



Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu suurkohteisiin

Ja tuotetun sähkön käytön automatisointi

Ville Hiltunen

Tommi Pihkanen

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2020

Insinöörikoulutus
Sähkö- ja automaatiotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Insinöörikoulutus
Sähkö- ja automaatiotekniikka

HILTUNEN, VILLE & PIHKANEN TOMMI:
Aurinkosähköjärjestelmän mitoittaminen suurkohteisiin
ja tuotetun sähkön käytön automatisointi

Opinnäytetyö 77 sivua, joista liitteitä 4 sivua
Toukokuu 2020

Tämän insinööryön toteuttivat yhdessä Ville Hiltunen ja Tommi Pihkanen. Työ jakautui siten, että Hiltunen mitoitti ja suunnitteli voimalan työnantajansa kiinteistöön (luku 3) ja Pihkanen teki työhön tarvittavan teorian sekä suunnitteli aurinkosähkökäyttöön automaatiojärjestelmän (luvut 2 ja 4). Tämä insinööryö sisältää siis suurikokoisen aurinkosähkövoimalan suunnittelun ja mitoituksen paljon sähköä kuluttavaan liikekiinteistöön sekä automaatio-ohjelman suunnittelun, jolla sähkön tuottavuutta voitaisiin parantaa kohdistamalla tuotetun sähkön käyttöä energian varastoimista mahdollistaviin laitteisiin. Työssä pyritään perustelevaan kattavasti valinnat ja tehdyt johtopäätökset, joiden perusteella mitoitukset ja suunnitelmat tehdään tuoden esiin aurinkosähkön teoriaa ja aurinkovoiman tuottamisen peruseriäitä.

Insinööryön tavoite oli saada käytännössä toteuttamisvalmis projektisuunnitelma modernille automatisoidun aurinkovoimalan toteuttamiselle, jonka avulla Finnpark Oy pystyisi päättämään hankkeen kannattavuudesta ja tuottoarvioiden pohjalta voimalan rakentamisesta.

Hankeselvityksessä käytettiin aurinkovoimaloiden suunnitteluun tarkoitettua HelioScope-ohjelmaa, jolla voimalan tuotto voitiin simuloida erittäin tarkasti. Sähköpiirustukset suunniteltiin käyttäen CADS -suunnitteluohjelmaa ja logiikkaohjelmoinnit Beckhoffin TwinCat 3:lla.

Tässä hankeselvityksessä tulee esiin kaikki voimalan suunnittelun vaiheet ja toteutusratkaisut sillä laajuudella, että tätä työtä käyttäen olisi mahdollista suunnitella aurinkovoimala tai käyttää tätä selvitystä työkaluna tulevissa aurinkovoimaloiden suunnittelutehtävissä.

Asiasanat: aurinkosähkövoimala, sähköjärjestelmät, automaatio

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Bachelor of science
Electrics and automation

HILTUNEN VILLE & PIHKANEN TOMMI

Designing of a large photovoltaic system and automation of the generated electricity usage

Bachelor's thesis 77 pages, appendices 4 pages
May 2020

This thesis was carried out by Ville Hiltunen and Tommi Pihkanen. Thesis was divided so that Hiltunen planned and designed the solar power plant for his employer's property (chapter 3) and Pihkanen completed the design with necessary theory and designed an automation system for photovoltaic use (chapter 2 and 4). Therefore, this thesis includes the planning and designing of a large-scale photovoltaic power plant for commercial property with high energy usage and automation program to improve the efficiency of produced electricity. The aim is to justify the choices and conclusions made on the thesis, on which the decisions are made to design the photovoltaic power plant.

The aim of the thesis was to obtain a practically ready-to-go project plan of a modern and automated photovoltaic power plant, from the basis of which Finnpark Oy would be able to decide the profitability and costs of the power plant.

In this thesis programs that was used was HelioScope, which was used to simulate the output of the powerplant. The electrical drawings were made with CADS and automation programming with Beckhoff TwinCat 3.

This thesis presents all the stages of the power plant design and implementation solutions in order to be used to design photovoltaic power plant or to use it as a tool on future photovoltaic power plant design tasks.

Key words: photovoltaic power plant, electrical systems, automation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Voimalan suunnittelu.....	7
1.2	Automaattioratkaisut aurinkovoimalahankkeessa	8
1.3	Tekijöiden osuudet	8
2	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	9
2.1	Perusteet ja teoria	9
2.1.1	Järjestelmän osat	10
2.1.2	Aurinkopaneelin toimintaperiaate	13
2.2	Aurinkovoimalan sähköntuottoon vaikuttavat tekijät.....	14
2.3	Kaksi voimalan lopullisen koon määrittävää tekijää	16
2.3.1	Käytettävissä oleva pinta-ala.....	16
2.3.2	Sähköliittymän koko.....	16
3	SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA MITOITTAMINEN	17
3.1	Voimalan koko.....	17
3.1.1	Suunniteltavan voimalan kiinteistön sähkönkulutus.....	19
3.2	Sähköliittymän koko	20
3.3	Laitevalinnat.....	23
3.3.1	Paneelit	23
3.3.1.1	Teho ja lukumäärä.....	23
3.3.1.2	Paneelin valinta	25
3.3.1.3	Asennustavat.....	25
3.3.2	Invertteri	30
3.3.2.1	Teho ja lukumäärä.....	30
3.3.2.2	Invertterin valinta	30
3.3.3	Kaapelointi.....	32
3.3.3.1	Voimalan syöttökaapelin kytkentäpisteen valinta	32
3.3.3.2	Kaapeleiden asennustapa	32
3.3.3.3	Kaapeleiden valinta	32
3.4	Sähkön tuottoseuranta	38
3.4.1	Vaihtoehdot energiamonitorointiin	38
3.5	Valmis voimala ja energian tuotanto	40
3.5.1	Takaisinmaksuaika	42
4	AURINKOVOIMALA JA AUTOMAATIO.....	44
4.1	Kokoojakeskus.....	45
4.1.1	Kytkentäkaaviot	46
4.1.1.1	Keskuksen ohjaus	47

4.1.1.2	Tehon ohjaus.....	49
4.2	Ylituotannon ohjaaminen.....	51
4.2.1	Lämminvesivaraaja.....	51
4.2.2	Sähköauto	52
4.2.3	Verkkoakku.....	52
4.3	Automaatiojärjestelmän suunnittelu	53
4.3.1	Ohjelmoitavan logiikan valinta	54
4.3.2	Ohjelman toimintaperiaate.....	55
4.3.3	Ohjelman tekeminen Beckhoff Twincat:lla.....	58
4.3.3.1	I/O:t ja käsittely.....	59
4.3.3.2	Main	62
4.3.3.3	Ylituotannon valvonta	62
4.3.3.4	Sähkön ohjaus.....	63
4.3.3.5	Termostaatti	64
4.4	Valmis ohjelma.....	65
4.4.1	Ohjelman toiminnan esittely	66
5	POHDINTA	68
5.1	Voimalan suunnittelu ja sähköntuotto.....	69
5.2	Ohjaus ja automaatio	70
	LÄHTEET.....	73
	LIITTEET	74
	Liite 1. Voimalan simulointi HelioScopessa.....	74
	Liite 2. Kokoojakeskuksen kytkentäkaavion sivu 1	76
	Liite 3. Kokoojakeskuksen kytkentäkaavion sivu 2	77

ERITYISSANASTO

Finnpark	Tampereella toimiva ja Tampereen kaupungin omistama pysäköintialan yritys
Huipputeho [Wp]	Järjestelmän huipputeho aurinkosähkön standardimitausolosuhteissa
Invertteri	Vaihtosuuntaaja
Oikosulkuvirta [I_{sc}]	Yksittäisen paneelin suurin mahdollinen virta oikosulku-tilanteessa
PWM	Pulssinleveysmodulaatio (pulse width modulation)
Tuottoseuranta	Järjestelmä, jolla aurinkovoimalan tuottaman sähköenergian määrää voidaan seurata
Tyhjäkäyntijännite [U_{oc}]	Yksittäisen paneelin tai koko paneeliketjun maksimijännite kytkemättömistä johtimista mitattuna
VAC	Vaihtojännite (voltage alternating current)
VAK	Kiinteistöautomaatio (valvonta alakeskus)
VDC	Tasajännite (voltage direct current)
PVGIS	Euroopan Unionin ylläpitämä verkossa toimiva ilmainen aurinkovoimalan simulointi ohjelma

1 JOHDANTO

Tämän päättötyön aihe on keskisuuren aurinkovoimalan suunnittelu ja mitoitus Finnpark Oy:lle sekä automaation lisääminen tuotetun sähkön käyttöön tuottavuuden parantamiseksi. Opinnäytetyötä lähdettiin suunnittelemaan kaksiosaiseksi, joista toinen keskittyy lähinnä Finnpark Oy:ltä tulleeseen pyyntöön toteuttaa selvitystyö aurinkovoimalan toteuttamisesta yhden yhtiön omistaman kiinteistön, vanhan Anttilan rakennuksen katolle osoitteeseen Kuninkaankatu 14-16, Tampere. Päättötyön aihe tuli sekä tekijöiden kiinnostuksesta uusiutuvaa energiaa kohtaan, aikaisemmasta aurinkopaneelialan kokemuksesta sekä Finnpark Oy:n puolelta, koska kyseessä on Tampereen kaupungin omistama yhtiö, joka kuluttaa paljon sähköä ja päästötavoitteet luovat painetta myös yhtiöiden suuntaan.

Päättötyö alkaa aurinkosähkön teorialla, jossa käydään läpi, miten aurinkopaneelit toimivat, miten niiden tuotto syntyy ja mitkä asiat vaikuttavat niiden tuoton määrään. Tältä pohjalta opinnäytetyö syvenee laitteiston osiin ja niiden tehtäviin, jonka jälkeen kerrotaan näiden mitoitukseen ja valintaan liittyvät asiat suunniteltavan voimalan kannalta. Kun rakennettavan voimalan komponentit ja asennustapa on valittu, simuloidaan voimalan vuosituotanto, jotta saataisiin hyvä käsitys siitä, kuinka paljon voimala voi vuodessa tuottaa sähköä. Lopuksi työssä pohditaan erilaisia automaatoratkaisuja voimalan tuottaman sähkön käyttöön sekä suunnitellaan yksinkertainen automaatio-ohjelma, jolla tuotetun sähkön käyttöä voitaisiin ohjata.

1.1 Voimalan suunnittelu

Ville Hiltusen osiossa tuodaan esille aurinkoenergian teoria lyhyesti ja kaikki teoreettiset seikat, jotka vaikuttavat voimalan rakentamispäätökseen, suunnitteluun, mitoittamiseen ja voimalan komponenttien valintaan. Nämä valinnat on päättötyössä esitetty aiheeseen liittyvällä teorialla sekä esimerkkilaskuin.

1.2 Automaattioratkaisut aurinkovoimalahankkeessa

Päättötyöhön sisältyy myös Tommi Pihkasen osuus, joka keskittyy pääasiassa ohjelman tekemiseen, jolla voimalan ylituotettua sähköä saataisiin ohjattua kustannus- ja ekologiasyistä esimerkiksi sähköauton lataamiseen tai vastaavaan sovellukseen.

Automaatio-osuudessa käydään läpi automaation käyttö, aurinkovoimalan tuoton optimointi sekä automaatio-sovellusten toteuttaminen Finnparkille suunniteltavan voimalan yhteyteen.

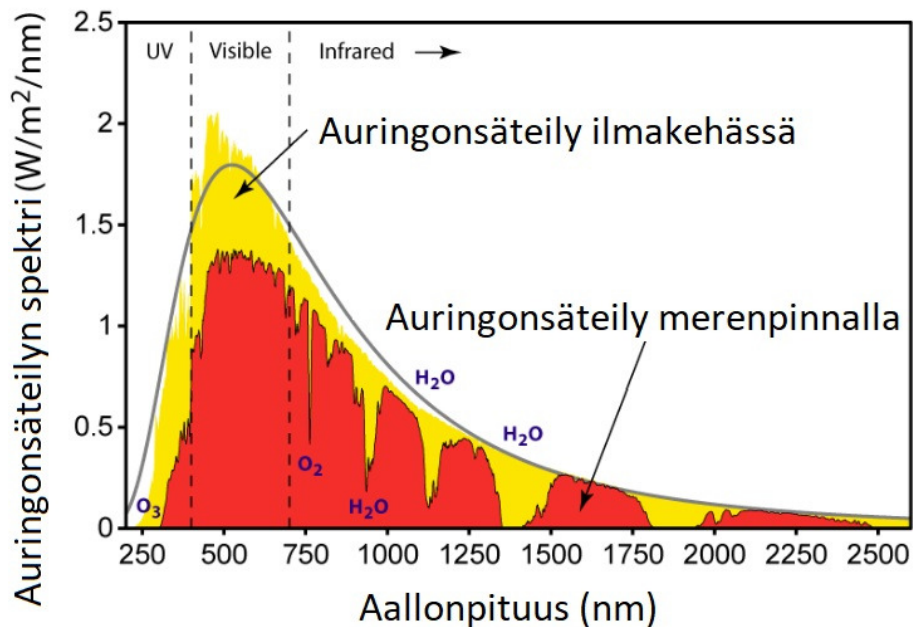
1.3 Tekijöiden osuudet

Tämän opinnäytetyön tekivät yhdessä Ville Hiltunen ja Tommi Pihkanen. Päättötyö toteutettiin niin, että molemmat tekivät omat osuutensa työstä siten, että siitä rakentui yhtenevä ja toisiaan täydentävä kokonaisuus. Tämä päättötyö koostuu kolmesta keskeisestä osasta: Aurinkovoiman teoriasta, voimalan suunnittelusta ja mitoituksesta sekä voimalaan liittyvästä automaatiosta. Näistä luvuista Ville Hiltunen teki voimalan suunnittelun ja mitoituksen, mikä löytyy luvusta 3. Tommi Pihkanen kirjoitti aurinkovoiman teorian (luku 2) sekä automaatio-osuuden (luku 4). Molemmat myös kirjoittivat pohdinnan omasta osuudestaan. Ville Hiltunen teki pohdinnan alaluvun 5.1 ja Tommi Pihkanen alaluvun 5.2.

2 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

2.1 Perusteet ja teoria

Aurinkopaneelien toiminta ja sähkön tuotto perustuvat auringonvalosta tulevaan sähkömagneettiseen säteilyyn ja puolijohdemateriaalien ominaisuuksiin, joilla auringonvalosta saatava energia pystytään muuttamaan sähköksi. Suurin osa aurinkopaneelien talteen ottamasta auringonsäteilyn intensiteetistä on fotonien aallonpituuden spektrillä ihmissilmällä näkyvän valon alueella 400-740 nm. Auringonsäteilyn spektri on esitetty kuvassa 1.

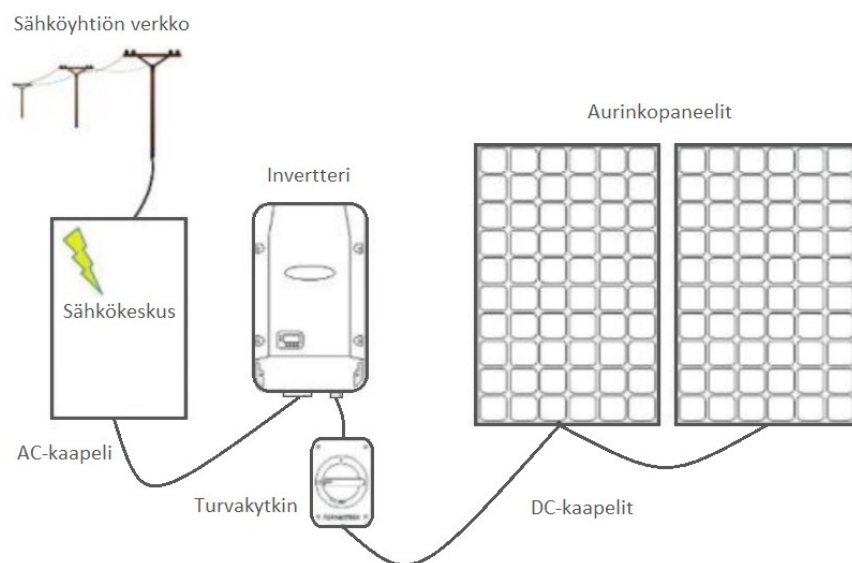


KUVA 1. Auringonsäteilyn spektri (wikipedia.org, muokattu)

Infrared-alueella (edellisessä kuvassa alue infrared) fotonin energia ei riitä elektronien virittämiseen, eivätkä ne luovuta energiaansa aurinkokennoissa käytetyille puolijohteille. Auringonpaisteen säteilyintensiteetistä, eli tehosta pinta-alayksikköä kohden käytetään nimitystä aurinkovakio, joka kuvastaa maapallon ilmekehään kohdistuvan säteilyn määrää neliometriä kohti. Tämä arvo on n. 1370 W/m^2 , joka määrittää teoreettisen auringon säteilyintensiteetin maan pinnalla. Luonnollisesti ilmakehä ja etenkin pilvet absorboivat tästä huomattavan osan esimerkiksi Suomessa.

2.1.1 Järjestelmän osat

Aurinkosähkövoimala koostuu pelkistetysti aurinkopaneeleista, Invertteristä sekä kaapeleista, jotka syöttävät aurinkovoimalan tuottaman sähkön verkkoon. Todellisessa voimalassa on oltava myös turvakytkimet, johdonsuojat eli sulakkeet sekä sähkökeskus, jossa sulakkeet sijaitsevat. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaisen voimalan komponentit.



KUVA 2. Aurinkosähköjärjestelmän laitteet (st-käsikirja 40. Kuva 4.1, muokattu)

Käytännössä voimala tarvitsee telineet aurinkopaneeleille ja johdoille, telineen invertterille ym. mekaanisia osia, joita ei havainnekuvaan ole laitettu.

Aurinkopaneelit

Aurinkopaneeli on se osa järjestelmästä, joka muuttaa auringosta tulevan säteilyn tasasähköksi. Aurinkopaneeli koostuu useista sarjaan kytketyistä piikidekennoista, joita yhdessä paneelissa on useita. Opinnäytetyön voimalaan valituissa paneeleissa kennoja on 120 kpl. Teholtaan paneelit ovat tällä hetkellä 250 Wp ja 330 Wp välissä.

Invertteri(t)

Invertteri muuttaa aurinkopaneeleilta tulevan tasasähkön vaihtosähköksi, jolloin se voidaan syöttää sähköverkkoon tai käyttää itse. Inverttereitä on jokaisessa voimalassa oltava vähintään yksi, mutta ylärajaa niiden lukumäärällä ei ole. Esimerkiksi 1 MWp voimalassa voisi olla 20 kpl 50 kW invertteriä.

Kaapelointi

Sähköjohdot ovat se osa, millä tuotettu sähkö saadaan siirrettyä paneeleilta invertterille ja invertteriltä sähköverkkoon. Sähköjohtojen tyyppiin ja kokoon vaikuttavat useat tekijät ja niiden mitoitus on tehtävä tarkasti. Luonnollisesti kaapeleiden suurin kuormitettavuus on standardoitu, mutta sallittujen kaapeliainekien koerot vaikuttavat suuresti esimerkiksi kaapeleista syntyviin häviöihin ja näin voimalan tuottoon.

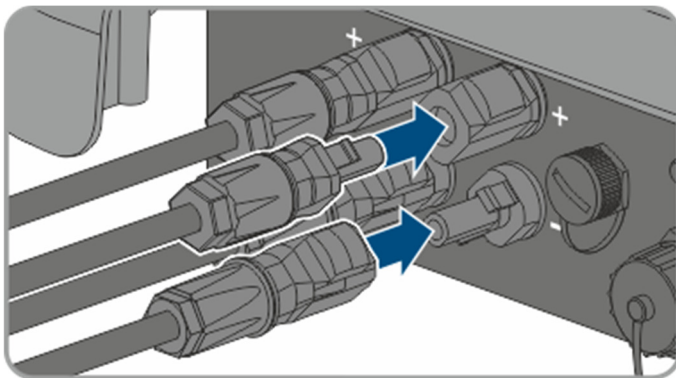
Liittimet

Aurinkopaneelien tasasähkökaapeleissa käytetään yleisesti niihin tarkoitettua liittintä, josta käytetään nimitystä MC4. Tästä liitinmallista on sekä uros-, että naarasmalli. MC4-liitin on esitetty kuvassa 3.



KUVA 3. Aurinkopaneelissa käytettävä MC4-liitin. (onnshop-verkkokauppa)

Myös invertterivalmistajat käyttävät MC4-liittintä inverttereissään, jotta tasajännitekaapelit saadaan kytkettyä helposti ja turvallisesti inverttereihin. Seuraava kuva (kuva 4) on SMA:n invertterin manuaalista ja siinä on esitettyä MC4-liittimien kytkentä invertteriin.



KUVA 4. MC4-liittimien kytkeminen invertteriin (SMA invertter manual)

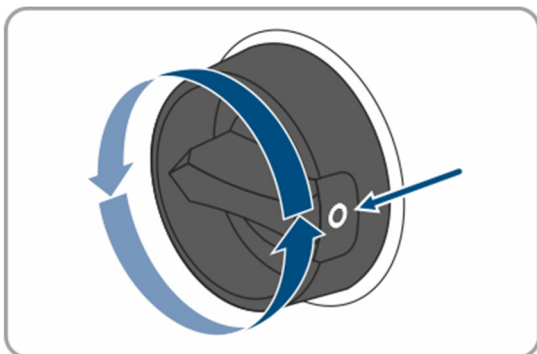
Turvakytkin

Turvakytkintä käytetään erottamaan aurinkopaneeliketjut invertteristä, jolloin invertterille tuleva sähkö saadaan kytketyksi pois. DC-turvakytkin on myös pakollinen jokaisessa voimalassa. Tasajännitteelle tarkoitettu KATKO:n valmistama turvakytkin on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. DC-turvakytkin (katko.com)

Erillisen AC-turvakytkimen tarve riippuu asennuksesta. Jos invertteri kytketään suoraan sähkökeskuksen vapaaseen tuloon, ei AC-kytkin ole pakollinen. Lähes kaikissa inverttereissä on vaihtosähköpuolen erotuskytkin sisäänrakennettuna. Kytkin on yleensä invertterin pohjassa ja siihen on merkitty kytkimen asento numeroilla 1 -päällä ja 0 -pois päältä. Kuvassa 6 on esitettyä havainnollistava kuva invertterin turvakytkimestä.

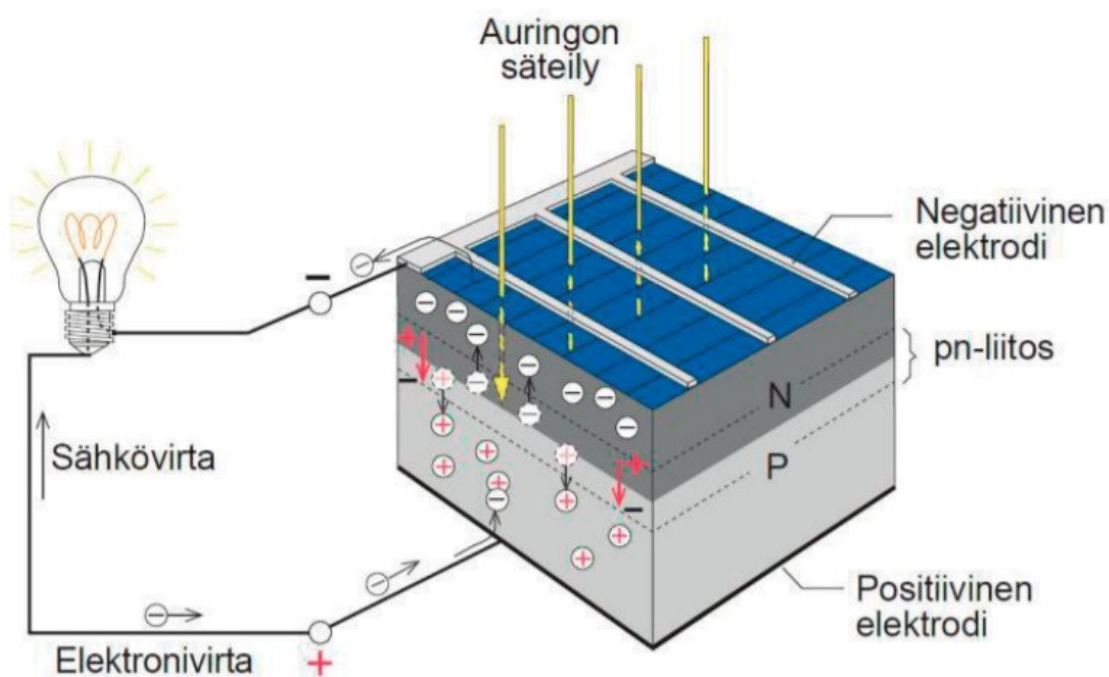


KUVA 6. Invertterin turvakytkin (SMA invertter manual)

Koska aurinkopaneelilta tuleva tasajännite on hyvin korkea (jopa 1000 V), on tärkeää muistaa, ettei aurinkovoimalaa saa sammuttaa DC-turvakytkintä käyttäen, koska sen sisällä saattaisi ilmentyä haitallisia valokaaria.

