

AURINKOPANEELIJÄRJESTELMIEN VAIKUTUS PIENJÄNNITEVERKKOON

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä Jasu Heikkinen			
Työn nimi Aurinkopaneelijärjestelmien vaikutus pienjänniteverkkoon			
Päiväys	30.12.2018	Sivumäärä/Liitteet	55/3
Ohjaajat yliopettaja Juhani Rouvali, lehtori Jari Ijäs			
Toimeksiantaja Savon Voima Verkko Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia aurinkopaneelien vaikutuksia pienjänniteverkkoon sekä syventää ymmärrystä aurinkopaneelijärjestelmistä. Opinnäytetyössä kerättiin jakeluverkkoyhtiö Savon Voima Verkko Oy:lle aineistoa, joka auttoi vastaamaan kysymyksiin: onko aurinkopaneelijärjestelmien määrän kasvaessa tarvetta tehdä muutoksia sähköverkon mitoitukseen ja onko asetettava uusia määräyksiä verkkoon liitettävälle aurinkopaneelijärjestelmille.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin invertterin toimintaa tekemällä ABB TRIO -aurinkosähköinvertterille laboratoriomittauksia Savonia-ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa. Samalla tutustuttiin invertterin rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Opinnäytetyössä simuloitiin Tieto Oyj:n PowerGrid-verkkotietojärjestelmän avulla aurinkopaneelijärjestelmien käyttäytymistä sähköjakeluverkossa sekä vertailtiin ohjelman laskentatuloksia DIGSILENT:n PowerFactory-simulointiohjelman antamiin tuloksiin.</p> <p>Opinnäytetyön tuotoksena saatiin invertterin käyttäytymistä havainnollistava mittausdata sekä käyttö- ja säätöohjeet invertterille. Invertteriä tutkittaessa selvisi, että standardin mukaisen invertterin tehonrajoitustoiminto auttaa pitämään verkkojännitteen standardin rajoissa. Lisäksi saatiin useita PowerGrid-verkkotietojärjestelmällä simuloituja sähköverkon skenaarioita laskentadatoineen sekä laskentatulosten vertailu PowerFactory-simulointiohjelman tuloksiin. Laskentatuloksista todettiin, että aurinkopaneelijärjestelmillä voi olla haitallisia vaikutuksia sähköjakeluverkkoon. Näitä ovat esimerkiksi jännitetasojen nousu ja ylikuormitustilanteet. Ohjelmien vertailussa todettiin, että PowerGrid-verkkotietojärjestelmä laskee luotettavasti myös tuotantotilanteita.</p>			
Avainsanat aurinkosähkö, aurinkopaneeli, aurinkosähköjärjestelmä, invertteri, simulointi			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Jasu Heikkinen			
Title of Thesis Impact of Solar Panel Systems on the Low Voltage Network			
Date	December 30, 2018	Pages/Appendices	55/3
Supervisors Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer and Mr. Jari Ijäs, Senior Lecturer			
Client Organisation Savon Voima Verkko Oy			
<p>Abstract</p> <p>The object of this Bachelor's Thesis was to examine the impact of solar panel systems on the low voltage network and to increase the knowledge of solar panel systems. In this thesis the material which helped to answer the questions was compiled to distribution network company called Savon Voima Verkko Oy. These questions were: whether there is a need to make changes to the sizing of the grid as the number of solar panel systems increases, and whether new regulations should be set for solar panel systems connected to the grid.</p> <p>The operation of the inverter was examined by performing laboratory measurements on the ABB TRIO solar inverter at the electrical laboratory of Savonia University of Applied Sciences. At the same time, the structure and features of the inverter were explored. The behavior of solar panel systems in the electricity distribution network was simulated using Tieto Corporation's PowerGrid network information system and the results were compared with the results provided by DiGSILENT PowerFactory simulation program.</p> <p>The result of the thesis was the measurement data that illustrates the behavior of the inverter and the operating and control instructions for the inverter. While examining the inverter, it became clear that the power limiting function of the standard inverter helps to keep the supply voltage within the standard limits. In addition, several simulated power network scenarios including the computational data were obtained with the PowerGrid network information system. The comparison of calculation results was obtained with the PowerFactory simulation program. From the calculation results, it was found that solar panel systems can have detrimental impacts on the distribution network. These impacts are for example rising voltage levels and overload situations. Comparing the programs, it was found that the PowerGrid network information system calculates energy production situations reliably.</p>			
<p>Keywords photovoltaic, solar panel, photovoltaic system, inverter, simulation</p>			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savon Voima Verkko Oy:lle. Opinnäytetyö suoritettiin syksyn 2018 aikana Kuopiossa ja Toivalassa. Opinnäytetyö liittyy aiemmin tekemääni projektityöhön Savon Voima Verkko Oy:lle, jossa tutkittiin PowerGrid-verkkotietojärjestelmän avulla aurinkopaneelien vaikutuksia pienjänniteverkkoon. Opinnäytetyön aihe on hyvin ajankohtainen, sillä aurinkopaneelijärjestelmien määrä kasvaa teknologian kehityksen vuoksi nopeammin kuin on osattu ennustaa.

Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaavia opettajia yliopettaja Juhani Rouvalia ja lehtori Jari Ijästä työn ohjauksesta sekä projekti-insinööri Henrik Sikasta suuresta avusta laboratoriomittausten aikana. Kiitos myös Savon Voima Verkko Oy:n suunnittelupäällikkö Jussi Antikaiselle opinnäytetyön mahdollistamisesta. Lisäksi haluan tasapuolisesti kiittää kaikkia muita Savon Voima Verkko Oy:ltä osallistuneita tuesta, ideoista ja ohjauksesta.

Olin opinnäytetyön teon aikana työsuhteessa Savon Voima Verkko Oy:n kanssa.

Kuopiossa 30.12.2018

Jasu Heikkinen

SISÄLTÖ

LYHENTEET JA KÄSITTEET	7
1 JOHDANTO	9
2 AURINKOENERGIA.....	10
2.1 Maan kierto auringon ja oman akselinsa ympäri.....	10
2.2 Ilmakehän vaikutus.....	11
3 AURINKOSÄHKÖÄRJESTELMÄT	13
3.1 Verkkoon kytkettävä aurinkopaneelijärjestelmä.....	13
3.2 Itsenäinen aurinkopaneelijärjestelmä	13
3.3 Muut aurinkosähköjärjestelmät	14
3.4 Mahdolliset vaikutukset sähkönjakeluverkkoon.....	16
4 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT	18
4.1 Aurinkokenno	18
4.2 Invertteri eli vaihtosuuntaaja	19
5 SAVON VOIMA VERKKO OY	21
5.1 Sähköverkon rakenne.....	21
5.2 Aurinkopaneelijärjestelmät Savon Voima Verkko Oy:n jakelualueella	22
5.3 Aurinkopaneelijärjestelmän liittäminen pienjänniteverkkoon.....	23
6 INVERTTERIN TUTKIMINEN	25
6.1 Asennus	27
6.2 Käyttöönotto.....	28
6.3 Käyttäytymiseen vaikuttavat ominaisuudet	28
6.4 Käyttäytyminen.....	30
6.4.1 Heikko verkko	32
6.4.2 Keskitasoinen verkko.....	34
6.4.3 Vahva verkko.....	35
7 SIMULOINTI JA LASKENNAT	37
7.1 PowerGrid	37
7.1.1 Ensimmäinen tutkittu muuntopiiri.....	38
7.1.2 Toinen tutkittu muuntopiiri	42
7.2 PowerFactory.....	47
7.3 Vertailun tulokset.....	50

8	YHTEENVETO.....	52
9	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	53
	LIITE 1: MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIETOLOMAKE (SAVON VOIMA E, EI PVM)	56
	LIITE 2: ABB TRIO OMINAISUUDET JA TEKNISET TIEDOT (ABB A, 2015, S. 8)	58

LYHENTEET JA KÄSITTEET

AC

Englanninkielisen sanan alternating current lyhenne. Sana tarkoittaa ajansuhteen vaihtuvaa sähkövirtaa eli vaihtovirtaa. Vaihtovirtaa käytetään yleisesti Suomessa sähköjakeluverkossa. (Ylinen, 2011)

Aurinkokenno

Prosessoitu piikiekkö, joka muuttaa auringonsäteilyn sähköenergiaksi (Kvick, 2010, s. 4).

DC

Englanninkielisen sanan direct current lyhenne. Sana tarkoittaa sähkövirtaa, jonka suunta pysyy ajansuhteen vakiona, eli tasavirtaa (Ylinen, 2011). Aurinkopaneelit tuottavat tasavirtaa.

Hajautettu energiantuotanto

Hajautettu energiantuotanto tarkoittaa energian tuottamista hajautetuissa, pienissä yksiköissä lähellä kuluttajaa (Hirvonen, 2015, s. 13).

Jännitteenalenema

Virran kulku johtimessa synnyttää johdon impedanssissa jännitteenalenemaa (Korpinen, s. 1). Saman johdon virran kulkusuunnan mukaan määräytyvässä loppupäässä on siis aina pienemmässä potentiaalissa.

Kaksisuuntainen liittymä

Sähköliittymä, jossa sekä kulutetaan että tuotetaan sähköä. Aurinkosähköjärjestelmän omistavat asiakkaat tekevät jakeluverkkoyhtiön kanssa sopimuksen kaksisuuntaisesta liittymästä.

Lataussäädin

Lataussäädin estää aurinkosähköjärjestelmän akuston yllilataantumisen ja syväpurkaantumisen (Aurinkosähkö.net, ei pvm).

Oikosulkuvirtataso

Ominaisuus, joka kuvaa jakeluverkon jäykkyyttä. Oikosulkuvirtatasoon vaikuttaa etäisyydet, jakeluverkon johtimien poikkipinta-ala ja komponenttien nimellisteho.

Oskilloskooppi

Oskilloskooppi on laite, joka mittaa ja näyttää minkä muotoista sähkö on (BCC solutions, ei pvm).

Paneeli

Aurinkokennoista koostuva yksikkö, joka tuottaa tasavirtaa (Kvick, 2010, s. 5).

Paneelisto

Yhteen kytketyt aurinkopaneelit muodostavat paneeliston (Kvick, 2010, s. 5).

Sähkömagneettinen säteily

Sähkömagneettinen säteily on aaltoliikettä, joka koostuu sähkö- ja magneettikentässä etenevistä värähtelyistä (Lehto;Maalampi;Havukainen;& Leskinen, 2016, s. 135).

Säätömuuntaja

Muuntaja, jonka toisiosion jännitetasoa pystytään muuttamaan käämikytkimen avulla. Käämikytkimen asentoa muutetaan kiertämällä toimielintä.

Tehoanalyysaattori

Tehoanalyysaattori on laite, joka mittaa tietyn kohteen hetkellistä jännitettä sekä virtaa ja laskee näiden avulla muut sähkönsuureet. Tuloksia voidaan tulkita numeerisena tai kaavioituna.

Tehokerroin

Tehokerroin, on pätötehon ja näennäistehon suhde. Tehokertoimen ollessa yksi, kuorma on täysin resistiivinen ja kaikki virta tekee työtä (Musakka, 2016, s. 3).

Vaihtosuuntaaja, Invertteri

Tasavirtaa vaihtovirraksi muuntava laite (Kvick, 2010, s. 5).

Verkkotietojärjestelmä

Verkkotietojärjestelmät ovat laajoja ja monipuolisia tietojärjestelmiä, joissa yhdistyy monipuoliset suunnittelu ja dokumentointi mahdollisuudet. Nykyisissä verkkotietojärjestelmissä käyttöliittymä on karttapohjainen. (Teivainen, 2017, ss. 13-14)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia aurinkopaneelien vaikutuksia pienjänniteverkkoon sekä syventää ymmärrystä aurinkopaneelijärjestelmistä. Opinnäytetyössä kerätään aineistoa, joka auttaa vastaamaan kysymyksiin: onko aurinkopaneelijärjestelmien määrän kasvaessa tarvetta tehdä muutoksia sähköverkon mitoittamiseen ja onko asetettava uusia määräyksiä verkkoon liitettäville aurinkopaneelijärjestelmille. Opinnäytetyön tilaaja on jakeluverkkoyhtiö Savon Voima Verkko Oy.

Opinnäytetyössä tutkitaan invertterin toimintaa tekemällä ABB TRIO -aurinkosähköinvertterille laboratoriomittauksia Savonia-ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa. Samalla tutustutaan invertterin rakenteeseen ja ominaisuuksiin. Opinnäytetyössä simuloidaan Tieto Oyj:n PowerGrid-verkkotietojärjestelmän avulla aurinkopaneelijärjestelmien käyttäytymistä käytössä olevassa sähköverkossa sekä vertaillaan ohjelman laskentatuloksia DIgSILENT:n valmistaman PowerFactory-simulointiohjelman antamiin tuloksiin.

Opinnäytetyön tuotoksena saadaan invertterin käyttäytymistä havainnollistava mittausdata sekä käyttö- ja säätöohjeet invertterille. Lisäksi saadaan useita PowerGrid-verkkotietojärjestelmällä simuloituja sähköverkon skenaarioita laskentadatoineen sekä laskentatulosten vertailu PowerFactory-simulointiohjelmaan. Tilaaja saa opinnäytetyöstä tärkeää tietoa aurinkopaneelien vaikutuksista pienjänniteverkkoon. Tämän avulla se ymmärtää paremmin sähköverkossa tapahtuvia ilmiöitä ja osaa varautua mahdollisiin ongelmiin ajoissa.

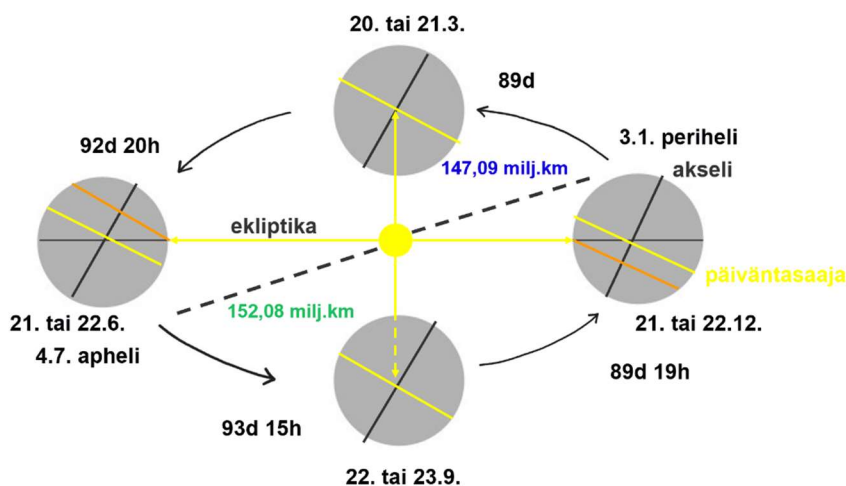
2 AURINKOENERGIA

Aurinko syntyi noin viisi miljardia vuotta sitten tiivistymällä pöly- ja kaasupilvestä. Auringon ydinosa kuumeni voimakkaasti ja vety-ytimien liike voimistui, jolloin fuusioreaktiot alkoivat. Fuusioreaktiossa vety-ytimet liittyvät yhteen ja muodostavat heliumia, jolloin vapautuu suuri määrä energiaa. Auringon ytimessä syntynyt energia siirtyy aluksi säteilynä ja loppumatkan kaasujen virtausten mukana auringon pinnalle. Maahan energia siirtyy sähkömagneettisena säteilynä.

(Lehto;Maalampi;Havukainen;& Leskinen, 2016, s. 123) Auringon säteilyteho kasvaa hyvin hitaasti ikääntyessään. Tämä johtuu sen ydinosien alkuainekoostumuksen muuttumisesta fuusion kuluttaessa vetyvarantoa. (Ilmatieteenlaitos, ei pvm) Tällä hetkellä auringosta siirtyy maapallolle $1,7 \cdot 10^{14} \text{ kW}$ säteilyteho (Erat, ym., 2008, s. 10).

2.1 Maan kierto auringon ja oman akselinsa ympäri

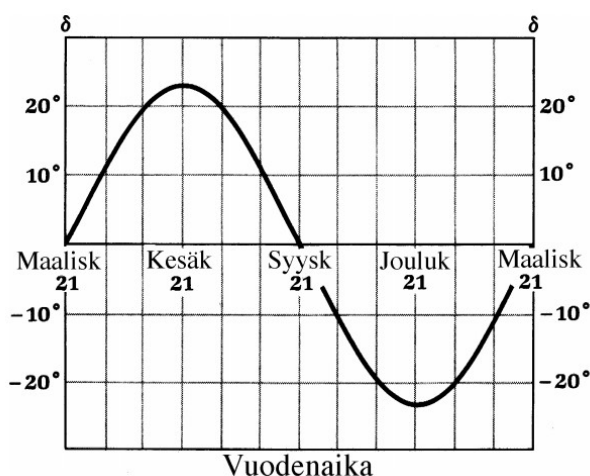
Maa kiertää aurinkoa ellipsin muotoisella radalla, jonka suurin halkaisija on noin 147 miljoonaa kilometriä. Tämän ellipsin ratatasoa kutsutaan ekliptikaksi. Kierto kuluu aikaa yksi vuosi, eli noin 365 päivää. Tällä hetkellä lähimmillään aurinkoa eli perihelissä maapallo on tammikuussa ja kauimmillaan aphelissa heinäkuussa. (Hagman, ei pvm) Maan radan sijainti suhteessa aurinkoon ei pysy aina samana, vaan tilanne on päinvastainen noin 11 000 vuoden kuluttua (Oulaisten lukio A, ei pvm). Maan kierto auringon ympäri on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. Maapallon kierto auringon ympäri (Hagman, ei pvm)

Maan akseli poikkeaa pystyasennosta 23,5 astetta. Tästä johtuen maapallon pohjoiset osat ovat kesällä enemmän kohti aurinkoa ja talvella pois päin auringosta. Eteläisellä pallonpuoliskolla vuodenaajat vaihtuvat päinvastaisessa järjestyksessä. Kesäpäivänseisauksina aurinko paistaa keskipäivällä zenitistä eli taivaan lakipisteestä Kravun kääntöpiirille ja talvipäivänseisauksena Kauriin kääntöpiirille. Syyspäivän ja kevätpäivän tasauspäivinä aurinko paistaa kohtisuoraan päiväntasaajalle. (Oulaisten

lukio A, ei pvm) Auringon korkeuskulmaa maapallon päiväntasaajan tasoon nähden kutsutaan auringon deklinaatioksi (Suntekno A, 2010, s. 1). Auringon deklinaation vaihtelu vuodenaikojen mukaan on esitetty kuvassa 2.

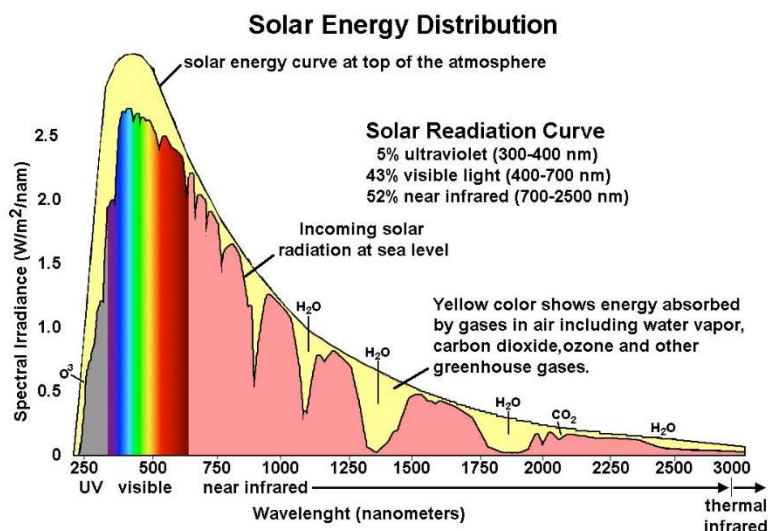


KUVA 2. Auringon deklinaation vaihtelu vuodenaikojen mukaan (Suntekno A, 2010, s. 1)

Maa kiertää oman akselinsa ympäri kerran vuorokaudessa. Pyöriminen tapahtuu pohjoisnavalta katsottuna vastapäivään ja pyörimisestä johtuu yön ja päivän vaihtelut. (Otavan opisto, ei pvm) Maapallon akseli on kuvitteellinen suora, joka kulkee pohjois- ja etelänapojen lävitse (Oulaisten lukio B). Maan kierto auringon ja oman akselinsa ympäri vaikuttaa auringon korkeuskulmaan, ja tämä taas osaltaan aurinkopaneelijärjestelmän tuottamaan tehoon. Jos aurinko paistaa viistosti aurinkopaneelisiin, niiden tuottama teho laskee, koska sama säteily määrä jakautuu silloin suuremmalle alueelle. Aurinkopaneelien suuntaus onkin tärkeä osa aurinkopaneelijärjestelmän suunnittelua ja rakentamista.

2.2 Ilmakehän vaikutus

Ilmakehä ympäröi maapalloa noin sadan kilometrin paksuisena kerroksena. Ilmakehä muodostuu pääasiassa kaasuista. (Finnish Meteorological Institute, ei pvm) Ilmakehän yläosiin saapuva säteilyteho on keskimäärin 1368 W/m^2 . Tätä kutsutaan aurinkovakioksi. Maan radan soikeudesta johtuen säteilyn määrä vaihtelee hieman eri vuodenaikoina. Ilmakehän heijastavasta ja absorboivasta vaikutuksesta johtuen suurin säteily määrä maan pinnalla on vuositasolla korkeintaan $800 - 1000 \text{ W/m}^2$ eli noin 60 % aurinkovakiosta. (Suntekno A, 2010, s. 1) Auringon säteilyn voimakkuus pienenee entisestään, kun aurinko on lähellä horisonttia. Tällöin valo joutuu kulkemaan pidemmän matkan ilmakehässä. (Suntekno A, 2010, s. 4) Ilmakehän kaasuilla on säteilyä vaimentava vaikutus. Kuvassa 3 on esitetty auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän kaasujen vaikutuksesta.



KUVA 3. Auringon säteilyn vaimentuminen ilmakehän vaikutuksesta (Geologycafe, 2016)

Pystyakselilla kuvassa 3 on säteilynvoimakkuus ja vaaka-akselilla säteilyn aallonpituus, joka määrittää säteilyn tyypin. Uloin tasainen käyrä kuvastaa ilmakehän yläosaan saapuvaa säteilyä ja alempi epätasainen käyrä kuvastaa säteilyä merenpinnan tasolla. Keltaisella värillä on korostettu siis käyrien väliin jäävä osa, joka tarkoittaa ilmakehän absorboimaa säteilyä. Pääasiallisesti otsoni absorboi ultra-violettisäteilyä ja vesihöyry infrapunasäteilyä.

Pilvet eivät absorboi kovin voimakkaasti säteilyä. Pilvet tosin heijastavat auringonsäteilyä ja sirottavat sitä eli muuttavat säteilyn suuntaa. Tämän vuoksi pilvisellä ilmalla saadaan melko hyvin aurinkoenergiaa, jos pilvikerros ei ole kovin paksu. Auringon säteily jakautuu kolmeen osaan: suora aurinkonsäteily, hajasäteily ja heijastunut säteily. (Suntekno A, 2010, s. 4) Hajasäteily tarkoittaa aurinkonsäteilyä, joka tulee muusta suunnasta kuin suoraan auringosta. Siinä säteily sirotaan esimerkiksi pilvistä ja ilman epäpuhtauksista. Suomessa noin 40-50 prosenttia kokonaissäteilystä on hajasäteilyä. Heijastunut säteily tarkoittaa maanpinnasta, vesistöjen pinnasta, rakennuksista ja muista vastaavista kiinteistä kohteista heijastunutta säteilyä. (Motiva C, 2016)

3 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmät jaetaan kahteen päätyyppiin: verkkoon kytkettäviin sekä itsenäisiin verkkoon kytkemättömiin järjestelmiin. Itsenäisessä järjestelmässä on akut, joihin aurinkopaneeleilla tuotettu sähköenergia varataan ja tuotettua sähköä ei tarvitse kuluttaa heti. Verkkoon kytkettävässä järjestelmässä puolestaan ei ole yleensä akkuja, vaan siinä saatu sähköteho syötetään suoraan kiinteistön käyttöön tai yleiseen sähköverkkoon. (Lappalainen, 2014, s. 14)

3.1 Verkkoon kytkettävä aurinkopaneelijärjestelmä

Aurinkosähkön yleisin tuotantomuoto on verkkoon kytketyt järjestelmät. Verkkoon kytkettävä aurinkopaneelijärjestelmä koostuu aurinkopaneeleista ja invertteristä, jotka on yhdistetty kiinteistön sähköverkkoon, joka puolestaan on yhdistetty yleiseen sähköverkkoon. Jos kohteessa on jo verkkoliittymä, aurinkosähköjärjestelmä on luontevinta kytkeä yleiseen sähköverkkoon. Pienet aurinkosähköjärjestelmät kytketään yleensä yhteen ja suuret kolmeen vaiheeseen. (Motiva A, 2016) Kuvassa 4 on esitetty verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä.



