

# **Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja kannattavuus kerrostalokohteessa**

Arttu Pirskanen

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2021  
Tekniikan ala  
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikka

Tekijä(t) Pirskanen, Arttu	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Toukokuu 2021
	Sivumäärä 50	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi <b>Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja kannattavuus kerrostalokohteessa</b>		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Flyktman Teppo, Puttonen Pasi		
Toimeksiantaja(t) Sitowise Oy		
Tiivistelmä <p>Sitowise Oy:llä ilmeni tarve ohjeelle aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua varten, sillä olemassa olevaa suunnitteluohjeistusta on melko vähän. Opinnäytetyö oli siis kehitysprojektiluontoinen. Sen tavoitteena oli selvittää aurinkosähköjärjestelmän sähkösuunnittelun vaiheet sekä huomioon otettavat asiat ja näiden pohjalta luoda suunnitteluohje. Aurinkosähköjärjestelmien asennus yleistyy koko ajan ja siitä syystä aihe on todella ajankohtainen.</p> <p>Aiheeseen tutustuttiin teorian kautta, jonka pohjalta lähdettiin tekemään aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua mallikohteeseen. Suunnittelun tukena käytettiin standardeja, ST-kortteja sekä muita kirjallisia lähteitä aiheesta. Mallikohteeksi valittiin toimeksiantajan toiveiden mukainen ns. peruserostalokohde. Sähkösuunnittelu tehtiin pääasiassa Magicad Electrical -ohjelmistolla. Järjestelmän mitoittamiseen ja kannattavuuden arviointiin käytettiin FinSolar-hankkeessa luotua Excel-pohjaista aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskuria.</p> <p>Suunnittelu sisälsi järjestelmän mitoituslaskelmat, ylimmän kerroksen tasokuvan sekä aurinkosähköjärjestelmän periaatekaavion. Järjestelmä mitoitettiin kiinteistön energiankulutuksen mukaan. Mallikohteen suunnitelmien pohjalta tehtiin suunnitteluohje toimeksiantajan käyttöön, jonka tarkoituksena on helpottaa suunnittelutyötä antamalla ohjeistusta eri työvaiheisiin.</p> <p>Kannattavuuslaskelmissa ilmeni, että tavallisessa kerrostalokohteessa aurinkosähköjärjestelmä on kannattava. Lisäksi aurinkosähköllä on markkinointiarvoa ja hyötyä energiatodistuksessa.</p>		
Avainsanat (asiasanat)  aurinkosähköjärjestelmä, sähkösuunnittelu		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) Liite 5 on salassa pidettävä, ja se on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on kymmenen (10) vuotta. Salassapito päättyy 26.11.2030.		

Author(s) Pirskanen, Arttu	Type of publication Bachelor's thesis	Date May 2021 Language of publication: Finnish
	Number of pages 50	Permission for web publication: x
Title of publication <b>Photovoltaic system design and profitability in an apartment building project</b>		
Degree programme Engineer(Bachelor), electrical and automation engineering		
Supervisor(s) Flyktman Teppo, Puttonen Pasi		
Assigned by Sitowise Oy		
Abstract  <p>Sitowise corporation had a need for guidelines for the design of a photovoltaic system, as there are quite a few existing design guidelines. The thesis was therefore a development project. Its aim was to find out the stages of the electrical design of the photovoltaic system and the issues to be taken into account and to create a design guide based on these. The installation of photovoltaic systems is becoming more common all the time and that is why the topic is really topical.</p> <p>The topic was introduced through theory, on the basis of which the design of a photovoltaic system for a pilot project was started. Standards, ST cards and other written sources on the topic were used to support the design. According to the client's wishes, the so-called basic apartment building. The electrical design was done mainly with Magicad Electrical software. An Excel-based photovoltaic system profitability calculator created in the FinSolar project was used to dimension the system and assess its profitability.</p> <p>The design included system dimensioning calculations, a plan view of the top floor and a schematic diagram of the photovoltaic system. The system was dimensioned according to the energy consumption of the property. On the basis of the plans of the pilot project, a design guide was made for the use of the client, the purpose of which is to facilitate the design work by providing instructions for the various work stages.</p> <p>The profitability calculations showed that in a standard apartment building project, the photovoltaic system is profitable. In addition, photovoltaics has marketing value and benefits in energy certification.</p>		
Keywords/tags (subjects) photovoltaic system, electrical design		
Miscellaneous (Confidential information) Annex 5 is confidential and has been removed from the public thesis. The basis for secrecy is the Publicity law 621/1999 24§, section 17, commercial or trade secret of the company. Period of the secrecy is ten (10) years, secrecy ends 26.11.2030		

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Toimeksiantaja esittely.....	4
1.2	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet.....	5
1.3	Työn toteutus .....	5
<b>2</b>	<b>Aurinkoenergia.....</b>	<b>6</b>
2.1	Aurinkoenergia .....	6
2.2	Aurinkopaneelin toimintaperiaate.....	7
<b>3</b>	<b>Aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja suunnittelu .....</b>	<b>9</b>
3.1	Mitoitus .....	11
3.2	Aurinkopaneelityypit .....	11
3.2.1	Piipohjaiset paneelit .....	12
3.2.2	Ohutkalvopaneeli .....	13
3.3	Aurinkopaneelien hyötysuhde .....	14
3.4	Aurinkopaneelien sijoitus.....	14
3.5	Invertterit .....	16
3.6	Diodit .....	17
3.7	Järjestelmän kaapelointi .....	18
3.8	Verkkoon kytkentä .....	19
3.9	SolarEdge invertterit ja teho-optimoitsijat .....	20
<b>4</b>	<b>Esimerkkikohte ja sen suunnittelu.....</b>	<b>21</b>
4.1	Mitoitus .....	22
4.2	Komponenttien valinta.....	26
4.3	Aurinkopaneelien määrä, sijoitus ja asennustapa .....	27
4.4	Invertterin valinta.....	29
4.5	Paneeliketjun määrittäminen.....	31
4.6	Vaadittavat suojalaitteet .....	31
4.7	Kaapeleiden mitoitus.....	32
4.8	Suojaava potentiaalintasaus .....	36
4.9	Mallikohteen piirustukset .....	37

	2
<b>5 Järjestelmän kannattavuus .....</b>	<b>38</b>
<b>6 Aurinkosähkön tulevaisuus .....</b>	<b>39</b>
<b>7 Yhteenveto ja pohdinta .....</b>	<b>40</b>
<b>8 Kehitysehdotukset.....</b>	<b>41</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>43</b>
<b>Liitteet.....</b>	<b>46</b>
Liite 1. Aurinkosähkölaitteiston mitoituslaskuri .....	46
Liite 2. Periaatekaavio.....	47
Liite 3. Tasokuva .....	48
Liite 4. Aurinkosähkölaitteiston kannattavuuslaskuri.....	49
Liite 5. Aurinkosähkölaitteiston suunnitteluohje (salassa pidettävä) .....	50

## Kuviot

Kuvio 1. Auringon säteilyenergian jakautuminen ilmakehässä. (Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus 2017, 9) .....	7
Kuvio 2. P-N liitoksen muodostuminen vaiheittain. (Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus 2021, 11) .....	9
Kuvio 3. Aurinkosähkölaitteiston perusrakenne (ST 55.32 2019) .....	10
Kuvio 4. Aurinkosähkölaitteiston periaatekuva. (Verkkoon liitetty aurinkosähkölaitteisto 2020) .....	11
Kuvio 5. Edellä mainittujen kennotyyppien ominaisuudet. (Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus 2017, 12) .....	12
Kuvio 6. Yksikiteinen, monikiteinen ja ohutkalvopaneeli. Paneelityypit ovat hyvin helposti eroteltavissa ulkonäön perusteella. (Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus 2021, 12) .....	12
Kuvio 7. Auringon radan vaihtelu kausittain. (Aurinkosähkölaitteistojen suunnittelu ja toteutus 2021, 19) .....	15

Kuvio 8. SMA Sunny Tripower 3.0 -invertteri tiiliseinälle asennettuna. (Invertteri 2021).....	17
Kuvio 9. Varjostumisen aiheuttamana ohitusdiodin aktivoituessa paneelin sisäinen kennoketju ”sammutuu. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 22) .....	18
Kuvio 10. Atsimuutti .....	23
Kuvio 11. Mallikohteen katto. Kuvaan on lisätty osoitin pohjoista kohden. Rakennuksen pitkä sivu(kuvan lukusuunnassa vasen sivu) on lounasta kohti, joka on hyvä suunta paneelien asennukselle.....	23
Kuvio 12. PVGIS-laskurin raportti. ....	24
Kuvio 13. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitettu teho. ....	25
Kuvio 14. Järjestelmä mitoitettuna, jolloin laskennallisesti energiaa jää myytäväksi ainoastaan kesä- ja heinäkuulta. ....	25
Kuvio 15. Kuukausikohtainen sähkön kulutus ja tuotanto. ....	26
Kuvio 16. Tasakatolle tarkoitettu kiinnitysteline. (SOLAR -Kiinnitysteline tasakatoille 2021) .....	28
Kuvio 17. Aurinkopilari-asennusjärjestelmä tasakatolle. (Aurinkovoimalan asennusjärjestelmä tasakattoisiin uudis- ja korjausrakennuskohteisiin n.d.).....	28
Kuvio 18. Aurinkopaneelit sijoitettuna mallikohteen katolle.....	29
Kuvio 19. Aurinkosähköinvertteri sijoitettuna IV-konehuoneeseen. Sijoituksessa on tavoiteltu sitä, että paneeliketjun kaapelin pituus voidaan säilyttää mahdollisimman lyhyenä.....	30
Kuvio 20. Kuvakaappaus aurinkosähköjärjestelmän periaatekaaviosta .....	37

# 1 Johdanto

## 1.1 Toimeksiantaja esittely

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Sitowise Oy, joka tarjoaa kaikki rakentamisen suunnittelu-, asiantuntija- ja digitaaliset palvelut saman katon alta. Yhtiö on yksi Suomen suurimmista rakennusalan suunnittelu- ja konsultointitoimistoista, samalla ollen kaupunkiseutujen monialahankkeiden johtava osaja sekä tiedolla johtamisen ja tietomallintamisen edelläkävijä. Sitowise toimii Suomessa 21 paikkakunnalla. Lisäksi yhtiön tytäryhtiöt toimivat Ruotsissa, Virossa sekä Latviassa.

Sitowisen verkkosivustolla mainitaan yhtiön palveluiksi muun muassa seuraavat:

- *suunnittelu- ja konsultointipalvelut infrastruktuuria ja elinympäristöä kehittäville toimijoille*
- *kattavat talonrakennusalan asiantuntijapalvelut uudis- ja korjauskohteisiin*
- *kokonaisvaltaiset hankejohtamisen palvelut kiinteistö- ja infrahankkeiden suunnitteluun, käynnistämiseen, toteutukseen ja kunnossapitoon*
- *sekä älykkään ja turvallisen elinympäristön taustalla vaikuttavan, kestävästi toteutetun digitaalisen infrastruktuurin.*

(Yritys n.d.)

Sitowise Oy on saanut alkunsa Sito Oy:n ja Wise group Finland Oy:n fuusioitumisesta. Yhtiö muodostui vuonna 2018 näiden yritysten yhdistymisestä. Tämän jälkeen Sitowise on kasvanut yritysostojen myötä, ollen vuonna 2019 Suomen suurin suomalaisomisteinen rakennuskonsultointia tarjoava yritys. (Sitowise 2020)

Sitowisellä työskentelee yli 1900 asiantuntijaa, joista Jyväskylän toimipisteen osuus on noin 60 henkilöä. Sitowise listautui Helsingin pörssiin 25.3.2021. (Sitowise listautui Helsingin pörssiin 25.3 n.d.)

## 1.2 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Aurinkosähköjärjestelmät ovat tulevaisuudessa yleistymässä yhä enemmän ja enemmän, kuten kaikki uusiutuvat energialähteet. Nykypäivänä uusiutuvien energialähteiden käyttöä energia- ja ilmastostrategian ja hallitusohjelman tavoitteiden myötä pyritään lisäämään koko ajan. Opinnäytetyön aihe on myös toimeksiantajalle ajankohtainen, sillä aurinkosähköjärjestelmien suunnittelun määrä on kasvamassa. Työskennellessäni yrityksessä kävi ilmi, että aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun olisi hyvä saada suunnitteluohje. Selvitystyötä tehdessäni kävi selväksi, että suunnitteluohjeen lisäksi olisi myös tarpeellista saada selkeätä tietoa aiheesta, jolloin asiakkaalle olisi huomattavasti helpompaa tarjota aurinkosähköjärjestelmää.

Useille suunnittelijoille aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun liittyvät standardit ja määräykset eivät ole tuttuja. Opinnäytetyön tavoitteena on luoda suunnitteluohje, joka helpottaa ja nopeuttaa suunnittelutyötä. Suunnitteluohjeessa käydään läpi tärkeät huomioitavat asiat ja lisäksi listataan asiaan liittyvät standardit, joiden mukaan suunnittelu täytyy tehdä.

Tämän opinnäytetyön painopisteenä on on-grid -aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu uuteen kerrostalokohteeseen. Järjestelmä on kytketty yleiseen jakeluverkkoon, jolloin ylimääräinen energia on mahdollista myydä verkkoyhtiölle. Järjestelmä mitoitetaan kohteen tiedossa olevan tai laskennallisen kulutusprofiilin mukaan, jolla pyritään välttämään energian ostamista ulkopuoliselta taholta, jolloin sähköntuotannon kannattavuus on parhaimmillaan.

