



Jere Flinck

Aurinkopaneelien kytkentäkotelo, markkinaselvitys ja suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

6.12.2021

Tiivistelmä

Tekijä:	Jere Flinck
Otsikko:	Aurinkopaneelien kytkentäkotelo, markkinaselvitys ja suunnittelu
Sivumäärä:	32 sivua + 6 liitettä
Aika:	6.12.2021
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat:	Lehtori Jukka Karppinen Tulosityksikön päällikkö Jesse Kylänpää

Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää aurinkopaneelien kytkentäkoteloiden markkinoita ja näiden löytöjen pohjalta suunnitella tuotesarja, joka vastaisi markkinoiden tarpeisiin. Tärkeää oli myös työn edetessä selvittää, ovatko Katko Oy:n olemassa olevat tasasähkökytkimet riittävät kytkentäkotelokäyttöön.

Työssä perehdyttiin aurinkopaneelien toimintaan ja siihen, miten niiden ominaisuudet vaikuttavat muiden järjestelmän komponenttien mitoitukseen. Aurinkopaneelien paloturvallisuutta on alettu viime aikoina selvittää Suomessa tarkemmin, kun järjestelmien määrä on kasvanut. Tähän kerättyä tietoa käytettiin hyödyksi varsinkin liittimien valinnassa. Markkinatietoa saatiin kerättyä tutkimalla jo markkinoilla olevassa olevia tuotteita sekä haastatteleamalla alan tekijöitä. Lopuksi käytiin myös läpi aurinkosähkökäytössä komponentteihin liittyvät standardit ja mitä ominaisuuksia ne vaativat.

Työn lähteinä on käytetty sähkötoihin ja komponentteihin liittyviä standardeja, aurinkosähkö ammattilaisten näkemyksiä sekä aurinkopaneeleihin liittyviä lopputöitä

Työn tuloksena saatiin suunniteltua viisi erikokoista kytkentäkoteloa, joista pienimmästä saatiin koottua prototyyppi. Myös tietoa aurinkosähköstä sekä kytkentäkoteloista kerättiin, jota yrityksen tuotekehitysosasto pystyy myöhemmin käyttämään uusien tasasähkökytkimien suunnittelussa ja mitoituksessa.

Avainsanat: aurinkosähkö, aurinkoenergia, pv combiner box, aurinkopaneelien kytkentäkotelo, kytkentäkotelo

Abstract

Author: Jere Flinck
Title: PV Combiner Box, market inquiry and design
Number of Pages: 32 pages + 6 appendices
Date: 6 December 2021

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Electrical and Automation Engineering
Professional Major: Electrical Power Engineering
Supervisors: Jukka Karppinen, Senior Lecturer
Jesse Kylänpää, Head of Business Unit

The purpose of this thesis study was to research the market of PV Combiner Box products and to use this data to design a product line that would match current market needs. It was also important to find out if the current direct current switches of Katko Oy are useable for combiner boxes.

The beginning of the thesis explains how solar panels work and how their features affect the sizing of other components relating to them. As the number of solar panels is increasing in Finland, their fire safety has been researched more. This data was used especially in the choosing of connectors for the product. Market research was conducted by examining currently existing products and interviewing and consulting experts of the field. In the end of the report electrical standards that apply to the product were clarified and their requirements for the components were taken into consideration.

As a result, five combiner boxes were designed, and one prototype was built. Important information about them was collected for the research and development department to use in the future for design and sizing of new direct current switches.

Keywords: solar power, solar energy, solar panels, pv combiner box, combiner box

Sisällys

Käsitteet ja lyhenteet

1	Johdanto	2
2	Aurinkopaneelit	2
2.1	Toiminta ja rakenne	2
2.2	Aurinkosähköjärjestelmät	4
2.3	Aurinkopaneelit Suomessa	8
3	Aurinkopaneelien turvallisuus	10
4	Aurinkopaneelien kytkentäkotelot	12
4.1	Yleiseen komponenttien mitoitukseen liittyvät asiat	12
4.2	Aurinkopaneelien kytkentäkotelon komponentit	15
4.2.1	Ylijännitesuoja	16
4.2.2	Sulake	16
4.2.3	Kytkin	18
4.2.4	Liittimet	18
5	Markkinaselvitys	19
6	Aurinkopaneelien kytkentäkotelon suunnitelmat	23
6.1	Neljän ketjun kotelo	23
6.2	Kahdeksan ketjun kotelo	25
6.3	Kahdentoista ketjun kotelo	26
6.4	Kahdenkymmenen ketjun kotelo	27
6.5	Kolmenkymmenenketjun kotelo	28
7	Yhteenveto	30
	Lähteet	31

Liitteet

Liite 1: Prototyypissä käytetty kytkin

Liite 2: Käytettyjen Socomecin kytkimien mitat

Liite 3: Käytetyn ylijännitesuojan tiedot

Liite 4: Käytetyn sulakepidikkeen ja sulakkeen tiedot

Liite 5: Käytettyjen liittimien tiedot

Liite 6: Käytetyn kaapelin tiedot

Käsitteet ja lyhenteet:

- Invertteri:** Vaihtosuuntaaja. Aurinkosähkö käytössä muuntaa aurinkopaneelien tuottaman tasavirran vaihtovirraksi.
- Isc MAX:** Aurinkopaneelien maksimi oikosulkuvirta, mitataan kytkemällä paneelin navat oikosulkuun.
- Ketju:** Sarjaan kytkettyjen aurinkopaneelien nimitys. String englanniksi.
- MC4-liitin:** Aurinkopaneelikäyttöön suunniteltu liitin, helpottaa paneelien sarjaan kytkemistä.
- NOCT:** Nominal Operating Cell Temperature. STC olosuhteita realistisempi testiympäristö, jossa auringon säteily on 800 W/m^2 , ilman lämpötila 20 astetta, tuulen nopeus 1 m/s ja paneelien lämpötila 45 astetta.
- Off-grid:** Aurinkosähköjärjestelmä, joka ei ole yhteydessä sähköverkkoon.
- On-grid:** Aurinkosähköjärjestelmä, joka on yhteydessä sähköverkkoon.
- PV:** Photovoltaic. Lyhenne joka yleisesti käytössä aurinkoenergiaan liittyvissä tuotteissa.
- STC:** Standard Testing Conditions. Testiolosuhteet, joissa auringon säteily on 1000 W/m^2 ja paneelien lämpötila on 25 astetta.
- Uoc MAX:** Aurinkopaneelien maksimijännite, mitataan ilman kytkettyä kuormaa.
- Wp:** Wattiipikki. Aurinkokennon nimellisteho STC olosuhteissa.

1 Johdanto

Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Katko Oy:n kanssa. Työn tarkoituksena on kartoittaa markkinoiden tarvetta aurinkopaneelien kytkentäkotelolle ja näiden tarpeiden pohjalta suunnitella ja mitoittaa tuotesarja, jota voitaisiin myydä tukkureille ja aurinkosähköjärjestelmiä myyville yrityksille. Tuote kulkee kansainvälisillä markkinoilla nimellä PV Combiner Box, mutta tässä työssä käytetään suomenkielistä nimitystä aurinkopaneelien kytkentäkotelo.

Aurinkosähköjärjestelmille ei ole olemassa paljoa standardeja, jonka takia erotuskytkimet ovat ainoat turvallisuuskomponentit, jotka ovat tällä hetkellä pakolliset. Suomen tilanne on sinällään kuitenkin hyvä, korkeat yleiset sähköstandardit ja osaavat asentajat vähentävät huolimattomuuksista syntyviä vikoja, jotka näyttävät olevan syy suurimmalle osalle palojen synnyistä. Aurinkopaneelien kytkentäkotelon tarkoitus on parantaa tätä turvallisuutta entisestään lisäämällä turvakomponentteja estämään paneelien vikatilanteissa katastrofaaliset seuraukset ja tekemällä kytkennät mahdollisimman yksinkertaisiksi huonojen liitosten välttämiseksi.

Aurinkopaneelien hintojen laskiessa niiden määrä on noussut tasaisesti Suomessa, ja vauhti näyttää olevan kiihtymässä. Yleistymisen takia aurinkosähköjärjestelmien turvallisuus tulee olemaan entistäkin tärkeämpää, jotta turhilta vahingoilta vältytään.

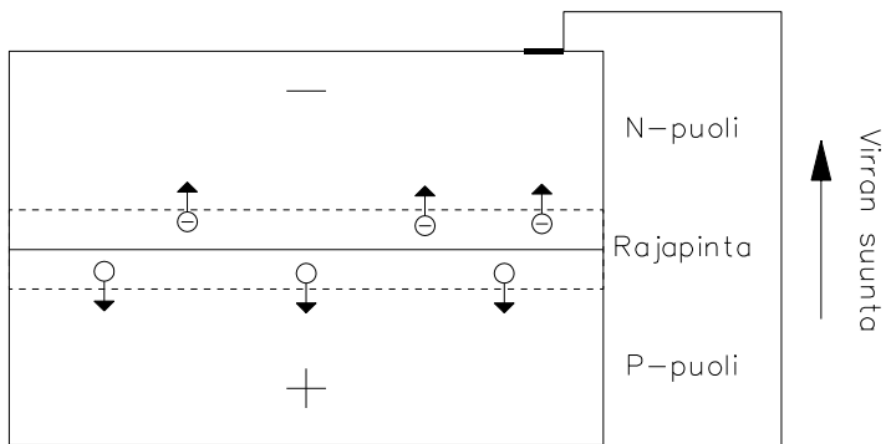
2 Aurinkopaneelit

2.1 Toiminta ja rakenne

Nykyisin yleisin aurinkopaneelien valmistusmateriaali on yksi- tai monikiteinen pii. Tällä hetkellä tämä tekniikka on yleisesti tullut vakioksi, noin 90 % markkinoilla olevista kennoista on piikennoja. Näiden kennojen hyötysuhde sähköntuotannossa vaihtelee hiukan mallista riippuen mutta on suurimmalla osalla 15–17 % tienoilla. [1.]

Piikennot ovat puolijohdemateriaalia. Puolijohdetekniikkaan perustuvat aurinkokennot tuottavat sähköä fysikaalisen valosähköisen ilmiön avulla. Kyseisessä tapahtumassa sähkömagneettinen säteily synnyttää sähkövarauksen kennoon, joka voidaan ulkoisen virtapiirin avulla käyttää hyödyksi sähköntuotannossa. [1.]

Puolijohdemateriaali koostuu kahdesta kerroksesta, N- ja P-puolesta. N-puolen materiaalilla on enemmän elektroneja kuin P-puolen materiaalilla. N-puolen vapait elektronit kulkeutuvat materiaalien rajapinnassa P-puolen aukkoihin. Tämä synnyttää rajapintaan ehtymisalueen sekä N-puolelle positiivisen varauksen ja P-puolelle negatiivisen varauksen. Nämä varaukset saavat aikaan sähkökentän, joka rajoittaa elektronien liikettä [1.]. Kuvassa 1 on kuvattu tämä rakenne yksinkertaistettuna.



Kuva 1. Aurinkokennon yksinkertaistettu rakenne. [1.]

N-puoli on tarpeeksi ohut, jotta osa auringonvalosta pystyy läpäisemään sen. Auringonvalon osuessa rajapintaan, sinne syntyneet elektroni/aukko parit hajoavat, elektronit virtaavat positiiviselle N-puolelle ja aukot negatiiviselle P-puolelle. Tämä saa aikaan puolissa varaukset, joita ne eivät voi tasoittaa rajapinnan yli. Elektronit saadaan kuitenkin virtaamaan takaisin P-puolelle ulkoisen virtapiiriin kautta. Virtapiiriin syntyy tasasähkövirtaa, joka voidaan käyttää sähkölaitteissa. [1.]

Aurinkopaneelien hyötysuhde on määritetty aurinkopaneelin nimellistehon testeissä, mikä suoritetaan standardiolosuhteissa, joissa auringon säteily on 1000 kWh/m² ja lämpötila 25 astetta. Hyötysuhde lasketaan jakamalla aurinkopaneelin nimellisteho sen pinta-alalla ja standardiolosuhteiden säteilymäärällä.