KUVA 4. Verkkoon kytketty aurinkosähköjärjestelmä (Areva solar, ei pvm)

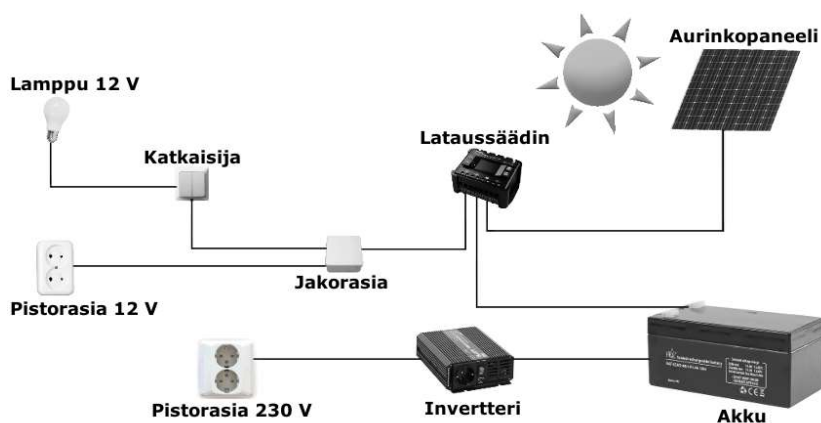
Verkkoon kytketyssä järjestelmässä aurinkopaneeleilta saatava sähköenergia siirretään suoraan invertterille, joka muuttaa paneeleilta saatavan tasajännitteen 230 V vaihtojännitteeksi. Aurinkopaneelijärjestelmän tuottama teho kulutetaan pääasiallisesti samassa kiinteistössä. Mikäli kiinteistössä ei kuitenkaan ole sähköntuottoaikana sähkönkulutusta, järjestelmä syöttää sähköä sähkönjakeluverkkoon päin. Verkkoon syötetyn sähköstä saa sopimuksen mukaisen korvauksen ja sen kuluttaa joku muu kuluttaja. Usean järjestelmän verkkoon tuotannon yhteisvaikutus voi aiheuttaa myös ongelmia sähköverkossa, joista yleisin on jännitetasojen nousu.

3.2 Itsenäinen aurinkopaneelijärjestelmä

Valtakunnallisen sähköverkon ulkopuolisissa paikoissa, kuten Lapissa ja saarissa, tarvittava sähkö voidaan tuottaa omavaraisesti itsenäisellä järjestelmällä. Myös esimerkiksi harvassa käytössä olevien kesämökkien omavarainen sähköistys voi olla järkevä vaihtoehto välttääkseen sähköverkon aiheuttamat kustannukset. Jos aurinko ei paista ja akuissa ei ole varausta, sähköä ei ole saatavissa. Tämän

takia verkkoon kytkemättömiä aurinkopaneelijärjestelmiä tuetaan usein esimerkiksi aggregaatin avulla, joka tuottaa sähköä bensiini- tai dieselmoottorin voimalla.

Itsenäinen järjestelmä voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla: ilman invertteriä tai invertterin kanssa. Järjestelmien suurin ero ovat laitteet, joita järjestelmillä voidaan käyttää. Ilman invertteriä voidaan käyttää vain 12/24 V tasajännitteellä toimivia sähkölaitteita. Tämä asettaa haasteita sopivien laitteiden löytämiseen ja kilpailun vähäisyyden takia ne ovat suhteessa kalliimpia kuin 230 V vaihtojännitteellä toimivat vastaavat laitteet. Invertterillä toteutetussa järjestelmässä voidaan käyttää tavallisia vaihtojännitteellä toimivia laitteita. (Lappalainen, 2014, s. 14) Invertterin hankintahinta on kuitenkin niin suuri, että sen kanssa toteutettu järjestelmä on kalliimpi vaihtoehto, vaikka muiden laitteiden hankintahinnoissa säästetäänkin. Kuvassa 5 on esitetty itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä, jossa näkyy sekä 230 VAC toteutus että 12/24 VDC toteutus.



KUVA 5. Itsenäinen aurinkosähköjärjestelmä (NettiMyynti.fi, ei pvm)

Verkkoon kytkemättömissä aurinkosähköjärjestelmissä aurinkopaneelilta saatava tasa sähkö siirretään lataussäätimen kautta akustoon. Järjestelmä ei välttämättä pysty ottamaan kaikkea aurinkopaneeliston tuottamasta kokonaistehosta vastaan, koska akuston latausvirta on rajoitettu tietylle tasolle. Lataussäädin suojaa akkuja yllilatautumiselta ja syväpurkautumiselta. Akustosta saatava tasa sähkö syötetään suoraan 12/24 VDC sähkölaitteille tai vaihtoehtoisesti invertterille, joka muuttaa sen vaihtosähköksi 230 VAC laitteille. (Lappalainen, 2014, ss. 15-16) Vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon ei ole, koska järjestelmä on irti verkosta.

3.3 Muut aurinkosähköjärjestelmät

Muita aurinkosähköjärjestelmiä ovat esimerkiksi keskittävät aurinkosähköjärjestelmät ja rakennuksiin integroidut järjestelmät. Keskittävässä aurinkosähköjärjestelmässä auringon säteily ohjataan peilijärjestelmien avulla pienelle alueelle. Keskittäviä aurinkosähköjärjestelmätekniologioita on kahta eri tyyppiä: CPV- ja CSP-järjestelmä. CPV on lyhenne englanninkielisistä sanoista concentrator photovoltaics, joka tarkoittaa keskittävää aurinkopaneelijärjestelmää. Tällaisessa keskittävässä järjestelmässä aurinkopaneelille saadaan suurempi valoteho keskittämällä säteily peilien ja linssien avulla jokaiseen aurinkokennoon erikseen. Säteilyn keskittäminen kuitenkin kuumentaa aurinkokennoa huomattavasti, mikä heikentää hyötysuhdetta ja luo tarpeen jäähdytysjärjestelmälle. (Saarensilta, 2012, s.

41) Toteutustapoja on monenlaisia, mutta kuvassa 6 on esitetty yksi esimerkki keskittävästä aurinkopaneelijärjestelmästä. Siinä peilin avulla keskitetään auringonsäteily apupeiliin, joka heijastaa säteilyn aurinkokennoon.



KUVA 6. CPV-järjestelmä (Solarcentre, 2013)

CSP on puolestaan lyhenne englanninkielisistä sanoista concentrated solar power, joka tarkoittaa keskittävää aurinkovoimaa. CSP on uudempi tekniikka ja se perustuu nesteen kuumentamiseen ja höyryttämiseen auringon säteilystä saatavan lämmön avulla. Syntynyt ylipaineinen höyry ohjataan putkien avulla höyryturbiiniin. Turbiini puolestaan pyörittää generaattoria, kuten normaalissa höyryvoimalassakin, joka tuottaa sähköä. (Saarensilta, 2012, ss. 41-42) Esimerkki keskittävästä aurinkovoimasta on esitetty kuvassa 7. Siinä auringonsäteily kohdistetaan peilien avulla nestettä sisältävään putkeen. Säteily voitaisiin ohjata myös isompaan säiliöön useampien peilien avulla.



KUVA 7. CSP-järjestelmä (Union of Concerned Scientists, 2015)

Rakennuksiin integroiduissa aurinkosähköjärjestelmissä (BIPV, Building Integrated Photovoltaic) osa rakennusmateriaaleista korvataan aurinkopaneeleilla. Näitä voivat olla esimerkiksi kattotiilet, parvekekaiteet tai ikkunat. Ikkunoissa käytetään usein ohutkalvomateriaaleihin perustuvia kennoja. Haittana niissä kuitenkin on, että ikkunan läpinäkyvyys heikkenee. Aurinkoenergiaa keräävän ikkunan vaihtoehtoinen ratkaisu on läpinäkyvä polymeerikenno. (Saarensilta, 2012, ss. 42-44) Polymeeriken-

nojen hyötysuhde on kuitenkin tällä hetkellä varsin heikko. Toisaalta niiden tekniikka kehitty jatkuvasti. Kuvassa 8 on esitetty esimerkki BIPV-järjestelmästä. Siinä aurinkokennoja on integroitu ikkunaan ja aurinkolippaan.

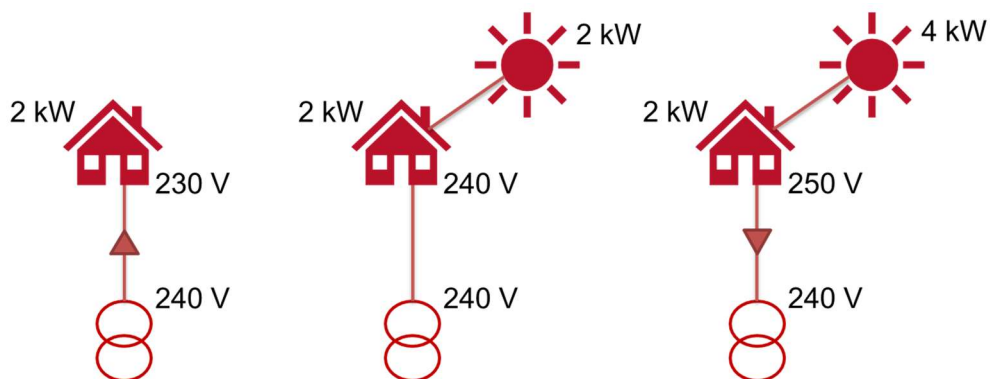


KUVA 8. BIPV-järjestelmä (GreenBiz, 2017)

3.4 Mahdolliset vaikutukset sähkönjakeluverkkoon

Aurinkopaneelijärjestelmillä voi olla haitallisia vaikutuksia sähkönjakeluverkkoon. Näitä ovat esimerkiksi jännitetasojen nousu ja ylikuormitus. Edellytys vaikutuksien syntymiseen on, että järjestelmät ovat liitetty sähkönjakeluverkkoon. Ongelmien ilmenemiseen vaikuttaa sähköverkon oikosulkuvirtataso. Oikosulkuvirtataso kertoo sähköverkon jäykkyydestä. Oikosulkuvirtatasoon vaikuttavia tekijöitä ovat muuntajan nimellistehot, johdinpoikkipinta-alat sekä etäisyydet. Ongelmille alttiita paikkoja ovat haja-asutusalueet, koska siellä on usein vähän kulutusta, jonka mukaisesti sähkönjakeluverkko on suunniteltu. Myös etäisyydet ovat siellä usein suuria.

Kuvassa 9 on esitetty yksinkertaistettu piirros jännitteenaleneman käyttäytymisestä pienjänniteverkossa eri tilanteissa. Vasemmalla on perustilanne, jossa tehoa siirretään liittymälle päin. Siinä liittymällä kulutetaan sähköä ja liittymällä vallitseva jännitetaso on alhaisempi kuin jakelumuuntajalla. Keskellä olevassa tilanteessa aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa saman verran sähköä kuin sitä kulutetaan liittymällä. Tällöin tehoa ei siirry pienjänniteverkossa ja jännitteenalenemaa ei ole. Oikealla olevassa tilanteessa aurinkopaneelijärjestelmä tuottaa enemmän sähköä kuin liittymällä kulutetaan. Tällöin tehoa siirretään jakelumuuntajalle päin ja jännitteenalenema on käänteinen. Todellisessa tilanteessa jakelumuuntajalla vallitseva jännitetaso olisi vielä entistä suurempi ja näin myös liittymällä, koska muuntajan jännitteenalenema olisi käänteinen.



KUVA 9. Jännitealeneman käyttäytyminen eri tilanteissa

Ongelmien välttämiseksi tehonkulutusta vastaava mitoitus on yksinkertainen ratkaisu. Silloin tehoa ei juurikaan siirry sähköjakeluverkkoon. Erilaiset kannustimet kuitenkin lisäävät järjestelmien ylimitoitusta. Myös invertterien asetusten muuttamisella voidaan korjata tilannetta tai jopa joissain tapauksissa parantaa tilannetta verrattuna alkuperäiseen tilanteeseen ilman aurinkopaneelijärjestelmiä. Loistehoa kuluttava järjestelmä laskee sähköjakeluverkon jännitetasoja. Tarvittaessa sähköjakeluverkon oikosulkuvirtatasoja voidaan kasvattaa saneeraamalla verkkoa. Saneerauksessa tulisi kasvattaa johdinpoikkipinta-aloja, muuntajan nimellistehoja ja lyhentää pienjänniteverkon etäisyyksiä sijoittamalla jakelumuuntaja mahdollisimman lähelle kulutusta.

4 AURINKOPANEELIJÄRJESTELMÄN KOMPONENTIT

Aurinkopaneelijärjestelmän pääkomponentteja ovat aurinkopaneelit ja vaihtosuuntaaja. Verkkoon kytkettävissä ja itsenäisissä järjestelmissä voidaan käyttää samantyyppisiä aurinkopaneeleita. Niissä käytettävät invertterit sen sijaan eroavat toisistaan melko paljon. Aurinkopaneelit muodostuvat useista aurinkokennoista. Useat aurinkopaneelit taas muodostavat toisiinsa kaapeleilla yhdistettynä aurinkopaneeliston. Muita mahdollisia komponentteja aurinkopaneelijärjestelmässä ovat esimerkiksi lataussäätimet, kytkentäkotelot ja turvakytkimet.

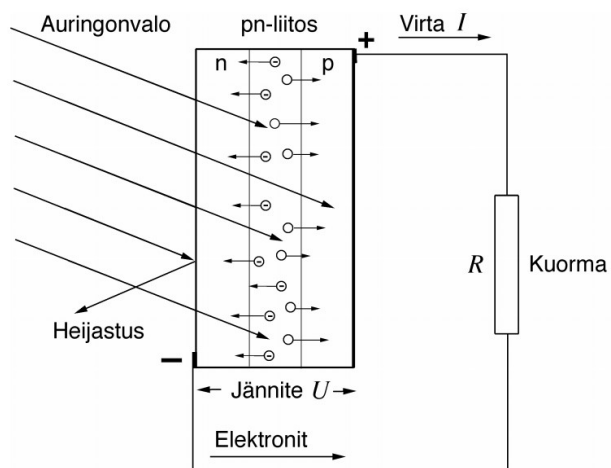
4.1 Aurinkokenno

Aurinkokennot muuttavat auringon valon suoraan sähköenergiaksi valosähköisen ilmiön avulla. Ilmiössä sähkömagneettinen säteily irrottaa metallin pinnalta elektroneja. (Aurinkoteknillinen Yhdistys, ei pvm) Aurinkokennojen yleisin raaka-aine on pii, jota käytetään kiteisessä, monikiteisessä ja amorfi- sessa muodossa (Suntekno B, 2010, s. 1). Kuvassa 10 on esitetty miten piin eri muodot vaikuttavat kennon ulkonäköön.



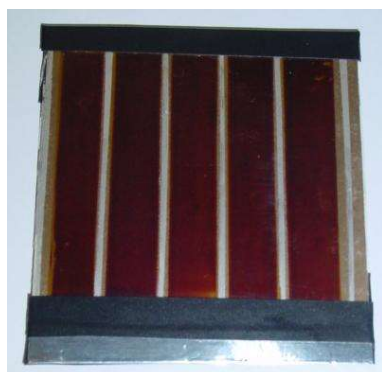
KUVA 10. Piistä valmistetut aurinkokennot vasemmalta alkaen kiteinen, monikiteinen (Tindo solar, ei pvm) ja amorfinen (Facility executive, ei pvm)

Aurinkokenno on periaatteessa hyvin suuri fotodiodi (Suntekno B, 2010, s. 1). Kun auringon säteily osuu kennon puolijohderajapintaan, se irrottaa piiatomien elektroneit liikkeeseen, joka muodostaa jännitteen kennon ylä- ja alapinnan välille. Kytkemällä tarpeellinen määrä kennoja sarjaan, saadaan muodostettua tarvittava jännite. Virran suuruus on suoraan verrannollinen säteilyn voimakkuuteen. (Aurinkoteknillinen Yhdistys, ei pvm) Kuvassa 11 on esitetty perinteisen aurinkopaneelin toimintape- riaate.



KUVA 11. Perinteisen aurinkopaneelin toimintaperiaate (Suntekno B, 2010, s. 1)

Myös uusia kennotyyppejä on tutkimusasteella. Esimerkki näistä on nanokidekenno, jossa elektronien liike perustuu kemiallisiin reaktioihin. Kenno koostuu titaanidioksidhiukkasista, jotka on pinnoitettu säteilyä absorboivilla väriainehiukkasilla ja käsitelty elektrolyyttiliuoksella. Kun säteily saavuttaa väriainehiukkaset, kennolla vapautuu elektroneja, jotka kulkeutuvat puolijohtavalta titaanidioksidikerrokselta ulkoiseen virtapiiriin. (Motiva B, 2017) Kuvassa 12 on esitetty nanokide tekniikalla valmistettu aurinkokenno.



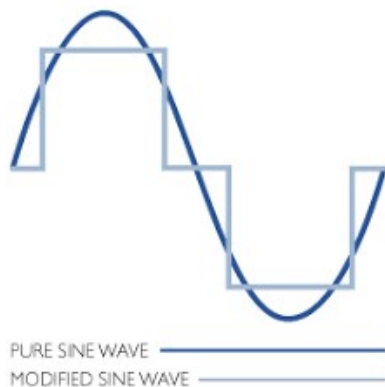
KUVA 12. Nanokidekenno (Aarnio, ei pvm)

4.2 Invertteri eli vaihtosuuntaaja

Aurinkopaneelisto voidaan liittää sähköjakeluverkkoon invertterin avulla. Se kytkee sille tulevaa tasajännitettä ohjaussignaalin mukaan niin, että lähtöjännitteeksi saadaan taajuudeltaan ja aaltomuodoltaan haluttua vaihtosähköä. Kytkin elementteinä toimivat tehopuolijohdekomponentit. (Erat, ym., 2008, s. 133) Aurinkopaneelit kytketään invertterin kanssa yleensä sarjaan ja näin kytkettävää invertteriä kutsutaan string-invertteriksi. Yhden aurinkopaneelin kanssa käytettävää invertteriä kutsutaan mikroinvertteriksi. Invertterin kytkentä sähköverkkoon voi olla joko kolmivaiheinen tai yksivaiheinen. (Aurinkovirta, ei pvm)

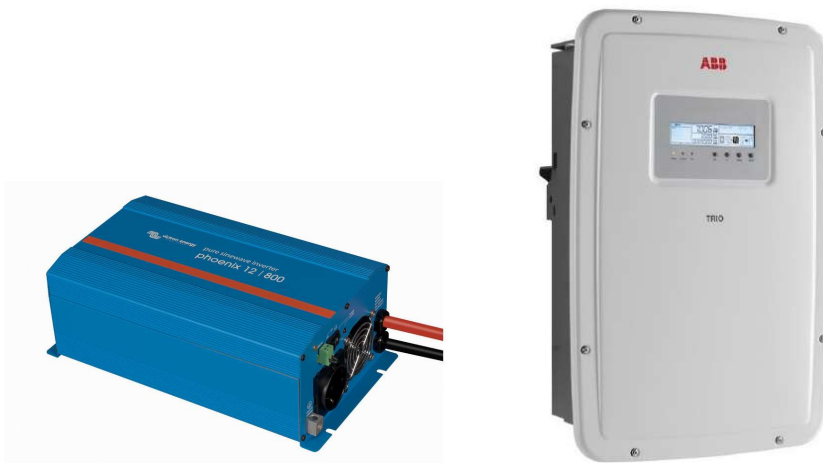
Invertterin keskeisimmät ominaisuudet ovat teho ja vaihtovirran laatu. Teho kertoo, minkä tehoisia laitteita invertteriin voi kytkeä. Suurempitehoiset ovat luonnollisesti kalliimpia, joten ylimitoitus ei ole

taloudellisesti kannattavaa. Vaihtovirran laatu voi olla joko modifioitua tai puhdasta siniaaltoa. Modifioitu siniaalto jäljittelee siniaaltoja varsin alkeellisesti. Herkemvät sähkölaitteet eivät kestä pidempiaikaisesti modifioitua siniaaltoja. Invertterillä tuotettu puhdas siniaalto on muodoltaan hyvin lähellä tai jopa samanlaista kuin sähkönjakeluverkossa. Puhdasta siniaaltoja tuottavat invertterit maksavat kuitenkin 3-5 kertaa enemmän kuin modifioitua siniaaltoja tuottavat invertterit. (Käypylehto, 2014, ss. 49-50) Kuvassa 13 on esitetty puhtaan ja modifioidun siniaallon ero.



KUVA 13. Puhdas siniaalto ja modifioitu siniaalto (Powersaving, ei pvm)

Verkkoon kytkettävässä ja itsenäisessä järjestelmässä käytetyt nimellisjännitteet ovat täysin erilaisia. 24 V tasajännite on yleisesti käytössä itsenäisissä järjestelmissä, kun taas verkkoon kytkettävissä järjestelmissä nimellisjännitteet ovat jopa useita satoja voltteja. Nimellisjännite-erot johtuvat siitä, että itsenäisten järjestelmien invertterit ottavat hyödyntämänsä sähköenergian akustosta, kun taas verkkoon kytkettävässä järjestelmissä invertterit ottavat sähköenergian suoraan paneeleilta. Invertterit poikkeavat toisistaan myös ulkonäöltään. Yleensä itsenäisissä järjestelmissä käytettävät invertterit ovat paljon yksinkertaisemman näköisiä kuin verkkoon kytkettävissä järjestelmissä käytettävät invertterit. Itsenäisen järjestelmän inverttereissä on usein vain merkkivaloja, kun taas verkkoon kytkettävän järjestelmän inverttereissä on usein näyttö ja näppäimet, joiden avulla voidaan seurata järjestelmän toimintaa ja vaihtaa asetuksia. (Lappalainen, 2014, s. 26) Kuvassa 14 on esitetty esimerkit itsenäisen ja verkkoon kytketyn järjestelmän invertteristä.



KUVA 14. Vasemmalla itsenäisen järjestelmän (Aurinkopaneelikauppa, ei pvm) ja oikealla verkkoon kytkettävän järjestelmän invertteri (Sähköteknisen Kaupan Liitto).

5 SAVON VOIMA VERKKO OY

Savon Voima on energiakonserni, jonka omistaa 100 prosenttisesti alueen 20 kuntaa (Miettinen, 2018, s. 3). Savon Voima aloitti toimintansa vuonna 1947, jolloin alkoi vuosikymmeniä kestänyt maakunnan sähköistäminen kasvaneen sähköenergian kysynnän seurauksena. Sähköä tarvittiin elämiseen ja elinkeinoiniin entistä enemmän, mikä siivitti lopulta omien voimalaitosten rakentamiseen. (Savon Voima A, ei pvm) Savon Voimalla työskentelee noin 180 henkilöä ja se työllistää vuosittain yhteistyökumppaneitaan noin 350 henkilötyövuoden edestä (Savon Voima A, ei pvm).

Vuonna 1995 voimaan tulleen ensimmäisen sähkömarkkinalain mukaan sähkön siirto tuli erottaa myyntitoiminnasta, koska sähkönjakelu on alueellisesti toimivaa monopolitoimintaa. Savon Voiman tytäryhtiö Savon Voima Verkko Oy perustettiin vuonna 2006. (Savon Voima A, ei pvm) Savon Voima Verkko Oy vastaa yli 117 000 kotitalouden ja yrityksen sähkön siirrosta ja muista verkkopalveluista Pohjois- ja Etelä-Savon sekä Keski-Suomen alueilla (Savon Voima B, ei pvm). Kuvassa 15 on esitetty Savon Voima Verkko Oy:n sähkönsiirron vastuualue. Alue on iso verrattuna kaupunkiverkkoyhtiöiden vastuualueisiin. Esimerkiksi kuvassa 15 näkyy pienenä tummempana alueena Savon Voima Verkko Oy:n alueen sisällä Kuopion Sähköverkko Oy:n vastuualue.



KUVA 15. Savon Voima Verkko Oy:n sähkönsiirron vastuualue (Savon Voima B, ei pvm)

5.1 Sähköverkon rakenne

Savon Voima tuottaa sähköä tänä päivänä yhdessätoista omistamassaan vesivoimalaitoksessa sekä kahdessa vastapainevoimalaitoksessa kaukolämmöntuotannon yhteydessä. Paikallisesti tuotetun sähkön määrä on yhteensä noin 190 GWh vuodessa. (Savon Voima C, ei pvm) Sähköverkkoa Savon

Voima Verkko Oy:llä on lähes 27 000 kilometriä eli noin 230 metriä asiakasta kohden (Savon Voima B, ei pvm). Kuvassa 16 on esitetty Savon Voiman sähköverkon tunnuslukuja vuodelta 2017. Pitkät välimatkat luovat haasteita esimerkiksi vikojen hallintaan. Pitkät välimatkat ja pienet kulutukset altistavat myös oikosulkuvirtatasoltaan heikon sähköverkon rakentamiseen. Näin aurinkopaneelijärjestelmien aiheuttamia mahdollisia ongelmia voi esiintyä verkossa herkemmin kuin kaupunkiverkkoyhtiöillä.