## 1.3 Työn toteutus

Tässä opinnäytetyössä käsitellään ainoastaan on-grid -aurinkosähköjärjestelmiä eli sähköverkon rinnalle kytkettyjä järjestelmiä. Opinnäytetyössä esitetään oleelliset kohdat aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa. Mallikohteena käytetään Jyväskylässä sijaitsevaa kerrostalokohdetta. Mallikohteeseen tehdään aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu kokonaisuudessaan. Järjestelmä mitoitetaan kiinteistöön mahdolli-

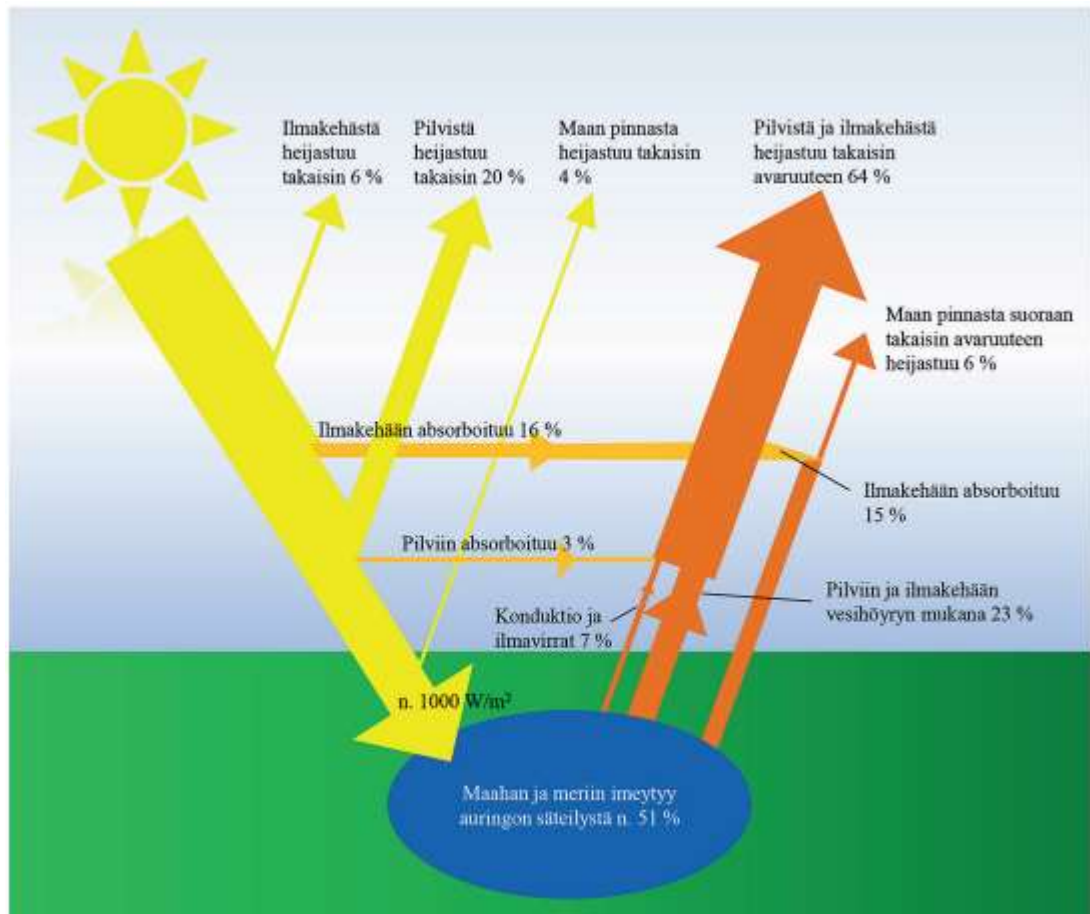


simman hyvin soveltuvaksi, piirretään kohteen tasokuvaan ja siitä tehdään periaatekaavio. Suunnittelu sisältää myös tarvittavien suojalaitteiden ja kaapeleiden mitoitus. Järjestelmä mitoitetaan kiinteistön kulutuksen mukaisesti, jolla pyritään saavuttamaan mahdollisimman hyvä kannattavuus. Opinnäytetyö on kehitysprojekti ja sillä pyritään kehittämään toimeksiantajan suunnittelutoimintaa ohjeistuksen avulla. Työn liitteeksi tehdään aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluohje toimeksiantajan käyttöön.

## **2 Aurinkoenergia**

### **2.1 Aurinkoenergia**

Sähkön tuotto aurinkoenergian avulla hyödyntää auringon säteilyä, valosähköistä ilmiötä sekä mm. puolijohdemateriaalien ominaisuuksia. Hyödynnettävä säteilyalue on pääosin ultravioletti ja lähi-infrapuna -alueilla. Säteilyn maan pinnalla on intensiteetiltään noin  $1000\text{W}/\text{m}^2$ . Aurinko säteilee läheisyydessään suuremmalla intensiteetillä, mutta intensiteetti heikkenee matkalla ilmakehään ja maan pinnalle saapuaan. Etelä-Suomessa vuotuinen säteilyn määrä on n.  $980\text{kWh}/\text{m}^2$ . Pohjois-Suomessa vastaava luku on taas n.  $750\text{kWh}/\text{m}^2$ . Säteily siis vaihtelee melko suuresti maantieteellisen sijainnin mukaan. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 9)



Kuvio 1. Auringon säteilyenergian jakautuminen ilmakehässä. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2017, 9)

Aurinkoenergian toiminta perustuu aiemmin mainittuun valosähköiseen ilmiöön. Tämä tarkoittaa sitä, että auringon säteily irrottaa alkuaineen pinnalta elektronin. Tämä alkuaine on aurinkopaneeleissa yleensä pii. Elektroni irrottautuu, kun aurin-gosta saapuva fotoni luovuttaa energiansa elektronille. Aurinkopaneeli pystyy tuotta-maan sähkövirtaa tämän ilmiön myötä. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja to-teutus 2021, 9-10)

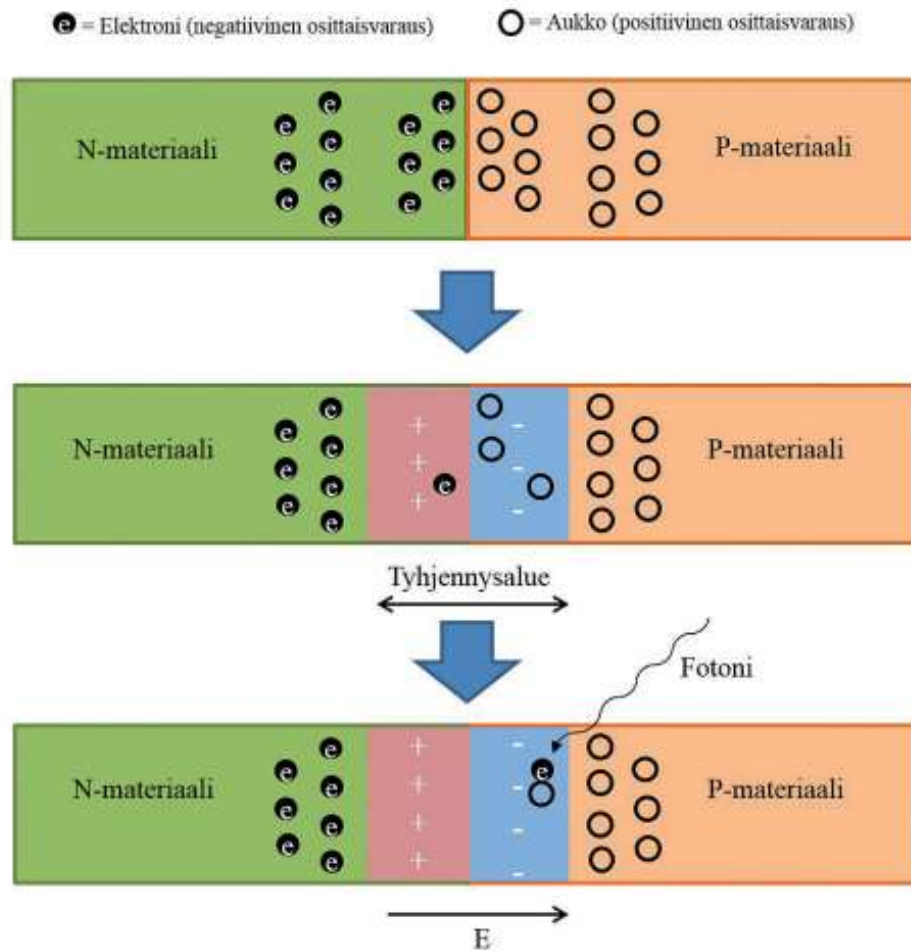
## 2.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneeleissa käytetään puolijohdemateriaaleja eli sellaisia aineita tai yhdis-teitä, jotka johtavat virtaa huonommin kuin johteet, mutta paremmin kuin eristeet. Yleisin paneeleissa käytetty puolijohde on pii. Tätä materiaalia voidaan myös seostaa

erilaisilla materiaaleilla, jolloin materiaaliin pystytään muodostamaan lisää varauksenkuljettajia ja sen myötä parempi johtavuus kuin normaalisti puolijohteella on. Tällainen seostusmateriaali on esimerkiksi fosfori, jolloin seostettua materiaalia kutsutaan N-aineeksi. Jos materiaalia seostetaan esimerkiksi alumiinilla, aineeseen pystytään muodostamaan aukko, jota voidaan käsitellä ylimääräisenä positiivisena varauksena. Tällä tavalla seostettua materiaalia kutsutaan P-aineeksi. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 10)

Kun nämä seostetut aineet asetetaan vierekkäin, saadaan muodostettua P-N-liitos. Tällöin elektronit pystyvät kulkemaan vapaasti materiaalista toiseen. Kohdatessaan aukon ne voivat yhdistyä. Myös aukot voivat kulkea materiaalista toiseen ja yhdistymään elektronin kohdatessaan. P-N-liitoksen lähellä on ns. tyhjennysalue ja siellä ei ole varauksenkantajia, niiden yhdistymisen takia. P-aineen puolelle syntyy negatiivinen varaus ja N-aineen puolelle syntyy positiivinen varaus. Tällöin P-N-liitoksen tyhjennysalueelle syntyy sisäinen sähkökenttä. (Mts. 10-11)

Uusi elektroni-aukkopari syntyy, kun auringon säteilystä tuleva fotoni virittää puolijohteessa sijaitsevan elektronin. Tyhjennysalueen muodostama sähkökenttä saa elektronin liikkumaan kohti positiivisesti varautunutta N-ainetta. Mikäli fotonin virittämä elektroni eroaa aukosta, eikä sisäisen sähkökentän ansiosta yhdistymistä tapahdu, syntyy sähkövirtaa. Virittymisen tapahtuessa kaukana tyhjennysalueesta elektroni ja aukko pääsevät yhdistymään, jolloin sähkövirtaa ei synny. Näiden seikkojen takia, aurinkokennot pyritään suunnittelemaan niin, että suurin osa säteilystä tulisi tyhjennysalueelle. Aurinkokennoihin liitettyjen kontaktien avulla elektronit saadaan kerättyä talteen ja muodostettua sähkövirtaa. (Mts. 11)



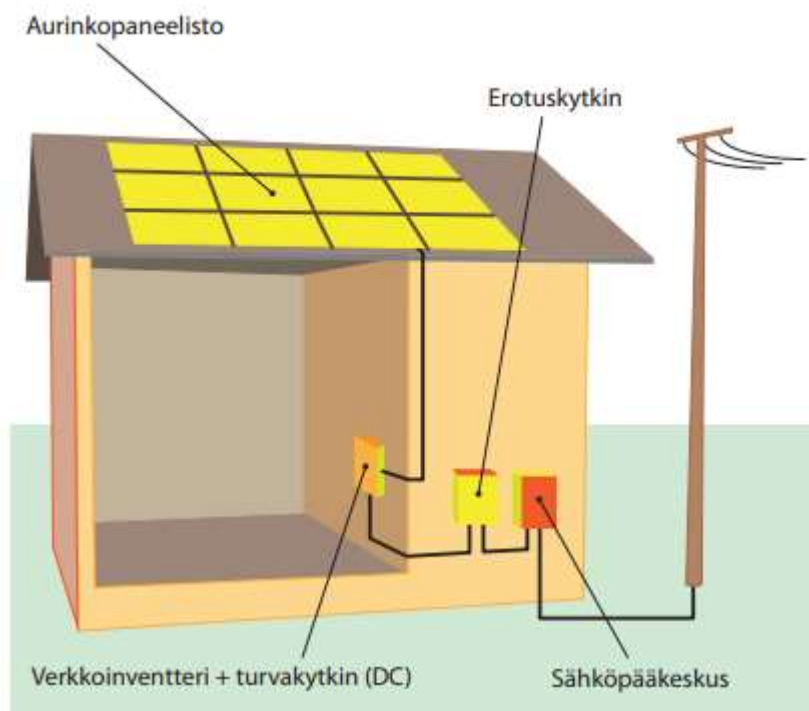
Kuvio 2. P-N liitoksen muodostuminen vaiheittain. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 11)

### 3 Aurinkosähköjärjestelmän rakenne ja suunnittelu

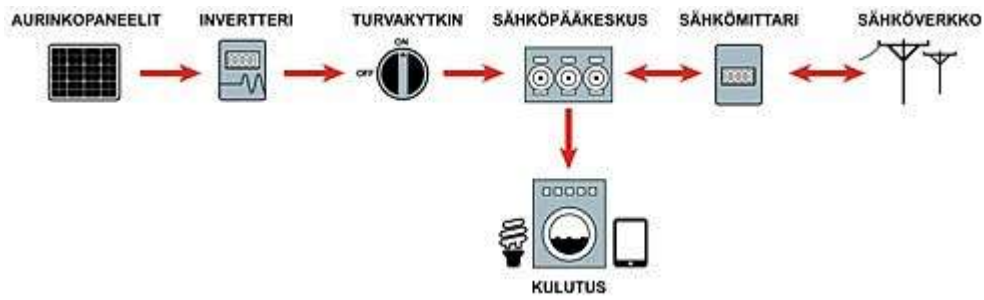
On-grid -aurinkosähköjärjestelmä koostuu seuraavista pääkomponenteista:

- Aurinkopaneelisto sisältäen kiinnitysjärjestelmän
- Kaapeloinnit
- Verkkoinvertteri
- Erotuskytkin

Aurinkopaneeleilla tuotettu tasajännite muutetaan verkkoinvertterillä vaihtosähköksi. Tällöin sitä voidaan hyödyntää kiinteistössä ja ylijäämäenergia on mahdollista myydä sähköverkkoyhtiölle. (ST 55.32 2019, 4) Aurinkopaneelisto asennetaan useimmiten rakennuksen katolle tai joissain tapauksissa julkisivulle. Muu laitteisto sijoitetaan usein kiinteistön sisätiloihin. Invertteri asennetaan joissain tapauksissa myös ulkotiloihin, mutta tällöin täytyy huomioida invertterin toimintalämpötilan rajat. (Tarvittava laitteisto 2020)



Kuvio 3. Aurinkosähköjärjestelmän perusrakenne (ST 55.32 2019)



Kuvio 4. Aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva. (Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä 2020)

### 3.1 Mitoitus

Aurinkosähköjärjestelmästä saadaan paras kannattavuus niin, että mahdollisimman suuri määrä tuotetusta sähköstä kulutetaan omassa kiinteistössä. Energian myyminen sähköverkkoyhtiölle ei useimmiten ole kannattavaa, koska sähkönsiirtohinna ei saada säästöä. Täten sähkön myyntihinnaksi jää pörssisähkön myyntihinta eli muutamien senttien verran kilowattitunnilta. Järjestelmä tulee mitoittaa niin, että tuotettu sähkö vastaa kiinteistön pohjakuormaa eli kulutuksen alhaisinta tasoa. Järjestelmän mitoituksessa käytetäänkin useimmiten hyödyksi kiinteistöjen kulutuskäyriä. Ohje-  
nuorana on useimmiten kannattavaa käyttää kesäajan sähkönkulutusta. (Liuksiala, L. 2015)

### 3.2 Aurinkopaneelityypit

Yleisimmät kaupalliset aurinkokennotyypit ovat yksi- ja monikiteisiä piikennoja. Ohutkalvotekniikoissa yleisimmin hyödynnettyjä sovelluksia ovat amorfinen pii sekä CIGS- ja CdTe-kennot. Lisäksi nykyään on yleistymässä myös orgaaniset kennot. Eri kennotyyppien ominaisuudet vaihtelevat hieman ja jokaisella on omat etunsa, jolloin paneelityyppi kannattaa valita ratkaisun tyyppin mukaan. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 12)

