

AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Off-Grid-järjestelmän suunnittelu

Ylipoussu Tapani

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Sähkötekniikka
Insinööri (AMK)

2018

Tekniikka ja liikenne
Sähkö- ja Automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Tapani Ylipoussu	Vuosi	2018
Ohjaaja	Ins. Aila Petäjäjärvi		
Toimeksiantaja	Lapin AMK		
Työn nimi	Off-Grid- aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu		
Sivu- ja liitesivumäärä	55 + 7		

Opinnäytetyön aiheena oli esitellä looginen rakenne aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja erityisesti Off-Grid-järjestelmän mitoitus suunnitteluun helpottamaan paljon erilaisia muuttujia sisältävää järjestelmäsuunnittelua ja komponenttien valintaa. Työn tuloksena saatiin mitoitusohjeet ja esimerkkisuunnitelma avuksi vastaavien järjestelmien suunnitteluun.

Opinnäytetyön aluksi käsiteltiin niitä auringossa tapahtuvia prosesseja, jotka aiheuttavat sen maahan saapuvan säteilyenergian, jota voidaan käyttää hyväksi aurinkosähköjärjestelmissä. Tässä yhteydessä käsiteltiin myös auringosta tulevan säteilyenergian käyttäytyminen maan ilmakehässä ja maan pinnalla.

Aurinkosähköjärjestelmistä esiteltiin aluksi lyhyesti aurinkolämpösähkövoimalan periaate. Pääasiassa työssä keskityttiin aurinkosähköpaneelistoilla toteutettaviin järjestelmiin. Aluksi näistä järjestelmistä esiteltiin niihin liittyvät komponentit ja niiden mitoitusperiaatteet.

Opinnäytetyössä käytännön esimerkkinä oli vapaa-ajan asunnon suunnittelu Off-Grid- järjestelmän periaatteen mukaisesti. Koska kaikki kuormat valittiin AC(230 V)- kuormiksi, kohteeseen tehtiin myös normaali sähkösuunnittelu. Tässä yhteydessä käsiteltiin myös aurinkosähköjärjestelmien suunnitteluun ja asentamiseen liittyviä suojaus- ja turvallisuusvaatimuksia sekä järjestelmän käyttöönottoperiaatteet

Avainsanat

aurinkosähköjärjestelmät, aurinkosähköpaneeli, Off-Grid- järjestelmä.

Technology, Communication and Transport
Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Tapani Ylipoussu	Year	2018
Supervisor	Aila Petäjäjärvi, Bachelor of Engineering		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Designing the Off-Grid Solar Power System		
Number of pages	55 + 7		

The subject of the thesis was to present a logical structure for the design of photovoltaic systems, and in particular the dimensioning design of the Off-Grid system, to facilitate system design and component selection with a variety of variables.

First in the thesis, the solar processes were discussed that cause radiation energy arriving at the earth which can be used in photovoltaic systems. In this context, the behavior of radiation energy from the sun in Earth's atmosphere and on Earth was also discussed.

The principle of a solar thermal power plant was also briefly presented from the photovoltaic systems at the beginning. The main focus was on systems running on photovoltaic panels. First the components related to these systems and their dimensioning principles were presented.

In the thesis, a practical example was the design of a leisure home design in accordance with the principle of the Off-Grid system. Since all loads were selected as AC (230 V) loads, normal electrical design was also done. In this context, the protection and safety requirements for the design and installation of photovoltaic systems and the system implementation principles were also examined.

As a result of the work, the design instructions and an exemplary plan were provided to assist in the design of similar systems.

Key words photovoltaic systems, photovoltaic panels,
Off-Grid- system.

SISÄLLYS

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 ENERGIAA AURINGOSTA.....	9
3 AURINKOSÄHKÖ.....	11
3.1 Aurinkosähköjärjestelmätyypit	11
3.1.1 Aurinkolämpövoimalat (Concentrated Solar Power, CSP)	11
3.1.2 Aurinkosähköpaneelistot (Photovoltaic, PV).....	12
4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT.....	14
4.1 Aurinkokenno, valosähköinen ilmiö ja valosähköisen puolijohdekennon toimintaperiaate.....	14
4.2 Aurinkosähköpaneeleissa käytettävät kennotyypit.....	17
4.3 Aurinkosähköpaneelit.....	18
4.4 Aurinkopaneelin teho, energia ja hyötysuhde.	19
4.5 Aurinkopaneelin teknisiä ominaisuuksia	20
4.6 Aurinkopaneelin tehontuottoon vaikuttavia asioita	21
4.6.1 Kuorman vaikutus.....	21
4.6.2 Säteilyn voimakkuuden vaikutus	22
4.6.3 Lämpötilan vaikutus.....	23
4.6.4 Suuntauksen vaikutus	25
4.6.5 Varjostuksen vaikutus	27
4.7 Ohjaus/säätö yksikkö ja vaihtosuuntaaja (Invertteri).....	28
4.7.1 Vaihtosuuntaaja (Invertteri)	29
4.7.2 Lataussäädin.....	29
4.8 Akusto.....	30
4.9 Kaapeloinnit ja johtimet.....	31
4.9.1 DC-puolen kaapeloinnin vaatimukset	32
4.9.2 AC-puolen kaapelointi invertteriltä AC- ryhmäkeskukselle	33
4.9.3 Maadoitus.....	34
5 ESIMERKKIKOHTTEEN AC(230 V) SÄHKÖSUUNNITTELU.....	35
5.1 Suunnittelukohteen esittely ja suunnittelun periaatteet	35
5.2 Suunnittelun tuottamat dokumentit	36

6 MITOITUSPERIAATTEET OFF-GRID JÄRJESTELMÄSSÄ	37
6.1 Kuormituksen laskeminen esimerkkikohteessa.....	38
6.2 Komponenttien mitoittaminen	40
6.2.1 Vaihtosuuntaajan mitoittaminen	40
6.2.2 Paneeliston mitoittaminen	41
6.2.3 Akuston mitoittaminen	43
6.2.4 Johdotusten mitoittaminen valittuun järjestelmään.....	47
7 SUOJALAITTEIDEN VAATIMUKSET	49
8 JÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN JA KÄYTTÖÖNOTTO	51
8.1 Asentaminen.....	51
8.2 Käyttöönotto.....	51
9 POHDINTA.....	52
LÄHTEET	53
LIITTEET	54

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Amorfinen pii	Piin ei- kiteinen olomuoto jossa atomit ovat satunnaisessa järjestyksessä.
CdTe	Cadmiun Telluride (yhdiste).
CIGS	Kupari- Indium- Gallium- Diselenidi (yhdiste).
MPPT	Maximum Power Point Tracking, maksimitehopisteen seuraaja.
Off-Grid-järjestelmä	Verkosta irti oleva järjestelmä. Ns. saarekejärjestelmä.
PV	Photovoltaic, valo-/aurinkosähköinen.
PVGIS	Photovoltaic Geographical Information System. Euroopan komission ylläpitämä aurinkoenergian laskentaohjelma jolla pystyy tarkastelemaan asennuspaikan ja paneeliston ominaisuuksien perusteella syntyvän energiatuotannon määrää.
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio.
SC	Solar constant, Aurinkovakio. Aurinkosäteilyn energiatiheys maapallon ilmakehän uloimmalla rajalla olevaan, aurinkosäteilyä vastaan kohtisuorassa olevaan pintaan silloin, kun maapallo on keskietäisyydellä Auringosta. $E = 1367 \text{ W/m}^2$.
STC	Standard Test Conditions, standardoidut testiolosuhteet. Referenssiolosuhteet joissa valosähköisten kennojen ja aurinkopaneelien ominaisuuksia testataan.
W_p	Peak Watt, paneelin tai voimalan huipputeho STC olosuhteissa.
EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus.

ALKUSANAT

Haluan kiittää työni valvojaa sähkö- ja automaatiotekniikan lehtori Aila Petäjäjärveä innostavasta ja kannustavasta otteesta opiskelujen ja lopputyön tekemisen aikana. Kiitän myös Lapin ammattikorkeakoulua kiinnostavasta, opettavasta ja haastavasta lopputyön aiheesta.

Kuusamossa 24.4.2018

Tapani Ylipoussu

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä esitellään Off-Grid- aurinkosähköjärjestelmän mitoitus suunnittelun looginen rakenne. Ensin tutustutaan järjestelmän yleisimpiin komponentteihin sekä niiden mitoittamiseen. Suunnittelu esimerkkinä on vapaa-ajan asunnon suunnittelu Off-Grid-järjestelmän periaatteiden mukaisesti sekä järjestelmän valinta kohteeseen.

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Lapin AMK, jonka kautta kyseinen vapaa-ajan asunto on saatu suunnittelukohteeksi. Työn tuloksena ovat mitoitusohjeet ja esimerkkisuunnitelma avuksi vastaavien järjestelmien suunnitteluun.

Sähkön tuottamisesta auringon säteilyn avulla on tullut yhä suosittuun järjestelmien valmistajien lukumäärän kasvaessa sekä siitä johtuvan hintojen alenemisen seurauksena. Tekniikan kehitys, muun muassa hyötysuhteen paraneminen, houkuttelee omalta osaltaan aurinkosähkön käyttäjäksi.

Myös tietoisuus ilmastonmuutoksen vaikutuksista sekä halu vaikuttaa tähän kehitykseen on yksi aurinkosähkön suosiota lisäävistä tekijöistä. Joskus myöskään ei yksinkertaisesti ole muuta mahdollisuutta sähköistämiseen kuin aurinkosähkö, koska yleiseen sähköverkkoon liittyminen tulisi kohtuuttoman kalliiksi ja voi olla etäisyyksistä johtuen jopa käytännössä mahdotonta.

Tässä työssä tutustutaan aurinkosähköjärjestelmään, sen komponentteihin, suunnitteluun, asennukseen, käyttöönottoon sekä alan standardeihin, käsikirjoihin ja määräyksiin.

2 ENERGIAA AURINGOSTA

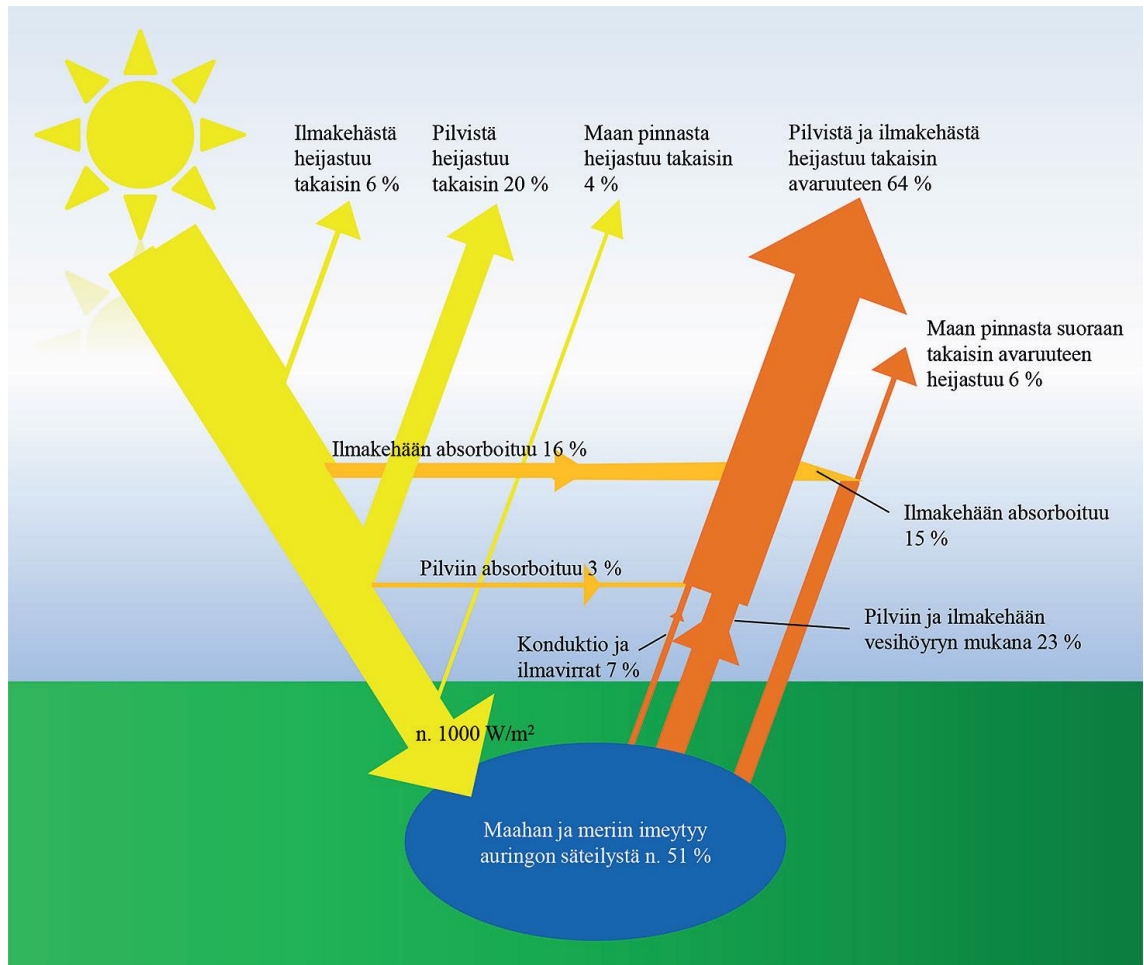
Aurinko on rakenteeltaan kaasupallo. Sen ulkokuori on pääosaltaan vetyä (75 %) ja heliumia (23 %). Energia, jota aurinko säteilee, on fuusioreaktion aiheuttama. (Tahkokorpi ym. 2016, 10.)

Fuusioreaktiossa, auringon ytimessä, kaksi vetyatomia yhdistyy heliumatomiksi ja tästä reaktiosta vapautuu suuri määrä energiaa. On laskettu että energiaa vapautuu 180 miljoonaa kilowattituntia fuusioprosessissa, jossa muodostuu 1 kg heliumia. Auringon sisällä vallitseva korkea noin 15 000 000 °C lämpötila mahdollistaa fuusioreaktion syntymisen. Tässä reaktiossa vapautuva energia tarkoittaa $3,8 \times 10^{23}$ kilowatin kokonaistehoa. Maapallolle osuu tästä $1,7 \times 10^{14}$ kilowattia. Vuoden 2016 kulutustietoihin verrattuna tämä on noin 8000 kertaa maapallolla kulutettu teho. (Tahkokorpi ym. 2016, 13.)

Teknisesti olisi mahdollista teoriassa käyttää auringon maapallolle tulevasta tehosta noin 438 000 terawattituntia/vuosi. Ihmiskunnan energian kulutus on noin 132 000 terawattituntia/vuosi. (Tahkokorpi ym. 2016, 13.)

Ilmakehän ulkopuolella kohtisuoraan säteilyä vastaan olevalle neliömetrin kokoiselle pinnalle tuleva aurinkosäteilyn teho on 1,35- 1,39 kilowattia. Tämä arvo kulkee nimellä aurinkovakio (SC) ja sen keskimääräinen arvo on noin 1,368 kW (vaihtelee välillä +/- 3,5 %). Kun säteily kulkee ilmakehän läpi, siitä on jäljellä noin 60 %. Ilmakehässä suodattumisen ja heijastumisen takia maanpinnalle siis saadaan noin 1 kW/m^2 säteilyteho. (Tahkokorpi ym. 2016, 11.)

Teoreettisesti Suomessa suoraan aurinkoon kohtisuorassa olevalle neliömetrin kokoiselle pinnalle saadaan Etelä-Suomessa noin 1100 kWh/a ja Keski-Suomessa noin 1000 kWh/a (Tahkokorpi ym. 2016, 12–14). Käytännössä säteilyarvojen keskiarvojen ollessa Etelä-Suomessa noin 980 kWh/a ja Pohjois-Suomessa noin 750 kWh/a (Lehto ym. 2017, 10).