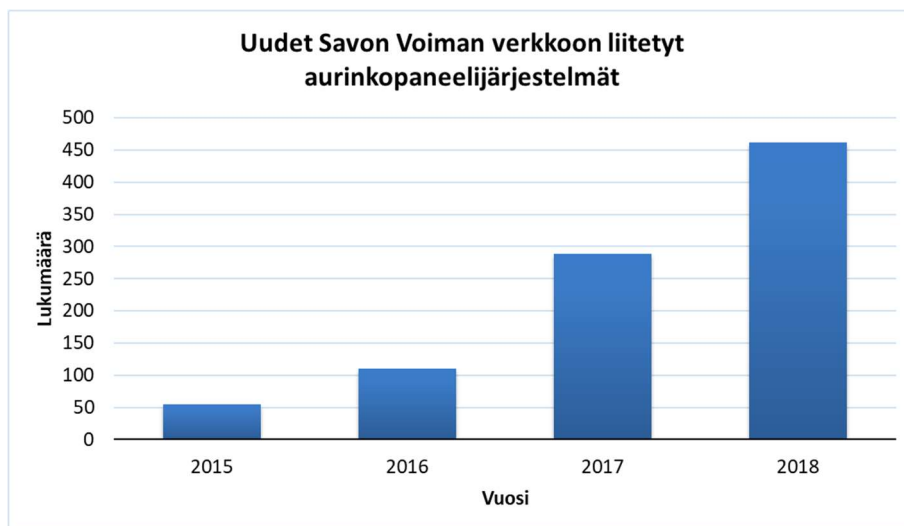


KUVA 16. Savon Voiman sähköverkon tunnuslukuja vuodelta 2017 (Miettinen, 2018, s. 7)

Vuonna 2013 uudistuneen sähkömarkkinalain seurauksena sähköverkon toimitusvarmuutta täytyy kehittää. Sen mukaan myrskyn tai lumikuorman aiheuttama keskeytys saa kestää enintään kuusi tuntia taajama-alueilla ja 36 tuntia haja-asutusalueilla. Vuoteen 2036 mennessä tämän täytyy toteutua kaikilla Savon Voiman asiakkaila. Savon Voima Verkko Oy pyrkii tähän tavoitteeseen maakaapeloinnilla, siirtämällä verkkoa teiden varsiin, uusimalla laitteita ja automaatiota sekä vierimetsien tehostetulla hoidolla. Se investoi sähköverkkoon vuosina 2013–2017 noin 210 miljoonaa euroa. (Savon Voima D, ei pvm) Samalla kun toimitusvarmuutta kehitetään, sähköverkkoa saneerataan aiempaa nopeammin. Nykyiset mitoitusperusteet ovat vaativammat kuin 1900-luvulla, jolloin sähköverkko on suurelta osaltaan rakennettu, joten samalla verkon jäykkyys kohenee. Tämä ehkäisee osaltaan aurinkopaneelijärjestelmien aiheuttamia ongelmia.

5.2 Aurinkopaneelijärjestelmät Savon Voima Verkko Oy:n jakelualueella

Savon Voiman verkkoalueella aurinkopaneelijärjestelmien lukumäärä on voimakkaassa kasvussa. Kuvassa 17 on esitetty uusien Savon Voiman pienjänniteverkkoon liitettyjen aurinkopaneelijärjestelmien lukumäärä vuosittain. Tulokset eivät ole kumulatiivisia eli pylväsdiagrammin yksi pylväs esittää vain kyseisenä vuonna verkkoon liitettyjä järjestelmiä. Vuosittain verkkoon liitettyjen aurinkopaneelijärjestelmien lukumäärä on yli kahdeksankertaistunut neljän vuoden aikana.



KUVA 17. Uusien Savon Voiman pienjänniteverkkoon liitettyjen aurinkopaneelijärjestelmien lukumäärä

Verkkoa on jouduttu vahvistamaan yksittäisissä kohteissa, koska siihen on liitetty suuritehoinen aurinkopaneelijärjestelmä. Myös yksittäisiä aurinkopaneelijärjestelmien aiheuttamia ongelmia on jo esiintynyt Savon Voiman verkkoalueella. Yleisimmin mahdolliset ongelmat esiintyvät tuotannon menetyksenä, kun invertteri ei päästä tehoa sähköverkkoon ylijännitteen vuoksi. Tällaisia tilanteita lisää esiintynyt ilmiö siitä, että rakenteilla olevista järjestelmistä ilmoitetaan verkkoyhtiölle liian myöhään. Aurinkopaneelijärjestelmä voi olla jo täysin valmiiksi rakennettu silloin kun ilmoitus tehdään. Tilanteissa, joissa aurinkopaneelijärjestelmä ei selvästi täytä teknisiä vaatimuksia, verkonhaltija voi kieltää liittämisen sähköverkkoon. Jos ongelmia ilmenee, joudutaan tekemään toimenpiteitä niiden ehkäisemiseksi.

5.3 Aurinkopaneelijärjestelmän liittäminen pienjänniteverkkoon

Aurinkopaneelijärjestelmän liittämisestä sähköverkkoon sovitaan Savon Voima Verkon kanssa ja ensimmäisen kerran yhteydessä kannattaa olla jo ennen järjestelmän hankkimispäätöstä. Sähköntuotantolaitos kannattaa mitoittaa siten, että kesäkuukausien aikana tuotannon voi hyödyntää lähes kokonaisuudessaan omaan käyttöön. Tuotannon mitoittaminen ylisuureksi saattaa johtaa tilanteeseen, missä verkkojännite pyrkii nousemaan yli standardin salliman arvon aiheuttaen invertterin tehonrajoitustoiminnan. Tehonrajoitustoiminto leikkaa tuotantotehoa pitäen verkkojännitteen sallituissa rajoissa. Samalla tuotettua sähköä ei voida täysimääräisesti hyödyntää itse tai myydä. (Savon Voima E, ei pvm)

Kiinteistön sähköverkkoon kytkettävät aurinkopaneelijärjestelmät joiden teho on kolmivaiheisena enintään 100 kVA ja yksivaiheisena 3,7 kVA luokitellaan mikrotuotannoksi. Mikrotuotannon maksimitehon mitoitus on riippuvainen sähkönkäyttöpaikan liittämiskohdan oikosulkuvirrasta. (Savon Voima E, ei pvm) Maksimitehon mitoitukseen käytetään Senerin ohjeen (2001) laskentakaava, joka perustuu liittymällä vallitsevaan oikosulkuvirtaan. Kun oletetaan, että järjestelmä ei ota nimellisvirtaansa merkittävästi suurempaa kytkentävirtaa maksimiteho lasketaan kaavalla

$$S_N = \frac{S_k}{25} \quad (1)$$

jossa S_N tarkoittaa järjestelmän maksimitehoa ja S_k oikosulkutehoa. (Energieollisuus, 2016, ss. 3-4) Tuotannon liittamisestä ja ylijäämäsihkon siirrosta jakeluverkossa tehdään verkonhaltijan kanssa sopimus. Sähkntuotantolaitoksen tiedot tulee ilmoittaa Savon Voima Verkolle mikrotuotannon yleis-tietolomakkeella ja käyttöönottotarkastuspöytäkirjasta tulee toimittaa kopio. (Savon Voima E, ei pvm) Mikrotuotannon yleis-tietolomake löytyy liitteestä 1.

6 INVERTTERIN TUTKIMINEN

Opinnäytetyössä tutkittiin ABB:n valmistaman TRIO-5.8-TL-OUTD-S-400 aurinkosähköinvertterin rakennetta, ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Tutkimukset toteutettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Opistotien kampuksen sähkölaboratoriossa. Savon Voima tarjoaa aurinkopaneelijärjestelmiä sekä niiden asennusta asiakkailleen ja käyttää näissä pääsääntöisesti ABB:n TRIO-inverttereitä. Tästä syystä kyseinen invertteri valikoitui tutkittavaksi.

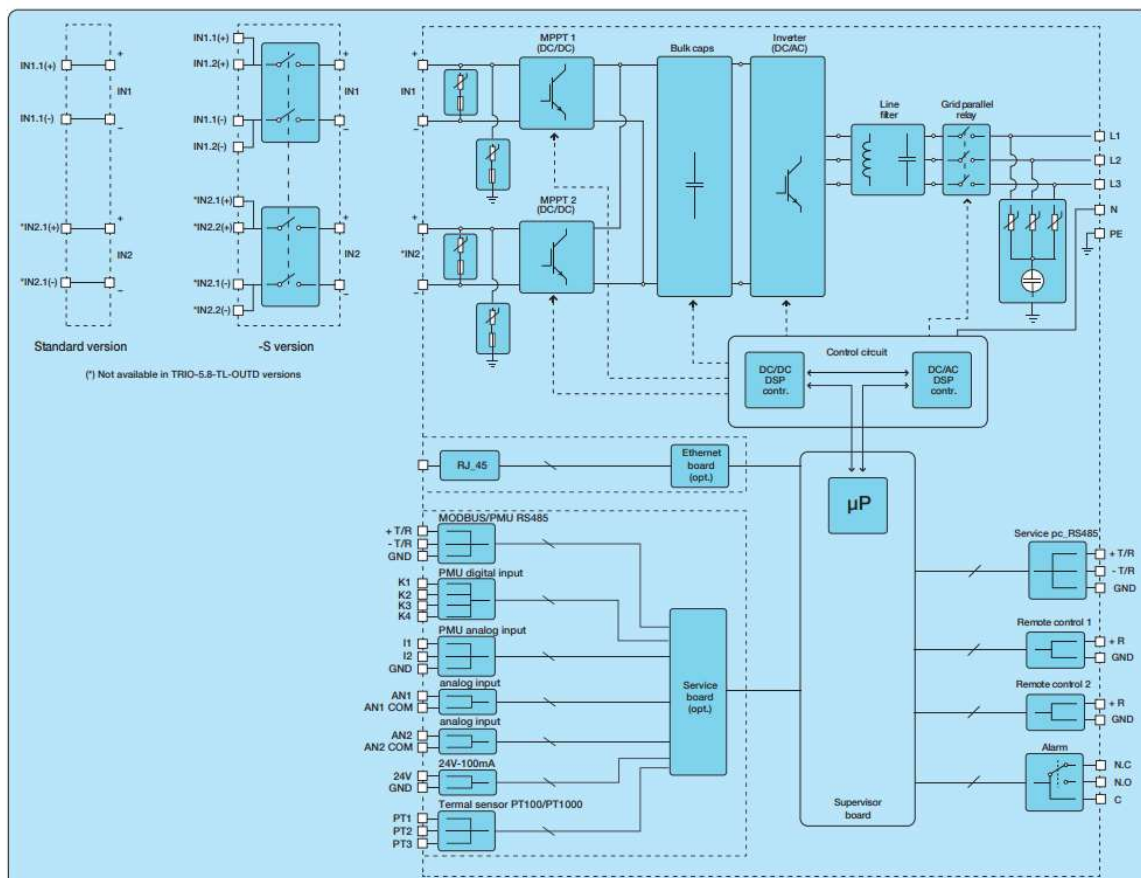
TRIO-5.8-TL-OUTD-S-400 on 3-vaiheinen verkkoon kytkettävän aurinkopaneelijärjestelmän stringinvertteri. Tämä tarkoittaa, että aurinkopaneelit kytketään invertterin kanssa sarjaan ja sähköverkkoon liitytään kolmivaiheisesti. Invertterin teholuokka on nimensä mukaisesti 5,8 kW eli se soveltuu asuinrakennuksiin. Sen rakenne on muuntajaton, mikä parantaa sen hyötysuhdetta. Invertteri on valmistettu Italiassa ja se painaa 25 kg, eli kyseessä on varsin kookas laite. (ABB C, ei pvm) Invertterin kotelointiluokka on IP65, mikä tarkoittaa, että laite on pölytiivis ja se kestää vesisuihkua. Ulkopuolisen 1 mm paksuisen johtimen pääsy laitteen sisälle on myös estetty. (Mäkinen, 2015) Tarkemmat tekniset tiedot on esitetty liitteessä 2. Invertteri on esitetty kuvassa 18.



KUVA 18. ABB TRIO-5.8-TL-OUTD-S-400 aurinkosähköinvertteri (Sähköteknisen Kaupan Liitto)

Invertterin kaavio on esitetty kuvassa 19. Pääpiirissä aurinkopaneelien tuottama teho siirtyy invertterin DC-syöttöliittimien ja johtimien kautta erotuskytkimelle. Tämän jälkeen invertterissä on suojaus sekä napojen välillä että plusnavan ja maan välillä. Invertteri muuttaa tasajännitteen arvot sopiviksi MPPT 1 ja MPPT 2 säätöyksiköiden avulla. MPPT on lyhenne englanninkielisistä sanoista Maximum Power Point Tracking ja se tarkoittaa maksimitehopisteen seuraajaa. MPPT-säädin säätää paneeliston ulostulojännitteen toimimaan koko ajan maksimitehopisteessä, jossa aurinkopaneelin paras energiatuotto tapahtuu. (Erat, ym., 2008, s. 133) Tämän jälkeen teho siirtyy DC-välipiiriin kondensaattorille (Bulk caps), joka suodattaa tasajännitteen. Seuraavaksi teho siirtyy invertterin olennaisimmalle komponentille vaihtosuuntaajalle (Inverter), joka tekee tasajännitteestä vaihtojännitettä. Myös vaihtosuuntaus on toteutettu samalla MPPT-säädintekniikalla kuin lataussäädin. Tämän

jälkeen vaihtosähkö suodatetaan AC-välipiirissä (Line filter) kelojen ja kondensaattorien avulla. AC-puolella on tämän lisäksi katkaisurele (Grid parallel relay) ja suojausjauksia. Invertteriä ohjaa kaksi DSP-prosessoria (Digital Signal Processor) ja mikroprosessori. (ABB B, 2015, s. 32) Invertterissä on kaksi etäohjausporttia, yksi huoltoportti sekä kärjet hälytyspiiriin liitettäväksi.

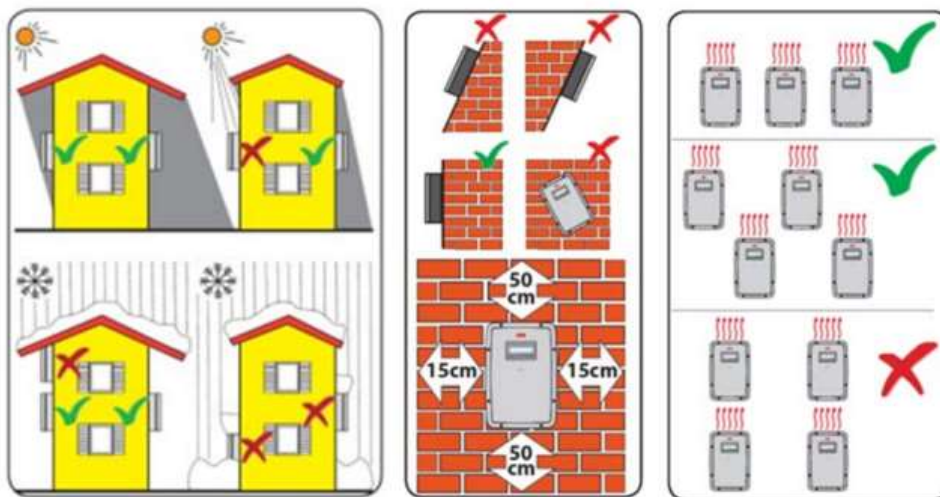


KUVA 19. ABB TRIO-TL-OUTD aurinkosähköinvertterin kaavio (ABB B, 2015, s. 33)

Invertteriin voidaan asentaa lisävarusteena saatavilla oleva PMU-laajennuspiiri, joka on esitetty kuvassa 19 nimellä "Service board". PMU on lyhenne englanninkielisestä sanasta Power Management Unit. Sen avulla voidaan kontrolloida ja monitoroida yhtä RS485 linjaa moni-invertteriasennuksessa. PMU-laajennuspiiri mahdollistaa aktiivisen ja reaktiivisen tehonhallinnan sekä maksimissaan neljän konfiguroitavan analogisen sensorin ja PT100/PT1000 sensorin yhdistämisen monitoroimaan laitteen ympäristönmuuttujia. (ABB D, 2015, s. 3) Lisävarusteena on saatavilla myös Wifi Logger -laajennuspiiri, joka mahdollistaa invertterin monitoroinnin etänä langattomalla verkkoyhteydellä (ABB B, 2015, s. 18). Vaihtoehtoisesti samoihin liittimiin on mahdollista asentaa lisävarusteena saatava Ethernet-laajennuspiiri. Tämä mahdollistaa invertterin monitoroinnin lähiverkon kautta. Laajennuspiiri voidaan liittää verkkokaapelilla joko suoraan tietokoneeseen tai reitittimeen. (ABB B, 2015, s. 19) Nämä etäyhteyksien laajennuspiirit on esitetty kuvassa 19 nimellä "Ethernet board".

6.1 Asennus

Invertterin asentamista paikkaan, jossa se altistuu suoralle auringonvalolle, tulee välttää, koska se voi aiheuttaa tehonrajoitusilmiötä sekä ennenaikaista kulumista sähkö- ja mekaanisissa komponenteissa. Rakennuksen seinälle asennettaessa tulee ottaa myös huomioon, että päällä oleva kattoharja on riittävän pitkä suojaamaan lumen tippumisen ja kasaantumisen invertterin päälle. (ABB A, 2015, s. 2) Kuvassa 20 on esitetty ohjeita invertterin asennuspaikan valintaan.



KUVA 20. Invertterin asennuspaikan valinta (ABB A, 2015, ss. 2-3)

Invertteri on asennettava pystysuoraan, siten että sen kallistuskulma on korkeintaan +/- 5 astetta. Tämä edesauttaa jäähdytystä ja varmistaa luotettavan toiminnan, koska silloin mahdolliset asennuksen yhteydessä syntyneet roskat tippuvat sen pohjalle eivätkä piirilevyille, jossa on paljaita jännitteisiä osia. Käyttömukavuutta voidaan tukea asentamalla invertteri niin, että sen näyttö on silmäkorkeudella. Invertterin ylä- ja alapuolelle on jätettävä 50 cm ja sivuille 15 cm vapaa tila, jotta riittävä jäähdytys varmistetaan. Useampia inverttereitä asennettaessa invertterit on sijoitettava vierekkäin, siten ettei poistuva lämpö häiritse toisia inverttereitä. Invertteriä ei saa asentaa paikkoihin, joissa kaasuja tai palavia aineita voi esiintyä. Myös tiloja, joissa ihmiset tai eläimet oleskelevat pitkiä aikoja tulee välttää, koska invertteri tuottaa käytön aikana noin 50 dB melun. (ABB A, 2015, ss. 2-3)

Tässä mallissa on DC-erotuskytkin sekä kaksi paria DC-syöttöliittimiä, joten asennukseen tarvitaan MC4-pikaliitinsarja. Invertterin kytkemiseksi verkkoon voidaan valita tähti- tai kolmiokytkentä. AC-johtojen liittymäkohta täytyy mitata, jotta vältetään invertterin verkosta putoamisilta, johtuen korkeista impedanssi arvoista. AC-puolelle on suositeltavaa asentaa 300 mA vikavirtakytkin ylivirtaa ja ylisyyttöä vastaan. Laitteen sähköasennuksen saa tehdä vain sähköalan ammattihenkilö ja asennustarkastuksen pitää tehdä S1 tai S2 sähköpätevyyden omaava henkilö tai yritys. (ABB A, 2015, ss. 1-5)

6.2 Käyttöönotto

Suljetaan AC-erotuskytkin, jotta invertteri saa sähköverkosta virtaa. Tällöin invertteri herää ja näyttössä näkyy ohjattu konfigurointimenettely, jos laite otetaan käyttöön ensimmäistä kertaa. Aloitetaan menettely painamalla Enter-näppäintä. Ohjatussa konfigurointimenettelyssä asetellaan invertterin aika ja päivämäärä, rinnakkais- tai yksittäiskonfiguraatio sekä verkon standardit ja kieli. Ohjattu konfigurointimenettely on esitetty kuvassa 21. Kun ohjattu konfiguraatio on valmis, invertteri käynnistyy uudelleen. Suljetaan seuraavaksi DC-turvakytkin ja sen jälkeen invertterin oma DC-erotuskytkin, jotta invertteri saa aurinkosähköverkosta virtaa. Tässä vaiheessa invertteri tekee testauksia liitetyen esimerkiksi jännitteisiin ja maadoituksiin. Jos tulojännite ja verkon jännite ovat invertterin ope- rointivälillä, automaattinen verkkoon yhdistäminen alkaa. (ABB A, 2015, ss. 6-7)



KUVA 21. Ohjattu konfigurointimenettely (ABB A, 2015, s. 6)

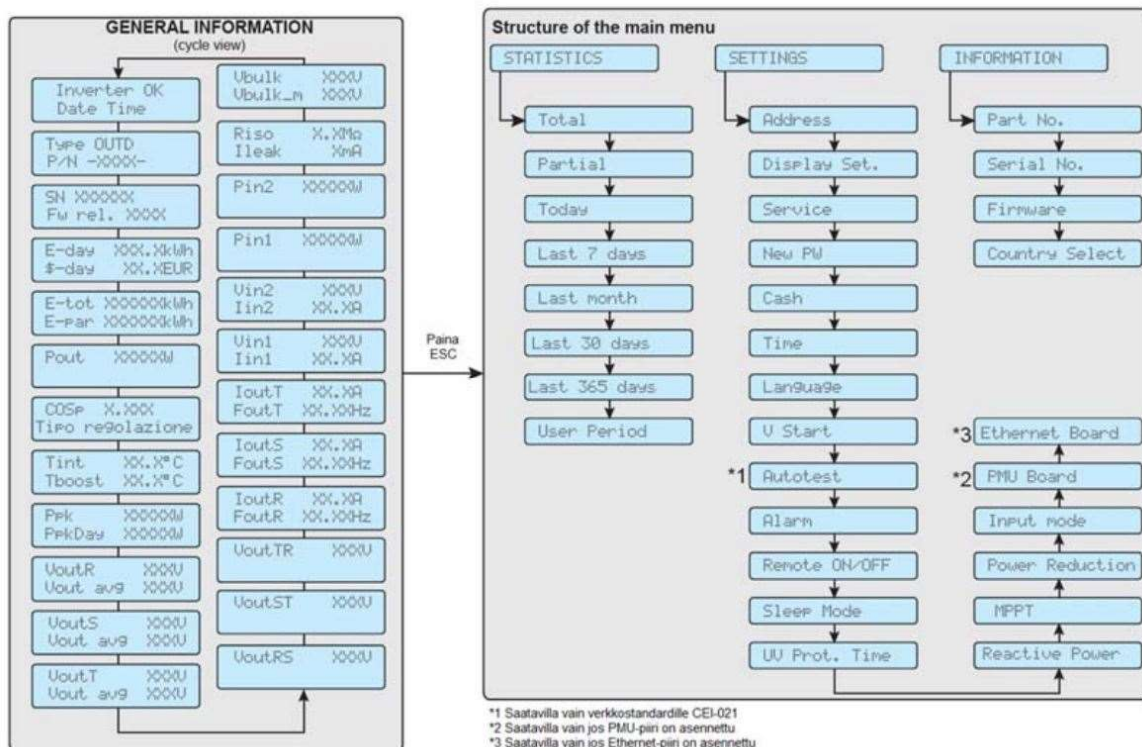
Käytettyä invertteriä asentaessa konfigurointiasetukset täytyy tarkastaa, vaikka ohjattua konfigurointimenettelyä ei silloin ole. Jos esimerkiksi sisääntulokanavien konfiguraatio on väärin, invertteri ei kytkeydy verkkoon. Tällöin DC-erotuskytkimen sulkiessa näytölle tulee teksti "Initializing... Please Wait", eikä tästä voi edetä. Jälkikäteen sisääntulokanavien konfiguraatiota voidaan muuttaa etene- mällä Esc, Settings ja Input mode. Invertterin käyttöliittymään kuuluu näyttö, kolme valoa ja neljä painonappia. Käyttöliittymä on esitetty kuvassa 22.