Ominaisuudet	Kiteinen pii		Ohutkalvo			Orgaaninen
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Hyötysuhde (%)	13–16 %	15–20 %	5–10 %	7–16 %	7–16 %	3–5 %
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,42	-0,40	-0,1...-0,3	-0,35...-0,40	-0,25...-0,36	...
Mekaaninen kestävyys	hauras	hauras	joustava	joustava	joustava	joustava
Varjostus	herkkä	herkkä	sietää	sietää	sietää	sietää
Käyttöikä (vuotta)	30+	30+	30+	30+	30+	0,5–3
Hinta	€€	€€€	€€€	€€€	€€€	€

Kuvio 5. Edellä mainittujen kennotyyppien ominaisuudet. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2017, 12)



Kuvio 6. Yksikiteinen, monikiteinen ja ohutkalvopaneeli. Paneelityypit ovat hyvin helposti eroteltavissa ulkonäön perusteella. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 12)

### 3.2.1 Piipohjaiset paneelit

Yksi- ja monikiteiset piipaneelit ovat kiteiseen piihin pohjautuvia aurinkopaneeliratkaisuja. (ST 55.32 2019, 4)

Yksikidepaneeli koostuu yksikiteisestä piistä sahatuista paloista. Aktiivinen pinta-ala saadaan suuremmaksi, kun alun perin pyöreistä kiekkoista leikataan palat pois. Kiderakenne on yhtenäinen ja tämän myötä hyötysuhde on korkea. Yksikiteisen paneelin hinta per watti on kuitenkin korkeampi kuin monikiteisen paneelin vastaava. (Käpylehto 2016, 57) Kennojen elektrodit muodostetaan painamalla etu- ja takapinnoille useimmiten hopeiset kontaktit. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 13)

Monikiteistä piitä voidaan valmistaa yksikiteisen piin valmistuksen yhteydessä muodostuvasta leikkuu- ja hiontajätteestä. Jäte kiteytetään haluttuun muotoon sulattamalla. Tämän myötä piin kiderakenteeseen muodostuu kidevirheitä ja siksi sitä kutsutaan monikiteiseksi. Kennon hyötysuhde pienenee kidevirheiden takia, koska elektronin poistuminen voi estyä kidevirheen alueelta. Kennojen positiivisena ja negatiivisena elektrodina toimivat kontaktit painetaan etu- ja takapinnoille samalla tavoin kuin yksikidepaneelissakin. Kontaktimateriaalina käytetään useimmiten hopeaa. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 13)

### 3.2.2 Ohutkalvopaneeli

Ohutkalvotekniikalla paneelin kerrokset saadaan niin ohuiksi, että tekniikkaa käytettäessä aurinkopaneeleita voidaan taivuttaa. Ohutkalvopaneelien materiaaleina käytetään amorfista tai mikrokiteistä piitä sekä CIGS- ja CdTe-yhdisteitä. Paneelit perustuvat eri materiaaleista valmistettuihin kerroksiin, jotka pystyvät tuottamaan sähkövirtaa auringon säteilyn eri aallonpituuksilla. Amorfisesta piistä valmistettujen ohutkalvopaneelien valmistamiseen käytetään huomattavasti vähemmän piitä kuin edellä mainittujen kiteisten piipaneelien valmistukseen.

CIGS eli Copper-Indium-Gallium-Selenide ohutkalvotekniikka on yksi kolmesta yleisimmästä tekniikasta amorfisen piin ja CdTe:n lisäksi.

CdTe-kennoja käytetään suurimmaksi osaksi aurinkoenergiasovelluksissa. Kennot ovat piikennoja edullisempia, mutta kadmiumin myrkyllisyys tuottaa kierrätyksen ja



maallikoiden käytön suhteen ongelmia. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 13)

### 3.3 Aurinkopaneelien hyötysuhde

Yksikidepaneelien hyötysuhde kaupallisissa sovelluksissa on tavallisesti noin 16-20 prosenttia. Vastaava luku on monikidepaneeleissa usein alle 16 prosenttia. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 12) Varjostukset kuitenkin heikentävät yksikidepaneelien tuotantotehoa enemmän. (Käpylehto 2016, 58-59) Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on tavallisesti noin 9-11 prosenttia. Markkinoilla on kuitenkin olemassa edistyneempiä paneeleita, joiden hyötysuhteet ovat edellä mainittuja hieman korkeampia. (Aurinkosähköteknologiat 2020)

Aurinkopaneelien hyötysuhdetta ei kuitenkaan voida pitää niin merkittävä asiana, sillä olennaisinta on tuotantohinta. Tämä tarkoittaa sitä, että kuinka paljon tuotettu sähkö tulee maksamaan (hinta per watti). Esimerkiksi toteutettavaan järjestelmään saatetaan nykypäivänä valita hieman huonomman hyötysuhteen omaava monikidepaneeli, mikäli se on kokonaisuudessaan taloudellisempi ratkaisu. (Käpylehto 2016, 59-60)

### 3.4 Aurinkopaneelien sijoitus

Suomessa paras vuosituotto saavutetaan, kun aurinkopaneelit suunnataan etelään. Pienet poikkeamat ( $\pm 15^\circ$ ) eivät vähennä tuottoa oleellisesti. Mikäli paneelit suunnattaisiin itään tai länteen, se vähentäisi vuosituotantoa jo merkittävän määrän. Joissain tapauksissa itään tai länteen suuntaaminen voi olla perusteltua, jos kohteen sähkönkulutus painottuu aamu- tai iltapäivään.

Aurinkopaneelien asennuksessa tulee ottaa huomioon myös kallistuskulma. Tuotannon kannalta tehokkain kallistuskulma on noin 35-45 astetta. Tuotanto vuositasolla kuitenkin pienenee melko vähän, kun poiketaan optimikulmasta. Esimerkiksi  $30^\circ$  ja  $60^\circ$  kallistuskulmilla sähkön tuotanto voi olla lähes yhtä hyvä kuin optimikulmalla. 15

asteen poikkeama tehokkaimmasta kallistuskulmasta vähentää vuosituotantoa noin viisi prosenttia.

Paneelikulmassa voidaan ottaa myös kausittainen tuotannonsäätely. Mikäli paneelit asennetaan pystympään, tuotanto on tasaisempaa keväästä syksyyn. Tällöin tuotanto on pienempää keskikesällä, mutta keväällä ja syksyllä tuotantomäärä on suurempi kuin optimikulmalla. Jos kallistuskulma on pienempi, niin myös kesän kausihuippu tuotannossa on terävämpi.



Kuvio 7. Auringon radan vaihtelu kausittain. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 19)

Jos paneelien kaikki tuotanto on tarkoituksena hyödyntää itse, on tärkeitä suunnata paneelit vuosituotannon kannalta optimaalisesti. Kaltevalle katolle paneelisto on useimmiten viisainta asentaa katon lappeen suuntaisesti.

Paneeliston sijoittamisessa on tärkeitä ottaa huomioon varjostukset. Useimmiten heikon tuotannon syytä on varjostuksen aliarviointi. Yleisiä varjostuksen aiheuttajia ovat esimerkiksi puut sekä korkeat rakennukset ja rakenteet. Jotta varjostuksilta vältytään, koko alue idästä länteen on syytä tarkastella läpi. (Aurinkopaneelien asentaminen 2020)

### 3.5 Invertterit

Invertterillä tarkoitetaan yleensä keskuslaitteita, joihin paneelisto liitetään. Invertteri-termillä voidaan tarkoittaa myös verkkoonliityntälaitetta, vaihtosuuntaajaa, varaajavaihtosuuntaajaa tai akkusäädintä. Termin tarkoitus riippuu kokoonpanosta. Invertteri on kuitenkin yleisesti ottaen vaihtosuuntaaja, joka muuttaa aurinkopaneelien muodostaman tasasähkön vaihtosähköksi. Invertteri voi sisältää mm. seuraavia ominaisuuksia:

- Paneelipiireihin ja akuston lataamiseen liittyvät säätimet
- Vaihtosuuntaaja
- Sähkönjakelun lähdöt ja suojaukset
- Henkilösuojaukseen ja sähkön laatuun liittyvät suojalaitteet
- Kytkin- ja erotuslaitteet

(Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 57)

Verkkoon kytkettävä invertteri voi olla yksi- tai kolmevaiheinen. Yksivaihelaitteita käytetään vain pienissä järjestelmissä sekä yksivaiheliittymien kanssa. Kolmivaiheinen järjestelmä on parempi sähköverkon sekä kuluttajan kannalta. Nykyään on julkaistu myös pienitehoisia malleja kolmivaiheinverttereistä, joten yksivaiheisen invertterin käytölle on hyvin vähän perusteita. Suomessa yleisesti käytettävä sähkön mittaustapa myös puoltaa kolmivaiheinvertterin käyttöä. Nykyhetkellä kolmivaiheinen järjestelmä kannattaa valita lähes aina, pois lukien todella pieniä aurinkosähköjärjestelmiä lukuunottamatta. Laadukkaan verkkoinvertterin hyötysuhde on noin 96,5-98,2%. (Invertteri 2021)

On-grid-, eli verkkoon liitetyissä järjestelmissä, sähkön laadun tulee olla hyvä, jotta jakeluverkkojen laitteisiin ei aiheudu häiriötä. Invertterin tulee täyttää verkkoyhtiön vaatimukset ja verkkoyhtiö julkaisee tiedon laitteeseen sovellettavista standardeista. Useimmiten invertterit ovat laitevalmistajan mitoittamia ja asennuksen yhteydessä laitteeseen asetetaan verkon liitännästandardi, joka määrittelee oikeat suojausasetukset laitteeseen. Asetuksia muutettaessa niiden soveltuvuus on selvitettävä jakeluverkkoyhtiön kanssa mikrotuotannon yleistietolomakkeella. Useimmiten kuitenkin asentajan ei ole tarpeen puuttua asetuksiin ilman laitevalmistajan lupaa. Useimmiten asennuksessa täytyy asetella vain oikea verkkoon liitännästandardi. Asentajan ei yleensä tule muuttaa muita asetuksia ilman

laitevalmistajan lupaa. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 60-61)

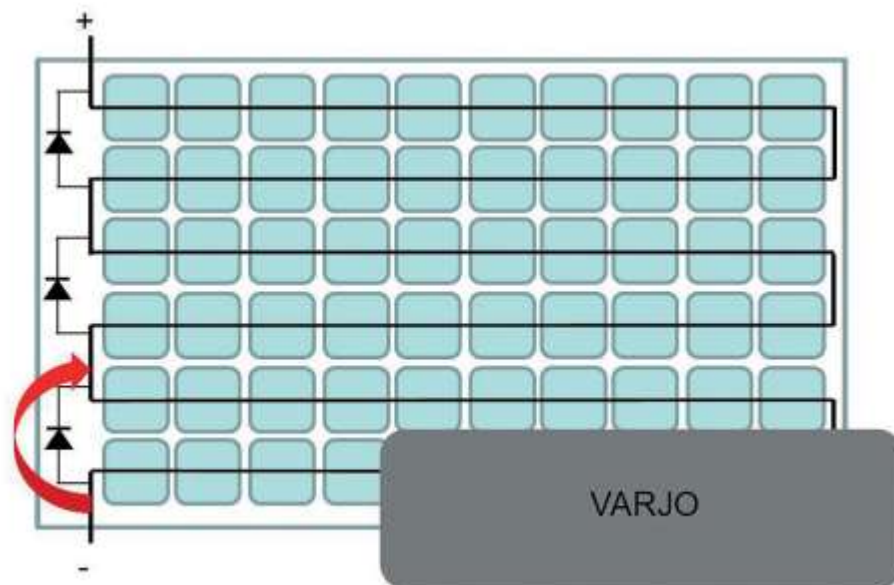


Kuvio 8. SMA Sunny Tripower 3.0 -invertteri tiiliseinälle asennettuna. (Invertteri 2021)

### 3.6 Diodit

Aurinkopaneeleissa käytetään useimmiten sisäisiä ohitusdiodeja, jotta järjestelmä sietää paremmin varjostuksia. (Kuvio 9.) Ohitusdiodien avulla pystytään vähentämään varjostuksen aiheuttamaa tehohävikkiä. Toiminta perustuu siihen, että varjossa oleva lohko ohitetaan ohitusdiodilla, jolloin sen aiheuttama tehohäviö jää pieneksi. (ST 55.32 2019, 6) Järjestelmään on mahdollista asentaa myös ulkoisia esto- ja ohitusdiodeja, joilla voidaan parantaa järjestelmän toimintaa. Tällaisessa tapauksessa mitoitus ja asennus tulee suorittaa huolellisesti, sillä esimerkiksi väärin mitoitettujen diodien voi aiheuttaa palovaaran. Mikäli paneelien kytkentärasioihin asennetaan

ylimääräisiä komponentteja, se voi vaikuttaa paneelien takuuseen rajoittavasti. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 65-66)



Kuvio 9. Varjostumisen aiheuttamana ohitusdiodin aktivoitua paneelin sisäinen kennoketju "samuu". (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 22)

### 3.7 Järjestelmän kaapelointi

Paneelien kaapelointiin täytyy kiinnittää huomiota, sillä katolla on huomattavasti vaikeammat olosuhteet, kuin normaaleissa sähköasennuksissa. Tämän myötä paneelien kaapelointiin käytetään erityisiä paneelistokaapeleita tai normaalia kestävämpiä asennuskaapeleita. Paneelit ovat useimmiten pikaliittimin (useimmiten tyypiltään MC4) varustettuja, joilla ne voidaan kytkeä paneeliketjuksi. Invertteri voi olla varustettu joko pikaliittimillä tai riviliittimillä. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 64-65)

Kaikki samaan paneeliketjuun kytketyt paneelit tulee olla samaa tyyppiä ja samaan suuntaan ja kulmaan asennettuja. Jos osa paneeleista on asennettu esimerkiksi eri suuntaan, ne tulee kytkeä omaksi ketjukseen. Verkkoinvertteri voidaan kytkeä kiin-

teistön verkkoon missä tahansa pisteessä. Tämä tarkoittaa sitä, että se on mahdollista kytkeä esimerkiksi ilmanvaihdon ryhmäkeskukseen kiinteistökeskuksen sijaan. Aurinkosähkövoimala tulee pystyä erottamaan sähköverkosta lukittavalla erotuskytkimellä. Järjestelmä tulee suunnitella niin, että tasasähköpiirit ovat mahdollisimman lyhyitä. Paneelit kaapeloidaan mahdollisimman suoraa reittiä invertterille. Plus-, miinus, potentiaalintasaus- ja muut johtimet kuljetetaan samaa reittiä, koska kaapeleista ei saa muodostua induktiosilmukoita. Induktiosilmukka voisi aiheuttaa salamaniskiessä jännitepiikin järjestelmään. (ST 55.32 2019, 13)

Standardissa ohjeistetaan tasasähköosan kaapeleille seuraavanlaiset vaatimukset:

”Tasasähköosan kaapelit on valittava ja asennettava siten, että maasulkujen ja oikosulkujen riskit ovat mahdollisimman pieniä. Tämä toteutetaan käyttämällä:

- metallivaipattomia yksijohtimisia kaapeleita, tai
- eristettyjä johtimia asennettuna erikseen eristeaineisiin asennusputkiin tai johtokanaviin. Kaapeleita ei saa asentaa suoraan katon pintaan.” (SFS 6000-7-712:2017, 16)

Asennuskoteloina sekä sähkökeskuksina voidaan käyttää toimittajilta saatavia vaikiokeskuksia ja varustella ne tarvittavilla komponenteilla. Komponenttien kohdalla on tarkistettava niiden soveltuvuus tasajännitteellä. Järjestelmässä voidaan käyttää erillistä liitäntä- ja ylijännitesuojakoteloja, mikäli järjestelmään kuuluu useita paneeliryhmiä. Tämä helpottaa kunnossapito- ja huoltotöitä, kun korjattavia kohteita voidaan poistaa helposti käytöstä katolla käytettävistä kytkimistä. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 66)

### 3.8 Verkkoon kytkentä

Kuten aiemmin tässä opinnäytetyössä on mainittu, että invertterin eli verkkoonliityntälaitteen tulee täyttää suomalaisen standardin SFS-EN 50439 ja/tai saksalaisen VDE-normin vaatimukset, jotta järjestelmä voidaan liittää yleiseen sähköverkkoon. Tällä taataan se, että järjestelmä ei aiheuta häiriötä sähköverkon muihin laitteisiin. Sähkön

pientuotantoa säädellään mm seuraavissa laeissa: Sähkömarkkinalaki (588/2013), Sähköverolaki ja mittausasetus. (Aurinkosähköopas n.d.)