Kuvio 1. Auringon säteilyenergian kulku ilmakehässä. (Lehto ym. 2017, 9)

Auringon säteilyenergia sisältää näkyvän aallonpituuden valonsäteitä, ultra-violettsäteitä sekä infrapuna- eli lämpösäteilyä. Auringon säteily voi olla suoraan auringosta pinnalle tulevaa säteilyä, ilmakehässä siroutunutta tai suuntaa muuttanutta hajasäteilyä tai maanpinnasta heijastunutta säteilyä. Kuviosta 1 käy ilmi miten auringon säteilyenergia käyttäytyy saapuessaan ilmakehään sekä lopulta maanpinnalle. (Tahkokorpi ym. 2016, 14.)

Aurinkoenergiaa hyödynnetään lähinnä aurinkolämpö- ja aurinkosähköjärjestelmissä. Tässä työssä käsitellään aurinkosähköjärjestelmiä.

3 AURINKOSÄHKÖ

3.1 Aurinkosähköjärjestelmät

Kun auringon säteilyenergia muutetaan sähköenergiaksi, puhutaan aurinkosähköjärjestelmistä. Toimintaperiaatteensa mukaan nämä voidaan jakaa kahteen päätyyppiin, jotka ovat aurinkolämpövoimalat ja aurinkosähköpaneelistot.

3.1.1 Aurinkolämpövoimalat (Concentrated Solar Power, CSP)

Auringon lämpösäteilyä hyödyntävät aurinkolämpövoimalat eli keskittävät aurinkolämpösähköjärjestelmät (CSP). CSP-voimalat ovat periaatteessa aurinkovoimaloita, joissa kuumennetaan nestesäiliön sisältöä lämpösäteilyä keskittävien peilien avulla. Nesteeseen siirtyneellä lämpöenergialla tuotetaan sähköä. Tämän tekniikan alan standardoimistyö on aloitettu vuonna 2011 ja on vielä kesken. (SESKO 2015, 5.)

Tähän saakka CSP-voimalat ovat olleet rakenteeltaan suurelle tasaiselle pinta-alalle (maalle) levitettyihin parabolisiin peileihin ja lämpöä sitoviin nestettä sisältäviin lasiputkiin perustuvia. Tämä ratkaisu on kallis muun muassa sen vaativan suuren pinta-alan takia. Yksi uusista ratkaisuista on niin sanottu aurinkotorni. Siinä aurinkotornia ympäröivät valtavat peilit keskittävät auringonvalon tornin huipulle, jossa muodostuu ylikriittistä höyryä turbiinin pyörittämiseen. Tässä ratkaisussa ei tarvita isoa maapinta-alaa. Myös höyryn lämpötila saadaan jopa 550°C:een, kun se perinteisemmissä järjestelmissä, lämmönsiirtonesteen ominaisuuksien takia, rajoittuu noin 400°C:een. (CO₂-raportti 2016.)

Ratkaistavana on ollut vielä lämmön eli energian varastointi, erityisesti aurinkotornin tapauksessa. Aurinkotornin sähköntuotanto nimittäin lakkaa korkean lämpötilan vaatimuksen vuoksi heti kun aurinko laskee. Tähän on kuitenkin kehitetty ratkaisua Gemasolar-hankkeessa, jossa lämmönsiirtoaineena käytetään natrium- ja kaliumnitraattisuolojen seosta. Tällaiseen kuumaan sulaan suolaliuokseen lämpö voidaan varastoida ja tällä periaatteella toimiva laitos voi tuottaa energiaa vielä 15 tunnin kuluttua auringonlaskun jälkeen. (CO₂-raportti 2016.)

3.1.2 Aurinkosähköpaneelistot (Photovoltaic, PV)

Aurinkosähköpaneelistoissa hyödynnetään auringon säteilyenergiasta UV (ultravioletti) - ja NIR (lähi-infrapuna) aallonpituuksien aluetta. Paneelien valosähköisissä kennoissa muutetaan fotonien energiaa sähköksi.

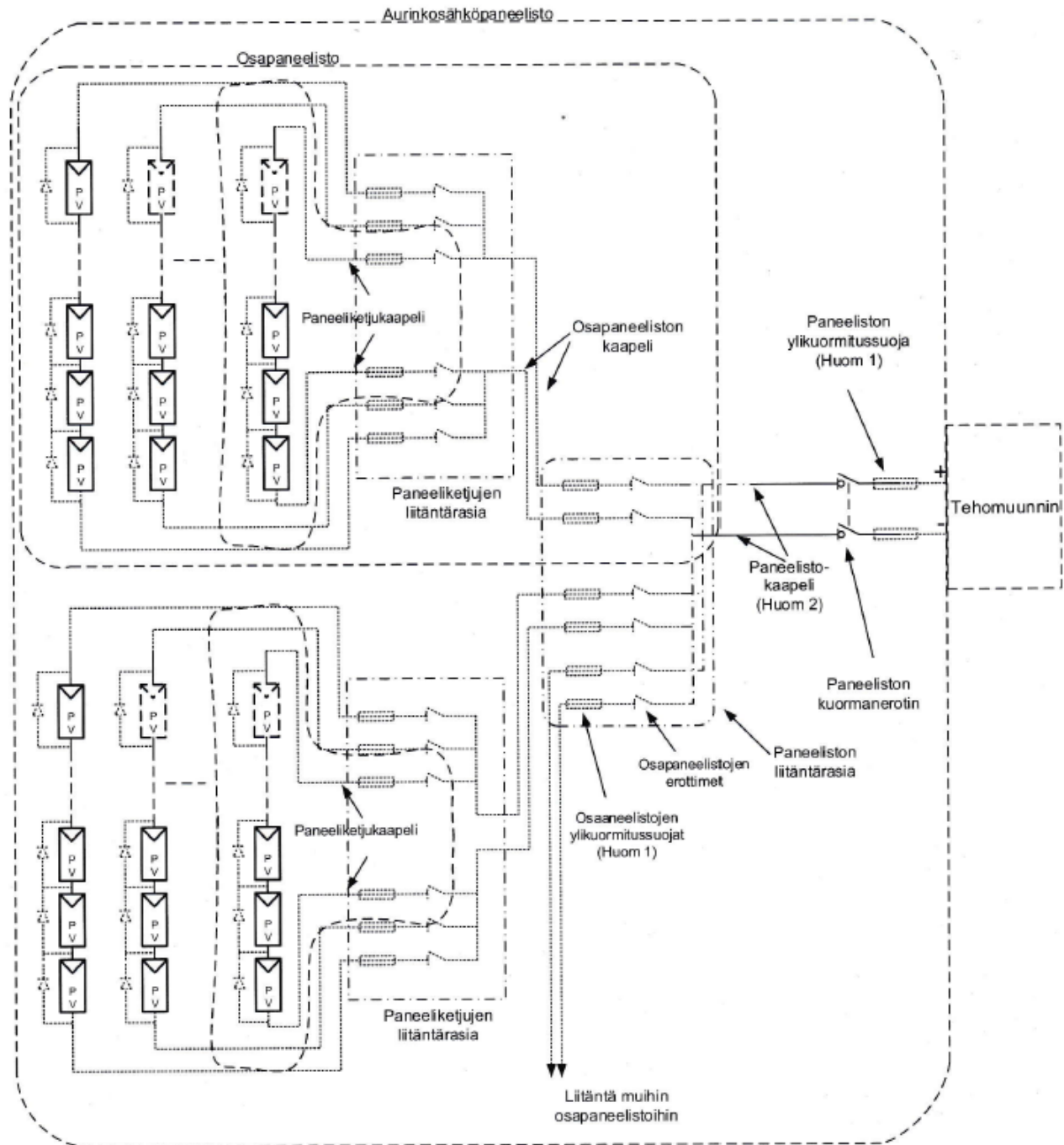
(Lehto ym. 2017, 9.)

Saatu sähköenergia siirretään käytettäväksi tasasähkökuormaan, varastoitavaksi esimerkiksi akkuihin tai käytettäväksi muuntimen, invertterin, kautta vaihtosähköverkossa. Tämän alueen standardeja on jo julkaistu useita ja niitä laaditaan IEC:n komiteassa IEC TC 82 Solar photovoltaic energy systems. (SESKO 2015, 5.)

Seuraavassa käsitellään aurinkosähköpaneeliston peruskäsitteitä:

- Valosähköisellä kennolla (PV cell) tarkoitetaan valosähköisellä ilmiöllä sähköenergiaa tuottavaa pienintä yksikköä. Puhekielessä kuulee valosähköisestä kennosta käytettävän usein nimitystä aurinkokenno.
- Aurinkosähköpaneeli (PV module) on yhteen kytkettyjä valosähköisiä kennoja sisältävä pienin ympäristöltä suojattu kokonaisuus.
- Paneeliketju (PV string) on yhden tai useamman sarjaan kytketyn aurinkosähköpaneelin muodostama virtapiiri.
- Osapaneelisto (PV sub array) on rinnankytkettyjen paneeliketjujen muodostama paneeliston osa, josta muodostuu yksi sähköinen kokoonpano.
- Aurinkosähköpaneelisto (PV array) on kokoonpano, joka muodostuu yhteen kytketyistä aurinkosähköpaneeleista, paneeliketjuista, sekä osapaneelistoista. (SESKO 2015, 6)

Kuviossa 2 on esitetty näiden termien suhdetta järjestelmään ja toisiinsa:



Kuvio 2. Aurinkosähköpaneeliston kaavio jossa useampi paneeliketju. (SESKO 2015, 5.)

4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

4.1 Aurinkokenno, valosähköinen ilmiö ja valosähköisen puolijohdekennon toimintaperiaate

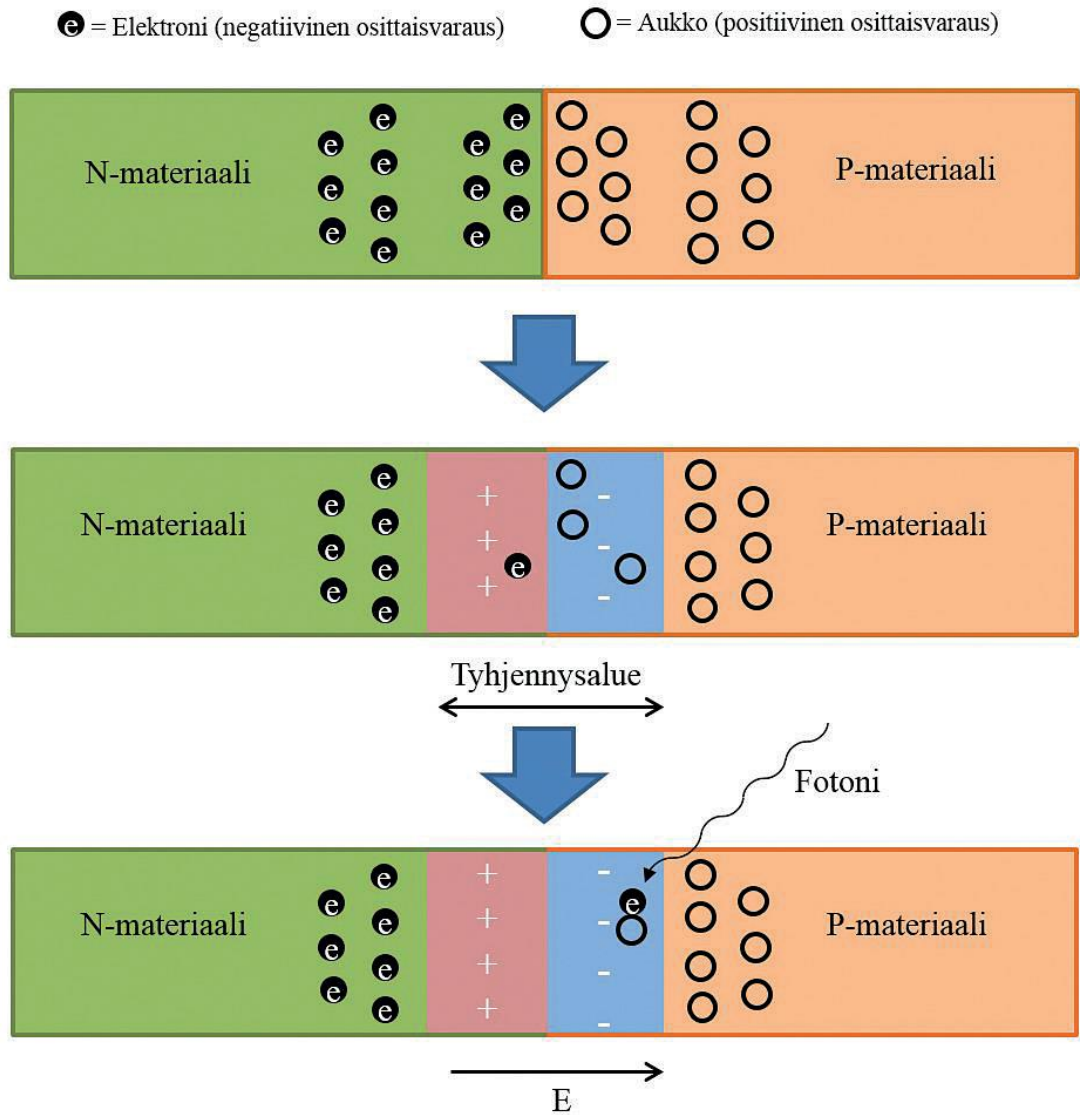
Valosähköisen puolijohdekennon, aurinkokennon, kyky tuottaa valosta sähköä perustuu puolijohdemateriaalien ominaisuuksiin. Valosähköisessä ilmiössä auringon säteilyn vaikutuksesta tuleva tarpeeksi suuri energisen fotonin energia irrottaa alkuaineesta, usein pii (Si), elektronin joka taas mahdollistaa sähkövirran tuottamisen aurinkosähköpaneelissa. (Suntekno Oy)

Puolijohteita täytyy kuitenkin seostaa sopivilla ainesosilla, jotta materiaaliin saadaan ylimääräisiä varauksenkuljettajia paremman johtavuuden aikaansaamiseksi kuin pelkällä puolijohdeella. Seostusaineesta riippuen voidaan saada aikaiseksi joko negatiivisen varauksen (sisältää negatiivisia varauksen kuljettajia eli elektroneja) omaavaa N-materiaalia, tai positiivisen varauksen omaavaa P-materiaalia (sisältää positiivisia varauksen kuljettajia eli aukkoja). Seostusaineet voivat olla muun muassa fosforia (negatiivinen seos) ja alumiinia (positiivinen seos). (Perälä 2017, 33.)

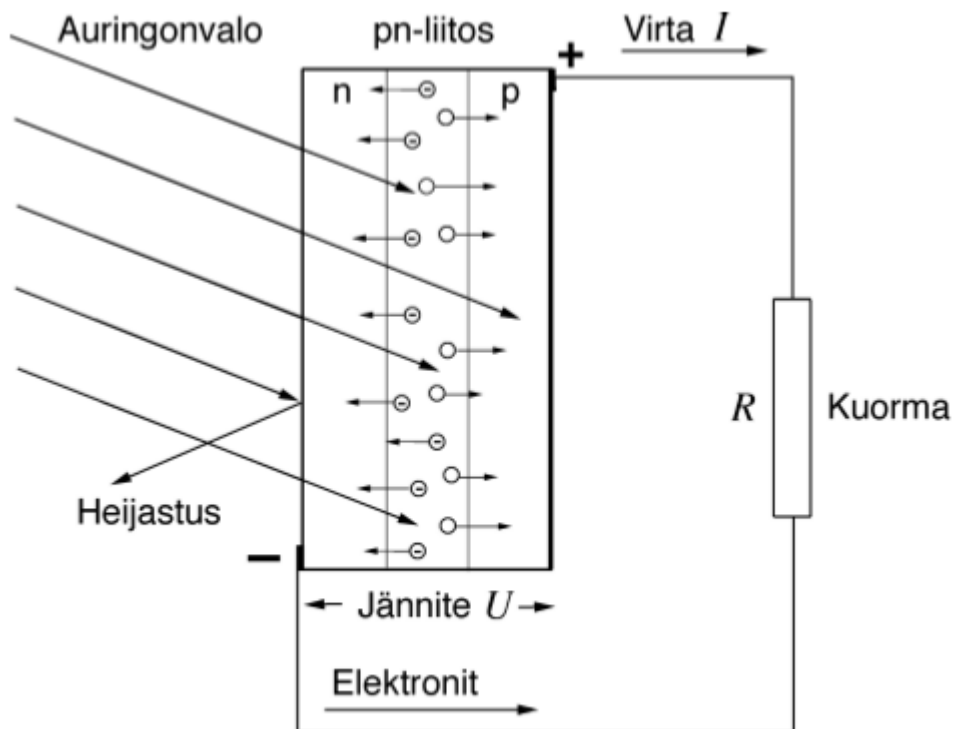
Vierekkäin laitetut N-aine ja P-aine muodostavat P-N liitoksen, jossa sekä elektronit että aukot voivat kulkea vapaasti materiaalista toiseen ja yhdistyä. Tällöin lähelle P-N-liitosta syntyy tyhjennysalue, jossa varauksenkantajien yhdistymisen takia ei ole enää vapaita varauksenkantajia, jolloin N-aineen puolelle liitospintaan muodostuu positiivinen varaus, ja vastaavasti P-aineen puolelle negatiivinen varaus. Tyhjennysalueelle muodostuu näin ollen materiaalin sisäinen sähkökenttä. (Perälä 2017, 35.)