POWER LED	VIHREÄ Päällä, invertteri toimii oikein. Vilkkuu kun verkkoa tarkistetaan, tai ei ole riittävästi auringonvaloa		ESC	Käytetään päävalikkoon pääsyssä, edelliseen valikkoon palaamisessa, tai edelliseen numeroon palattaessa.
ALARM LED	KELTAINEN Invertteri on havainnut poikkeavuuden. Poikkeavuus näytetään näytöllä.		UP	Käytetään siirtymässä ylöspäin valikoissa tai numeroiden kasvattamiseen.
GFI LED	PUNAINEN Maadoitusvirhe PV-generaattorin DC puolella. Virhe näytetään näytöllä.		DOWN	Käytetään siirtymässä alaspäin valikoissa tai numeroiden pienentämiseen.
			ENTER	Käytetään toimintojen hyväksymiseen, alavalikkoihin siirtymiseen (ilmaistaan > merkillä) tai seuraavaan merkkiin siirtymiseen

KUVA 22. Näyttö, näppäimet ja merkkivalot (ABB A, 2015, s. 3)

6.3 Käyttötymiseen vaikuttavat ominaisuudet

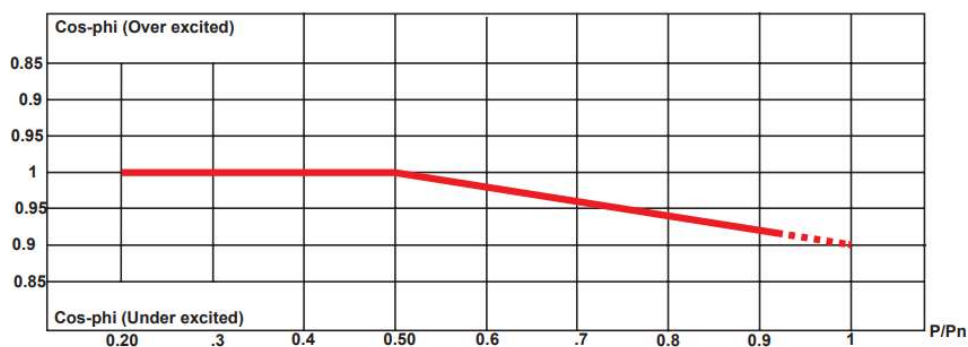
Käytön aikana invertterin näytöllä vaihtelee tietoruutuja. Ruudun vaihto voidaan pysäyttää näkyvillä olevaan ruutuun painamalla Enter-näppäintä. Painamalla Esc-näppäintä, päästään kolmeen päävalikkoon. Statistics-valikossa voidaan katsoa tilastoja, Settings-valikossa voidaan muokata invertterin asetuksia ja Information-valikosta nähdään invertterin tiedot. (ABB A, 2015, s. 7) Kuvassa 23 on esitetty invertterin ruudulla vaihtuvat tietoruudut ja invertterin päävalikko.



KUVA 23. Tietoruudut ja päävalikko (ABB A, 2015, s. 7)

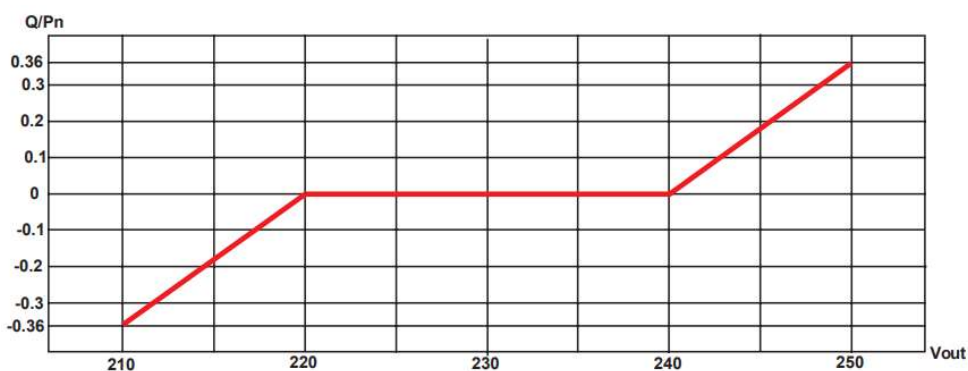
Invertteriä voidaan käyttää ohjatun konfigurointimenettelyn jälkeen ilman muutoksia. Tällöin valittu verkon standardi määrittelee asetukset. Settings-valikosta voidaan kuitenkin muuttaa asetuksia ja ottaa käyttöön valinnaisia ominaisuuksia. V-Start -kohdasta voidaan muuttaa paneelijännitteen arvoa, jossa invertteri kytkee paneelit verkkoon. Tämä asetus on säädettävissä 200-500 V välillä. Säädössä tulee huomioida, että paneelijännite laskee, kun invertteri alkaa kuormittamaan niitä. Power Reduction -kohdassa voidaan asettaa maksimiraja tuotetulle pätöteholle prosenttiosuutena nimellistehosta. Tästä on apua esimerkiksi, kun tutkitaan invertteriä DC-lähteen avulla, koska myös virrat pysyvät tällöin maltillisena.

Reactive Power -kohdasta voidaan muuttaa loistehoihin liittyviä asetuksia. Valittavissa on no regulation, cos-phi fixed, Q fixed, cos-phi=f(P) sekä Q=f(U) vaihtoehdot. Valittaessa no regulation, invertterin tehokerroin on noin yksi. Valittaessa cos-phi fixed, käyttäjä voi asettaa haluamansa tehokertoimen 0,8-1,0 väliltä sekä induktiivisena että kapasitiivisena. Tässä valikossa OvEx on lyhenne englanninkielisestä sanasta over excited ja se tarkoittaa, että invertteri on ylimagnetoitu, induktiivista loistehoa tuottava komponentti. Vastaavasti UnEx on lyhenne englanninkielisestä sanasta under excited ja se tarkoittaa, että invertteri on alimagnetoitu, loistehoa kuluttava kapasitiivinen komponentti. Valittaessa Q fixed käyttäjä voi asettaa loistehon suhteellisen arvon näennäistehosta välillä 0.001-1.000. Cos-phi=f(P) valinta seuraa kuvassa 24 esitettyä käyrää. Tuotetun tehon lähentyessä nimellistehoa, invertteri alkaa muuttamaan tehokerrointa alimagnetoinnin puolelle, millä on verkon jännitettä laskeva vaikutus.



KUVA 24. Cos-phi=f(P) käyrä (ABB B, 2015, s. 89)

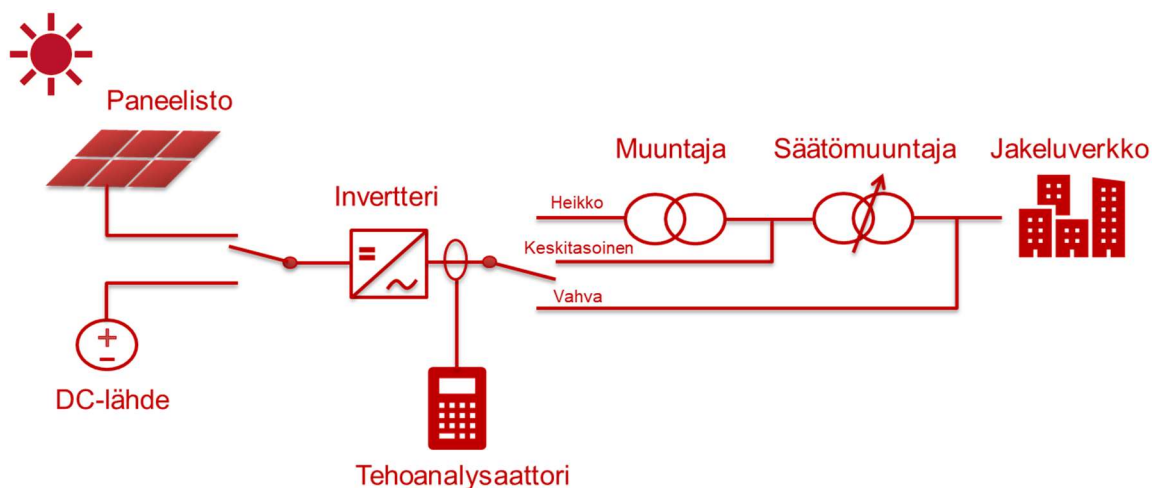
Kuvassa 25 on esitetty käyrä, jota $Q=f(U)$ valinta noudattaa. Se pyrkii pitämään sähköverkon jännitteen lähellä nimellistä arvoa, muuttamalla tuotetun loistehon ja pätötehon suhteellista arvoa. Kun verkon jännite laskee alle 220 V, invertteri alkaa tuottamaan loistehoa verkkoon, jolla on jännitettä kasvattava vaikutus. Kun verkon jännite nousee yli 240 V, invertteri alkaa kuluttamaan loistehoa, jolla taas on jännitettä laskeva vaikutus.



KUVA 25. $Q=f(U)$ käyrä (ABB B, 2015, s. 89)

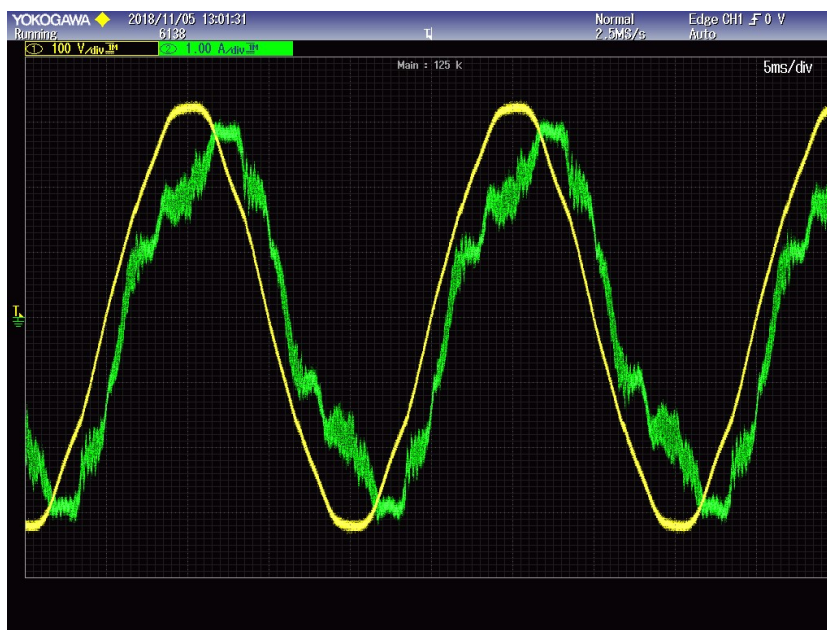
6.4 Käyttäytyminen

Invertterin käyttäytymistä tutkittiin usean eri mittauspiirin avulla Savonia-ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa. Mittauspiirit on esitetty yhdistettynä kuvassa 26. Tasajännite tuotettiin invertterille Savonian aurinkopaneelistolla tai DC-lähteellä. Muuntajien avulla toteutettiin jäykkyydeltään heikko, keskitasoinen ja vahva verkkomalli. Mittauspiirien ominaisuudet on selitetty yksityiskohtaisemmin kohdissa 6.4.1 – 6.4.3. Mittausten tärkein tavoite oli selvittää, kuinka invertteri käyttäytyy, kun sähköverkon jännite nousee standardien määrittämille rajoille. Mittauksissa selvitettiin myös invertterin normaali tehokerroin ja tehokerroin-asetusten muuttamisen vaikutus invertterin ja sähköverkon käyttäytymiseen.



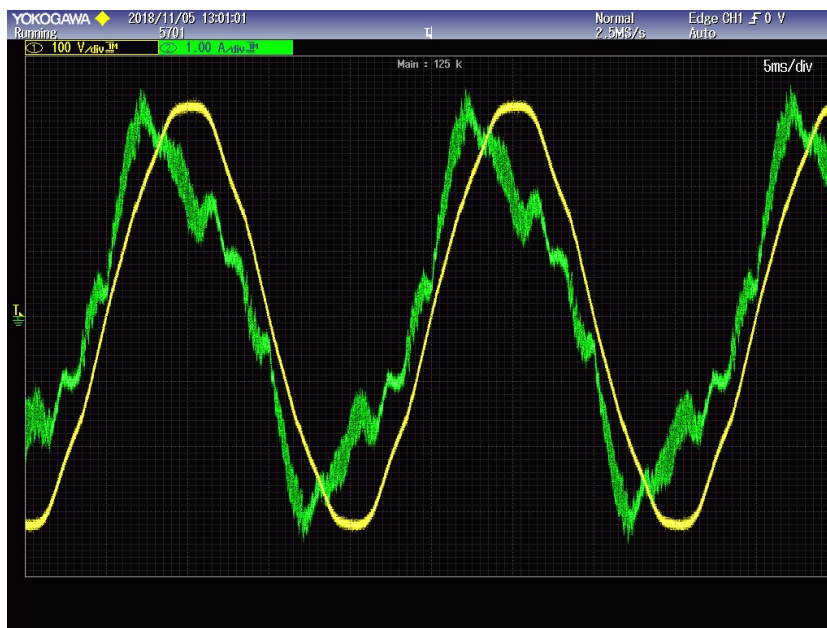
KUVA 26. Mittauspiirit sähkölaboratoriomittauksissa

Mittauksissa varmistuttiin oskilloskoopin avulla siitä, että over excited tarkoittaa invertterin olevan ylimagnetoitu, induktiivista loistehoa tuottava komponentti jolla on jännitettä nostava vaikutus sähköverkkoon. Tällöin jännite on virtaa edellä, kun tarkastellaan tilannetta invertteristä sähköjakeluverkkoon päin. Tämä on osoitettu kuvassa 27. Kuvissa 27 ja 28 virta on esitetty vihreällä ja jännite keltaisella.



KUVA 27. Ruutukaappaus oskilloskoopista, kun tehokerroin asetettu OvEx 0,9

Vastaavasti varmistuttiin siitä, että under excited tarkoittaa invertterin olevan alimagnetoitu, loistehoa kuluttava komponentti jolla on jännitettä laskeva vaikutus sähköverkkoon. Tällöin virta on jännitettä edellä, kun tarkastellaan tilannetta invertteristä sähköjakeluverkkoon päin. Tämä on osoitettu kuvassa 28. Molemmista oskilloskoopin kuvista voi myös tulkita, että sähkönlaatu on keskinkertaista. Tähän vaikuttaa se, että tasasähkö tuotettiin DC-lähteellä aurinkopaneelien sijaan ja tuotetun tehon määrä oli varsin pieni.

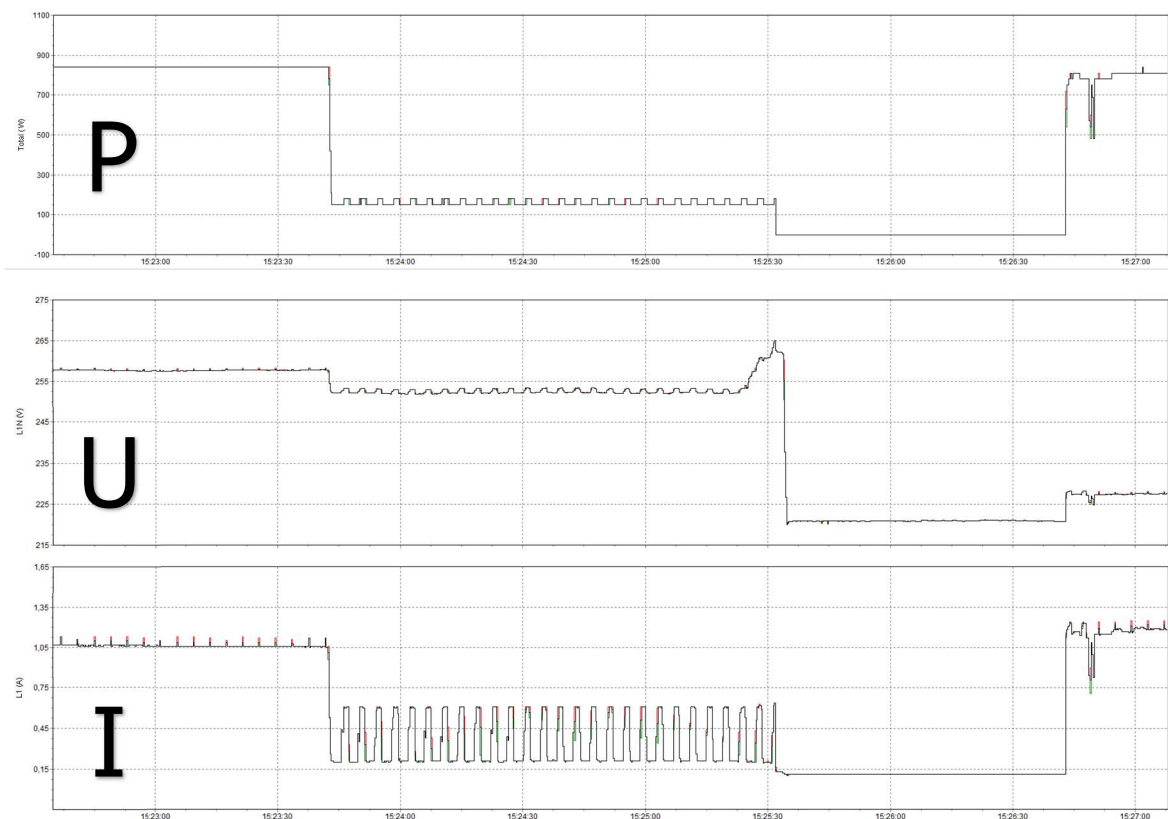


KUVA 28. Ruutukaappaus oskilloskoopista, kun tehokerroin asetettu UnEx 0,9

6.4.1 Heikko verkko

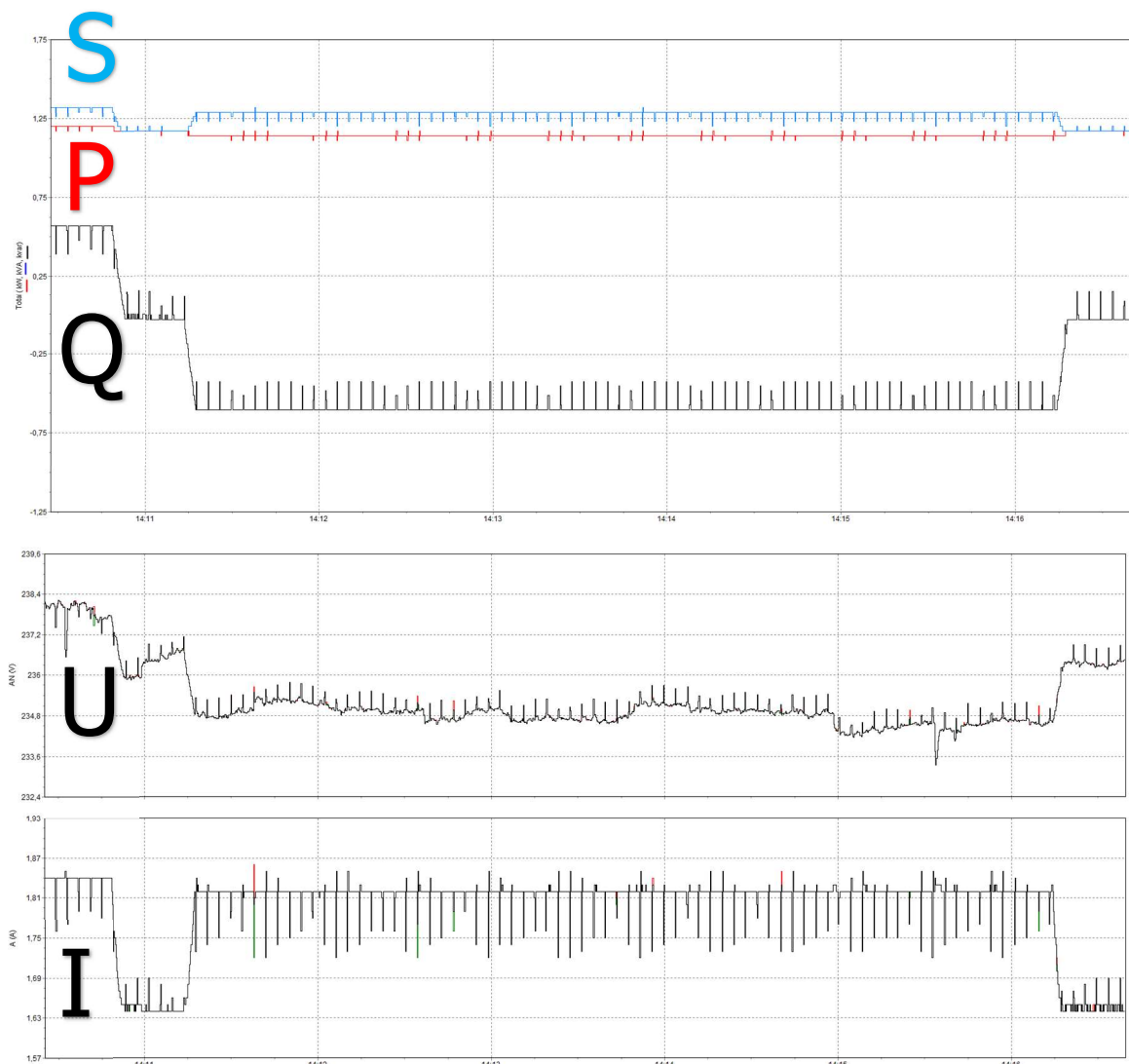
Heikon verkon mittauspiiri koostuu kahdesta heikkotehoisesta muuntajasta, joiden avulla saadaan säädettyä sähköverkon puoleista jännitettä portaattomasti. Yksivaiheisen oikosulkuvirran arvoksi mitattiin 42 A. Jännitteen vaihtelu kuormituksen seurauksena on tässä mittauspiirissä siis nykyaikaista sähköverkkoa suurempaa. Muuntajat asettivat rajoitteen niiden läpi syötetylle teholle. Tehon mitaukset on suoritettu Fluke:n tehoanalysaattorilla invertterin AC-napojen jälkeisestä pisteestä.

Invertterin käyttäytymistä heikossa verkossa jännitteiden noustessa tutkittiin säätämällä säätömuuntajalla sähköverkon jännite raja-arvojen tasolle. Invertteriin on kytkettynä tässä mittauksessa Savonia-ammattikorkeakoulun aurinkopaneelit, joiden tuotto oli noin 0,8 kW. Aurinkopaneeleita pystyttiin hyödyntämään mittauksessa, koska taivas oli pilvetön ja aurinko paistoi. Mittauksessa selvisi, että invertteri alkaa leikkaamaan tuotettua tehoa, kun sähköverkon jännitteen 10 minuutin keskiarvo ylittää asetellun arvon, joka on normaalisti 253 V. Tämä tapahtuu kuvassa 29 aikavälillä 15:23:45-15:25:35. Invertteri säätää tällöin jatkuvasti tehonrajoitusta ja pitää sähköverkkoon siirretyn tehon 0,15-0,18 kW välissä. Jos sähköverkon jännite nousee yli pikalaukaisulle asetetun arvon, joka on normaalisti 264 V, invertteri irrottaa paneelit verkosta. Kuvassa 29 aikavälillä 15:25:35-15:26:45 invertteri on irti verkosta. Tämä saatiin aikaan nostamalla säätömuuntajalla jännitettä edelleen, vaikka invertteri oli jo tehonrajoitustilassa. Viimeisenä tapahtuu automaattinen verkkoon kytkeytyminen, kun jännitettä laskettiin takaisin raja-arvojen alle.