Opinnäytetyön mallikohde sijaitsee Jyväskylässä Alvan sähköverkon alueella, joten tutkitaan Alvan ohjeistusta aurinkosähköön ja pientuotantoon liittyen. Jyväskylän kaupungilta tulee selvittää, että tarvitaanko aurinkosähköjärjestelmän asennukseen toimenpidelupa. Mikäli se tarvitaan, se pystytään hakemaan sähköisen asioinnin kautta tai paperilomakkeella. Kiinteistön omistajan tulee tehdä ilmoitus sähkön jakeluverkkoyhtiölle, eli tässä tapauksessa Alva Sähköverkko Oy:lle. Tämä tehdään verkkosivustolla pientuotannon tai sähkövaraston yleistietolomakkeella. (Aurinkosähkö ja muu pientuotanto n.d)

Jakeluverkkoyhtiöltä täytyy saada lupa pientuotannolle, koska se vastaa sähkönsiirrosta, sähkömittarin asennuksesta sekä laitteiston verkkoon liittämisestä. Sähköverkkoyhtiö varmistaa, että laitteisto täyttää edellä mainitun SFS-standardin tai VDE-normin. Ennen järjestelmän asentamista, sähkönostajan kanssa kannattaa tehdä sopimus sähkönostosta. Useimmiten sähköä ostaa sama taho, joka myös myy sähköä kiinteistöön. (mt.)

### 3.9 SolarEdge invertterit ja teho-optimoitsijat

Opinnäytetyön mallikohteen järjestelmässä käytetään SolarEdgen invertteriä ja teho-optimoitsijoita. Järjestelmässä teho-optimoitsijat mahdollistavat moduulitasoisen optimoinnin aurinkosähköön tuotannolle. Järjestelmällä voidaan saavuttaa jopa 25% enemmän energiaa verrattuna perinteiseen järjestelmään, sillä moduuli tuottaa aina energiaa enimmäismäärän verran. Myöskään esimerkiksi yhden aurinkopaneelimuodulin varjostuminen ei heikennä koko paneeliketjun suorituskykyä. Tämän myötä tehohäviöt vähenevät huomattavasti. Moduulitasoisen optimoinnin myötä aurinkopaneeleita ei tarvitse asentaa välttämättä samansuuntaisesti, kuten perinteisessä järjestelmässä. (Älykkäät aurinkomodulit n.d)

Järjestelmässä on myös SafeDC-toiminto, joka mahdollistaa moduulitasolla jännitteiden laskemisen, jos invertteri sammutetaan. Tämä automaattinen toiminto suojaa

mm. asentajia ja huoltohenkilökuntaa. Vastaavasti perinteisessä järjestelmässä on aina auringon paistaessa korkea jännite tasajännitekaapelissa, vaikka invertteri olisi pois päältä tai järjestelmä irti verkosta. (mt.)

Teho-optimoitsijoilla varustetun invertterin hinta on hieman korkeampi kuin perinteisellä invertterillä, mutta vastaavasti tällaisella järjestelmällä on edellä mainitut edut käyttötilanteessa.

## 4 Esimerkkikohte ja sen suunnittelu

Opinnäytetyön mallikohteena käytetään vuonna 2019 rakennettua kerrostaloa. Kohteessa on 43 asuinhuoneistoa ja seitsemän asuinkerrosta. Asuinhuoneistoala on noin 1900 m<sup>2</sup>. Kohde sijaitsee Keski-Suomessa Jyväskylässä. Tässä opinnäytetyössä mallikohteeseen tehdään aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu. Mallikohteen sähkönkulutustietojen haltuun saamiseksi tarvitaan asiakkaalta valtuutus. Opinnäytetyössä käytettävän mallikohteen sähkönkulutustietojen saamiseksi sain isännöitsijältä kirjallisen valtakirjan. Alva sähköverkko toimitti sähkönkulutuksen tuntisarjat vuodelta 2020, joita voidaan käyttää apuna järjestelmän mitoituksessa.

Suunnitelmissa esitetään aurinkosähköjärjestelmän periaatekaavio, jossa on esitetty esimerkkikomponentit, joilla järjestelmä on suunniteltu ja varmasti toimiva. Periaatekaavio nimensä mukaisesti antaa esimerkin, millä tavalla järjestelmä toteutetaan. Komponenttien muuttuminen rakentamisen yhteydessä esimerkiksi hinnan takia on yleistä. Mallikohteen suunnittelu tehdään Magicad Electrical -ohjelmistolla.

Opinnäytetyön mallikohteen suunnittelua varten on kerätty yrityksen sisältä aineistoa aurinkosähköjärjestelmistä. Käytettävää aineistoa ovat mm. aiemmin suunnitellut aurinkosähköjärjestelmät. Aineistoa kerätään kyselyiden sekä asiantuntijoiden suullisten haastattelujen avulla. Kohteen suunnittelun aikana on käyty etäpalavereita useamman sähköalan asiantuntijan kanssa.

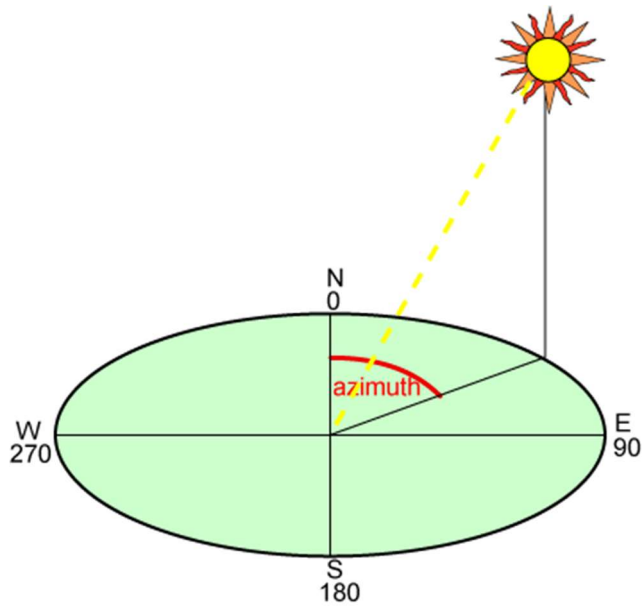


## 4.1 Mitoitus

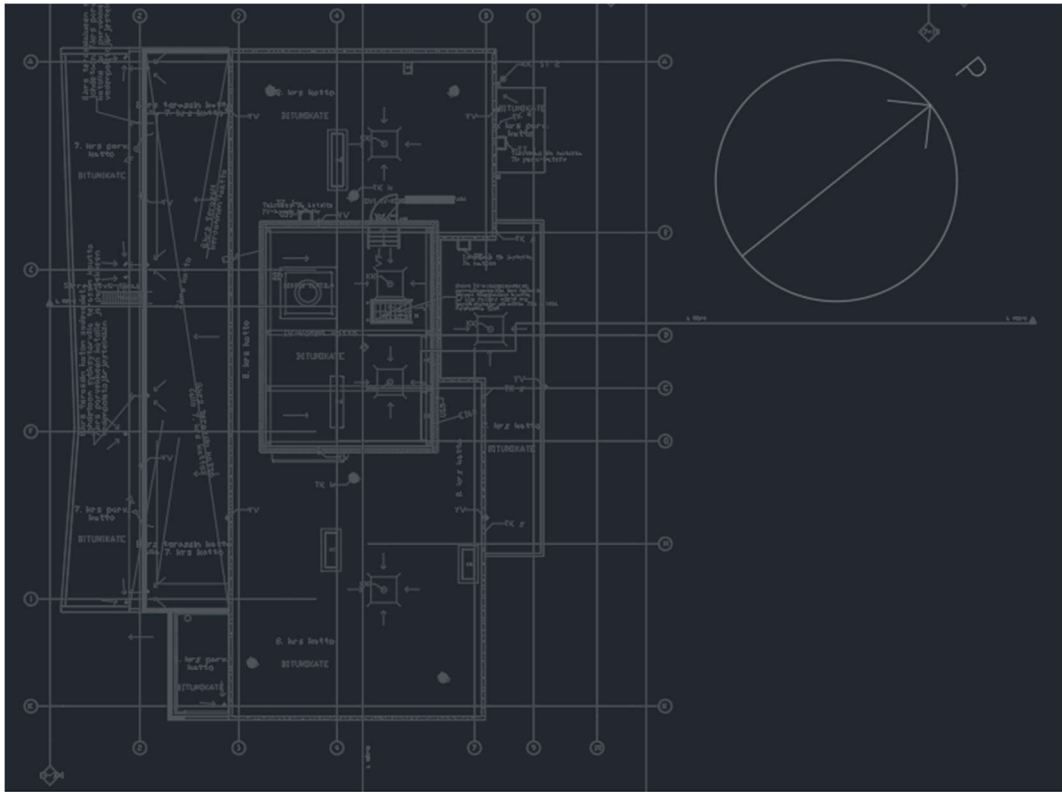
Kuten aiemmin mainittiin, mallikohteen mitoitusta varten on saatu vuoden 2020 sähkönkulutustiedot kyseisen taloyhtiön kiinteistösähkön käyttöpaikalta. Tämä tarkoittaa sitä, että käytettävissä on tarkat, tuntikohtaiset kulutustiedot. Kohteen aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa hyödynnetään FinSolar-hankkeessa laadittua aurinkosähkön kannattavuuslaskuria, joka on tehty Google Sheets -tiedostoon. Laskurit ovat Creative Commons- lisenssin mukaisesti vapaassa käytössä. (Kannattavuuslaskurit n.d.)

Aurinkosähkön kannattavuuslaskuria käytettäessä on olennaista saada tietoon auringon säteilyn määrä, joka riippuu kohteen sijainnista ja aurinkopaneelien asennustavasta (asennussuunta- ja kulma). Tämä voidaan tehdä PVGIS-laskurilla, jolla pystytään arviomaan kohteen vuosituotantoennustetta asennuskohteen sijainnin ja paneeliston asennustavan mukaan. Laskenta perustuu auringon säteilyn voimakkuutta mittaaviin satelliittimittauksiin sekä lämpötilan seuraamiseen. (PVGIS, n.d.)

Aloitin mitoituksen laskemalla PV-GIS-laskurilla vuosituotantoennusteen jokaista kuukautta kohden. Syötin laskuriin kohteen osoitteen, sekä atsimuutin. Atsimuutilla tarkoitetaan kohteen kulmaetäisyyttä etelämeridiaanista. (Atsimuutti, n.d.) Se siis tarkoittaa sitä ilmansuuntaa, josta kohde nähdään kohtisuoraan. Mallikohteen tapauksessa atsimuutti on noin 39 astetta, sillä aurinkopaneelit tullaan sijoittamaan lounasta kohden, jolloin paneeleista saadaan hyvä tuotto ja asennus voidaan tehdä katon mukaisesti.



Kuvio 10. Atsimuutti



Kuvio 11. Mallikohteen katto. Kuvaan on lisätty osoitin pohjoista kohden. Rakennuksen pitkä sivu(kuvan lukusuunnassa vasen sivu) on lounasta kohti, joka on hyvä suunta paneelien asennukselle.

PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

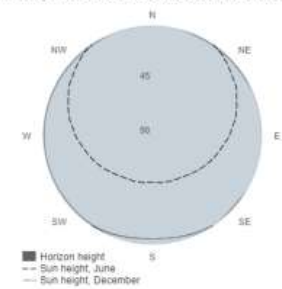
**Provided inputs:**

Latitude/Longitude: [REDACTED]  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 7.5 kWp  
 System loss: 14 %

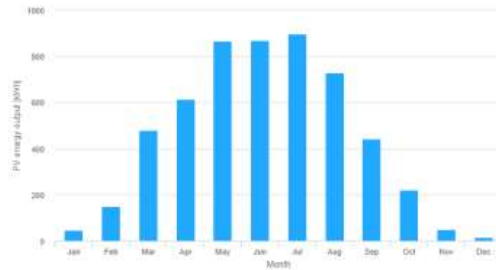
**Simulation outputs**

Slope angle: 35 °  
 Azimuth angle: 39 °  
 Yearly PV energy production: 5380.81 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 933.9 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year-to-year variability: 293.50 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -3.4 %  
 Spectral effects: NaN %  
 Temperature and low irradiance: -7.53 %  
 Total loss: -23.18 %

**Outline of horizon at chosen location:**



**Monthly energy output from fix-angle PV system:**



**Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:**



**Monthly PV energy and solar irradiation**

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	46.2	7.9	19.0
February	150.6	24.6	70.0
March	479.6	77.8	83.9
April	612.2	102.8	86.9
May	867.2	150.3	89.8
June	869.4	153.7	83.8
July	896.7	160.4	108.0
August	729.2	129.1	103.0
September	442.9	77.1	65.0
October	221.4	38.0	54.7
November	50.6	9.3	10.2
December	14.9	2.9	3.9

E\_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].  
 H(i)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].  
 SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

Kuvio 12. PVGIS-laskurin raportti.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus tehdään edellä mainitulla FinSolarin tekemällä mitoitustaulukolla. Olemassa olevan kiinteistön järjestelmän mitoitus on helpointa tehdä sähköverkkoyhtiöltä saatavien sähkönkulutustietojen perusteella. Vertasin PVGIS-laskurin antamia tuloksia eri tietokannoilla, ja valitsin käyttöön sen raportin, jossa auringon säteilyn arvoksi tuli pienimmät lukemat. Marraskuun ja helmikuun vä-  
 liset ennusteet kannattaa jakaa 5-10:llä, jotta saataisiin realistisempi tulos. (PVGIS n.d.)