2.1.2 Aurinkopaneelin toimintaperiaate

Aurinkopaneelien toimintaperiaatteen mukaan auringonvalon valosähköisessä ilmiössä auringosta tulevan sähkömagneettisen energian fotonit irrottavat aurinkopaneelin alkuaineen kiderakenteen atomien välisistä sidoksista elektronin ja luovuttavat sille energiansa. Tämä nostaa elektronin kiderakenteessa vapaasti liikkuvaksi elektroniksi. Aurinkopaneelin toimintaperiaate on havainnollistettu kuvassa 7.



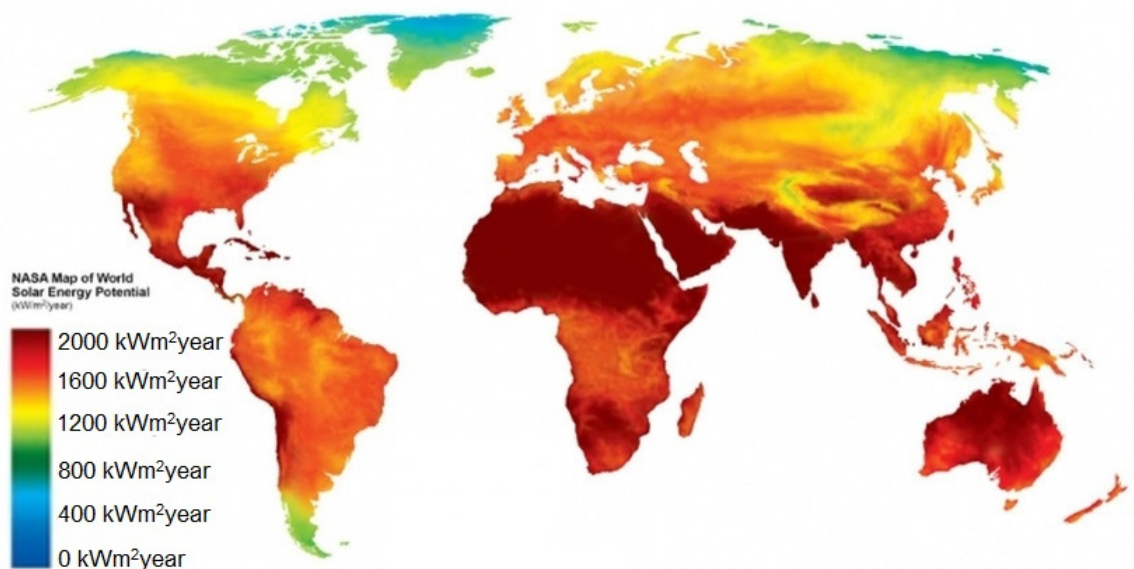
KUVA 7. Aurinkopaneelin toimintaperiaate (aurinkoopas.pdf)

Tämän ilmiön avulla aurinkopaneeli tuottaa sähköä. Oikealla aallonpituudella fotonin sisältämä energia riittää irrottamaan alkuaineessa olevia varauksenkuljettajia ja siirtämään ne puolijohteen energia-aukon yli valenssivyöltä johtavuusvyölle. Kun elektronin virittyminen tapahtuu PN-liitoksen tyhjennysalueella, sen sisäinen sähkökenttä erottaa syntyneen elektroni-aukko-parin PN-liitoksen eri puolille ja ehkäisee näin rekombinaation (varauksen tasoittumisen takaisin). Eli kun aurinko paistaa aurinkopaneelin puolijohdelevyyn (aurinkopaneeliin) fotonin energia absorboituu piilevyyn ja luovuttaa energiansa siihen. PN-liitoksen rajapinnan muodostama sähkökenttä siirtää elektronit eteenpäin aiheuttaen virran kulkemisen johtimissa. Tämä elektronien liike on sitä sähköä, mitä aurinkovoimala tuottaa verkkoon.

2.2 Aurinkovoimalan sähköntuottoon vaikuttavat tekijät

Globaali sijainti

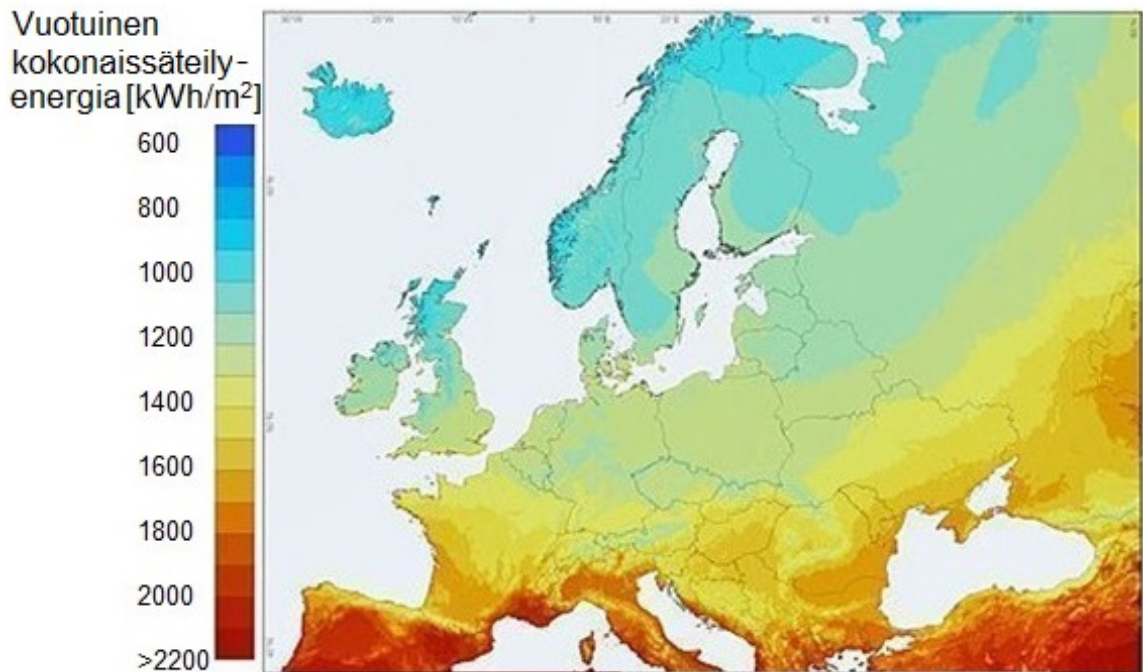
Kuten kuvasta 8 voi huomata, aurinkovoimalan tuottoon vaikuttaa suuresti sen sijainti maapallolla. Päiväntasaajalla, missä aurinko paistaa suoraan voimalan yläpuolelta, on auringosta tuleva säteily voimakasta, koska se kulkee lyhimmän matkan ilmakehän läpi. Kuvassa 8 on esitettyä auringon säteilyintensiteetti maailmanlaajuisesti.



KUVA 8. Auringon säteilyintensiteetti (NASA, muokattu)

Vaikka päiväntasaajalla auringon säteilyintensiteetti on suurimmillaan, on myös esimerkiksi Suomessa sijaitsevalla voimalalla joitakin etuja puolellaan. Esimerkiksi kesäaikaan Suomessa aurinko paistaa parhaimmillaan ympäri vuorokauden, joten valoisan aika saattaa olla pidempi kuin päiväntasaajalla. Toisaalta taas talviaikaan päivän pituus saattaa olla muutamia tunteja, jolloin tuotto jää hyvin pieneksi. Lopuksi paneeleille satanut lumi painaa voimalan tuoton nolnaan. Myös pilvisyys vaikuttaa suuresti maanpinnalle saapuvan säteilyintensiteetin määrään. Tämän vuoksi esimerkiksi Iso-Britannia ei ole aurinkovoimalan kannalta ideaalinen sijainti.

Kuten kuvasta 9 näkyy, aurinkovoimalan globaali sijainti vaikuttaa suuresti myös lämpötilaan, jossa voimala toimii. Luonnollisesti runsas auringonpaiste aiheuttaa sen, että ympäristössä on lämmin. Kuitenkin korkea lämpötila heikentää PN -liitoksessa syntyvää sähkökenttää ja alentaa näin paneelin tuottamaa jännitettä. Kylmässä ilmassa sähkökenttä taas voimistuu, mikä osaltaan hieman parantaa aurinkopaneelin tuottoa kylmissä olosuhteissa, kuten esimerkiksi Suomessa.



KUVA 9. Vuotuinen kokonaissäteilyn määrä (motiva.fi, muokattu)

Vaikka Suomi sijaitsee pohjoisessa, ei auringon vuotuinen kokonaissäteilyenergian määrä ole etenkään Etelä-Suomessa huono. Tästä antaa hyvän vertauskohteen esimerkiksi aurinkoenergiaan paljon panostanut Saksa. Laskennallisesti samanlainen voimala Berliinissä ja Tampereella tuottavat vuositasolla lähes saman verran, joten aurinkovoimaloiden yleistymiselle Suomessa ei ole sijainnin vuoksi varsinaista estettä. Kuitenkin esimerkiksi jo Espanjassa on säteilyintensiiteetti voimakasta ympäri vuoden ja voimalan vuosituotto jopa 100 % suurempi kuin Suomessa. Teoriassa maantieteellisesti parhaat olosuhteet aurinkovoimalalle on Chilessä, jossa paistaa aurinko lähes koko vuoden ja sääolosuhteet ovat hyvin kirkkaat.

2.3 Kaksi voimalan lopullisen koon määrittävää tekijää

2.3.1 Käytävissä oleva pinta-ala

Paneelien asentamiseen käytävissä oleva pinta-ala määrittää osaltaan voimalan koolle ylärajan. Kiinteistön katolle mahtuu vain rajallinen määrä paneeleita, joiden yhteenlaskettu huipputeho rajoittuu paneelien lukumäärän mukaan. Riippuu myös asennustavasta, kuinka paljon paneeleita voidaan asentaa. Kaltevalle katolle voidaan paneeleita asentaa kiinni toisiinsa, mutta tasakattoasennuksessa paneelien taakse on jätettävä tilaa, jotta paneelit eivät varjosta toisiaan.

2.3.2 Sähköliittymän koko

Jokaisen aurinkovoimalan kokoa rajoittaa sen kiinteistön sähköliittymän koko, missä voimala sijaitsee. Jos kiinteistön sähköliittymän koko on esim. 3x35 A (sähköyhtiön rakentaman sähköliittymän koko), nostaisi 25 kW ($230\text{ V} \cdot 35\text{ A} \cdot 3\text{ vaihetta} = 24150\text{ W}$) suurempaa kokoluokkaa oleva voimala kustannuksia huomattavasti, vaikka täysin mahdollista se olisikin. Luonnollisesti sähköyhtiö myy mielellään suuremman sähköliittymän kiinteistölle, mutta tällaisilla toimenpiteillä voimalan takaisinmaksuaika kasvaa huomattavasti ja itsetuotetun sähkön hinta kasvaa.

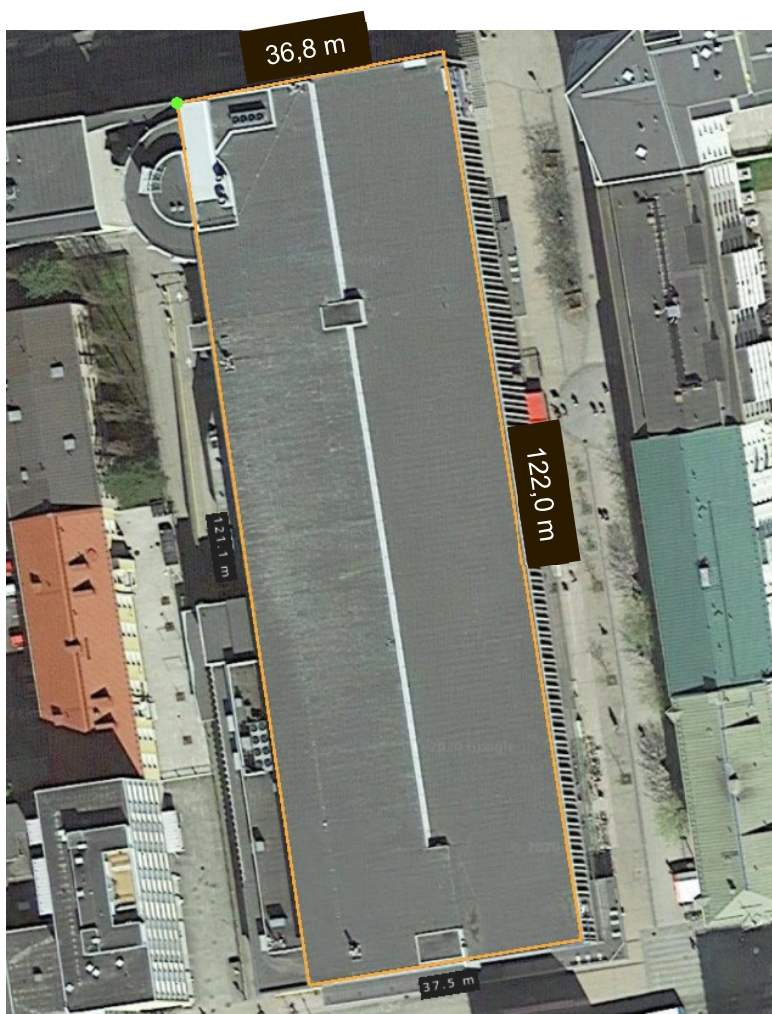
3 SÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU JA MITOITTAMINEN

3.1 Voimalan koko

Aurinkovoimalan aurinkopaneelit voidaan teoriassa sijoittaa minne tahansa. Yli-voimaisesti yleisin sijainti niille on rakennuksen katolla. Tähän vaikuttaa myös verotuksellinen tekijä, sillä jos paneelit on asennettu maahan, joutuu niiden tuottamasta sähköstä maksamaan veron. Muita asennustapoja on esimerkiksi pelolle asennettava teline eli kääntyvä ”satelliittimalli”, jossa paneelit tulevat maasta nousevaan telineeseen. Tässä päättötyössä keskitytään kuitenkin kiinteistön katolle tulevaan aurinkovoimalaan. Kun aurinkovoimala asennetaan kiinteistön katolle tuottamaan sähkö kiinteistön omaan käyttöön, on yksi tärkeimmistä lähtötiedoista kiinteistön aikaisempi sähkönkulutus.

Keräämällä tiedot asennuskiinteistön sähkönkulutuksesta, saadaan tärkeää tietoa voimalan suunnitteluun. Lähtötietona voidaan myös pitää tilaajan näkemystä voimalan suuruudesta. On myös tapauksia, joissa rakennettava aurinkovoimala on niin suuri kuin mahdollista. Tähän vaikuttaakin suuresti syy aurinkovoimalan rakentamiselle. Joku voi haluta mahdollisimman pienen ja halvan voimalan vain esitelläkseen sitä. Toisen motiivi voimalan rakentamiselle voi olla säästäminen. Jos voimala rakennetaan tuottamaan sähköä myyntitarkoitukseen, eroaa voimalan suunnittelu suuresti muista. Syy voimalan rakentamiselle on myös tärkeä lähtötieto suunnittelijalle, jotta lopputuloksesta saadaan tilaajalle mieluinen.

Suunniteltavan voimalan kattopinta-alan karkea esiarvio tehtiin käyttämällä voimaloiden suunnitteluun tarkoitettua ohjelmaa nimeltä HelioScope. Kattopinta-alan arvio on esitetty kuvassa 10.

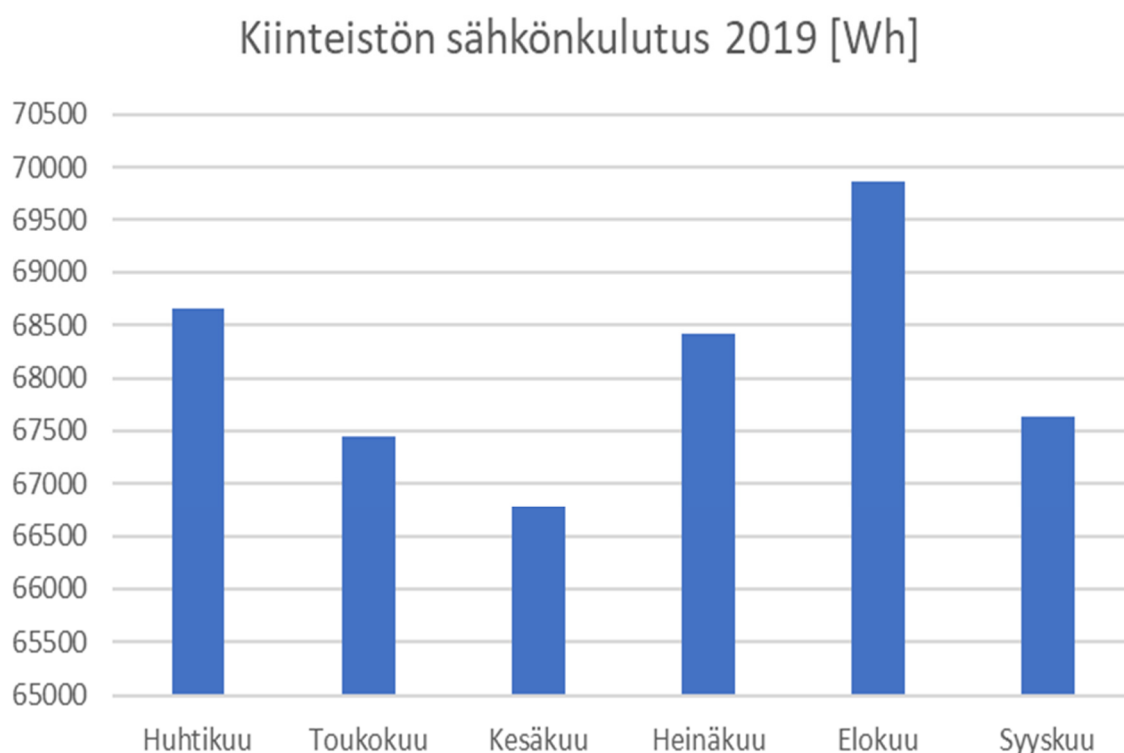


KUVA 10. Käytettävissä oleva kattopinta-ala.

Suunniteltavassa kohteessa kattopinta-alaa tuli edellisen kuvan mukaisilla mittoilla n.4500 m², mutta luonnollisesti katolla on ilmanvaihtuhuoneita, tuuletusputkia ja sisäänkäynti, joten paneeliasennukseen sopiva pinta-ala jää huomattavasti pienemmäksi. Kuitenkin tasaista kattopinta-alaa on paljon, mikä vaikuttaa hyvältä lähtökohdalta voimalan toteuttamisen kannalta. Tästä voi päätellä, että vapaa kattopinta-ala ei tule rajoittamaan voimalan kokoa. Jos tyhjää tilaa jää paljon, voidaan paneelit asentaa kauemmas toisistaan, jolloin niistä saadaan varjostuksen minimoituessa paras mahdollinen vuosituotto.

3.1.1 Suunniteltavan voimalan kiinteistön sähkönkulutus

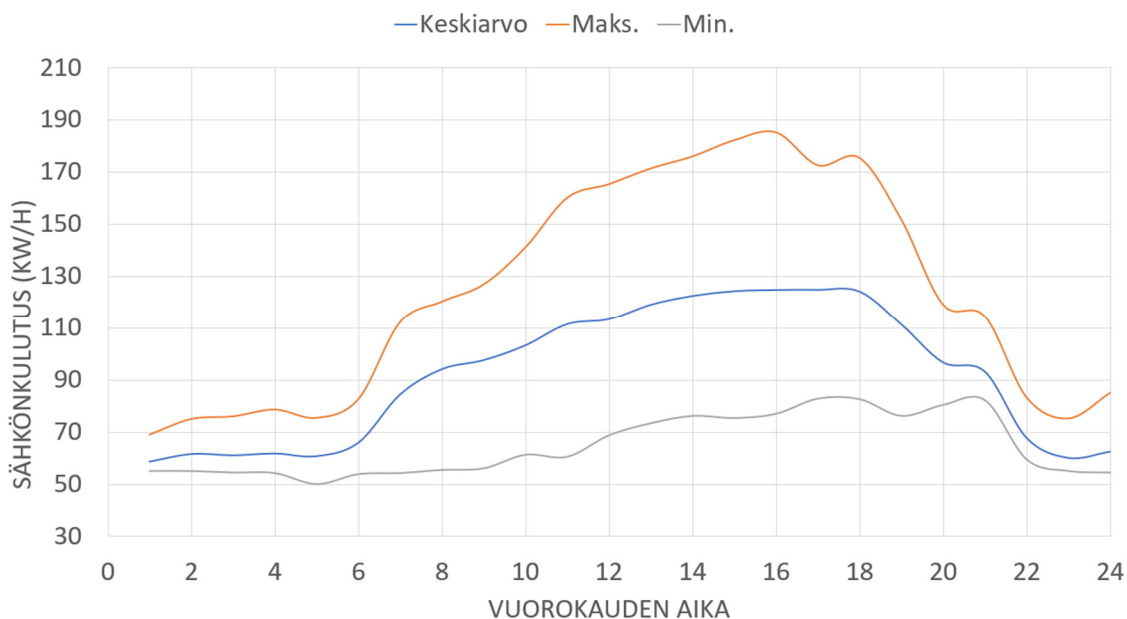
Kiinteistö, jonka käyttöön opinnäytetyön voimala suunnitellaan, kuluttaa huomattavan määrän sähköä. Tämä asetti lähtökohdaksi mahdollisimman suuren voimalan suunnittelun, koska kiinteistö itsessään kuluttaisi kaiken suunniteltavan voimalan tuottaman sähkön. Tampereen sähkölaitokselta saadut sähkönkulutustiedot kertoivat parhaimpien aurinkosähkökuukausien kuukausittaisen kulutuksen olevan yli 65 kWh, joten lähtökohta voimalan suunnittelulle oli hyvin selkeä, suunnitellaan mahdollisimman suuri voimala. Vanhan Anttilan kiinteistön sähkönkulutus on esitettyinä puolelta vuodelta kuvassa 11.



KUVA 11. Kohdekiinteistön sähkönkulutus edelliseltä vuodelta

Tarkempi tunti-kohtainen kulutus on esitettyinä kuvassa 12, josta selviää, miten sähköä keskimäärin vuorokaudessa käytetään. Kuvassa on heinäkuulta kolme erilaista keskiarvoa, pienin kulutus, keskimääräinen kulutus ja suurin kulutus. Suurin kulutus on ylin käyrä ja pienin kulutus alin käyrästä. Tätä samaa kuvaajaa käytetään myös perusteena aurinkopaneelien suuntaukseen, kun paneelien asennussuuntaa valitaan.

Kuvaajasta näkyy selvästi, että kiinteistön sähkönkulutus käynnistyy aikaisin aamulla ja lähtee laskemaan virka-ajan jälkeen.



KUVA 12. Kohdekiinteistön sähkönkäyttö profiili heinäkuu 2019

Kiinteistön sähkönkulutusprofiili onkin sellainen, että sen peruskulutus on ympäri vuoden hyvin suuri. Etenkin kesäaikaan sijoittuva sähkönkulutus on hyvä lähtökohta aurinkovoimalan rakentamiselle kiinteistön omaan käyttöön.