KUVA 29. Tehonrajoitus heikossa verkossa

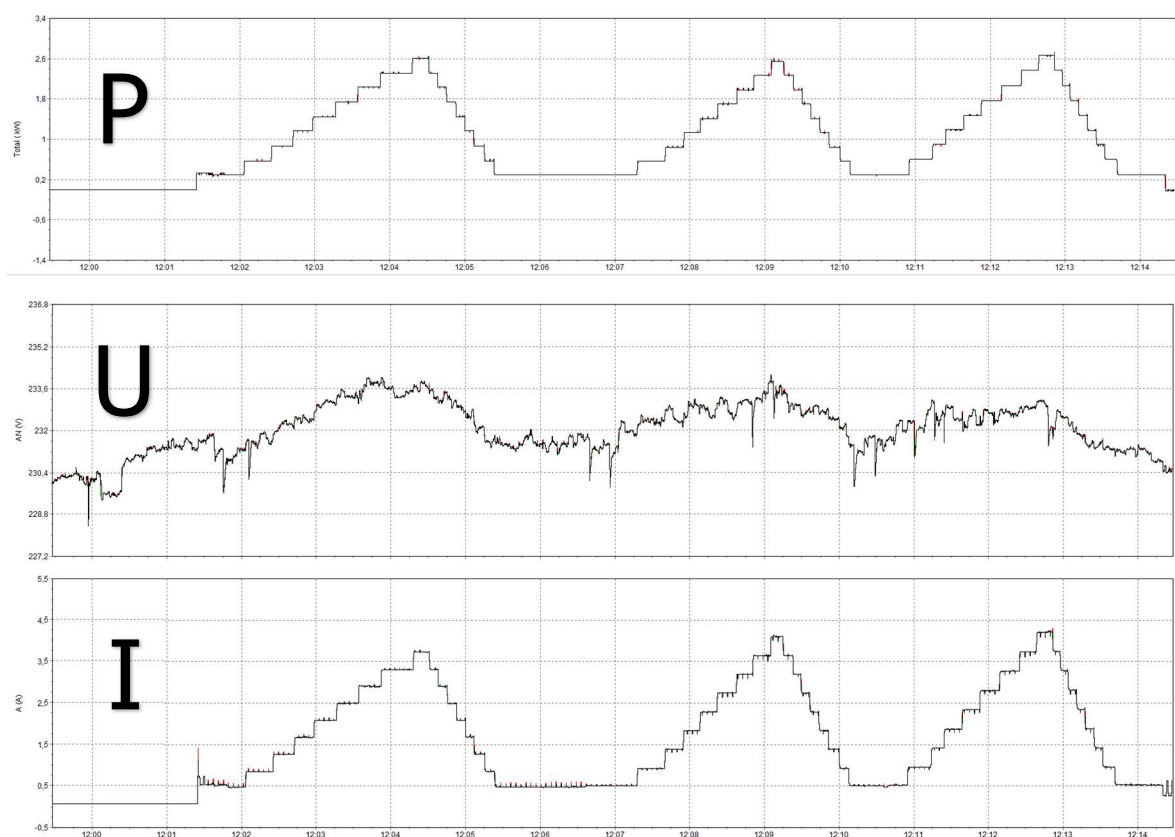
Normaalisti invertterin tehokerroin on 1, mutta tehokerrointa pystyy säätämään sekä kapasitiiviseksi että induktiiviseksi manuaalisesti tai käyrää noudattaen. Seuraavassa mittauksessa, jonka tulokset on esitetty kuvassa 30, tehokerrointa muutettiin manuaalisesti. Mittauksessa invertteriä syötettiin DC-lähteellä noin 1 kW pätöteholla. Mittauksessa selvisi, että ainakaan tehonrajoituksen ollessa käytössä, tehokerroin ei juurikaan vaikuta pätötehon määrään. Loistehon määrä muuttui loogisesti tehokerrointa muutettaessa. Tehoanalysaattorin virtapihdit kytkettiin mittaamaan tehon kulkua sähköverkkoon päin. Tästä johtuen loistehon arvoa tulkitessa täytyy ajatella positiivinen loisteho niin, että invertteri tuottaa loistehoa sähköverkkoon ja negatiivisella arvolla kuluttaa sitä. Loistehoa kuluttavana komponenttina sähköverkon jännite oli matalammalla tasolla kuin normaali tilanteessa ja vastaavasti loistehoa tuottavana komponenttia sitä suurempi. Loistehon määrästä voi suoraan tulkita tehokertoimen muutokset.



KUVA 30. Tehokertoimen vaikutus heikossa verkossa

6.4.2 Keskitasoinen verkko

Oikosulkuvirtatasoltaan keskitasoisen sähköverkon kuvaamiseksi toinen muuntaja otettiin pois mittauspiiristä. Yksivaiheisen oikosulkuvirran arvo oli tällöin 250 A. Tämä vastaa nykyaikaisen maaseutuverkon oikosulkuvirtatasoa. Mittauksessa, joka on esitetty kuvassa 31, tehtiin kuormituskoe eri tehokertoimen arvoilla. Kuormituskokeet tehtiin ensin tehokertoimen arvolla 1, jonka jälkeen se muutettiin arvoon UnEX 0,9 ja sitten OvEX 0,9. Tehoa nostettiin pienentämällä tehonrajoitusta 5 % kerrallaan siihen saakka, kunnes pätöteho oli noin 2,5 kW. Näin pyrittiin saamaan esille tehokertoimen vaikutus jännitteen muutoksiin. Tehon määrä oli kuitenkin niin pieni verrattuna verkon jäykkyyteen, joten ilmiötä ei saatu tässä mittauspiirissä näkyviin. Jännitettä pystyttiin vielä kasvattamaan lisäämällä tuotetun tehon määrää, mutta siihen vaikutti myös käyttöpaikan mittauksiin liittymättömien kuormitustilanteiden muutokset.

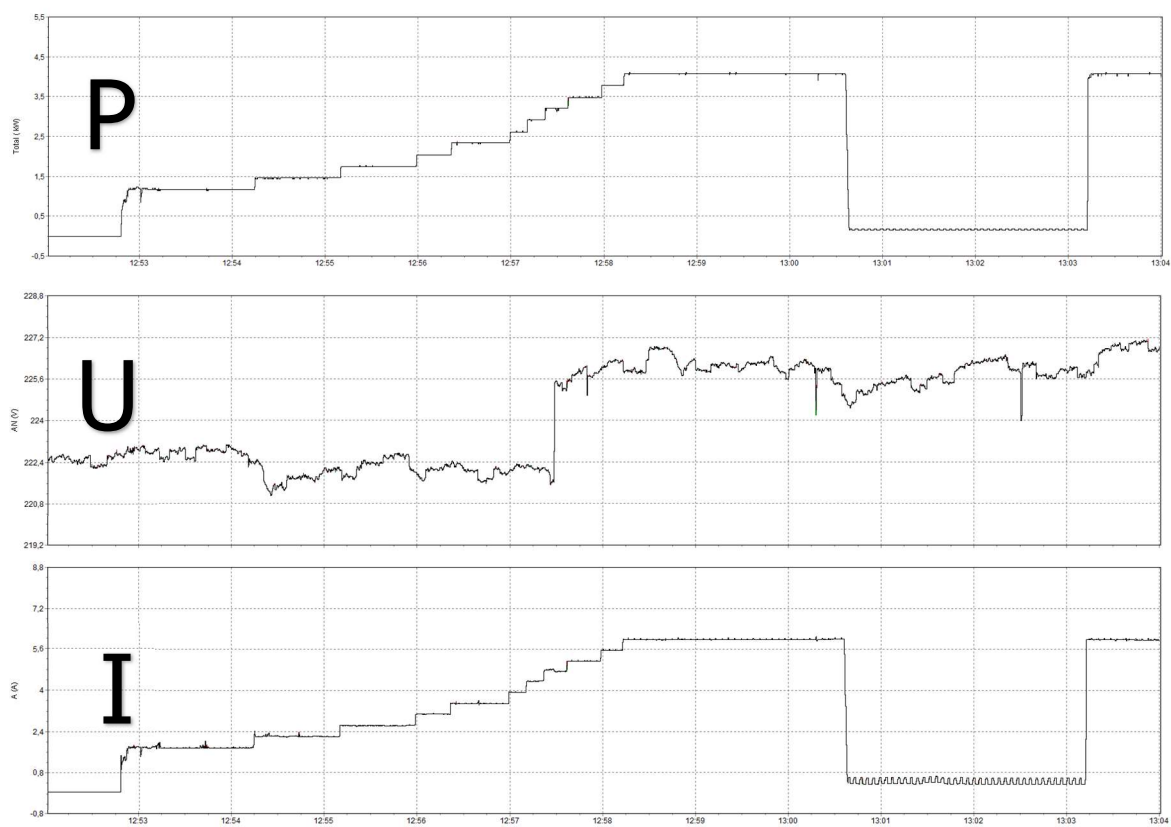


KUVA 31. Kuormituskoee eri tehokertoimen arvoilla keskitasoisessa verkossa

6.4.3 Vahva verkko

Tässä mittauspiirissä invertteri kytkettiin suoraan verkkoon, jolloin mitattu yksivaiheinen oikosulkuvirta oli 1050 A. Mittauksesta nähdään siis, millaiset olisivat todelliset vaikutukset Savonian Opistontien kampuksella, joka on liitetty varsin jäykkään sähköverkkoon. Mittaukset on suoritettu heikon verkon tapaan Fluke:n tehoanalysaattorilla invertterin AC-napojen jälkeisestä pisteestä

Kuvan 32 mittauksessa tutkittiin invertterin syöttämän tehon vaikutusta vahvaan verkkoon. Tehoa nostettiin portaittain invertterin tehonrajoitus-toiminnon avulla, jotta invertteriä syöttävä DC-lähde ei ylitä virtarajojaan. Laskettiin $u > 10$ min asetusarvo 225 V asti, jotta saatiin invertteri leikkaamaan tehoa suoraan verkkoon kytkettynäkin. Tämän jälkeen nostettiin voltti kerrallaan rajaa ylöspäin. Leikkaaminen loppui, kun $u > 10$ min oli 229 V. Leikkaustilanteessa teho on sama 0,15-0,18 kW, kuin heikon verkon mittauksessa. Vahvassa verkossa invertterin leikkaaminen ei juurikaan vaikuta verkon jännitteeseen. Jännitteen muutokset johtuvat lähes täysin mittauksiin liittymättömien kuormitustilanteiden muutoksista, vaikka verkkoon syötettiin noin 4 kW pätöteho.



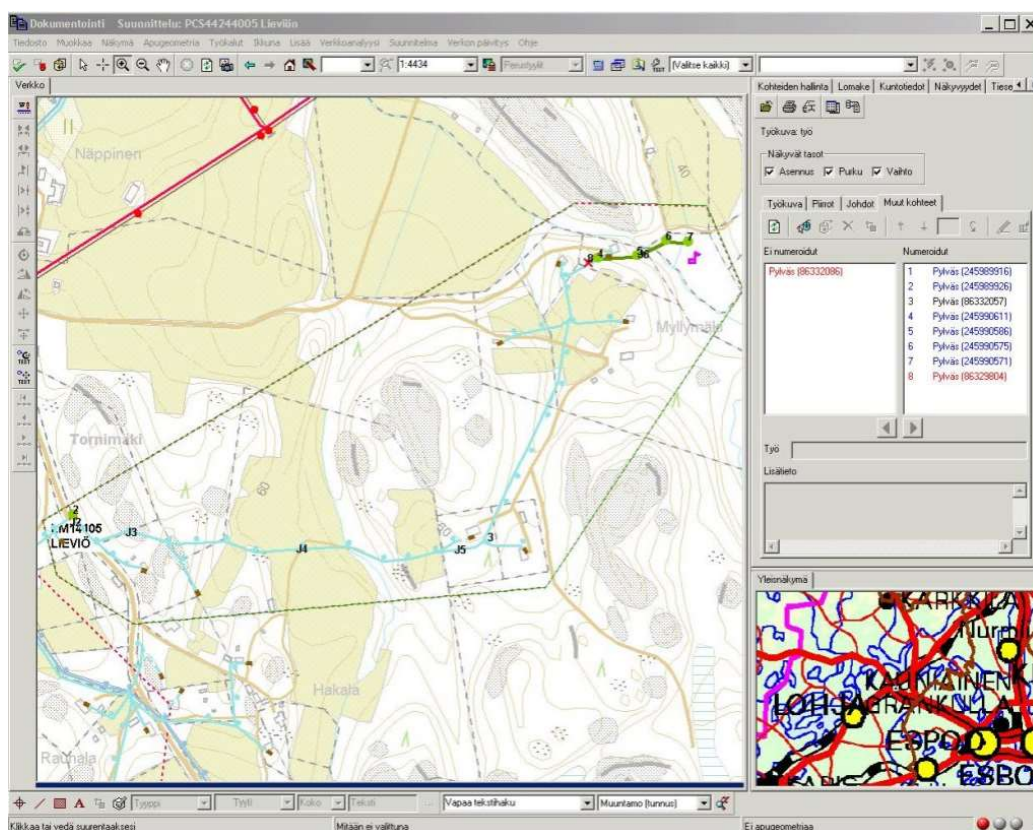
KUVA 32. Tehonrajoitus vahvassa verkossa

7 SIMULOINTI JA LASKENNAT

Tässä osuudessa simuloitiin ohjelmallisesti kahden muuntopiirin käyttäytymistä erilaisilla variaatioilla aurinkopaneelijärjestelmiä. Tutkittavia asioita olivat esimerkiksi jännitetasojen muutokset pienjänniteverkossa, tuotetun loistehon vaikutus jännitetasoihin, jännitteenalenema ja muuntajan kuormitus. Lisäksi tutkittiin sähköverkon saneerauksen vaikutusta tilanteeseen ja arvioitiin saneerauksen kustannuksia. Simulointi toteutettiin pääasiassa PowerGrid-verkkotietojärjestelmällä, mutta suurena osuutena opinnäytetyöhön kuului myös sen laskennan varmistaminen sähköverkon analysointiohjelma PowerFactory:n avulla.

7.1 PowerGrid

PowerGrid on Suomalaisen Tieto Oyj:n valmistama karttapohjainen paikka- ja ominaisuustietoja sisältävä verkkotietojärjestelmä. PowerGrid-verkkotietojärjestelmä pitää sisällään työkalut sähköverkon graafiseen käsittelyyn, kuten verkoston dokumentointiin, suunnitelmien laadintaan, laskentaan ja erilaisten raporttien tulostamiseen. Kuvassa 33 esitetty PowerGrid:n käyttöliittymä muodostuu valikoista, toiminnallisuuspainikkeista sekä erilaisista välilehdistä. Graafista käyttöliittymää voidaan käyttää pelkästään hiirellä, mutta siitä löytyy myös erilaisia näppäinyhdistelmiä, jotka nopeuttavat käyttöä. (Hopia, 2008, s. 5)

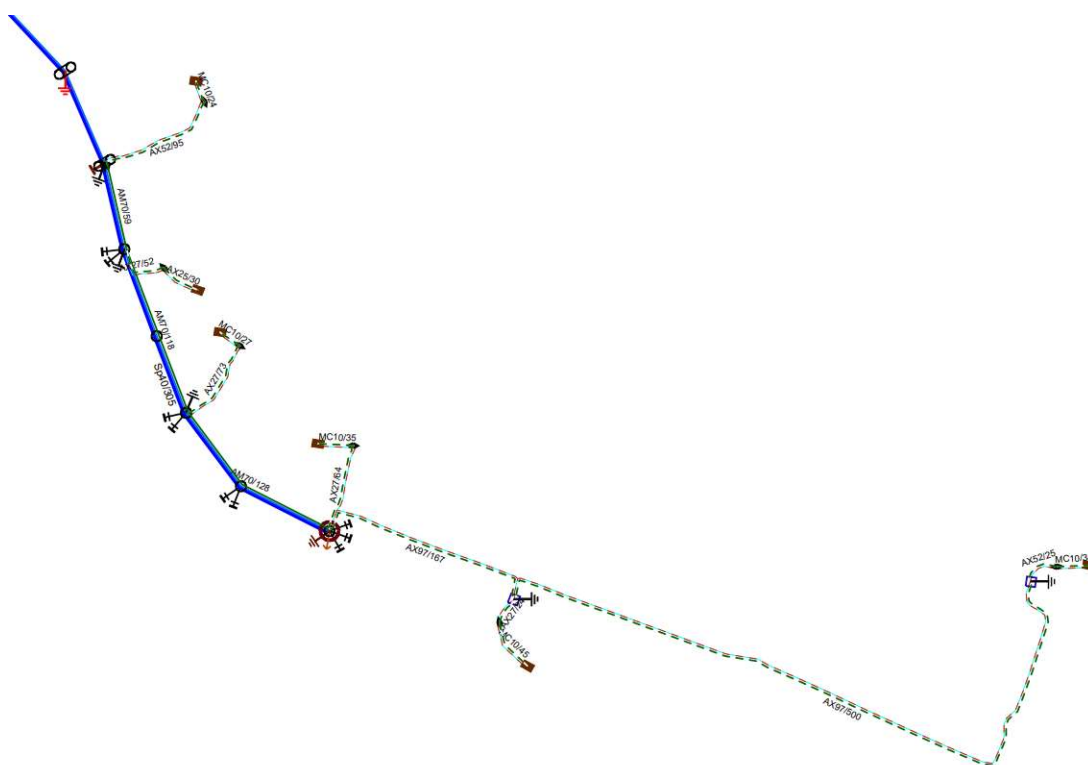


KUVA 33. PowerGrid:n käyttöliittymä (Hopia, 2008, s. 6)

PowerGrid-verkkotietojärjestelmä on käytössä Savon Voima Verkko Oy:llä. Sen käyttö oli minulle tuttua esimerkiksi opinnäytetyötä edeltäneestä projektista, jossa tutkittiin aurinkopaneelien vaikutusta pienjänniteverkon mitoittamiseen verkkotietojärjestelmän avulla. Tutkittaviksi valikoitui kaksi nykyisten mitoitusohjeiden mukaisesti valmistettua muuntopiiriä eli jakelumuuntajaa ja niiden takaista pienjänniteverkkoa. Molemmat muuntopiirit olivat mukana myös aiemmassa projektissa. Projektin aikaisten laskentojen tuloksia ei kuitenkaan voitu juurikaan hyödyntää, koska niiden tarkkuus ei ollut riittävä. Silloinen tulosten taulukointitapa aiheutti sen, että osa tuloksista esiintyi kokonaislukuina. Muuntopiirit sijaitsevat haja-asutusalueella, jossa verkot ovat usein oikosulkuvirtatasoltaan heikompia kuin taajamissa pienten verkon kuormitusten ja suurien välimatkojen takia.

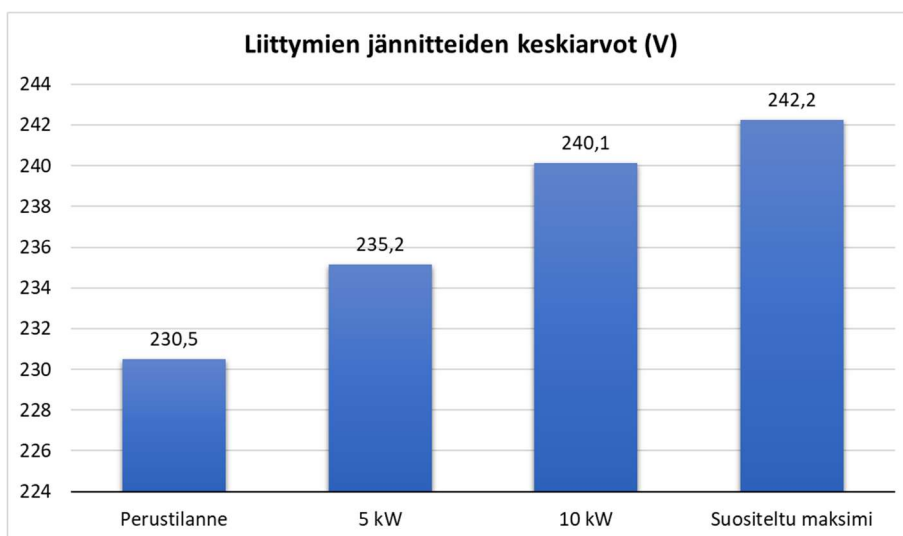
7.1.1 Ensimmäinen tutkittu muuntopiiri

Kuvassa 34 on esitetty ensimmäinen tutkittu muuntopiiri PowerGrid-verkkotietojärjestelmässä. Sinisellä on esitetty keskijänniteverkko, vihreällä pienjänniteverkko, punainen ympyrä on pylväsmuuntamo ja ruskeat nelikulmiot ovat liittymiä. Pienjänniteverkko sisältää sekä maakaapelia että ilmakehää. Muuntopiirissä on 6 liittymää ja pisimmän lähdön pituus on noin 700 metriä. Laskennan ajankohdaksi valittiin 27.6.2018 tunti 12, koska edellisen projektin aikana tutkittiin, että silloin yleensä kulutukset ovat pieniä ja aurinko paistaa voimakkaasti. Laskennalliset tehon kulutukset liittymillä olivat kuitenkin varsin suuret, minkä johdosta aurinkopaneelien vaikutukset jäivät vähäisemmiksi, koska tuotantopaikalla kulutettu teho ei siirry jakeluverkkoon. Pylväsmuuntamossa on 50 kVA muuntaja, jonka muuntosuhde on nykyaikaisista muuntajista poiketen 20,5 kV / 400 V. Nykyään toision nimellijännite on 410 V, eli myös tämä osaltaan laskee jännitetasoja. Muuntamolla on kolme lähtöä, jotka kaikki on varustettu 63 A sulakkeella.



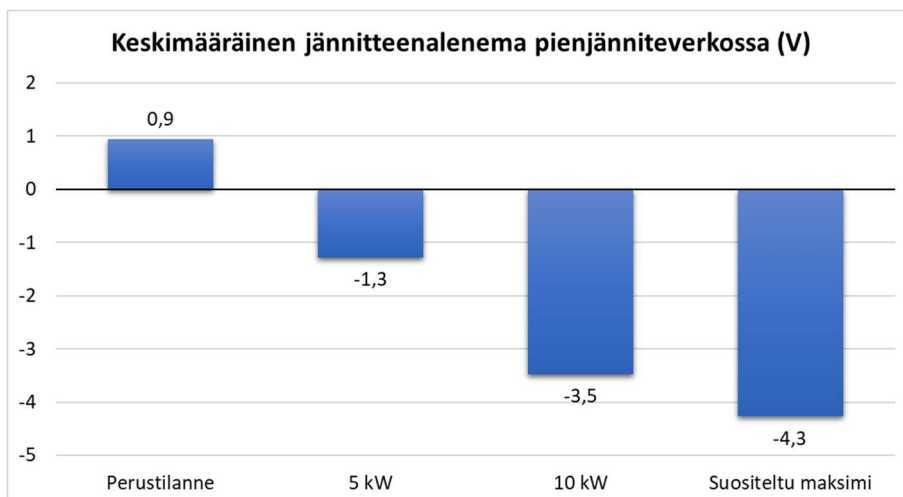
KUVA 34. Ensimmäinen tutkittu muuntopiiri PowerGrid-verkkotietojärjestelmässä

Aurinkopaneelijärjestelmiä sijoitettiin kaikille liittymille ja variaatioita saatiin muuttamalla niiden tuotantamia tehoja: 5 kW, 10 kW ja suositeltu maksimiteho. Kaikissa liittymissä oli aina keskenään yhtä suuri aurinkopaneelijärjestelmä. Suositeltu maksimiteho tarkoittaa Savon Voima Verkko Oy:ssä käytetyn Senerin ohjeen määrittämän laskentakaavan avulla saatua tehoa. Kaava on esitetty aiemmin kaavassa 1. Laskentatulokset siirrettiin PowerGrid:stä Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaan, jossa tulokset taulukoitiin ja niistä muodostettiin havainnollistavia kaavioita. Kuvassa 35 on esitetty kaavio liittymien jännitteiden keskiarvosta eri tuotantotilanteissa. Jännite kasvaa tuotantotehojen kasvaessa ja suurin jännitetaso on suositelluilla maksimitehoilla. Tämä tarkoittaa sitä, että muuntopiirin oikosulkuvirtataso on sen verran suuri, että keskimääräinen Senerin laskentakaavalla laskettu aurinkopaneelijärjestelmän teho on suurempi kuin 10 kW.



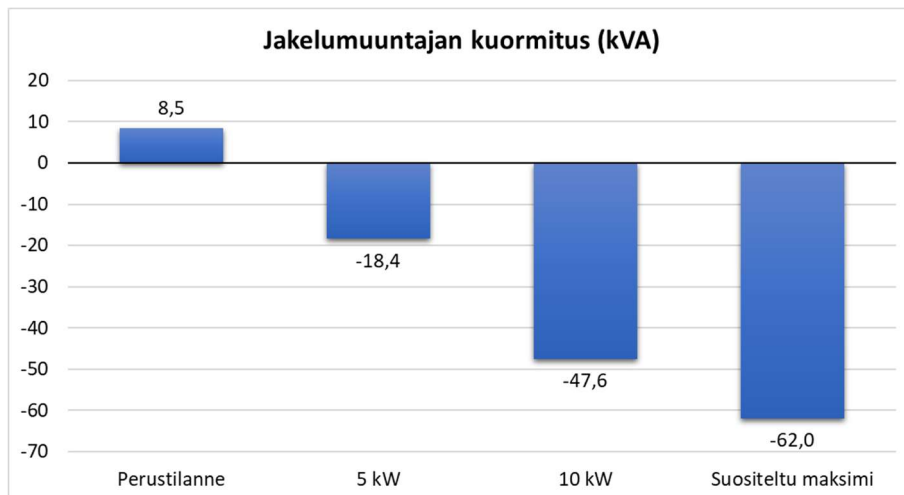
KUVA 35. Ensimmäisen muuntopiirin liittymien jännitteiden keskiarvot eri tuotantotilanteissa

Kuvassa 36 on esitetty keskimääräinen pienjänniteverkon jännitteenalenema eri tuotantotilanteissa. Siitä nähdään, että jännitteenaleneman suunta ja näin ollen myös tehon kulkusuunta muuttuu jo ensimmäisessä simulaatiosuorituksessa, jossa jokaisella liittymällä on 5 kW aurinkopaneelijärjestelmä. Sähkökulutus on tällöin pienempi kuin sen tuotanto. Jännitteenaleneman muuttuminen käänteiseksi nostaa liittymien jännitetasoa.