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa käytetään kWh/m<sup>2</sup> arvoa. Tässä tapauksessa jaan marras-, joului-, tammi- ja helmikuun arvot kahdeksalla, jotta arvot olisivat realistisempia. Taulukkoon tulee arvioida myös sähkön hintaa, jotta kannattavuutta voidaan laskea. Laskin sähkön ostohinnaksi noin 110€/MWh. Hinta koostuu sähkön energiamaksusta, siirtomaksusta sekä sähköverosta. Aurinkosähkön ylijäämän myyntihinnaksi arvioin 40 €/MWh. Hinnat ovat viitteellisiä, sillä ne riippuvat kiinteistön sähkösovimuksesta.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus tehoksi saadaan laskurilla 7500 Wp. (Ks. kuvio 13) Teho on valittu sen mukaan, että tuotto vastaisi mahdollisimman hyvin kulutusta. Tehon mitoituksessa pyritään siihen, että energiaa ei jäisi yli myytäväksi.

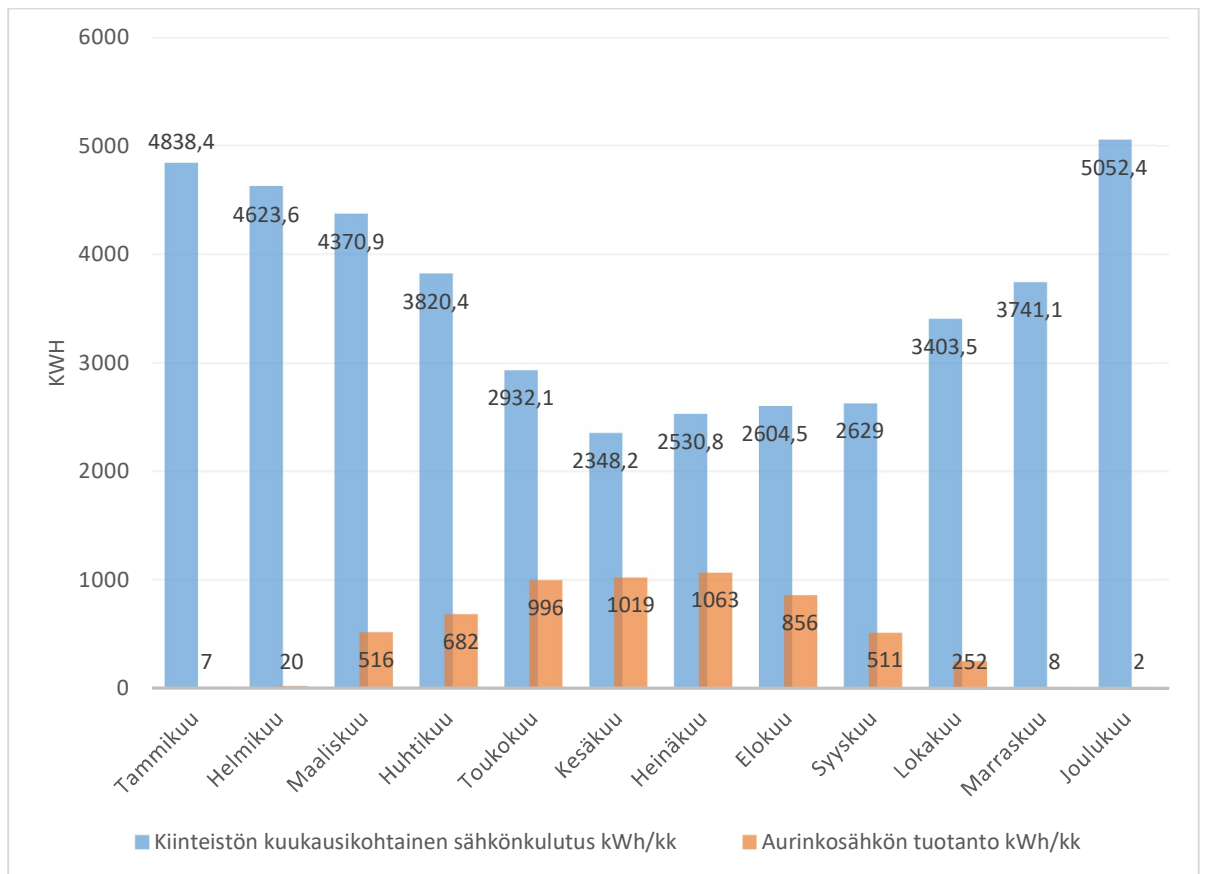
**Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen arvioimiseksi täytä lähtötiedot punaisiin soluihin:**

Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp	7500	Wp	Vinkki: säädä koko sell
Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde % (suhde, jolla säteily määrä saadaan talteen)	13 %	%	
Kiinteistön vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta maksimiosuus, jonka voi	40 %	%	Vinkki: Jos esimerkiksi
Järjestelmän koko paneelien pinta-alana m <sup>2</sup>	51	neliometriä	

Kuvio 13. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitettu teho.

Kuukaudet	Päivien määrä kuukaudessa	Kiinteistön kuukausikohtainen sähkönkulutus kWh/kk	Auringon säteily kWh/m <sup>2</sup> /pv sijainnin mukaan	Aurinkosähkön tuotanto kWh/kk	Aurinkosähköä omaan käyttöön kWh	Aurinkosähköä myyntiin kWh
Tammikuu	31	4838,4	0,03	7	7	0
Helmikuu	28	4623,6	0,11	20	20	0
Maaliskuu	31	4370,9	2,51	516	516	0
Huhtikuu	30	3820,4	3,43	682	682	0
Toukokuu	31	2932,1	4,85	996	996	0
Kesäkuu	30	2348,2	5,12	1019	939	80
Heinäkuu	31	2530,8	5,17	1063	1012	51
Elokuu	31	2604,5	4,16	856	856	0
Syyskuu	30	2629	2,57	511	511	0
Lokakuu	31	3403,5	1,23	252	252	0
Marraskuu	30	3741,1	0,04	8	8	0
Joulukuu	31	5052,4	0,01	2	2	0
<b>Yhteensä</b>	365	<b>42894,9</b>		<b>5932</b>	<b>5802</b>	<b>131</b>

Kuvio 14. Järjestelmä mitoitetuna, jolloin laskennallisesti energiaa jää myytäväksi ainoastaan kesä- ja heinäkuulta.



Kuvio 15. Kuukausikohtainen sähkön kulutus ja tuotanto.

## 4.2 Komponenttien valinta

Aurinkopaneelien valinnassa tulee ottaa huomioon vaaditut tekniset ominaisuudet. Eli tarkemmin ottaen paneelin rakenne (esim. yksi- vai monikidepaneeli) ja vaadittu hyötysuhde. Hyötysuhteella on merkitystä, mikäli katon pinta-ala on pieni. Useimmiten järjestelmät halutaan taloudellisesti mahdollisimman kannattavaksi, jolloin tärkeimpänä vertailutietona voidaan pitää hinta per watti lukemaa. Valinnassa tulee ottaa huomioon myös tuotteen takuu-aika.

Invertterin valinta tulee tehdä paneelien kokonaistehon perusteella. Invertterin yllimittaus on kannattavaa, jos aikomuksena on laajentaa voimalaa myöhemmin. Jos in-

vertteriin on jätetty varaa lisäpaneelille, laajentaminen on helppoa. Useimmissa tapauksissa invertteri voidaan alimitoitaa, sillä aurinkopaneelit tuottavat harvoin koko nimellistehollaan.

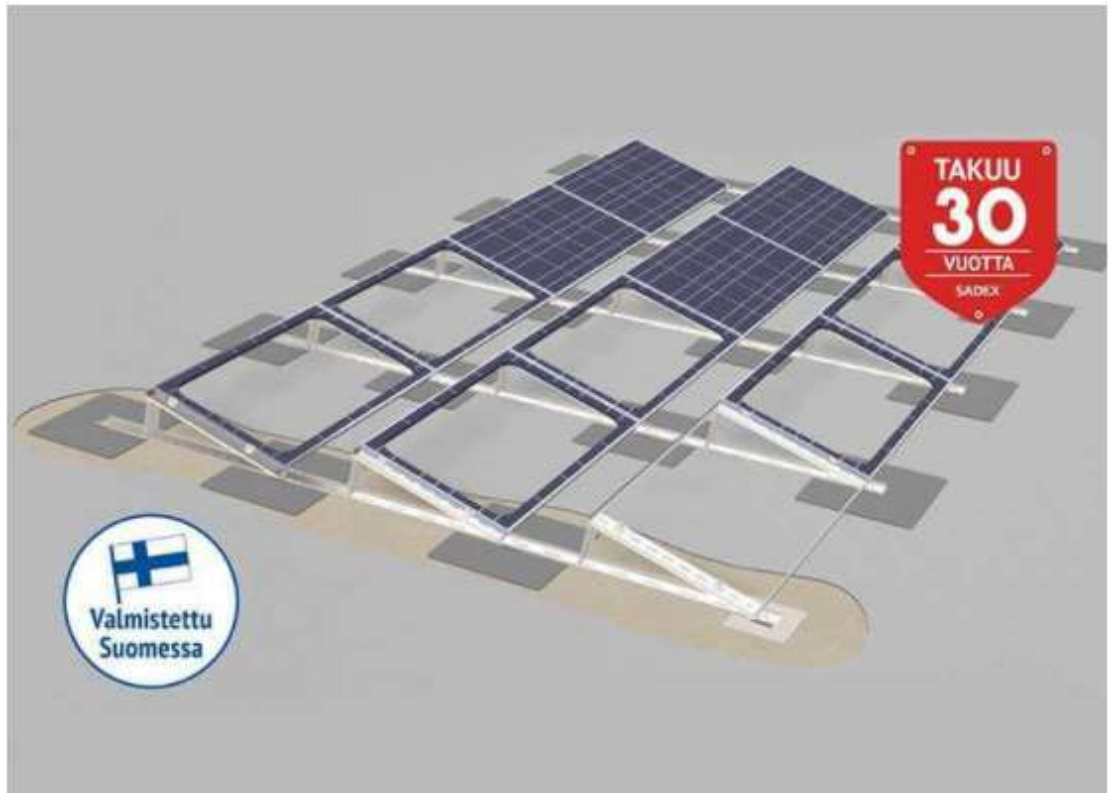
### 4.3 Aurinkopaneelien määrä, sijoitus ja asennustapa

Mallikohteen aurinkopaneeliksi valitaan Trina Solar TSM-295DD05A.08 -yksikidepaneeli, jonka huipputeho on 295Wp. Paneeliksi valittiin tämä, koska se on edullinen ja ominaisuuksiltaan hyvä. Nykyään yksikidepaneelien hinnat ovat kilpailukykyisiä, joten sellaisen valinta on kannattavaa monikidepaneelin sijaan. Tehotavoite on edellisten laskelmien mukaan 7500 Wp. Sen täyttymiseksi paneeleita asennetaan 26 kappaletta. Tällöin paneeliston huipputehoksi saavutetaan 7670 Wp seuraavalla laskukavalla:

$$P_{max} = 295 W_p * 26 = 7670 W_p$$

Aurinkopaneelit sijoitetaan lounaaseen päin, kuten aiemmin mainittiin. Uudiskohteissa useimmiten arkkitehdit sopivat yhdessä sähkösuunnittelijan kanssa paneeliston paikan, johon ne voidaan asentaa. Mallikohteessa tällaisia määräytyksiä ei ole, joten aurinkopaneelit asennetaan sellaisille paikoille, että aurinkopaneelisiin ei osuisi varjostuksia missään tilanteessa. Paneelien asennuspaikkoja harkitessa tulee myös tarkastaa, että katolla ei ole esteitä paneelien asennukselle. Kuten mitoitusvaiheessa mainittiin, paneelit asennetaan 35 asteen kallistuskulmaan. Aurinkopaneelien sijoituksessa tulee ottaa huomioon niiden varjostus myös toisiaan nähden. Tämä voidaan tarkastaa tekemällä esimerkiksi leikkauspiirustus.

Aurinkopaneelien kiinnitystavasta saadaan useimmiten detaljit kohteen rakennesuunnittelijalta. Mallikohteen tapaisella tasakatolla voitaisiin käyttää esimerkiksi katolle asennettavia kiinnitystelineitä(kuvio 16) tai aurinkopilareita(kuvio 17). (Patrakka 2021)



Kuvio 16. Tasakatolle tarkoitettu kiinnitysteline. (SOLAR -Kiinnitysteline tasakatoille 2021)



Kuvio 17. Aurinkopilari-asennusjärjestelmä tasakatolle. (Aurinkovoimalan asennusjärjestelmä tasakattoisiin uudis- ja korjausrakennuskohteisiin n.d.)



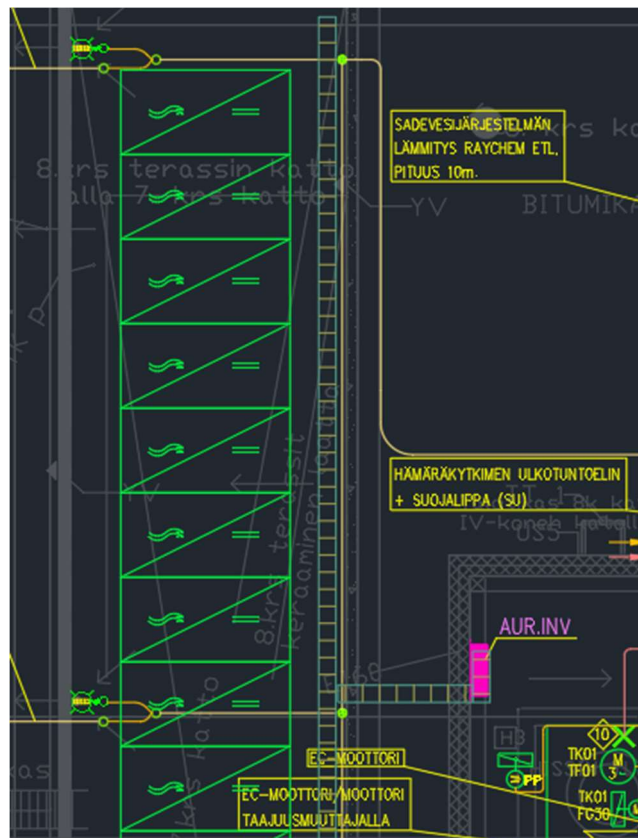
Kuvio 18. Aurinkopaneelit sijoitettuna mallikohteen katolle.

#### 4.4 Invertterin valinta

Invertterin tai invertterien valinnassa on olennaisinta se, että suunniteltu paneelisto pystytään kytkemään siihen halutulla tavalla eli tuloja tulee olla tarvittava määrä. Invertterin valinnassa täytyy huomioida kohtuullinen hinta per watti -hintasuhte. Useimmiten hintaan vaikuttaa alentavasti se, jos invertteri alimitoitetaan järkevästi asennettavaan aurinkopaneeliston nähden. Inverttereillä on myös erilaisia ominaisuuksia. Esimerkiksi SolarEdgellä on inverttereitä, joiden kanssa voidaan käyttää



teho-optimoitsijoita. Teho-optimoitsijoiden avulla pystytään saavuttamaan jokaisen moduulin yksilöllinen maksimitehopiste. Ns. perinteisellä ratkaisulla ilman tehomoduleja, koko sarjaan kytketyn paneeliketjun tuotto voi heikentyä, jos yksi paneeli on varjostunut. SolarEdgen järjestelmässä on myös olemassa SafeDC-toiminto, jonka avulla järjestelmän vaihtosähköpuolen jännite laskee turvalliselle tasolle, jos invertteri sammutetaan. (Älykkäät aurinkomodulit 2018) Mallikohteessa käytetään SolarEdge SE7K -invertteriä. Invertteri on hieman ”alimitoitettu” AC-nimellistehon ollessa 7000 VA. Invertterin suurin DC-teho on 9450 W, jolloin sitä voidaan käyttää hyvin tässä järjestelmässä. Invertteri täyttää VDE-AR-N-4105 -normin vaatimukset. SolarEdge SE7K -invertteri on suunniteltu käytettäväksi teho-optimoitsijoiden kanssa. Käytettävän aurinkopaneelin datalehden perusteella teho-optimoitsijaksi valitaan SolarEdgen P300-malli.