3.2 Sähköliittymän koko

Toinen voimalan suurimman mahdollisen koon määrittävä tekijä on sähköliittymä. Yleensä on helppo etsiä kohteesta sellainen jakokeskus, mikä kestää voimalan huipputehon. Jos sellaista ei ole tai sitä ei haluta käyttää, on voimala mahdollista kytkeä vaikka suoraan liittymän syöttökaapeliin. Näissä tapauksissa tosin tulee monia haasteita esimerkiksi sähkömittarin kanssa. Kuitenkin tällaiset asennukset on mahdollista toteuttaa, joten voimalan suurimman koon rajoittaa vasta liittymä.

Suunnitteluvaiheessa saattaa tulla myös tilanteita, joissa vapaana on useita pienempiä lähtöjä. Näissä tilanteissa tulee invertterit mitoittaa kyseisen syötön suurimman virrankeston mukaan ja jakaa voimala useampaan osaan invertterien lukumäärän mukaan. Tämä on helppo toimenpide ja näin toimimalla mitoitetaan myös pienemmät yhden invertterin voimat. Tilanteissa, joissa vapaana on vain

yksi suuri lähtö, esimerkiksi $3 \times 250 \text{ A}$ ($230 \text{ V} \cdot 250 \text{ A} \cdot 3 \text{ vaihetta} = 172500 \text{ W}$), on yhteen syöttöön kytkettävä useampi invertteri. Tämän mahdollistamiseksi on käytettävä erillistä kokoojakeskusta invertterien syöttöjen yhdistämiseksi.

Suunniteltavan voimalan kiinteistön sähköliittymä oli suuri ja vapaita lähtöjäkin löytyi kellarikerroksen nousukeskuksesta 2 kpl, joista toinen on 125 A ($230 \text{ V} \cdot 125 \text{ A} \cdot 3 = 86250 \text{ W}$) ja toinen 250 A . Lähdöissä oli myös mittausvaraus, jota voisi mahdollisesti hyödyntää tuotonseurannassa. Kuvassa 13 on pääkaavio kiinteistön nousukeskuksesta, josta vapaat lähdöt löytyvät.

LÄHTÖ	NRO	KUVAUS	TEHO kW	VIRTA A	SULAKE/VAROKKE A	KAAPELILAJI mm ²
		NOLLA JA PE YHDISTYS TYÖKALUIILLA AVATTAVISSA				
		PK-LTA (LIITINKOTELO 1) NOUSUKAAPELI (500A) IN=630A				2 MCMK 4×150+70
		MITTAUSVARAUS			/250	
		MITTAUSVARAUS			/125	
		KK01 KIINTEISTÖKESKUS			63/125	MMJ 5×16S
		MITTAUSVARAUS				

KUVA 13. Nousukeskuksen pääkaavio

Sähkökuvista löytyvien vapaiden lähtöjen perusteella voidaan suurin mahdollinen paneelimäärä laskea kertomalla vaihejännite käytettävissä olevien lähtöjen sulakekoolla (laskussa 1 käytetään molempia vapaita lähtöjä) ja kertomalla se vielä kolmella (vaiheiden lukumäärä). Tämä on voimalan suurin mahdollinen nimellisteho näitä sulakekokoja käyttäen. Kun voimalan nimellisteho jaetaan käytettävän paneelin nimellisteholla, saadaan määritettyä, kuinka monen paneelin voimala

voidaan rakentaa. Näin saadaan selville voimalan suurin teoreettinen koko. Seuraavissa laskuissa (lasku 1), lasketaan voimalan suurin teoreettinen koko, kuvan 13 vapaiden lähtöjen perusteella seuraavasti:

$$\frac{\text{vaihejännite} \cdot \text{sulakkeen koko} \cdot 3}{\text{käytettävän paneelin teho}} = \text{paneelien lukumäärä} \quad (1)$$

$$\frac{\frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}} \cdot (250 \text{ A} + 125 \text{ A}) \cdot 3}{285 \text{ Wp}} \approx 911 \text{ paneelia.} \quad (1)$$

Lähtökohtana näillä tiedoilla voidaan siis lähteä suunnittelemaan noin 900 aurinkopaneelin voimalaa 4000 m² vapaalle kattopinta-alalle.

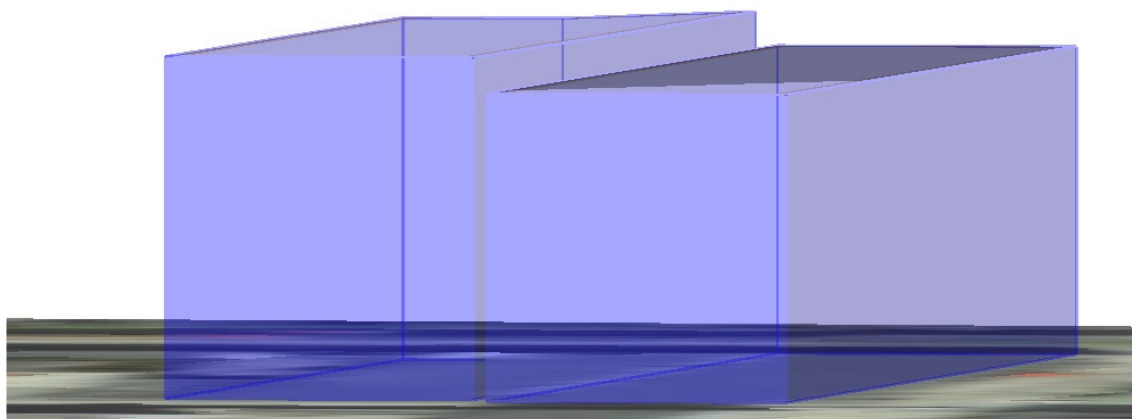
3.3 Laittevalinnat

Aurinkosähköjärjestelmät vaihtelevat kokoonpanonsa puolesta erittäin paljon, pienistä usein omakotitalokäytössä esiintyvistä kuuden paneelin voimaloista (1500 Wp – 2000 Wp) jopa tuhannen paneelin voimaloihin (yli 300 kWp). Tällaisia ovat tyypillisesti esimerkiksi kauppakeskusten katoille asennettavat voimalat. Voimaloissa käytettävät laitteet ovat valmistajien vakiotuotteita, mutta niiden asennustavat, koko, lukumäärä ym. vaihtelevat suuresti. Laittevalinnat -alalu- vussa käydään tarkemmin läpi niitä seikkoja, joilla Finnparkiin rakennettavan voi- malan komponentit ja niiden lukumäärä on valittu.

3.3.1 Paneelit

3.3.1.1 Teho ja lukumäärä

Kun tiedossa oli paneelien suurin mahdollinen lukumäärä, voitiin niiden sijoitta- mista katolla alkaa suunnittelemaan. Kohteen katto myös jakautui kahteen eri ta- soon seuraavan kuvan 14 mukaisesti, joka tuli ottaa huomioon paneeliasettelua mietittäessä, koska korkeampi katto tulisi varjostamaan osaa alemman katon pa- neeleista keskipäivän jälkeen.



KUVA 14. Katon korkeuserot

Vaihtoehtoina pidettiin suoraan etelään osoittavaa tasakattoasennusta sekä ka- ton suuntaisesti aseteltavaa asennusta. Koska kiinteistön sähkönkulutusprofiili oli

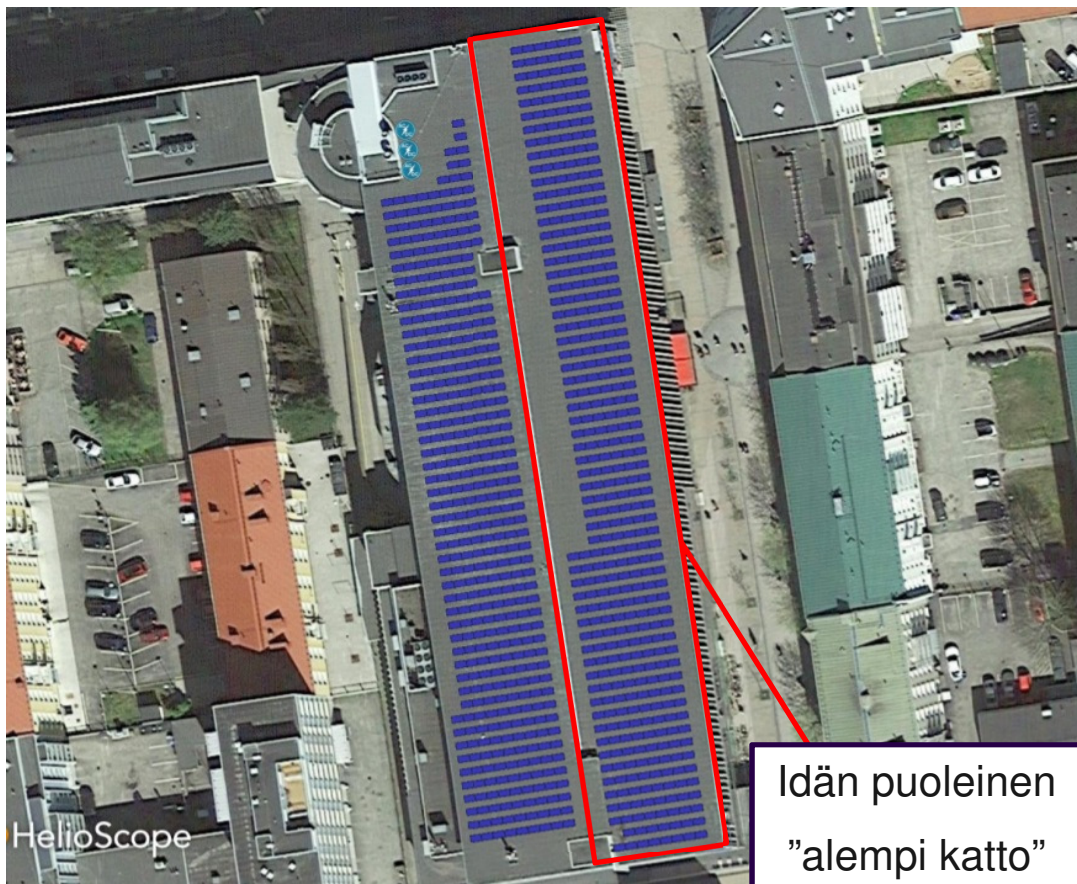
aamupäiväpainotteinen (kulutus alkaa n. klo.06) ja lähtee laskuun jo klo 16 jälkeen, päädyttiin paneeliasettelussa katon suuntaiseen asetteluun seuraavista syistä:

Katon suunta on hieman itään päin, jolloin aurinkosähkön tuotto käynnistyy hieman aikaisemmin kuin suoraan etelää kohti asennetuissa paneeleissa.

Katon suuntaisesti paneelit ovat nopea ja helppo asentaa. Asennusvaiheessa paneeliasentajien on helppo ottaa etäisyysmitat katon rakenteista.

Katto on kahdessa eri tasossa, jolloin idän puoleinen paneelisto jää iltapäivästä hieman varjoon. Näin aamupäivän aurinko tuottaa enemmän sähköä ja iltapäivän varjostus pienenee.

Näiden tekijöiden vaikutus yhteensäkin on hyvin marginaalinen, mutta yhdistettynä helpompaan asennustapaan sopi tämä asennustapa kohteeseen parhaiten. Paneelien lopullinen asettelu näkyy kuvassa 15.



KUVA 15. Paneeliasettelu rakennuksen katolla

Kun paneelien sijoittelu ja asennustapa katolle oli varmistunut, tiedettiin myös aurinkopaneelien lukumäärä. Kuvan 15 voimalassa on 819 aurinkopaneelia. Etenkin idänpuoleiselle eli alemmalle katolle olisi mahtunut enemmänkin paneeleita, mutta korkeamman katon varjostuksen takia päätettiin alemman katon kaksi vasenta paneelia poistaa niiltä riveiltä eteenpäin, mistä varjostus leikkasi paneelien tuottoa 5 % tai enemmän.

3.3.1.2 Paneelin valinta

Itse aurinkopaneelin valmistajan ja mallin käytännön valintaan vaikuttavat luultavasti eniten asennusyhtiön hankintasopimukset sekä tottumukset. Valintaan saattavat vaikuttaa myös eettiset päätökset kuten kotimaisen paneelin valinta. Tässä selvitystyössä ei paneuduta kovin syvästi paneelivalintoihin, joten Finnparkin kohteeseen valittiin TrinaSolarin valmistama 285 Wp paneeli sillä perusteella, että se on Suomessa Onnisen runsaasti myymä ja edullinen tuote. Näin suuren voimalan tapauksessa haluaisi voimalan rakentaja luultavasti käyttää teholtaan suurempaa, esimerkiksi 330 Wp paneelia.

3.3.1.3 Asennustavat

Aurinkopaneelin tuottoon- ja asennuksen suunnitteluun vaikuttavia tekijöitä ovat:

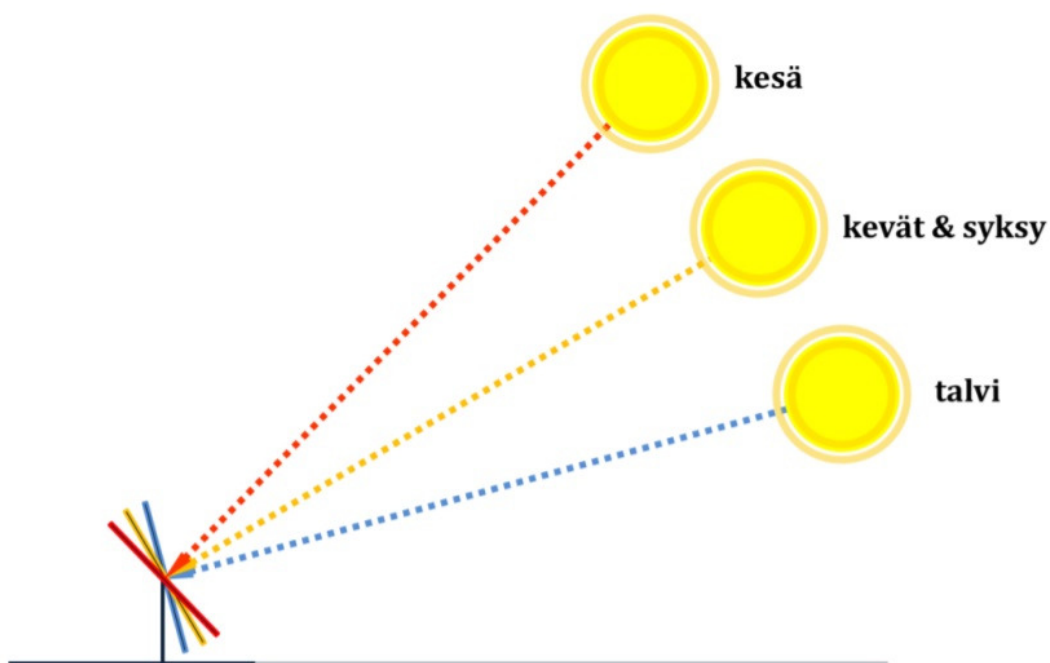
Suuntaus

Aurinkopaneelin asennussuunnalla tarkoitetaan aurinkopaneelin poikkeamaa etelän suunnasta. Usein törmää malliin, jossa kulma 0° tarkoittaa pystyasennusta etelän suuntaan ja 180° , jolla tarkoitetaan vaaka-asennusta etelän suuntaan. Tästä aurinkopaneelin suuntauksen kulmasta käytetään englanninkielistä nimitystä "Azimuth". Kun paneelit asennetaan suoraan kohti etelää, saavuttaa voimala silloin suurimman huipputehon.

Asennuskulma

Aurinkopaneelin asennuskulmalla tarkoitetaan paneelin kallistusta vaakasuoraan tasoon nähden. Kallistuskulman ollessa 0 °, on paneeli vaakasuorassa. Tästä käytetään nimitystä: ”Tilt”, eli kallistuskulma. Aurinkopaneelin asennuskulman valinnassa hyvänä lähtökohtana toimii kallistuskulman valinta asennuskohteen leveyspiirin mukaan. Suomessa asennuskulman tulee olla kuitenkin leveyspiiriä pienempi talviajan heikon auringonsäteilyn vuoksi.

Syy asennuskulman tärkeyteen on havainnollistettu kuvassa 16, jossa esitetään auringon sijaintia eri vuodenaikoina.



KUVA 16. Aurinkopaneelit ja aurinko eri vuodenaikoina (aurinkosähköopas)

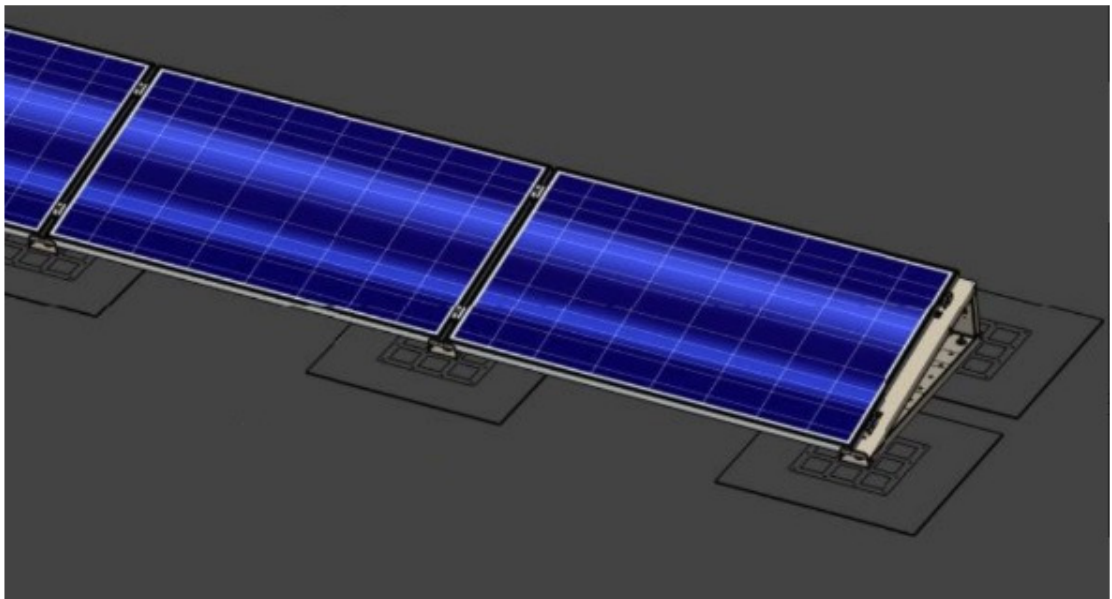
Paneelien asennuskulman valinnan merkitys 30 asteen (kesä) ja 60 asteen (talvi) välillä on kuitenkin hyvin pieni. 30 asteen kulmalla saadaan kesikikesällä hieman suurempi huipputeho kuin 45 tai 60 asteen asennuskulmalla. Vuosituotot näiden asennustapojen välillä ovat kuitenkin 3 – 4 % sisällä toisistaan niin, että 45 asteen asennuskulmalla vuosituotto on suurin.

Paneelin suuntauksen ja asennuskulman lisäksi paneelien asennustapaan vaikuttaa niiden asennuspaikka. Kiinteistöihin kohdistuvat asennustavat voidaan jakaa karkeasti kolmeen eri tapaan.

- Tasakattoasennus
- Kaltevan katon asennus
- Seinäasennus

Tasakattoasennus

Tasakattoasennuksessa paneeli asennetaan telineeseen, joka nostaa paneelin yläreunaa, jotta matalammalta paistavasta auringosta saataisiin suurempi tuotto. Tasakattoasennus ja teline on esitetty kuvassa 17.



KUVA 17. Oriman tasakattoteline (Orima tuotekuvasto)

Paneelin tasakattoasennusta varten tulee siis määrittää kallistuskulma, johon paneeli asennetaan. Kyse on siis siitä, että tuleeko paneeli tasakaton suuntaisesti vai asennetaanko se kulmaan katon suhteen. Nyrkkisääntönä voi paneelin kulmaa valittaessa pitää sitä, että mitä pohjoisemmaksi mennään, sitä jyrkemmässä kulmassa paneelin tulisi olla. Suurimman sähköntuotannon kannalta Tampereella paneeli kannattaa asentaa noin 43 asteen kulmaan (PVGIS). Pohjoisimmassa Suomessa suurimman vuosituoton saa asennuskulman ollessa lähes 50 astetta

(PVGIS). Kuitenkin 45 ja 20 asteen asennuskulman vuosituoton ero jää alle 10 %:n. Ja koska 40 asteen kulmassa oleva paneeli varjostaa takana olevaa riviä huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi 20 asteen kulmaan asennettu paneeli, saadaan 20-asteisella asennuksella kattopinta-ala täytettyä huomattavasti tehokkaammin. Tästä johtuen katolle saadaan siis enemmän paneeleita ja sitä kautta suurempi voimala ja vuosituotto. Myös sääolosuhteet, kuten esimerkiksi tuulikuormat vaikuttavat paneelien asennustapoihin ja 40 asteen kulmaan asennettuun paneeliin kohdistuisikin erittäin suuri tuulikuorma (RIL 201-1-2017 ja Sorsa T. 2016). Syntyvää tuulikuormaa pienennetään asentamalla peltiset levyt paneelien sivuille ja taakse, jolloin nostetta ei pääse syntymään.

Yleensä tasakattoasennuksissa käytettävät paneelien telineet eivät ole säädettäviä, joten telinevalmistajat, kuten Orima määrittävät suurelta osin paneelien asennuskulman valmistamiensa telineiden kautta. Tätä telinemallia kutsutaan tasakattotelineeksi, joka on esitetty kuvassa 17.

Kaltevan katon asennuksessa, eli harjakattoasennuksessa paneelit voitaisiin myös sijoittaa siten, että toinen puoli paneeleista olisi käännetty itään ja toinen puoli länteen päin. Näin asentaen huipputeho jää pienemmäksi kuin suoraan eteläasennuksessa, mutta tuotto jakautuu enemmän aamulle sekä illalle. Esimerkiksi asuintalokohteissa, joissa paneeleita ei katosta johtuvista syistä voida asentaa suoraan etelään päin, voidaan hyvällä lopputuloksella käyttää itä-länsi -asennusta. Havainnollistimme tätä laskemalla Euroopan unionin tuottamalla PVGIS laskentaohjelmistolla. Sen mukaan 20 kWp:n voimalan asennus Tampereen seudulla optimaalisilla asennustavoilla (tilt/slope 43 astetta ja azimuth -3 astetta) tuottaisi vuodessa n. 17167 kW/h sähköenergiaa. Kahdelle eri katolle (itä ja länsi) asennettuna samankokoisen voimalan vuosituotto (asennettuna 25 asteen kulmaan) olisi n. 13551 kW/h. Itä- länsi suuntaan asennettu voimala tuottaisi vuosittain siis n. 21 % vähemmän, kuin optimaalisesti asennettu voimala (PVGIS).

Seinäasennuksessa aurinkopaneelit kiinnitetään suoraan seinään, jolloin ne ovat pystysuorassa eli asennuskulma on 90 astetta. Tämä asennustapa on pohjoisessa, kuten esimerkiksi Suomessa toimiva silloin, kun voimalan halutaan tuottavan talvikaudella mahdollisimman paljon sähköä. Tämä asennustapa on kui-

tenkin parhaina kesäpäivinä huono, kun aurinko paistaa korkealta. Seinäasennusta kannattaakin käyttää vain lisänä, yhdessä katolle asennettujen paneelien kanssa. PVGIS laskentaohjelmistolla 20 kWp:n voimalan asennus Tampereen seudulla optimaalisilla asennuskulmilla (tilt/slope 43 astetta ja azimuth -3 astetta) tuottaisi vuodessa n. 17167 kW/h sähköenergiaa. Seinälle asennettu (90 asteen kulmassa) ja suoraan etelään suunnattu samankokoinen voimala tuottaisi n. 12820 kW/h. Joten seinälle 90 asteen kulmaan ja suoraan etelään asennettu voimala tuottaisi vuosittain n. 25 % vähemmän, kuin optimi kulmiin asennettu voimala (PVGIS).

Finnparkin voimalan asennustapa

Opinnäytetyön selvityksessä simuloitiin paneelien tuottoa katon suuntaisella asennuksella, jolloin paneelit osoittivat hieman kohti kaakkoa, sekä suoraan kohti etelää toteutetulla asennustavalla (Liite 1). Ero voimalan vuosituotossa näiden kahden asennustavan välillä jäi hyvin pieneksi. Hieman kaakkoon käännetty paneelit tuottivat vuodessa noin 4 kWh vähemmän sähköä. Tämä tarkoittaa vuositasolla alle yhden prosentin häviötä. Koska katon suuntainen asennus on paljon helpompi toteuttaa, niin asennustavassa päädyttiin siihen.