Tyhjennysalueella fotonin virittäessä ja vapauttaessa elektronin syntyy uusi elektroni-aukko pari. Sisäisen sähkökentän vaikutuksesta, ja kun kennoihin lisätään kontaktit ja kuorma, niin virtapiirin syntyessä vapaat elektronit liikkuvat P-puolelle yhdistyäkseen aukkojen kanssa ja muodostavat sähkövirran.

Seuraavassa kuvioissa 3 ja 4 havainnollistetaan edellä selostettua ilmiötä.



Kuvio 3. P-N-liitos vaiheittain. (Lehto ym. 2017, 11.)



Kuvio 4. Valosähköisen kennon (Photovoltaic cell) toimintaperiaate.
(Suntekno Oy)

Kennot pyritään suunnittelemaan niin, että suurin osa säteilystä kohdistuu tyhjennysalueelle, jossa elektroni ja aukko eivät pääse yhdistymään sisäisen sähkökentän vaikutuksesta. Jos virittyminen tapahtuisi kaukana tyhjennysalueesta, elektroni ja aukko yhdistyisivät, jolloin elektronista ei tulisi virran mahdollistavaa varauksen kuljettajaa. (Suntekno Oy)

4.2 Aurinkosähköpaneelissa käytettävät kennotyypit

Suurimmaksi osaksi käytännön sovelluksissa käytettävät kennotyypit ovat yksi- ja monikiteiset piikennot, ohutkalvotekniikassa käytettävät amorfinen pii, CIGS - (kupari-indium-gallium-diselenidi – yhdiste) ja CdTe (Cadmium Telluride) – kennot. (Lehto ym. 2017, 12.)

Tulevaisuudessa yleistyvät myös orgaaniset ja väriaineherkistetyt kennot, kunhan niiden valmistuskustannukset ja materiaalien turvallisuus (nykyisin käytetään elektrodimateriaalina myrkyllistä indiumia) tulevat kilpailukykyiseksi perinteisiin tekniikoihin nähden. Taulukossa 1. on vertailtu eri kennotyyppien ominaisuuksia.

Taulukko 1. Aurinkokennotyyppien vertailua. (Lehto ym. 2017,12.)

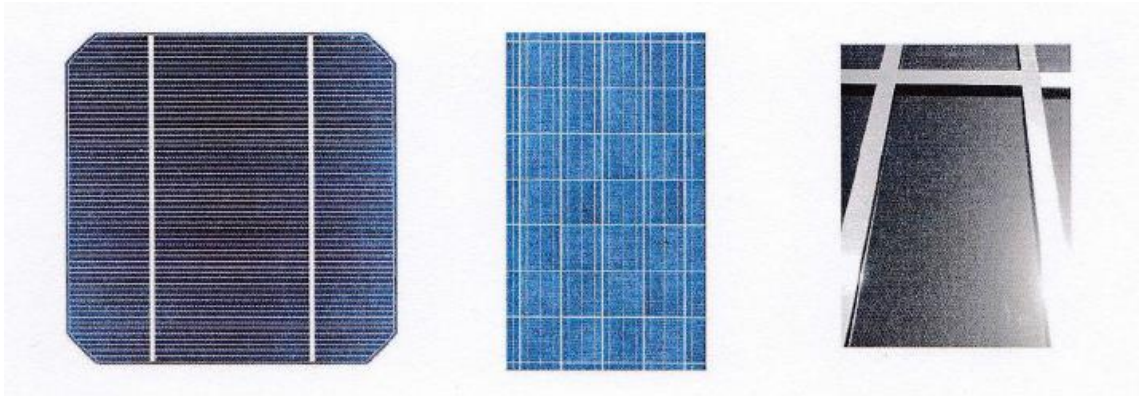
Ominaisuudet	Kiteinen pii		Ohutkalvo			Orgaaninen
	Monikiteinen	Yksikiteinen	Amorfinen pii	CIS/CIGS	CdTe	
Hyötysuhde (%)	13–16 %	15–20 %	5–10 %	7–16 %	7–16 %	3–5 %
Lämpötilan vaikutus (STC) tehoon (% / +1 °C)	-0,42	-0,40	-0,1...-0,3	-0,35...-0,40	-0,25...-0,36	...
Mekaaninen kestävyys	hauras	hauras	joustava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

Laboratorio-olosuhteissa on saavutettu huomattavasti korkeampiakin hyötysuhteita. Muun muassa ohutkalvotekniikkaan perustuvilla kennoilla jo vuonna 2016 hyötysuhteeksi saatiin jopa 22,3 %.

Myös uusilla orgaanisilla kennoilla on monia sellaisia ominaisuuksia jotka tekevät niistä tulevaisuudessa entistä mielenkiintoisempia. Niitä voidaan muun muassa valmistaa täysin läpinäkyviksi, erivärisiksi ja ne soveltuvat käytettäväksi myös taipuisille pinnoille. Tällaisia kennoja käytetäänkin jo esimerkiksi ikkuna-moduuleissa.

Mutta kuten vertailusta voidaan päätellä ominaisuuksien puolesta pitää yksikiteinen pii vielä toistaiseksi pintansa.

4.3 Aurinkosähköpaneelit



Kuva 1. Erilaisilla kennotyypeillä toteutettuja paneeleita.
(Lehto ym. 2017,12.)

Kuvassa 1 selviää kuinka eri paneelityypit voi erottaa ulkonäönkin perusteella. Vasemmalla on tasalaatuisen näköinen yksikiteinen paneeli. Keskellä monikiteinen paneeli, joka on tyypillisesti rakenteeltaan sekä sävyltään epätasainen. Oikealla on tummasävyisempi ohutkalvopaneeli.

(Lehto ym. 2017,12.)

Yksittäisen valosähköisen kennon eli aurinkokennon jännite on noin 0,5-0,6V. Aurinkopaneeleissa kennoja kytketään sarjaan, jotta saadaan aikaan käytännössä sopiva jännite esimerkiksi akkujen lataamista varten. Jos halutaan esimerkiksi 12 V akkujen lataamista varten sopiva jännite, kennoja on kytkettävä sarjaan 36 kappaletta.

4.4 Aurinkopaneelin teho, energia ja hyötysuhde.

Aurinkopaneeli tuottaa tehon kaavan $P=UI$ mukaan. (1)

Missä

P	on	teho (W)
U	on	jännite (V)
I	on	Virta (A)

Paneelien nimellistehot ilmoitetaan termillä Wp (Watt peak, yleensä 200–330 Wp) ja standardiolosuhteissa (STC = Standard Test Conditions) jotta niitä olisi helpompi verrata keskenään.

Nämä olosuhteet ovat:

- Auringon säteilyn voimakkuus 1000 W/m^2 , joka vastaa säteilyä kohtisuoraan maanpinnalle hyvissä olosuhteissa.
- Paneelin lämpötila $+ 25 \text{ }^\circ\text{C}$. Tämä vastaa noin $-5 \text{ }^\circ\text{C} \dots +5 \text{ }^\circ\text{C}$ ympäristön lämpötilaa
- Auringon spektri tulee olla tietynlainen. Tällainen spektri syntyy säteilyn kulkiessa ilmakehässä matkan joka on 1,5 kertaa ilmakehän paksuus.

Aurinkopaneelin teho voi kuitenkin olla tätä STC-olosuhteissa ilmoitettua tehoa suurempikin. Esimerkiksi Suomessa kevättalvena hangesta tulevien heijastuksien ja alhaisemman lämpötilan vuoksi.

Tästä lasketun tehon avulla saadaan tuotettu energia kertomalla se ajalla:

$$E = Pt \text{ (Wh tai kWh)} \quad (2)$$

Aurinkopaneelin hyötysuhde η (%):

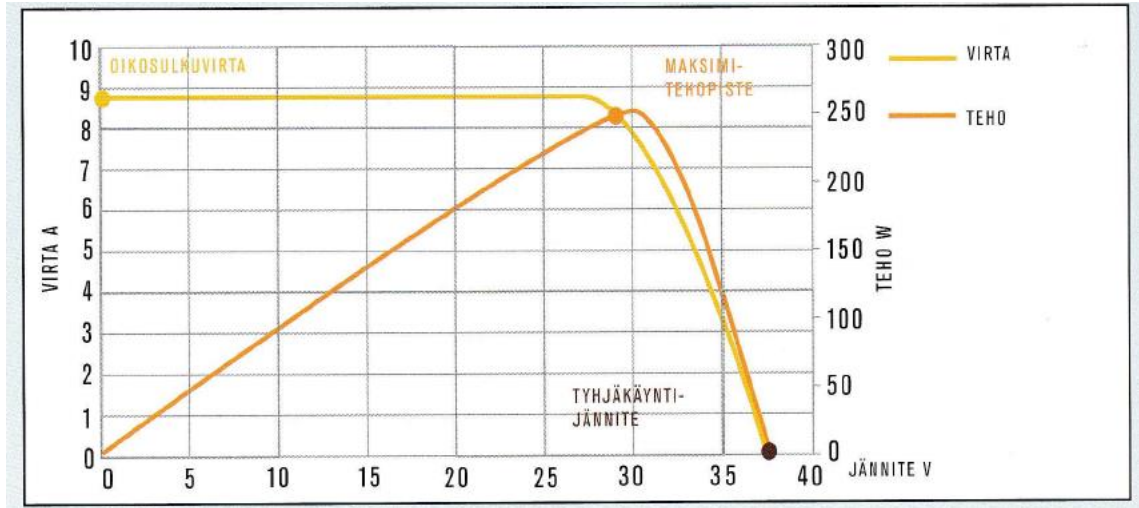
$$\eta = \frac{P}{S_A} \times 100\% \quad (3)$$

missä

P	on	paneelin teho (W)
S	on	aurinkosäteilyn voimakkuus (W/m^2)
A	on	paneelin pinta-ala. (m^2)

4.5 Aurinkopaneelin teknisiä ominaisuuksia

Aurinkopaneelin ominaiskäyrältä voidaan lukea paneelin toiminta -jännite ja –virta.



Kuvio 5. Aurinkopaneelin ominaiskäyrän periaatekuva. (Tahkokorpi ym. 2016, 138.)

Olenaisia asioita ominaiskäyrällä ovat:

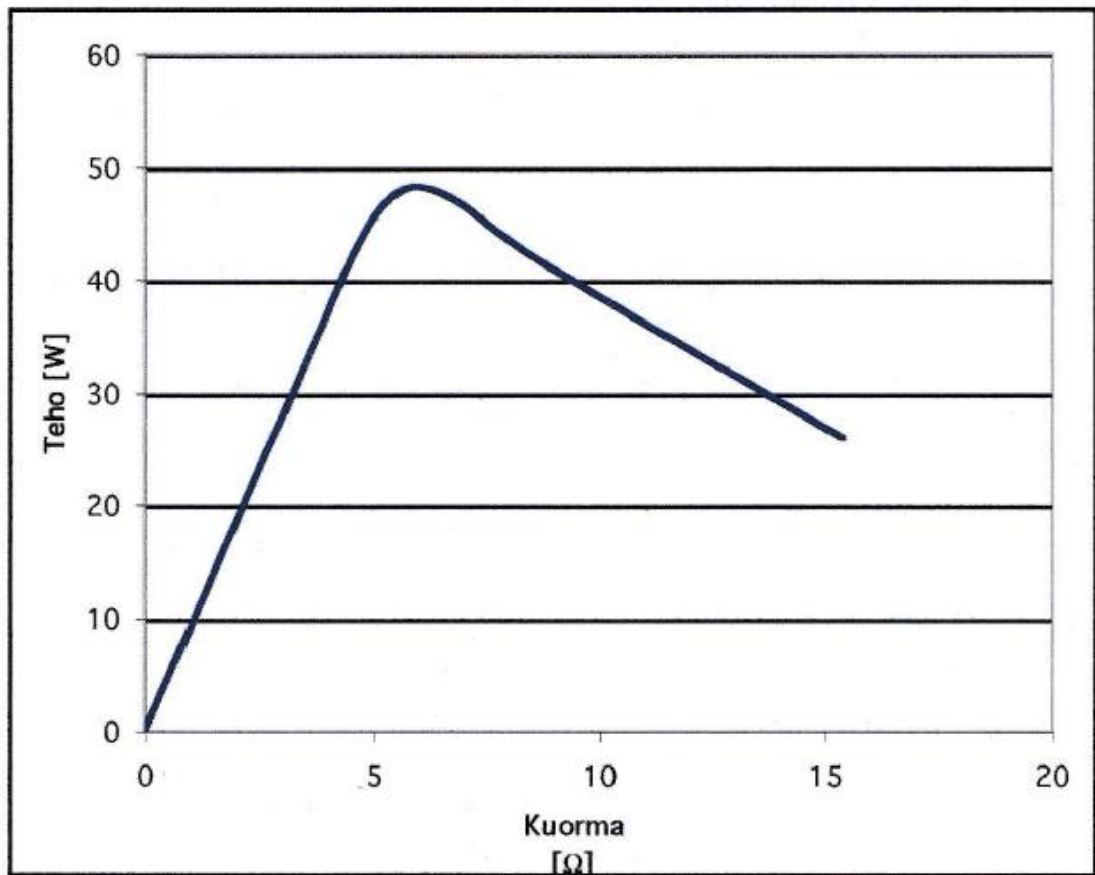
- Tyhjäkäyntijännite = paneelin jännite ilman kuormaa.
- Oikosulkuvirta = virta, jonka paneeli pystyy tuottamaan sen navat kytkettyinä oikosulkuun.
- Maksimitehopiste = piste jossa tietyillä jännitteen ja virran arvoilla saadaan suurin teho. Tähän vaikuttaa myös sen hetkiset käyttöolosuhteet.

Aurinkopaneelin ominaiskäyrästä (Kuvio 5) voidaan havaita, että maksimitehopiste saadaan oikosulkuvirran ja tehokäyrän leikkauspisteestä hieman alle 30 V jännitteellä. (Tahkokorpi ym. 2016, 138.)

4.6 Aurinkopaneelin tehontuottoon vaikuttavia asioita

Paneelin tehontuottoon vaikuttaa muun muassa aurinkosähköpiirin kuorma, säteilyn voimakkuus, lämpötila, paneelin suuntaus sekä mahdollinen varjostus.

