



Lisääntyvien aurinkosähkön tuotantolaitosten vaikutus sähkö- verkkoon

Taru Seppälä

OPINNÄYTETYÖ
Maaliskuu 2021

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikka

SEPPÄLÄ, TARU:

Lisääntyvien aurinkosähkön tuotantolaitosten vaikutus sähköverkkoon

Opinnäytetyö 25 sivua
Huhtikuu 2021

Työ tehtiin Elenia Oy:lle, jossa oli havaittu verkkoon liitettävien aurinkosähkön pientuotantolaitosten huomattava määrän kasvu. Työssä tutkittiin aihetta syvemmin, jotta saataisiin kartoitettua nykyinen tilanne, mahdolliset kehityskohteet sekä huomioitavat asiat, kun määrät jatkavat tulevaisuudessa kasvuaan kiihtyvällä tahdilla. Työn aikana luotiin Elenian verkkoon liitetyistä tuotantolaitoksista Tuotantokohteet-raportti, josta saatiin työhön tietoa määrän muutoksen trendistä. Pientuotantolaitoksiin vaikuttavat standardit ja säännökset koottiin työlle sekä niiden vaatimuksia avattiin. Tuotantolaitokset vaikuttavat sähkön laatuun ja suojauksiin yhteisessä muuntopiirissä. Työssä johdettiin laskennalla Energiateollisuus ry:n asettama 4 % jännitteen muutoksen raja pientuotantolaitosten kytkeytymistilanteissa. Myös mahdollista pientuotannon liityntämaksua tutkittiin ja sen todettiin olevan vastoin energiaviraston linjausta, jonka mukaan liittämisen tulee sisältyä verkkoyhtiön peruspalveluun.

Elenian verkkoon liittyneiden aurinkosähkön pientuottajien määrän todettiin kasvaneen vuonna 2020 noin 40 prosentilla. Verkkotietojärjestelmään muutettiin tuotantoliittymien esittämistapaa niin, että ne ovat helposti havaittavissa, kun tutkitaan uusien järjestelmien kytkentämahdollisuutta. Esittämistavan muutoksella parannettiin huomattavasti myös työturvallisuutta, kun verkossa työskentelevät asentajat havaitsivat tuotantokohteet helposti.

Kehityskohteeksi löydettiin Tuotantokohteet-raportista mahdollisesti tehtävä seuranta, jolla saisi nostettua esille muuntopiirejä, joissa on useampi tuotantolaitos. Muuntopiirikohtaisesti voisi tulevaisuudessa määrittää maksimitehon, jossa merkittävimpänä tekijänä olisi syöttävän muuntajan koko.

Asiasanat: aurinkosähkö, pientuotantolaitos, kytkeytymistilanne, verkkoyhtiö

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Electrical Power Engineering

SEPPÄLÄ, TARU:

Impact of increasing solar power plants on the electricity grid

Bachelor's thesis 25 pages

April 2021

The work was made for Elenia Oy, where a considerable increase in the number of small photovoltaic plants to be connected to the grid were observed. The aim of the thesis was to study the topic in more depth in order to sort out the current situation, to determine possible areas for development and to find out how to manage with the increasing number of photovoltaic plants in the network. During the work, a monitoring report was created for the production plants which are connected to Elenia's network, provide information about the change in volume. Standards and regulations affecting small production plants were compiled for work and their requirements were explained. The production facilities affect the quality and protection of the electricity in that conversion circuit. The 4% voltage change limit set by the Finnish Energy Industry Association in the connection situations of small production plants is calculated. A possible connection fee for small production plants was examined and it was found to be contrary to the Energy Authority's policy, that connection must include in the basic service of the network company.

The number of photovoltaic plants connected to Elenia's network was found to have increased by about 40% in 2020. The production plant symbol in network information system was changed to be different from basic electricity connections so they can be easily detected. This improved occupational safety of electricians working in distribution network by making it easier to detect production plants and to isolate them from network when doing repairs and construction.

A possible follow-up to the "Production Targets" -report was found as a target for development, which would highlight conversion circuits with several production plants. In the future, the maximum power could be determined for each conversion circuit, in which the most significant factor would be the size of the transformer.