Voimalaan valittiin käytettäväksi Oriman valmistama 20 asteen asennuskulmalla oleva tasakattoteline alaluvun 3.3.1.3 mukaisilla valintakriteereillä. Tämä oli kompromissi asennuskulmasta johtuvan paneelien asennusetäisyyden ja tuoton maksimoinnin kannalta. Luonnollisesti todellisessa hankkeessa vaikuttava tekijä on myös käytettävän tuotteen saatavuus ja hinta, jotka molemmat olivat suunnitelmien tekohetkellä Orimalla erittäin hyvät.

3.3.2 Invertteri

3.3.2.1 Teho ja lukumäärä

Invertterien valintaan vaikuttavat paneelien huipputeho sekä niiden lukumäärä. Invertteriä valitessa on syytä tutustua sekä invertterin, että aurinkopaneelin datasheet -lehteen ja selvittää paneelin suurin mahdollinen jännite, jonka invertteri kestää hajoamatta. Valinnassa tulee myös huomioida pienin paneeleilta tuleva jännite, jolla invertteri alkaa tuottaa sähköä. Tämän jälkeen tulee selvittää, montako paneelia voidaan yhteen sarjaankytkettyyn paneeliketjuun laittaa. Tämä lukumäärä vaihtelee paljon invertterin koon mukaan. Kun tiedetään sähköliittymän asettamat rajoitukset aurinkovoimalalle sekä voimalaan tulevien paneelien lukumäärä ja malli, voidaan suunnitella paneeliketjut. Kun katolle tulevat paneelit on jaettu oikean kokoiisiin ketjuihin, voidaan niiden lukumäärästä laskea, montako invertteriä tarvitaan. Jos invertteriin voidaan tuoda esimerkiksi viisi ketjua ja katolla on kymmenen paneeliketjua, tarvitaan tällöin kaksi invertteriä.

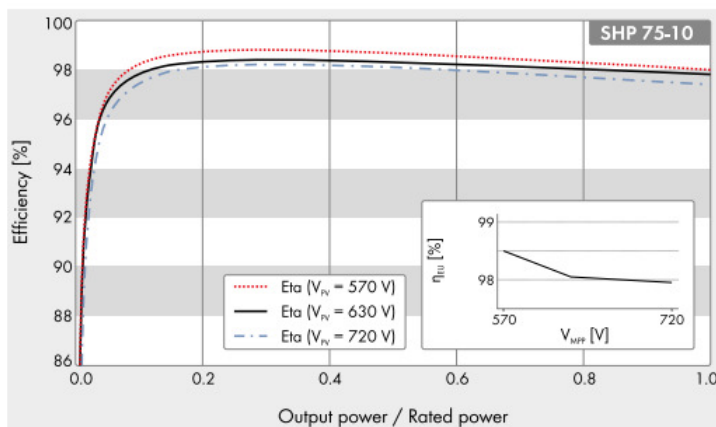
3.3.2.2 Invertterin valinta

Invertterivalmistajia on useita. Suuria, Suomessakin tunnettuja valmistajia ovat esimerkiksi SMA, Fronius, Kostal ja Huawei. Invertterin valintaan vaikuttaa luultavasti hinta muita tekijöitä enemmän, mutta suunnittelijat laittavat myös helposti tutun laitteen voimalaan. Inverttereissä on myös eroja esimerkiksi lisälaitteiden osalta, kuten etäohjattava rele, tuotannon seuranta, WLAN-mahdollisuus ja invertterin tuoton rajoittaminen ohjelmallisesti. On mahdollista, että halutessa käyttää jotain tiettyä ominaisuutta, ei kaikilta valmistajilta sitä välttämättä löydy.

Esimerkiksi tilanteessa, jossa syötön sulakekoko ei aivan riitä voimalan huipputeholle, on mahdollista ohjelmallisesti rajoittaa invertterin huipputeho pienemmäksi. Näin tehtäessä ei tarvitse käyttää pienempää invertteriä, vaan ohjelma leikkaa invertterin huipputehon pienemmäksi, jota se ainakaan Suomen olosuhteissa harvoin saavuttaisi.

Finnparkin voimala sisältää 819 aurinkopaneelia, joten voimalan huipputeho tulee olemaan 285 kWp paneelia käytettäessä n. 233 kWp. Invertterien lukumäärä

haluttiin pitää mahdollisimman pienenä ja teknistaloudellisesti kannattavana, joten voimalassa päädyttiin käyttämään SMA:n Peak1 75 kW invertteriä. Se on kolmivaiheinen invertteri, jonka nimellishuipputeho on 75 kW. Voimalan nimellistehon vuoksi, näitä kyseisiä invertterejä tarvitaan 3 kpl. Näillä valinnoilla voimalan kokonaisnimellistehoksi tulee 225kWp, suurimman verkkoon syötettävän virran ollessa 327 A ($230\text{ V} \cdot 327\text{ A} \cdot 3\text{ vaihetta} = 225630\text{ W}$). Kuvassa 18 on esitettyä suunnittelun kannalta invertterin tärkeät tekniset ominaisuudet.



Technical Data

Input (DC)

Max. generator power

Rated power (DC)

Max. input voltage

MPP voltage range (at 400 Vac / 480 Vac)

Min. input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)

Start input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)

Max. input current / max. short circuit current

Number of independent MPP inputs / strings per MPP input

Rated DC input voltage (at 400 Vac / 480 Vac)

Output (AC)

Rated power at nominal voltage

Max. apparent AC power

Max. reactive power

Nominal AC voltage

AC voltage range

AC power frequency/range

Rated power frequency/rated grid voltage

Max. output current (at 400 Vac)

Sunny Highpower PEAK 1

112500 Wp

76500 W

1000 V

570 V to 800 V / 685 V to 800 V

565 V / 680 V

600 V / 720 V

140 A / 210 A

1 / 1 (split up in external combiner box)

630 V / 710 V

75000 W

75000 VA

75000 var

3 / PE, 400 V to 480 V, $\pm 10\%$

360 V to 530 V

50 Hz / 44 Hz to 55 Hz

60 Hz / 54 Hz to 65 Hz

50 Hz / 400 V

109 A

KUVA 18. Invertterin tekniset tiedot (sma.de)

3.3.3 Kaapelointi

3.3.3.1 Voimalan syöttökaapelin kytkentäpisteen valinta

Syöttökaapelointiin vaikuttavat niiden vapaiden syöttöjen määrä ja koko, joihin invertterit on tarkoitus kytkeä. Tästä Finnparkin kohteessa on hyvä esimerkki, kun yhteen 125 A lähtöön kytketään yksi invertteri ja 250 A lähtöön kytketään kaksi invertteriä. 250 A lähdön tapauksessa on käytettävä kokoojakeskusta, jolloin kokoojakeskukselta syöttöön menevän kaapelin on oltava tuplasti suuremmalla virrankestolla kuin invertteriltä kokoojakeskukselle menevät kaapelit. Yhteenlasketuna näihin lähtöihin voidaan syöttää tehoa 260 kW.

Erilaisia vaihtoehtoja aurinkovoimalan syöttökaapelin kytkentään on myös useita. Yksinkertaisin ja paras vaihtoehto on kytkeä voimala suoraan vapaaseen/vapaisiin lähtöihin. Kuitenkaan vapaita lähtöjä ei aina ole käytettävissä, joten joskus on käytettävä jo käytössä olevia syöttöjä.

3.3.3.2 Kaapeleiden asennustapa

Suuremmissa kohteissa on kaapelointi lähes poikkeuksetta toteutettava pinta-asennuksena käyttäen kaapelihyllyjä.

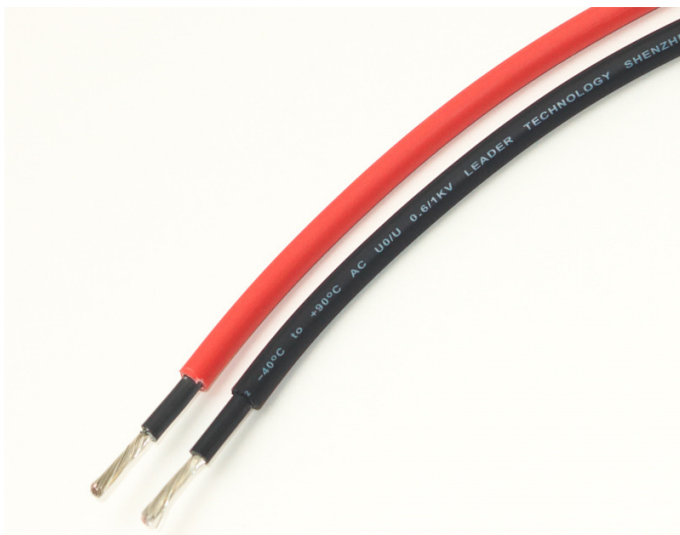
Kaapelireitit, läpiviennit, muiden lähellä kulkevien kaapeleiden lukumäärä ja asennustavat on selvitettävä ennen kaapelin valintaa, jotta saadaan selville kaapelin kuormituskertoimet. Kun tiedetään invertterien maksimivirrat ja kuormituskertoimet, voidaan laskea tarvittavat kaapelivahvuudet.

3.3.3.3 Kaapeleiden valinta

Katolla sijaitsevat aurinkopaneelivoimalan kaapelit joutuvat tavallista kovempien sääolosuhteiden vaikutuksen alaiseksi, kuin tavallisissa sähköasennuksissa. Tämän vuoksi etenkin tasajännitekaapeleina tulee käyttää juuri tähän tarkoitukseen suunniteltuja ja valmistettuja kaapeleita. Vaihtosähköpuolen kaapelointi mitoiteetaan täysin samalla tavalla kuin missä tahansa sähköasennuksessa.

DC -kaapelit

Tasajännitekaapeleina käytetään yleisimmin 4 mm² tai 6 mm² aurinkopaneeli-asennuksiin tarkoitettua tasajännitekaapelia. Tasajännitekaapeli on esitetty kuvassa 19. Kaapelin koko riippuu mm. paneelien lukumäärästä paneeliketjussa, mutta myös invertterivalmistaja on saattanut määritellä käytettäväksi 6 mm² kaapelia. Kaapelin paksuus vaikuttaa maksimivirtaan, (4 mm² = 44 A ja 6 mm² = 57A) mitä kaapelin läpi voidaan turvallisesti syöttää sekä häviöihin ja sitä kautta voimalan tuottoon (SFS-EN 50618). Aurinkovoimaloihin suunniteltuja tasajännitekaapeleita on väriltään punaisia ja mustia. Punaista käytetään paneelien positiivisen jännitteen puolella ja mustia negatiivisen jännitteen puolella selvyysden vuoksi.



KUVA 19. Aurinkopaneelikäyttöön tarkoitetut tasajännitekaapelit

Koska Finnparkin voimala on kooltaan suuri ja paneeleita paneeliketjussa useita, valittiin käytettäväksi punaista ja mustaa 6 mm² aurinkopaneelikaapelia. Koska pitkillä kaapelivedoilla syntyy ohutta kaapelia käyttäen suuria, jopa 10 %:n häviöitä, minimoitiin tällä kaapelivalinnalla tasajännitekaapeleista aiheutuvat häviöt. Tässä kohteessa kaukaisimman pisteen ja invertterin välimatka on helposti yli 100 m, joten käytettäessä 4 mm² kaapelia ja sen sallittua maksimi virtaa 44 A sekä maksimi jännitettä 1000 V saadaan jännitteenaleneman arvoksi n. 45 V. Tämä tarkoittaa n. 4,5 % jännitehäviöitä. Samoilla virran ja jännitteen arvoilla 6 mm² kaapelilla tulee jännitehäviöksi n. 3 % (D1-2017). Koska kyseessä on suuri voimala, haluttiin virran suuruus maksimoida ja pitää jännite häviöt kohtuullisena.

Tasajännitekaapelit asennetaan katolle siististi käyttäen johdoille tarkoitettua kourua, esimerkiksi lankahyllyä, punainen ja musta kaapeli mahdollisimman kauas toisistaan, jotta paneeleilta tulevat plus- ja miinusnapa on helposti erotettävissä, kuvan 20 asennustavan lailla.



KUVA 20. Aurinkopaneelien tasajännitekaapeleiden asennustapa

AC -kaapelit

Vaihtosähkökaapeleiden mitoitus aurinkosähkövoimalaan tapahtuu täysin samalla tavalla kuin mihin tahansa muuhunkin järjestelmään. Raamit mitoitukselle antaa SFS6000-standardi, jonka mukaan johtimet tulee mitoittaa. Jotta tarvittavien kaapeleiden koko voidaan mitoittaa, tulee selvittää järjestelmän tekniset ominaisuudet. Osa niistä on tarkkoja valmistajien tai standardien määrittämiä arvoja, osa suunnittelijan arvioita, kuten esimerkiksi syöttökaapelin pituus.

Lähtötiedot mitoitukselle ovat seuraavat:

Maksimivirta (A)	109 A
Jännite (V)	230 V
Johdon suurin pituus (m)	75 m
Asennustapa	Pinta-asennus
Sulake 1 (invertteri 1)	125 A
Sulake 2 (invertterit 2 ja 3)	250 A

Korjauskertoimet

Korjauskertoimet ovat johdon asennustavasta tulevia varmuuskertoimia, joilla mitoitetaan johtimen kesto sen tulevassa asennuksessa. Nämä löytyvät tarkemmin esimerkiksi kirjasta D1-2017 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista.

Johdon suurin lämpötila 30 °C 0,94

Enintään 3 johdinta kaapelitikkailla 0,86

Kaapeleiden resistanssit

MCMK 3x70/35 0,00032 Ω/metri

MCMK 3x95/50 0,00023 Ω/metri

Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla

Kupari	Asennustapa	
	UPPO A	PINTA C
70 mm ²	133	195
95 mm ²	159	236

Lasketaan eri johtimille suurimmat kuormitettavuudet seuraavan kaavan mukaan, jossa johtimen nimellinen kuormitettavuus kerrotaan korjauskertoimilla.

MCMK 4x70+35

Asennustapa A (uppoasennus)	$133 A \cdot 0,94 \cdot 0,86 = 107,5 A$
Asennustapa C (pinta-asennus)	$195 A \cdot 0,94 \cdot 0,86 = 157,5 A$

MCMK 4x95+50

Asennustapa A (uppoasennus)	$159 A \cdot 0,94 \cdot 0,86 = 128,5 A$
Asennustapa C (pinta-asennus)	$236 A \cdot 0,94 \cdot 0,86 = 190,7 A$

Kyse on kaapelitikkailla ja kaapelikuilussa tapahtuvasta asennuksesta, joten asennustapa C vastaa kaapelin todellista asennustapaa. Laskuihin otettiin kuitenkin vertailutiedoksi mukaan asennustapa A, jotta osataan paremmin hahmottaa esimerkiksi mahdollisien läpivientien vaikutusta johtimen kuormitettavuuteen. Inverteriltä tuleva maksimivirta on 109 A, joten 70 mm² kuparikaapeli riittää järjestelmään hyvin.

Seuraavaksi varmistetaan laskemalla, toteutuuko 125 A (gG) sulakkeen vaatima 715 A oikosulkuvirta 75 m pitkällä kaapelilla.

$$\frac{\text{vaihejännite}}{\text{johdon resistanssi} \cdot \text{johdon pituus}} \quad (2)$$

$$= \frac{\frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3}}}{0,00032 \text{ } \Omega/\text{m} \cdot 75 \text{ m}} = 9622,5 \text{ A.}$$

Laskennalliseksi oikosulkuvirraksi 75 m pitkällä kaapelilla tulee siis hieman yli 9622 A, mikä on yli kymmenen kertaa minimioikosulkuvirtaa suurempi. Joten tästä voidaan päätellä, että vaikka kaapelin kytkennöistä ym. syntyisi pientä resistanssia, riittäisi sen oikosulkuvirta silti erittäin hyvin.

Seuraavaksi mitoitetaan kokoojakeskukselta sähkökeskukseen tuleva kaapeli. Valitaan D1-2017-kirjan taulukosta 52.1 250 A sulakkeelle sopiva kaapeli ja varmistetaan sen kuormitettavuuden riittävyys myös kuormituskertoimilla. Tämä tapahtuu samoilla laskukaavoilla kuin aikaisempi kaapeli.

MCMK 4x185+95

Asennustapa C (pinta-asennus)	$361 \text{ A} \cdot 0,94 \cdot 0,86 = 278,3 \text{ A}$
-------------------------------	---

185 mm² kuparikaapelin resistanssi on 0,00012 Ω/metri, joten oikosulkuvirta kaapelilla nousee erittäin suureksi, joten laskennallisesti se varmasti tulee riittämään.

Koska kyseinen kaapeli on jo erittäin paksua ja siitä syystä hankala reititettävä, sijoitetaan kokoojakeskus mahdollisimman lähelle sähköpääkeskusta, jolloin vahvaa kaapelia ei jouduta reitittämään hankalissa paikoissa. Jakokeskukselle tulee siis tällä ratkaisulla katolta kolme MCMK 4x70+35Cu -kaapelia.

Neljäjohtiminen MCMK-kuparikaapeli on havainnollistettu kuvassa 21.



KUVA 21. MCMK-kaapeli

Kaapelin rakenne näkyy selvästi myös seuraavasta poikkileikkaukuksesta (kuva 22), jossa on selitetty kaapelin nimitys.



KUVA 22. MCMK -kaapelin poikkileikkaus

Luku neljä tarkoittaa siis johtimien lukumäärää, joista kolme ovat vaihejohtimia ja yksi nollajohdin. Luku 70 tarkoittaa johtimen poikkipinta-alaa neliömillimetreinä ja luku 35 suojajohtimen poikkipinta-alaa neliömetreinä. Kaapelin suojajohdin eroaa muista siten, että se on punottuna kaapelin muiden johtimien ympärille. Näin se suojaa kaapelia ja estää virrallisen johtimen osumisen esimerkiksi kaapelitikkaihin, jos kaapelin ulkokehä on vahingoittunut.

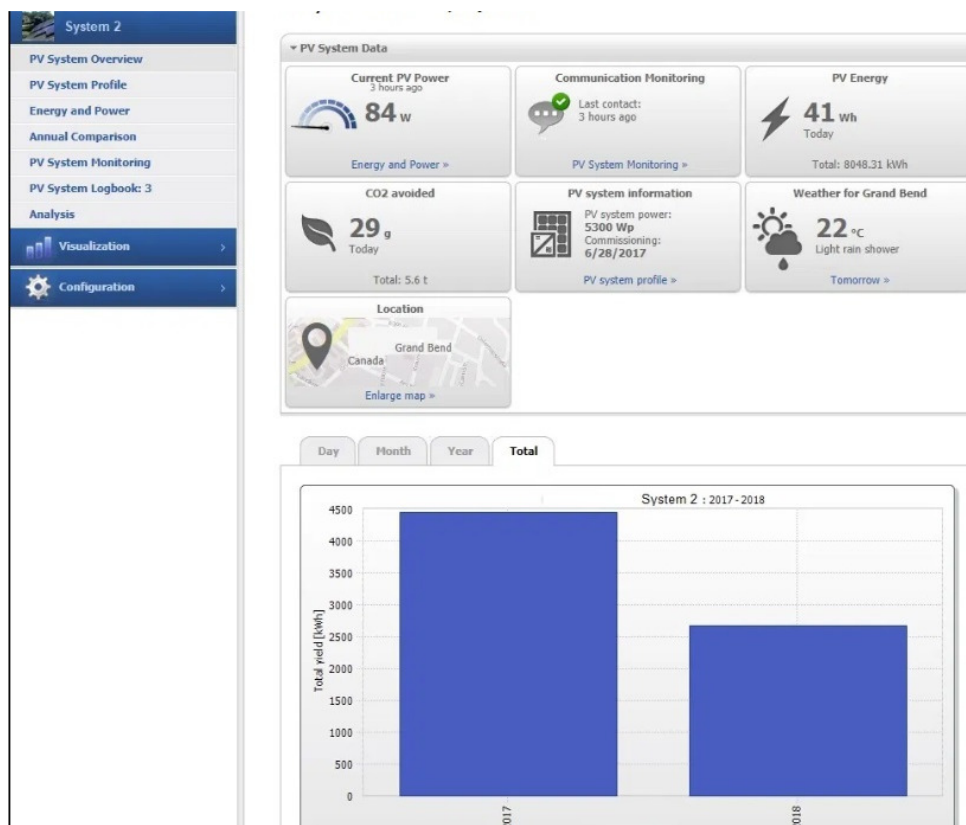
3.4 Sähkön tuottoseuranta

Omalla kiinteistöllä sijaitsevan aurinkovoimalan tuottaman sähköenergian määrä kiinnostaa lähes jokaista, jolla aurinkovoimala on. Tähän on olemassa monenlaisia eri toteutustapoja, jotka eroavat toisistaan mm. niiden reaaliaikaisuuden, kustannusten tai seurattavuuden osalta.

Sähkön tuottoseurannan vaatimukseen vaikuttaa myös esimerkiksi se, jos tuotettu sähkö myydään. Tällaisissa tilanteissa täytyy tuotettu sähkö olla tarkasti raportoitavissa ja laskutettavissa asiakkaalta.

3.4.1 Vaihtoehdot energiamonitorointiin

Koska voimalaan valittiin SMA:n valmistamat invertterit, oli yksinkertaisin ratkaisu käyttää SMA:n Sunny Portal -palvelua, joka on ilmainen verkossa toimiva tuoton seurantapalvelu. Sen käyttämiseksi ei ole muita vaatimuksia, kuin internetyhteyden tuominen inverttereille. Sunny Portal -palvelu on havainnollistettu kuvassa 23.



KUVA 23. Mallikuva Sunny Portal:sta (sma.de)

Palvelusta saa kattavat tiedot myös hetkellisestä keskitehosta, kuukausittaisesta tuotosta ym. esimerkiksi sähkön myyntiä varten. Tuotonseurantaan voisi käyttää myös SMA:n valmistamaa Data Manager -laitetta, jolla tuotonseurantaan saadaan ammattimaisempia seurantaominaisuuksia. Laite kuitenkin maksaa saman verran, kuin pieni aurinkovoimala, joten sen käyttäminen jäisi todellisuudessa voimalan toteuttajan päätökseksi. SMA Data Manager on esitetty kuvassa 24.



KUVA 24. SMA Data Manager (sma-sunny.com)

Aurinkovoimalan tuotoseurantaan on lähes jokaisella invertterivalmistajalla olemassa jonkinlainen valmisratkaisu, joten pelkästään invertterivalmistaja SMA:n tuotteesta ei siis ole kyse. Muita luotettavassa maineessa olevia invertterivalmistajia ovat mm. Fronius ja Huawei, joilta löytyy molemmilta oma ilmainen työkalu tuotoseurantaan.

Yksinkertaisimmillaan tuotoseuranta on omakotitalokohteissa, joissa tuotoseuranta tapahtuu yksinkertaisesti sähkölaskulla. Koska voimalan tuottoon ei juuri voi vaikuttaa, on tämäkin varsin toimiva malli ihmisille, jotka haluavat pienentää ostosähkön määrää ja toimia ekologisesti. Tuotoseurantaa käsitellään tarkemmin luvussa neljä.