4.6.1 Kuorman vaikutus

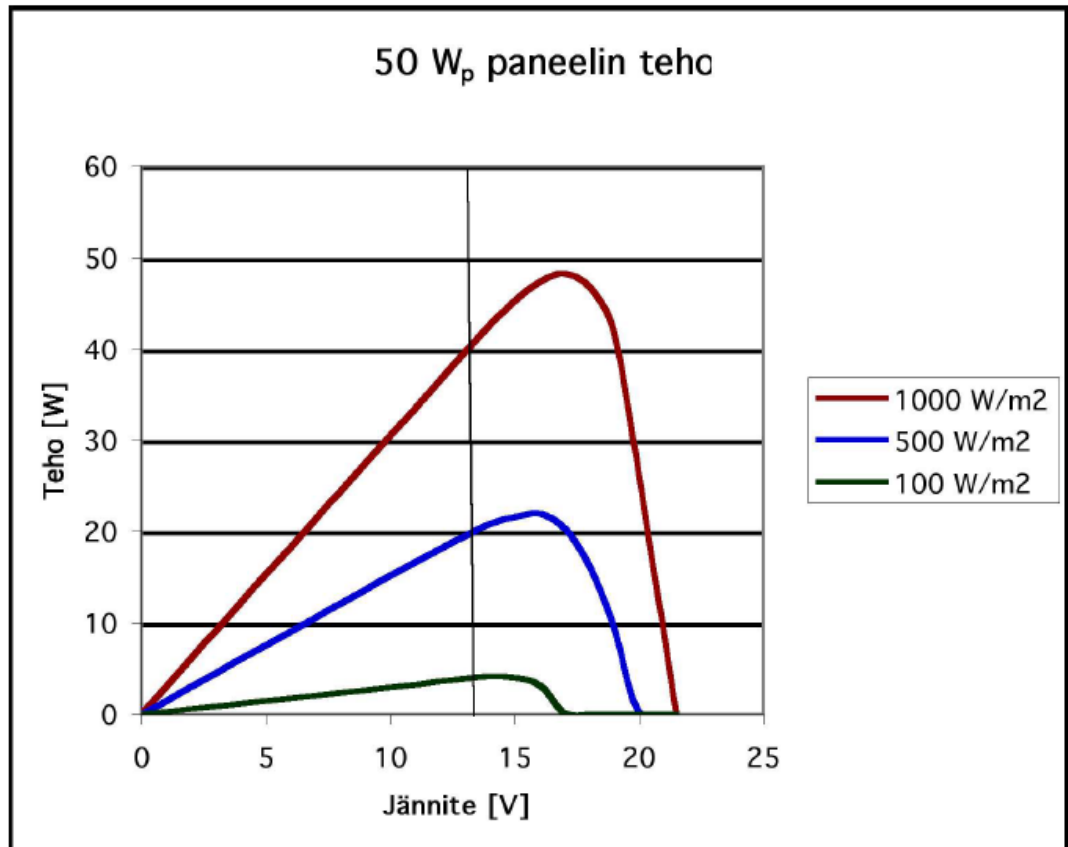


Kuvio 6. Kuorman vaikutus paneelin tehoon. (Suntekno Oy)

Kuviossa 6 on esimerkkinä 50 Wp aurinkopaneeli kun auringon säteilyn voimakkuus on 1000 W/m^2 .

Kuorma määrää paneelin jännitteen ja tässä tapauksessa kuviosta 6 voidaan lukea, että suurin teho saadaan kun kuorman resistanssi on noin 6Ω . Parhaan toimintapisteen paikka kuitenkin muuttuu herkästi, koska käyrän huippu on terävä, lämpötilan sekä auringon säteilyn voimakkuuden muuttuessa.

4.6.2 Säteilyn voimakkuuden vaikutus



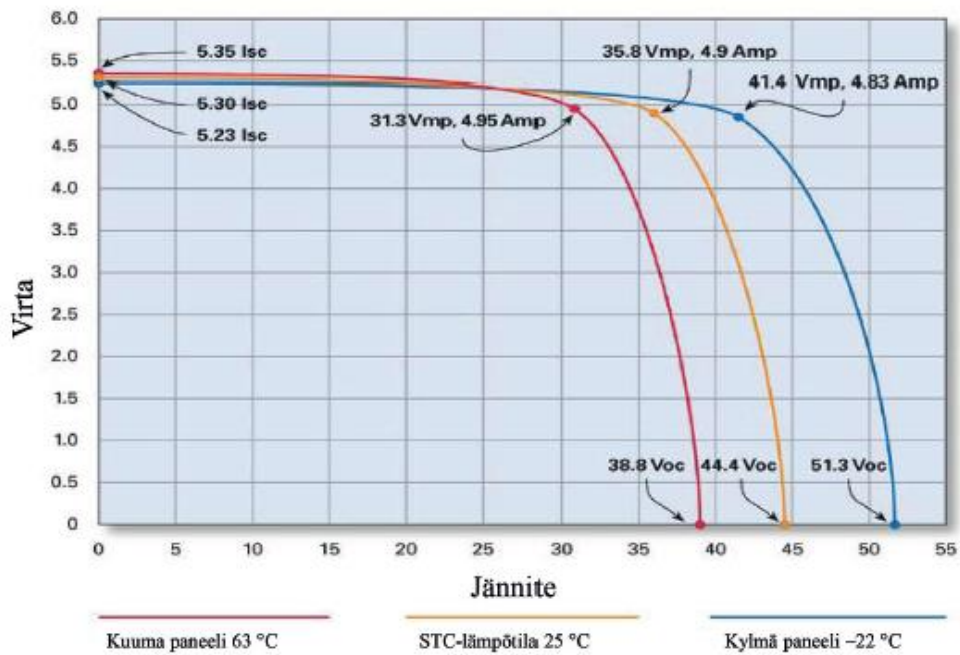
Kuvio 7. Auringon säteilyn voimakkuuden vaikutus paneelin tehon tuottoon.
(Suntekno Oy)

Kuviosta 7 voidaan todeta että aurinkopaneelin tuottama teho on riippuvainen myös järjestelmän/kuorman jännitteestä. Tässä on esimerkkinä akkujen lataamisessa käytettävä latausjännite 13 V.

Koska latausjännite/akun napajännite määrää myös paneelin jännitteen, maksimitehopistettä ei voida saavuttaa. Tässä tapauksessa paneeli pystyisi tuottamaan 15 % enemmän energiaa kuin voidaan hyödyntää.

4.6.3 Lämpötilan vaikutus

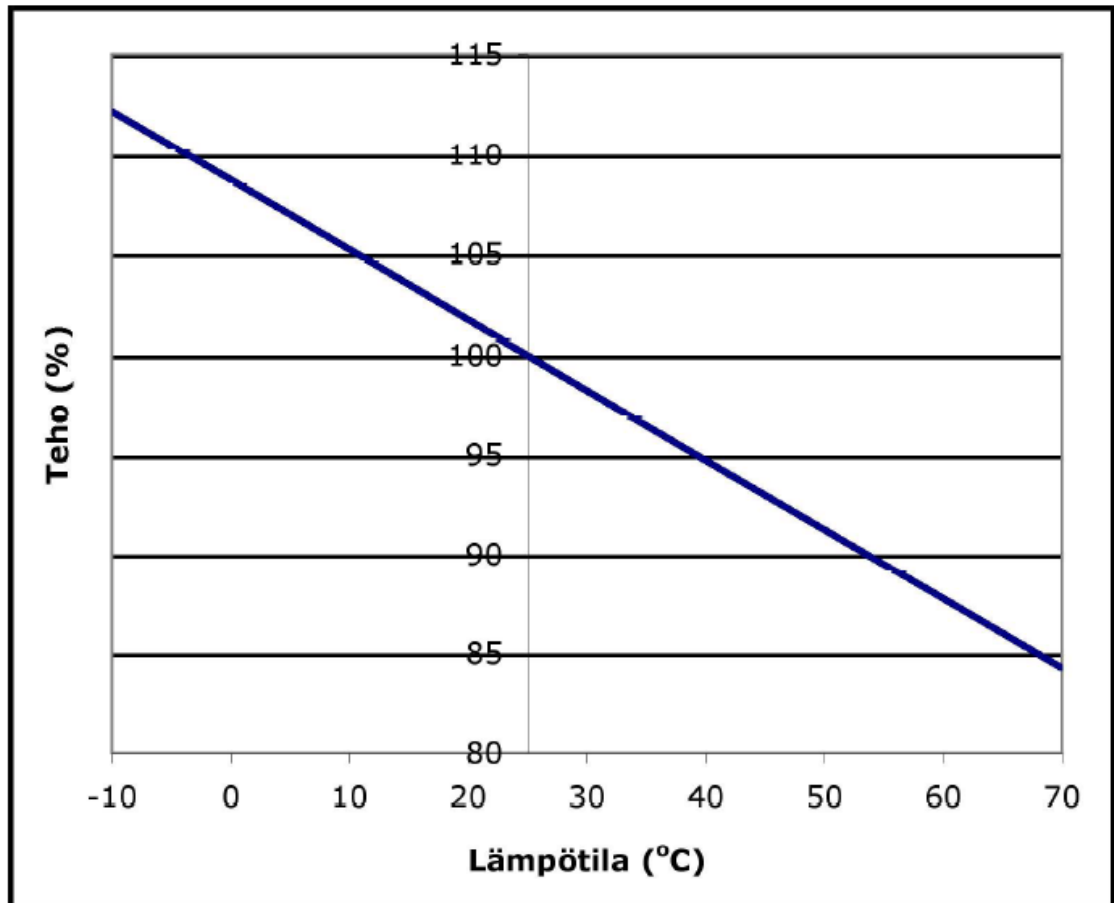
Kuviosta 8 käy selville miten STC-lämpötilaa suuremmilla lämpötiloilla teho laskee noin 0,4 % / 1 °C, ja vastaavasti kasvaa samassa suhteessa STC-lämpötilaa pienemmillä lämpötiloilla. Riippuen paneelin rakenteesta kennon ympäristön lämpötila voi nousta jopa 20–30 astetta ulkoilman lämpötilaa korkeammaksi. Pohjois-Suomessa kylmässä ilmastossa tästä on jonkin verran etua.



Kuvio 8. Kuvassa on aurinkopaneelin virta- jännitekäyrät vertailtuna STC – lämpötilaa kylmempänä ja kuumempana. (Lehto ym. 2017,25.)

Seuraavassa on kuvattu suoraan lämpötilan ja tehon suhde.

Kuvio 9 havainnollistaa suoraviivaisesti lämpötilan vaikutusta aurinkopaneelin tehontuottoon. Tässä tehon lämpötilakerroin on $-0,35\% / ^\circ\text{C}$. (Suntekno Oy)



Kuvio 9. Lämpötilan vaikutus aurinkopaneelin tehoon. (Suntekno Oy)

4.6.4 Suuntauksen vaikutus

Aurinkopaneelien suuntaamisessa puhuttaessa 0 astetta tarkoittaa etelää ja (–) asteet itään päin ja (+) asteet länteen. Kallistuksista puhuttaessa 0-astetta tarkoittaa makaavaa paneelia ja 90-astetta täysin pystysuorassa olevaa paneelia.

Kallistuksella on merkitystä vuosituotannon jakautumiseen ja se vaikuttaa merkittävästi heikentävästi vasta kun paneelit ovat ikkunan 30° - 60° ulkopuolella. Kuitenkin jos on tärkeämpää saada huipputuotto, esimerkiksi kesän muutamalle viikolle, paneelit kannattaa asentaa melkein vaakatasoon. Talvella pohjoisessa paras tuotto saadaan kun paneelit ovat melkein pystyssä matalalle nousevan auringon takia. (Lehto ym. 2017,20.)

Koska noin 50 % auringon säteilystä on hajasäteilyä, kovin tarkalla paneelin suuntauksella ei ole kovin paljon merkitystä, ja pilvisenä päivänä auringon säteilystä hajasäteilyä on 100 %. Kuitenkin haluttaessa maksimoida suora säteily, optimikulma on Suomessa 30–40°. (Suntekno Oy).

Haluttaessa laskea erikulmissa saapuvan auringonsäteilyn teho, sille on yhtälö:

$$P_s = SA \cos\alpha \quad (4)$$

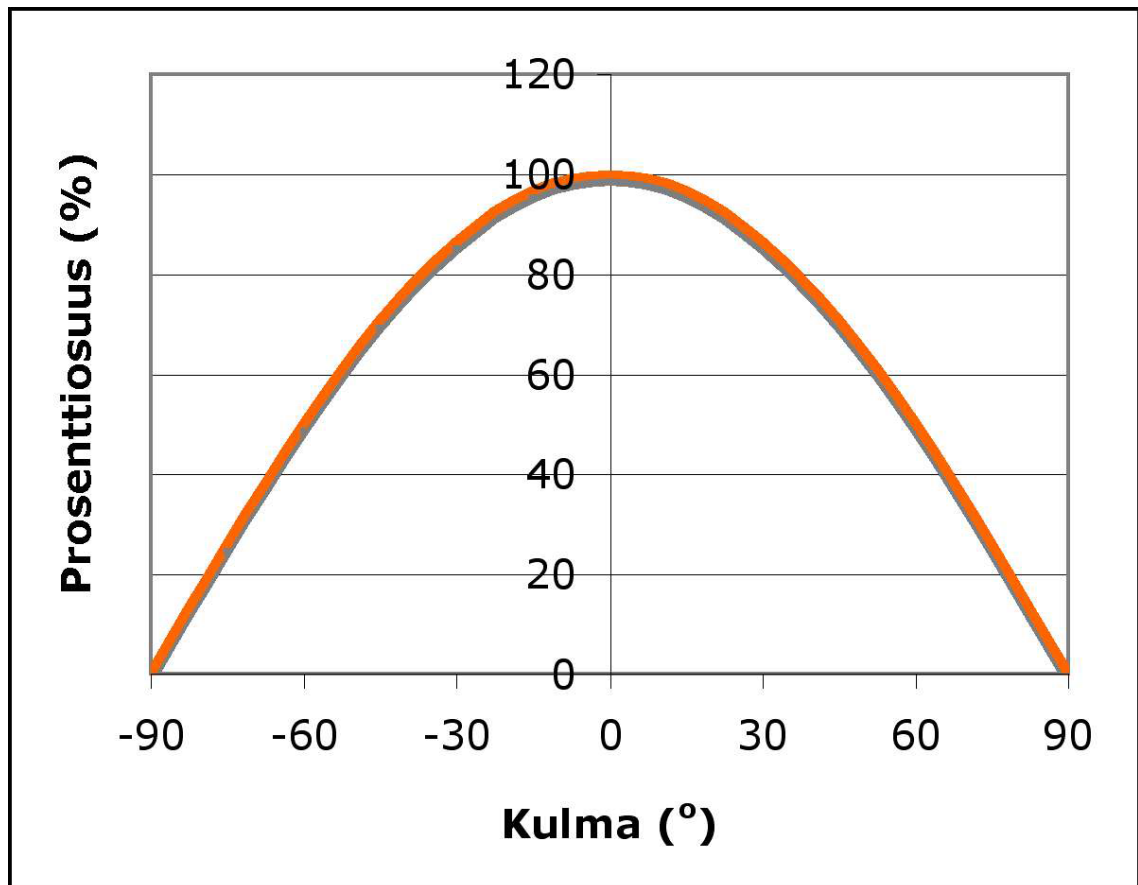
missä

S	on	Auringon säteilyn voimakkuus (W/m ²)
A	on	paneelin pinta-ala (m ²)
α	on	paneelin normaalin ja auringon säteiden välinen kulma

eli säteilyteho on silloin suurin kun $\alpha = 0$.

Kuviossa 10 on esitetty kaavaan perustuva tehon muuttuminen säteilyn tulokulman muuttuessa nolasta + ja – 90 asteeseen. Pitää kuitenkin huomioida että tässä on otettu huomioon vain vaakasuunnassa muuttuva kohtaamiskulma.