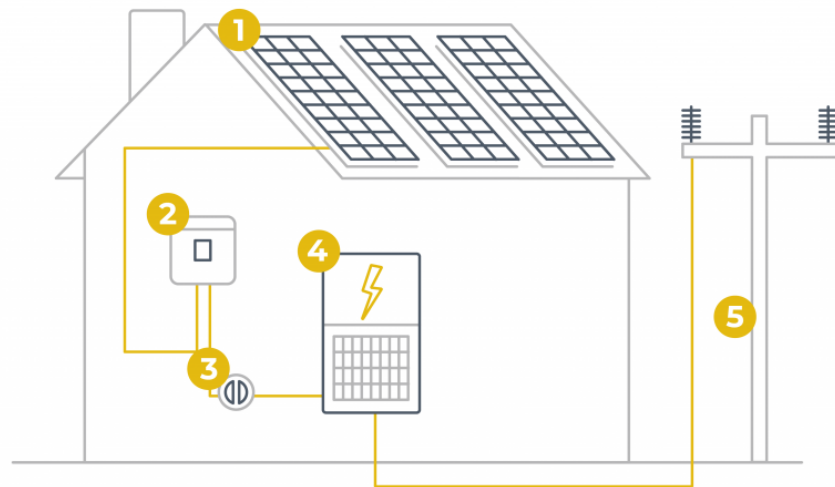
Esimerkiksi 2 m²:n kokoisen nimellisteholtaan 400 Wp:n aurinkopaneelin hyötysuhde olisi:

$$400 \text{ Wp} / (2 \text{ m}^2 * 1000 \text{ kWh/m}^2) = 20 \%$$

2.2 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkosähköjärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista, invertteristä sekä DC- ja AC-turvakytkimistä. On-grid-järjestelmissä invertterinä käytetään yleensä verkkoinvertteriä, joka on yleensä yhteydessä sähköverkkoon rakennuksen oman sähkökeskuksen kautta. Verkkoinvertteri syöttää virtaa sähkökeskukseen, josta se menee joko omaan käyttöön, tai sähköverkkoon kun sitä ei tarvita itse. Kuvassa 2 on kuvattuna yksinkertainen On-grid-järjestelmä. Off-grid-järjestelmissä jo mainittujen komponenttien lisäksi tarvitaan akusto ja niiden hallintalaitteisto. Koska Off-grid-järjestelmissä ei ole yhteyttä sähköverkkoon, on kaikki tuotettu sähköenergia pystyttävä joko käyttämään heti tai varastoimaan omiin akkuihin. Yleensä Off-grid-järjestelmiä käytetään paikoissa, joissa ei ole yhteyttä sähköverkkoon tai sellaisen vetäminen olisi liian kallista ja epäkäytännöllistä.

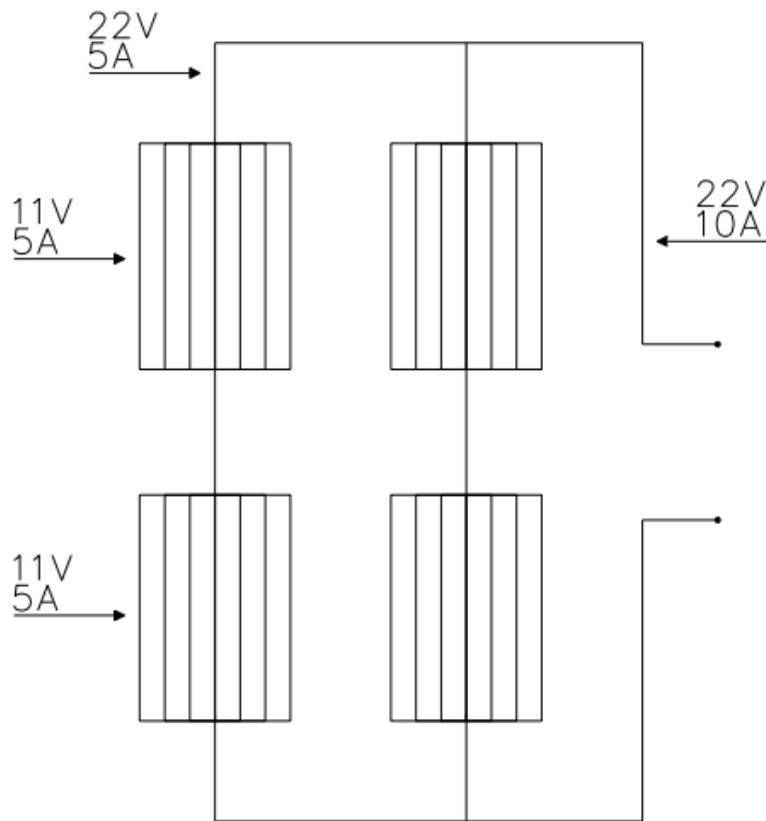
AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ



1. Aurinkopaneelisto 2. Invertteri eli vaihtosuuntaaja 3. Turvakytkin 4. Talon sähkökeskus 5. Sähköverkko

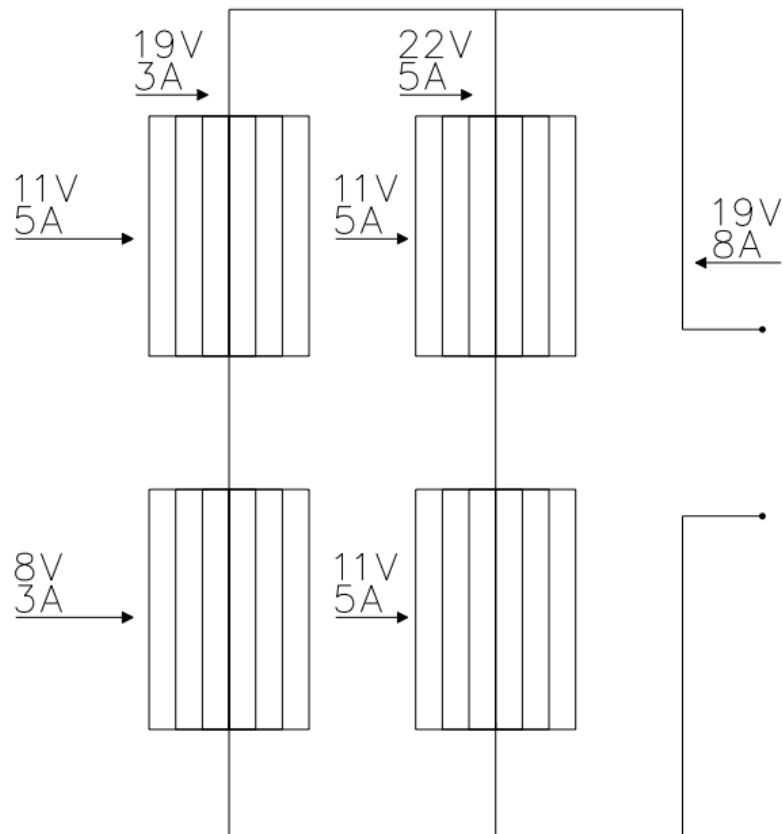
Kuva 2. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä. [2.]

Aurinkopaneeleja kytketään sarjaan, jotta niiden synnyttämää jännitettä saadaan korotettua. Korkeamman jännitteen ansiosta komponenteissa syntyvät häviöt vähenevät ja invertteri pystyy toimimaan. Isommissa järjestelmissä, joihin tulee monta ketjua paneeleja, ne voidaan kytkeä rinnan, jolloin järjestelmän virta nousee. Kuvassa 3 näkyvät järjestelmän arvot eri mittauspisteissä, kun neljä 11 V:n ja 5 A:n paneelia on aseteltu kahteen yhtä pitkään ketjuun.



Kuva 3. Järjestelmän jännite ja virta eri mittauspisteissä.

Vaikka eri tehoisia aurinkopaneeleja voidaan kytkeä keskenään, niin sitä ei suositella. Järjestelmän tuotto riippuu aina sen heikoimmin tuottavasta paneelista, joka leikkaa tehokkaampien paneelien tuottoa. Ketjun virta määräytyy heikoimman mukaan ja jännitteet lasketaan yhteen. Rinnankytkettyinä jännite määräytyy heikoimman paneelin mukaan, virrat lasketaan yhteen [3.]. Kuvassa 4 on tilanne, jossa kahden ketjun järjestelmään on kytketty yksi virta- ja jännitearvoiltaan heikompi.



Kuva 4. Järjestelmässä kytkettynä heikompi paneeli.

Esimerkin kaltaisessa tilanteessa heikomman ketjun arvot olisivat 19 V ja 3 A, ja vahvemman 22 V ja 5 A. Yhteensä ketjuista tulisi siis 19 V ja 8 A. Jos molemmat olisivat samanlaisia kuin tehokkaammassa ketjussa, arvot olisivat 22 V ja 10 A. Heikomman paneelin käyttäminen leikkaisi tehoa verrattuna tehokkaampien paneelien käyttöön seuraavasti:

$$(22 \text{ V} * 10 \text{ A}) - (19 \text{ V} * 8 \text{ A}) = 220 \text{ W} - 152 \text{ W} = 68 \text{ W} \approx 30,9\%$$

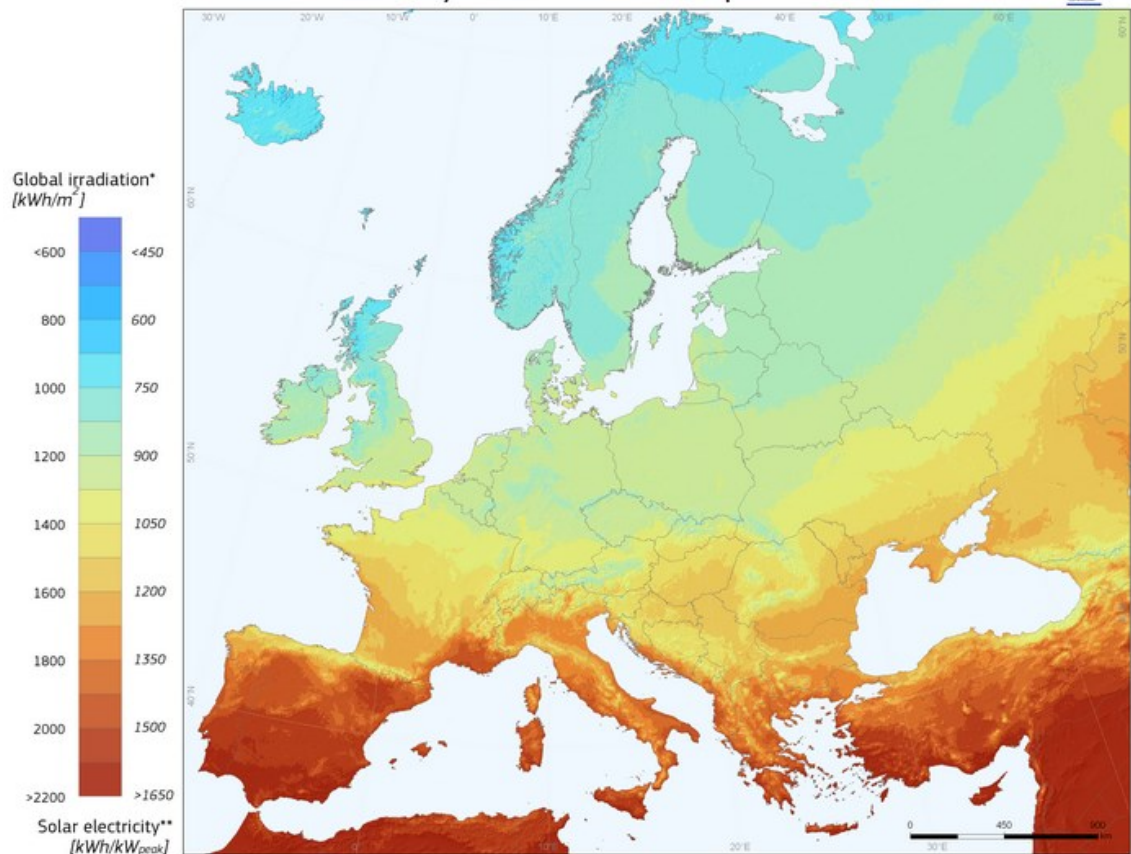
Aurinkopaneelien taloudellinen hyöty muodostuu siitä, että jossain vaiheessa niiden elinkaareissa ne ovat tuottaneet enemmän sähköä kuin niiden alkuperäinen ostokustannus on maksanut. Heikomman paneelin käyttö siis nostaisi esimerkkitalanteessa tätä paneelien takaisinmaksu aikaa noin kolmanneksella.