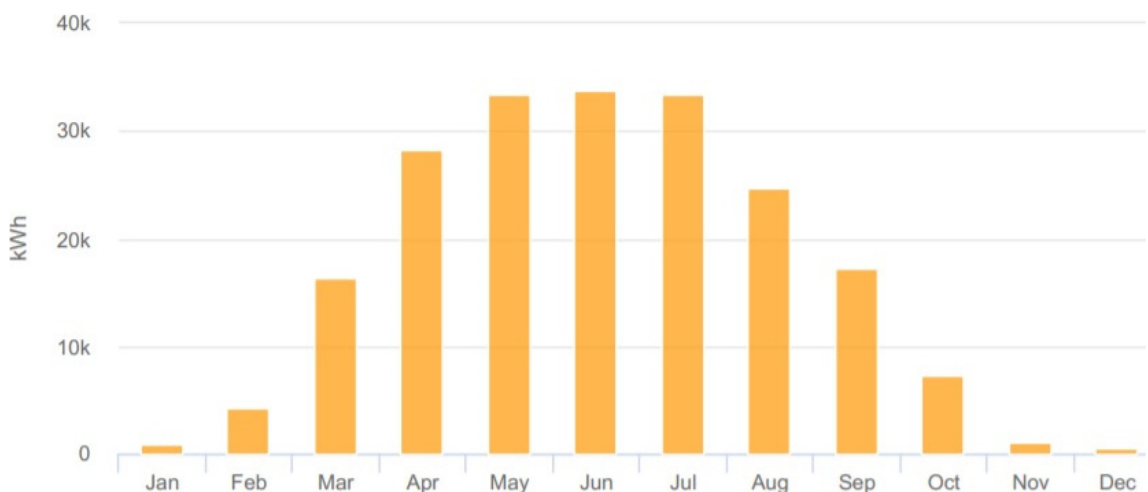
Tuotoseurannasta tulee usein erityisen tärkeää vasta silloin, jos kyse on esimerkiksi sähkönmyyntisopimuksella rakennetusta voimalasta eli mallista, jossa rakennetaan asiakkaalle mittatilausvoimala, jonka asiakas maksaa ostamalla voimalan tuottaman sähkön esimerkiksi 15 vuoden ajan.

3.5 Valmis voimala ja energian tuotanto

Valmis voimala koostuu 819 kpl:sta Trina Solar:in valmistamaa 285 Wp (huippu-teho) aurinkopaneelia, asennettuna 20 asteen kallistuskulmaan Oriman valmistamilla tasakattotelineillä. Paneelit on suunnattu kulmaan 170 astetta, mikä tarkoittaa noin kymmentä astetta itään päin. Paneelien tuottaman sähkön vaihtosuuntaamiseen valittiin 3 kpl SMA:n valmistamia 75 kW inverttereitä. Näillä ominaisuuksilla Tampereelle asennettu voimala asettuisi hintaluokkaan n. 225000 €, eli n. 1000 €/kW.

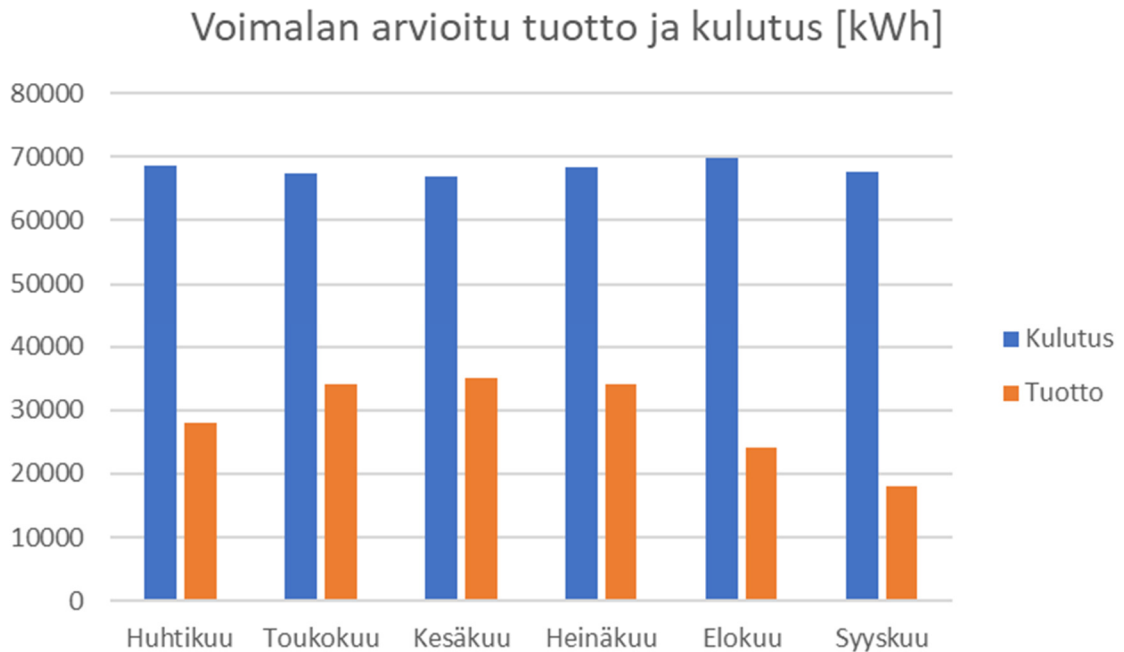
Kiinteistöön suunnitellun voimalan tuottoarvio saatiin simuloimalla sen ominaisuudet HelioScope -ohjelmalla Tampereen koko vuoden keskimääräisillä sää tiedoilla. Simuloinneissa huomioitiin myös johdotuksista, likaantumisesta ja lumesta tulevat häviöt. Näin saatiin todellisuutta vastaavat tuotto-odotukset, jotka antavat erinomaisen arvion voimalan tuotosta ja kannattavuudesta sekä helpottavat varmasti päätöstä voimalan rakentamisesta.

Voimalan nimellisteho on 225 kW ja sen vuosittaiseksi tuottomääräksi saatiin 201 MWh, joka jakautui koko vuodelle kuvan 25 mukaisesti. Kuvasta huomaa, että touko-, kesä- ja heinäkuu ovat erittäin hyviä kuukausia ja niiden aikana päästäänkin lähes 35 kWh tuottolukemiin. Talvikuukaudet Suomessa ovat tuottomääriltään lähellä nollaa, kun aurinko paistaa matalalta ja vain vähän aikaa vuorokaudesta. Myös paneelien pinnalle satanut lumikerros heikentää niiden tuottoa huomattavasti.



KUVA 25. Voimalan simuloitu vuosituotto

Seuraavassa kuvassa on esitetty kuukausitasolla voimalan simuloitu sähkön-
tuotanto.

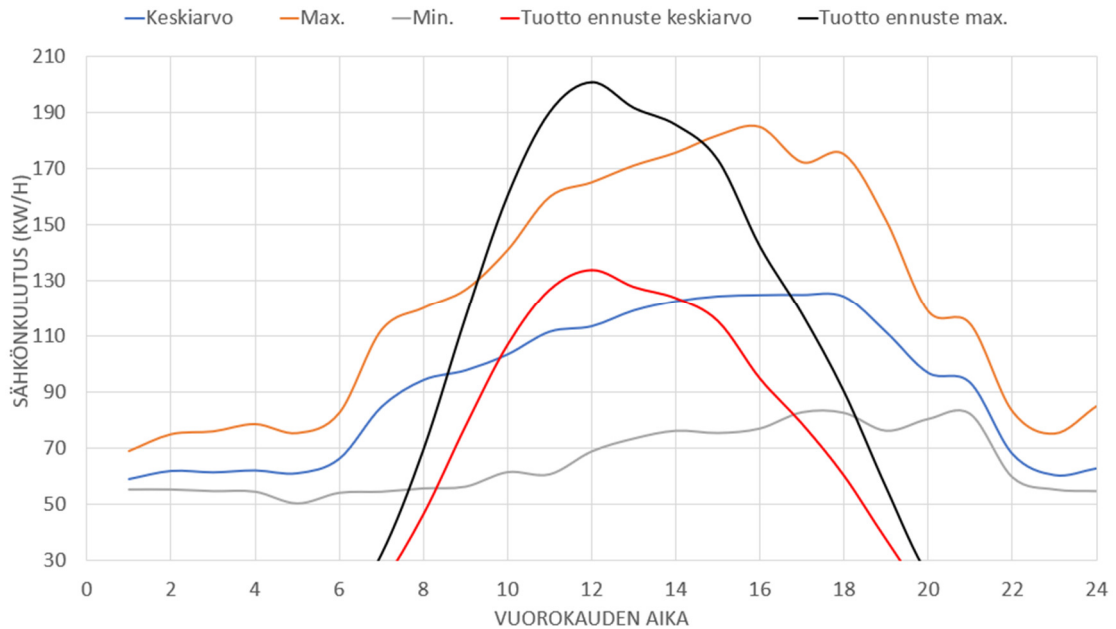


KUVA 26. Sähkön tuotto ja kulutus

Kuvasta selviää, että vaikka voimala tuottaakin runsaasti sähköä, käyttää kiinteistö niin huomattavan määrän sähköä, että verkkoon syötettävän sähkön määrä jäisi vähäiseksi. Käytännössä voimala tuottaa optimaalisissa olosuhteissa nimel-
listehonsa verran sähköenergiaa kiinteistön käyttöön, joka voi ylittää kiinteistön
sähköenergian tarpeen tietyissä tilanteissa. Tällaisia tilanteita ei vuodessa ole
kuitenkaan kovinkaan montaa tuntia, joten voimalan tuottama sähköenergia me-
nee suurelta osin kiinteistön omaan käyttöön. Poikkeuksena voisi olla esimerkiksi
tilanne, jossa kiinteistö on arkipyhän vuoksi suljettu ja voimala tuottaa hyvissä
olosuhteissa sähköenergiaa. Silloin voimalan tuottama sähköenergia menisi suu-
relta osin verkkoon.

Koska aikaisemmat kuvaajat olivat kuukausitasoisia arvioita, haluttiin voimalan
sähköntuotantoa arvioida myös tuntikohtaisella tasolla. Tuntikohtainen arvio säh-
köntuotannosta antaa paremman käsityksen mahdollisen ylituotannon synty-
misestä ja siitä, voiko voimala mahdollisesti tuottaa sähköä enemmän kuin kiin-
teistö kuluttaa.

Seuraavassa kuvaajassa (kuva 27) on kiinteistön pienin-, suurin- ja keskimääräinen sähkönkulutus tuntitasolla sekä voimalan suurin- ja keskimääräinen tuottoennuste.



KUVA 27. Voimalan keskimääräinen tuottoennuste

Vaikka aikaisempien kuukausitasoisten kuvaajien perusteella ylituotantoa ei pääsisi syntymään, näkee tarkemmasta tuntikohtaisesta kuvaajasta, että voimalan on teoriassa mahdollista saada aikaan jopa 130 kWh ylituotantoa.

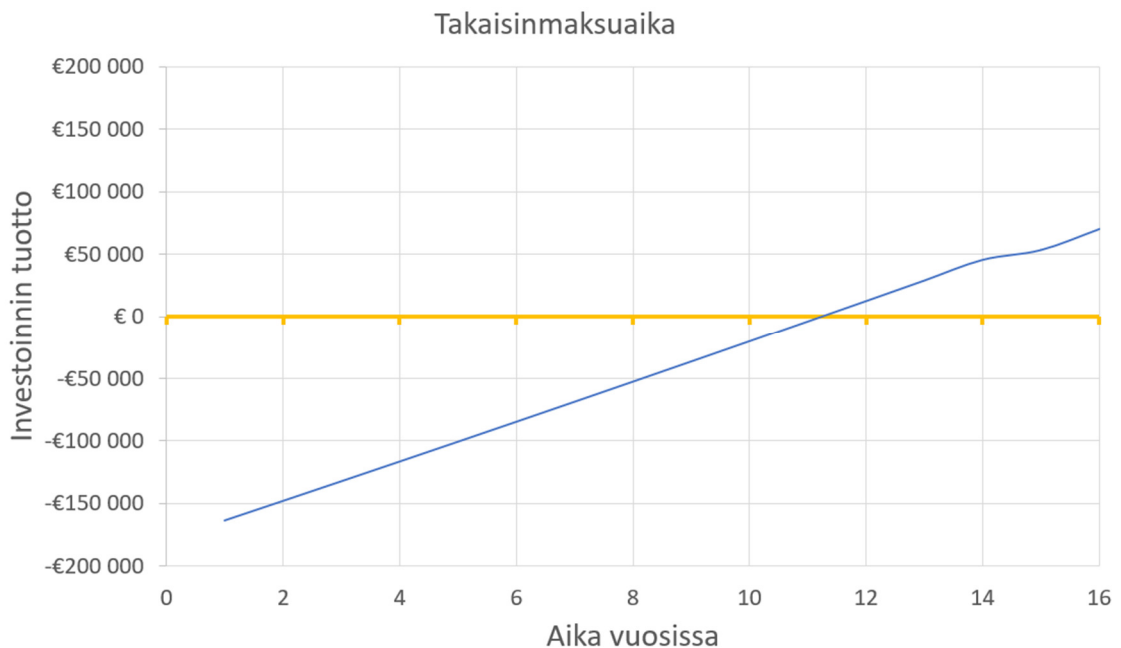
3.5.1 Takaisinmaksuaika

Aurinkosähkön kannattavuus on yksi tärkeimmistä tekijöistä voimalan hankintapäätöstä tehtäessä. Kohteen sijainnista tai koosta riippumatta, jokainen voimalan hankintaa miettivä haluaa tietää, onko sijoitus kannattava. Näistä poiketen täysin ideologisikin hankintoja tehdään. Syy tällaisien kohteiden rakentamiseen on ekologisuus.

Uusiutuvan energian hankintoihin on myös mahdollista saada erilaisia tukia. Kotitalouksilla tällaisia ovat esimerkiksi kotitalousvähennys ja mahdollisesti tuleva

energia-avustus. Suurissa kiinteistöissä tukea voi hakea Business Finlandilta ja sen suuruus on 20 % järjestelmän hankintahinnasta.

Finnparkin kohteessa sähkönhinta oli kokonaisuudessaan 8,28 snt/kWh, jota käyttäen voimalan takaisinmaksuaika on laskettu. Voimalan hinta on määritetty 1000 €/kWp periaatteella, jolloin voimalan hankintahinnaksi asettui n.225000 euroa. Laskennassa on myös huomioitu 20 % avustus, jolloin voimalan hankintahinnaksi muodostuisi 180000 euroa. Hankinta on myös laskettu siten, että voimala maksetaan suoraan, eikä sitä varten oteta lainaa. Takaisinmaksuaika on laskettu käyttämällä sähkön hinnan nousua 2 % (Energiavirasto) ja inflaatio 1 % (Tilastokeskus) ja invertterin uusiminen 15. vuoden kohdilla. Voimalan takaisinmaksuaika on esitetty kuvassa 28.



KUVA 28. Aurinkovoimalan takaisinmaksuaika

Kuvaajasta selviää, että voimalan takaisinmaksuaika sijoittuu 11. vuoden kohdille ja 16. vuodessa voimala on tuottanut jo yli 50000 euroa voittoa. Hankintamyönteisesti tämän voisi ilmoittaa sanomalla: "Uusiutuvan energian tuottamisesta 15000 euron tuotto vuodessa". Myös vähemmän aurinkovoimamyönteiselle päätäjälle on miltei 16000 euron lisätulo vuositasolla miettimisen arvoinen hankinta.

4 AURINKOVOIMALA JA AUTOMAATIO

Sähkön käyttäytymistä voisi kuvailla yksinkertaiseksi. Toisin sanoen sähkö siis menee sinne, minne se helpoimmin pääsee. Tämä on lähtökohtana sille, miksi sähkön käyttöä kannattaisi ohjata automaation avulla. Tällä tarkoitetaan yksinkertaisuudessaan paljon sähköä käyttävien laitteiden ohjaamista päälle silloin, kun sähkö on halpaa, eli kun aurinko paistaa ja aurinkovoimala tuottaa sähköä. Kuitenkaan jokaiseen kohteeseen tämä ohjaus ei sovi, koska esimerkiksi kuumana ja aurinkoisena kesäpäivänä lattialämmityksen ohjaaminen päälle ei tuo aurinkovoimalan ja automaation parhaita puolia esiin. Myös sähköauton lataaminen pelkästään aurinkosähköllä on huono idea, koska silloin saattaa hyvin tulla vastaan tilanne, jossa auton akku on tyhjä sillä hetkellä, kun olisi tarkoitus lähteä liikkeelle. Todellisia tilanteita huonosti suunnitelluissa aurinkovoimalakohteissa voisi olla esimerkiksi seuraavat:

Huono esimerkki 1: Päivällä voimalan tuotto myydään verkkoon ja lämminvesivaraaja lämpiää yösähköllä.

Huono esimerkki 2: Automaatio estää sähköautoa latautumasta yöllä ja päivällä ei paista aurinko, joten akku ei pääse latautumaan ollenkaan.

Nämä olisivat varmasti tyypillisiä tulevaisuuden esimerkkitapauksia, kun automaatiikkaa ei päivitetä, vaikka järjestelmät muuttuvat tai järjestelmiä asennettaisiin tee-se-itse- menetelmällä, ilman kunnollista tietämystä niiden toiminnasta. Tässä osassa opinnäytetyötä pohditaan, mitkä olisivat parhaita kohteita, joihin ohjata sähkö ylituotannon aikana ja miten se olisi yksinkertaisinta toteuttaa erilaisissa kohteissa. Jos mentäisiin täysin toisenlaisiin sääolosuhteisiin kuten esimerkiksi Espanjaan, voisi sähköauton lataaminen pelkästään aurinkosähköllä olla jopa ihan toimiva idea. Tässä automaatio suunnittelussa on kuitenkin tarkoitus ajatella laitteiston sijaitsevan Suomessa, jotta päätelmät ja laskelmat täsmäävät laskentaan ja päätöksiin laitteistovalinnoissa.

4.1 Kokoojakeskus

Luvun 3 mitoituksiin liittyen suunniteltava voimala tarvitsee kokoojakeskuksen, jonka suunnittelu on kerrottuna tässä luvussa. Lähtökohta kokoojakeskuksen käyttöön Finnparkin kohteessa on kokoojakeskuksen välttämättömyys, koska paneelitehoa varten tarvitaan kolme invertteriä, mutta sähkökeskuksessa on vapaana vain kaksi lähtöä. Tämän takia on käytettävä kokoojakeskusta, joka yhdistää kahdelta invertteriltä tulevat kaapelit yhdeksi suuremmaksi kaapeliksi, joka kytketään 250 A vapaaseen lähtöön. Kokoojakeskus on tarpeellinen myös aurinkovoimalan irti kytkemiseksi sähköjärjestelmästä esimerkiksi sähköyhtiön tai palolaitoksen toimesta. Kontaktoriohjattuun kokoojakeskukseen on helposti liitettävissä hätäseis-kytkin, joka voidaan viedä kauaksikin kokoojakeskuksesta, yleensä palokunnan hätäpoistumistielle tai rakennuksen ulkopuolelle sijaintiin, johon pääsee esteettömästi. Kytkenäkaavio kokoojakeskusta varten suunniteltiin käyttäen ilmaista opiskelijaversiota CADS-ohjelman piirikaaviot-sovelluksesta. Kytkenäkaavion ensimmäisellä sivulla on keskuksen kontaktoritoiminen automaatio, jolla toteutettiin voimalan kytkeminen verkkoon ja irti verkosta sekä hätäseis-painikkeen toiminta. Toiminta suunniteltiin niin, että se toimisi keskuksen kannessa olevilla vihreällä ja punaisella valopainikkeella siten, että painamalla vihreää painiketta voimala kytkeytyy verkkoon ja punaista painiketta painamalla irti verkosta. Kun voimala on kytkettynä verkkoon, palaa vihreä valo ja irti verkosta punainen.

Kokoojakeskuksen vahvavirran ohjaus tapahtuu kahdella riittävän suurella kontaktorilla. Keskuksen on myös laitettu kahvasulakkeet invertterin ja keskuksen väliin oikosulkusuojasta varten. Keskuksen vahvavirtapuolen kaapelointi toteutettiin 70 mm² yksijohtimisella mutta monisäikeisellä Mkem-johtimella kaapin rakentamisen helpottamiseksi. Keskuksen ohjauspuoli suunniteltiin toteutettavaksi 2,5 mm² Mkem-johdolla ja neljänäpaisilla riviliittimillä.

4.1.1 Kytkentäkaaviot

Kokoojakeskuksen suunnittelussa käytettiin Suomesta kotoisin olevaa suunnitteluohjelmaa nimeltään CADS, joka on suomalaisen Cadmatic Oy:n valmistama CAD-ohjelma. Tätä ohjelmaa päätettiin käyttää opinnäytetyössä siksi, että opiskelijat pystyvät tilaamaan siihen ilmaisen opiskelijalisenssin, jonka ainoa toiminnallinen ero ostettuun versioon on se, että tulostettaessa näkyy piirtoalueen reunoissa teksti ”opiskelijaversio”. Ohjelman käyttöä pääsee siis helposti harjoittelemaan täysin oikean ohjelman kaltaisella versiolla. Kokoojakeskuksen osina ja keskuksen valikoituina komponentteina käytettiin vain sellaisia, jotka ovat saatavissa alan tukkuliikkeistä. Näin keskus on mitoitettu ja rakennettu sellaisista komponenteista, että se on todellisuudessaakin toimintakelpoinen. Seuraavissa alaluvuissa perehdytään keskuksen kytkentäkaavioihin ja käydään läpi niiden suunnittelu- ja toteutusperiaatteet. Kokoojakeskuksen ohjauksen olisi voinut toteuttaa myös suunniteltavan automaation sisään, jolloin keskuksen tila tiedettäisiin heti, jos esimerkiksi joku ulkopuolinen painaa keskuksen hätäseis-painiketta. Tästä olisi myös helppo ohjelmoida hälytys kiinteistöautomaation näytölle tai vaikka viestinä matkapuhelimeen. Automaatiojärjestelmään olisi myös mahdollista toteuttaa painike, jolla voimala kytkettäisiin takaisin verkkoon.

4.1.1.1 Keskuksen ohjaus

Keskuksen ohjauksen haluttiin toimivan siten, että kun vihreää nappia painetaan, kytkeytyy voimalan tehonsyöttö verkkoon. Kun punaista nappia painetaan, irtikytkeytyy voimala verkosta. Voimalan kytkemiseksi irti verkosta haluttiin myös hätäseis-painike, joka sijoitetaan kiinteistön ulkopuolelle palokuntaa varten. Keskukseseen valittiin kaksi tehonkestoaltaan suurta 230 VAC (vaihtojännite) kelalla olevaa kontaktoria, joiden tehonkesto ylittää invertterin maksimivirran 109 A. Kuvassa 29 on havainnollistava kuva kontaktorista, jota keskuksessa voitaisiin käyttää.



KUVA 29. Suurikokoinen kontaktori (onnshop-verkkokauppa)

Keskukseseen sijoitettiin myös 230 VAC/24 VDC -muuntaja, jolla keskuksen ohjaus päätettiin toteuttaa käyttäen 24 VDC (tasajännite) kontaktoria ja pitopiiriä. Ohjaus toteutettiin niin, että vihreää painiketta painaessa ohjauskontaktori vetää ja sulkee pitopiirinsä. Kun ohjauskontaktori vetää, sulkeutuvat tehoa ohjaavat suuret kontaktorit ja kytkevät voimalan verkkoon. Indikaatioksi tästä keskuksen vihreäksi painikkeeksi valittiin merkkivalollinen malli, jonka vihreä valo jää palamaan, kun voimala on kytkettynä verkkoon. Vihreä merkkivalollinen painike on esitettynä kuvassa 30.



KUVA 30. Merkkivalollinen painike (onnshop-verkkokauppa)

4.1.1.2 Tehon ohjaus

Kokoojakeskuksen tehopuoli toteutettiin käyttäen johtimien kytkentään yleisliittimiä, voimalan irtikytkemiseen verkosta kahta suurta kontaktoria sekä ylikuormitussuojaukseen ja keskuksen mekaaniseen irtikytkemiseen kytkinvarokkeita. Kytкинvaroke toimii sekä katkaisijana, että sulakkeena. Kytкинvaroke on esitettyä kuvassa 32.



KUVA 32. Kytkinvaroke (onninen.com)

Tehonsyötön puoli on toiminnallisesti keskuksen ohjauksen kytkentöjä yksinkertaisempi ja helpompi ymmärtää. Keskus rakentuu siten, että inverttereiltä tuleva syöttökaapeli menee kaapin sisään yleisliittimille, joista edelleen yksisäikeisellä Mkem-kaapelilla ensin kontaktoreille. Kuvassa 33 on havainnollistettuna yksijohtiminen Mkem-johdin, joka on etenkin keskuksen sisäisen kaapeloinnin tekemiseen hyvä valinta, koska johdin on kohtuullisen hyvin taipuvaa.