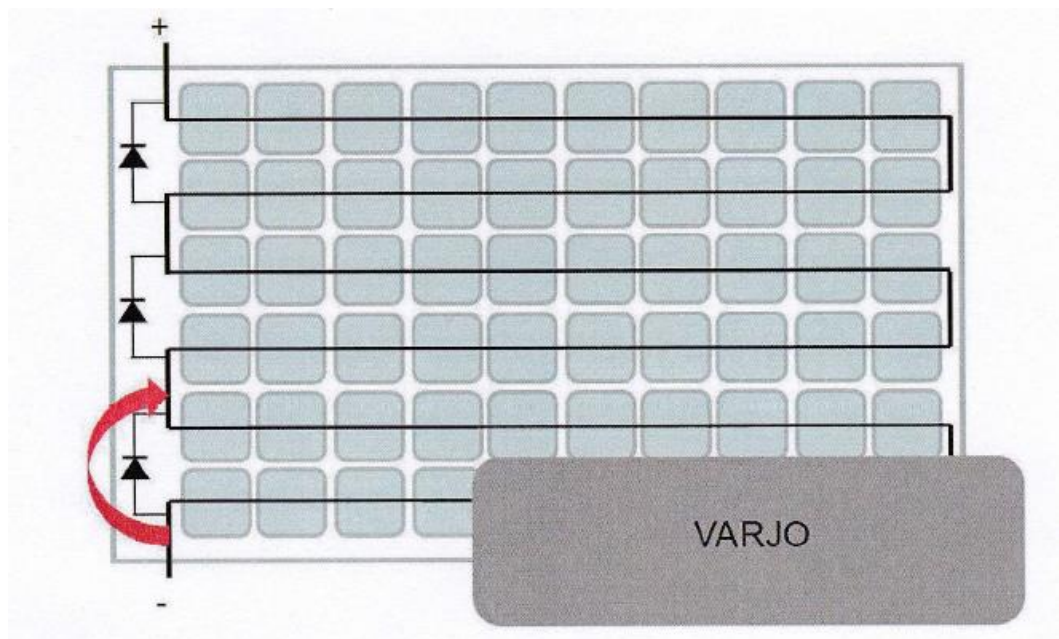
Suuntauksen tarkastelussa ja optimoinnissa on otettava tarkasteluun myös pysyysuuntainen kulma. Tällöin kaavassa oleva $\cos\alpha$ kulmat pitää kertoa keskenään jotta saadaan oikea kerroin säteilyn ja paneelin pinta-alan tulolle, ja näin ollen paneelin pinnalle tuleva teho voidaan laskea oikein.



Kuvio 10. Säteilyn tulokulman vaikutus aurinkopaneelin tehoon. (Suntekno Oy)

4.6.5 Varjostuksen vaikutus

Sarjaan kytkemisen haittapuolena on kennojen tuottaman virran määräytyminen heikoimmin virtaa tuottavan kennon mukaan, jolloin esimerkiksi varjostus jossakin paneelin osassa vaikuttaa ratkaisevasti koko paneelin virrantuottoon. Riippuu varjostuksen suunnasta kuinka monta kennoketjua sen takia sammuu. Kuvio 11 nähdään miten kennoketjuissa olevilla ohitusdioidien avulla voidaan saada ainakin osa paneelista vielä toimimaan.



Kuvio 11. Paneelin sisäinen kytkentäperiaate sekä varjostuksen vaikutus ohitusdiodin toimintaan. (Lehto ym. 2017,21.)

Ohitusdiodin idea perustuu jännite-eron kasvamiseen varjostuksen alla olevassa virtapiirissä osassa. Kun jännite-ero kasvaa yli diodin kynnysjännitteen, se tulee johtavaksi ja virtapiiri sulkeutuu sen kautta mahdollistaen osassa paneelia tehontuoton jatkumisen.

4.7 Ohjaus/säätö yksikkö ja vaihtosuuntaaja (Invertteri)

Termillä Invertteri tarkoitetaan aurinkosähköjärjestelmissä kokonaisuutta johon aurinkopaneelit kytketään ja joka voi sisältää muun muassa vaihtosuuntaajan, akuston lataussäätimen, erilaisia suoja- ja kytkin/erotuslaitteita.

Alun perin sana invertteri on tarkoittanut pelkkää vaihtosuuntaajaa ja se on saanut puhekielessä sekä ammattislangissa tapauskohtaisesti erilaisia merkityksiä. Off-Grid- järjestelmissä invertterikokonaisuus sisältää tyypillisesti vaihtosuuntaajan sekä lataus/akkusäätimen. Nämä voivat olla myös integroitu yhteen ja samaan yksikköön.



Kuva 2. Kaksi erityyppistä invertterikokonaisuutta. (Lehto ym. 2017,21.)

Kuvassa 2 oikealla on verkkoon liitettävän järjestelmän invertteri/säätöyksikkö. Vasemmalla on tyypillinen Off-Grid-järjestelmän erillislaitteet, joista nykyään on myös saatavana yksi integroitu kokonaisuus. (Lehto ym. 2017,21.)

4.7.1 Vaihtosuuntaaja (Invertteri)

Vaihtosuuntaaja muuttaa akustosta tulevan tasajännitteen 230 V vaihtojännitteeksi. Vaihtosuuntaaja kytketään siis aurinkopaneelipiirin säätimen/ akuston ja tarkoituksenmukaisen kuorman väliin.

4.7.2 Lataussäädin

Jos järjestelmässä on akusto, lataussäädin asennetaan akuston ja aurinkopaneelien väliin. Lataussäädin tarkkailee akun varaustilaa mittaamalla ja rajoittamalla akun latausvirtaa akun täytyessä sekä estämällä akun ylipurkautumisen irrottamalla kuorman akun tyhjentäessä. Jos järjestelmään kuuluu varavoimageraattori, jotkin säätimet voivat ohjata sitä akun varaustilan mukaan.

Säädintyyppinä on periaatteessa kolme erilaista:

- On/off säädin mittaa akun jännitettä ja kytkee tai katkaisee paneeleilta tulevan jännitteen akun varaustilan mukaan. Tällä säädintyyppillä saadaan kaikkein karkein säätö.
- PWM (Pulse Width Modulation) säädin pyrkii pitämään akun varaustilan mahdollisimman korkealla kytkemällä tulojännitettä jatkuvasti pois ja päälle optimisella latausjännitetasolla.
- MPPT (Maximum power point tracking) eli maksimitehospisteen seuraaja. MPPT- säädin pyrkii säätämään paneelien ulostulojännitettä siten että se toimisi mahdollisimman paljon maksimitehospisteessään, jolloin paneelistä saadaan paras hyötysuhde.

Nykyisin käytössä olevat säätimet ovat yleensä joko PWM tai MPPT säätimiä ja niissä on automaattinen valinta 12 V tai 24 V jännitteille. Muista säätimien ominaisuuksista voitaisiin mainita erilaiset elektroniset suojaukset jakeluille, indikointi ja näytöt akuston varaustilalle, virralle ja jännitteelle, paneeliston virran näyttö, kaapelin jännitehäviökorjaus, akkutyyppin valinta sekä latausjännitteen lämpötilakorjaus. (Lehto ym. 2017,55.)

4.8 Akusto

Aurinkosähköjärjestelmissä jotka on toteutettu Off-Grid- periaatteella, on järkevää olla akusto tai johonkin muuhun tekniikkaan perustuva sähköenergian varasto niitä vuorokauden aikoja tai muita olosuhteita varten jolloin paneelit eivät pysty tuottamaan tarpeeksi energiaa edellä mainittuja käyttötilanteita varten. Yleensä sähköenergian varastoina käytetään akkuja tai akustoja. Muitakin varastointitekniikoita on kehitelty mutta käytännössä akkutekniikka on vielä kustannustehokkain tapa.

Aurinkosähköjärjestelmien akustoilta vaadittavia yleisiä ominaisuuksia ovat muun muassa hyvä hyötysuhde, alhainen itsepurkaus, vähäinen huollontarve sekä pitkä elinikä. Aurinkosähköakkuina on perinteisesti käytetty lyijyakkuja ja ne ovatkin oikein mitoitettuina ja käytettyinä vielä nykyään hyvä ja kustannustehokas vaihtoehto. Toimintaperiaate ja perusrakenne ovat kaikilla lyijyhappoakuilla sama riippumatta akun rakenteellisista ratkaisuista. Näitä erilaisia rakennetyyppejä on muun muassa levyristikko-, putkilevy-, AGM- sekä geeli- eli hyytelöakut.

AGM (Absorbent Glass Matt) akuissa akkulevyjen välissä on huokoinen lasikuitumatto johon akkuhappo on imeytetty. Geeli eli hyytelöakuissa akkuhappo on imeytetty huokoiseen piimateriaaliin, joka muodostaa levyjen väliin hyytelön. (Tahkokorpi ym. 2016, 158.)

Akun eliniästä puhuttaessa voidaan erottaa käsitteet kalenteri-ikä ja sykli-kesto. Kalenteri ikään vaikuttaa akun tyyppin ja rakenteen lisäksi akun huolto ja säilytysolosuhteet. Sykli-ikään vaikuttaa myös akun ristikkorakenne. Aurinkosähkökäyttöön, jossa syväpurkauksia on harvoin, hyvin soveltuvan putkilevy-akun elinikä voi olla noin 15–20 vuotta ja ne kestävät noin 1000–1200 syväpurkausta.

Lyijyakussa positiivinen aktiivimateriaali on lyijydioksidi PbO_2 ja negatiivisena aktiivimateriaalina huokoinen lyijy. Elektrolyyttinä käytetään laimeaa rikkihappoa H_2SO_4 .

Lyijyakun varaus ja purku perustuu seuraavaan kemialliseen reaktioon:



Kun lyijyakku alkaa lähestyä täyttä varaustilaa, sivureaktiona alkaa kaasuuntuminen seuraavan reaktion mukaan:



Nämä kaasut ovat hyvin räjähdysherkkiä joten tilan jossa akkuja ladataan, on oltava hyvin tuuletettu. Akuston sijoituksessa tulee noudattaa standardia SFS-EN- 50272-2. (Lehto ym. 2017,87.)

Markkinoille on yhä enemmän tulossa niin kutsuttuja litium- akkuja. Termi litium-akku pitää sisällään paljon ominaisuuksiltaan erilaisia litium-ioni akkuteknologioita. Litium akut ovat kevyempiä, tehokkaampia ja energiatiheydeltään parempia kuin lyijyakut. Kuitenkin tämä on vielä niin suhteellisen uutta teknologiaa että mm. niiden elinikää on vielä varmasti vaikea arvioida.

4.9 Kaapeloinnit ja johtimet

Aurinkosähköjärjestelmien kaapeloinneissa tulee ottaa huomioon erikseen DC- ja AC- puolen vaatimukset. Jos kaapeleiden mitoituksessa käytetään valmistajien laskentaohjelmia, tulee ottaa huomioon että ne eivät käytä täysin SFS 6000–52 standardin mitoitusohjeita. (Lehto ym. 2017,95.)

Kaapeleiden mitoittamisessa tulee ottaa huomioon standardin mukaisesti koh-teessa kuviteltavat pahimpien olosuhteiden vaatimukset. Näitä johtimien kuor-mittavuutta alentavia tekijöitä ovat muun muassa STC olosuhteita huomattavas-

ti korkeammat lämpötilat. Johtimien mitoitusperusteena DC- puolella tulee käyttää paneeliryhmien maksimitehoja. (Lehto ym. 2017,96.)

Paneeleissa valmiina olevat johdot ovat yleensä poikkipinnaltaan 4 – 6 mm². Jos on mahdollista käyttää vaihtosuuntaajan sisäänmenojännitteenä 12 V:n sijaan 24 V, kaapeloinnin poikkipintavaatimukset helpottuvat huomattavasti.

4.9.1 DC-puolen kaapeloinnin vaatimukset

Suosittelut DC- kaapeleiden värijärjestelmä:

- L(+) johdin väritään punainen
- L(-) johdin väritään valkoinen
- Toiminnallinen potentiaalintasaus (FE) väritään vaaleanpunainen.

Kaapeleiden sähkötekniisiä mitoitusvaatimuksia:

- Pääsääntönä otettava huomioon standardin SFS 6000-5-52 mitoitusperiaatteet.
- DC- puolen johtimien jatkuva kuormitettavuus tulee mitoittaa 1,25 kertaiseksi paneelien yhteenlaskettuun suurimpaan oikosulkuvirtaan I_{SC} _{STC} verrattuna. Tässä mitoitusperiaatteessa on myös se etu, että tällöin paneeliketjuille ei välttämättä tarvitse asentaa omia ylivirtasuojia.
- Kaapelityyppiä valittaessa tulee ottaa huomioon, että jännitekestoisuus on ≥ 1000 V.
- Jännitteen aleneman tulee jäädä 1-2 %. Tähän päästään kaapeleiden riittävällä poikkipinnan mitoituksella.

Kaapeleille asetettavia mekaanisia vaatimuksia:

- Ulos asennettavien kaapeleiden tulee olla UV-suojattuja
- Kaapelit tulee suojata mekaanisesti kulkureiteillä sekä lumelta ja jäältä.
- Myös kaapeleiden liittimien valinnassa tulee ottaa huomioon mahdollisesti huomattavatkin lumesta ja jäästä kaapeleille kohdistuvat rasitukset
- Jos järjestelmässä on useita rinnakkaisia paneeliryhmiä, niiden kaapelien tulee olla yhtä pitkät ja poikkipinnaltaan samat.

4.9.2 AC-puolen kaapelointi invertteriltä AC- ryhmäkeskukselle

AC- puolen värijärjestelmissä ja mitoituksessa käytetään standardin SFS-6000-5-52 periaatteita.

Muuta huomioitavaa:

- Jotta täytetään EMC vaatimukset, käytetään kaapeleita joissa on konsentrinen suojaus ja myös läpivienneissä käytetään EMC vedonpoistoholkkeja.
- Kaapeleiden kuormituksen kesto mitoitetaan invertterin nimellistehon mukaan.
- Kaapeleiden mekaaninen kesto on mitoitettava käyttöolosuhteet huomioiden. Erityisesti tulee ottaa huomioon UV- ja mekaanisen rasituksen suojaus.
- Ukonilman ja muiden ilmastollisten ylijännitteiden aikaan saama jännitteen indusoituminen pyritään estämään välttämällä johdinsilmukoiden syntymistä asennuksissa.

4.9.3 Maadoitus

Off-Grid- järjestelmään ei vaadita varsinaista maadoituselektrodia, mutta järjestelmän turvallisuuden ja vahinkojen minimoimiseksi sellainen on syytä asentaa varsinkin laajemmissa järjestelmissä. Suojamaadoitus toteutetaan AC- puolelle normaalisti standardin SFS 6000 mukaisesti vikasuojauksen toteutumiseksi.

Kun paneeliston jännite ylittää 60 VDC, järjestelmän telineiden johtavat osat tulee liittää potentiaalintasauskiskoon. Näin minimoidaan ilmastollisista ylijännitteistä johtuvat sähköiskut ja laiterikot. Potentiaalintasausjohtimien vähimmäispoikkipinnat määräytyvät asennuksessa käytetystä suurimmasta suojamaadoitusjohtimen poikkipinnasta, ja on oltava vähintään puolet siitä, kuitenkin kuparilla vähintään 6 mm². (Lehto ym.. 2017,100.)

Joillakin paneelityypeillä tarvitaan toiminnallinen potentiaalintasaus. Se toteutetaan kytkemällä yleensä L(-) johdin maihin. Tämä voidaan toteuttaa vaihtosuuntaajan sisällä ohjelmallisesti. Tällä järjestelyllä estetään paneelin ennenaikaista vanhenemista. Toiminnallista maadoitusta ei voida toteuttaa jos DC- ja AC- puolella ei ole vähintään yksikertaista muuntajalla, jossa on erilliset ensiö- ja toisiokäämit, toteutettua erotusta. (Lehto ym. 2017,109.)

5 ESIMERKKIKOHTTEEN AC(230 V) SÄHKÖSUUNNITTELU

5.1 Suunnittelukohteen esittely ja suunnittelun periaatteet

Esimerkki suunnittelukohteena on vapaa-ajan asunto joka sijaitsee Lapin läänissä Posion kunnassa erämaajärven rannalla. Vapaa-ajan asunnolla ollaan pääasiassa kesäisin eikä ollenkaan ydintalvella. Kohteessa on päädytty aurinkosähköratkaisuun, koska sähköjakeluverkko on niin kaukana että siihen liittyminen olisi käytännössä miltei mahdotonta ja olisi huomattavasti kalliimpi ratkaisu.

Kohteeseen kuuluu päärakennuksen lisäksi rantasauna, rakenteilla oleva kesäkeittiö ja varastorakennus. Kohteessa päädyttiin kuormien puolella 230 VAC jakeluun muun muassa rakennusten suhteellisen suurien etäisyyksien takia. Tämän takia kaapelipituudet kuormapuolella tulisi liian pitkiksi DC-jakelulle.

