankintakustannuksiin ei myönnetä valtion tarjoamaa energiatukea, mutta asuinrakennuksen molempien järjestelmien kohdalla tämä pykälä täyttyy. Näiden järjestelmien laskelmissa käytetään

laskurin vakiona tarjoamaa 20 % energiatuen määrää (Energiatuen myöntämisen perusteet 2022).

Energiatuen ehtoina on myös, ettei hanketta olla käynnistetty tuen hakemisvaiheessa. Lisäksi ehtoihin kuuluu, että valtion tarjoama energiatuki voi olla enintään 50 % hankkeen kokonaiskustannuksista (Energiatuen myöntämisen perusteet 2022).

Investointikustannukset saadaan laskentaa varten Lumo Energialta. Investoinnin kannattavuuslaskennan tuloksena saadaan laskettua aurinkosähköjärjestelmien nettonykyarvo (NPV). Nettonykyarvolla tarkoitetaan sijoituksen kannattavuutta tietyllä ajanjaksolla tarkasteluna. Nettonykyarvo on tulo- ja menovirtojen erotus. Nettonykyarvo on aurinkosähköjärjestelmien kannalta paras mittari hankinnan kannattavuuteen. Toinen hankinnan kannattavuuden mittari on takaisinmaksuaika, mutta tämä ei kuvaa hankittavan järjestelmän kustannuksien kannattavuutta koko sen 30 vuoden elinkaaren aikana. Nettonykyarvo huomioi muun muassa järjestelmän hyötysuhteen alenemisen laskettavan ajanjakson aikana.

Kaikki mitoitustilanteet lasketaan nykyisellä 15 snt/kWh sähköhinnalla, jonka oletetaan pysyvän samana myös tulevaisuudessa. Sähkön siirrossa käytetään 5 snt/kWh ja sähköverona 2,2 snt/kWh. Sähkön hinnan arvioiminen järjestelmän 30 vuoden elinkaaren aikana olisi riittävällä tarkkuudella vaikeaa, joten laskelmissa oletetaan sähkön hinnan pysyvän samana myös tulevaisuudessa. Laskennassa käytetään lainan korkona 0 % kaikissa eri laskentatilanteissa tasavertauuden vuoksi. Nettonykyarvon laskentaan vaikuttavat suuresti järjestelmästä saatava todellinen tuotto sekä hankintakustannukset.

Lopussa esitetään yhteenveto eri aurinkosähköjärjestelmien hankintahinnoista sekä niiden nettonykyarvoista. Merkittävin tekijä nettonykyarvon mahdolliseen muutokseen olisi sähkönhinnan radikaali muutos, kun investointikustannukset, järjestelmän tuotto sekä tehonalenema ovat tiedossa tai pysyvät laskennan ajan muuttumattomina.

Alempana näkymä laskentaan syötettävistä tiedoista, joiden avulla aurinkosähköjärjestelmän nettonykyarvo saadaan laskettua. Esimerkissä ohjelma tarjosi vakiona arvot, joista osa pitää myös näissä laskelmissa paikkansa, kuten investointituen määrä. Punaisella merkityt kohdat on vähintään täytettävä, jotta laskenta antaa tuloksen, ja sinisellä ilmoitetut kohdat ovat tulosta tarkentavia arvoja. Kannattavuuslaskentaan vaadittavat arvot esitetään kuvassa 23.

Tiedot kiinteistön ostosähkön kustannuksista (aurinkosähköjärjestelmän vertailukustannukset):

Sähköenergian ostohinta	4.0	snt/kWh
Energiaperusteinen sähkön siirtohint	3.0	snt/kWh
Sähkövero ja huoltovarmuusmaksu	2.253	snt/kWh
Ostosähkön arvonlisävero	0%	
<i>Välitulos: aurinkosähkön vertailuhinta eli aurinkosähkön vaihtoehtoiskustannus</i>	9.3	snt/kWh
Arvio ostosähkön hinnan noususta %/v	2.0%	/vuosi

Tiedot hankittavasta aurinkosähköjärjestelmästä:

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona kWp	20.0	kWp
<i>Välitulos: järjestelmän koko paneelien pinta-alana noin m²</i>	136	neliometriä
Aurinkosähkön vuosituotto järjestelmän sijainnin mukaan	880	kWh/kWp
<i>Välitulos: aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto alussa</i>	17600	kWh
Aurinkovoimalan vuosittainen sähköntuotannon vähenemä %/v	-0.5%	%
Aurinkosähkön ylijäämän osuus % vuosituotannosta	10%	
Aurinkosähkön ylijäämän myyntihinta verkkoon snt/kWh	2.0	snt/kWh

Tiedot aurinkosähköjärjestelmän hankinta-, ylläpito- sekä rahoituskustannuksista:

Aurinkosähköjärjestelmän avaimet käteen -investointikustannus € (laitteet ja asennus)	€19,000	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän vertailuhinta ilman tukia</i>	950 €	euroa/kWp
Mahdollinen investointituki, kotitalousvähennys tms. alkuinvestoinnista, %	20%	
Oma mainos-, brändi- tai ympäristötuki investoinnille €	€0	euroa
<i>Välitulos: Järjestelmän investointikustannus sisältäen mahdolliset tuet €</i>	15,200 €	euroa
Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen määrä	€14,400	
Laina-aika tai rahoitussopimuksen pituus	10	vuotta
Lainan tai rahoituksen korko	1.5%	
<i>Välitulos: Lainan tai ulkopuolisen rahoituksen maksuerät/vuosi</i>	€1,440.0	euroa/vuotta
Investoinnin tuottovaatimus	0.0%	
Invertterin vaihdon kustannus, osuus alkuinvestoinnista. Oletettu tapahtuvan kerran aurinkosähköjärjestelmän elinaikana 15. vuotena.	8%	
Vuotuiset ylläpitokulut (vakuutukset, huolto tms. kulut)	€100	euroa

Kuva 23. Investoinnin kannattavuuslaskelman aloitusnäky ja siihen vaadittavat arvot, kuten sähkönhinta ja aurinkosähköjärjestelmän teho sekä investointikustannus.

Autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskennassa nettonykyarvoksi saadaan vertailtavan 30 vuoden ajanjaksolla 3595 €. Laskennan

tulos oli odotettu epäsuotuisan ilmansuunnan sekä vähäisen paneelimäärään ansiosta. Laskentaan syötettiin autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän huipputeho sekä järjestelmän todellinen vuosituotto 3307.34 kWh ja muut laskentaan vaaditut arvot. Tämän lisäksi laskelmaan syötettiin sähkön hinta 22 snt/kWh eroteltuna laskennan vaatimusten mukaisesti. Järjestelmä ei alhaisen hankintahintansa vuoksi (alle 10 000 euroa) kuulu valtion energiatuen piiriin, joten sitä ei huomioitu autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmän kohdalla. Tämä omalta osaltaan alentaa kyseisen aurinkosähköjärjestelmän hankinnan kannattavuutta. Lainan korkona käytettiin 0 % kuten kaikissa muissakin eri järjestelmien kannattavuuslaskennoissa.

Asuinrakennuksen 36 aurinkopaneelin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskennassa laskentaan syötettiin järjestelmän huipputeho ja investointikustannus, joka oli 13 500 €. Lisäksi laskentaa syötettiin järjestelmän todellinen 10 393 kilowattitunnin vuosituotto. Muut edellisessä laskentavaiheessa käytetyt arvot valtion 20 prosentin investointitukea lukuun ottamatta pysyivät samoina. Tästä saatiin tuloksena järjestelmän 30 vuoden käyttöiälle 29 420 euron nettonykyarvo, joka oli odotettu suuren paneelimäärän sekä optimaalisen atsimuuttikulman ja ilmansuunnan ansiosta.

Asuinrakennuksen optimoidun mitoituksen kannattavuuslaskennassa syötettiin järjestelmän huipputehoarvo sekä todellinen 8975.77 kilowattitunnin vuosituotto. Lisäksi laskelmaan syötettiin 12 240 euron investointikustannus ja valtion energiatuki. Sähkön hinta pysyi edellisten laskentojen tapaan samana. Nettonykyarvoksi saatiin 22 564 €, joka sijoittuu kolmesta vertailtavasta aurinkosähköjärjestelmästä keskimmäiseksi suhteellisen selkeällä erolla 36 aurinkopaneelin järjestelmään.