Key words: solar power, small production plant, connection situation, network company

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUOTANTOLAITOSTEN LUOKITTELU JA SÄÄNNÖKSET	8
	2.1 Aurinkosähkön tuotantolaitteistot Elenian verkossa	8
	2.2 Tuotantolaitoksia koskevat säädökset.....	10
	2.2.1 Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset	10
	2.2.2 Verkkosäännöt.....	11
	2.2.3 Liittymisehdot (LE).....	12
	2.2.4 Verkostosuositus YA9:13, Standardit SFS-EN 50438 ja VDE- AR-N 4105	13
	2.3 Tuotantolaitosten tehorajat.....	13
3	TUOTANTOLAITOSTEN VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOON.....	15
	3.1 Tuotantolaitoksen vaikutus jännitteeseen	15
	3.2 Tuotantolaitokset vaikutus suojaukseen.....	15
	3.3 Yksittäisen tuotantolaitoksen vaikutus.....	16
	3.4 Useamman tuotantolaitoksen vaikutus.....	18
	3.5 Kiinteistötuotantolaitokset	18
	3.6 Maksimituotanto muuntopiirissä	19
4	TUOTANTOLAITOKSEN LIITÄNTÄ- JA SUOJAUSLAITTEET	20
	4.1 Liitälaitteet.....	20
	4.2 Suojauslaitteet.....	20
	4.2.1 AC-puolen suojaus	21
	4.2.2 DC-puolen suojaus	21
5	LIITYNTÄMAKSUN TARKASTELU	23
6	POHDINTA	24
	LÄHTEET.....	25

LYHENTEET JA TERMIT

CO ₂	hiilidioksidi
VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset
EU	Euroopan unioni
RfG	Requirements for Generators
DCC	Demand Connection Code
HVDC	High-voltage Direct Current
SO	Transmission System Operation
ER	Emergency and Restoration

1 JOHDANTO

Sähkön pientuotantomuodoista erityisesti aurinkosähkön tuotantolaitoksien määrä kasvaa Suomessa huomattavaa vauhtia. Sähköverkkoon liitetyn sähkön pientuotannon kapasiteetti oli vuoden 2019 lopussa yhteensä noin 278 MW, josta 71 % tulee aurinkosähköstä. Sähköverkkoon liitetyn aurinkosähkötuotannon kokonaiskapasiteetti oli vuoden 2019 lopussa siis noin 198 MW. Kapasiteetti kasvoi 82 % vuoden 2018 aikana ja 64 % vuoden 2019 aikana. (Energiavirasto: Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti jatkoi kasvuaan vuonna 2019 – vuosikasvua 64 prosenttia, 2020)

Suurimmat syyt tähän ovat ihmisten kiinnostus omavaraisuuteen ja ekologisuuteen. Omavaraisuuden viehätys johtuu osittain sähkön ja sähkönsiirron hintojen noususta, mikä on noin viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana ollut energialla noin 100 % ja siirrolla noin 57 % vuoden 2019 loppuun mennessä. (Energiavirasto: Sähköenergian ja siirron hinnan kehitys, 2019)

Aurinkosähkön tuottaminen yksityiskäyttöön muuttuu jatkuvasti kustannustehokkaammaksi, kun aurinkopaneelien hyötysuhde paranee teknologian kehittyessä, mikä johtaa hinnan tippumiseen tuotettua wattia kohti. Nyt markkinoilla olevien aurinkopaneelien piikidepaneelien hyötysuhde on tyypillisesti 15-17 %. (Motiva: Aurinkosähköteknologiat, 2020)

Aurinkosähkön tuottaminen järjestelmän asennuksen jälkeen on CO₂-päästöntöntä, toisin kuin itse aurinkosähköjärjestelmän tuottaminen. Kuitenkin käyttöön-oton jälkeen järjestelmä maksaa itsensä päästöissä takaisin noin 0,75-5 vuodessa. Energian takaisinmaksuaika riippuu monesta eri tekijästä. Näitä on muun muassa järjestelmän sijainti, pitkän ajan sääolosuhteet, valmistukseen tarvittavat raaka-aineet sekä järjestelmän ikä. Esimerkiksi mikäli järjestelmä on sähköntuotannon kannalta epäedullisessa sijainnissa kuten puiden varjostaman talon katolla, menee pidempään ennen kuin järjestelmä on maksanut itsensä takaisin kuin jos se olisi täysin varjottomalla katolla. (Müller, J.: Ympäristövaikutukset, 2015)

Aurinkosähkön tuottaminen Suomessa on yleistä käsitystä kannattavampaa. Suomen kesä on lyhyt, mutta pitkäpäiväinen ja vähäpilvinen. Aurinkoenergiaa saadaan saman verran tai enemmän Suomen etelärannikolla kuin Saksan pohjoisrannikolla ainakin viiden kuukauden ajalla vuodessa. Aurinkopaneelit myös ovat hyötysuhteeltaan parempia viileämmässä ilmassa, mikä osaltaan tukee tuottamisen kannattavuutta Suomessa. (Junttila, J.: Suomen sään valoisa puoli: aurinkopaneeli tuottaa parhaiten kylmässä, 2015)