Päärakennuksen sijainti pienen kummun päällä isolla aukealla on ihanteellinen katolle asennettavien paneelien kannalta. Päärakennukseen on luonnollisesti suunniteltu myös sijoitettavaksi pääkeskus, invertterikokonaisuus sekä akusto. Kaikki valaisimet toteutetaan Led- tekniikalla. Järjestelmän mitoituksessa huomioitavia muita kuormia ovat vesipumppu, liesituuletin, kahvinkeitin sekä imuri. Päärakennuksen lämmityksen hoitaa iso leivin/takkauuni.

5.2 Suunnittelun tuottamat dokumentit

Sähkösuunnitelmat tehtiin periaatteella että joskus pääkeskus voitaisiin liittää myös valtakunnalliseen sähkönjakeluverkkoon ilman suurempia muutoksia.

Tämän johdosta kaapelointi sekä kaikki muut ratkaisut on valittu ja mitoitettu standardien vaatimusten mukaisesti, ottaen huomioon että esimerkiksi oikosulkuvirta vaatimukset eivät aurinkosähköjärjestelmässä invertterikäytössä toteudu.

Suunnittelun tuotoksena saatiin asemapiirustus, tasopiirustukset, keskusten pääkaaviot sekä aurinkosähköjärjestelmän kaavio. Kyseessä olevat dokumentit ovat liitteinä.

Liitteestä 1, asemapiirustus, selviää rakennusten välinen suuri etäisyys, joka vaikutti 230 VAC jakelun valintaan. Liitteestä käy ilmi myös tarvittavien maa-kaapeleiden tyypit ja laskentapituudet.

Liite 2 on päärakennuksessa sijaitsevan ryhmäkeskus 1:n (RK1) pääkaavio. Tähän ryhmäkeskukseen invertteriltä tuleva AC-syöttö liitetään.

Liite 3 on vastaavasti rantasaunalla sijaitsevan RK2:n pääkaavio.

Liitteissä 4-6 on rakennusten piste- ja johdotuskuvat (tasopiirustukset).

Liitteestä 7, Aurinkosähköjärjestelmän kaavio, selviää järjestelmän periaatteellinen rakenne.

6 MITOITUSPERIAATTEET OFF-GRID JÄRJESTELMÄSSÄ

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksen aluksi tulee suunnitella kuinka suuria ja minkä tyyppisiä kuormituksia järjestelmä tulee syöttämään. Mitkä kuormat tulevat olemaan 12/24/48 VDC – jännitteellä ja mitä on tarkoitus käyttää 230 VAC-jännitteellä. Tässä vaiheessa kannattaa suunnitella myös mahdollisimman energiatehokkaiden laitteiden esimerkiksi led-valojen valintaa, jolloin järjestelmää ei tule mitoittettua turhaan liian suureksi.

Myös kohteen ja kuormien käyttöaste vaikuttaa järjestelmän mitoitukseen. Jos kohteessa käytetään joitain suurempitehoisia laitteita vain harvoin, kannattaa invertterijärjestelmän valinnassa ottaa huomioon mahdollisten lisäteholähteiden, esimerkiksi aggregaatin liitettävyyden.

Tärkeä seikka mitoittamisessa on myös asennusolosuhteiden arviointi. Lähitulevaisuuden mahdollinen tehontarpeen kasvu tulee myös ottaa mitoituksessa huomioon. Ja kaiken mitoittamisen perusteena on tietysti käytettävissä oleva budjetti.

Käytännössä järjestelmän mitoitus alkaa kokonaispäiväenergian tarpeen laskemisella. Tämän jälkeen lasketaan hetkellisen huipputehon tarpeen ja muiden tarvittavien ominaisuuksien mukainen vaihtosuuntaaja. Seuraavaksi mitoitetaan kulutuksen ja käyttöpaikan mukainen paneelisto. Tämän jälkeen mitoitetaan edellisiin laskelmiin perustuva akusto. Viimeisenä mitoitetaan järjestelmään tarvittavat suojaukset, johdot ja johtimet.

6.1 Kuormituksen laskeminen esimerkkikohteessa

Kokonaisenergian tarpeen mitoittamiseksi ensiksi tulee selvittää kohteen kaikki sähkökuormat sekä niiden vuorokautiset käyttötunnit.

Laskenta suoritetaan kaikille laitteille erikseen ja lasketaan lopuksi yhteen.

Näin saadaan kokonaispäiväenergian tarve. Saatuun tulokseen tulee lisätä vielä 10 % mitoitusvara vaihtosuuntaajassa syntyvien häviöiden kompensoimiseksi.

Esimerkkikohteessa kaikki kuormat valittiin 230 VAC kuormiksi.

Yksittäisen vaihtosähkölaitteen päiväenergian kulutus lasketaan kaavalla:

$$E_{AC} = t * P_{AC} * k \quad (7)$$

missä

E_{AC}	on	laitteen vuorokautinen energian kulutus (Wh/vrk)
t	on	laitteen käyttötuntimäärä vuorokaudessa (h/vrk)
P_{AC}	on	laitteen teho (W)
k	on	1,1 kerroin joka ottaa huomioon vaihtosuuntaajassa syntyvän häviön.

Suunnittelun alla olevan vapaa-ajan asunnon kokonaisenergian kulutuksen laskemiseksi on yksittäisten laitteiden keskimääräiset kulutusarvot saatu Helsingin Energian (Helen Group) tilastoimista uusien laitteiden keskimääräisistä kulutuksista. Tätä tietoa on sovellettu ja hienosäädetty tätä kohdetta varten.

Kokonaispäiväenergia tarpeen laskenta suunnittelukohteessa:

Taulukko 2. Suunnittelukohteen kokonaispäiväenergian tarve.

Sähkökuormat (230V)	Teho (W)	Käyttöaika/päivä (h)	Määrä (kpl)	Energiantarve (Wh/vrk)
Laiturivalot	5	3	4	60
Ulkovalot (seinä)	5	3	5	75
Valot (päärakenus)	8	3	9	216
Valot(Rantasauna)	8	3	6	144
Valot(varasto)	8	1	2	16
Jääkaappi	200	2,5	1	500
Liesituuletin	150	1	1	150
Vesipumppu	500	1	1	500
Televisio	100	1	3	300
Radio	15	3	1	45
Puhelimen lataus	10	1	2	20
Tietokone	50	1	1	50
Imuri	600	0,04	1	24
Kahvinkeitin	1000	0,5	1	500
Päiväenergian tarve yhteensä				2600
≈ 10 % vaihtosuuntaaja häviöt				260
Kokonais päiväenergian tarve				2860

6.2 Komponenttien mitoittaminen

Seuraavassa mitoitetaan suunnittelukohteen aurinkosähköjärjestelmän komponentit.

6.2.1 Vaihtosuuntaajan mitoittaminen

Vaihtosuuntaaja mitoitetaan järjestelmässä tarvittavan hetkellisen huipputehon mukaan ja otetaan huomioon invertterihäviöistä johtuva noin 10 % ylimitoitus tämän päälle. Tarvittavan hetkellisen huipputehon laskemisessa on järkevä ottaa huomioon että mahdollisuuksien mukaan suurimpia kuormia, kuten imuri ja kahvinkeitin, ei käytetä yhtä aikaa. Taulukossa 2. on eritelty kohteen kaikki kuormat ja laskelmien mukaan suunnittelukohteessamme kaikkien laitteiden aiheuttama huipputeho olisi 2659 W.

Jos kuitenkin vuorotellaan suurimpien tehonkuluttajien käyttöä, jotka ovat kahvinkeitin (1000 W) sekä imuri (600 W) tarvittava huipputehon kulutus tippuu 600 W jolloin huipputehon tarve olisi 2059 W. Kun tähän lasketaan 10 % ylimitoitus, päästään noin 2300 VA tehoiseen vaihtosuuntaajaan.

6.2.2 Paneeliston mitoittaminen

Paneeliston mitoittamisen perusteina ovat kokonaispäiväenergian tarve sekä käyttöpaikan kuukausikohtaiset auringontuotto- odotukset.

Off-Grid- järjestelmän paneeliston mitoittamiseksi optimaalisesti käytetään kaavaa:

$$P_{PV} = \frac{E_{pvä}}{TK_{min} * IK * KK} \quad (8)$$

Missä

P_{PV}	on	Tarvittava paneelistoteho W_p
$E_{pvä}$	on	kokonaispäiväenergian tarve Wh/vrk.
TK_{min}	on	paneelin huonoin tuottokerroin niistä kuukausista jolloin paikalla oleskellaan.
IK	on	Paneelin ilmansuuntakerroin. Etelä +/- 10° – > $IK = 100 \%$
KK	on	Paneelin kallistuskulmakerroin.

Kaavassa olevien kertoimien tarkat paikkakunta- ja asennusolosuhteet huomioidaan ottavat arvot saadaan PVGIS- laskurilla. PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) on aurinkosähkön tuotantolaskuri, johon on integroitu Euroopan karttasovellus.

Seuraavassa olevat taulukot 3 ja 4 on laadittu PVGIS- laskurin avulla ja ne ovat keskiarvoja jotka on laskettu Suomesta eri paikkakunnilta. Niissä oletuksina olevat paneelin kallistuskulmat ovat 10–60° ja ilmansuunnat länsi- etelä- itä.

Taulukko 3. Keskimääräinen paneelin tuottokerroin TK (Lehto ym. 2017,85.)

Paneelikulma 45°, suunta etelä 0°	
Tuottokerroin eri kuukausille TK = h/kk	
Kuukausi	TK
Tammikuu	0
Helmikuu	1,42
Maaliskuu	2,67
Huhtikuu	3,8
Toukokuu	4,03
Kesäkuu	3,77
Heinäkuu	3,87
Elokuu	2,98
Syyskuu	1,98
Lokakuu	1,06
Marraskuu	0,48
Joulukuu	0

Taulukko 4. Paneelin kallistuskulmakerroin KK. (Lehto ym. 2017,86.)

Kallistuskulmakerroin KK	
Paneelikulma	KK
0°	79 %
5°	83 %
10°	87 %
15°	90 %
20°	93 %
25°	96 %
30°	98 %
35°	99 %
40°	100 %
45°	100 %
50°	100 %
55°	99 %
60°	98 %
65°	96 %
70°	93 %
75°	90 %
80°	86 %
85°	83 %
90°	78 %

Kohteessa oleskellaan kesäkuukausina toukokuusta syyskuun loppuun. Tällöin taulukosta 3 saadaan huonoimman oleskelukuukauden (syyskuu) tuottokertoimeksi 1,98 h/vrk.

Kaavaa 4 tarvittava paneeliteho voidaan kuitenkin yksinkertaistaa, jos paneeliston kaltevuus on 30- 60 astetta ja ne on suunnattu +/- 10° etelää kohti, kuten kohteessa on mahdollista.

Näin saadaan yksinkertaistettu paneeliston mitoituskaava:

$$P_{PV} = \frac{E_{pvä}}{TK_{min}} \quad (9)$$

Paneeliston mitoitus suunnittelukohteessa:

$$P_{PV} = \frac{2860 \text{ Wh/vrk}}{1,98 \text{ h/vrk}} \approx 1450 \text{ W}_p$$

Käytännössä kohteen sähköenergian tarve tulisi katettua 6:lla esimerkiksi 250W paneelilla, jotka voisivat olla kytkettyinä yhdeksi tai kahdeksi paneeliketjuksi.

6.2.3 Akuston mitoittaminen

Akuston mitoittamiseksi voidaan käyttää kaavaa:

$$Q = \frac{S \cdot A \cdot E_{pvä}}{U} \quad (10)$$

Missä

Q	on	akun kapasiteetti (Ah)
S	on	syväpurkauksen estokerroin, 2
A	on	asumiskerroin: viikonloppukäyttö = 2 (vrk), jatkuva käyttö = 4(vrk)
$E_{pvä}$	on	tarvittava päiväenergia (Wh/vrk)
U	on	akuston jännite 12, 24 tai 48 VDC

Akuston mitoituksen lähtökohtana on päivittäinen energian tarve, joka laskettiin kohteeseemme jo aiemmin. Kohteen päivittäiseksi energian tarpeeksi saatiin 2860 Wh/vrk.

Toisena periaatteena tulee olla akuston mitoittaminen niin suureksi että akuston kapasiteetista käytetään vain 50 %. Tällä mitoitusperiaatteella estetään akuston syväpurkaus, joka vähentäisi akuston elinikää huomattavasti. Tästä tulee kaavan vakiokerroin $S = 2$.

Viimeiseksi pitää selvittää vapaa-ajan asunnon käyttöaste. Suunnittelukohteena olevassa vapaa-ajan asunnossa vietetään viikosta vähintään 4 päivää, joten asumiskertoimeksi valitaan $A = 4$. Akuston jännitteeksi valitaan 12 VDC.

Suunnittelukohteen akuston koko:

$$Q = \frac{S \cdot A \cdot E_{pvä}}{U} = \frac{2 \cdot 4 \text{ vrk} \cdot 2860 \text{ Wh/vrk}}{12 \text{ V}} \approx 1430 \text{ Ah}$$

Akustoksi voitaisiin valita esimerkiksi kaksi kappaletta rinnan kytkettyjä AGM 1250Ah/12 V akustoja jotka rakentuu kahdeksasta kappaleesta 2V/1250 Ah AGM Deep Cycle akusta.

Järjestelmän valinta lasketuilla mitoituksilla:

Markkinoilla on useita järjestelmän tarjoajia ja järjestelmä on mahdollista koota myös erilliskomponenteista. Tässä kohteessa haluttiin valita kuitenkin valmiin järjestelmän eri komponenttien, liittimien, suojauksien ja yhteensopivuuden varmistamiseksi.

Yhteenveto lasketuista järjestelmävaatimuksista:

- Vaihtosuuntaaja vähintään $P = 2300 \text{ VA}$
- Paneelistoteho vähintään $P_{PV} = 1450 \text{ W}_P$
- Akuston kapasiteetti $Q = 1430 \text{ Ah}$

Näiden vaatimusten perusteella järjestelmäpaketiksi valikoitui Eurosolarin tarjoama Solarxonin BigPower EASY 2020/5000 VA järjestelmä. Kyseinen järjestelmä on hieman ylimitoitettu invertterin ja akuston osalta, koska kyseessä olevan vapaa-ajan asunnon käyttö syyskuun loppuun ja vielä osalle lokakuuta vaatii useamman paneelin, kuin mitä seuraavaksi pienempi järjestelmä (825 W_p vs 1650 W_p) mahdollistaa. Toisaalta nyt valittu järjestelmä sallii kuormien huolettomamman käytön, eikä vaadi niiden vuorottelun järjestelemistä.

Valitun järjestelmän komponentit ja ominaisuudet:

- 6 x 275 W aurinkopaneeli, monikide
- 6 x asennusteline, alumiini
- 8 x 250 Ah (100 h), PowerXon AGM akku
- 1 x Victron Energy Easy Solar 5000 W / 70 A / 100 A Invertterijärjestelmä:
 - 100 A MPPT aurinkopaneeli lataussäädin
 - 70 A verkkovirtalaturi
 - 5000 W invertteri
 - Color Control GX LCD hallintapaneeli
- 1 x 15 m paneelikaapeli MC4 liittimillä
- 1 x 2 x 70 mm² akkukaapelit



Kuva 3. Kohteeseen valittu järjestelmä.

6.2.4 Johdotusten mitoittaminen valittuun järjestelmään

Kaapeleiden ja johtojen mitoitus tehdään standardin SFS 6000-5-52 periaatteiden mukaisesti sekä tasasähkö- että vaihtosähköpuolelle. Aiemmin käsiteltiin jo kaapeleiden sähköisiä ja mekaanisia vaatimuksia.