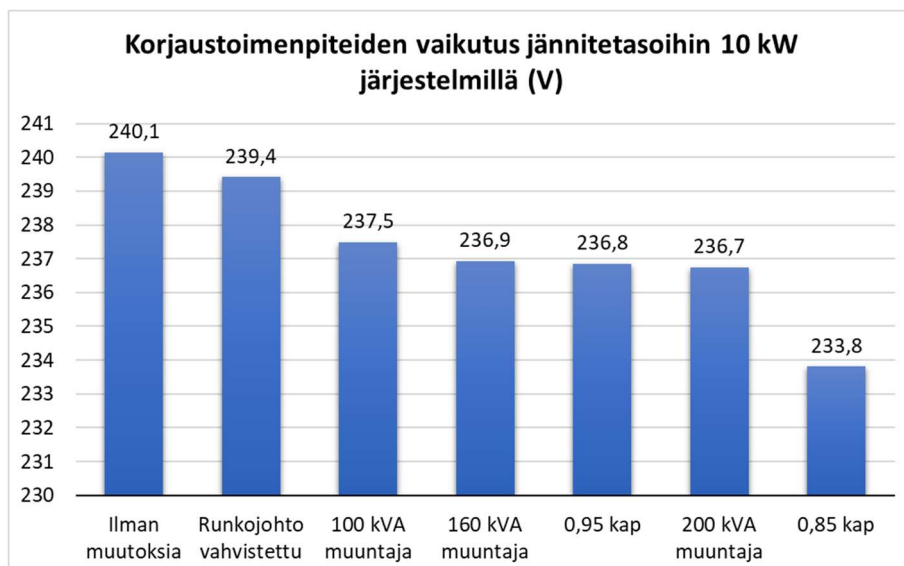
KUVA 36. Ensimmäisen muuntopiirin keskimääräinen jännitteenalenema pienjänniteverkossa

Kuvassa 37 on esitetty ensimmäisen muuntopiirin jakelumuuntajan kuormitus eri tuotantotilanteissa. Jakelumuuntaja kuormittuu huomattavasti perustilannetta enemmän, kun liittymille lisätään tuotantoa. Kuormituksen suunta muuttuu, koska tehoa siirretään toiseen suuntaan. Suunnalla ei ole merkitystä kuormituksen voimakkuuteen. Verkkoon siirretyn näennäistehon määrä on niin suuri, että muuntajan kuormitus on 124 %, kun liittymillä on Senerin kaavan mukaiset järjestelmät.



KUVA 37. Ensimmäisen muuntopiirin 50 kVA jakelumuuntajan kuormitus eri tuotantotilanteissa

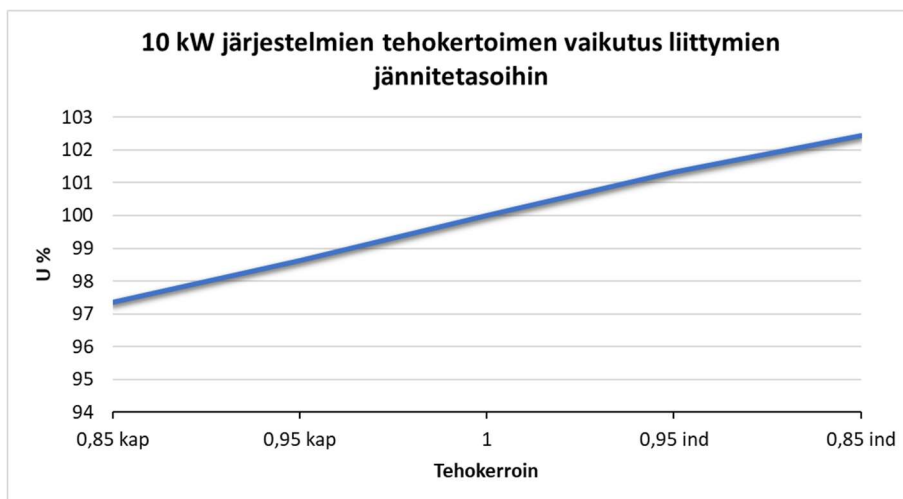
Kun eri aurinkopaneelijärjestelmien variaatiot oli lasketettu, siirryttiin tekemään korjaustoimenpiteitä ja tarkastelemaan niiden verkostovaikutuksia. Kaikkien näiden tilanteiden aikana aurinkopaneelijärjestelmien teho pidettiin kaikilla liittymillä vakiona 10 kW, jotta tilanteet pysyivät vertailukelpoisina. Verkkoa vahvistettiin vaihtamalla runkojohdosta 246 metriä AMKA 3x70+95 riippukierrekaapelia AMKA 3x120+95 kaapeliin ja 167 metriä AXMK-PE 4x95 S maakaapelia AXMK-PE 4x150 S kaapeliin. Alkuperäisessä verkossa testattiin myös erikseen muuntajan vaihdon vaikutusta jännitetasoihin. Tarkasteltavien muuntajien nimellistehot olivat 100 kVA, 160 kVA ja 200 kVA. Muuntosuhde on sama kuin alkuperäisessä muuntajassa. Myös aurinkosähköinvertterien tehokertoimen säätö otettiin mukaan vertailuun. Tarkasteltavia tehokertoimen arvoja korjaustoimenpiteenä oli: 0,85 kap ja 0,95 kap. Korjaustoimenpiteiden vaikutukset ensimmäisessä tutkitussa muuntopiirissä on esitetty kuvassa 38.



KUVA 38. Korjaustoimenpiteiden vaikutus jännitetasoihin ensimmäisessä muuntopiirissä

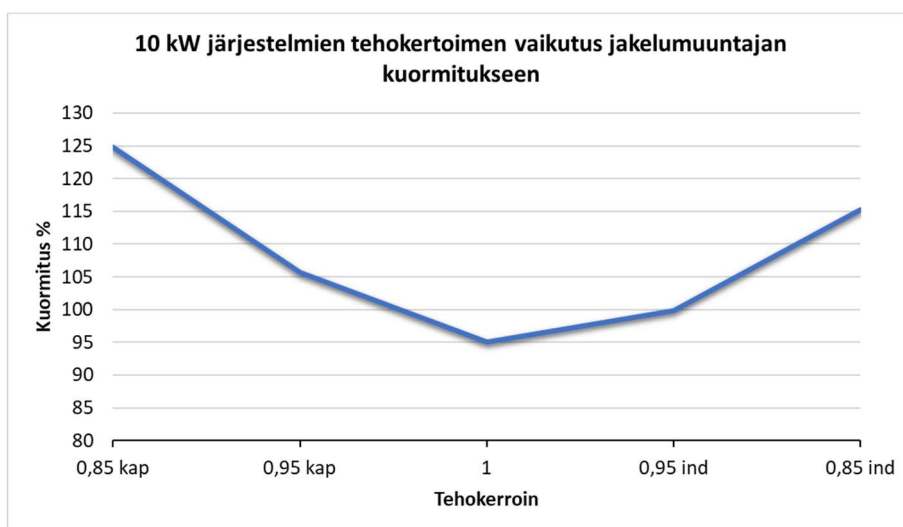
Korjaustoimenpiteillä suurin vaikutus oli tehokerroin asettelulla arvoon 0,85 kap. Tämä asettelu olisi hinnaltaan edullinen toimenpide, koska siinä täytyisi maksaa vain ammattilainen säätämään invertterit. Seuraavaksi suurin vaikutus oli muuntajan vaihdolla alkuperäisestä 200 kVA muuntajaan. Muuntajan vaihdosta 100-160 kVA muuntajaan kustannuksia tulisi arviolta keskimäärin noin 6000 €. Muuntajan vaihto 200 kVA tai suurempaan ei olisi mielekästä, koska kustannukset nousisivat silloin pylväsrakenteen muutosvaatimuksen johdosta. Muuntajan vaihdossa tulee huomioida, että muuntajan nimellistehoa kasvatettaessa portaittain sen vaikutus pienentyy. Harppaus 50 kVA muuntajasta 100 kVA muuntajaan on 4,7 V, mutta 100 kVA muuntajasta 200 kVA muuntajaan enää 0,8 V. Runkojohtojen vahvistamisen vaikutus jännitetasoon on tässä muuntopiirissä karkeasti puolet pienempi kuin muuntajan vaihdon vaikutus. Myös sen kustannukset olisivat muuntajan vaihtoakin kalliimmat.

Koska tehokerroin asettelulla oli niin suuri vaikutus jännitteeseen sitä tutkittiin tarkemmin. Tarkasteltaviksi arvoiksi valikoitui 0,85 kap, 0,95 kap, 1, 0,95 ind ja 0,85 ind. Tehokertoimen ollessa 0,95 verkossa siirtyy loistehoa noin 3,3 kVAR ja tehokertoimen arvolla 0,85 noin 6,2kVAR. Kapasitiivisena komponenttina aurinkopaneelijärjestelmä kuluttaa loistehoa, jolloin jännitetasot laskevat ja induktiivisena tuottaa sitä, jolla taas on jännitetasoja kasvattava vaikutus. Kuvassa 39 on esitetty tehokerroin asetteluun vaikutukset liittymien jännitetasoihin. Tehokertoimen arvo 1 on kiinnitetty 100 %:iin. Vertailussa pidettiin järjestelmien tuottama teho 10 kW:ssa. Tehokertoimen säädöllä saatiin aikaan maksimissaan noin 2,5 %:n muutos jännitetasoihin kumpaankin suuntaan valituilla arvoilla, joka vastaa tässä tilanteessa noin 6 V muutosta jännitetasoihin. Muutos käyttäytyi lineaarisesti.



KUVA 39. Aurinkosähköinvertterien tehokertoimen vaikutus liittymien jännitetasoihin ensimmäisessä muuntopiirissä

Tehokerroin asettelussa tulee ottaa huomioon, että näennäisteho muuntajalla kasvaa, kun loistehoa lisätään. Jos muuntaja on jo lähellä ylikuormitusta, tehokertoimen säätö pahentaa tilannetta. Kuvassa 40 on esitetty 10 kW järjestelmien aurinkosähköinvertterien tehokertoimen asettelun vaikutus jakelumuuntajan kuormitukseen. Tässä muuntopiirissä 10 kW tuottavilla järjestelmillä tehokertoimen muuttaminen arvosta 1 arvoon 0,85 kap jakelumuuntajan kuormitus kasvoi noin 30 %.

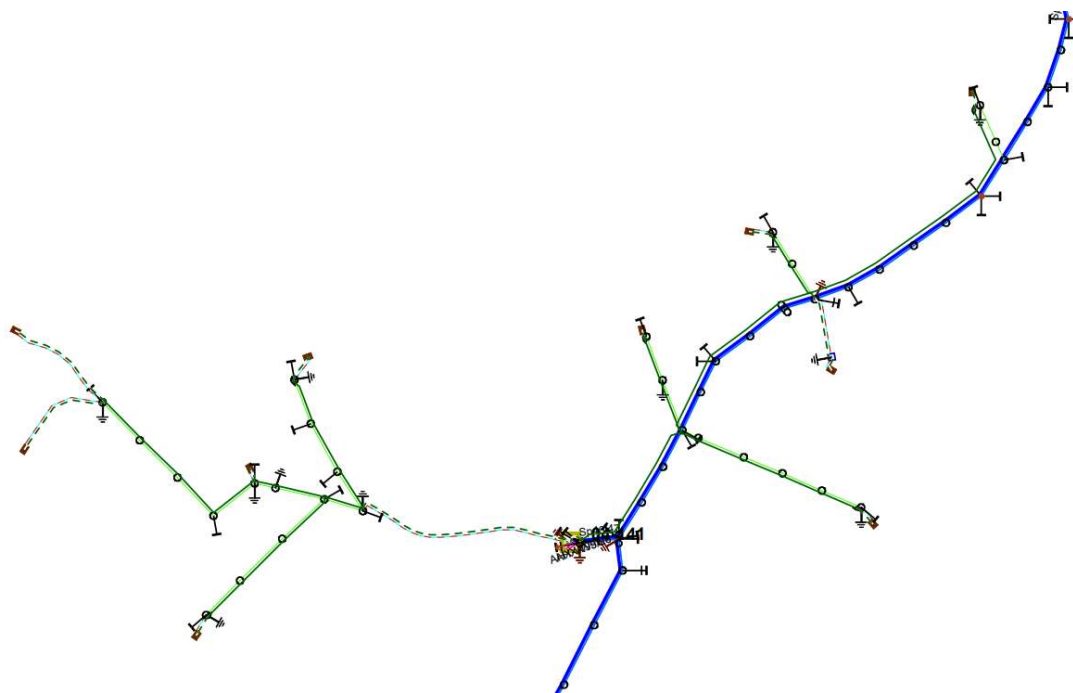


KUVA 40. Aurinkosähköinvertterien tehokertoimen vaikutus jakelumuuntajan kuormitukseen ensimmäisessä muuntopiirissä

7.1.2 Toinen tutkittu muuntopiiri

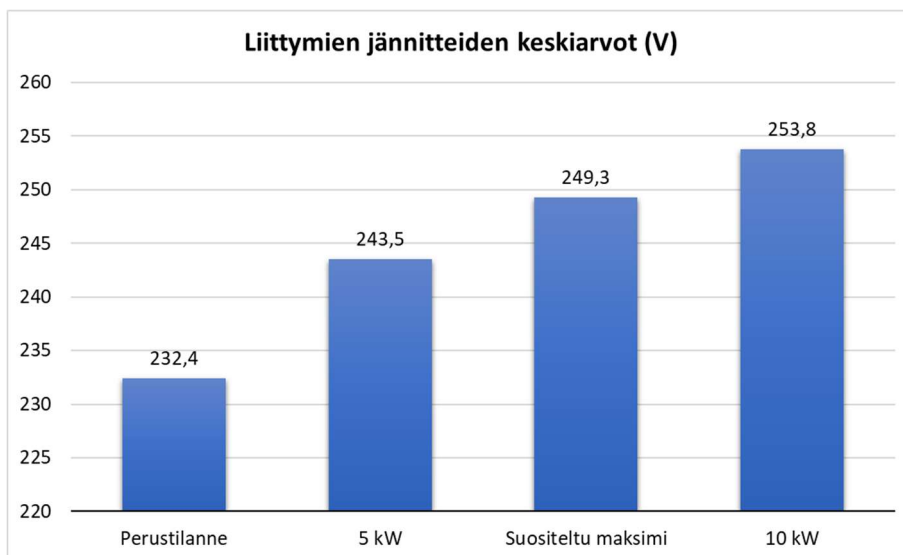
Kuvassa 41 on esitetty toinen tutkittu muuntopiiri PowerGrid-verkkotietojärjestelmässä. Sen pienjänniteverkko sisältää sekä maakaapelia että ilmakaapelia. Muuntopiirissä on 10 liittymää ja pisimmän lähdön pituus on noin 800 metriä. Pylväsmuuntamossa on 50 kVA muuntaja, jonka muuntosuhde on 20,5 kV / 410 V. Muuntamolla on kaksi lähtöä, jotka varustettu 63 A sulakkeella. Laskennalliset tehon kulutukset ovat pienemmät kuin ensimmäisessä tutkitussa muuntopiirissä. Kaikki nämä ominai-

suudet viittaavat siihen, että tämän muuntopiirin jännitetasot sekä jännitteen muutokset ovat suurempia kuin ensimmäisessä tutkitussa muuntopiirissä. Liittymien suurempi lukumäärä kasvattaa myös muuntajan kuormitusta tuotantotilanteissa, koska tuotantoa on silloin yhteensä enemmän.



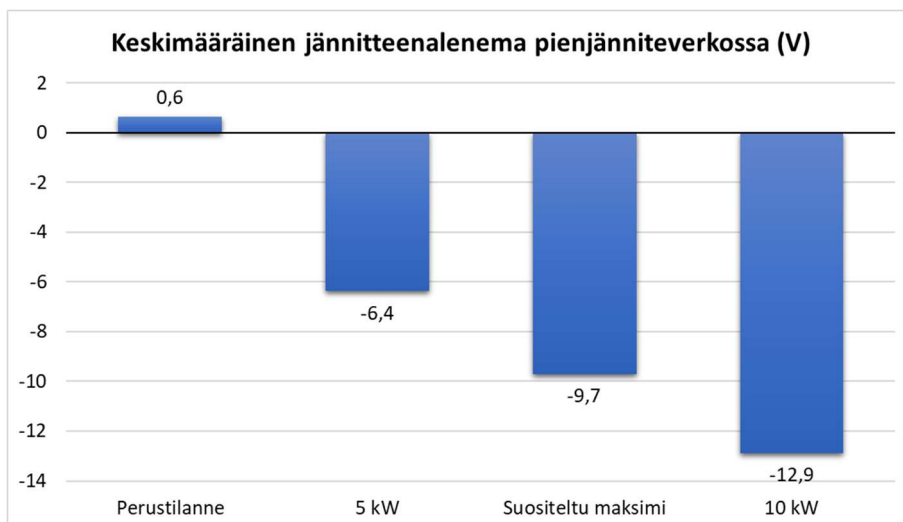
KUVA 41. Toinen tutkittu muuntopiiri PowerGrid-verkkotietojärjestelmässä

Toiselle muuntopiirille tehtiin samat tilannesimulaatiot kuin ensimmäiselle muuntopiirille. Laskentatulokset siirrettiin Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmaan, jossa tulokset taulukoitiin ja niistä muodostettiin havainnollistavia kaavioita. Kuvassa 42 on esitetty kaavio liittymien jännitteiden keskiarvosta eri tuotantotilanteissa. Jännite kasvaa tuotantotehojen kasvaessa ja suurin jännitetaso on 10 kW aurinkopaneelijärjestelmillä. Tämä tarkoittaa sitä, että muuntopiirin oikosulkuvirtataso on sen verran matala, että keskimääräinen Senerin kaavalla laskettu aurinkopaneelijärjestelmän teho on pienempi kuin 10 kW. Jännitetasot olivat odotetusti korkeampia kuin ensimmäisessä tutkitussa muuntopiirissä. Tässä muuntopiirissä ilman muutoksia ja 10 kW aurinkopaneelijärjestelmillä invertteerien tehorojoitusta voisi jo esiintyä.



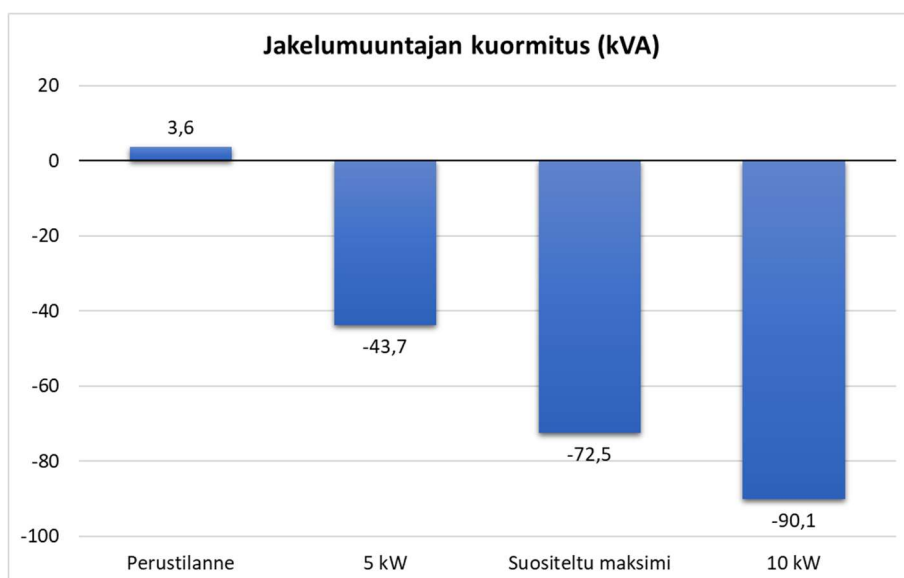
KUVA 42. Liittymien jännitteiden keskiarvot eri tuotantotilanteissa toisessa muuntopiirissä

Kuvassa 43 on esitetty keskimääräinen pienjänniteverkon jännitteenalenema. Jännitteenalenema on käännteinen kaikissa aurinkopaneelijärjestelmiä sisältävissä tilanteissa. Jännitteen muutokset tässä muuntopiirissä olivat odotetusti suurempia kuin ensimmäisessä pidempien välimatkojen ja liittymien lukumäärän vuoksi.



KUVA 43. Keskimääräinen jännitteenalenema pienjänniteverkossa toisessa muuntopiirissä

Kuvassa 44 on esitetty toisen muuntopiirin jakelumuuntajan kuormitus eri tuotantotilanteissa. Kun kaikilla liittymillä on aurinkopaneelijärjestelmä, joka tuottaa 10 kW tehon, jakelumuuntajan läpi syötetään yli 90 kVA teho keski-jänniteverkkoon. Tällöin jakelumuuntajan kuormitus on 180 %.



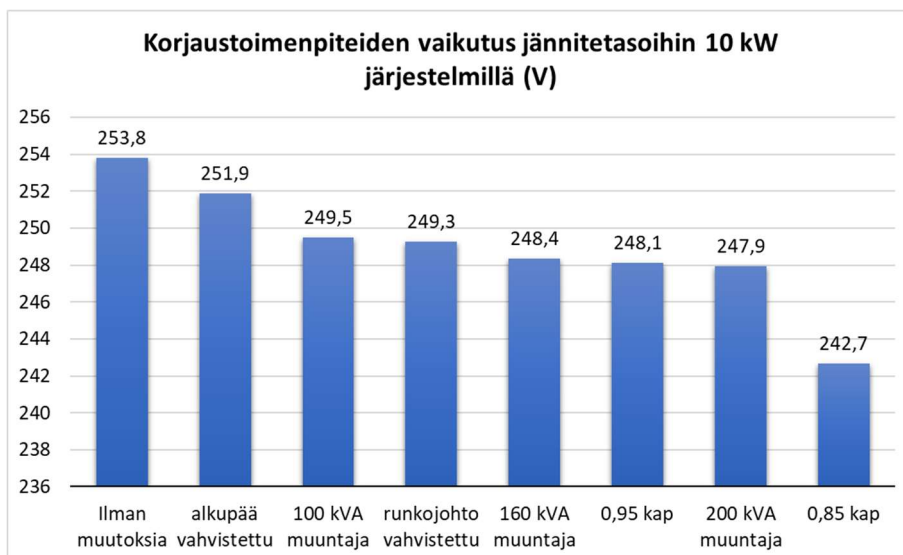
KUVA 44. Toisen muuntopiirin 50 kVA jakelumuuntajan kuormitus eri tuotantotilanteissa

Toiselle muuntopiirille tehtiin myös samat korjaustoimenpiteet kuin ensimmäiselle muuntopiirille ja tutkittiin niiden verkostovaikutuksia. Muuntajan vaihdon kustannukset arvioitiin olevan keskimäärin noin 7000 €. Hinta on kalliimpi kuin ensimmäisessä muuntopiirissä, koska tässä muuntopiirissä on koppimuuntamo, johon muuntajan vaihto on työläämpää kuin pylvääseen. Pitkän runkojohdon vuoksi saneerauksen simulointi jaettiin kuitenkin kahteen eri versioon: alkupään vahvistus ja koko runkojohdon vahvistus. Alkupään vahvistuksen kustannukset ovat arvoltaan samat kuin muuntajan vaihdon kustannukset, mutta koko runkojohdon vahvistus maksaisi noin kaksi kertaa enemmän. Taulukossa 1 on esitetty runkojohdon saneerauksessa tehdyt muutokset.

TAULUKKO 1. Toisen muuntopiirin runkojohdon saneerauksessa tehdyt muutokset

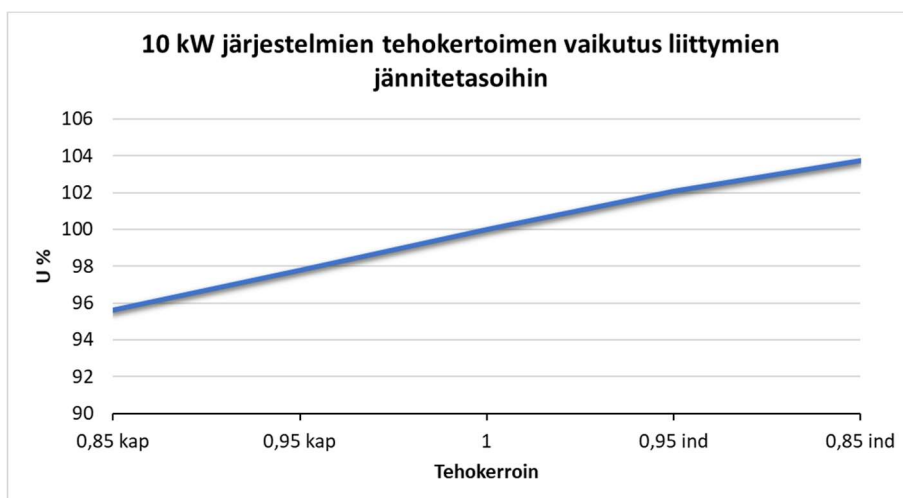
Alkupään vahvistus			Runkojohdon vahvistus		
Entinen	Uusi	Pituus (m)	Entinen	Uusi	Pituus (m)
AM35	2xAM35	135	AM35	AM70	254
AX95	AX152	314	AM35	AM120	135
			AX95	AX152	314
			2xAM35	AM120	434

Verkon vahvistamisessa suurin vaikutus oli taas selkeästi aurinkosähköinvertterien tehokertoimen säädöllä arvoon 0,85 kap. Seuraavaksi suurin vaikutus oli muuntajan vaihdolla alkuperäisestä 200 kVA muuntajaan, mutta edelleen muuntajaa vaihdettaessa portaittain huomataan, että vaikutus pienenee. Muuntajan vaihdossa muuntosuhde pidettiin samana kuin muuntopiirin alkuperäisessä muuntajassa. Runkojohdon vahvistus koko matkalta laski jännitetasoja suurin piirtein saman verran kuin muuntajan vaihto 100 kVA muuntajaan. Kuvassa 45 on esitetty korjaustoimenpiteiden vaikutus liittymien jännitetasoihin.