2 TUOTANTOLAITOSTEN LUOKITTELU JA SÄÄNNÖKSET

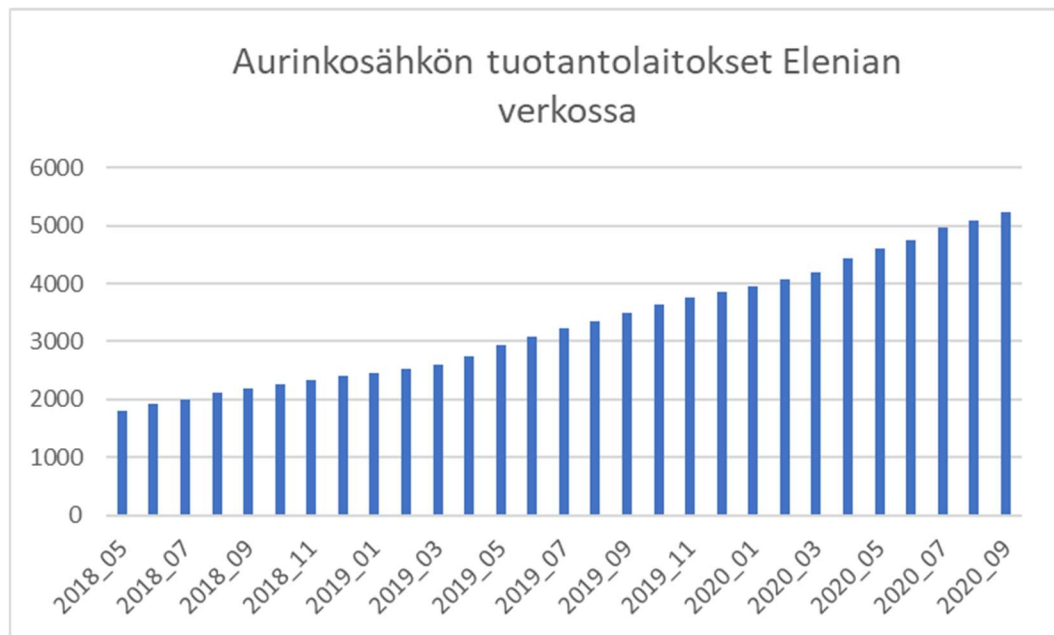
2.1 Aurinkosähkön tuotantolaitteistot Elenian verkossa

Elenian verkkoalue ulottuu etelä-pohjoinen suunnassa tarkastellen Karkkilasta Hailuotoon (kuva 1). Tähän alueeseen kuuluu 100 kuntaa ja se on pääasiassa haja-asutusalueita. Väestötihein alue verkkoalueella on Hämeenlinna.



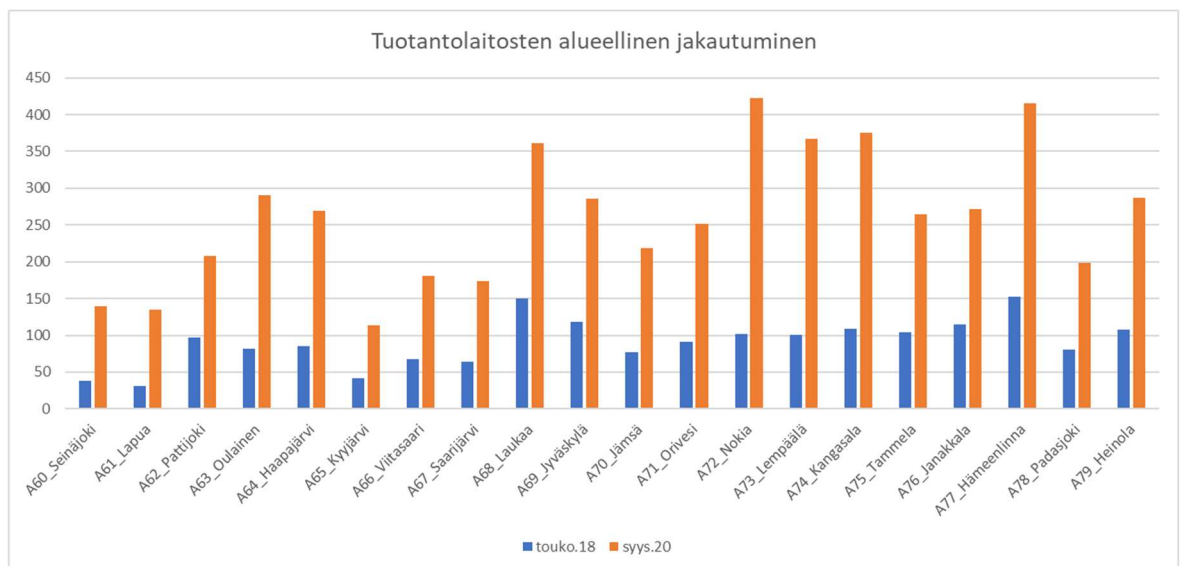
KUVA 1. Elenian verkkoalue (Elenian kuvapankki)