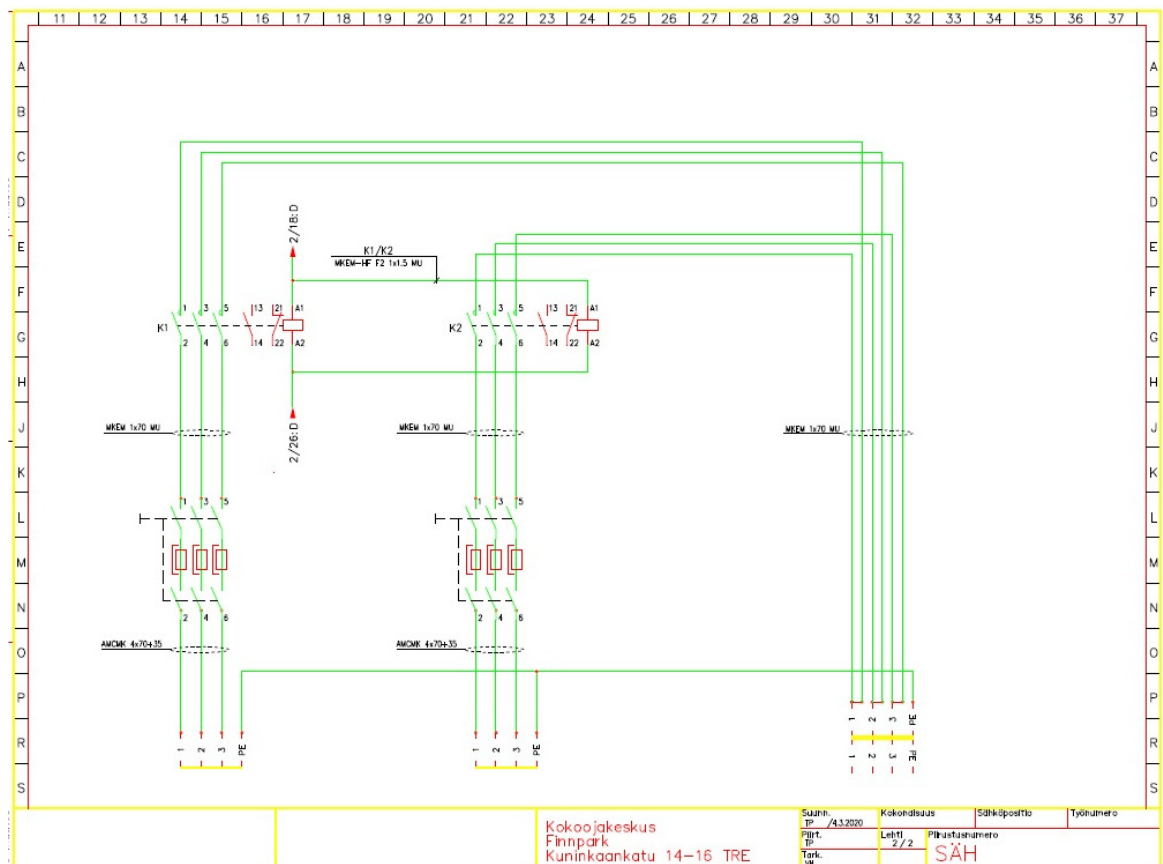
KUVA 33. Yksijohtiminen kytkentäkaapeli Mkem 70 (onninen.com)

Kontaktoreilta kaapeli menee kytkinvarokkeille ja lopulta toisille yleisliittimille. Yleisliittimet on havainnollistettu kuvassa 34.



KUVA 34. Yleisliittimet (onninen.com)

Kuvan 35 kytkennällä kontaktorit kytkevät voimalan verkkoon, kun niiden keloille tuodaan ohjaava jännite 230 VAC. Vetävänä jännitteenä haluttiin käyttää suoraan verkosta tulevaa sähköä, eikä muuntajalta tulevaa 24 VDC:tä. Näiden kontaktoreiden ohjaus on käsitelty edellisessä alaluvussa (4.1.1.1). Kytkentäkaavio on täysikokoisena liitteessä 3.



KUVA 35. Kokoojakeskuksen tehonohjauksen kytkentäkaavio

4.2 Ylituotannon ohjaaminen

Normaalitilanteessa ei ole väliä, mihin tuotettu sähkö ohjataan, jos se kaikki saadaan käytettyä. Kuitenkin Suomen olosuhteissa aurinkosähkön tuotto on usein suurinta silloin, kun sen käyttö on vähäisintä. Tästä syystä usein esimerkiksi kauppakeskukset ovat erinomainen kohde aurinkovoimaloille, koska niissä on paljon jäähdytystä kuten ilmastointi ja pakastealtaat. Myös valaistus, ilmanvaihto ja esimerkiksi hissit nostavat sähkön peruskulutusta huomattavasti. Etenkin omakotitalokohteissa saattaa kesäpäivinä syntyä ylituotantoa, jolloin tuotettu sähkö siirtyy verkkoon. Tässä päättötyössä lähdettiin tällaisia tilanteita varten suunnittelemaan yksinkertaista ohjelmaa, jonka avulla voitaisiin ylituotanto käyttää omassa kiinteistössä mahdollisimman tehokkaasti.

4.2.1 Lämminvesivaraaja

Kiinteistöissä, joissa käyttövesi lämmitetään itse, on hyvin tyypillistä, että lämminvesivaraajan lämmitysvastusta ohjaavan kontaktorin ohjaus tulee joko veden lämpötilaa mittaavalta termostaatilta tai sähkömittarilta. Sähkömittarin ohjaus käynnistää veden lämmityksen yösaikolla, eli öisin. Etenkin omakotitalokohteissa, joissa ei käytetä jäähdytystä, on kesäaikaan lämminvesivaraaja yksi sähköä eniten kuluttavista laitteista. Jos lämminvesivaraaja lämmitetään ostosähköllä ja päivällä itse tuotettu sähkö myydään huonolla sopimuksella sähköyhtiölle, kasvattaa se voimalan takaisinmaksuaikaa huomattavasti. Tästä syystä tässä päättötyössä rakennettuun ohjelmaan, jossa ohjataan itse tuotetun sähkön käyttöä, valittiin lämminvesivaraaja yhdeksi ohjattavista järjestelmistä. Tähän päädyttiin siksi, että lämminvesivaraajan toiminta on erittäin yksinkertaista ja sopii siksi hyvin automaatiojärjestelmän ohjauksen esimerkkikohteeksi. Tämän vuoksi päättötyöhön suunniteltu ohjelma ohjaakin juuri lämminvesivaraajaa.

4.2.2 Sähköauto

Yksi ilmeinen ratkaisu itsetuotetun sähkön kohdistamiselle olisi sähköauton lataaminen. Ajatuksena auringosta saatavalla energialla autoilu on kiehtova ja edustaa uusiutuvia ja päästöttömiä energiamuotoja erittäin hyvin. Asia ei kuitenkaan ole niin yksinkertainen, kuin miltä se kuulostaa. Jos mietitään sähköverkosta irrallista järjestelmää, missä sähköautoa ladattaisiin vain aurinkovoimalasta tulevalla sähköllä, saattaisi varjoisena päivänä olla auton akku jäädä tyhjäksi tai aurinkoisena päivänä auto olla ajossa, jolloin aurinkovoimalan tuottamaa sähköä ei enää käytettäisi mihinkään. Käytännössä todellinen hyöty voitaisiin saada juuri sen tyyppisestä sähkön käytön automatisoinnista, kuin mikä tämän päättötyön automaatiosovelluksessa rakennetaan. Jos auto lataisi akkunsu esimerkiksi 50 %:iin ilman voimalasta tulevaa sähköä ja 100 %:iin jos voimala tuottaa sähköä, saataisiin voimalasta tuleva sähkö valjastettua omaan käyttöön erittäin tehokkaasti. Tätä käyttötapaa pohditaan lisää itse automaatiosovelluksen luvussa. Tulevaisuudessa kun sähköautot yleistyvät, olisi myös mahdollista suunnitella järjestelmä, joka hyödyntäisi sähköauton suurta akustoa myös niin päin, että siitä tarvittaessa myytäisiin sähköä verkkoon. Näin itse tuotetusta sähköstä saattaisi saada moninkertaisen hinnan myytäessä.

4.2.3 Verkkoakku

Terminä verkkoakku on hieman harhaanjohtava. Verkkoakusta puhuttaessa ei todellista akkua ole vaan toiminta perustuu siihen, että verkkoyhtiö antaa saman määrän sähköä ilmaiseksi kuin verkkoon on tuotettu. Toki lähes jokaisella sähköyhtiöllä on tästä oma käytäntönsä ja osa yhtiöistä saattaa esimerkiksi velottaa siirtomaksut siitä sähköstä, joka verkkoakusta myöhemmin käytetään.

Jos aurinkovoimalan mukana saa käyttöönsä verkkoakun, jolla saa ilmaiseksi saman määrän sähköä verkosta kuin sinne on syöttänyt, parantaa se tämänhetkistä vaihtoehtoista parhaiten oman aurinkovoimalan kannattavuutta. Esimerkiksi Freebo Oy tarjoaa Nordic Green Energyn kanssa sellaista verkkoakkua, jossa saa käyttää ilmaiseksi saman määrän sähköä, kuin verkkoon on syöttänyt. Sellainen on kuitenkin mahdollista saada vain Freebolta ostetuille voimaloille.

4.3 Automaatiojärjestelmän suunnittelu

Koska yleisesti ottaen sähkön tuottaminen omaan käyttöön on erittäin kannattavaa, mutta sen myyminen sähköyhtiölle ei, on sähkön käytön automatisointia syytä pohtia lähes jokaisessa kohteessa, johon aurinkopaneelit asennetaan. Yksinkertaisimmillaan voimalan tuottaman sähkön käytön automatisointi voi olla vain alaluvun 4.2.1 kaltainen ratkaisu, jossa toteutetaan lämminvesivaraajan lämmityksen ohjaus kellokytkimen avulla. Näin toteutettuna sähkön käyttö sijoittuu sille ajalle, jolla voimalan oletetaan tuottavan sähköä sen sijaan, että se lämmitettäisiin totuttuun tapaan yö sähköllä.

Käytännössä todellisen automaatiojärjestelmän käyttäminen aurinkosähkövoimalan rinnalla parantaisi kyllä itse tuotetun sähkön tuottavuutta, kun esimerkiksi lämmitystä voitaisiin säätää tuotetun sähkön todellisen määrän mukaan ja nostamalla esimerkiksi termostaatin lämpötilaa niissä tilanteissa, kun sähköä tuotetaan itse. Tämän kaltaiset ratkaisut voisi olla pienissä kohteissa edullisesti toteutettavissa esimerkiksi älypistorasioiden, vartiointijärjestelmien tai kiinteistöön jo valmiiksi asennetun ohjausjärjestelmän avulla. Suuremmissa kohteissa yksinkertaisin ratkaisu olisi voimalan tuottoseurannan ohjelmoiminen suoraan kiinteistön VAK:iin (valvonta alakeskus). Tällöin ainoat kustannukset tulisivat ohjelmointityöstä ja tarvittavien antureiden ja johdotuksien tekemisestä.

4.3.1 Ohjelmoitavan logiikan valinta

Tampereen ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan opintojaksojen tuoman kokemuksen pohjalta, päätti ryhmä valita käytettäväksi PLC-alustaksi Beckhoffin valmistaman Twincat 3:n. Hankesuunnitelman tekijäryhmän sisältä olisi löytynyt osaamista myös Omronin ja Siemensin valmistamista vaihtoehtoista, mutta Beckhoff Twincat valikoitui käytettäväksi ohjelmaksi siitä syystä, että sen työkalu on ikään kuin lisäosa Windowsin ilmaiseen Visual Basic -ohjelmistoon. Näin ollen kuka tahansa voi ilmaiseksi asentaa ja käyttää Twincat 3 -ohjelmistoa.

Beckhoffin ohjelma tarjoaa kilpailijoiden tapaan kaikki IEC 61131-3 mukaiset ohjelmointikieliet. Standardi määrittelee ohjelmoitaviin logiikoihin viisi eri ohjelmointikieltä:

- **FBD** Function Block Diagram
- **LD** Ladder Diagram
- **ST** Structure Text
- **Pascal** -tyyppinen ohjelmointikieli
- **IL** Instruction List
- **SFC** Sequential Function Chart

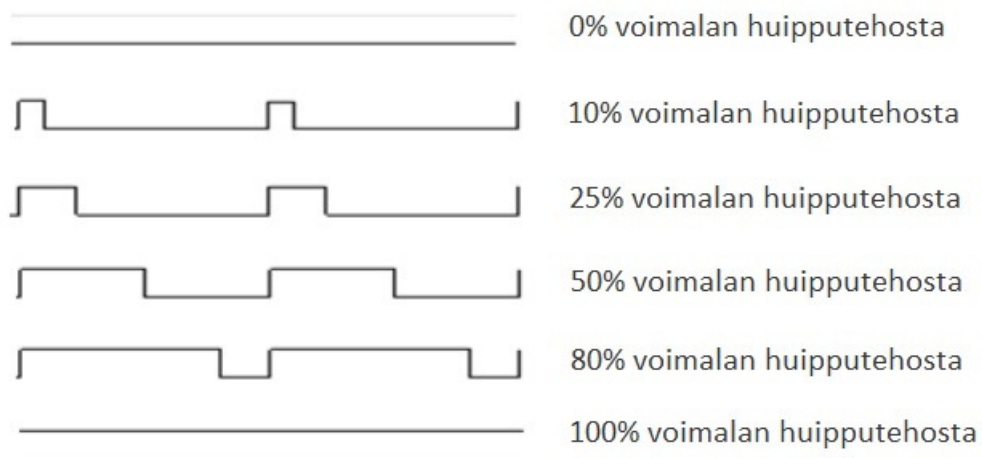
Näistä yksinkertaisen ohjelman tekemiseen helpoimmaksi koettiin FBD, myös ohjelmointikielen virtuaalisen simuloinnin helppouden kannalta. Tästä ohjelmointitavasta oli myös eniten kokemusta. Tekijöiden kesken keskusteltiin myös ohjelman tekemisestä C++ -kieltä käyttäen Arduinolla. Näin toteutettuna sovelluksen olisi pystynyt kohtuullisen helposti rakentamaan ja testaamaan sitä fyysisesti laboratorio-olosuhteissa. Tähän ei kuitenkaan päädytty, koska selvityksen pääpaino oli voimalan suunnittelussa ja mitoituksessa. Näistä syistä C++ -ohjelmointi unohdettiin ja käytettäväksi ohjelmistoperheeksi valikoitui PLC ja Beckhoff Twincat 3.

4.3.2 Ohjelman toimintaperiaate

Koska aurinkovoimalan sähkönkäytön ohjaamiseen suunniteltu ohjelma on toteutukseltaan hyvin suurpiirteinen ja periaatteellinen, täytyi sen toiminnan olla periaatteeltaan helposti muokattavissa. Tässä opinnäytetyössä esitetty ohjelma päätettiin rakentaa siten, että se alkaisi lämmittää kuumavesivaraajaa voimalan ylituotannon aikana. Kun ohjelman toiminta olisi mahdollista toteuttaa näin yksinkertaisesti, olisi se helposti muokattavissa. Ohjelma kytkeytyy päälle ylituotannosta ja toiminta olisi yksi AND-piiri, jonka sisäänmenon pystyisi invertoimaan. Tällä tavoin se olisi sovellettavissa melkein minkä tahansa laitteen ohjaamiseen. And-piiri on esitettyinä tarkemmin kuvassa 40.

Näin toteutettuna ohjelma olisi myös helposti muokattavissa esimerkiksi sähköauton latausta ohjaavaksi tai kauppakeskuksen pakastealaiden lisjäähdytykseen. Nyt päädyttiin kuitenkin yksinkertaisimpaan esimerkkiin ajankäytöllisistä syistä ja siksi, että kyseessä olisi prototyyppi tämänkaltaisesta sähkönkäytön ohjauksesta aurinkovoimalakäytössä. Ja koska opinnäytetyön selvityshankkeen kiinteistö tulee luultavasti käyttämään kaiken sähköä, mitä sinne suunniteltu voimala pystyy tuottamaan, automaation ohjauksen perusteena olevaa ylituotantoa ei näiden selvitysten mukaan pääse syntymään. Sähkölaitteiden ohjauksen säätö voisi myös perustua seuraavanlaiseen malliin, jossa logiikkaan tuodaan invertteeriltä tieto siitä, paljonko sähköä voimala tuottaa. Näin pystyttäisiin ohjaamaan eri laitteita, esimerkiksi lämminvesivaraaja päälle päivällä heti, kun 10 % tuotto saavutetaan ja esimerkiksi sähköauton akun lataaminen täyteen kun 50 % tuotto voimalasta ylitetään. Mahdollista olisi toteuttaa esimerkiksi viiteen ketjuun kytketyt kymmenen ulkovaloa, joista aina kaksi syttyy tuotannon kasvaessa 20 %. Tämä olisi myös uudenlainen tapa seurata tuotantoa. Toki pimeällä voimala ei tuota sähköä, mutta toimii esimerkkinä automaation mahdollisuuksista. Tulevaisuudessa jopa sähköyhtiöt saattaisivat lähteä ohjaukseen mukaan ja ohjelmoida nykyisen sähkömittarinsa yönsähkön ohjauksen ylituotannolle ohjaamaan laitteita. Näin sähköyhtiö voisi tulevaisuudessa myös ohjata kiinteistöjen tuoton tarvittaessa verkkoon tasaamaan kulutuspiikkejä tai ottaa sähköä esim. kiinteistöissä tulevaisuudessa sijaitsevasta akustosta, kun verkko sitä tarvitsee.

Kuvassa 36 on esitetty esimerkki siitä, millaista invertteriltä tuleva digitaalinen PWM -tieto voimalan hetkellisestä sähköntuotannosta on. Tämä olisi myös erittäin hyvä tieto käytettäväksi voimalan automaattioratkaisuiden suunnittelussa.



KUVA 36. Invertteriltä saapuva PWM -tieto voimalan tuotosta.

Ohjelmaa lähdettiin kuitenkin rakentamaan *sähkön tuotto miinus sähkön kulutus* -yhtälön pohjalta, eli ohjaavana tekijänä oli ainoastaan ylikulutus. Tätä ohjaukriteeriä käyttäessä käytetään sitä sähköä itse, mikä normaalisti myytäisiin huonolla hinnalla verkkoyhtiölle. Ohjelman päätettiin toimivan siten, että se ohjaisi lämminvesivaraajan lämmitysvastuksen kontaktorin päälle, kun sähkön tuotto on suurempi kuin kulutus. Ajatuksena tälle toiminnalle oli lämminvesivaraajan veden lämpötilan nostaminen ylituotantosähköllä, jotta vettä joutuisi lämmittämään mahdollisimman vähän, kun aurinko on laskenut ja voimalan tuotto tippuu nolnaan.

Ohjelmaa varten luotiin I/O -lista, mihin kerättiin kaikki ohjelman toiminnan kannalta välttämättömät muuttujat ja signaalit. Tärkeimpänä ajatuksena ohjelmassa oli yksinkertaisuus, koska siten se olisi helposti muokattavissa eri ohjauksille. Ohjelmasta muodostuikin eräänlainen ohjelmallinen "termostaatti", jonka päälle kytkevänä ehtona toimii suurempi sähkön tuotanto kuin kulutus. Kun ehto toteutuu, muuttaa ohjelma ohjausbitin tilaa. Ohjaus toteutettiin Set/Reset -piirillä, joka pysyy niin kauan aktiivisena, kun seuraavat ehdot täyttyvät:

- Sähkön tuotto on suurempi kuin kulutus
- Lämminvesivaraajan veden lämpötila on alle 85 °C

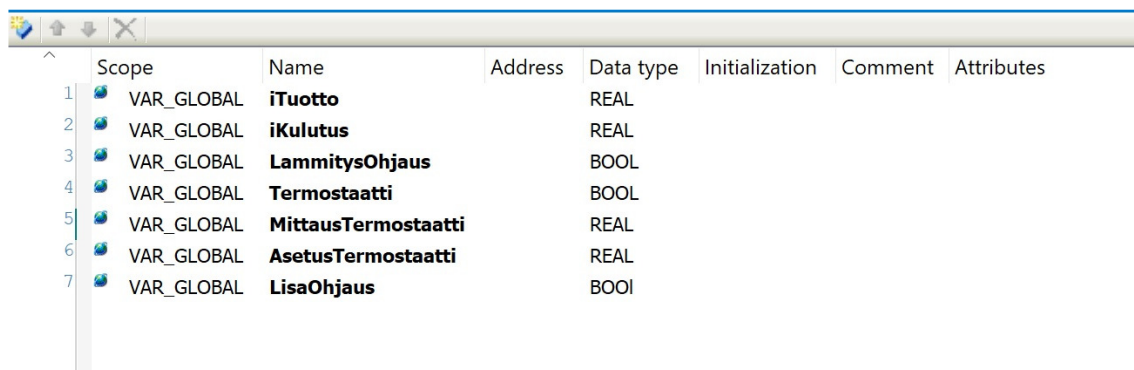
Lämminvesivaraajan lämpötilaa varten tarvittiin muuttuja, joka sisältäisi tiedon halutusta lämminvesivaraajan veden lämpötilasta. Tätä varten ohjelmaan luotiin muuttuja AsetusTermostaatti, mikä kertoo ohjelmalle halutun lämminvesivaraajan lämpötilan. Se, että saako ohjelma koskaan lämmitettyä varaajaa haluttuun lämpötilaan, riippuu paljon auringon säteilyintensiteetistä, mutta toki siihen voivat vaikuttaa esimerkiksi veden käyttömäärä ja lämminvesivaraajan oman termostaatin asetukset. Myös varaajan koko vaikuttaisi tähän paljon. Käytännön sovelluksessa täytyisi automaatiosovelluksessaakin olla myös ehdottomasti mekaaninen termostaatti, jolla estetään varaajan räjähtäminen yllämmityksen vuoksi viikatilanteessa. Päättötyön esimerkkiohjelma haluttiin kuitenkin pitää teoreettisena, tutkivana ja yksinkertaisena, joten sovellusta ei lähdetty rakentamaan valmiiksi tuotteeksi asti. Tästä syystä varmuustoimenpiteitä ei tähän ohjelmaan ole suunniteltu. Ohjelman toimintaperiaatteen mukaan luotiin tarvittavat muuttujat, joilla ohjelma saataisiin toimimaan. Taulukkoon 1 on listattu ohjelmassa käytettävät muuttujat, niiden ehdot ja toimintakuvaus.

TAULUKKO 1. Ohjelman I/O -taulukko

Bitin nimi	koodiesimerkki	Toimintakuvaus
LammitysOhjaus	kulutusbitti < tuottobitti	Käytetään ohjaamaan esim. lämmityksen kontaktoria
AsetusTermostaatti	Lammitysohjaus < MittausTermostaatti	Ohjausbitin katkaiseva tieto.Termostaatti tms
MittausTermostaatti	Sisään tuleva signaali	Mittaustieto (takaisinkytkentä) esim. lämpötila tai akun varaustaso
iTuotto	Esim. Invertteriltä saatu digitaalinen tieto	Sähkön tuottobitti. Käytetään ohjausbitin ohjaamisessa
iKulutus	Esim. Sähkömittarilta saatu tieto tai erilliseltä kulutusmittarilta	Sähkön kulutusbitti. Käytetään ohjausbitin ohjaamisessa.

4.3.3 Ohjelman tekeminen Beckhoff Twincat:lla

Ohjelman tekemisen alussa listataan kaikki ohjelmaan tuotavat ja käytettävät muuttujat. Tässä ohjelmassa tarvittavat muuttujat on esitetty taulukossa 1 ja kuvassa 37 on muuttujat syötettyinä ohjelmaan.