2.3 Aurinkopaneelit Suomessa

Suomen vuosittainen säteily määrä on suoraan verrattavissa Pohjois-Saksassa saataviin määriin. Etelä-Suomessa säteilyn määrä on noin 1000 kWh/m², Keski-Suomessa noin 900 kWh/m² ja Pohjois-Suomessa Sodankylän kohdilla 800 kWh/m². Säteily määrän muutoksen voi nähdä kuvasta 5 ja sitä voi verrata kuvassa 6 näkyvään Etelä-Eurooppaan. Säteily määrä painottuu Suomessa kesälle, talvella (marras-tammikuu) ei ole paljoa säteilyä, jota hyödyntää. Jos aurinkopaneeleille ei ole asennettu ohjausjärjestelmää, niin suurimman hyödyn saamiseksi Suomessa ne kannattaa olla suunnata etelään päin suorassa kulmassa aurinkoon kohden. Tasaiselle alustalle asennettaessa tämä tarkoittaisi 45 asteen kulmaan asentamista. [1.]

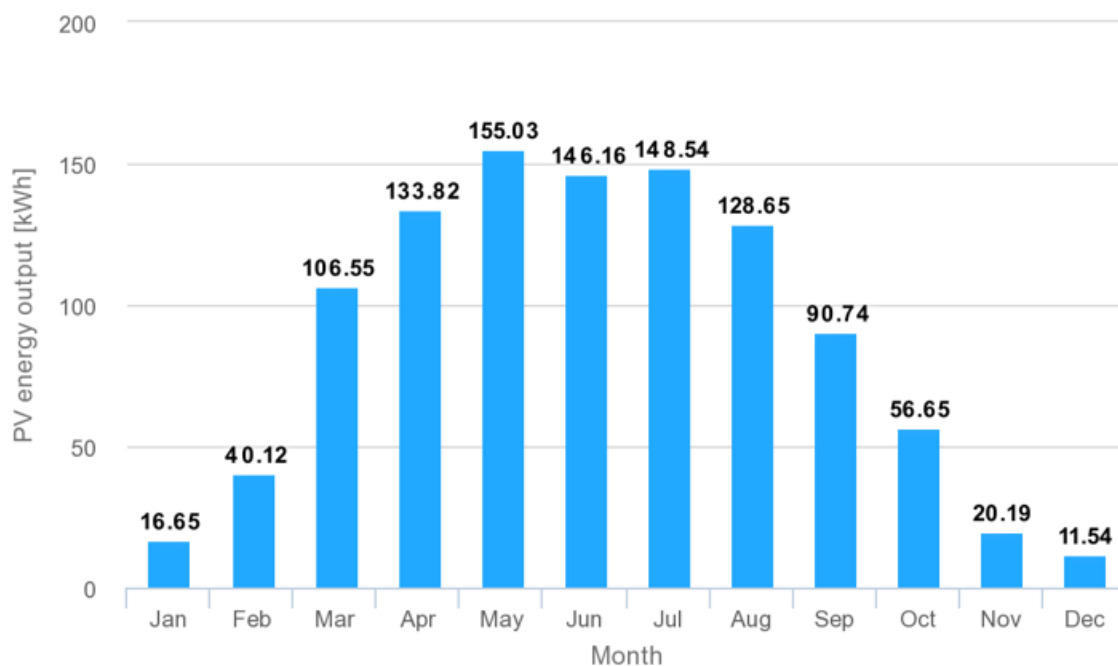


Kuva 5. Auringon säteily määrät Suomessa. [4]



Kuva 6. Auringonsäteilyn määrät Euroopassa. [4.]

Vaikka säteily määrä jää vähäisemmäksi kuin Keski-Euroopan maissa, niin ero tuotossa on pienempi kuin pelkästä säteily määrästä voisi luulla. Koska aurinkopaneelien lämpötila vaikuttaa niiden hyötysuhteeseen, Suomen viileämpi ilmasto on etu niiden käytössä. Aurinkopaneelien lämpötilan noustessa niiden hyötysuhde laskee ja lämpötilan laskiessa hyötysuhde nousee. Helsingissä saatava energiamäärä näkyy kuvassa 7, jossa näkyy, kuinka suuri ero tuotossa, on kesän ja talven välillä.



Kuva 7. Saatava energiamäärä 45 asteen kulmassa etelään osoittavilla panee-
leilla. [4.]

3 Aurinkopaneelien turvallisuus

Aurinkopaneelijärjestelmät ovat yleisesti turvallisia ja helppokäyttöisiä, mutta sähkön aiheuttaman tulipalon riski on aina olemassa. Suomessa aurinkosähköjärjestelmien palot ovat erittäin harvinaisia, johtuen todennäköisesti järjestelmien vielä vähäisestä määrästä sekä sähkötöihin liittyvien korkeiden standardien ansiosta. Tietyt turvatoimet ovat kuitenkin tarpeellisia estämään vaaratilanteita, laitevaurioita sekä tekemään mahdollisissa palotilanteissa järjestelmät mahdollisimman vaarattomiksi pelastustyöntekijöille. Aurinkopaneelit tuottavat kuitenkin aina valon niihin osuessa virtaa, joka tekee niiden vaarattomaksi tekemisen hankalaksi.

Tulipalon sattuessa suurimmat vaaran aurinkopaneeleista ovat niiden kaapeleissa virtaava virta ja kattoasennuksissa, joita suurin osa pienvoimaloista on, niiden tippuminen. Tulipalon aikana mille tahansa kaltevalle pinnalle sijoitetut

paneelit saattavat irrota kiinnikkeistään ja pudota maahan. Mahdollinen puutoamisaalue kannattaa pitää tyhjänä pelastustyöntekijöistä ja ajoneuvoista, jos niin voidaan mahdollisuuksien mukaan toimia. Paneeleissa virtaava sähköenergia saadaan rajoitettua turvakytkimillä, jotka on yleensä sijoitettu mahdollisimman lähelle itse paneeleja. Myös invertteri on todennäköisesti sijoitettu mahdollisimman lähelle paneeleja, tasasähköjohtimien ja niissä syntyvien häviöiden minimoimiseksi. Palaneetkin paneelit kykenevät tuottamaan ihmiselle tappavan määrän virtaa, josta johtuen palon edetessä ja kaapelien eristeiden sulaessa ne ovat hengenvaarallisia. Vaikka tulipalo tapahtuisi pimeällä, liekkien tuottama valo ja pelastusajoneuvojen vilkut voivat aiheuttaa tarpeeksi säteilyä, jotta paneelit alkavat tuottaa virtaa. Alhainenkin virtamäärä riittää tappamaan ihmisen, jos virta kulkee sydämen läpi. Tästä johtuen jopa keskellä yötä, osittain palanut ja katolta tippunut aurinkopaneeli voi vieläkin olla hengenvaarallinen. Paneeliston huonosta liitoksesta syntyneen palon lopputuloksen näkee kuvassa 8. [5.]



Kuva 8. Palaneita aurinkopaneeleja. [6.]

Eri maiden keräämistä tilastoista havaitaan suurimman osan aurinkopaneelijärjestelmien palojen aiheutuneen erinäisistä asennusvirheistä. Varsinkin tasasähköpuolen huonot liitokset ja mitoitusvirheet ovat yleisiä aiheuttajia. Näiden

virheiden määrää voidaan vähentää asentamalla tasasähköpuolen turvakytkimen tilalle aurinkopaneelien kytkentäkotelo, joka turvakytkimen funktion lisäksi vähentäisi mitoitusvirheestä syntyviä vahinkoja. Kotelon sisäisten komponenttien liitosten laatu voidaan varmistaa tehtaalla, jolloin ainoat järjestelmän asentajalle tehtäväksi jäävät liitokset olisivat ketjujen johtojen kiinnittäminen koteloon joko läpivienti holkeilla tai MC4-liittimillä. Kotelon sisältämät sulakkeet taas suojaisivat aurinkopaneeleja ylivirroilta esimerkiksi maavian sattuessa. [7. s.7.]

4 Aurinkopaneelien kytkentäkotelot

4.1 Yleiseen komponenttien mitoitukseen liittyvät asiat

Aurinkopaneelijärjestelmien komponenttien mitoituksessa käytetään paneelien arvoja maksimijännite ilman kuormaa ($U_{oc\ MAX}$) ja maksimi oikosulkuvirta ($I_{sc\ MAX}$). Näitä käytetään mitoituslaskuissa nimellisjännitteenä ja -virtana. Komponenttien virran sekä jännitekestossa käytetään turvakerrointa 1,25 tai ne lasketaan alimman ympäristön lämpötilan mukaan. Näitä arvoja käytetään, elleivät ympäristön vaatimukset muuta vaadi. [8, Liite B]

Mitoitukset tehdään huippuarvoilla, vaikka niitä ei käytännössä ikinä saavuteta normaaleissa käyttöolosuhteissa. Tämä kannattaa huomioida invertterin valinnassa, sen ylimitoituksesta ei ole hyötyä vaan järjestelmän hinta nousisi turhaan. Invertterin valinnassa pitää myös ottaa huomioon sen minimijännite, järjestelmän liian alhainen jännite ei riittäisi sytyttämään invertteriä, jolloin paneelien tuottama energia menisi hukkaan.

Tasasähkökytkimen katkaisukyvyyn on oltava riittävä, jotta se ei rikkoutuisi paneelien virtojen katkaisuissa. Koska tasavirralla ei ole samanlaista luonnollista nollapistettä kuin vaihtovirralla, kytkimen mekanismin pitää olla nopeampi ja kestävämpi erottaakseen virtapiirin. Tasasähkölle tarkoitetuissa katkaisijoissa

on yleensä myös komponentteja, joiden tehtävänä on tukahduttaa virrankatkaisussa syntyvät valokaaret.

Lämpötilan vaihtelu pitää ottaa huomioon varsinkin Suomen kaltaisissa paikoissa, jossa lämpötila heittelee vuodenaikasta riippuen 35 °C:n ja -40 °C:n välillä. Suomessa, jossa lämpötilat voivat laskea talvisin erittäin alhaisiksi, ketjut kannattaa mitoittaa niin että komponentit kestävät ja järjestelmän maksimijännite ei ylitä edes -40 °C pakkasessa. Paneelien arvojen muutokset lasketaan lämpötilakertoimen avulla, joka kertoo kuinka paljon paneelin arvot laskevat tai nousevat sen lämpötilan muuttuessa standardiolosuhteiden 25 °C lämpötilasta. Kertoimet vaihtelevat hiukan valmistajasta riippuen, ne ovat kuitenkin aina esitetty paneelien teknisissä tiedoissa. Kaikilla paneeleilla pätee, että teho ja jännite nousevat lämpötilan laskiessa, virta laskee. Lämpötilan noustessa teho ja jännite laskevat, kun taas virta nousee. Lasketaan nämä muutokset käyttäen kuvan 9 esimerkkipaneelia.

	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	350Wp	260Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	33.05V	30.24V
Maximum Power Current (Imp)	10.59A	8.61A
Open-circuit Voltage (Voc)	39.71V	37.48V
Short-circuit Current (Isc)	11.40A	9.21A
Module Efficiency STC (%)	20.10%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C	
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)	
Maximum series fuse rating	20A	
Power tolerance	0~+3%	
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C	
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C	
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C	

Kuva 9. Paneelin Tiger Mono-Facial 350 W arvot. [9.]