Elenian verkkoon oli lokakuuhun 2020 mennessä kytketty 36 337 kW aurinkosähkön tuotantoa 5 228 aurinkosähköjärjestelmällä. Lokakuun ensimmäisenä päivänä vuonna 2020 tehdyssä raportissa liitetty teho oli vuoden alusta kasvanut 9931 kW, mikä tarkoittaa, että yhdeksässä kuukaudessa aurinkosähkön tuotanto kasvoi 37,6 %. Aurinkosähkön tuotantolaitteistojen kappalemääräinen kehitys on esitetty kuviossa 1. (Elenia Oy: Tuotantokohteet, 2020)



KUVIO 1. Aurinkosähkön tuotantolaitokset Elenian verkossa (Tuotantokohteet-raportti)

Aurinkosähkijärjestelmien määrä on Elenian verkkoalueella verrannollinen asukasmäärään, sillä tuotantolaitoksien painopiste on selkeästi kuntien keskuksissa ja taajamissa. Eniten tuotantolaitoksia on Hämeenlinnan ja Nokian urakointialueilla. Pienimmät tuotantolaitosmäärät ovat Seinäjoen, Lapuan ja Kyyjärven urakointialueilla (kuviokuva 2). Nämä kolme aluetta eivät mikään sisällä asukasmäärältään kovinkaan suurta taajamaa.



KUVIO 2. Aurinkosähkijärjestelmien alueellinen jakautuminen Elenian verkossa (Tuotantokohteet-raportti)

2.2 Tuotantolaitoksia koskevat säädökset

Tuotantolaitoksia koskevia ohjeita ja vaatimuksia on useita ja niissä on osittain ohjeistettu samoja asioita.

Sähköntuottajaksi saa ryhtyä kuka vain. On sähköverkkoyhtiön vastuulla huolehtia verkon turvallisuudesta ja jakelun toiminnasta kaikille käyttäjille tuotantolaitoksen liittämisen jälkeenkin. Ennen pientuotannon liittämistä tulee asiakkaan tarkistaa tuotantolaitoksen liittämistä verkkoon koskevat vaatimukset ja ohjeet. Tuotantolaitosten sähköisten ominaisuuksien ja niiden verkkoliitännöiden tulee täyttää vaadittavat sähköturvallisuus- sekä sähkömagneettiset yhteensopivuusstandardit. Näin voidaan varmistua, ettei kenellekään verkossa työskentelevälle aiheudu tuotantolaitoksesta vaaraa, ja sähkön laatu pysyy sille asetetuissa rajoissa. Sähköntuottajaksi aikovan tulee täyttää pientuotannon yleistietolomake ja toimittaa se sähköverkkoyhtiönsä. Ennen verkkoon liittämistä sähköverkkoyhtiö varmistaa verkon riittävän toimivuuden verkkotietojärjestelmän avulla. (Energiateollisuus: Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, 2019)

2.2.1 Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset

Suomen sähköjärjestelmään liitettäville voimalaitoksille on olemassa Fingridin koostama asiakirja Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset (VJV). Siinä esitetyt vaateet pohjautuvat pohjoismaiseen sääntökokoelmaan ”Nordic Grid Code”. Uusin VJV on julkaistu vuonna 2018, ja liittyjän vastuulla on täyttää ja ylläpitää VJV2018 vaatimukset, mikäli voimalaitoksen sitova hankintasopimus on tehty 19.5.2018 jälkeen. Näillä vaatimuksilla pyritään ensisijaisesti varmistamaan, että voimalaitos

- kestää sähköverkon jännite- ja taajuusvaihtelut
- tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteissa
- ei aiheuta haittaa muille sähköverkon käyttäjille.