Kaapelien mitoitustarkistus valitun järjestelmän ominaisuuksien mukaisesti:

Paneeliston jännite ≈ 110 V (valmistajan ilmoittama)

Maksimi paneeliston virta $I = 30$ A (valmistajan ilmoittama)

Paneelikaapelit $S_{max} = 10$ m

Kaapeleiden poikkipinta $A = 6$ mm² (Cu); $R_{Cu, 6mm^2} = 3,660$ Ω/km

Jännitteen alenema ΔU :

$$\Delta U = I \times 2 \times R \times S \quad (11)$$

$$\Delta U = 30 \text{ A} \times 2 \times 3,660 \times 10^{-3} \text{ Ω/m} \times 10 \text{ m} \approx 2,2 \text{ V} \text{ (2 \%)}$$

Tehohäviö P:

$$P = \Delta U \times I_{max} = 2,2 \text{ V} \times 30 \text{ A} = 66 \text{ W} \text{ (2\%)} \quad (12)$$

Kaapeleiden jatkuva kuormitettavuus:

Paneelistokaapelit 6 mm² => kuormitettavuus asennustavalla C = > 43 A

(Tiainen 2010, 45)

Kaapelin kuormitettavuus ylittää määritellyn 1,25 kertaisen suurimman paneelivirran.

Järjestelmän mukana tulevat johdot täyttävät olemassa olevat suositukset.

Akuston kaapelointi: Järjestelmän mukana tulevilla 70 mm² kaapelien kuormitettavuus on riittävä akuston 150 A sulakkeille ja akuston kapasiteetti tuottaa riittävän oikosulkuvirran kyseiselle sulakkeelle

Vaihtosähkökaapeloinnin mitoituksessa Invertteriltä 230 V ryhmäkeskukselle käytetään invertterin nimellistehoa P_{inv} .

$$P_{max} = 5000 \text{ W}$$

$$\Rightarrow I_{max} = P_{max} / U = 5000 \text{ W} / 230 \text{ V} \approx 22 \text{ A}$$

⇒ valitaan sulake 25 A

⇒ johdon sallittukuormitus vähintään 28 A (kokonaiskorjauskerroin 1)

⇒ asennustavan mukainen johtimen pienin sallittu poikkipinta on 4 mm²

⇒ Valitaan Invertterin ja 230 V sähkökeskuksen väliseksi kaapeliksi.

MCCMK 5 x 6 + 6 (Tiainen 2010, 44 – 118.)

7 SUOJALAITTEIDEN VAATIMUKSET

Paneelipiirin vika – ja ylivirtasuojaukset:

Suojaukset mitoitetaan SFS 6000-7-712 standardin ohjeiden mukaisesti.

Erillistä ylikuormitussuojausta ei tarvita jos MPPT säätimeen on kytketty vain 1-2 paneeliketjua, virrankulku säätimestä toiseen on estetty ja paneeliketjun jatkuva kuormitettavuus ei ylitä 1,25 kertaista paneeliketjun mitoitusvirtaa.

Eli tässä tapauksessa ei tarvitsisi erillisiä paneeliketjun ylikuormitussuojia. Valitusta järjestelmästä sellaiset kuitenkin löytyy. (Lehto ym. 2017,93.)

Akuston suojaus:

Suhteellisen pienilläkin akustoilla saadaan riittävä oikosulkuvirta oikein mitoitetuille sulakkeille. Akuston kaapeleiden kuormitettavuuden tulee myös olla sulakkeen oikosulkuvirran vaatimusten mukainen. Tässä järjestelmässä akustosulake (150 A) on sijoitettu akuston puolelle. (Lehto ym. 2017,94.)

Vaihtosähköpiirin suojaukset:

Aurinkosähköjärjestelmä ei aiheuta erityisvaatimuksia vaihtosähköpiirien suojauksiin, vaan mitoitus tehdään standardisarjan SFS 6000 periaatteiden mukaisesti. Mitoituksen perusteena voi olla invertterin maksimijännite, -virta ja – teho. Jos tarkkaa nimellisvirtaa ei tunneta, voidaan suunnittelussa käyttää 1,1-kertaista invertterin mitoitusvaihtovirtaa. (Lehto ym. 2017,94.)

Koska pienissä off-grid- järjestelmissä ei pystytä tuottamaan tarpeeksi isoa oikosulkuvirtaa, koko järjestelmään asennetaan vikavirtasuojat. Yleensä vaihtosuuntaajassa oleva elektroninen lisäsuojaus havaitsee myös oikosulku – ja maasulkutilanteet ja sammuu automaattisesti näissä tilanteissa. Suunnittelukohteeseen valitun järjestelmän vaihtosuuntaajan AC-lähdöissä on vikavirtasuojaus jo valmiina. Myös muuhun AC- verkon ryhmäkeskuksiin on suunniteltu kaikkiin ryhmiin vikavirtasuojat. (Lehto ym. 2017,95.)

Turvakytkimet:

Järjestelmä on pystyttävä erottamaan luotettavasti sekä DC- että AC-puolelta. Tämän vuoksi järjestelmään asennetaan lukittavat turvakytkimet sen lisäksi vaikka invertterissä on paneeliston ylikuormitussuojat sekä AC- puolen ylivirtasuojat. Tällä pyritään varmistamaan sähkötyöturvallisuus. Turvakytkimistä huolimatta tulee ottaa huomioon että paneeleja ei saa jännitteettömäksi, vaan jännite on aina olemassa turvakytkimelle asti jos paneelikaapelit ovat kytketty.

Merkinnät:

Off-Grid- järjestelmässä kuvassa 4 olevat merkinnät aurinkosähköjärjestelmästä ja varoitus takajännitevaarasta tulee asentaa pääkeskukseen, ryhmäkeskuksiin, invertterille sekä paneeliston kytkentärasioille. (SESKO 2015, 52, 144.)



Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmän tunnus ja varoitus takajännitevaarasta.

8 JÄRJESTELMÄN ASENTAMINEN JA KÄYTTÖÖNOTTO

8.1 Asentaminen

Järjestelmän asentamisen tulee suorittaa sähköalan ammattilainen, joka on erikoistunut ja hankkinut sertifiointin aurinkosähköjärjestelmien asentajaksi. Tällöin voidaan olla varmoja että järjestelmästä saadaan turvallinen käyttää ja sen potentiaali tulee täysimittaisesti ulosmitatuksi.

Tällaisessa järjestelmässä on paljon huomioonotettavia muun muassa tuottoon liittyviä pieniä yksityiskohtia, joita ei tule vastaan normaalissa sähköasentajan työssä. Alalle sertifioitu henkilö on sähköalan ammattilainen, joka on sähköalan peruskoulutuksen lisäksi käynyt sertifiointikoulutuksen ja tehnyt näytetyön asennuksesta, sekä suorittanut järjestelmän käyttöönoton käyttöönottopöytäkirjoineen.

8.2 Käyttöönotto

Ennen järjestelmän käyttöönottoa sähkölaitteistot on tarkastettava sähköturvalisuslain edellyttämällä tasolla.

Aurinkosähköjärjestelmien osalta tehdään paneelistopiirien tarkastus ja siitä täytetään pöytäkirja ST 55.36 sekä myös vaihtosähköpiirin tarkastus, jonka yhteydessä täytetään pöytäkirja ST 51.21.05. Sen lisäksi myös Off-Grid- järjestelmän vaihtosähköjakelun osalta tehdään normaalit käyttöönottotarkastukset ja täytetään pöytäkirja (ST 51.21.05)

9 POHDINTA

Koska en ole ennen suunnitellut aurinkosähköjärjestelmiä tämä työ osoittautui ennakoita arvioitua paljon mielenkiintoisemmaksi, monipuolisemmaksi ja haasteellisemmaksi. Työ oli myös ajankohtainen aurinkosähköjärjestelmiä kohtaan kasvavan kiinnostuksen vuoksi.

Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu ja siihen mahdollisesti, kuten tässäkin työssä, liitettävä vaihtosähköosa tuo omat haasteensa mm. suojausten mitoittamisen ja niiden toteuttamisen osalta. Aurinkosähköjärjestelmän mitoitukselta tekee haasteellista muun muassa alati muuttuvat olosuhteet. Tätä vielä korostaa pohjoisen pallonpuoliskon vuodenaikojen vaihtelusta johtuvat suuret valoisuuserot.

Huomioon otettavaa on myös järjestelmien tarjoajien tapa ilmoittaa järjestelmän, lähinnä aurinkosähköpaneelien, suorituskyky niiden maksimaalisen tuottokyvyn perusteella parhaimpina tuottokuukausina. Järjestelmän mitoitusta ei voi perustaa tämän tiedon varaan, vaan todellisuudessa järjestelmän mitoituksessa tulee ottaa huomioon käyttökuukausien huonoin tuottokuukausi. Kuitenkin järjestelmän mitoitus on aina jonkinlainen kompromissi tehon tuoton ja kustannusten välillä.

Koska järjestelmien komponenttien, akkujen ja paneelien, kehitys on ollut nopeaa, luulenkin että monet tiedot virallisissa aiheita käsittelevissä asiakirjoissa, joista tähän työhön on haettu materiaalia, ovat vanhentuneet jo tämän työn tekemisen aikana.

Ei ole epäilystäkään siitä että kehitys jatkuu tulevaisuudessakin nopeasti. Esimerkiksi akkutekniikan kehitys aurinkosähköpuolelle saa koko ajan uutta potkua kovasti kehittyvästä sähköautotekniikasta ja sen puolen akkutekniikkaan panostamisesta. Sähkön varastointi onkin ollut aurinkosähköjärjestelmien yleistymisen pullonkaula haastavissa olosuhteissa. Hinnat eri peruskomponenteissa laskevat edelleen, mutta esim. inverttereiden ja säätimien uusien ominaisuuksien kehitys taas toisaalta nostavat näiden komponenttien hintaa.

LÄHTEET

CO₂-raportti. 2010. Ilmastouutisia. Viitattu 13.3.2018. http://www.co2-raportti.fi/index.php?page=ilmastouutisia&news_id=2572

Lehto, I., Liuksiala, L., Lähde, P., Olenius, M., Orrberg, M. & Ylinen, M. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien suunnittelu ja toteutus, ST-käsikirja 40. Espoo: Sähkötieto ry.

Perälä, R. 2017. Aurinkosähköä. Helsinki: Alfamer / Karisto Oy

SESKO 2015. SFS-käsikirja 607 Aurinkosähköjärjestelmät 1. painos. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suntekno Oy 2010. Tietopankki. Aurinkopaneelin toimintaperiaate 16.3.2018 <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>

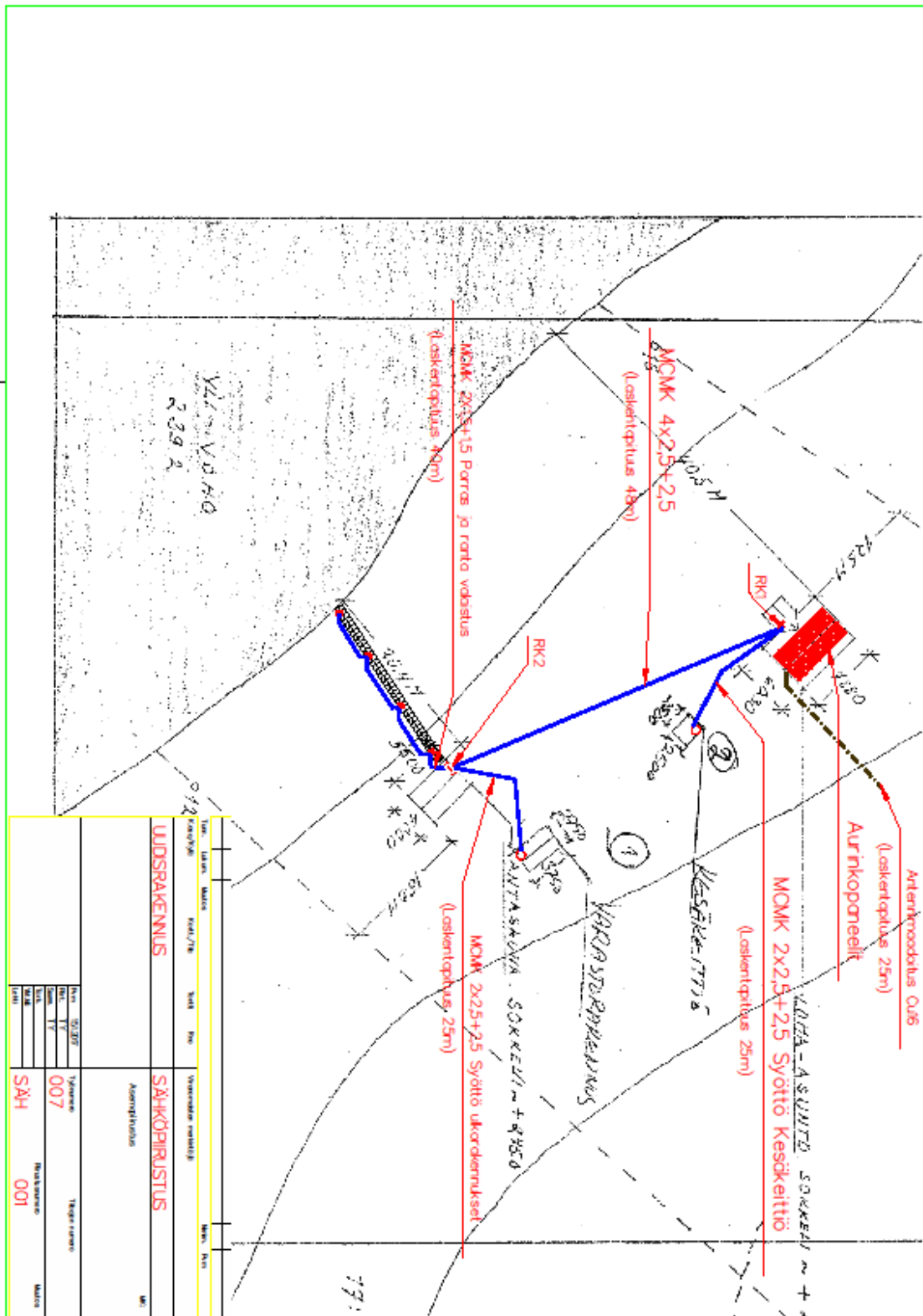
Tiainen, E. 2010. Johdon mitoitus ja suojaus. 3. uudistettu painos. Espoo: Sähköinfo Oy.

Tahkokorpi, M., Erat, B., Hänninen, P., Nyman, C., Rasinkoski, A. & Wiljander, M. 2016. Aurinkoenergia Suomessa. Helsinki: Into.