Kuvio 19. Aurinkosähköinvertteri sijoitettuna IV-konehuoneeseen. Sijoituksessa on tavoiteltu sitä, että paneeliketjun kaapelin pituus voidaan säilyttää mahdollisimman lyhyenä.

## 4.5 Paneeliketjun määrittäminen

Paneeliketjun määrittäminen tapahtuu SolarEdgen ohjeistusten mukaisesti. Teho-optimoitsijoiden datalehdillä on ilmoitettu minimi- ja maksimiketjujen pituudet. P300 optimoitsijalla ja kolmivaiheinvertterillä paneeliketjun minimipituus on 18 paneelia ja maksimipituus 50 paneelia. Tämän perusteella mallikohteen kaikki 26 paneelia voidaan kytkeä yhdeksi paneeliketjuksi.

## 4.6 Vaadittavat suojalaitteet

Aurinkosähköpaneeliston vaihtosyöttökaapeli tulee oikosulkusuojata ylivirtasuojan avulla. Vaihtosuuntaajan eli invertterin suunniteltuna virtana käytetään valmistajan ilmoittamaa suurinta vaihtovirtaa. SolarEdge SE7K -invertterillä suurin virta on 11,5 A. Suojalaitteena käytetään johdonsuojakatkaisijaa. Invertterin huollon ja vaihtamis mahdollisuuden takia, se tulee pystyä erottamaan tasasähkö- ja vaihtosähköosasta. Tämä toteutetaan turvakytkimillä. Turvakytkimien malliksi sopii tasasähköosalle 2-napainen 16A-turvakytkin ja vaihtosähköpuolelle 4-napainen 16A-turvakytkin. Tasasähköpuolen turvakytkimen valinnassa tulee huomioida myös kytkimen jännitteenkesto. Tässä kohteessa sen tulee olla vähintään 900V, joka on invertterin suurin DC-tulojännite.

Standardin SFS 6000-7-712:2017 luvun 712.431.101 mukaisesti mallikohteessa ei vaadita ylivirtasuojasta paneeliketjukaapelille, sillä kohteessa on vain yksi paneeliketju.

SolarEdgen invertteristä löytyy sisäänrakennettu vikavirtasuojaus, joten erillistä vikavirtasuojakytkintä ei tarvita. SolarEdgen järjestelmään voidaan kytkeä paloturvallisuutta lisäävä firefighter gateway. Tämä järjestelmä asennetaan kiinteistön paloilmoitinkeskukseen, jolloin aurinkovoimala pystytään sammuttamaan paloilmoitinkeskuksesta. Järjestelmä alentaa DC-piirin jännitteen SafeDC-toiminnolla. Laite ilmaisee, kun katolla voidaan suorittaa turvallisesti sammutustöitä. Laite mahdollistaa myös automaattisen poiskytketymisen, mikäli kiinteistössä tulee palohälytys. Tätä järjes-

telmää ei hyödynnetä mallikohteessa, sillä tällaiselle järjestelmälle ei ole standardivaatimuksia. Tällaisen järjestelmän asennusta tulee kuitenkin ehdottomasti harkita järjestelmää suunnitellessa. (Firefighter Gateway - Palomiehen paras kaveri aurinkovoimalassa 2021)

#### 4.7 Kaapeleiden mitoitus

##### **Paneeliketjukaapelin mitoitus**

Standardin IEC-62548 mukaisesti paneeliketjun mitoitusvirtana käytetään teho-optimoijan suurinta virtaa tai 1,25 kertaa aurinkopaneelimuduulin oikosulkuvirtaa, joista valitaan käytettäväksi suurempi. Tässä tapauksessa aurinkopaneelin oikosulkuvirta on 9,68A ja optimoitsijan suurin lähtövirta on 15A. Kaapeli pitää mitoittaa siis optimoitsijan suurimman virran mukaan, koska  $1,25 \cdot 9,68A = 12,1A$ . Mitoitusjännitteenä käytetään invertterin nimellistulojännitettä, sillä SolarEdgen järjestelmässä jännite pysyy vakiona.

Mitoitusvirta (A)	Mitoitusjännite (V)
15	750

Paneeliketjun kaapeliksi soveltuu yksi- tai monijohdinkaapeli, jonka jokainen johdin omaa eristeen ja vaipan tai yksijohdinkaapeli eristetyssä asennusputkessa tai kaapelikanavassa. Mitoitusvirran, jännitteen ja kaapelin ominaisuuksien mukaan paneeliketjukaapeleiksi sopisivat esimerkiksi Tecsun H1Z1Z2-K 4mm<sup>2</sup> poikkipinta-alalla. Aurinkopaneelien valmiit liitoskaapelit ovat poikkipinta-alaltaan myös 4mm<sup>2</sup>.

Jännitteenalenema vaikuttaa merkittävästi aurinkosähköpaneeliston suorituskykyyn, joten sen tarkastaminen on tarpeellista. Jännitteenalenemalaskelmassa käytetään jännitteenä 750 volttia, koska teho-optimoitsijoiden myötä paneeliketjun jännite pysyy vakiona. DC-kaapelin jännitteenalenema voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$U'_H(\%) = \frac{U'_H(V)}{U_{DC}(V)} * 100\% = \frac{2 * I * r_j * s}{U_{DC}(V)}$$

$$= \frac{2 * 15 A * 5,09 \frac{\text{ohm}}{\text{km}} * 0,015 \text{km}}{750V} = 0,31\%$$

, jossa

$U'_H(\%)$  = jännitteenaleneva prosentteina

$U'_H(V)$  = jännitteenaleneva voltteina

$U_{DC}(V)$  = mitoitusjännite

$I$  = mitoitusvirta

$r_j$  = kaapelin resistanssi ohm/km

$s$  = kaapelin pituus

### **Invertterin vaihtovirtakaapelin ja johdonsuojakatkaisijan mitoitus**

SolarEdgen ohjeistuksen mukaisesti invertterin vaihtovirtakaapelin jännitteenaleneväksi suositellaan alle yhtä prosenttia. Kaapelin mitoitus tehdään SFS 6000-5-52-standardin mukaisesti. Kaapelina käytetään konsentrisen johtimen omaavaa MCMK-kuparikaapelia. Kaapelina voitaisiin käyttää myös esimerkiksi EMC-suojattua MCCMK-kaapelia, mutta EMC-suojaukselle ei kuitenkaan ole vaatimuksia. Asennus tehdään tikashyllylle, jossa on muita kaapeleita. Ympäristön lämpötilaksi arvioidaan 30 astetta. Ympäristön mukaisia korjauskertoimia käytetään siihen, että saadaan laskettua vaadittu kaapelin peruskuormitettavuus.

$$I_{ZPV\ddot{A}H} \geq \frac{I_B}{k_1 * k_2}$$

$$I_{ZPV\ddot{A}H} \geq \frac{11,5A}{0,94 * 0,78}$$

$$I_{ZPV\ddot{A}H} \geq 14,87A$$

, jossa

$I_{ZPV\ddot{A}H}$  = Kaapelin vaadittu peruskuormitettavuus

$I_B$  = Piirin kuormitusvirta (Invertterin suurin virta)

$k_1$  = Asennuksen lämpötilaolosuhteista johtuva korjauskerroin

$k_2$  = Kaapelireitillä olevalla kaapelihyllyllä muista kaapeleista aiheutuva korjauskerroin

Kaapelin kuormitettavuuden mukaan kaapeliksi riittäisi 1,5mm<sup>2</sup> poikkipinta-alan kuparikaapeli, jonka peruskuormitettavuus on SFS 6000-5-52 -standardin mukaan 18,5A standardin mukaisella asennustavalla E. Kaapelin koko täytyy kuitenkin tarkastaa lasquemalla jännitteenalenema, jotta päästään alle prosentti jännitteenalenemaan kaapelissa.

$$U'_H(\%) = \frac{I * s(r_j * \cos\varphi + x_j * \sin\varphi)}{U_V}$$

$$= \frac{11,5 A * 0,015 km \left( 14,5 \frac{ohm}{km} * 0,8 + 2 * \pi * 50Hz * 0,00032 \frac{H}{km} * 0,6 \right)}{400 V / \sqrt{3}} * 100\%$$

$$= 0,87\%$$

, jossa

$U'_H(\%)$  = jännitteenalenema

$I$  = johtimen virta

$r_j$  = johtimen ominaisresistanssi ohm/km (kaapelin datalehdeltä, 70 celsiusasteessa)

$s$  = Kaapelin pituus

$x_j$  = johtimen ominaisreaktanssi ohm/km =  $2 * \pi * f * l_j$

$l_j$  = johtimen ominaisinduktanssi H/km (kaapelin datalehdeltä)

$U_V$  = vaihejännite

$\cos\varphi$  = tehokerroin, standardin SFS 6000-5-52 mukaisesti tehokertoimen arvon oletetaan olevan 0,8, jos tarkkoja arvoja ei ole tiedossa,

tällöin  $\sin\varphi = 0,6$

Näiden laskelmien perusteella voidaan todeta, että kaapelin poikkipinnan tulee olla vähintään 1,5mm<sup>2</sup>. Ylikuormitussuojauksena toimivan johdonsuojakatkaisijan tulee täyttää seuraavat epäyhtälöt:

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

$$I_2 \leq 1,45 I_z$$

, joissa

$I_b$  = virtapiirin kuormitusvirta

$I_n$  = ylivirtasuojan nimellis-/asetteluarvo

$I_z$  = kaapelin sallittu kuormitettavuus

$I_2$  = ylivirtasuojan havahtumisvirta

10 ampeerin nimellisvirran johdonsuojakatkaisijalla ensimmäinen epäyhtälö ei täyty. Myöskään johdonsuojakatkaisijan nimellisvirtaa ei voida kasvattaa 16 ampeeriin valitulla  $1,5\text{mm}^2$  johtimen poikkipinta-alalla. Tämän takia johtimen poikkipinta-alaa kasvatetaan, jolloin suojaus toimii 16A johdonsuojakatkaisijalla.  $2,5\text{mm}^2$  poikkipinta-alalla kaapelin sallittu kuormitettavuus on 25 A.

$$11,5 \leq 16 \leq 25$$

$$23,2 \leq 36,25$$

Ehdot täyttyvät, joten valitaan käytettäväksi C16-johdonsuojakatkaisija ja kaapeliksi MCMK 5x2,5S, sillä syöttökaapelina suositellaan käytettäväksi konsentrisella suoja-johtimella varustettua kaapelia. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 143) Johdonsuojakatkaisijan toimivuus oikosulkusuojana on tarkastettava oikosulkuvirtalaskelmalla.

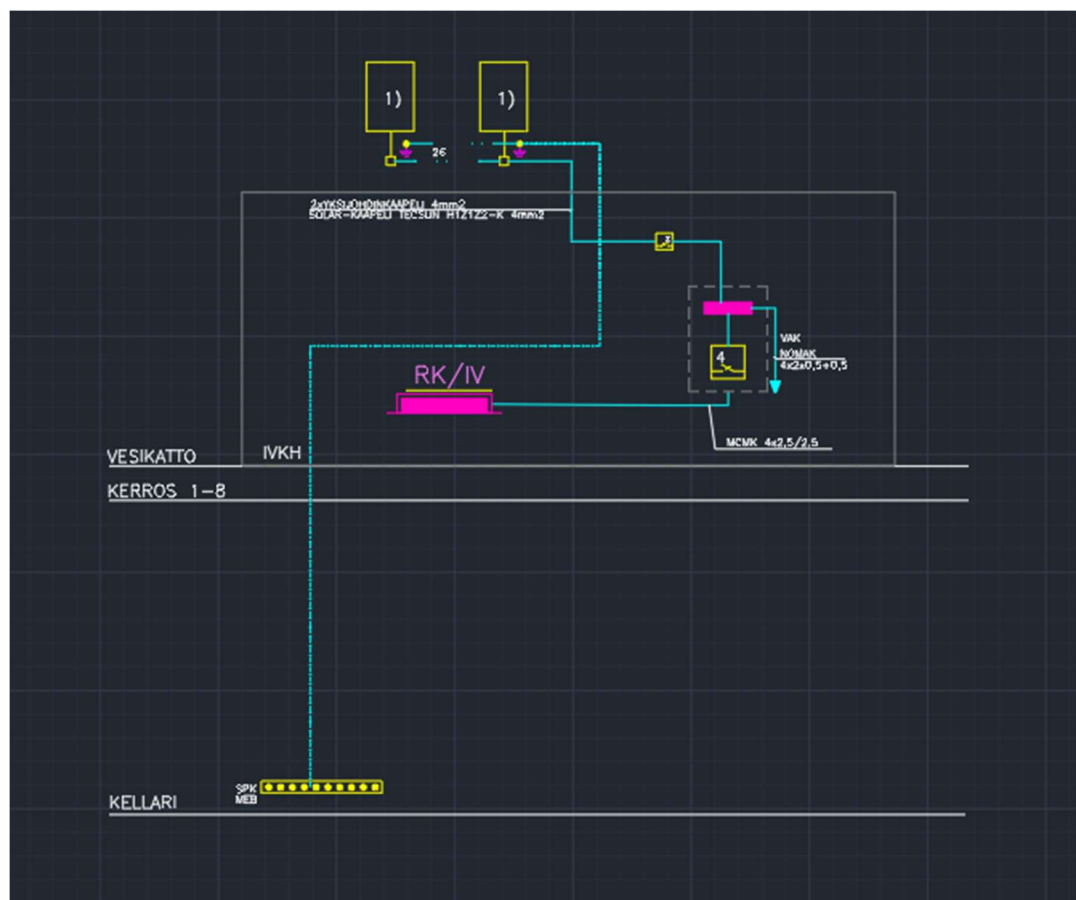
#### 4.8 Suojaava potentiaalintasaus

Potentiaalintasauksella kaikki järjestelmän johtavat osat yhdistetään ja tällä tavoin luodaan tehokas yhteys maadoitukseen. Tämän avulla ehkäistään vikatilanteita, indusoituvia jännitteitä ja mahdollistetaan inverttereiden eristystilan valvonnan luotettavuus.