Esimerkkipaneelin Tiger Mono-Facial teho $P_{max} = 350 \text{ W}$ nousee 0,35 % jokaisesta asteesta, jonka sen lämpötila laskee testiolosuhteiden 25 °C :n alle. Tilanteessa, jossa paneelien lämpötila on -40 °C , lämpötila menee 65 astetta alemmas, jolloin muutos on yhteensä 22,75 %:n nousu standarditilanteen arvoon. Uuden maksimitehon -40 asteen lämpötilassa saamme kertomalla saadun yhteiskertoimen P_{max} :lla

$$350 \text{ W} \times 1,2275 = 430 \text{ W}$$

Jännitteen ja virran arvojen laskemiseen käytetään SFS 6000 standardin mukaan maksimi oikosulkuvirtaa (I_{sc}) ja oikosulkujännitettä (U_{oc}). Samassa -40 °C lämpötilassa jännitteen ja virran arvot ovat:

$$U_{oc} = 39,71 \text{ V}$$

$$\text{Kerroin} = 0,28 \Rightarrow 18,2 \%$$

$$39,71 \text{ V} \times 1,182 = 46,93 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 11,40 \text{ A}$$

$$\text{Kerroin} = 0,048 \Rightarrow 3,12 \%$$

$$11,40 \text{ A} \times 1,0312 = 11,05 \text{ A}$$

Esimerkiksi 10 ja 20 paneelin ketjuissa jännite U_{oc} lämpötiloissa 25 °C ja -40 °C olisi:

25 °C :

$$10str = 397,1 \text{ V}$$

$$20str = 794,2 \text{ V}$$

-40 °C:

$$10str = 469,3 \text{ V}$$

$$20str = 938,6 \text{ V}$$

Jos komponenttien mitoitus olisi suoritettu STC olosuhteiden arvoilla hyvin pienellä marginaalilla, komponenttien kestävyys voisi tulla vastaan lämpötilan laskiessa. Tämän takia on tärkeää mitoittaa komponentit oikein ja standardien ohjeiden mukaan, jotta hajoamisilta vältyttäisiin.

Tasasähköpuolen johdotuksissa on käytettävä kaapeleita, jotka ovat kaksoiseristettyjä, halogeenivapaita, UV-säteilyn kestäviä ja niiden tulee olla sertifioitu standardin EN 50618 mukaan. Johtojen liittimien tulee olla samaa tyyppiä ja samalta valmistajalta, jotta ne sopivat toisiinsa sekä sähköisesti että mekaanisesti [8, 712.526]. Salamit voivat tarpeeksi lähelle iskiessään indusoida jännitettä aurinkopaneelien johtoihin, jonka takia kaapeli silmukat tulee pitää mahdollisimman pieninä [8, 712.521]. Yleisin paneelien johdotuksissa käytetty kaapelikoko on 6 mm, joka on mitoitettu kestäväksi koko ketjun jännite ja virta. Yleensä paneelien omat kestoisuudet rajaavat ketjujen pituutta. Kytkentäkotelon ulostulokaapelin tulee olla paksumpi riippuen yhdistettyjen ketjujen määrästä.

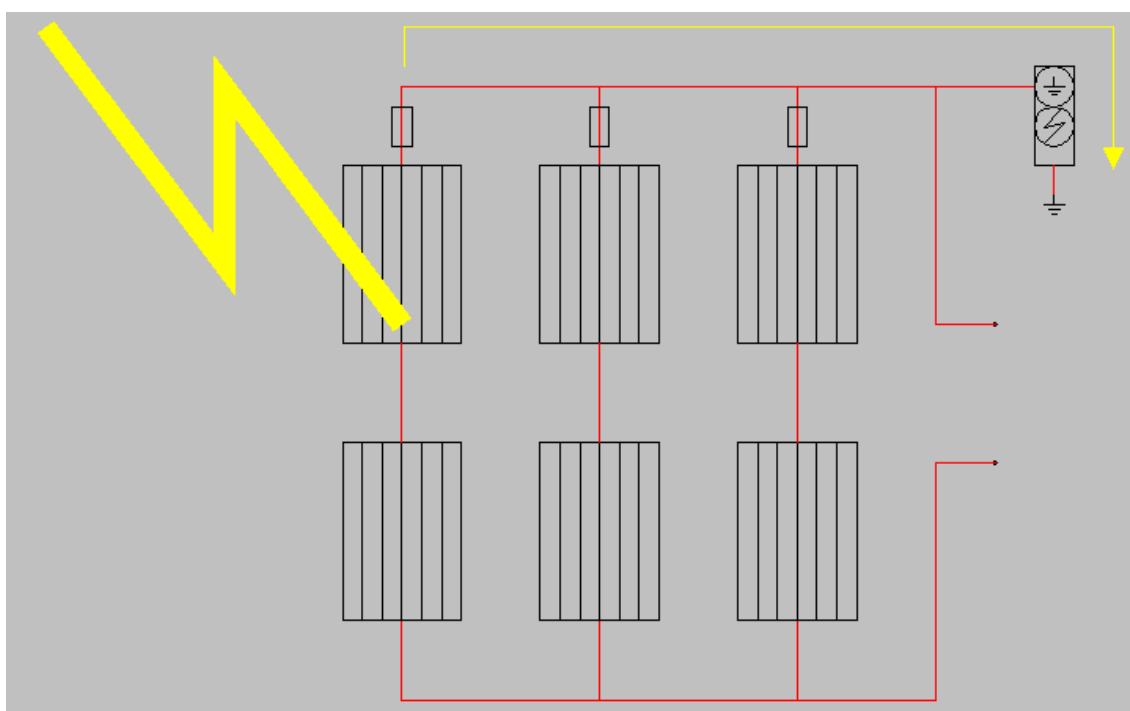
Aurinkopaneelien kytkentäkotelon kannattaa sijoittaa mahdollisimman lähelle paneeleja tasasähkö puolen johtopituuksien minimoimiseksi. Kotelolle voi tulla monta kymmentä ketjua, mutta siltä lähtee vain yksi. Yleensä sijoituspaikka on paneelien läheisyyden tarpeesta ulkosalla. Tällöin kotelon pitää olla vähintään IP-luokkaa 64 ja UV-säteilyä kestävä selvitäkseen ulkoilmassa. Materiaalin täytyy olla myös pakkaskestoista. Suositeltavaa olisi myös, että kaikki liitännät johdotuksille sijaitisivat kotelon alareunassa sekä liitosten tiivyyden että siisteyden takia.

4.2 Aurinkopaneelien kytkentäkotelon komponentit

Aurinkopaneelien kytkentäkotelon sisältää komponentit, joilla yritetään taata käyttäjien turvallisuus vika- ja vaaratilanteissa sekä estää ylimääräisen laitteiston hajoaminen. Turvakomponentteina kytkentäkotelossa toimivat sulakkeet, ylijännitesuojaus sekä yhteyden invertterin ja aurinkopaneelien välillä katkaiseva turvakytin.

4.2.1 Ylijännitesuoja

SFS 6000-standardin mukaan vaihtosuuntaajien paneelitulot on suojattava 2-luokan DC-ylijännitesuojalla, jos kiinteistö on jo salamasuojattu, tai jos paneelien ja invertterin väli on tarpeeksi pitkä. Ylijännitesuoja suojelee sähköjärjestelmiä salamaniskun aiheuttamalta jännitepiikiltä, johtaen sen suojamaa liitännän kautta maahan kuten kuvassa 10 [8, 712.534]. Paneelit todennäköisesti silti hajoavat, mutta suoja estää vahingon leviämisen invertteriin ja kiinteistön sähkökeskukseen.

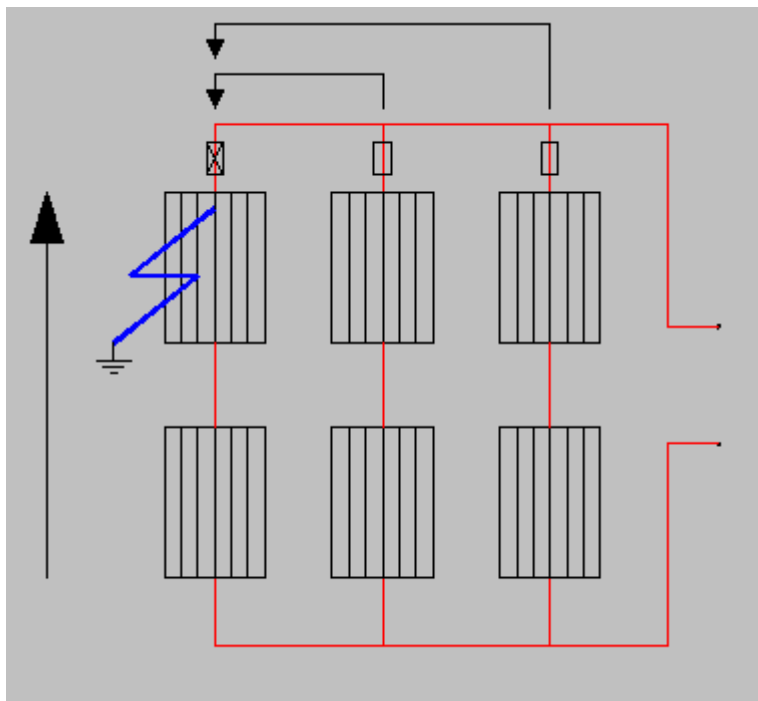


Kuva 10. Ylijännitesuojan toiminta salaman iskiessä.

4.2.2 Sulake

Sulakkeiden tarkoitus on suojella järjestelmän muita komponentteja liiallisilta virroilta. Jos järjestelmä on mitoitettu oikein, niin ainoa tapa liian virran syntymiseen tasasähköpuolella on paneeleihin tai niiden kaapeleille sattuva maavika. Jos yhteen ketjuun syntyy maavika, niin sen rinnalle kytketyt ketjut alkavat syöttää virtansa sen kautta maahan. Tällöin maavikaisen ketjun sulakkeen läpi

kulkee liikaa virtaa, ja se hajoaa kuten kuvassa 11, suojellen muita komponentteja hajoamiselta. Muut ketjut jatkavat tämän jälkeen normaalisti virran syöttämistä invertterille.



Kuva 11. Maavika ketjussa.

Sulakkeiden käyttö siis mahdollistaa, että muista ketjuista saadaan vielä energiaa, vikaantunut ketju saadaan eristettyä ja muiden komponenttien hajoamisilta säästytään. Sulakkeen katkaisukyky pitää ottaa mitoituksessa huomioon, koska sen läpi virtaa vikatilanteessa ketjumäärästä riippuen 2-30 kertainen virta sen nimellisvirtaan verrattuna. Sulakkeen sisälle ei saa syntyä sen hajotessa valokaarta, joka aiheuttaisi palo- sekä räjähdysvaaran [8, 712.43]. Standardit molempien navojen sulakkeista vaihtelevat maittain, joissain maissa vaaditaan sulakkeet molemmille navoille ja osassa vain vaiheelle. Suomessa ne pitää olla molemmissa navoissa SFS 6000-standardin mukaan. [8, 712.432.101]

4.2.3 Kytkin

Turvakytkimen pitää kyetä erottamaan aurinkopaneelit invertteristä myös tilanteessa, jossa paneelit toimivat täydellä teholla. Kytkimen on oltava tasasähkökäyttöön soveltuva, jotta se kykenee estämään piirin katkaisemisesta siihen muuten syntyvän valokaaren muodostumisen. Vaihtosähkökytkimiä ei voi käyttää tasasähkökäytössä, ellei niissä löydy tälle erillistä mainintaa. Kytkimen tasavirran kesto voi olla vain kymmenesosa sen vaihtovirran kestävydestä. Syntyneen valokaaren lämpötilan voi olla jopa 4000 °C, jonka takia kytkin syttyy palaamaan hetkessä kuten kävi kuvan 12 kytkimelle. [8, 712.537.2]



Kuva 12. Virrankestoltaan liian pieni DC-kytkin heti erotuksen jälkeen. [10.]