Suuremman hankintahinnan aurinkosähköjärjestelmät ovat paremman nettonykyarvon lisäksi perusteltuja myös valtion tarjoaman energiatuen takia. Investointikustannuksen korkealla alarajalla kannustetaan suurempien järjestelmien hankintaan ja tätä kautta oikein suunniteltuna suurempaan nettonykyarvoon ja sähköntuottoon.

6.2 Investoinnin kannattavuuslaskelman tulokset

Kolmen eri kannattavuuslaskennan tarkoituksena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmien nettonykyarvot, jotka kuvaavat parhaiten järjestelmän kannattavuutta tarkasteltavalla aikavälillä. Nettonykyarvo on selkein laskentatapa järjestelmän kannattavuuden tulkintaan, eikä esimerkiksi aikaisemmin käsitelty takaisinmaksuaika tarjoa samanlaista tarkkuutta järjestelmän 30 vuoden käyttöajalle. Ilmansuunnasta ja aurinkopaneelien määrästä johtuvat eroavaisuudet olivat odotettavissa, kuten aurinkosähköjärjestelmien todellisia tuottotietoja laskiessa kävi ilmi. Investoinnin kannattavuuslaskennan tulokset on laskettu vuoden 2022 sähkön hinnoilla ja muilla aurinkosähköjärjestelmän sen hetkisillä tiedoilla sekä hankintakustannuksilla.

Kannattavuuslaskennan tuloksena saatiin kolme erilaista tilannetta, joista kannattavimmaksi vertailtavalla 30 vuoden aikavälillä valikoitui asuinrakennuksen 36 aurinkopaneelin järjestelmä. Järjestelmän vuosituotto oli niin suurta, että suurimmasta hankintahinnasta huolimatta järjestelmä saavutti vertailtavista aurinkosähköjärjestelmistä parhaan nettonykyarvon. Asuinrakennusten aurinkosähköjärjestelmien hankintakustannukset olivat suhteellisen lähellä toisiaan, vaikka järjestelmien välisissä nettonykyarvoissa ero oli selkeämpi.

Autotallirakennuksen aurinkosähköjärjestelmää ei voi pitää kannattavana sen matalan nettonykyarvon sekä epäedullisen ilmansuunnan kannalta. Kohteeseen olisi suositeltavaa asentaa aurinkosähköjärjestelmä asuinrakennuksen katolle myös pienemmässä mittakaavassa suuren kattopinta-alan ja optimaalisen ilmansuunnan takia. Eroavaisuudet järjestelmien huipputehon ja todellisen tuoton välillä kertovat selkeästi, onko suunniteltu asennuspaikka suotuisa. Kuvassa 24 esitetään eri aurinkosähköjärjestelmien laskennan tuloksia.

Hankintahinta sis. alv %								
14 paneelia (4,62 kWp)			32 paneelia (10,56 kWp)			36 paneelia (11,88 kWp)		
7450 euroa			12 240 euroa			13500 euroa		
Nettonykyarvo (NPV) 30 vuoden käyttöiällä								
3595 euroa			22564 euroa			29420 euroa		

Kuva 24. Aurinkosähköjärjestelmien laskennan tulokset osoittavat suuremman hankintahinnan tuottavan paremman nettonykyarvon.

Tuloksia vertailtaessa nähdään 11,88 kWp järjestelmän olevan kannattavin ratkaisu kohteeseen vertailtavista vaihtoehdoista. Hankintahinnoissa ei ilmennyt suuria eroja toisiinsa, ja hankintahinnat kilpailuttamalla voi tässäkin säästää lisää. Tuloksista ilmenee myös oikean ilmansuunnan merkitys niin nettonykyarvon kuin järjestelmän todellisen tuoton kannalta. Tämä ilmeni varsinkin taulukon muodossa tuottotietoja laskiessa talvikuukausina, kun järjestelmästä saatava tuotto oli vähäisintä.