Standardissa IEC 62548 vaaditaan, että järjestelmän telineet liitetään potentiaalintasaukseen aina, kun paneeliston jännite on suurempi kuin 60V. Tämän standardin vaatimukset eivät kuitenkaan velvoita niin vahvasti kuin suomalainen standardi SFS 6000-7-712. Potentiaalintasausjohtimien täytyy olla poikkipinta-alaltaan vähintään puolet asennuksen suurimmasta suojamaadoitusjohtimesta tai vähintään  $6\text{mm}^2$  kuparia,  $16\text{mm}^2$  alumiinia tai  $50\text{mm}^2$  terästä. Pääpotentiaalintasausjohtimen poikkipinta-alan ei tarvitse olla suurempi kuin  $25\text{mm}^2$  kuparia. On tärkeää, että potentiaalintasausjohtimien jatkuvuus varmistetaan koko telineiden matkalta. Jos asennukset ovat yli 50 metriä pitkiä, suositellaan lisäyhdistyksiä potentiaalintasausjärjestelmään.

## 4.9 Mallikohteen piirustukset

Tässä työssä mallinnettiin esimerkkikohteen tasokuvaan aurinkopaneelisto, johtoreitit ja invertteri. Lisäksi tehtiin aurinkosähköjärjestelmän periaatekuva, jossa esitetään koko järjestelmän komponentit sekä kytkentä. Kuviossa 20 näkyy periaatekaaviosta kuvankaappaus, jossa näkyy järjestelmän periaate. Lopullinen periaatekaavio on esitetty liitteessä 2.



Kuvio 20. Kuvakaappaus aurinkosähköjärjestelmän periaatekaaviosta

Kohteen ylimmän kerroksen tasokuvassa esitetään aurinkopaneelien sijoittelu katonle. Lisäksi suunnitelmaan on lisätty kaapelihyllyreitti invertteriltä aurinkopanee-



leille, jota pitkin paneeliketjun DC-kaapelit voidaan viedä paneeleille. Lisäksi elementtiin on merkattu reikävaraus, jotta kaapelit saadaan vietyä elementtiseinän läpi. Tasokuva on esitetty liitteessä 3.

## 5 Järjestelmän kannattavuus

Järjestelmän kannattavuutta tarkastellaan Finsolarin aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskurilla, joka on vapaasti saatavilla oleva Excel-pohjainen kannattavuuslaskuri. Sähköenergian ostohintana käytetään 5 snt/kWh hintaa ja siirtohintana 4 snt/kWh. Kannattavuuslaskenta tehdään kymmenen vuoden laina-ajalla ja 1,5% lainan korolla. Järjestelmän tarkkaa hintatietoa ei ole tiedossa, mutta yleinen hintataso tämän kokoluokan järjestelmälle on noin 1200-2000 e/kWp. (Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus 2021, 67) Laskelmassa käytetään hintana 1800 e/kWp.

Laskennan perusteella 10 vuoden laina-ajalla kyseisen järjestelmän takaisinmaksuaika on 11 vuotta. Järjestelmän kulut ovat kokonaisuudessaan elinkaaren aikana niin monena vuotena suuremmat kuin sen tuottama rahallinen hyöty. Kannattavuuslaskennassa on huomioitu myös vuosittaiset huoltokulut ja lisäksi myös mm. invertterin uusimiskustannus 15 vuoden käyttöajan jälkeen. Laskelman lopputuloksena järjestelmän nettonykyarvo olisi 30 vuoden käyttöiällä 962 euroa.

Laskennan perusteella aurinkosähköjärjestelmään sijoitus on kannattava valinta, mutta sillä ei saavuteta kovin suuria tuottoja. Koen, että aurinkosähköjärjestelmä on kannattava sijoitus uudiskohteessa, sillä jo tämänkin kokoisessa kohteessa voidaan olettaa, että sijoitus ei ole kuitenkaan tappiollinen. Kannattavuuslaskelma on esitetty liitteessä 4.

Sähkönsiirtohinnoissa on suuria alueellisia eroja, joten kannattavuuteen vaikuttaa hyvin paljon myös se, että minkä verkkoyhtiön alueella kohde sijaitsee. Mallikohde on laskettu Alva sähköverkkoyhtiön hinnaston mukaan, jonka alueella sähkönsiirtoa voidaan pitää edullisena. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskelman tulos parane, jos siirtohintana on kalliimpi.

Nykypäivänä ainoaksi hyödyksi aurinkosähköjärjestelmästä ei jää pelkästään rahallinen hyöty. Aurinkosähköjärjestelmällä voidaan olettaa tänä päivänä olevan markkina-arvoa, joka edistää asuntomyyntiä. Vihreät arvot energiantuotannossakin ovat nykyään trendikkäitä. Lisäksi aurinkosähköjärjestelmä vaikuttaa kiinteistön energiatodistuksessa laskettuun E-lukuun. E-luvun laskennassa aurinkosähköjärjestelmän tuotanto voidaan katsoa omavaraisenergiaksi, joka korvaa ostosähkön tarvetta. (Liesaho, T. 2021)

## 6 Aurinkosähkön tulevaisuus

Opinnäytetyössä esitelty aurinkosähköjärjestelmä on perinteistä mallia, jossa aurinkosähkö käytetään ainoastaan kiinteistösähköinä, jolloin taloyhtiön osakkeenomistajilla ei ole mahdollisuutta hyödyntää sähköä huoneistoissa. Aiemmin taloyhtiöissä on ollut mahdollista järjestää takamittarointimalli, jossa myös osakkaat voivat käyttää aurinkoenergiaa hyödyksi. Sen huonona puoleena on ollut se, että osakkailla ei ole mahdollisuutta kilpailuttaa sähkö Sopimusta, koska huoneistojen sähkömittarit omistaa taloyhtiö. Takamittarointimallissa mittarointi hoidetaan niin, että koko taloyhtiö on yhden verkkoyhtiön summamittarin takana. Kiinteistön ja asuntojen mittarit ovat taloyhtiön omistuksessa, jolloin asuntojen ja kiinteistön kulutusta voidaan mitata erikseen. Tällöin aurinkosähkön tuotanto vähentää taloyhtiön ja asukkaiden ostosähkön määrää. (Aurinkosähkön takamittarointimalli 2020)

Aurinkoenergiatuotantoon on kuitenkin muodostumassa uusi aikakausi, sillä 1.1.2021 voimaan astuneen lakimuutoksen myötä asunto-osakeyhtiöt ja niiden osakkaat voivat perustaa paikallisen energiayhteisön. Paikallisen energiayhteisön lisäksi uudistuksen myötä voidaan perustaa aktiivisten asukkaiden ryhmä. Paikallinen energiayhteisö tai aktiivisten asukkaiden ryhmä voi hankkia sähkön pientuotantolaitteiston, jonka tuotanto jaetaan yhteisön tai ryhmän jäsenille halutulla jakosuhteella. Tätä toteutustapaa kutsutaan hyvityslaskentapalveluksi. Hyvityslaskentamallilla taloyhtiön osakkaat voivat kilpailuttaa oman sähkö Sopimuksensa normaaliin tapaan. Hyvityslaskentamalli ei edellytä mittaritekniisiä muutoksia. Tämä tarkoittaa sitä, että aurinkosähköjärjestelmistä saadaan entistä enemmän hyötyä, sillä asunto-osakeyhtiön

osakkaat pääsevät nauttimaan myös tuotetusta aurinkosähköstä entistä helpommin. (Vihdoinkin: tunnin sisäinen netotus toteutuu ja asunto-osakeyhtiöt pääsevät nauttimaan aurinkosähkön hedelmistä 2020)

Mikäli tämän työn mallikohteessa käytettäisiin hyvityslaskentamallia, sen aurinkosähköjärjestelmän tehoa voitaisiin kasvattaa huomattava määrä. FinSolarin laskurilla laskeutena järjestelmän mitoitettu teho olisi siinä tapauksessa noin 24 kWp. Järjestelmän koko olisi siis kolme kertaa suurempi kuin ainoastaan kiinteistösähköä käytettynä. Järjestelmän koon suurentuessa ongelmaksi voi muodostua katon pinta-alan pieneksi jääminen, jolloin paneeleita ei saada asennettua riittävää määrää.

## 7 Yhteenveto ja pohdinta

Työn päätavoitteena oli antaa työllä suuntaviivoja toimeksiantajalle aurinkosähköjärjestelmien suunnittelemista varten. Työssä selvitettiin laajasti asioita, joita suunnittelussa tulee ottaa huomioon. Suunnittelussa huomioon otettavat asiat tuotiin esille esimerkkikohteen suunnittelun avulla, jonka avulla on helppo ymmärtää järjestelmä kokonaisuutena. Toimeksiantajan pyynnöstä järjestelmän kannattavuutta tutkittiin. Tämä toteutettiin FinSolar-hankkeessa tehdyllä aurinkosähköjärjestelmän kannattavuuslaskurilla. Laskuri antaa suuntaa antavan tuloksen kannattavuudesta, mutta sitä ei voida varmistaa todeksi. Tämä johtuu siitä, että vuosittainen säteily määrä on vaihteleva ja mahdotonta ennustaa. Laskurissa käytettiin kuitenkin säteily määränä Euroopan komission ylläpitämän PVGIS-verkkosivuston säteilytietokantaa, jota voi pitää luotettavana.

Sähkönsiirto hinnassa on alueittain suuria eroja ja sähkön hintakin vaihtelee sopimuksen mukaan. Kerrostalon aurinkosähköjärjestelmää voidaan kuitenkin pitää kannattavana, kun se on oikein mitoitettu. Oikeata mitoitusta voidaan pitää todella tärkeänä.

Aurinkosähköjärjestelmät ovat varmasti yleistymässä tulevaisuudessa ja sillä on varmasti positiivista markkinointiarvoa esimerkiksi uusien kerrostaloyhtiöiden markki-

noinnissa. Tulevaisuudessa kiinteistöjen kulutusprofiilit tulevat muuttumaan esimerkiksi sähköautojen latausten lisääntyessä. Tämä vaikuttaa sähkönkulutukseen, mutta sen vaikutus aurinkosähköjärjestelmän hyödyntämiseen on pieni. Tämä johtuu siitä, että aurinkosähkön energiantuotanto on päiväsaikaan parhaillaan, kun sähköautojen latauskuorma on usein yöaikaista. Mielenkiintoista on myös se, että pystytäänkö joskus tulevaisuudessa mahdollisesti sähköautojen akkukapasiteettia hyödyntämään jollain tavoin aurinkoenergian talteen ottamiseen.

Opinnäytetyö oli todella opettavainen ja koen oppineeni todella paljon aurinkosähköjärjestelmän rakenteesta, toimintaperiaatteista ja suunnittelusta. Tästä on varmasti suurta hyötyä tulevaisuudessa. Työn aihetta pidän haastavana, sillä aurinkosähköjärjestelmät sisältävät huomattavasti monimutkaisempaa sähkötekniikkaa, kuin minkä kanssa olen aiemmin työskennellyt.

Työn lopputuloksena saatiin tuotettua toimeksiantajalle suunnitteluohje, josta näkee ns. suuntaviivoja suunnittelun tueksi. Tulevaisuudessa toimeksiantajayrityksen suunnittelijat voivat hyödyntää suunnitteluohjetta suunnittelutyön tukena. Mallikohteena olisi ollut hyvä käyttää toteutettavaa kohdetta. Tällaiseen ei kuitenkaan ollut mahdollisuutta, sillä sellaisia kohteita ei ollut opinnäytetyön aikatauluun suunniteltavana.

## 8 Kehitysehdotukset

Tällä hetkellä aurinkosähkön osalta ajankohtaisin aihe on edellä mainittu hyvityslaskentamalli. Hyvityslaskentamallista on vähän kirjoitettua tietoa ja erityisesti siitä, että kuinka kannattava sellainen järjestelmä on verrattuna ns. perinteisen malliseen aurinkosähköjärjestelmään. Aihetta ei käyty tässä opinnäytetyössä tarkemmin läpi, mutta koen että tämän mallin avulla pystytään saamaan aurinkoenergiasta huomattavasti suurempi potentiaali. Järjestelmistä voidaan rakentaa huomattavasti entistä suurempia, jonka avulla kannattavuutta saadaan parannettua. Lisäksi aiheeseen liittyvät sopimukset ja muu oleellinen tieto olisi hyvä tuoda ihmisten tietoisuuteen paremmin.

Aurinkosähköjärjestelmän säteilystä tuottaman sähkön takia paloturvallisuus voidaan kokea haastavaksi. Mainitsin työssä, että SolarEdgellä on oma erittäin järkevä oloinen SafeDC-järjestelmä, joka edistää turvallisuutta aurinkosähköjärjestelmien kanssa työskennellessä. Paloturvallisuusasiaa voisi tarkastella laajemmin, eli mm. sitä, että minkälaisia paloturvallisuutta edistäviä laitteita on kehitelty.

Tulevaisuudessa opinnäytetyön toimeksiantajalle luotua suunnitteluohjetta tulee pitää ajan tasalla päivityksin, sillä aurinkosähköjärjestelmät ovat nopeasti kehittyvää teknologiaa. Mikäli hyvityslaskentamalli yleistyy tulevaisuudessa, sen vaatimukset ja normaalin järjestelmän suunnittelusta poikkeavat asiat tulisi lisätä suunnitteluohjeeseen.

## Lähteet

Atsimuutti, n.d. Ursan www-sivustolla 17.2.2021. Viitattu 17.2.2021.  
<https://www.ursa.fi/extra/kosmos/a/atsimuutti.html>

Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus. 2021. Sähkötieto Ry.

Aurinkovoimalan asennusjärjestelmä tasakattoisiin uudis- ja korjausrakennuskohteisiin. Finnwind Oy:n www-sivustolla 25.2.2021. Viitattu 25.2.2021.  
<https://aurinkopilari.fi/>

Aurinkosähköopas, n.d. VSV-yhtiöt. Viitattu 12.2.2021.  
<https://lannenomavoima.fi/files/sites/2154/aurinkos-hk-opas-lov.pdf>

Aurinkosähköteknologiat, 2020. Motivan www-sivuilla 5.8.2020.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat)

Aurinkopaneelien asentaminen, 2020. Motivan www-sivuilla 5.8.2020.  
[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/hankinta\\_ja\\_asennus/aurinkopaneelien\\_asentaminen](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/aurinkopaneelien_asentaminen)

Aurinkosähkö ja muu pientuotanto, n.d. Alvan www-sivustolla 12.2.2021.  
<https://www.alva.fi/sahkoverkko/sahkoliittymat-ja-mittarointi/pientuotanto/aurinkosahkon-ja-pientuotannon-yleisohjeet/>

Aurinkosähkön takamittarointimalli, 2020. Finsolarin www-sivuilla 11.4.2021.  
<https://finsolar.net/aurinkosahkon-tuotantomallit-taloyhtiössä/aurinkosahkon-takamittarointimalli/>

Firefighter Gateway - Palomiehen paras kaveri aurinkovoimalassa, 2021. Solnetin www-sivustolla 28.3.2021.  
<https://www.solnet.group/fi/blogi/firefighter-gateway-palomiehen-paras-kaveri-aurinkovoimalassa>

Honsberg, C., Bowden, S., n.d. pveducation www-sivustolla 17.2.2021.  
<https://www.pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/azimuth-angle>

Invertteri, 2021. Aurinkovirran www-sivuilla 9.2.2021.  
<http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>

Käpylehto, J., 2016, Auringosta sähköt kotiin, kerrostaloon ja yritykseen. Into kustannus.