4.2.4 Liittimet

Ketjujen liittämisen helpottamiseksi MC4-liitinten olisi tarkoitus olla kotelon alareunassa, jolloin aurinkopaneelien johdot saataisiin kiinni siististi ja järjestelmällisesti. On otettava huomioon, että paneelien liittimien on oltava saman valmistajan MC4-liittimiä kuin kotelossa. Eri valmistajien liittimissä on eroja, joiden

takia niiden turvallisuutta varsinkaan pidemmässä käytössä ei voida varmistaa. Helpoin tapa varmistua yhteensopivuudesta on toimittaa kotelon mukana tarvittavat MC4-liittimet, jotta asiakas voi vaihtaa omien ketjujensa liittimet yhteensopiviksi. Kuvassa 14 on eri valmistajien valmistamia MC4-liittimiä, jotka samasta nimestä huolimatta erilaisia. Suurimpana uhkana on, jos liittimet ovat ulkoisesti erittäin samankaltaiset, mutta ovat sisältä joko mekaanisesti tai sähköisesti yhteensopimattomat.



Kuva 13. Eri valmistajien MC4 "yhteensopivia" liittimiä. [11.]

Liittimien ollessa kuitenkin yksi koko järjestelmän halvimmista komponenteista, mutta yksi korkeimmista paloturvallisuusriskeistä, on niihin panostaminen pieni vakuus turvallisuudesta [12.]. Aurinkopaneelien johdot voidaan myös vetää holkeilla kotelon läpi ja liittää suoraan, jos asiakas näin haluaa. Ulostulot hoidetaan aina holkeilla, niiden korkeampien virtojen takia, joita MC4 liittimet eivät kestäisi.

5 Markkinaselvitys

Aloitin selvityksen ottamalla yhteyttä alan tekijöihin ja etsin tukkureilta ja sähkötarvikemyyjiltä vastaavia tuotteita. Otin yhteyttä noin kolmeen kymmeneen yhtiöön jotka työskentelevät aurinkopaneelien kanssa, vastauksia tuli noin

kymmenestä. Vastaukset vaihtelivat paljon riippuen siitä, kuinka suuria järjestelmiä yhtiöt olivat suunnitelleet. Vastaavia tuotteita ei löytynyt käytännössä ollenkaan Suomen markkinoilta, vaan tällä hetkellä tarpeen vaatiessa aurinkopaneelijärjestelmien myyjät ovat joutuneet käytännössä ostamaan tarpeelliset komponentit ja kokoamaan kytkentäkotelot itse. Tämä lisää asennukseen menevää aikaa.

Saamissani vastauksissa toivotut ketjumäärät olivat 4–20 välillä. Ketjujen jännitteet ja virrat vaihtelevat paljon käytettyjen aurinkopaneelien mukaan, mutta kytkentäkotelo kannattaa mitoittaa suurimpien paneelien arvojen mukaan. Tällä hetkellä markkinoilla olevien suurten paneelien virta on noin 12 A ja jännite 50 V. Sulakkeiden ja ylijännitesuojan lisäksi kytkentäkoteloihin ei pyydetty muita turvakomponentteja. Kotelon halutaan olevan Suomen ilmastoja sekä UV-säteilyä kestävä. Kustannussyistä pienempien koteloiden materiaalin toivottiin olevan muovia. Näitä on saatavilla kaiken kokoisina ja IP64-luokituksella.

Huonona puolena tuotteen tulevaisuudelle huomattiin, että osassa inverttereissä nämä turvaominaisuudet ovat sisäänrakennettuina tai ne voidaan lisätä niihin. Suurimmassa osassa inverttereitä on kuitenkin rajallinen määrä sisääntuloja, jolloin isompien ketju määrien kanssa tarvitaan silti kytkentäkotelaita. Myös ison ketjumäärän inverttereitä on olemassa, mutta ne ovat vielä harvinaisia.

Aurinkopaneelien kytkentäkotelo tulee myös varustaa asianmukaisilla merkinnoilla, joissa varoitetaan aurinkosähköjärjestelmän läsnäolosta ja tasavirrasta. Tasasähköjohtojen sekä kotelon sijainti kannattaa dokumentoida myös pelastustyöntekijöille mahdollisten hätätilanteiden kannalta.

Tekijät myös mainitsivat, että tulevaisuudessa paneelikokojen kasvaessa niiden jännite pysyy samantasoisena mutta virta tulee nousemaan. Myös järjestelmien jännitteen nouseminen 1000 VDC => 1500 VDC on todennäköisesti tapahtumassa lähivuosina, joten se kannattaa jo ottaa huomioon. 1500 voltia tulee olemaan maksimiarvo tasasähköjärjestelmille, jonka ylittäminen tekisi järjestelmistä säädösten mukaan suurjännitteisiä. Suurjännitejärjestelmillä on olemassa omat

tiukemmat standardinsa ja vaatimuksensa, joita halutaan välttää. Nämä molemmat kannattaa ottaa huomioon varsinkin uusien kytkimien suunnittelussa, jotta ne eivät muodostuisi järjestelmiä rajoittavaksi tekijäksi.

Standardeja noudattaen ja edellä mainitut toiveet huomioon ottaen päädyin suunnittelemaan aurinkopaneelien kytkentäkotelot 4:lle, 8:lle, 12:ta, 20:lle ja 36:lle ketjulle. Suomalaiset tekijät eivät maininneet 36 ketjun koteloja johtuen todennäköisesti suurten Suomalaisten voimaloiden vähäisyydestä. Se on kuitenkin muidenkin valmistajien suurin, joten päätin suunnitella sen tulevaisuuden suurempia voimaloita varten.

Katkon kytkimistä kytkentäkotelo käyttöön soveltuu aurinkosähkökäyttöön tarkoitettu PV 432-kytkin. [Liite 1.] Sen käyttöä isommilla ketju määrillä kuitenkin rajoittaa alhainen virrankestoisuus. Sen myös ollessa tällä hetkellä ainoa käytävissä oleva DC-kytkin, käytin isompien koteloiden suunnittelussa taulukon 1 arvojen mukaisia kytkimiä. Taulukon ylintä kytkintä käytettiin prototyypissä, neljän ketjun katkaisu saavutettiin käyttämällä neljää kytkintä.

Taulukko 1. Käytettyjen kytkimien arvot.

1000 VDC	32 A	1 ketju	2-napainen
1500 VDC	160 A	6–10 ketjua	2-napainen
1500 VDC	400 A	12–24 ketjua	2-napainen
1500 VDC	630 A	30–36 ketjua	4-napaa, jumpperit

Taulukossa olevien kytkimien virta arvot perustuvat laskelmiin, joissa on käytetty 12 A:n/50 V:n paneeleja ja kerrointa 1,25. Näillä virta-arvoilla saadaan

toteutettua kaikki tarvittavat ketjumäärät. Kotelon tarvittavaa kokoa arvioidessa käytin apuna Socomecin Circo PV-kytkimiä, joiden arvot ovat samanlaiset kuin taulukon kytkimien [Liite 2.]. Koteloihin saatavien takalevyjen ansiosta komponentit on helppo kiinnittää niiden sisään hyvin vapaasti, johdotuksen ollessa pääasiallinen huomionkohde. Taulukossa 2 on listattuna komponenttien tärkeät mitat mitoituksen kannalta. Suurinkin kytkin on reilusti alle 150 mm korkea, ja loput komponentit ovat noin puolet tästä.

Taulukko 2. Komponenttien mitat.

	Korkeus (mm)	Leveys (mm)
Sulakepidike	77	35
Ylijännitesuoja	96	54
PV 432-kytkin	60	72
160 A-kytkin	160	180
400 A-kytkin	170	210
630 A-kytkin	260	290

Tällä hetkellä 1500 VDC kestoisten komponenttien huonon saatavuuden takia käytin suunnitelmissa komponentteja, joiden jännitekestoisuus on 1000 VDC. Myös lämpötilankestoisuus on ongelma, alle -25 °C sulakkeita ei käytännössä

ole markkinoilla. Asia ei sinällään ole yllättävä, paikat missä lämpötilat laskevat usein tuon lämpötilan alle ovat turhan pohjoisessa, jotta isommista aurinkovoimaloista olisi kovin suurta hyötyä. Komponentit ovat kuitenkin hyvin standardikokoisia ja kotelointia on saatavana monen kokoisina esim. Fiboxilta, joten niiden vaihtaminen myöhemmin on kohtuullisen helppoa. [13.]

6 Aurinkopaneelien kytkentäkotelo suunnitelmat

6.1 Neljän ketjun kotelo

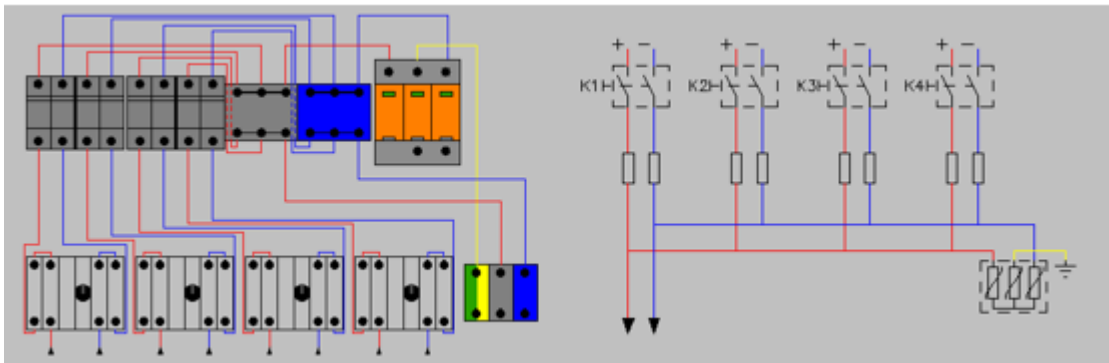
Neljän ketjun kotelossa käytin Katkon omia PV 432-kytkimiä [Liite 1.]. Ylijännitesuojaksi valikoitui Weidmullerin VPU PV II, joka on 2-tyypin ylijännitesuoja 1000VDC maksimijännitteellä. Päädyin käyttämään koteloon kiinnitettäviä Weidmullerin MC4-liittimiä sisääntuloiksi, myös holkkien vaihtaminen niiden tilalle on mahdollista. Ulostulot hoituvat holkeilla. [Liite 3.]

Sulakepidikkeiksi tuli Hagerin L502PV. Näihin on saatavilla yhteensopivia PV-sulakkeita aina 32 A:iin asti. Tässä käytössä 16 A:n sulake olisi sopivin, kestäen yhden ketjun maksimivirran turvakertoimenkin kanssa. Prototyypissä on kuitenkin saatavuudesta johtuen sisällä Hagerin LSN502-sulakepidike. Ne ovat fyysisesti samankokoiset, eli niiden käyttö ei vaikuttanut kotelon mitoitukseen. [Liite 4.]

Liittiminä on kaksi Katkon KL3x50 yhdistämässä ketjujen plus- ja miinusnavat sekä KL1x50 liittimet helpottamaan kotelon ulostulojohtojen liittämistä. Liittimiin saa kiinnitettyä 2,5–50 mm:n johtoja. [Liite 5.]

Kaapelina on Prysmian TECSUN, joka on tarkoitettu käyttöön aurinkosähköjärjestelmiin. Kaapelia on saatavana monen kokoisena, ohuemmat käyvät yksittäisten ketjujen johdotuksiin ja paksummat taas ulostulokaapeleiksi. Prototyypissä käytettiin TECSUN 6 LSZH, jolla on 70 A:n virrankestoisuus. Tätä samaa kaapelia käytettiin kaikkien kytkentäkoteloitten tuloissa, tässä MC4-tuloliittimiltä

kytkimille, muissa tuloliittimiltä sulakkeille [Liite 6.]. Kuvassa 14 on piirrettynä komponenttien sijoitus ja johdotus.