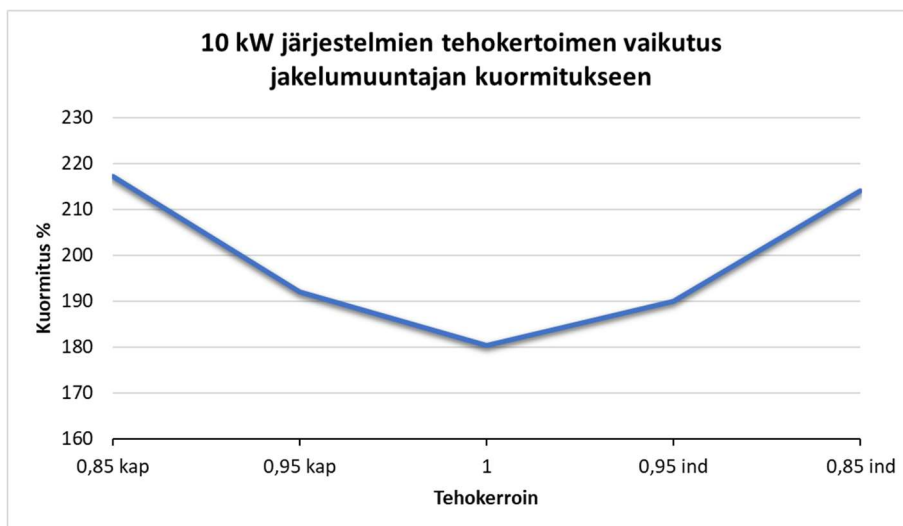
KUVA 45. Korjaustoimenpiteiden vaikutus liittymien jännitetasoihin toisessa muuntopiirissä

Kuvassa 46 on esitetty tehokerroin asetteluun vaikutukset liittymien jännitetasoihin. Tehokertoimen arvo 1 on kiinnitetty 100 %:iin. Vertailussa pidettiin järjestelmien tuottama teho 10 kW:ssa. Tehokertoimen säädöllä saatiin aikaan maksimissaan noin 4 %:n muutos jännitetasoihin kumpaankin suuntaan valituilla arvoilla, joka vastaa tässä tilanteessa noin 10 V muutosta jännitetasoihin. Muutos käyttäytyi lähes lineaarisesti.



KUVA 46. Aurinkosähköinvertertien tehokertoimen vaikutus liittymien jännitetasoihin toisessa muuntopiirissä

Kuvassa 47 on esitetty 10 kW järjestelmien aurinkosähköinvertertien tehokertoimen asetteluun vaikutus jakelumuuntajan kuormitukseen. Tässä muuntopiirissä 10 kW tuottavilla järjestelmillä tehokertoimen muuttaminen arvoon 0,85 kap jakelumuuntajan kuormitus kasvoi noin 35 %. Vaikutus on siis vielä suurempi kuin ensimmäisessä tutkitussa muuntopiirissä. Muuntaja on jo valmiiksi tehokertoimen arvolla 1 pahasti ylikuormitettu 10 kW aurinkopaneelijärjestelmien toimesta. Tässä tapauksessa muuntaja täytyisi vaihtaa suurempitehoiseen.

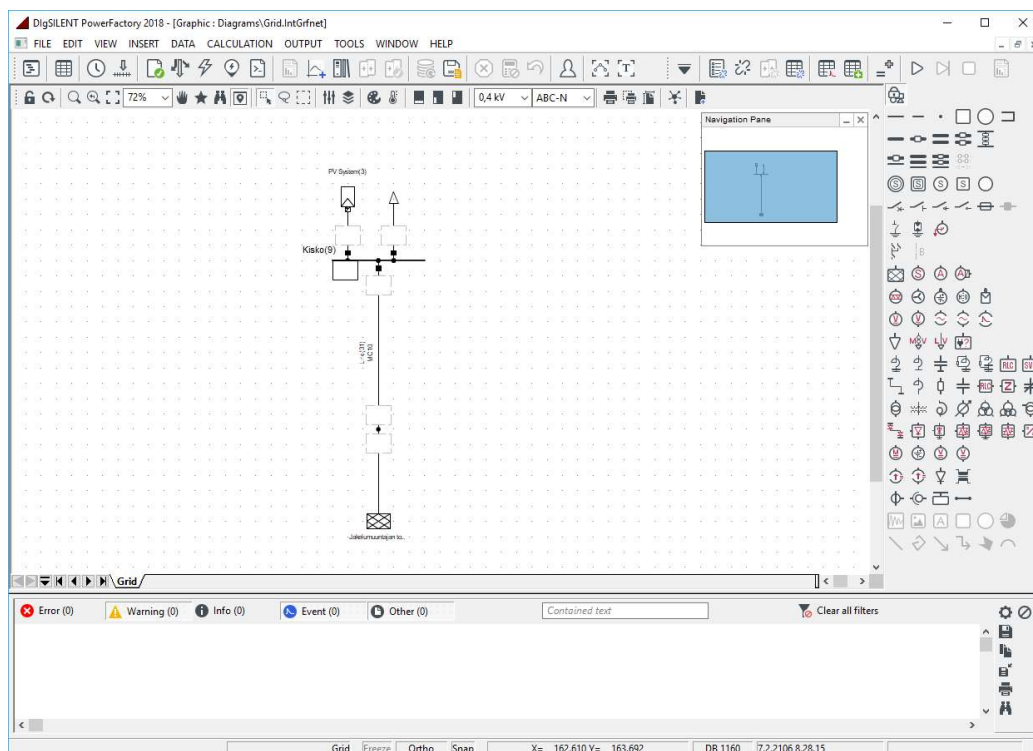


KUVA 47. Aurinkosähköinvertterien tehokertoimen vaikutus jakelumuuntajan kuormitukseen toisessa muuntopiirissä

7.2 PowerFactory

PowerFactory on Saksalaisen DlgSILENT:n tekemä sähköverkon analysointiohjelma. Ohjelma sisältää kattavat valikoimat tuotantomuotoja ja se keskittyy laskennan tarkkuuteen. Tämän vuoksi ohjelma valikoitu käytettäväksi opinnäytetyössä PowerGrid-verkkotietojärjestelmän laskentojen varmistamiseen. Aiempaa kokemusta minulla ei ollut ohjelmasta, joten ensimmäiseksi täytyi opiskella, miten ohjelmaa käytetään. Ohjelman käyttö on vielä varsin vähäistä Suomessa, joten suomenkielisiä käyttöohjeita tai koulutusta ei löytynyt. Opiskelumateriaalina käytettiin PowerFactory:n laajaa englanninkielistä käyttöopasta. Lisäksi käyttöä opiskeltiin esimerkkiharjoitusten avulla joita PowerFactory sisältää.

PowerFactoryn käyttöliittymä on esitetty kuvassa 48. Ylhäällä on valikko, josta pystyy esimerkiksi valitsemaan projekteja, suorittamaan laskentoja ja muokkaamaan asetuksia. Valikon alla on pikanäppäimiä, josta samat toiminnallisuudet voidaan suorittaa nopeammin. Keskellä on piirtoaruutu (Graphic Window), johon piirretään haluttu piiri. Piirtoalueen kokoa voidaan muuttaa paperin kokoa esittävän symbolin (Drawing Format) kautta. Oikeassa reunassa on komponenttivalikko, josta voidaan poimia halutut komponentit piirrettävään verkkoon. Komponenttien asetuksia voidaan muokata niiden lisäämisen jälkeen. Alimpana on tulosikkuna (Output Window), johon esimerkiksi laskentatulokset ja mahdolliset virheilmoitukset tulevat näkyviin tekstimuotoisena.

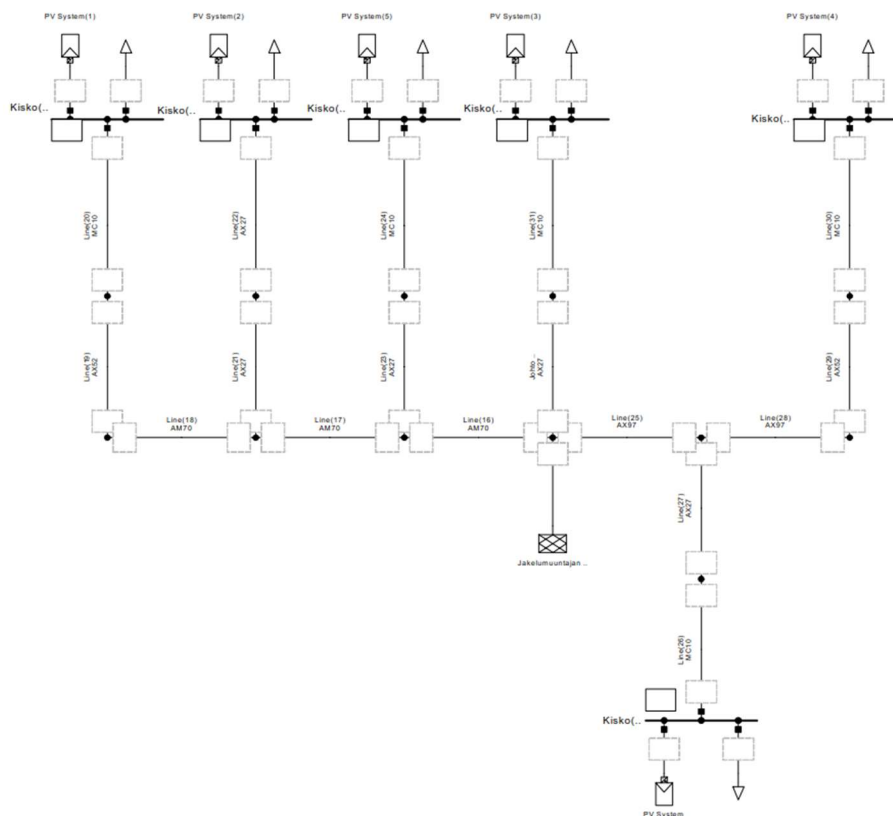


KUVA 48. PowerFactory:n käyttöliittymä

PowerFactory on tarkoitettu pääasiassa siirtoverkkojen analysointiin, jonka takia esimerkiksi ohjelman tarjoamat kerrannaisyksiköt olivat liian suuria käytettäväksi pienjänniteverkon laskennoissa. Kerrannaisyksiköt saa muutettua komponentin asetuksissa tuplaklikkaamalla yksikköä. Muutos vaikuttaa kaikkiin vastaaviin komponentteihin projektissa. Laskentatulosten kerrannaisyksiköt saa muutettua esimerkiksi luomalla uuden tapauksen (Study Case), jota luodessa ohjelma antaa valita kerrannaisyksiköt.

Kun ohjelman käyttäminen alkoi onnistua, todellisia muuntopiirejä simuloitiin ohjelmaan käyttäen PowerGrid-verkkotietojärjestelmästä saatuja johdintyyppejä sekä niiden pituuksia. Myös asiakkaiden valitun tunnin tehon kulutus sekä muuntajalla vallitseva toisiojännite poimittiin PowerGrid:stä. Kaapelitietokannoista ei löytynyt Suomessa käytettyjä pienjännitekaapeleita, joten ne luotiin tietokantaan itse. Samalla varmistuttiin siitä, että kaikkien johtojen tekniset tiedot olivat täsmälleen samat. Kaapelitietokannan pystyy luomaan etenemällä johtimen (Line) valikossa Basic Data, Type, New Project Type ja Line Type. Luodut tietokannat saa poimittua käyttöön myös eri projekteissa.

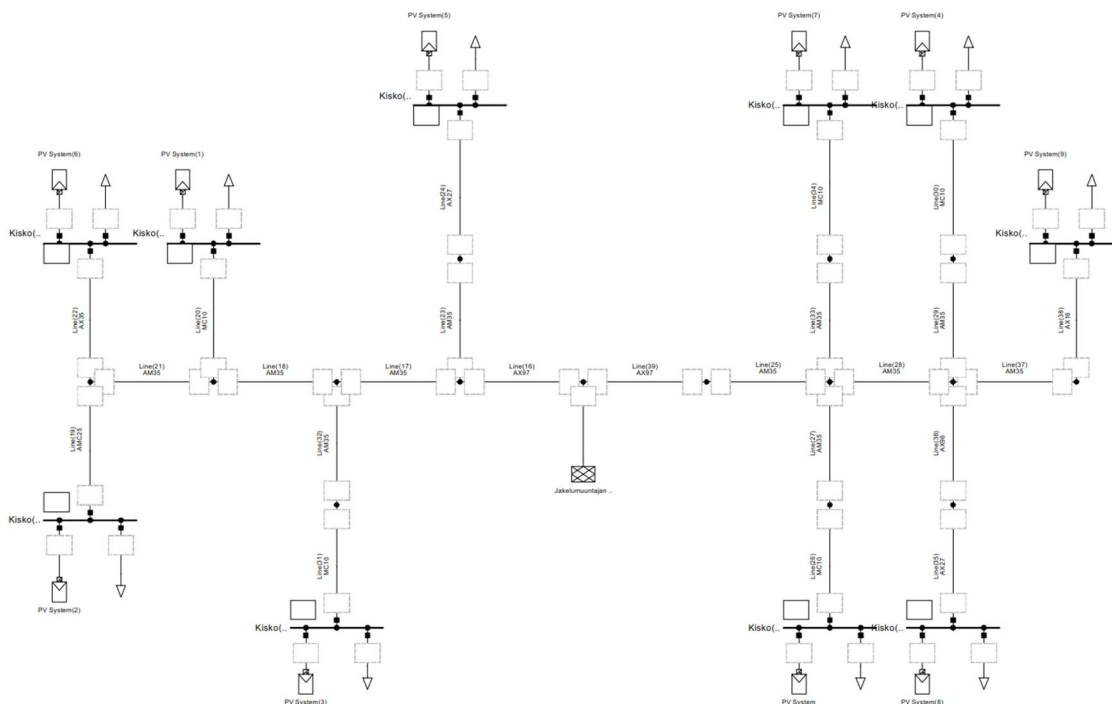
Kuvassa 49 on esitetty ensimmäinen tutkittu muuntopiiri PowerFactory-ohjelmassa. Ulkonäkö poikkeaa hieman todellisesta muuntopiiristä, joka on esitetty kuvassa 34, mutta sähköteknisesti se vastaa sitä täysin. Jakelumuuntajan toisio on kuvattu ulkopuolisen verkon symbolilla. Tässä pisteessä jännite sovitettiin vastaamaan PowerGrid:n arvoa. Pisteet kuvassa ovat solmupisteitä, joiden välille johdot ja komponentit piirretään. Jokaiselle johdolle valittiin luodusta kaapelitietokannoista tyyppi ja niille asetettiin pituudet. Paksut poikittaissuuntaiset viivat kuvaavat pienjännitekiskostoja, jotka vaaditaan liittymillä, joissa on tuotantoa. Ilman kiskostoa laskenta ei toimi. Kiskostoon liitetty nuolen muotoinen komponentti kuvastaa kulutusta ja monimutkaisempi komponentti aurinkopaneelijärjestelmää.



KUVA 49. Ensimmäinen tutkittu muuntopiiri PowerFactory-ohjelmassa

Kun yhden liittymän liittymisjohtoineen on saanut rakennettua, helpointa on kopioida siitä muut liittymät ja muuttaa vain tarvittavat tiedot. Kopiointi onnistuu esimerkiksi yleisesti käytössä olevalla Ctrl+C ja liittäminen Ctrl+V näppäinyhdistelmällä. Näin säästyy turhalta piirtämiseltä ja samojen asetusten uudelleen asettamiselta. Kopiointi onnistuu myös projektien välillä. Projektiin luotiin uusia välilehtiä, jonne valmis muuntopiiri kopioitiin kokonaisuudessaan muokattavaksi. Pääasiallisesti niissä muokattiin aurinkopaneelijärjestelmien tuottamaa tehoa.

Kuvassa 50 on esitetty toinen tutkittu muuntopiiri PowerFactory-ohjelmassa. Muuntopiiri on tehty täysin samalla periaatteella kuin ensimmäinenkin ja se luotiin omaan projektiin. Piiri vastaa sähköteknisesti PowerGrid-verkkotietojärjestelmän toista tutkittua muuntopiiriä, joka on esitetty kuvassa 41. Selkeän ulkomuodon säilyttämiseksi kaapelia kuvaavan komponentin koko pidettiin aina vakiona. Tässä muuntopiirissä oli useampia kaapelityyppejä ja useampia liittymiä kuin ensimmäisessä, joten piirtoaluetta jouduttiin suurentamaan kokoon A3.

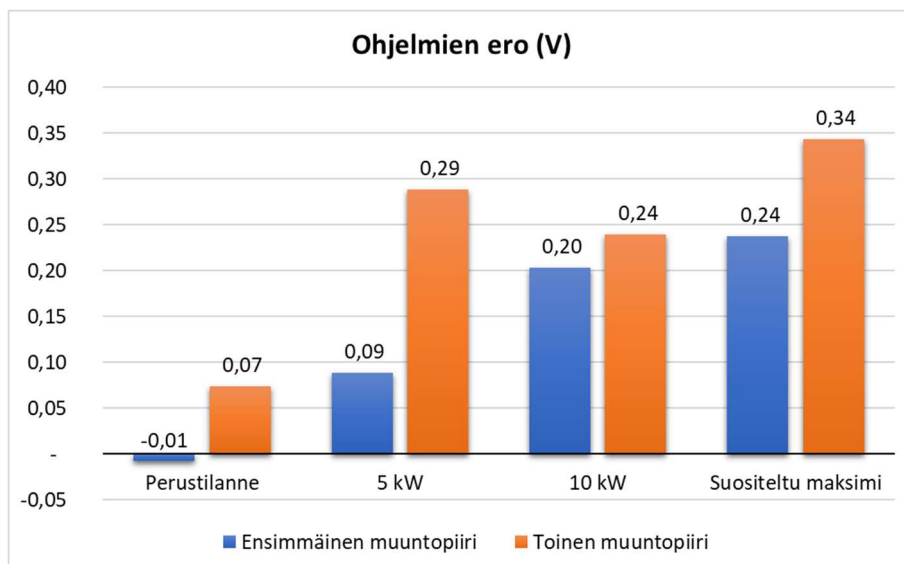


KUVA 50. Toinen tutkittu muuntopiiri PowerFactory-ohjelmassa

Perustilanne saatiin vertailukelpoiseksi, kun aurinkopaneelijärjestelmien tuottama teho aseteltiin nol-laksi, koska tutkittavassa muuntopiirissä ei alun perin ollut aurinkopaneelijärjestelmiä. Vertailua var-ten molemmista muuntopiireistä tehtiin omille välilehdille myös piirit, joissa aurinkopaneelijärjestel-mien tuottama teho oli kaikilla liittymillä 5 kW, 10 kW ja Senerin laskentakaavan mukainen maksimi. Kaikista tilanteista tehtiin laskennat.

7.3 Vertailun tulokset

Molempien ohjelmien vertailukelpoiset laskentatulokset siirrettiin Excel-laskentataulukkoon, jossa itse vertailu suoritettiin. Vertailutilanteita olivat perustilanteen lisäksi 5 kW, 10 kW sekä suositeltu maksimiteho. Kaikilla liittymillä oli kussakin laskennassa aina keskenään sama aurinkopaneelijärjes-telmä. Muuntajan toisiojännitteen ollessa aina sama molemmissa ohjelmissa, vertailu kohdistui pien-jänniteverkon ilmiöiden laskentaan. Kuvassa 51 on esitetty ohjelmien laskentatulosten ero. Ero on laskettu ensin jokaiselle liittymälle erikseen ja niistä on muodostettu tilanteen keskiarvo kaavioiden selkeyttämiseksi. Perustilanteessa laskentatulokset ovat lähes tasan samat ohjelmien välillä. Kun tuotantoa lisätään liittymille, eroa alkaa kehittyä niin, että PowerGrid:n jännitteet ovat hieman suu-rempia. Erot ovat kuitenkin suuruusluokaltaan pieniä. Suurin ero yksittäisellä liittymällä oli 0,39 V.



KUVA 51. Ohjelmien laskentatulosten ero

Toisessa tutkitussa muuntopiirissä eroja syntyy enemmän, koska siinä välimatkat ovat suurempia kuin ensimmäisessä. Liittymiä on myös enemmän toisessa muuntopiirissä, jolloin laskentaerot kertaantuvat suuremmiksi. 5 kW järjestelmillä toisessa tutkitussa muuntopiirissä ero kohoaa epäjohdonmukaisesti suuremmaksi kuin 10 kW järjestelmillä. Piirit ja laskennat tutkittiin vielä uudempaan kertaan, mutta selitystä tälle ei löytynyt. Toisaalta erot ovat niin pieniä, että täysin johdonmukaista käytöstä eri tilanteiden välillä ei odotettukaan.

8 YHTEENVETO

Aurinkosähköjärjestelmien lukumäärä ja samalla niiden yhteinen nimellisteho kasvaa jatkuvasti Suomessa. Erilaiset kannustimet lisäävät järjestelmien ylimitoitusta. Aurinkopaneelijärjestelmillä voi olla haitallisia vaikutuksia sähköjakeluverkkoon. Näitä ovat esimerkiksi jännitetasojen nousu ja ylikuormitustilanteet. Edellytys vaikutuksien syntymiseen on, että järjestelmät ovat liitetty sähköjakeluverkkoon. Ongelmien ilmenemiseen vaikuttaa sähköverkon oikosulkuvirtataso. Ongelmille alttiita paikkoja ovat haja-asutusalueet, koska siellä on usein vähän kulutusta, jonka mukaisesti sähköjakeluverkko on alun perin suunniteltu. Myös etäisyydet ovat siellä usein suuria.

Yleisimmin ongelmat ilmenevät niin, että verkkojännite pyrkii nousemaan yli standardin salliman arvon, aiheuttaen invertterin tehonrajoitustoiminnan. Jännitteen nousun selittää jännitteenaleneman käyttäytyminen tehon kulkusuunnan mukaisesti. Tehonrajoitustoiminto leikkaa tuotantotehoa pitäen verkkojännitteen sallituissa rajoissa. Samalla tuotettua sähköä ei voida täysimääräisesti hyödyntää itse tai myydä. Jos invertterissä on virheelliset asetukset tai se ei ole muuten standardien mukainen, verkkojännite voi nousta yli standardin salliman arvon. Tällöin sähkölaitteet, jotka on suunniteltu kestämaan pienjänniteverkon standardin mukaiset jännitteet, alkaa hajoamaan.

Vuonna 2013 uudistuneen sähkömarkkinalain seurauksena alkanut laajamittainen säävarman sähköverkon rakentaminen nopeuttaa myös vanhojen sähköverkkojen saneerausta. Tämä osaltaan vähentää mahdollisia aurinkosähköjärjestelmien aiheuttamia ongelmia, koska vanhat sähköverkot ovat usein mitoitettu heikommiksi kuin uudet. Ongelmien välttämiseksi tehonkulutusta vastaava mitoitus ja paikallinen kulutus on yksinkertaisin ratkaisu. Myös invertterien asetusten muuttamisella voidaan korjata tilannetta. Loistehoa kuluttava järjestelmä laskee sähköjakeluverkon jännitetasoja. On kuitenkin huomioitava, että lisätty loisteho kasvattaa myös näennäistehoa ja altistaa näin esimerkiksi jakelumuuntajan ylikuormitukselle.

Tarvittaessa sähköjakeluverkon oikosulkuvirtatasoa voidaan nostaa kasvattamalla johdinpoikkipinta-aloja ja muuntajan nimellistehoja sekä lyhentämällä pienjänniteverkon etäisyyksiä sijoittamalla jakelumuuntaja mahdollisimman lähelle kulutusta. Samalla mahdolliselta ylikuormitukselta vältytään. Ongelmatapauksissa kustannustehokkainta on ensin tutkia, selvittääkö niistä paikallisen kulutuksen, muuntajan väliottokytkimen asennon tai invertterien loistehoa koskevien asetusten muuttamisella. Jos näiden avulla ei päästä toivottuihin tuloksiin, seuraavaksi on usein kannattavaa kasvattaa muuntajan nimellistehoa. Jos vielääkään ei päästä haluttuihin tuloksiin tai sähköjohdot ylikuormittuvat, saneerataan johtimet poikkipinta-alaltaan suurempiin.