	Scope	Name	Address	Data type	Initialization	Comment	Attributes
1	VAR_GLOBAL	iTuotto		REAL			
2	VAR_GLOBAL	iKulutus		REAL			
3	VAR_GLOBAL	LammitysOhjaus		BOOL			
4	VAR_GLOBAL	Termostaatti		BOOL			
5	VAR_GLOBAL	MittausTermostaatti		REAL			
6	VAR_GLOBAL	AsetusTermostaatti		REAL			
7	VAR_GLOBAL	LisaOhjaus		BOOL			

KUVA 37. Muuttujat tuotuina ohjelmaan

Muuttujien datatyypeiksi valittiin tiedolle sopiva tyyppi. Tuottoa ja kulutusta käsitellään simuloitessa selvyyden vuoksi reaalityyppillä, jotta voidaan nähdä selvemmin sähkön kulutuksen ja sähkön tuoton suhde. Näitä lukuja varten ohjelman tietotyypiksi valittiin REAL, joka tarkoittaa kymmenjärjestelmässä käytettyjä kokonaislukuja. Datatyyppiä BOOL käytetään niissä kohteissa, joissa ohjaukseen käytetään pelkkää päälle/pois -ohjausta. Seuraavaksi ohjelmaan luodaan tarvittavat ohjelmalohkot. Esimerkiohjelman tapauksessa riittää seuraavat neljä lohkoa:

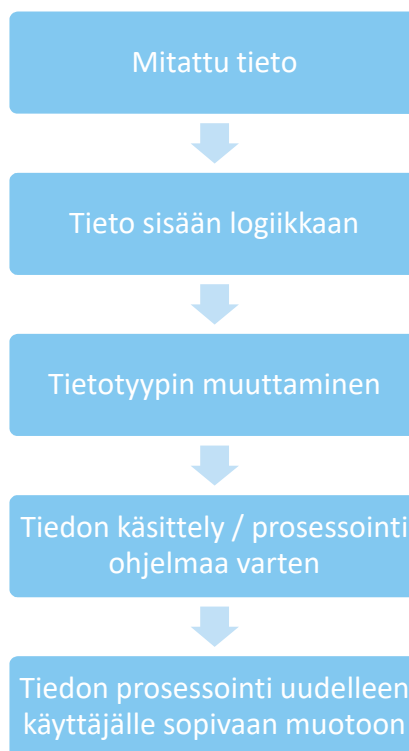
- Main
- Ylituotannon valvonta
- Sähkön ohjaus
- Termostaatti

Kyseisten ohjelmalohkojen käytön syy ja toiminta selitetään seuraavissa alaluvuissa.

4.3.3.1 I/O:t ja käsittely

Tässä luvussa käsitellään logiikkaan sisään tulevaa tietoa ja sitä, mitä sille ohjelmallisesti tehdään. Tieto käsitellään, jotta se olisi ohjelmalle ja käyttäjälle oikeassa tietotyyppissä ja käsiteltynä siten, että se sisältäisi todellisen mittaustiedon.

Kuvassa 38 on havainnollistettuna digitaalitekniikassa käytettävän tiedon kulku mittalaitteelta ohjauksen kautta ohjauspaneelille esitettävään muotoon.



KUVA 38. Tiedon prosessointi ohjelmoitavassa logiikassa

Mitattu tieto

Signaali syntyy, kun esimerkiksi jokin anturi mittaa lämminvesivaraajan veden lämpötilaa. Anturi mittaa signaalin ja lähettää sen johtimia pitkin eteenpäin.

Tieto sisään logiikkaan

Kun tieto tuodaan logiikkaan, saattaa se olla esimerkiksi 4-20 mA virtatieto, resistanssia tai lista ykkösiä ja nollia. Tieto voisi olla myös alaluvussa 4.3.2 esitettyä PWM-tietoa, joka kertoisi tuoton suhteessa voimalan huipputehoon.

Tietotyypin muuttaminen

Logiikkaan sisään tuotu analoginen tieto, eli esimerkiksi resistiivinen tieto muutuisi digitaaliseksi ohjelmassa ja olisi siis joukko ykkösiä ja nollia. Seuraavassa esimerkkilaskussa on muutettu sisään tuleva tieto binääriseksi.

$$DEC \leftrightarrow BIN \Leftrightarrow 120 \leftrightarrow 1111000$$

Nyt mitattu analoginen tieto on helposti käsiteltävässä binäärisessä muodossa ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi lämpötilan ohjauksen säätöpiirissä. Erilaisia tietotyyppisiä, joita tämänkin työn ohjelmassa käytetään, ovat:

- REAL
- BOOL
- WORD

REAL -tietotyyppi

Real on tietotyyppi, joka sisältää kymmenjärjestelmällä ilmoitetun reaaliluvun. Esimerkiksi luvun 85.

BOOL -tietotyyppi

Bool eli bitti, on binäärinen tietotyyppi ja voi sisältää vain numeron 1 tai 0. Tällä tyyppillä kuvataan esimerkiksi, halutaanko jokin laite päälle tai pois.

WORD -tietotyyppi

Word on tietotyyppinä sana, mikä tarkoittaa sitä, että yksi sana sisältää 4 tavua tai 16 bittiä. Esimerkiksi kymmenjärjestelmän luku 120 on binäärisenä sanana 0000 0000 0111 1000.

Tiedon käsittely / prosessointi

Jos käytetään esimerkiksi PT-100 -lämpötila-anturia, saattaa sisään tuleva tieto olla 120 ohmia – 135 ohmia. Tämä tieto ei suoraan ole käyttökelpoista vaan se täytyy käsitellä. Seuraavassa laskussa on PT-100 -anturin kalibrointiesimerkki 50 °C ja 90 °C mittaussvälille.

$$\frac{\text{Mitattu suure}}{\text{Mittausta vastaava lämpötila}} = \frac{120 \Omega}{51,56 \text{ } ^\circ\text{C}} = 2,33 \Omega/^\circ\text{C} \quad (3)$$

$$\frac{1 \text{ } ^\circ\text{C}}{2,33 \Omega} = 0,43 \text{ } ^\circ\text{C}/1\Omega \quad (4)$$

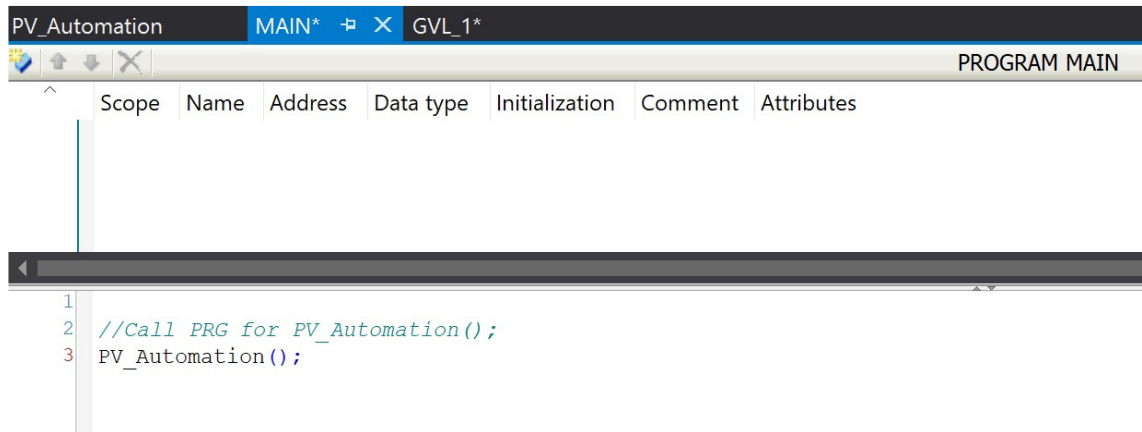
Tällaisella laskennalla saadaan ohjelman sisään tuleva mittaustieto muokattua sellaiseksi, jossa lämpötilan muutos tiedetään, kun mittaustieto muuttuu yhdellä ohmilla. Näin ohjelmaan sisään tuleva data saadaan käsiteltyä muotoon, jonka perusteella mittaustiedosta saadaan veden lämpötila. Jos mittaustieto olisi esimerkiksi virtatietoa välillä 4-20 mA, käsiteltäisiin se täysin samalla kaavalla, mutta resistanssin tilalla olisi virta. Kiinteälle mittaussalueelle täytyisi laskea ja kalibroida koko mittaussalue siten, että 4 mA tarkoittaisi alinta mitattavaa lämpötilaa. Jotta logiikka pysyisi järkevänä vikatilanteissakin, voisi sopiva alaraja olla esimerkiksi -1 °C, jotta veden jäätyessäkin mittaus olisi informatiivinen. 20 mA yläraja tulisi kalibroida hieman veden kiehumispisteen yläpuolella, joka olisi jo kriittinen lämpötila ja aiheuttaisi hälytyksen ohjelmassa.

Tiedon prosessointi uudelleen käyttäjälle sopivaan muotoon

Jos esimerkiksi logiikan ohjauspaneelille haluttaisiin lämminvesivaraajan lämpötilatieto, täytyisi binääritieto käsitellä logiikassa reaalityyppiseksi.

4.3.3.2 Main

Main on ikään kuin ohjelman runko, mitä luetaan aina tietyin väliajoin riippuen logiikasta, esimerkiksi 10 ms välein. Tässä tapauksessa main-ohjelmaan ei tule muuta kuin kohta, jossa kutsutaan ohjelmaa PV_Automation(); mikä sisältää sähkön käytön ohjauksen. Main-ohjelma on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 39.



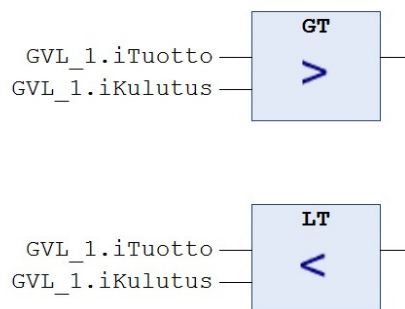
The screenshot shows a software interface with a window titled 'PV_Automation' containing a sub-window 'MAIN*'. Below the window title bar is a table with columns: Scope, Name, Address, Data type, Initialization, Comment, and Attributes. The main area displays the following code:

```
1  
2 //Call PRG for PV_Automation();  
3 PV_Automation();
```

KUVA 39. Main -ohjelmalohko

4.3.3.3 Yliuotannon valvonta

Piiri tarkistaa tuotetun ja kulutetun sähkön suhdetta 10 ms välein. Kun tuotto on suurempi kuin kulutus, ohjaa "SetReset" -piiri ohjauksen bitin päälle. SetReset -piirin sammuttaa samanlainen "suurempi-/pienempi kuin" ehto, kuin mikä sen kytki päällekin, mutta Kytkevässä on ehtona ">" ja resetoivassa "<". Näin ohjelmoituna piiri kytkee ohjausbitin päälle, kun tuotto on suurempi kuin kulutus ja sammuttaa sen, kun tuotto tippuu kulutuksen tasolle. Piiri on esitetty kuvassa 38.

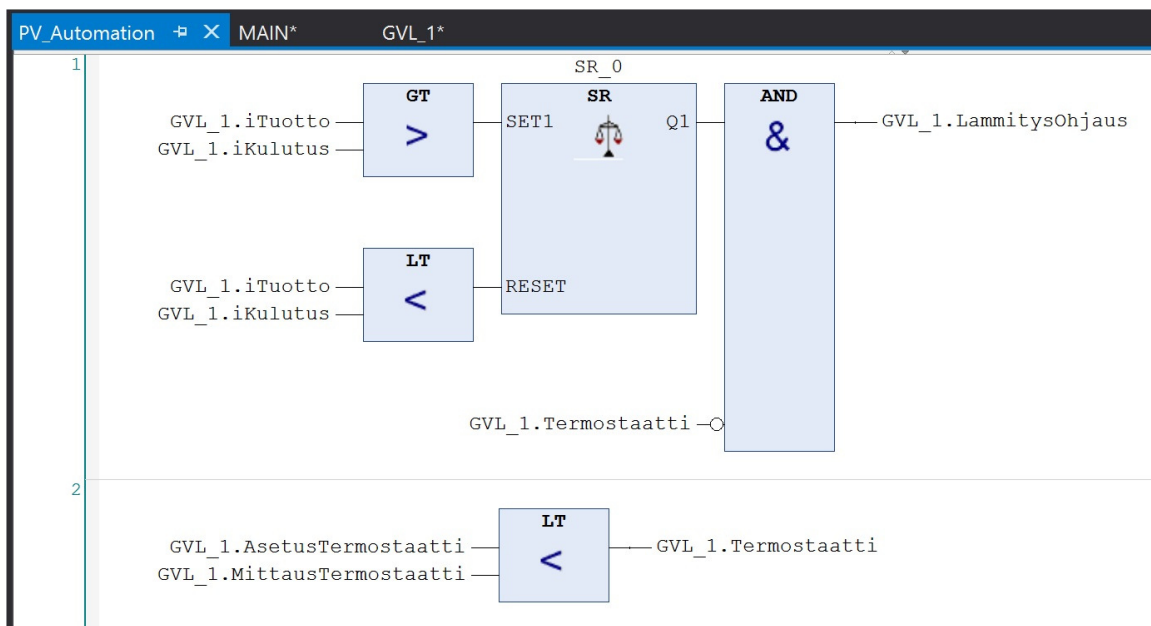


KUVA 40. Yliuotannon valvonta

4.3.3.4 Sähkön ohjaus

Jotta ylituotannolla toimiva ohjaus saadaan tehtyä, tarvitaan siihen ikään kuin releen pitopiirikytkentä, joka vetää silloin, kun sähkön tuotto on suurempi kuin kulutus. Tätä toimintoa varten käytettiin ohjelmassa SR -kiikkua, eli SetReset -piiriä, jolla ohjausbitti nimeltä LammitysOhjaus menee päälle tai pois päältä. Tämän piirin avulla saadaan ohjelman käyttöön tieto sähkön ylituotannosta.

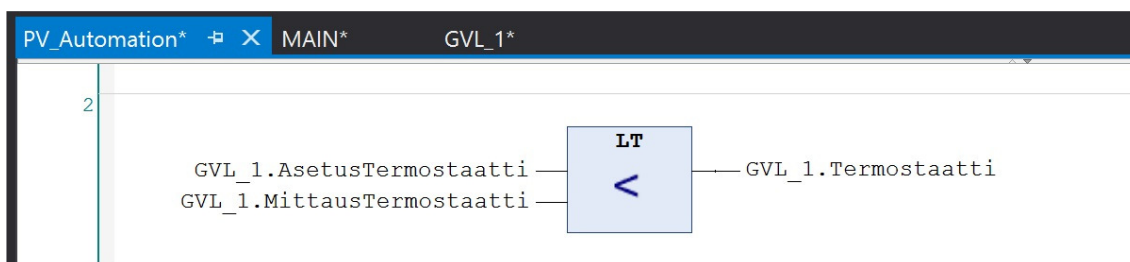
Tähän työhön rakennettu ohjelma pidettiin yksinkertaisena, joten LammitysOhjaus -bitti käytännössä ohjaisi lämminvesivaraajan vastuksen kontaktoria ja kytkisi lämmityksen päälle. Lämmityksen pois kytkisi sähkön ylituoton loppuminen tai lämminvesivaraajan ohjelmallinen termostaatti. Ohjelma sähkön ohjaukseen on esitettyinä kuvassa 41.



KUVA 41. Sähkönkäytön ohjaus

4.3.3.5 Termostaatti

Tämä rivi ohjelmasta vertaa lämminvesivaraajan veden lämpötilaa ja termostaatin asetusarvoa. Kun lämminvesivaraajan veden lämpötila saavuttaa termostaattiin annetun arvon, asettaa "LT" -piiri Termostaatti-bitin ykköseksi, mikä kuvaa ohjelman muuttujissa termostaatin laukeamista. Tässä muuttujassa LT tulee sanoista *less than* ja tarkoittaa suomeksi *pienempi kuin*. Termostaatin vertailupiiri on esitettyinä kuvassa 42.



KUVA 42. Termostaatin ohjelma logiikassa

Ohjelman yksinkertainen termostaattipiiri toimii siis siten, että se mittaa lämminvesivaraajan lämpötilaa ja vertaa sitä ohjelmaan asetettuun haluttuun lämpötilaan. Niin kauan, kuin mitattu lämminvesivaraajan lämpötila on vähemmän kuin termostaattiin asetettu arvo, pysyy Termostaatti-bitti alhaalla tilassa nolla. Vasta kun mitattu arvo ylittää termostaattiin asetusarvoksi asetetun lämpötilan, nousee Termostaatti-bitti ylös, tilaan 1. Ohjelman jatkokäsittelyssä tätä tietoa käytetään katkaisemaan lämmitys, jotta lämminvesivaraaja ei lämmitä vettä vaarallisen kuumaksi.

4.4 Valmis ohjelma

Valmis ohjelma toimi kuten sen oli alun perin suunniteltukin toimivan. Ylituotannon ja sähkönkulutuksen summa ohjasi päälle relettä, joka toimi laitteistoa ohjaavana komponenttina. Ohjelma pysyi hyvin yksinkertaisena, joten se olisi helposti sovellettavissa muihin ohjauksiin tai siirrettävissä erittäin helposti toisen valmistajan logiikkaan. Ohjelma olisi yksinkertaisuutensa vuoksi helposti muokattavissa toteutettavaksi esimerkiksi älypistorasioissa tai kiinteistöautomaatiossa. Tai jos rakennettavaan voimalaan rakennettaisiin PLC-automaatio voimalan tuoton ohjaamista varten, saisi siitä helposti hyötyä myös kiinteistön omaan käyttöön. Ohjelmoitavalla logiikalla voitaisiin helposti ohjata ulkovaloja, auton lämmityslaitteita tai vaikka ajastaa tai kauko-ohjata saunan kiuas päälle. Erilaisia vaihtoehtoja olisi paljon.

Jos tulevaisuudessa akustot yleistyvät kiinteistöissä, olisi tämä automaatio hyvä tapa saada kaikki ylituotettu sähkö varastoon myöhempää käyttöä tai verkkoyhtiöille myyntiä varten. Näillä edellytyksillä aurinkovoimaloiden koot lähtisivät varmasti kasvamaan ja uusiutuvan sähkön määrä Suomessa kasvaisi edelleen. Energiavaraajia löytyy jo monelta valmistajalta ja palveluntarjoajalta. Kuvassa 43 on esitettyä ABB:n valmistama energiavarasto, eli akusto. 10 kW aurinkosähkövoimalalla ja 100 kW:n energiavarastolla tyypillinen suomalainen omakotitalo olisi sähköteho-omavarainen. Tällaisen ratkaisun ainoa este onkin tällä hetkelle laitteistojen hinta.

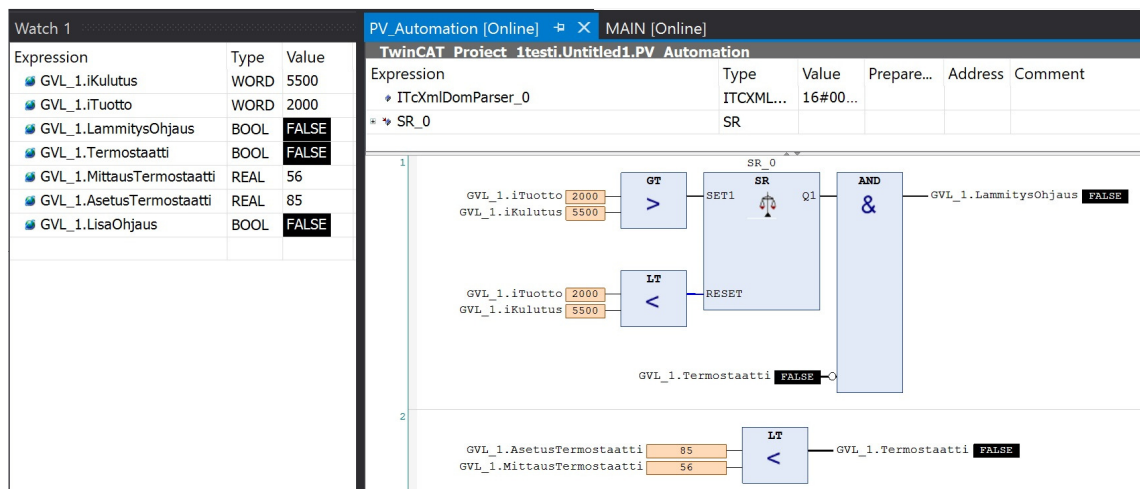


KUVA 43. ABB:n valmistama energiavarasto

4.4.1 Ohjelman toiminnan esittely

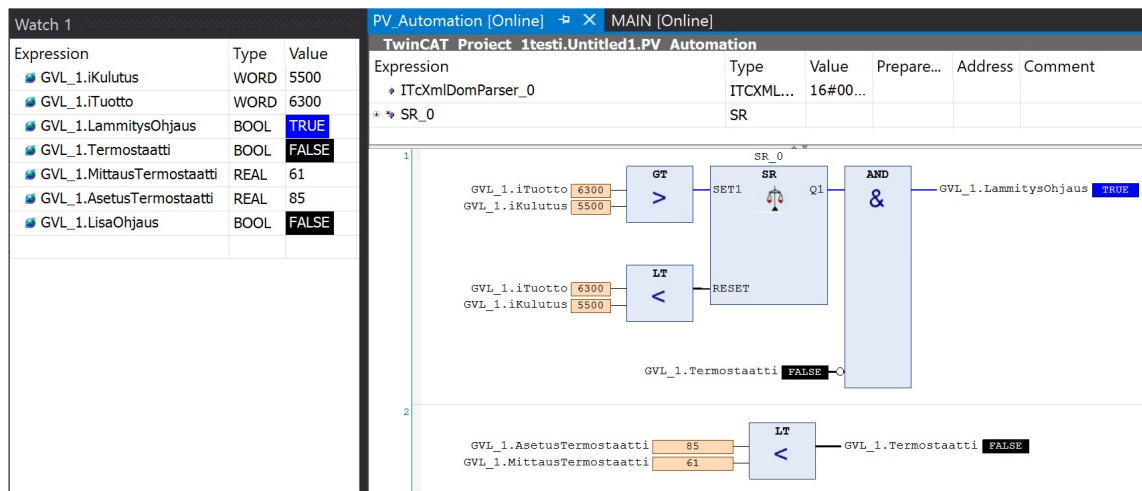
Alkutilassa (kuva 44) tunnin keskitehot ovat kulutukselle 5500 W ja tuotolle 2000 W. Näillä arvoilla LammitysOhjaus-bitti on alhaalla, eli tilassa 0 (FALSE). Termostaatti on käyttäjän asettamana 85 °C:ssa ja veden mitattu lämpötila 56 °C:ssa, luultavasti siksi, että käyttäjä on asettanut varaajan oman suoran sähkön termostaatin 55 °C:een.

Termostaatin lämpötila asetetaan ohjelmassa siksi korkealle (85 °C), että se on tavallisessa kiinteistössä helppo kohde varastoida energiaa. Usein suihkussa käydään juuri iltaisin ja kuumaa vettä kuluu. Jos tuo vesi pystyttäisiin lämmittämään 85 °C:een itse tuotetulla sähköllä, ei sitä luultavasti tarvitsisi lämmittää ennen kuin seuraavana päivänä itse tuotettua sähköä on taas tarjolla. Koska vettä täytyisi joka tapauksessa lämmittää, saisi itse tuotetulla sähköllä paremman tuoton kuin lämmittämällä vesi ostosähköllä ja mahdollisesti vielä syöttämällä osa sähköstä takaisin verkkoon.



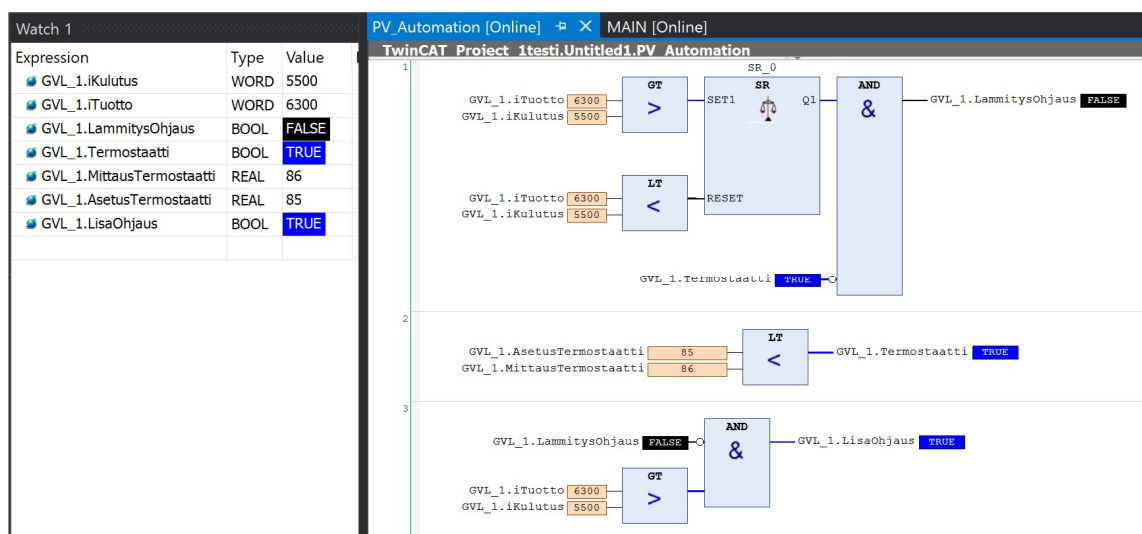
KUVA 44. Ohjelman toiminnan alkutila

Kun tuotto on ylittänyt kulutuksen, Ohjausbitti menee päälle ja käynnistää lämminvesivaraajan lämmityksen. Tämä tila on simuloituna kuvassa 45. Lämmityksen katkaisee veden lämpeneminen asetettuun arvoon tai jos kulutus ylittää taas tuoton.