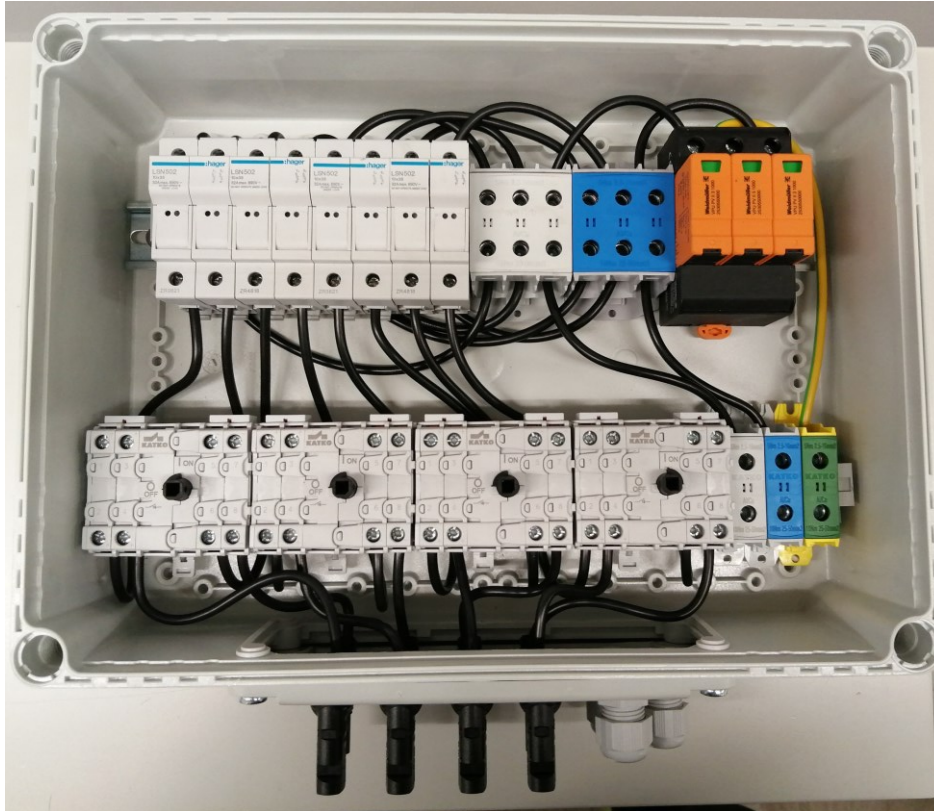


Kuva 14. 4-ketjun kytkentäkotelon piirustukset.

Sisääntulot ovat kotelon alareunassa, ketjujen MC4-liittimet ovat pareittain plusliitin edessä ja miinusliitin takana. Ulostulot sijaitsevat vasemmassa alareunassa, holkit navoille sekä suojamaajohdolle.

Koska jokaiselle ketjulle on tässä kokoonpanossa oma kytkimensä, voidaan sulakkeet sijoittaa niiden jälkeen. Isommissa koteloidissa tämä ei ole mahdollista, koska yksi kytkin erottaa kaikki ketjut. Kytkinten välille pystyy valmistamaan viivuston, jolla kaikkia kytkimiä voi hallita yhdellä vääntimellä.

Kaikki komponentit on kiinnitetty 35 mm:n DIN-kiskoon. Kuvan mukaisella asetelulla yläriivi olisi 291 mm leveä ja alarivi 340,5 mm. Yläriivin pisin komponentti olisi 96 mm ja alarivin 60 mm. Korkein komponentti on 70 mm. Koteloksi valikoitui Katkolla jo muussa käytössä oleva MF11UL Fiboxilta. Kotelon mitat ovat leveys 280 mm, pituus 380 mm ja korkeus 130 mm. Leveydeltään ja korkeudeltaan mallin komponentit mahtuvat koteloon. Tarvittavan pituuden arvioiminen ei ollut yhtä helppoa kaapeloinnin tilantarpeen takia. Komponentti rivien väliin jäi noin 50 mm tilaa ja rivien sekä kotelon seinien väliin noin 30 mm. Mielestäni tämä riitti hyvin johdotusten tekemiseen. Kotelon alapohjaan kiinni tulleet holkit tulivat kiinni erilliseen levyyn, joka kiinnitettiin koteloon. Kuvassa 15 vielä valokuva valmistetusta prototyypistä.



Kuva 15. 4-ketjun kytkentäkotelo prototyyppi.

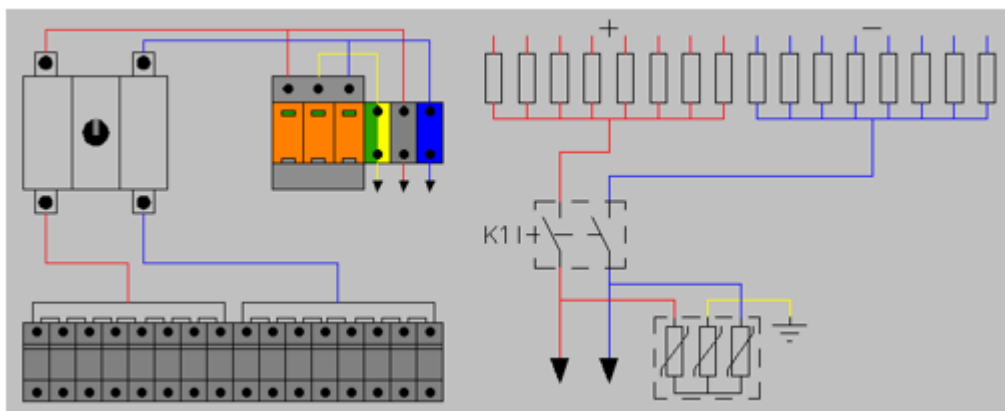
6.2 Kahdeksan ketjun kotelo

Kotelon kytkin on virtakestoaltaan 160 A. Sulakkeet, ylivirtasuojaja liittimet ovat samat kuin aikaisemmassa. Ketjujen yhdistäminen on toteutettu virtakiskolla, joka menee kiinni jokaiseen sulakkeeseen, ja voidaan sitten kiinnittää kytkimen napaan johtimella ja rengasliittimisellä kaapelikengällä. Kisko ja siihen kiinnitetyvä johdin täytyy mitoittaa 8 ketjun virran mukaan, eli 12 A:n ketjuilla:

$$12 A * 8 * 1,25 = 120 A$$

TECSUN 16 LSZH riittäisi siis tähän käyttöön 132 A:n maksimivirrallaan. Ylivirtasuojan tulot voidaan ottaa kytkimen lähdöistä rengasliittimillä. Sisääntulot sijaitsevat kotelon vasemmassa alareunassa pareittain, plus edessä ja miinus takana. Ulostulot oikeassa alareunassa, holkit vaiheille ja suojamaalle.

Sulakkeet, ylivirtasuoja ja liittimet on kiinnitetty 35 mm:n DIN-kiskoon. Kytkin voidaan kiinnittää suoraan kotelon takalevyyn. Sulakerivin leveys on 280 mm, kytkimen leveys 180 mm, pituus 135 mm ja korkeus 120 mm. Piirustuksen ylempi ja alempi rivi ovat yhtä leveät. Komponentit mahtuisivat Fiboxin ARCA 403015-koteloon, joka on 300 mm leveä, 400 mm pitkä ja 150 mm korkea. Jos sulakerivin kiinnitetään 50 mm kotelon alareunasta ja kytkimen päälle jätetään samankokoinen aukko, niin jää komponenttien väliin 88 mm, joka on riittävä sekä kiskoille että johdotuksille. Kuvassa 16 on piirrettynä komponenttien sijoitus ja johdotus.



Kuva 16. 8-ketjun kytkentäkotelon piirustukset.

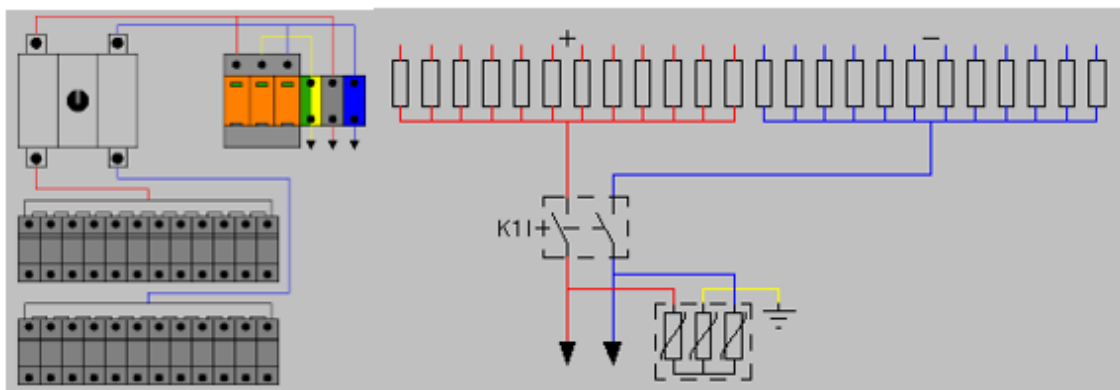
6.3 Kahdentoista ketjun kotelo

Kotelon kytkin on virtakestoltaan 400 A. Sulakkeet, ylivirtasuoja ja liittimet ovat samat kuin aikaisemmassa ja ne on kiinnitetty 35 mm:n DIN-kiskoon. Kytkin ja kiskot voidaan kiinnittää kotelon takalevyyn. Ketjujen yhdistäminen on toteutettu kampamaisella virtakiskolla, joka menee kiinni jokaiseen sulakkeeseen, ja voidaan sitten kiinnittää kytkimen napaan johtimella ja rengasliittimisellä kaapelikengällä. Kisko ja siihen kiinnittyvä johdin täytyy mitoittaa 12 ketjun virran mukaan, eli 12 A:n ketjuilla:

$$12 A * 12 * 1,25 = 180 A$$

TECSUN 50 LSZH riittäisi siis tähän käyttöön 276 A:n maksimivirrallaan. Ylivirtasuojan tulot voidaan ottaa kytkimen lähdeistä rengasliittimillä.

Kytkimien ja sulakerivien mitat ovat samat kuin aikaisemmissa. Sulakerivi vie pitiussuunnassa tilaa 77 mm, johon tulee kiskosta lisää noin pari senttiä. Kotelossa joudutaan valitsemaan astetta tarvittavaa suurempi UL CAB PC 504020 G, jonka mitat ovat 400 x 500 x 200 mm. Minimissään 50 mm:n välit komponenttien välillä toteutuvat helposti tässä kotelossa. Kuvassa 17 on piirrettyä komponenttien sijoitus ja johdotus.



Kuva 17. 12-ketjun kytkentäkotelon piirustukset.

6.4 Kahdenkymmenen ketjun kotelo

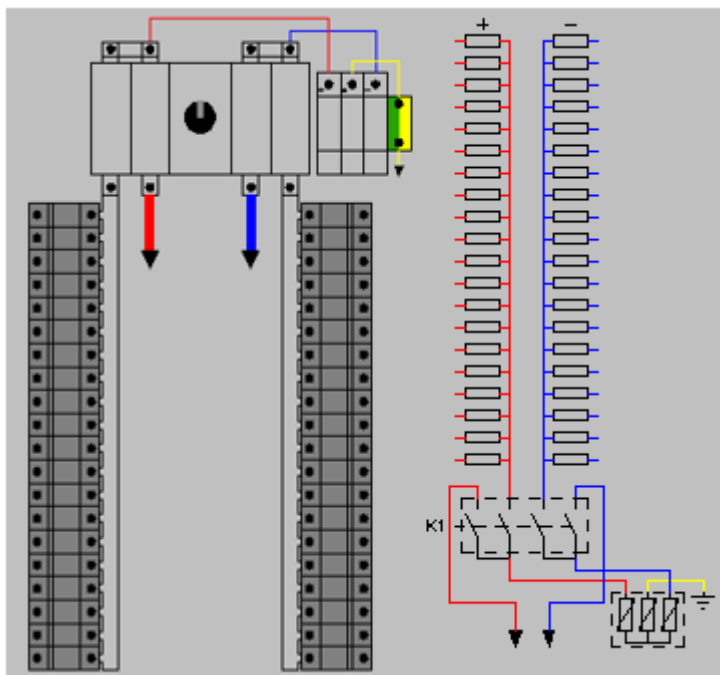
Kotelon kytkin on virtakestoaltaan 400 A. Sulakkeet, ylivirtasuoja ja liittimet ovat samat kuin aikaisemmassa ja ne on kiinnitetty 35 mm:n DIN-kiskoon. Kytkin ja kiskot voidaan kiinnittää kotelon takalevyyn. Ketjujen yhdistäminen on toteutettu virtakiskolla, joka menee kiinni jokaiseen sulakkeeseen, ja voidaan sitten kiinnittää kytkimen napaan johtimella ja rengasliittimisellä kaapelikengällä. Kisko täytyy mitoittaa 20 ketjun virran mukaan, eli 12 A:n ketjuilla:

$$12 A * 20 * 1,25 = 300 A$$

Suuri virtakisko, jossa on monta uloketta voi kuitenkin tehdä oikeasta tuotteesta liian kalliin valmistaa kilpailukykyisesti. Mahdollista on myös käyttää monta

pienempiä kiskoja, jotka kiinnitetään toisiinsa tai kiinnittää kytkimen napaan kisko, johon lähdöt sulakkeilta kiinnitetään johdoilla ja rengasliittimillä.