Opinnäytetyössä todettiin, että PowerGrid-verkkotietojärjestelmä laskee luotettavasti myös tuotantotilanteita. Tämä varmistettiin vertaamalla laskentoja PowerFactory:n vastaaviin laskentoihin. Perustilanteessa laskentatulokset ovat lähes tasan samat ohjelmien välillä. Kun tuotantoa lisätään liittymille, eroa alkaa kehittyä niin, että PowerGrid:n jännitteet ovat hieman suurempia. Erot ovat kuitenkin suuruusluokaltaan pieniä ja suurin ero yksittäisellä liittymällä oli 0,39 V.

9 LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Aarnio, P. (ei pvm). *Aurinkosähköteknologiat*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta <http://tfy.tkk.fi/aes/AES/projects/renew/pv/pv-tekno.html>
- ABB A. (14. 4 2015). *ABB aurinkosähköinvertterit, Pikaohje*. Haettu 24. 11 2018 osoitteesta <http://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A3350&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB B. (14. 4 2015). *Product manual TRIO-5.8/7.5/8.5-TL-OUTD*. Haettu 24. 11 2018 osoitteesta <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106103A6818&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB C. (ei pvm). *Detailed information for: 3M97990S005A*. Haettu 25. 11 2018 osoitteesta <https://new.abb.com/products/6AGC003146/trio-5-8-tl-outd-s-400-inverter>
- ABB D. (14. 4 2015). *PMU laajennuskortti*. Haettu 6. 12 2018 osoitteesta <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=9AKK106354A3333&LanguageCode=fi&DocumentPartId=&Action=Launch>
- Areva solar. (ei pvm). *Aurinkopaneelit omakotitaloon*. Haettu 29. 11 2018 osoitteesta <http://www.arevasolar.fi/fi/aurinkopaneelit-omakotitaloon>
- Aurinkopaneelikauppa. (ei pvm). *Victron invertteri 12V/800W*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta <https://www.aurinkopaneelikauppa.fi/Siniaaltoinvertteri-800W>
- Aurinkosähkö.net. (ei pvm). Haettu 17. 11 2018 osoitteesta <http://www.aurinkosahko.net/category/11/lataussaatimet>
- Aurinkoteknillinen Yhdistys. (ei pvm). *Aurinko Opas – 06 Aurinkosähkö ja aurinkokennot*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/?page_id=173
- Aurinkovirta. (ei pvm). *Invertteri*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta <http://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>
- BCC solutions. (ei pvm). Haettu 17. 11 2018 osoitteesta <https://www.bccsolutions.fi/teknologiat/oskilloskooppi/>
- Energiateollisuus. (17. 4 2016). *Mikrotuotannon liittäminen sähkönjakeluverkkoon YA9:13*. Haettu 23. 12 2018 osoitteesta https://energia.fi/files/762/Mikrotuotannon_liittaminen_sahkonjakeluverkkoon_YA9_13_verkostosuositus_painettu_20160427.pdf
- Erat, B.;Erkkilä, V.;Nyman, C.;Peippo, K.;Peltola, S.;& Suokivi, H. (2008). *Aurinko-opas. Aurinkoenergiaa rakennuksiin*. Aurinkoteknillinen yhdistys.
- Facility executive. (ei pvm). *New Thin-Film Solar Capability From Sunflare*. Haettu 29. 11 2018 osoitteesta <https://facilityexecutive.com/2016/12/new-thin-film-solar-capability-sunflare/>
- Finnish Meteorological Institute. (ei pvm). *Ilmakehä*. Haettu 26. 12 2018 osoitteesta <http://space.fmi.fi/oppimateriaali/envisat/tutkimus/ilmakeha.html>
- Geologycafe. (2016). *Atmospheric Circulation*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta <http://geologycafe.com/oceans/chapter8.html>
- GreenBiz. (3. 1 2017). *The dawn of architectural solar*. Haettu 27. 12 2018 osoitteesta <https://www.greenbiz.com/article/dawn-architectural-solar-sponsored>
- Hagman, A. (ei pvm). *Maapallon kiertoliike auringon ympäri*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta <http://aarnehagman.fi/maapallon-kiertoliike-auringon-ympari/>

- Hirvonen, K. (2015). *Hajautettu uusiutuva energiantuotanto*. (Turun ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/96131/HirvonenKatariina_opinnaytetyo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hopia, V. (23. 09 2008). *Verkkotietojärjestelmä verkkorakentamisen kustannuslaskennan apuna*. (Metropolia Ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1705/verkkoti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ilmatieteenlaitos. (ei pvm). *Auringon rakenne ja elinkaari*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta <https://ilmatieteenlaitos.fi/rakenne-ja-elinkaari>
- Käpylehto, J. (2014). *Mökille sähköt auringosta ja tuulesta*. Helsinki: Into Kustannus Oy.
- Korpinen, L. (ei pvm). *Jännitteenalenema*. Haettu 17. 11 2018 osoitteesta http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/jannitteenalenema_tehohaviot.pdf
- Kvick, P. (2010). *Verkkoon kytketty aurinkopaneelijärjestelmä*. (Savonia-ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/20683/Kvick_Pasi.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lappalainen, O. (8. 5 2014). *Verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu opetuskäyttöön*. (Savonia-ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/74989/Lappalainen_Olli.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lehto, H.;Maalampi, J.;Havukainen, R.;& Leskinen, J. (2016). *FY1: Fysiikka luonnontieteenä*. Sanoma Pro Oy.
- Mäkinen, P. (1. 10 2015). *Kotelointiluokka kertoo sähkölaitteesta kaiken oleellisen*. Haettu 25. 11 2018 osoitteesta http://www.sahkoala.fi/ammattilaiset/artikkelit/sahkotekniikka/fi_FI/011015_kotelointiluokat/
- Miettinen, P. (22. 10 2018). *Jakeluverkostotöiden toteutus*. (Luentomateriaali)
- Motiva A. (15. 11 2016). *Verkkoon kytketty vai verkkoon kytkemätön järjestelmä*. Haettu 2018. 11 29 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/hankinta_ja_asennus/verkkoon_kytetty_vai_verkkoon_kytkeaton_jarjestelma
- Motiva B. (19. 9 2017). *Aurinkosähköteknologiat*. Haettu 29. 11 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahkojarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat
- Motiva C. (11. 11 2016). *Aurinkolämpösanasto*. Haettu 26. 12 2018 osoitteesta https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo/aurinkolamposanasto
- Musakka, T. (2016). *Loistehon kompensointi taloyhtiössä*. (Metropolia Ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113677/Musakka_Tommi.pdf?sequence=1
- NettiMyynti.fi. (ei pvm). *Aurinkoenergia*. Haettu 29. 11 2018 osoitteesta <https://www.nettimyynti.fi/tuotteet/sahko-ja-energia/aurinkoenergia/6304/>
- Otavan opisto. (ei pvm). *Maan kierto auringon ja oman akselinsa ympäri*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta http://opinnot.internetix.fi/fi/materiaalit/ge/ge1/04_tellus/4.2_maan_kierto?C:D=gjhe.exOK&m:selres=gjhe.exOK
- Oulaisten lukio A. (ei pvm). *e-Oppi: Maapallo kiertää aurinkoa*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lukiot/oulainen/oulaisten-lukio/maantiede2/ops-2003/tellus122/tellus1-140115/luku_4
- Oulaisten lukio B. (ei pvm). *e-Oppi: Maapallo pyörii akselinsa ympäri*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta https://peda.net/oppimateriaalit/e-oppi/lukiot/oulainen/oulaisten-lukio/maantiede2/ops-2003/tellus122/tellus1-140115/luku_5

- Powersaving. (ei pvm). *Batteries & inverters*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta <https://powersaving.co.za/alternative-power/batteries-inverters/>
- Saarensilta, J. (19. 12 2012). *Aurinkosähkön hyödyntäminen*. (Metropolia Ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta <http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/53374/Aurinkos.pdf?sequence=1>
- Sähköteknisen Kaupan Liitto. (ei pvm). *Invertteri - 5.8 kW 3-vaiheinen 400 V IP65 - ABB Solar Inverters*. Haettu 24. 11 2018 osoitteesta <https://www.sahkonumerot.fi/8017009/>
- Savon Voima A. (ei pvm). *Tietoa meistä*. Haettu 28. 11 2018 osoitteesta <https://www.savonvoima.fi/konserni/tietoa-meista/>
- Savon Voima B. (ei pvm). *Sähkön siirto*. Haettu 28. 11 2018 osoitteesta <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/>
- Savon Voima C. (ei pvm). *Energian tuotanto*. Haettu 28. 11 2018 osoitteesta <https://www.savonvoima.fi/konserni/tietoa-meista/energiantuotanto/>
- Savon Voima D. (ei pvm). *Kohti säävarmaa sähköverkkoa*. Haettu 15. 12 2018 osoitteesta <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/kunnossapito/saavarma/>
- Savon Voima E. (ei pvm). *Oma sähköntuotanto*. Haettu 23. 12 2018 osoitteesta <https://www.savonvoima.fi/sahkon-siirto/sahkoliittyman-tilaus/oma-sahkontuotanto/>
- Solarcentre. (29. 8 2013). *Space technology heads back to earth*. Haettu 27. 12 2018 osoitteesta <https://www.thesolarcentre.co.uk/blog/page/6/>
- Suntekno A. (15. 04 2010). *Aurinkoenergia ABC-opas*. Haettu 18. 11 2018 osoitteesta <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//aurinkoenergia.pdf>
- Suntekno B. (15. 4 2010). *Aurinkopaneelit*. Haettu 29. 12 2018 osoitteesta <http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki//paneelit.pdf>
- Teivainen, V. (2017). *Trimble NIS-verkkotietojärjestelmä*. (Jyväskylän ammattikorkeakoulu) Noudettu osoitteesta https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/131268/Teivainen_Ville.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tindo solar. (ei pvm). *Poly vs mono crystalline*. Haettu 29. 11 2018 osoitteesta <http://www.tindosolar.com.au/learn-more/poly-vs-mono-crystalline/>
- Union of Concerned Scientists. (23. 12 2015). *Concentrating Solar Power Plants*. Haettu 27. 12 2018 osoitteesta <https://www.ucsusa.org/clean-energy/renewable-energy/concentrating-solar-power-plants#.XCUCkIwzaUk>
- Ylinen, T. (15. 3 2011). *Sähkötermit tutuksi*. Haettu 17. 11 2018 osoitteesta http://www.sahkoala.fi/koti/muut_artikkelit/fi_FI/sahkotermi_tutuksi/

LIITE 1: MIKROTUOTANTOLAITTEISTON YLEISTIETOLOMAKE (SAVON VOIMA E, EI PVM)



MIKROTUOTANTOLAITTEISTON LIITTÄMINEN VERKKOON

Tällä lomakkeella asiakas ilmoittaa tiedot Savon Voima Verkolle nimellistehoitaan enintään 100 kVA tuotantolaitteiston sähköverkkoon liittämistä varten. Lomakkeen voi antaa täytettäväksi laitteiston toimittajalle ja/tai laitteiston kytkevälle sähköurakoitsijalle. Sähköntuotannon aloittamiseen tulee tämän lomakkeen lähettämisen lisäksi saada erikseen lupa verkkoyhtiöltä.

HUOMI! Katso lomakkeen toimitusosoitteet sivun alalaidasta.

1 YHTEYSTIEDOT

Tuotantolaitoksen omistaja	Henkilötunnus tai Y-tunnus	
Sähköposti	Puhelinnumero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Liittymän osoite (tuotantolaitoksen sijaintipaikka)	Postinumero	Postitoimipaikka
Käyttöpaikan numero (löytyy sähkönsiirtolaskulta)		
Yhteyshenkilö (jos muu kuin tuotantolaitoksen omistaja)	Sähköposti	Puhelinnumero

2 TUOTANTOLAITTEISTON PERUSTIEDOT

Tuotantomuoto	<input type="checkbox"/> Aurinko <input type="checkbox"/> Tuuli <input type="checkbox"/> Biokaasu <input type="checkbox"/> Diesel <input type="checkbox"/> Vesi <input type="checkbox"/> Muu, mikä?	
Verkkoonliittämälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) valmistaja, määrä ja malli		
Tuotantolaitteiston nimellisteho (suurin mahdollinen laitteistosta sähköverkkoon siirtyvä teho) kVA/kW	Tuotantolaitteiston enimmäisvikavirta (laitoksen suurin mahdollinen virta) A	Liittymän mitattu oikosulkuvirta (pääkeskus tms.) A
Laitteiston kytkentä		
<input type="checkbox"/> Kolmivaiheinen <input type="checkbox"/> Yksivaiheinen, merkitse vaihe: <input type="checkbox"/> L1 <input type="checkbox"/> L2 <input type="checkbox"/> L3		
<input type="checkbox"/> Käyttöpaikkaan on liitetty sähkövarasto (akku)	Sähkövaraston kapasiteetti ja teho	
		kWh kW

3 TUOTANTOLAITTEISTON TEKNISET TIEDOT

3.1 Tuotantolaitteiston suojaus (valitse YKSI seuraavista vaihtoehdoista)

Tuotantolaitteisto täyttää seuraavan teknisen standardin tai suosituksen vaatimukset, mukaan lukien verkkoonliittämälaitteen (invertteri/vaihtosuuntaaja) suojausasettelut ja irtikytkemisajat.

<input type="checkbox"/> Mikrotuotantostandardi SFS-EN 50438, Suomen asetukset (sama kuin Energiateollisuus ry:n suositus 2016, tekninen liite 1)	
<input type="checkbox"/> Saksalainen vaatimuskirje VDE-AR-N 4105 2011-8 (suojaustekniset vaatimukset) HUOMI! VDE V 0126 1-1 ei ole hyväksyttävä	<input type="checkbox"/> Jokin muu _____ HUOMI! Jos valitset tämän vaihtoehdon, täytä myös lomakkeen kohta 8.

3.2 Tuotantolaitteiston erottaminen

<input type="checkbox"/> Vakuutan, että tuotantolaitteisto on erotettavissa erillisellä erotuskytkimellä, johon verkonhaltijalla on esteetön pääsy (esim. talon ulkoseinällä, ei lukitus tilassa)	Erotuskytkimen sijainti (esim. talon ulkoseinällä pääoven vieressä)
<input type="checkbox"/> Liittymän sähkökeskuksilla on varoituskytkin takasyöttövaarasta ja opastus laitteiston irtikytkemiselle	

4 TUOTETUN SÄHKÖN VERKKOONSYÖTTÄMINEN

Verkkoyhtiön sähköverkkoon siirtyvän sähkön ostaja (yhtiön nimi)
<input type="checkbox"/> Sähkön siirto käyttöpaikalta sähköverkkoon on teknisesti estetty (sähkön ostajaa ei tarvita)

Savon Voima Verkkö Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111, faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala, asiakaspalvelu 017 224 400, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

Yleistietolomakkeen toimitusosoite:

Kirjepostina: Savon Voima Verkkö Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: pientuotanto@savonvoima.fi


5 TUOTANTOLAITTEISTON ASENTAJAN / URAKOITSIJAN TIEDOT (tuotantolaitteiston sähköverkkoon kytkevä urakoitsija täyttää)

Sähköurakoitsija	TUKES-numero	
Osoite	Postinumero	Postitoimipaikka
Yhteyshenkilö	Puhelinnumero	Sähköposti

Urakoitsija toimittaa asiakkaalle laitteistoa koskevan käyttöönotto tarkastuspöytäkirjan. Käyttöönotto tarkastuspöytäkirja on pyydettyäessä toimitettava verkonhaltijalle.

6 LISÄTIEDOT

Lisätietoja

Verkkoyhtiöt voivat tämän lomakkeen lisäksi pyytää myös muita tarvitsemiaan tietoja tai lomakkeita laitteistosta ja sen liittämisestä. Lisätietoja saat Savon Voima Verkolta.

7 ALLEKIRJOITUS

Vakuutan antamani tiedot oikeiksi	
Päivämäärä ja paikka	Allekirjoitus ja nimenselvennys

Lomakkeen voi allekirjoittaa tuotantolaitoksen omistaja tai hänen valtuuttamansa taho, kuten sähköurakoitsija.

8 Tuotantolaitteiston verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu ja irtikytketymisajat

*HUOM! Täytä tämä osa vain, jos valitsit kohdassa 3 vaihtoehdon "Jokin muu".
HUOM! Verkonhaltijalla on oikeus olla hyväksymättä verkkoonsa tuotantolaitteistoja, joiden suojauksen soveltuvuutta verkkoon ei voida varmistaa.*

Verkkoonliitännälaitteen suojausasettelu noudattaa standardia:					
Parametri (*jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-aika	Parametri (*jos on)	Asetteluarvo	Toiminta-aika
Ylijännitesuojaus 1			Ylijännitesuojaus 1		
Ylijännitesuojaus 2*			Ylijännitesuojaus 2*		
Alijännitesuojaus 1			Alijännitesuojaus 1		
Alijännitesuojaus 2*			Alijännitesuojaus 2*		
Tuotantolaitteiston automaattinen tahdistumis-aika verkkojännitteen palauduttua		Saarekekäyntönestosuojauksen (Loss of Mains) toteutustapa ja toiminta-aika			<input type="checkbox"/> Tuotantolaitteisto on CE-merkitty

Savon Voima Verkko Oy, Y-tunnus 2078265-2. Puhelin 017 223 111, faksi 017 223 900, postiosoite PL 1024 (Kapteeninväylä 5), 70901 Toivala, asiakaspalvelu 017 224 400, asiakaspalvelu@savonvoima.fi, www.savonvoima.fi

Yleistietolomakkeen toimitusosoite:

Kirjepostina: Savon Voima Verkko Oy, Tekninen myynti, PL 1024, 70901 Toivala
Sähköpostin liitteenä pdf- tiedostona: pientuotanto@savonvoima.fi

LIITE 2: ABB TRIO OMINAISUUDET JA TEKNISET TIEDOT (ABB A, 2015, S. 8)

18.

Ominaisuudet ja tekniset tiedot

	TRIO-5.8-TL-OUTD	TRIO-7.5-TL-OUTD	TRIO-8.5-TL-OUTD
Sisääntulopuoli			
Absoluuttinen maksimi DC-sisääntulojännite (V _{max} , abs)	1000V		
Käynnistys DC-sisääntulojännite (V _{start})	350V (säädettävissä välillä 200-500V)		
Operointi DC-sisääntulojännite (V _{dcmn} ...V _{dcmx})	0.7 x V _{start} – 950V		
Ilmoitettu DC-sisääntuloteho	5950Wp	7650Wp	8700W
Itsenäisten MPPT määrä	1	2	2
Maksimi DC sisääntuloteho jokaiselle MPPTille (MPPT _{max})	6050W Lineaarisesti alenevasti MAX arvosta Null arvoon [800V_sVMPPT_≤950V]	4800W	4800W
MPPT Sisääntulo DC-jänniteväli (VMPP _{Tmin} VMPP _{Tmax})	320-800V	-	-
DC-sisääntulojännite MPPT-rinnaikkaiskytkennässä	-	320-800V	320-800V
DC-virtarajoitukset MPPT-rinnaikkaiskytkennässä	-	Lineaarisesti alenevasti MAX-arvosta Null-arvoon [800V_sVMPPT_≤950V]	-
DC tehorajoitukset jokaiselle itsenäisesti konfiguroidulle MPPTille, maksimi epätasapaino esimerkki	-	4800W [320_sMPPT_≤800V] muut kanavat: P_{dc}-4800W [215_sMPPT_≤800V]	4800W [320_sMPPT_≤800V] muut kanavat: P_{dc}-4800W [290_sMPPT_≤800V]
Maksimi DC sisääntulo virta (I _{dcmx}) jokaista MPPT kohden (MPPT _{max})	18.9 A	30 A / 15 A	30 A / 15 A
Maksimi takaisinsyöttö virta	-	Merkityksetön	-
DC sisääntuloparien määrä jokaista MPPT kohden	-	2 (-S versio)	-
DC yhteyden tyyppi	Työkaluvapaa PV liitin WM/MC4 (Ruuviterminaali Standardi versiossa)		
Yhdistettävien aurinkosähköpaneelien tyyppi (IEC 61730)	Luokka A		
Sisääntulosuojaus			
Napasuojaus	Kyllä, rajoitettuun virta lähteeseen		
Sisääntulon ylijännitesuoja jokaista MPPT kohden	2		
Enimmäistulotehon oikosulkuvirtamittaus jokaista MPPT kohden	24.0 A	20.0 A	20.0 A
Aurinkosähkö verkoston eristyksen hallinta	Maakohtaisen määrittelyn mukaisesti		
DC-katkaisijan arvo jokaista MPPT kohden (DC katkaisija mallit)	13 A / 1000 V	23 A / 800 V	-
Ulostulopuoli			
AC verkkoyhteyden tyyppi	Kolmivaiheinen 3W tai 4W+PE		
Ilmoitettu AC verkkojännite (V _{ac,r})	400 V		
AC jänniteväli	320 – 480 V ⁽¹⁾		
Ilmoitettu AC virta	5800 W	7500 W	8500 W
Maksimi näennäisteho (S _{max})	5800 VA	7500 VA	8500 VA
Maksimi AC ulostulo virta	10.0 A	12.5 A	14.5 A
Vikavirta	12.0 A	14.5 A	16.5 A
Käynnistysvirrankulutus	Merkityksetön		
Maksimi ulostulo vikavirta	<20Arms(100mS)		
Ilmoitettu ulostulotaajuus (f _r)	50 Hz / 60 Hz		
Ulostulo taajuuden vaihteluväli (f _{min} – f _{max})	47-53 Hz / 57 / 63 Hz ⁽²⁾		
Nimellisteho ja sen säädettävyys	>0.995 säädettävissä ±0.9 kun Pacr = >0.995 säädettävissä ±0.9 kun Pacr = >0.995 säädettävissä ±0.9 kun Pacr = >0.995 säädettävissä ±0.8 maksimiarvolla 5.8kVA		
Virran vääristymä	<2 %		
AC yhteyden tyyppi	Ruuviterminaali, maksimi halkaisija 10mm ²		
Ulostulosuojaus			
Saarekoitumisen esto	Maa-kohtaisen määrittelyn mukaisesti		
Maksimi AC ylivirtasuojia	10.5 A	12.0 A	15.0 A
Ulostulon ylijännitesuoja	4		
Operoinnin suoritus-teho			
Maksimi tehokkuus (η _{max})	98.0 %		
Painotettu tehokkuus (EURO/CEC)	97.4 % / -	97.5 % / -	97.5 % / -
Syöttövoiman raja	32 W	36 W	36 W
Valmistuslinjan virrankulutus	<15 W		
Viestintä			
Langallinen paikallismonitorointi	Ethernetkortti webpalvelimella (lisäv.), PVI-USB-RS232 485 (lisäv.), PVI-DESKTOP (lisäv.)		
Etämonitorointi	Ethernetkortti (lisäv.), PVI-AEC-EVO (lisäv.), VSN700 Data Logger (lisäv.)		
Langaton paikallismonitorointi	PVI-DESKTOP (lisäv.) yhdessä PVI-RADIO MODULE (lisäv.) kanssa		
Käyttöliittymä	Grafiikkakäyttö		
Ympäristöparametrit			
Ympäristön lämpötilaväli	-25...+60°C / -13...140°F. Toimintateho heikkenee 50°C / 122°F jälkeen		
Suhteellinen kosteus	0 – 100 % kondensoituminen		
Melutaso	< 45 db (A) @ 1m		
Maksimi toimintakorkeus optimaalisella tehokkuudella	2000 m / 6560 ft		
Ympäristön maksimisaasteaso	3		
Ympäristökategoria	Ulkoikäyttö		
Fyysiset tiedot			
Ympäristönsuojelu arvo	IP 65		
Jäähdytys	Ilmajäähdytteinen		
Ylijännite kategoria (IEC 62109-1)	II (DC sisääntulo) III (AC ulostulo)		
Ulkomitat (K x L x S)	641mm x 429mm x 220mm / 25.2" x 16.9" x 8.7"		
Paino	25.0 kg / 55.1 lb	28.0 kg / 61.7 lb	28.0 kg / 61.1 lb
Kiinnitys	Seinäkiinnitys		
Turvallisuus			
Turvallisuus luokka	I		
Eristystaso	Muuntajaton (TL)		
Merkinnät	CE-hyväksytty (vain 50 Hz)		

(1) AV-jännite voi vaihdella riippuen kohdemaan verkon standardista
(2) Taajuus voi vaihdella riippuen kohdemaan verkon standardista

Ota yhteyttä:

www.abb.com/solarinverters

TRIO-5.8_7.5_8.5-TL-OUTD-Pika-asesmusohje FIN Rev2
EFFECTIVE 2014-03-07
© Copyright 2015 ABB. Kaikki oikeudet pidätetään.
Tiedot voivat vaihtua ilman eri ilmoitusta.

Power and productivity
for a better world™ **ABB**