6.3 Yhteenveto

Työssä edettiin asteittain aurinkosähköjärjestelmän toimintaperiaatteesta mitoituksen kautta laskentaan. Työn tarkoituksena oli jakaa tietoa aurinkosähköjärjestelmän hankinnasta ja toiminnasta esimerkkikohteen avulla. Opinnäytetyössä avattiin aurinkosähköjärjestelmän toiminnan kannalta oleellisia asioita myös lukujen valossa, minkä tarkoituksena oli myös omalta osaltaan lisätä mielenkiintoa aihetta kohtaan. Opinnäytetyössä tuotiin esille aurinkosähköjärjestelmien huipputehoarvoja ja järjestelmien todellisia tuottotietoja eri kokoisten järjestelmien avulla.

Opinnäytetyössä käsiteltiin eri asioiden vaikutusta aurinkosähköjärjestelmästä saatavaan tuottoon ja kannattavuuteen. Aurinkopaneelien hankinnan kannalta oppinäytetyössä on käyty läpi kuluttajan näkökulmasta oleellisia asioita, joita olisi hyvä huomioida aurinkosähköjärjestelmää hankkiessa tai sitä suunniteltaessa. Oletettua on, että aurinkopaneelivalmistajien lisääntyminen ja tuotekehitys laskee aurinkopaneelien hankintahintoja ja aurinkosähköjärjestelmät säilyttävät kannattavuutensa myös tulevaisuudessa.

Lähteet

Aurinkojärjestelmä on kannattava hankinta Suomessa. 2020. Verkkoaineisto. Lumoenergia. <<https://www.lumoenergia.fi/aurinkopaneelit/aurinkopaneelien-hankinta-on-kannattava-investointi>>. Luettu 10.10.2022.

Aurinkopaneelien sijoittaminen ja suuntaus. 2022. Verkkoaineisto. Aurinkosähköä kotiin. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/sijoittaminen-ja-tuotto/>>. Luettu 4.10.2022.

Aurinkopaneelin toimintaperiaate. 2022. Verkkoaineisto. Suomen aurinkotekniikka. <<https://www.aurinkopaneeliopas.fi>>. Luettu 15.9.2022.

Aurinkosähköjärjestelmän teho. 2022. Verkkoaineisto. Aurinkopaneelin hyötysuhde. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelman_teho>. Luettu 16.9.2022.

Downloading SketchUp. 2017. Verkkoaineisto. SketchUp. <<https://www.sketchup.com/try-sketchup>>. Luettu 9.10.2022.

Energiatuen myöntämisen perusteet. 2022. Verkkoaineisto. Business Finland. <<https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki>>. Luettu 20.10.2022.

Invertterin toiminta. 2022. Verkkoaineisto. Aurinkovirta. <<https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>>. Luettu 23.9.2022.

Kinnunen, Joonas. 2022. Aurinkosähkö invertterin ja aurinkopaneelien valinta aurinkosähköjärjestelmään. Verkkoaineisto. Lumme Energia. <<https://www.lumme-energia.fi/blogi/kuinka-aurinkosahkojarjestelman-invertteri-valitaan#970abdd3>>. Luettu 21.10.2022.

Lehto, Ina & Orrberg, Matti & Ylinen, Marko & Andersén, Markus. 2021. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Verkkoaineisto. Sähkötielikortisto. <<https://severi-sahkoinfo-fi.ezproxy.metropolia.fi/>>. Luettu 21.10.2022.

Aurinkosähkö. 2022. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko>. Luettu 1.10.2022.

Opi ymmärtämään mihin investoit. 2022. Verkkoaineisto. SolarThor. <<https://www.solarthor.fi/aurinkopaneelit/>>. Luettu 26.9.2022.

Paneelien fyysinen asennus. 2022. Verkkoaineisto. <<https://www.aurinkovirta.fi/paneelien-fyysinen-asennus/>>. Luettu 30.9.2022.

PVGIS. 2022. Verkkoaineisto. European Commission. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/>. Luettu 8.10.2022.

Sparks, Nora. 2002. Verkkoaineisto. Solar azimuth angle. <<https://slideplayer.com/slide/11751150/>>. Luettu 23.10.2022.