LIITTEET

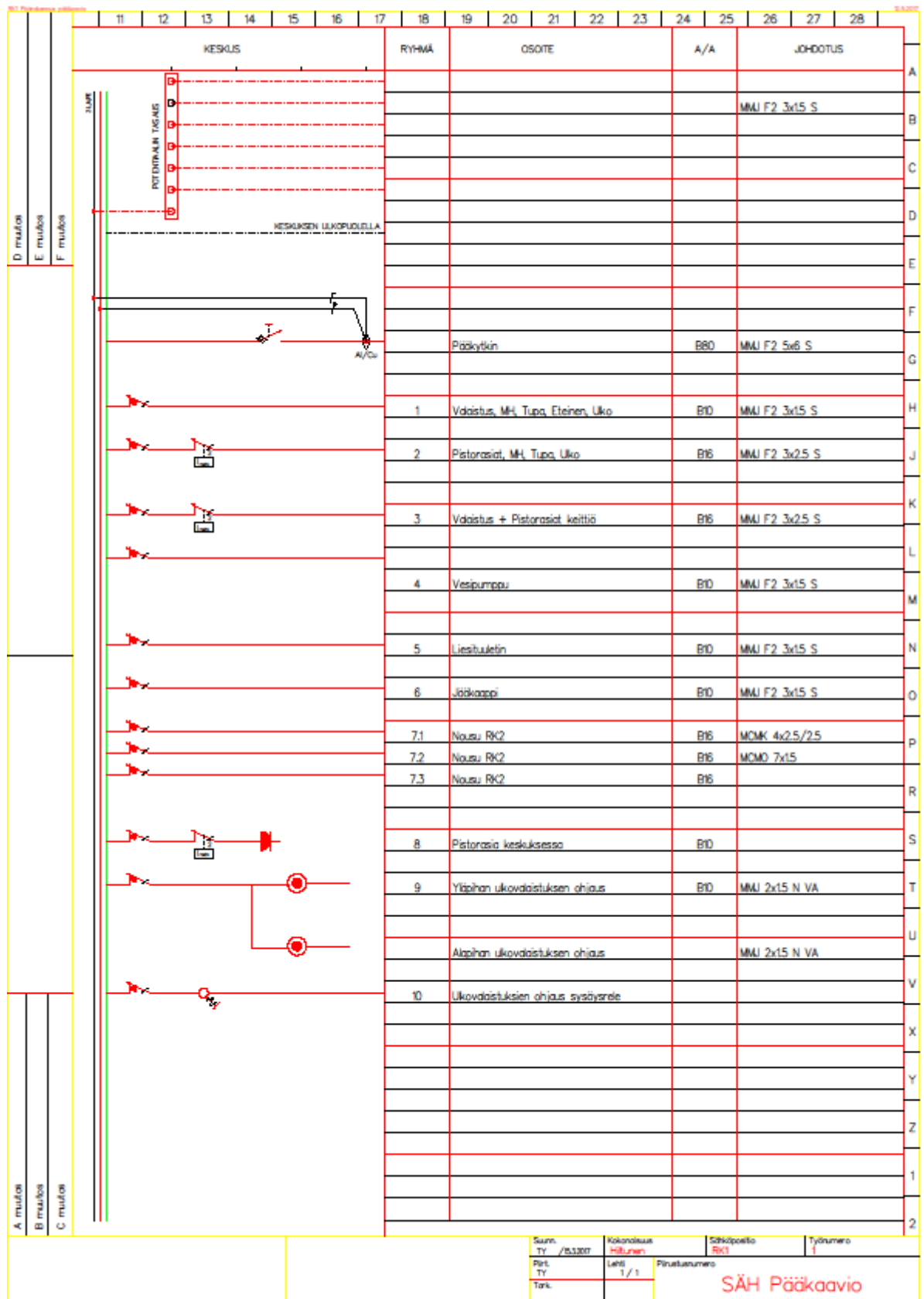
- Liite 1. Asemapiirustus
- Liite 2. RK1, päärakennus, pääkaavio
- Liite 3. RK2, rantasauna, pääkaavio
- Liite 4. Päärakennus, tasopiirustus
- Liite 5. Rantasauna, tasopiirustus
- Liite 6. Varasto, tasopiirustus
- Liite 7. Aurinkosähköjärjestelmä, kaavio

Liite 1.



Asemapiirustus.

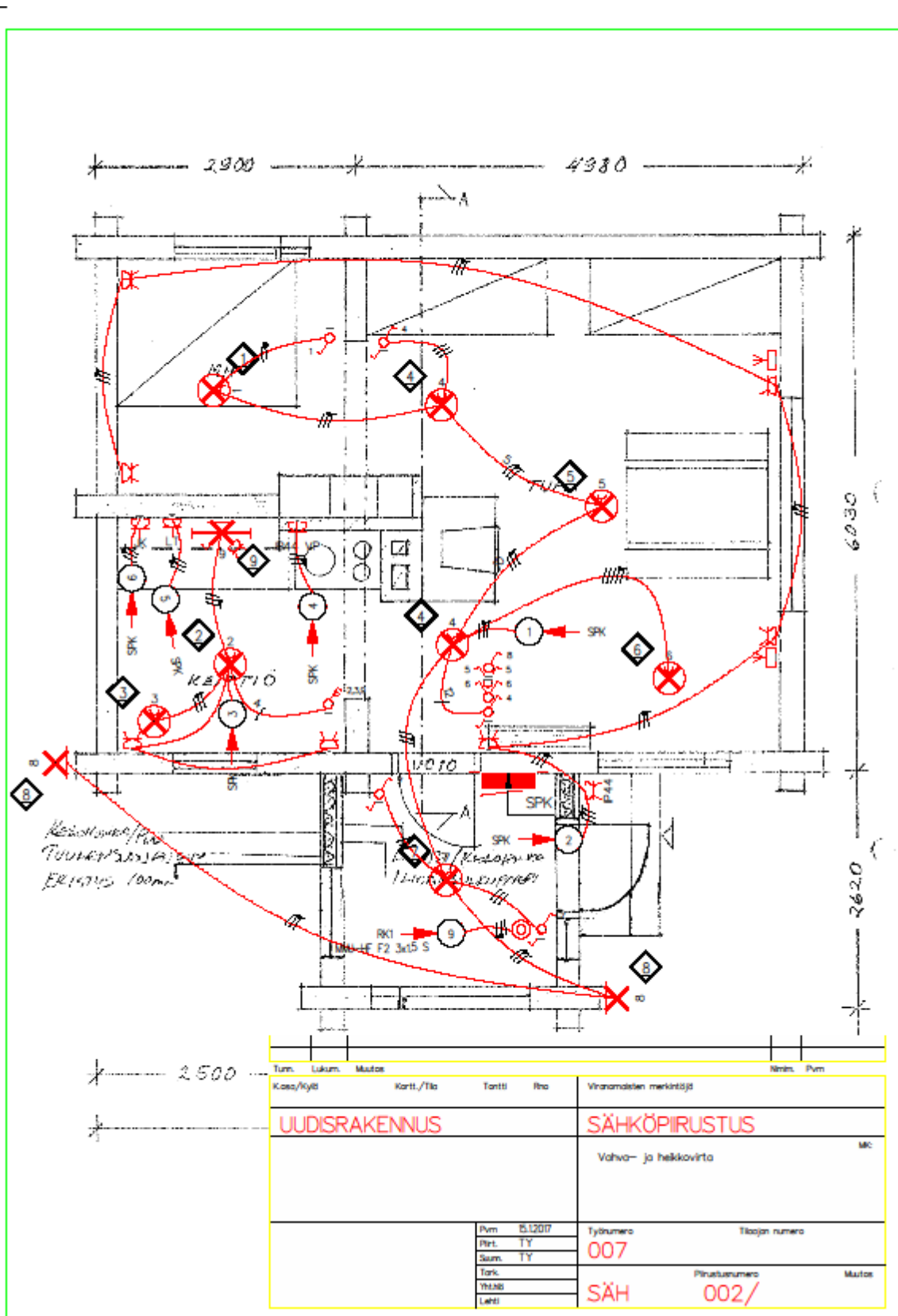
Liite 2.



RK1. Pääkaavio.

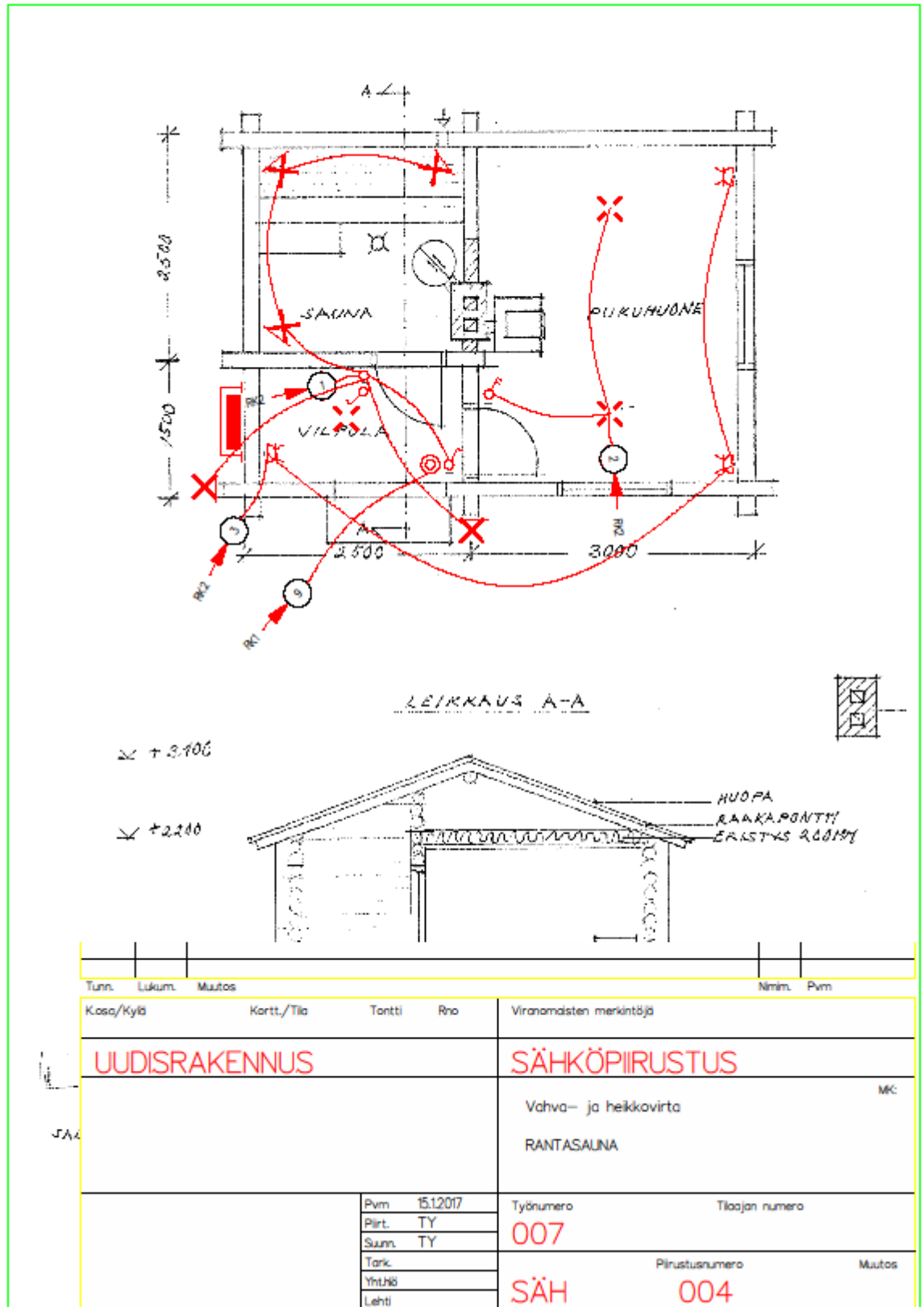
Sum. TY /B3207	Kokonaisuus Hilunen	Sähköpiirros RK1	Työnumero 1
Prt. TY	Lehti 1 / 1	Piirustuksen numero	
Tark.			SÄH Pääkaavio

Liite 4.



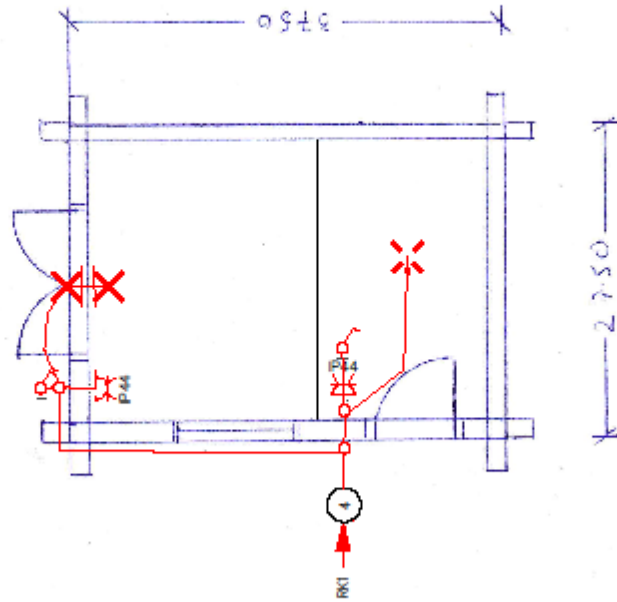
Päärakennus tasopiirustus.

Liite 5.



Rantasauna tasopiirustus.

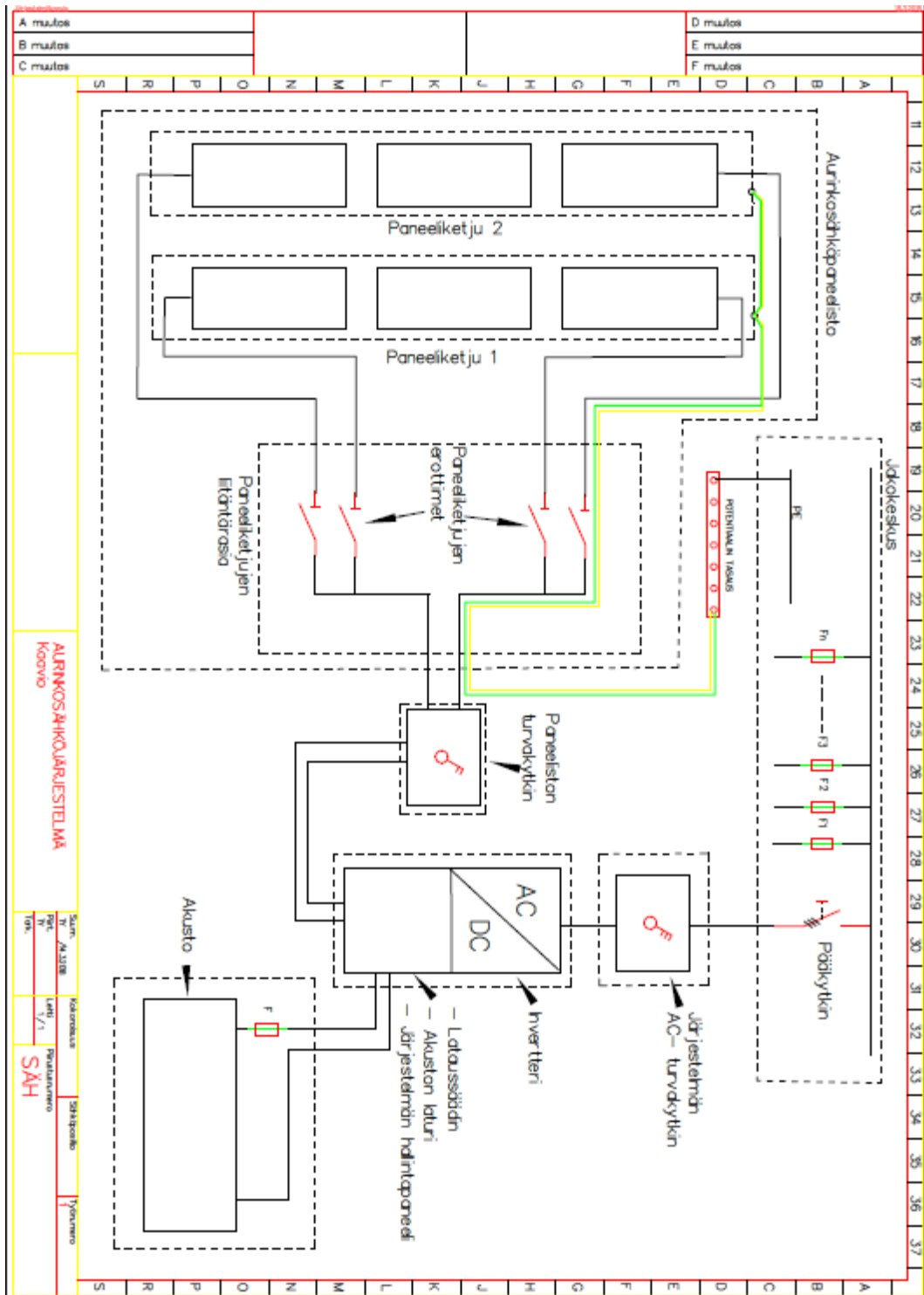
Liite 6.



Tunn.	Lukum.	Muutos				Nimim.	Pvm
Kasa/Kylä	Kortt./Tila	Tontti	Rno	Viranomaisen merkintöjä			
UUDISRAKENNUS				SÄHKÖPIIRUSTUS			
				Vahva- ja heikkovirta			MK
				VARASTO			
			Pvm	15.12.2017	Työnumero	Tilaajan numero	
			Piirt.	TY	007		
			Suunn.	TY			
			Tark.		Piirustusnumero		Muutos
			Yht.Hö		SÄH	003	
			Lehti				

Varasto tasopiirustus.

Liite 7.



Aurinkojärjestelmän kaavio.