Sulakerivit ovat 350 mm pitkiä. Kytkin on mitoiltaan 210 x 170 x 130 mm. Jos sulakkeet on kytketty alla olevan kuvan mukaan, on järjestelmällä pituutta noin 520 mm ja leveyttä noin 387 mm. Koteloksi valikoitui AR24208CHSSL jonka mitat ovat 510 x 611 x 205 mm. Sulakkeiden kytkentöjen tekemiseksi jää molemmille puolille noin 60 mm tilaa. Kuvassa 18 on piirrettynä komponenttien sijoitus ja johdotus.



Kuva 18. 20-ketjun kytkentäkotelon piirustukset.

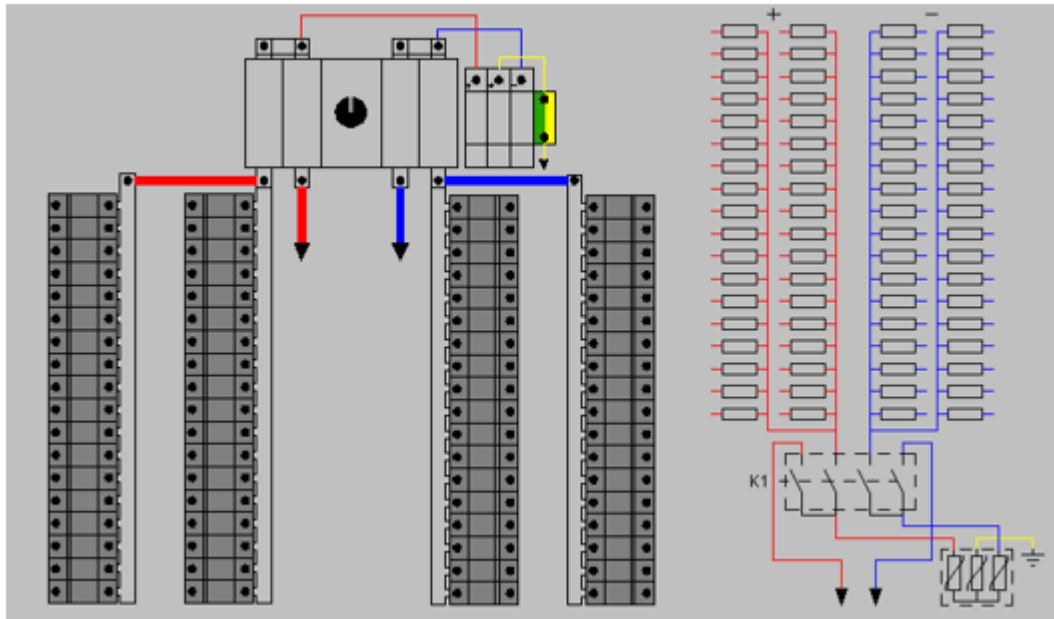
6.5 Kolmenkymmenenkuuden ketjun kotelo

Kotelon kytkin on virtakestoltaan 630 A. Ylivirtasuoja ja sulakkeet ovat samat kuin aikaisemmissa. Sulakkeet, ylivirtasuoja ja liitin on kiinnitetty 35 mm:n DIN-kiskoon. Kytkin ja kiskot voidaan kiinnittää kotelon takalevyyn.

Virtakiskot kytkimen napoihin yhdistävän kaapelin täytyy olla virtakestoltaan minimissään 18 ketjun virrat kestävä eli 12 A:n ketjuilla:

$$18 * 12 A * 1,25 = 270 A$$

Prysmianin TECSUN 50 LSZH sopii tähän käyttöön 276 A:n virtakestollaan. Kaapelit saa kiinnitettyä kiskoihin rengasliittimillä. Kuvassa 19 on piirrettyä komponenttien sijoitus ja johdotus.



Kuva 19. 36-ketjun kytkentäkotelon piirustukset.

Sulakerivit ovat 350 mm pitkiä. Kytkin on mitoiltaan 280 x 260 x 131 mm. Jos sulakkeet on kytketty kuvan 19 mukaan, on sillä pituutta noin 610 mm ja leveyttä 788 mm kun sulakkeiden väliin jätetään noin 50 mm:n asennusvälin. Koteloksi jouduttiin valitsemaan tarvittavaa suurempi CAB P 1008030, joka on mitoiltaan 835 x 1035 x 300 mm. Tilaa johdotusten tekemiseen jää taas reilusti, molemmille puolille yli 100 mm.

7 Yhteenveto

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella aurinkopaneelien kytkentäkotelotuotesarja ja kerätä työn toimeksiantajalle tietoa aurinkopaneelimarkkinoista.

Tuotesarjan mallit saatiin suunniteltua useimmiten kysytyille ketjumäärille. Työssä käytiin läpi mitoituksen kannalta tärkeimmät asiat, jotka vaikuttavat tuotteiden suunnitteluun. Prototyyppejä ei harmillisesti kyetty valmistamaan enempää komponenttien huonon saatavuuden takia.

Tuotteen tulevaisuuteen vaikuttavia asioita tuli työtä tehdessä vastaan monia. Jo kauan tiedossa olleen 1500 VDC siirtymisen lisäksi on todennäköisesti tulossa muitakin standardimuutoksia, jotka on otettava huomioon, että tuotteen eivät olisi käyttökelvottomia lähes heti. Fireman's Switch-toiminto on mainittu mahdollisesti pakollisena tulevaisuuden asennuksissa paloturvallisuuden parantamiseksi. Tämä vaatisi kytkimiin releohjauksen, joka ei ainakaan tällä hetkellä olisi mahdollista toimeksiantajani omilla komponenteilla. Myös invertterien kehitys luo riskin tuotteen tulevaisuudelle. Isomman ketjumäärän invertterit tekevät kytkentäkotelosta tarpeettomia. Myös turvakomponenttien integroituminen inverttereihin vähentää niiden tarvetta. Kaikki nämä ovat erittäin tärkeitä tietoja yritykselle, uusien kytkimien valmistukseen tarvittavat investoinnit ovat suuret, ja markkinoiden epävarma tulevaisuus aiheuttaa tarpeetonta riskiä.

Aurinkosähkön tulevaisuus näyttää kirkkaalta. Komponenttien halvetessa ja uusien integraatioiden ansioista järjestelmiä voidaan käyttää taloudellisesti kannattavasti alati laajenevissa paikoissa. Kun lainsäädäntökin saadaan ajan tasalle, voisi yhteisomistuksessa olevat järjestelmät yleistyä.

Lähteet

- 1 Aurinkosähköteknologiat. 2021. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat>. Luettu 1.9.2021.
- 2 Aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet. 2021. Verkkoaineisto. aurinkosahkoakotiin. <<https://aurinkosahkoakotiin.fi/aurinkosahko-kokoonpano/>>. Luettu 3.9.2021.
- 3 Mixing solar panels – Dos and Don'ts. 2021. Verkkoaineisto. Lacho, Pop. <<https://solarpanelsvenue.com/mixing-solar-panels/>>. Luettu 3.9.2021.
- 4 PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. 2021. Verkkoaineisto. European Commission. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html>. Luettu 6.9.2021.
- 5 Laderberg, Vesa. 2017. Aurinkosähköjärjestelmien riskit pelastustoimelle. Opinnäytetyö. Savonia-ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.
- 6 5 potential fire hazards and mitigation in photovoltaic systems. 2020. Verkkoaineisto. Solarity. <<https://solarity.cz/blog/fire-hazards-and-mitigation-in-photovoltaic-systems/>>. Luettu 6.9.2021.
- 7 AURINKOSÄHKÖ JÄRJESTELMIEN PALORISKIT JA SAMMUTUSTURVALLISUUS. 2020. Verkkoaineisto. Rasinkoski, Asko. <https://www.motiva.fi/files/17365/Aurinkosahkojarjestelmien_paloriskit_ja_sammutusturvallisuus.pdf>. Luettu 1.9.2021
- 8 Pienjännitesähköasennukset. Osa 7-712: erikoistilojen ja -asennusten vaatimukset. Aurinkosähköjärjestelmät. 2017. Standardi. SFS 6000-7-712.
- 9 Tiger All Black Mono-facial. 2021. Verkkoaineisto. Jinko Solar. <<https://www.enie.nl/wp-content/uploads/2021/01/tr-jkm340-360m-6tl3-b-a1-en.pdf>>. Luettu 12.9.2021.
- 10 Polarised Solar DC Circuit Breakers - Reverse Polarity. 2017. Video. Gold Coast Solar Power Solutions. <<https://www.youtube.com/watch?v=Oaq2cvoPBRk>>. Katsottu 22.9.2021.
- 11 Stäubli connectors: essential tips for PV plant developers about MC4 connectors. 2020. Verkkoaineisto. De Rooij, Dricus. <<https://sinovoltaics.com/technology/original-mc4-connectors-staubli/>>. Luettu 12.9.2021.

- 12 TÄRKEÄÄ TIETOA AURINKOSÄHKÖLIITTIMISTÄ. 2017. Verkkoaineisto. Multirel. <<https://multirel.fi/uutiset/tarkeaa-tietoa-aurinkosahkoliittimista/>>. Luettu 12.9.2021.
- 13 Catalog. 2021. Verkkoaineisto. Fibox. <<https://www.fibox.fi/catalog>>. Luettu 17.11.2021

Prototyypissä käytetty kytkin



PV DC-kytkimet

- Tuotekohtaiset tiedot yksittäisen tuotteen sivulta Tuotetiedot -kohdasta
- Saatavilla 32A 1200V DC, DC-21B asti, katso tarkat arvot tuotteen kohdalta
- Saatavilla 32A 1000V DC, DC-PV2 asti, katso tarkat arvot tuotteen kohdalta
- Kompakti DC-kytkin (PV)
- Saatavilla 2 ja 4 napaisena
- Yhteensopiva vääntimen LK10 kanssa
- Akselit: L=100/200/300 AD11 VT
- Lukittava väännin 0-asennossa
- Ovikytky estää kannen avaamisen kytkimen ollessa 1-asennossa
- Vääntimessä ohitusmahdollisuus
- **Huom!:** Alumiinikaapeleita ei voida liittää suoraan kytkimeen. Kytkentää varten tarvitsset bimetalli liittimen, saatavilla täältä.