KUVA 45. LammitysOhjaus -bitti ykkösenä.

Jos ylituotantoa riittää tarpeeksi kauan, jotta lämminvesivaraaja ehtii lämmittämään veden haluttuun lämpötilaan, nostaa termostaatti lähtöbittinsä ykköseksi. Tällöin lämmityksen ohjaus menee nolaksi ja lämminvesivaraajan kontaktori aukeaisi siitä huolimatta, että ylituotettua sähköä on edelleen tarjolla. Tämä tilanne on havainnollistettu kuvassa 46. Tällöin tuotanto syötettäisiin verkkoon tai ohjelmallisesti määritettyyn muuhun toissijaiseen kohteeseen.



KUVA 46. Termostaatin toiminta

5 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä suunnitellaan ja mitoitetaan suurikokoinen aurinkovoimala Tampereen keskustassa sijaitsevan kiinteistön katolle, simuloidaan sen vuosituotto ja lasketaan takaisinmaksuaika. Työssä suunnitellaan myös automatiojärjestelmä aurinkovoimalakäyttöön, jonka tarkoituksena on ohjata sähkölaitteiden toimintaa siten, että itse tuotettu sähkö saataisiin käytettyä kokonaisuudessaan, eikä verkkoon jouduttaisi syöttämään sähköä lainkaan.

Opinnäytetyössä kerrotaan myös teoria aurinkopaneelien toiminnasta, joka auttaa ymmärtämään voimalan osien tarkoitusta ja valintaperusteita, sekä auttavat suunnittelussa pahimpien ongelmakohtien yli. Aiheena suurikokoisen voimalan suunnittelu ja automatisointi on erittäin ajankohtainen, koska uusiutuvan energian tuottamisen kasvuun on asetettu suuret tavoitteet. Myös automatio lisääntyy kiinteistöissä ja interaktiivisuuden kehittyminen tuo myös kiinteistöt lähemmäs käyttäjää. Tästä syystä automatisoitu voimala olisi erittäin moderni ja sen käyttö-, kehitys- ja seurantamahdollisuudet olisivat suuret.

5.1 Voimalan suunnittelu ja sähköntuotto

Opinnäytetyön kohteen voimalan suunnittelu etenee siten, että ensin selvitetään tarve sähkön tuottamiselle ja kiinteistön soveltuminen aurinkovoimalan asentamiseen ja aurinkovoiman käyttöön. Kiinteistökohtaisen sähkönkulutuksen energian, tuntitehojen ja kulutusprofiilin selvittäminen on nykyään nopeaa ja vaivatonta, kun palveluntarjoajalta saa haettua käytännössä kaiken tarvittavan tiedon helposti verkkopalvelun kautta. Sellaiset kiinteistöt ovat aurinkovoimalakäyttöön erityisen hyvin soveltuvia, joissa sähköä kuluu tasaisesti ympäri vuoden ja tasaista kattopinta-alaa on paljon käytettävissä. Opinnäytetyön kohteessa sähkön peruskulutus oli suuri ja vapaata kattopinta-alaa oli erittäin paljon käytettävissä. Näin voimalasta pystyi mitoittamaan suuren 819 aurinkopaneelia sisältävän ja vuodessa 201 MWh tuottavan järjestelmän, joka tuottaisi kesäkuukausina lähes puolet kaikesta kiinteistön kuluttamasta sähköstä. Tämä voimala suunniteltiin suunnattavaksi katon mukaisesti hieman itään päin asennuskustannusten pienentämiseksi. Tämä valinta sopi hyvin myös kiinteistön aamulla käynnistyvään sähkönkulutusprofiiliin. Inverttereiksi voimalaan valittiin SMA:n valmistamat 75 kW mallit, joita tuli yhteensä kolme kappaletta.

Näillä laitevalinnoilla voimalan nimellisteho nousi 225 kW:iin, suurimman verkkoon syötettävän virran ollessa 327 A ($230\text{ V} \cdot 327\text{ A} \cdot 3\text{ vaihetta} = 225630\text{ W}$). Sähkönkulutuksessa tämä tarkoittaisi sitä, että kesäkuukausilla voimala tuottaisi noin puolet kiinteistön kuluttamasta sähköstä ja tuottaisi hieman yli 15000 euron säästöt vuodessa. Tämä tarkoittaisi n. 11 vuoden takaisinmaksuaikaa, jos urakkaan haettaisiin ja myönnettäisiin Business Finlandin energiatuki, joka on suuruudeltaan 20 % urakan verottomasta kokonaishinnasta. Etenkin julkisessa omistuksessa olevan yhtiön paine kasvattaa uusiutuvan energian osuutta ja pienentää CO₂ -päästöjä on suuri. Tästä syystä kiinteistöön asennettava, mahdollisimman suurikokoinen voimala olisi erittäin hyvä askel kohti vihreää sähköntuotantoa ja pienempiä päästöjä. Voimala olisi myös mahdollista toteuttaa rahoitusleasingmallia käyttäen, jossa Finnpark saisi voimalan ilmaiseksi katolleen ja maksaisi sen ostamalla voimalan tuottaman sähkön myyjäyritykseltä yleensä ostosähköä edullisemmalla hinnalla, koska esimerkiksi siirtomaksuja ja veroja ei tällöin sisälly sähkönhintaan.

5.2 Ohjaus ja automaatio

Opinnäytetyön aiheena olevan automatisoinnin pääasiallinen tarkoitus oli saada kiinteistöihin tuotettu sähkö käytettyä kokonaan itse ja saada sähkönkulutus sellaiseksi, ettei ylituotettua sähköä siirtyisi verkkoon. Tämä on voimalan hankinnan kannattavuuden kannalta tärkeä asia, koska sähköyhtiöt usein maksavat verkkoon syötetystä sähköstä vähemmän kuin sieltä käytetystä. Opinnäytetyössä suunnitellussa voimalassa ylituotantoa ei lopullisien simulaatioiden perusteella pääse syntymään, joten kyseisessä kiinteistössä ei todennäköisesti voimalan automaatiolle olisi tarvetta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, etteikö sellaisia kiinteistöjä olisi paljon, joissa automaatiolle olisi selvä tarve.

Automaatio ja ohjaus toteutettiin opinnäytetyössä vain ohjelmatasolla. Laitteistopuoleen ei suunnittelussa syvennytty, koska opinnäytetyötä tehdessä automaatiojärjestelmää tai voimalaa ei ollut tarkoitus rakentaa konkreettisesti. Ohjelman suunnittelu toteutettiin käyttäen Beckhoff:in TwinCat 3:sta, joka on käytettävissä ilmaiseksi uusimalla lisenssi aina seitsemän päivän välein.

Opinnäytetyössä suunnitellun ohjelman toiminta perustuu ylituotantoon ja sen käyttämiseen ohjaavana bittinä. Ohjaaminen ylituotannolla tarkoittaa käytännössä sitä, että silloin kun verkkoon alettaisiin syöttää sähköä, käynnistää ohjelma ennalta määritetyt sähkölaitteet ja alkaa esimerkiksi lämmittää käyttövettä. Tämä estää tehokkaasti sähkön siirtymisen verkkoon ja parantaa itsetuotetusta sähköstä saatavaa tuottoa ja voimalan takaisinmaksuaikaa.

Opinnäytetyön ohjelma suunniteltiin tarkoituksella yksinkertaiseksi, jotta se olisi helposti muokattavissa erilaisiin kohteisiin aina kiinteistökohtaisen tarpeen mukaan. Käytännössä ohjelma on ikään kuin kytkin, joka menee päälle aina silloin, kun ylituotantoa syntyy. Tämä kytkin taas laittaa päälle ne sähkölaitteet, joilla on kyky varastoida energiaa (kuten lämminvesivaraaja) tai joita muutoin halutaan käyttää (esim. sähköauto tai viillennys). Ohjelmaan tuli myös omat mittaustiedot, joita voidaan käyttää esimerkiksi katkaisemaan lämminvesivaraajan lämmitys, kun se on saavuttanut halutun lämpötilan. Tällä toimintaperiaatteella automaatiojärjestelmään ei tarvitse liittää lämminvesivaraajan omaa termostaattia vaan se

pysyy erillisenä järjestelmänä ja halutessa sen avulla voidaan määrittää käyttövedelle ostosähköä käyttämällä peruslämpötila niitä tilanteita varten, että aurinkovoimala ei tuotakaan sähköä.

Näitä mittauksia käyttäen voisi esimerkiksi lämminvesivaraajan veden lämpötilatiedot tuoda ohjelmasta helposti kiinteistöautomaatioon tai vaikka kännykkäsovellukseen. Käsittelemällä nämä tiedot ja yhdistämällä siihen laskentaa, olisi helposti seurattavissa itse tuotetun sähkön määrä, sen avulla nostettu veden lämpötila ja esimerkiksi näistä syntyvä rahallinen säästö. Täysin automatisoidussa kiinteistössä olisi myös mahdollista rakentaa erilaisia kulutusprofileita ohjelmaan, joista voisi valita esimerkiksi ”poissa kotoa” -profiilin, joka laskisi kaikki lämpötilaohjaukset matalalle tasolle ja alkaisi syöttää sähköä verkkoon. Tätä profiilia käyttämällä viikon lomamatkan aikana oma talo kuluttaisi mahdollisimman vähän sähköä ja tuottaisi mukavasti rahaa. Opinnäytetyön voimalan kohdalla puhuttaisiin noin 1000 eurosta viikon loman ajalta.

Koska kiinteistöautomaatio yleistyy hurjaa vauhtia, tulee tulevaisuudessa aurinkovoimalan automaation toteuttamisesta aina vain helpompaa ja halvempaa. Kun tekijät lisääntyvät markkinoilla ja kiinteistöissä alkaa olla jo valmiina kiinteistöautomaatiota, tarvitaan vain ohjelmisto ja ohjaamisessa käytettävät toimilaitteet.

Tällä hetkellä etenkin omakotitalokohteiden automaatiotarve käsittääkin juuri lämminvesivaraajan ohjauksen, joka pystyttäisiin toteuttamaan erittäin pienikokoisella ja edullisella laitteella tai sovelluksella, esimerkiksi yhdellä invertterin ohjaamalla kontaktorilla. Ohjelma tällaisessakin laitteistossa noudattaisi kuitenkin samoja periaatteita kuin opinnäytetyössä suunniteltu ohjelma. Tästä voisikin päätellä idean aurinkovoimalan automaatiosta olevan täysin käyttökelpoinen. Myös yksittäisten aurinkopaneelien teho kasvaa koko ajan ja voimaloista tulee entistä tehokkaampia, sähkön hinta ja etenkin siirtomaksut nousevat koko ajan, joten jo lähitulevaisuudessa saattaisi automatisoinnille olla todellista tarvetta. Kiinteistöön asennettavalla automaatiojärjestelmällä olisi todennäköisesti mahdollista myös pienentää kiinteistön omaa sähkön kulutusta, joten erittäin todennäköistä on, että muutaman vuoden sisään tulee automatisoinnin yhdistäminen aurinkovoimaloihin ajankohtaiseksi.

Todennäköisiä käytännön toteutusratkaisuja automatisoinnille olisivatkin luultavasti invertterin sisäinen ohjelmointi ja siihen asennettavat relekortit, kiinteistön oman automaation yhdistäminen voimalaan tai älypistorasiat. Toteutuskelpoinen voisi olla myös toimintamalli, jossa sähköyhtiö voisi ostaa itsetuotettua sähköä paremmalla hinnalla aina tarpeen mukaan.

Yksi mielenkiintoisimmista opinnäytetyön automaatio suunnittelussa esiin tulleista ideoista olikin juuri sähköyhtiön sähkömittarin ohjauksen käyttäminen. Sitä voisi soveltaa esimerkiksi ylituotannon, sähkön varaamisen ja mahdollisesti verkkoon syötettävän sähkön yhteydessä. Tällaisen toimintamallin toteutuminen vaatisi kuitenkin todennäköisesti sen, että myös asuinkiinteistöihin ruveta hankkimaan laitteistoja sähköenergian varaamiseen, mikä nykytekniikalla tarkoittaisi akkuja. Jos tulevaisuudessa kiinteistöissä käytetään omia akustoja, luo se suuret mahdollisuudet automaatiolle niin sähkön tuottajien kuin verkkoyhtiöidenkin puolesta, kun sähköä voitaisiin ohjata jopa ostosähköä paremmalla hinnalla verkkoon. Tämä varmasti kannustaisi kiinteistöjen omistajia hankkimaan aurinkovoimaloita ja akustoja, mutta osaltaan parantaisi myös sähköverkon toimintavarmuutta ja vähentäisi sähkön tuotantotarvetta esimerkiksi kivihiiltä polttamalla.

LÄHTEET

Aurinkosähkön kannattavuus. [2020]. Hiilineutraalisuomi.fi. Viitattu 27.05.2020. [https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss\(56958\)](https://www.hiilineutraalisuomi.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Hiilineutraaliblogi/Aurinkosahkojarjestelmien_hinnat_laskuss(56958))

Auvinen, K. & Rummukainen, M. Aurinkosähkön kannattavuuslaskuri. 2020. <https://finsolar.net/kannattavuus/kannattavuuslaskurit/>

D1-2017. Käsikirja rakennusten sähköasennuksista. Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry. 25. p. Espoo: Sähköinfo Oy.

Energiatuki. [2020]. Tietoa rahoituksesta. Business Finland Oy. Viitattu 27.5.2020. <https://www.businessfinland.fi/suomalaisille-asiakkaille/palvelut/rahoitus/energiatuki/>

Korpela, A. [2020]. Aurinkosähköluento 1-5.Tampere: Tabula. Viitattu 1.4.2020.

Lehto, I., Liuksiala, L., Lähde, P., Olenius, M., Orrberg, M. & Ylinen, M. Aurinkosähkölaitteiden suunnittelu ja toteutus. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy

Orima tasakattotelineet. [2020]. Orimattila: Orima Oy. Viitattu 10.4.2020. <https://orima.fi/orima-solar/tasakatoille-alfa/>

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). EU Science Hub. Viitattu 15.6.2020. <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>

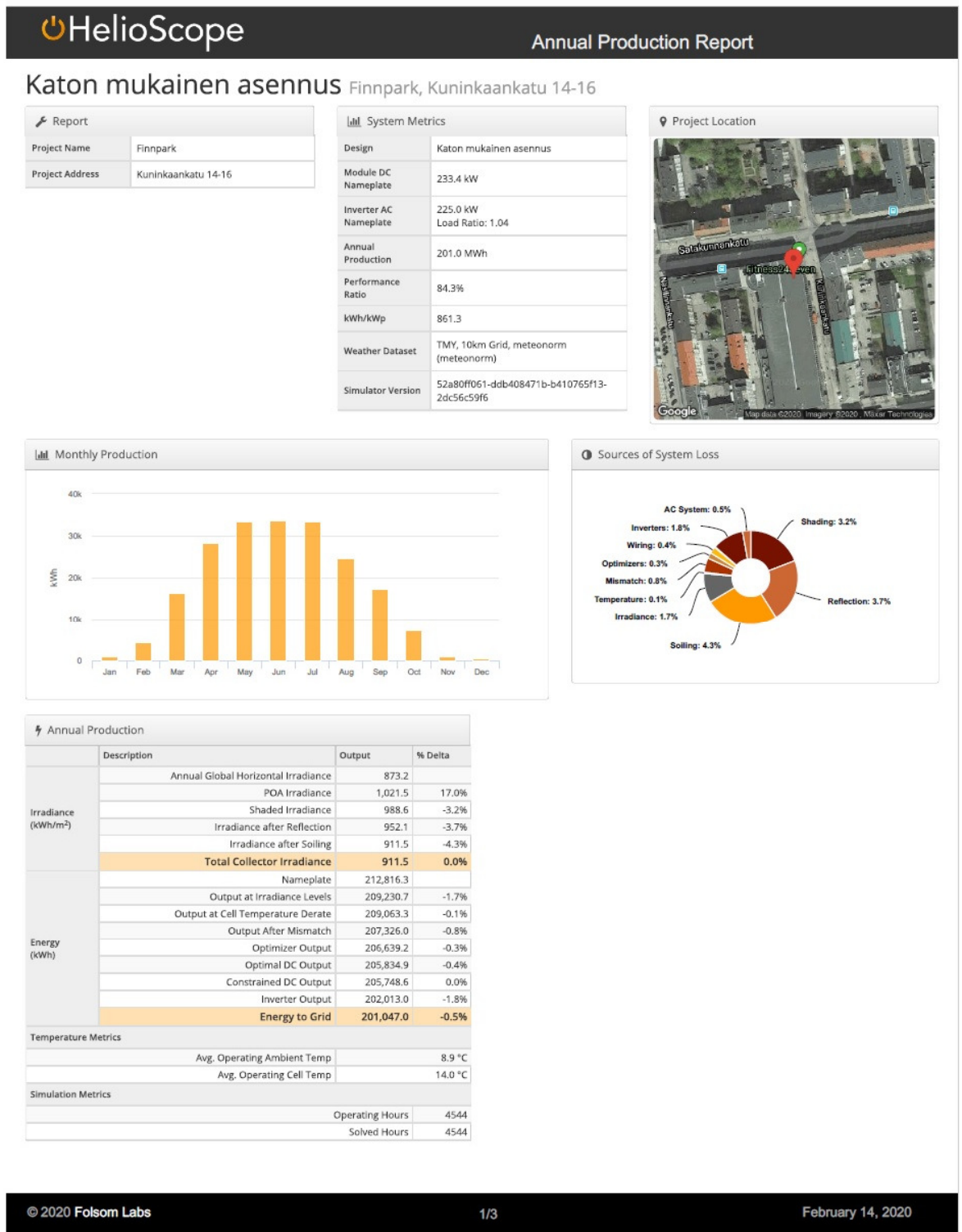
RIL 201-1-2017. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL ry. Viitattu 15.6.2020.

Sorsa, T. 2016. Aurinkojärjestelmien asennus ja vaikutus rakenteisiin. Viitattu 15.6.2020.

Sähkön hintatilastot. Energiavirasto. Viitattu 15.6.2020. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

LIITTEET

Liite 1. Voimalan simulointi HelioScopessa



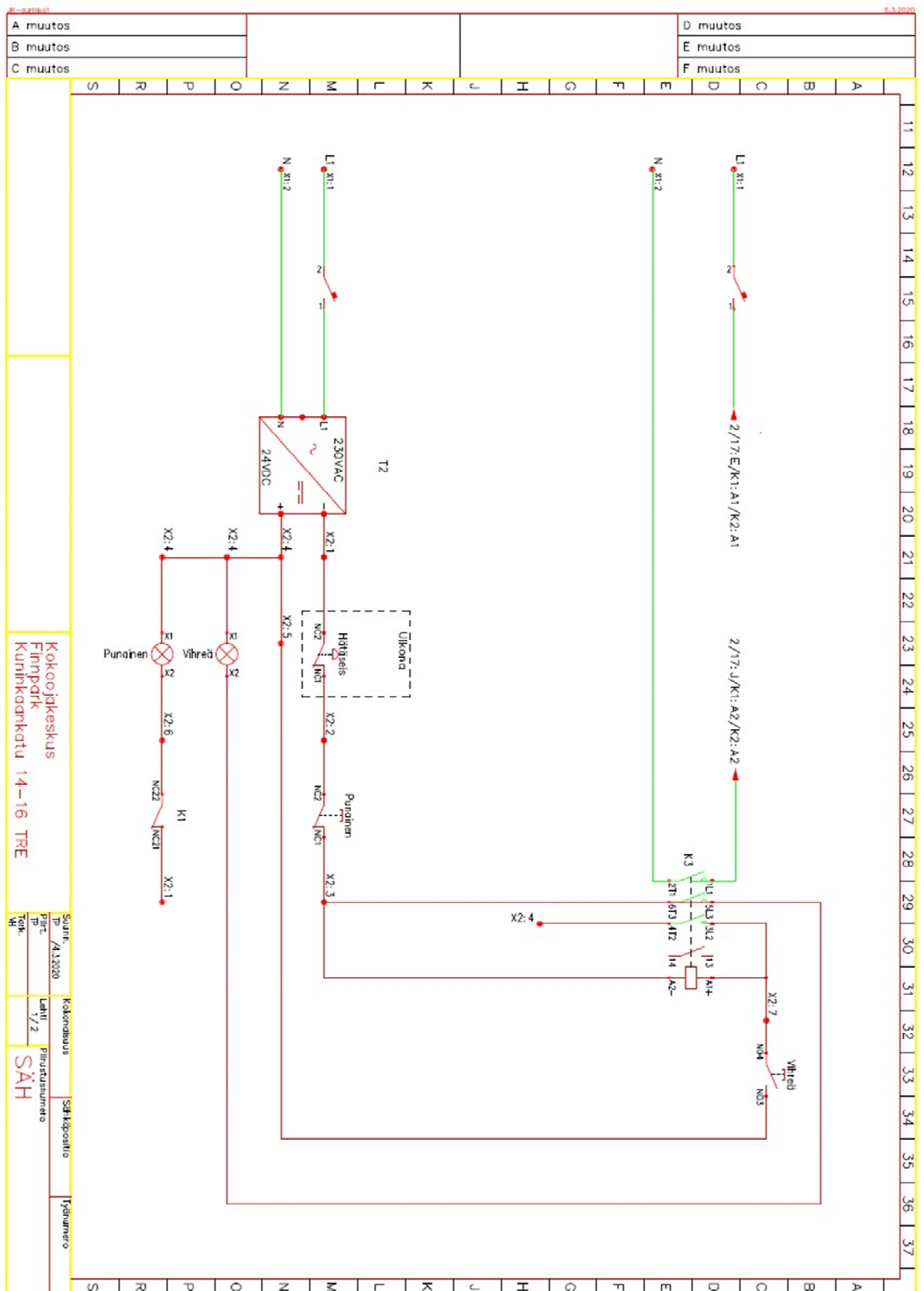
Condition Set												
Description	Tampere lumi mukana											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0455	0°C								
	East-West	-3.56	-0.075	3°C								
Soiling (%)	Carport	-3.56	-0.075	3°C								
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	45	25	15	2	2	2	2	2	2	2	15	25
	Irradiation Variance: 5%											
Cell Temperature Spread: 4° C												
Module Binning Range: -2.5% to 2.5%												
AC System Derate: 0.50%												
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	TSM-PE06H-285 (Trina Solar)	Folsom Labs	Spec Sheet Characterization, PAN									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	TS4-O (Tigo)	Folsom Labs	Default Characterization									
	Sunny HighPower Peak1 75-10 (SMA)	Folsom Labs	Default Characterization									

Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny HighPower Peak1 75-10 (SMA)	3 (225.0 kW)
AC Home Runs	95 mm2 (Aluminum)	3 (478.2 m)
Strings	6 mm2 (Copper)	39 (4,949.4 m)
Optimizers	TS4-O (Tigo)	819 (286.7 kW)
Module	Trina Solar, TSM-PE06H-285 (285W)	819 (233.4 kW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	12	19-22	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Alakatto	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	20°	170.975°	1.0 m	1x1	488	411	117.1 kW
Yläkatto	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	20°	170.975°	1.0 m	1x1	411	408	116.3 kW

Liite 2. Kokoojakeskuksen kytkentäkaavio sivu 1



Liite 3. Kokoojakeskuksen kytkentäkaavio sivu 2