Kannattavuuslaskurit, n.d. Finsolarin www-sivuilla 17.2.2021.  
<https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>

Liesaho, T. 2021. Energiasuunnittelija. Sitowise Oy. Haastattelu 13.4.2021.

Liuksiala, L., 2015, Aurinkosähköjärjestelmän kannattava mitoitus. Finsolarin www-sivuilla 8.2.2021.

<https://finsolar.net/kannattavuus/aurinkosahkon-hinnat-ja-kannattavuus/aurinkosahkojarjestelman-kannattava-mitoitus-2/>

Patrakka, J. 2021. Sähkösuunnittelija. Sitowise Oy. Haastattelu 25.2.2021.

PVGIS, n.d. Aurinkovirran www-sivuilla 17.2.2021.

<https://www.aurinkovirta.fi/pvgis/>

Sitowise, 2021. Wikipedian www-sivuilla. Viitattu

<https://fi.wikipedia.org/wiki/Sitowise>

Sitowise listautui Helsingin pörssiin 25.3. Sitowisen www-sivustolla 10.4.2021.

<https://www.sitowise.com/fi/uutiset/sitowise-listautui-helsingin-porssiin>

SOLAR-kiinnitysteline tasakatoille, 2021. Sadex Oy:n www-sivustolla. Viitattu 25.2.2021.

<https://www.sadex.fi/tuotteet/aurinkopaneelien-kiinnitys/kiinnitysteline-tasakatoille>

ST 55.32. 2019. Verkkoon kytketyt aurinkosähköjärjestelmät. ST-ohjekortti. Rakennustieto. Viitattu 21.1.2021. <https://janet.finna.fi/>, ST-kortisto.

SFS 6000-7-712:2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 2017. Viitattu 11.2.2015. <https://janet.finna.fi>, SFS-online.

Tarvittava laitteisto, 2020. Motivan www-sivuilla 5.8.2020.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto)

Tuotekuvasto 2019-2020. Eurosolar Oy.

[https://de.cdn-website.com/8191b3d825c34b8b9fd00f0da6c22db8/files/uploaded/Eurosolar\\_kuvasto\\_2019-2020\\_email.pdf](https://de.cdn-website.com/8191b3d825c34b8b9fd00f0da6c22db8/files/uploaded/Eurosolar_kuvasto_2019-2020_email.pdf)

Verkkoon liitetty aurinkosähköjärjestelmä, 2020. Motivan www-sivuilla 5.8.2020.

[https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkosahko/jarjestelman\\_valinta/tarvittava\\_laitteisto/verkkoon\\_liitetty\\_aurinkosahkojarjestelma](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/tarvittava_laitteisto/verkkoon_liitetty_aurinkosahkojarjestelma)

Vihdoinkin: tunnin sisäinen netotus toteutuu ja asunto-osakeyhtiöt pääsevät nauttimaan aurinkosähkön hedelmistä. 2020. Lähinergian www-sivuilla 11.4.2021.

<https://lahienergia.org/lahienergialiiton-pitkajanteinen-ja-maaratietoinen-tyo-hajautetun-pientuotannon-edistamiseksi-kantaa-hedelmaa/>

Yritys. Sitowisen www-sivuilla 27.11.2020.

<https://www.sitowise.com/fi/sitowise/yritys>

Älykkäät aurinkomoduulit, 2018. SolarEdge.

[https://www.aurinkorakennus.fi/wp-content/uploads/SolarEdge-Homeowners-Brochure\\_FIN.pdf](https://www.aurinkorakennus.fi/wp-content/uploads/SolarEdge-Homeowners-Brochure_FIN.pdf)

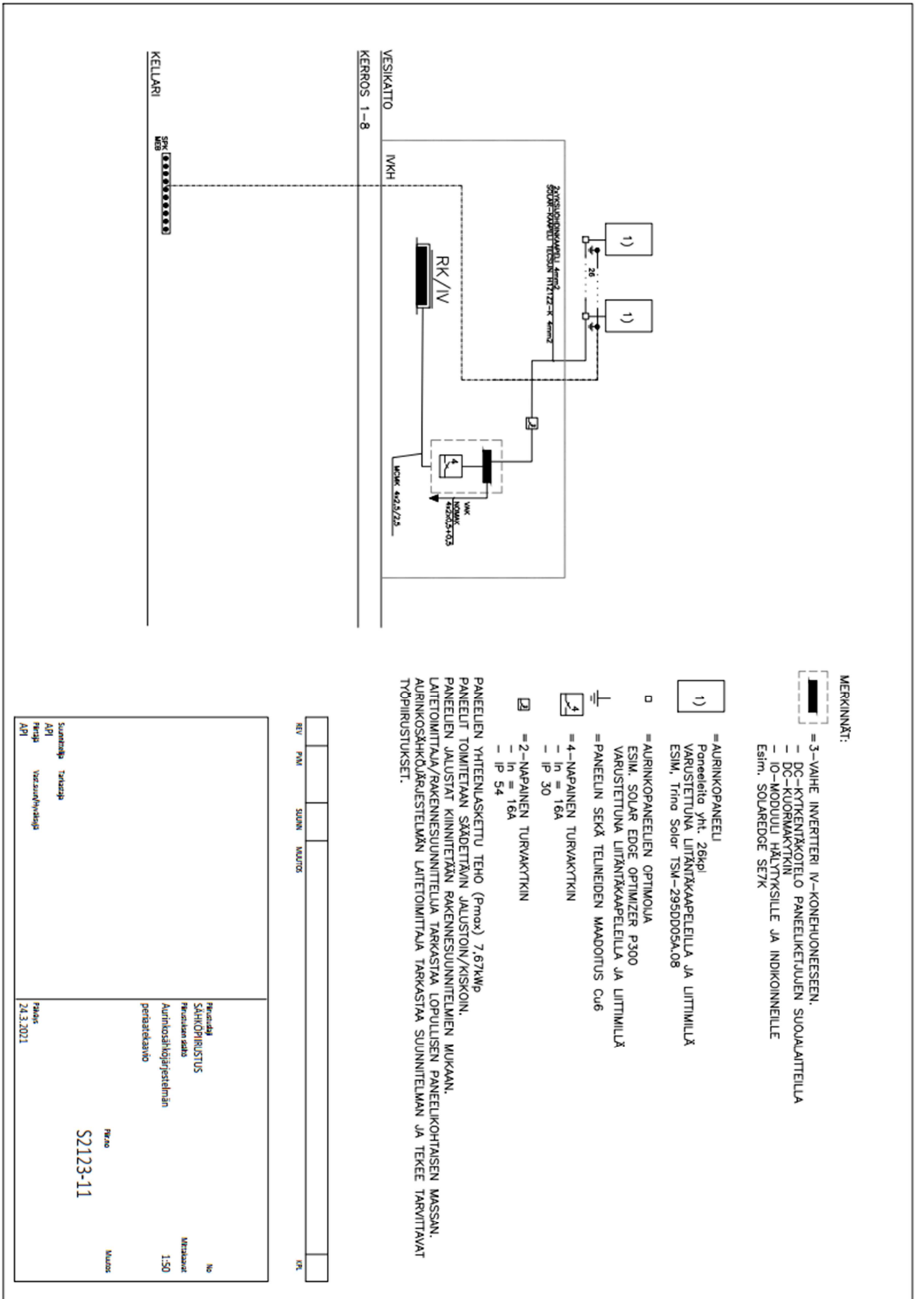


## Liitteet

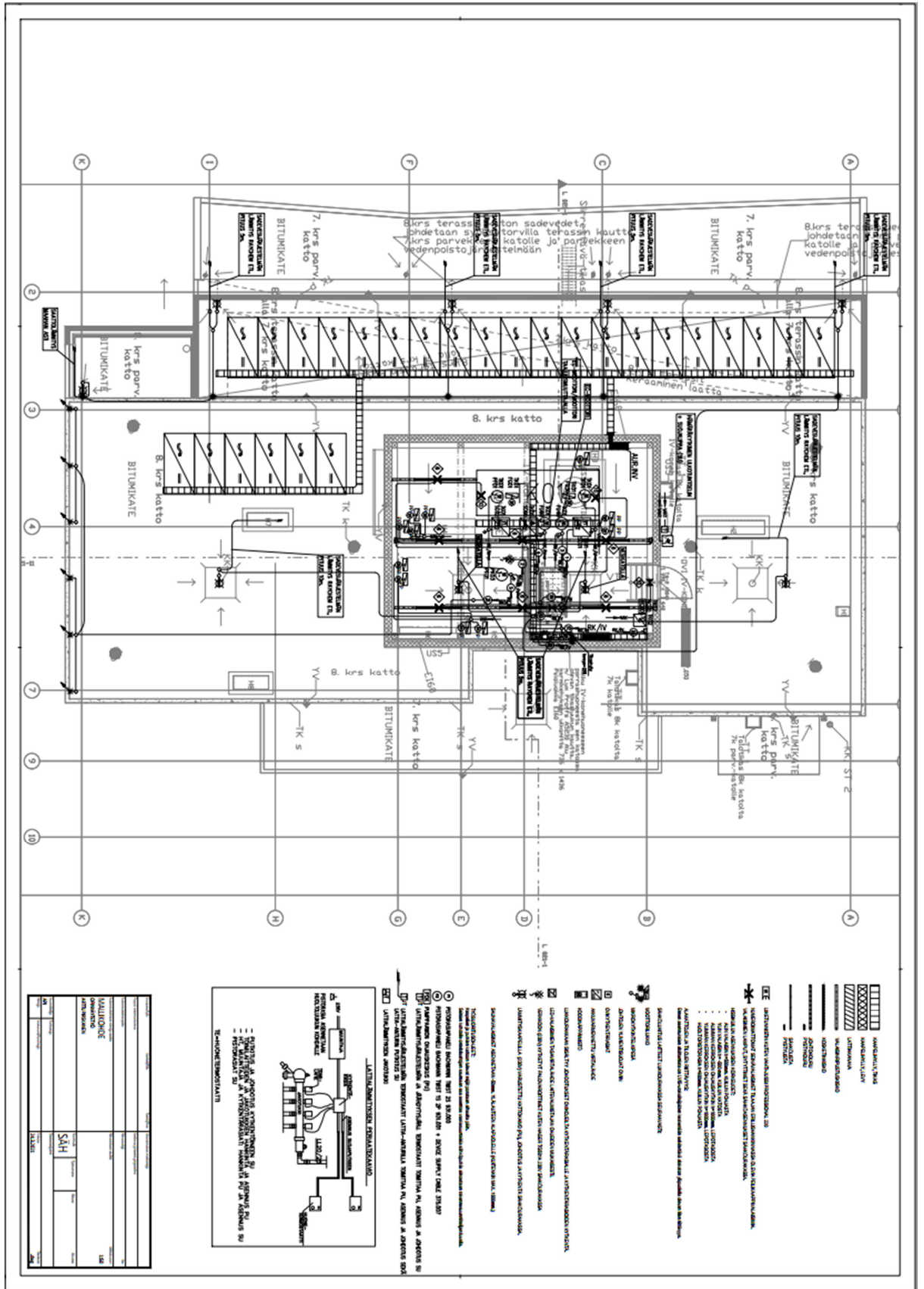
## Liite 1. Aurinkosähköjärjestelmän mitoituslaskuri

Kilnteiston aurinkosähköjärjestelmän mitoitus												
Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen arvioimiseksi täytyä lähtötiedot punaisiin soluihin:												
Aurinkosähköjärjestelmän koko tehona Wp		7500 Wp		Vinkki: säädä koko sellaiseksi, että järjestelmästä syntyy mahdollisimman vähän ylijäämää								
Aurinkosähköjärjestelmän hyötysuhde %		13 %		Vinkki: Jos esimerkiksi heinäkuussa yhden vuorokauden aikana sähköä kuluu tasaisesti 10 kWh/tunnissa eli yhteensä 240 kWh/vrk, niin korkeajärjestelmän koko paneelin pinta-alana m <sup>2</sup>								
Kilnteiston vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta maksimiosuus, jonka voi käyttää		40 %		Vinkki: Jos esimerkiksi heinäkuussa yhden vuorokauden aikana sähköä kuluu tasaisesti 10 kWh/tunnissa eli yhteensä 240 kWh/vrk, niin korkeajärjestelmän koko paneelin pinta-alana m <sup>2</sup>								
Kilnteiston vuorokausikohtaisesta sähkönkulutuksesta maksimiosuus, jonka voi käyttää		51 nelionetriä		Vinkki: Jos esimerkiksi heinäkuussa yhden vuorokauden aikana sähköä kuluu tasaisesti 10 kWh/tunnissa eli yhteensä 240 kWh/vrk, niin korkeajärjestelmän koko paneelin pinta-alana m <sup>2</sup>								
Päivien määrä kuukaudessa	Kilnteiston kuukausikokoinen sähkönkulutus kWh/kk	Auringon säteily kWh/m <sup>2</sup> /pv sijainnin mukaan	Sähkön ostohinta €/MWh/kk	Aurinkosähkö n ylijäämän myyntihinta €/MWh/kk	Aurinkosähkö n tuotanto kWh/kk	Aurinkosähköä omaan käyttöön kWh	Aurinkosähköä myyritin kWh	Sähkön ostotarve kWh	Omaan käytön tuotetun aurinkosähkö n arvo €	Sähkön myyntitulot €	PVGIS (kWh/m <sup>2</sup> )	
Tammikuu	4838,4	0,03	110,0	40,0	7	7	0	4832	0,72 €	0,00 €	7,9	
Helmi	4623,6	0,11	110,0	40,0	20	20	0	4603	2,24 €	0,00 €	24,6	
Maalis	4370,9	2,51	110,0	40,0	516	516	0	3855	56,74 €	0,00 €	77,8	
Huhtik	3820,4	3,43	110,0	40,0	682	682	0	3139	74,97 €	0,00 €	102,8	
Toukok	2932,1	4,85	110,0	40,0	996	996	0	1936	109,61 €	0,00 €	150,3	
Kesäku	2348,2	5,12	110,0	40,0	1019	939	80	1409	112,09 €	3,19 €	153,7	
Heinäk	2530,8	5,17	110,0	40,0	1063	1012	51	1518	116,98 €	2,05 €	160,4	
Eloku	2604,5	4,16	110,0	40,0	856	856	0	1749	94,15 €	0,00 €	129,1	
Syysku	2629	2,57	110,0	40,0	511	511	0	2118	58,23 €	0,00 €	77,1	
Lokaku	3403,5	1,23	110,0	40,0	252	252	0	3152	27,71 €	0,00 €	38	
Marrask	3741,1	0,04	110,0	40,0	8	8	0	3733	0,85 €	0,00 €	9,3	
Jouluku	5052,4	0,01	110,0	40,0	2	2	0	5050	0,26 €	0,00 €	2,9	
<b>Yhteensä</b>	<b>42894,9</b>				<b>5932</b>	<b>5802</b>	<b>131</b>	<b>37093</b>	<b>652,6 €</b>	<b>5,2 €</b>		
Aurinkosähköjärjestelmän vuosituotto		5932 kWh/v										
Aurinkosähkö myynnin tai ylijäämän osuus		2 %										

Liite 2. Periaatekaavio



Liite 3. Tasokuva





Liite 5. Aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluohje (salassa pidettävä)