Tekniset tiedot >>



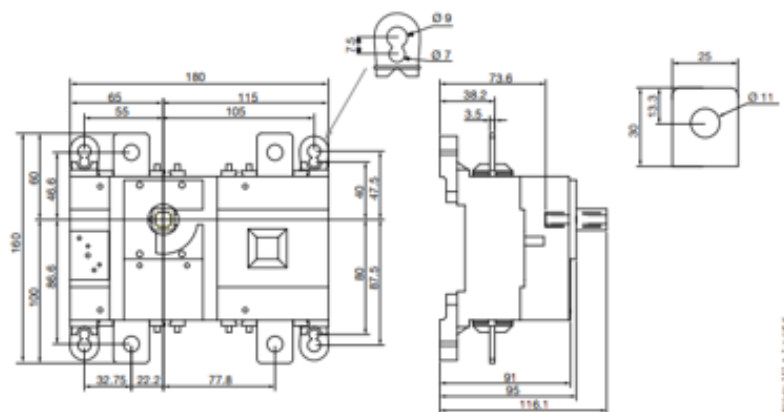
Tyyppi	Napojen lukumäärä	Nimelliseristysjännite	DC-21B	DC-PV2	Sähkönumero	Kaapelin koko kytentätilaan (mm ²)	Paino (kg)
PV 216	2	1200	16A 1000V	1000V 6A / 500V 16A	3600330	1.5-16	
PV 232	2	1200	25A 1000V	1000V 10A / 500V 25A	3600337	1.5-16	
PV 416	4	1200	16A 1200V	1000V 16A	3600339	1.5-16	
PV 432	4	1200	32A 1200V	1000V 32A	3600346	1.5-16	

Käytettyjen Socomecin kytkimien mitat

Dimensions (mm)

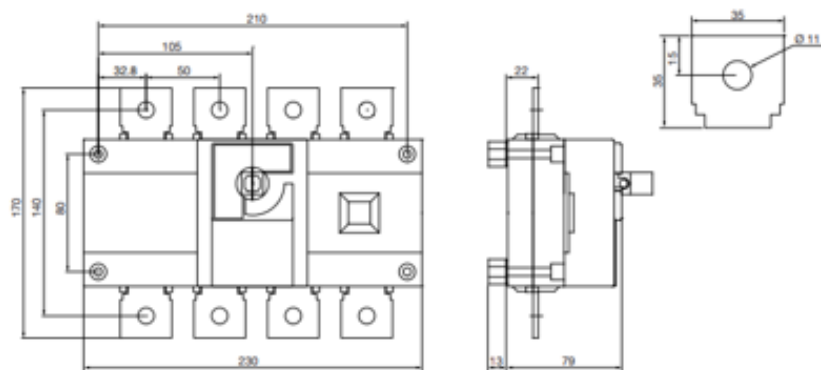
100 to 315 A - B4 - 2P - 1000 VDC - 1 circuit

26PV 2010 - 26PV 2016 - 26PV 2025 - 26PV 2031



400 to 500 A - B4 - 4P - 1000 VDC - 1 circuit

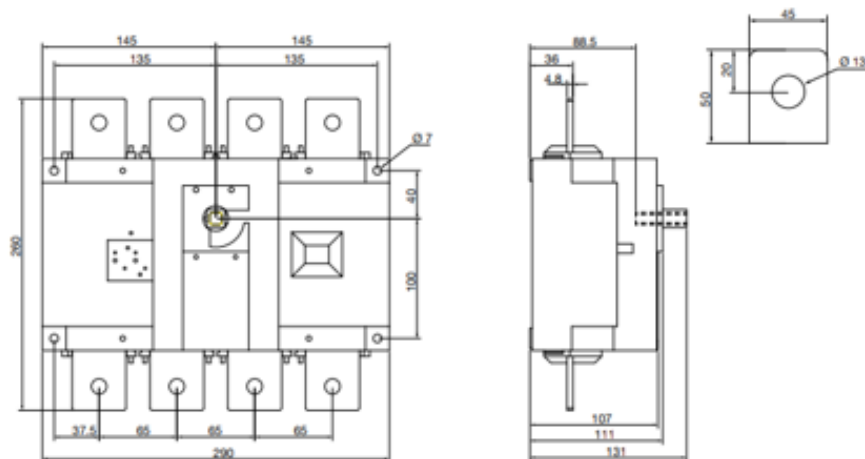
26PV 4040 - 26PV 4050



Dimensions (mm) (continued)

630 to 800 A - B5 - 4P - 1000 VDC - 1 circuit

26PV 4063 - 26PV 4080



Käytetyn ylijännitesuojan tiedot

Product image



Type II surge voltage arrester for use in photovoltaic applications

- Pluggable arrester
- Suitable for protecting DC systems
- High energy absorption with short response time
- Tested in accordance with EN 50539-11
- Suitable for use in accordance with IEC 60364-7-712 / EN 50539-12
- Coded voltage level
- Installation in distribution board
- Thermal protection function

Dimensions and weights

Depth	70 mm	Depth (inches)	2,756 inch
Height	96 mm	Height (inches)	3,78 inch
Width	54 mm	Width (inches)	2,126 inch
Mounting dimension - height	75 mm	Net weight	420 g

Temperatures

Storage temperature	-40 °C...85 °C	Operating temperature	-40 °C...70 °C
Humidity	5 - 95% rel. humidity		

Rated data UL

Certificate No. (UR)	E354261	Ambient temperature (operational), max. 85 °C	
Rated Voltage U_N	1 500 V	SCCR	65 kA
I_n	20 kA	Category	SPD TYPE 1CA
Rated current (UL)	1 500 V	Ambient temperature (operational), min. -40 °C	
Certificate No. (cURus)	E354261	VPR (DC+/DC-)	4 000 V
VPR (DC-/G)	4 000 V	Voltage type	DC

General data

Colour	black, orange	Design	Installation housing: 3TE, Insta IP 20
Operating altitude	≤ 2000 m	Optical function display	green = OK; red = arrester is defective - replace
Protection degree	IP20	Rail	TS 35
UL 94 flammability rating	V-0		

Insulation coordination acc. to EN 50178

Pollution severity	2	Surge voltage category	III
--------------------	---	------------------------	-----

Photovoltaic technical data

Discharge current I_n (8/20 μ s)	20 kA	Discharge current, max. (8/20 μ s)	30 kA
Operating height in the grounded PV system	≤ 2000 m	Operating height in ungrounded PV system	< 4,000 m, see operating instructions
PV system voltage, max. U_{DC}	1 500 V	Protection level U_p (+/-, -/PE, +/-PE)	≤ 5,0 kV
Requirements class	Type II	Short-circuit current $I_{SC,PV}$	11 000 A
Standards	EN 50539-11, UL 1449	Total discharge current I_{tot} (8/20 μ s)	40 kA

Rated data IEC / EN

Discharge current, max. (8/20 μ s)	30 kA	Leakage current at U_n	30 μ A
Number of poles	3	Rated voltage (DC)	1500 V
Response time	≤ 25 ns	SPD type	T2
Signalling contact	No	Standards	EN 50539-11, UL 1449
Voltage type	DC		

Käytetyn sulakepidikkeen ja sulakkeen tiedot



L502PV

Fuse carrier 2P 1000V DC L38 2M

Technical Characteristics

Number of poles	2 P
Type of pole	2 P
Indicator lamp	no
Rated operational voltage Ue	690 / 1000 V
Frequency	50/60 Hz
Rated current	32 A
Type of supply voltage	DC
Rated insulation voltage	690 V
Depth of installed product	75 mm
Height of installed product	77 mm
Width of installed product	35 mm
Total power loss under IN	2.2 W
Electric endurance in number of cycles	2000
Number of mechanical operations	4000
Number of modules	2
Interlockable	No
Tightening torque	2Nm
Connection cross-sect. flexible conductor	0,75 / 10mm ²
Connection cross-sect. rigid cable	1 / 16mm ²
Can be accessorized	No
European directive WEEE	concerned
Protection index IP	IP20
Operating temperature	-25...50 °C



LF316PV

PV Fuse-link 10x38 mm 1000V DC 16A

Technical Characteristics

Rated operational voltage Ue	0 / 1000 V
Rated current	16 A
Type of supply voltage	DC
Total power loss under IN	2.7 W
Can be accessorized	No
European directive WEEE	concerned
Operating temperature	-25...70 °C

Käytettyjen liittimien tiedot



KL3X50

KL & KC Liittimet

- **UL listatut liittimet, katso linkki alla**
- **Katso yksittäisestä tuotteesta tarkemmat tiedot**
- Myyntiyksikkö = 1 kpl
- Al/Cu kaapeleille (KC-liittimet vain Cu kaapeleille)
- Saatavissa harmaana, sinisenä ja keltavihreänä (KL 1x16 saatavilla vain harmaana ja sinisenä)
- Kosketussuojattu, IP 20
- Polyamidimuovi kotelointi
- Liitinmateriaali KL-liittimet: tinattu ja rasvattu alumiini
- Liitinmateriaali KC-liittimet: terässanka/messinkikisko
- KC-liittimet 16 – 35 mm² ja KL 1.5-50 mm² DIN kiskokiinnityksellä
- KL-liittimet 50 – 300 mm² DIN kisko- ja ruuvikiinnityksellä
- Valmistettu ympäristöystävällisistä materiaaleista
- IEC 61238-1 A-luokan sertifikaatti
- IEC 60947-7-1 sertifioitu



KL1X50

KL & KC Liittimet

- **UL listatut liittimet, katso linkki alla**
- **Katso yksittäisestä tuotteesta tarkemmat tiedot**
- Myyntiyksikkö = 1 kpl
- Al/Cu kaapeleille (KC-liittimet vain Cu kaapeleille)
- Saatavissa harmaana, sinisenä ja keltavihreänä (KL 1x16 saatavilla vain harmaana ja sinisenä)
- Kosketussuojattu, IP 20
- Polyamidimuovi kotelointi
- Liitinmateriaali KL-liittimet: tinattu ja rasvattu alumiini
- Liitinmateriaali KC-liittimet: terässanka/messinkikisko
- KC-liittimet 16 – 35 mm² ja KL 1.5-50 mm² DIN kiskokiinnityksellä
- KL-liittimet 50 – 300 mm² DIN kisko- ja ruuvikiinnityksellä
- Valmistettu ympäristöystävällisistä materiaaleista
- IEC 61238-1 A-luokan sertifikaatti
- IEC 60947-7-1 sertifioitu

Käytetyn kaapelin tiedot

TECSUN 1 kV LSZH (H1Z2Z2-K)

Lämmönkestävä halogeeniton aurinkosähköjärjestelmien kaapeli



Kaapeli on pääsääntöisesti tarkoitettu aurinkosähköjärjestelmiin ja erityisesti järjestelmien tasavirtapuolelle (DC). Kaapelit soveltuvat sisä- ja ulkokäyttöön sekä käytettäväksi Protecting Class II -suojaustason laitteistoissa.

Johtimen suurin sallittu lämpötila:

- jatkuvassa käytössä 90 °C
 - erityiskäytössä 120 °C
 - vikatilanteessa (kesto enintään 5 s) 250 °C
- Alin suositeltu käsittelylämpötila (2) -25 °C

Suurin sallittu asennusvetovoima (johtimista) on 50x A N/mm²

Suurin sallittu käytön alkainen vetovoima (johtimista) on 15x A N/mm²

NIMELLISJÄNNITE

UO/U = 1,0/1,0(1,2) kV AC
UO/U = 1,5/1,5(1,8) kV DC

RAKENNE

Johtin Hienolankainen tinattu kuparijohtin
Eristys Halogeeniton kumi
Vaippa Halogeeniton kumi

STANDARDIT

EN 50618
IEC / EN 60332-1-2 (itsestään sammuva)
IEC / EN 61034 (vähän savuava)
IEC / EN 60754 (halogeeniton)

Sähkönumero ja väri	Tuote	Ulkohalkaisija mm (1)	Massa kg/km (1)	johtimen maks. tasavirtaresistanssi 20 °C lämpötilassa Ω/km	Asennustapa EN 50618 esim. yksittäinen kaapeli ilmassa A
0403260 MU	TECSUN 2,5 LSZH	5,4	50	8,21	41
0403261 PU	TECSUN 2,5 LSZH	5,4	50	8,21	41
0403262 MU	TECSUN 4 LSZH	5,9	70	5,09	55
0403264 PU	TECSUN 4 LSZH	5,9	70	5,09	55
0403265 MU	TECSUN 6 LSZH	6,4	80	3,39	70
0403266 PU	TECSUN 6 LSZH	6,4	80	3,39	70
0403269 SI	TECSUN 6 LSZH	6,4	80	3,39	70
0403270 MU	TECSUN 16 LSZH	10	200	1,24	132
0403282 MU	TECSUN 25 LSZH	11	290	0,795	176
0403284 MU	TECSUN 50 LSZH	15	550	0,393	276