Näiden lisäksi tärkeä pyrkimys vaatimusten taustalla on, että Fingridillä ja jakeluverkkoyhtiöillä on mahdollisimman ajantasainen tieto sähköverkkonsa tilanteesta. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2018)

Kaikkien nimellistehoaltaan yli 0,8 kW voimalaitosten tulee täyttää voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Vaatimusten täytyminen ja niiden todentaminen koko voimalaitoksen käyttöiän ajan ovat voimalaitoksen liittävän asiakkaan vastuulla. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2018)

Yksityisasiakkaiden aurinkosähköjärjestelmän kuuluvat pääsääntöisesti VJV:n tyyppiluokkaan A, johon kuuluvat kaikki voimalaitokset 1 MW:iin asti. Tälle tyyppiluokalle on luonnollisesti asetettu huomattavasti vähemmän vaatimuksia, kuin tyyppiluokkien B, C ja D voimalaitoksille. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2018)

2.2.2 Verkkosäännöt

Liityntäsäännöt, käytösäännöt ja markkinasäännöt muodostavat yhdessä verkkosäännöt. Niiden valmistelussa keskeisiä toimijoita ovat Euroopan komissio, energia-alan valvontaviranomaiset yhteistyövirastonsa ACER:n kautta sekä eurooppalaiset kantaverkon-haltijat yhteistyöjärjestönsä ENTSO-E:n kautta. Verkkosääntöjen kehittämisprosessissa kuullaan myös laajasti energia-alan eri sidosryhmien näkemyksiä. Verkkosäännöt ovat lainsäädännöllisestä statuksesta eurooppalaisia asetuksia, eli ne ovat EU:n jäsenvaltioissa suoraan voimassa olevaa lainsäädäntöä. Niiden käyttöönotosta vastaavat jäsenvaltiot ja ne menevät ristiriitatilanteissa hierarkiassa kansallisen lainsäädännön edelle. (Fingrid Oyj: Verkkosäännöt. 2020)

Liityntäsääntöjä on Requirements for Generators (RfG), Demand Connection Code (DCC) ja High-voltage Direct Current (HVDC). DCC on kulutuksen liittämisen verkkosääntö ja asettaa vaatimuksia kaikille uusille verkkoliitynnöille sekä olemassa oleville verkkoliitynnöille, jos niissä tapahtuu merkittäviä muutoksia. HVDC käsittelee suurjännitteisten tasasähköyhteyksien liittämisen vaatimuksia. (Fingrid Oyj: Liityntäsäännöt, 2020)

Käytösääntöjen tavoite on yhteen liitettyjen sähköjärjestelmien korkea käyttövarmuus sekä luoda puitteet varavoimaresurssien tehokkaalle jakamiselle.

Nämä säännöt koskevat kaikkia EU-alueen kantaverkkoyhtiöitä, pois lukien saaret, jotka eivät ole synkronisesti yhteydessä mantereeseen. Käytösääntöihin kuuluu Transmission System Operation (SO) ja Emergency and Restoration (ER). ER-verkkosääntö eli häiriöhallinnan ja käytön palautuksen verkkosääntö keskittyy kantaverkkoyhtiöiden keskinäisen koordinaation parantamiseen häiriötilanteissa. Tavoitteena on ehkäistä häiriötilanteiden laajeneminen ja pysäyttää järjestelmän tilan eteneminen suurhäiriöön sekä varmistaa järjestelmän mahdollisimman nopea palauttaminen normaalitilaan. (Fingrid Oyj: Käytösäännöt, 2020)

2.2.3 Liittymisehdot (LE)

Voimalaitosten järjestelmätekniisten vaatimusten lisäksi voimalaitosten tulee noudattaa verkkoyhtiön liittymisehtoja. Elenia käyttää Energiateollisuus ry:n suosittamia liittymisehtoja.

Tuottajalla on oikeus liittyä verkkoon, jos tuotantolaitoksen tekniset vaatimukset täyttyvät. Teknisiä vaatimuksia ovat muun muassa sähköturvallisuus, esteetön pääsy turvakytkimelle, ammattilaisen kytkentä, riittävät dokumentit ja tuotantolaitoksen toiminta niin, että verkolle ei aiheudu haittaa. Luvan liittämiselle myöntää sähköverkkoyhtiö. (Energiateollisuus: Sähköntuotannon liittymisehdot, 2019)

On suositeltavaa olla yhteydessä sähköverkkoyhtiöön jo ennen järjestelmän hankkimista, jotta käyttöönotto ei siirtyisi mahdollisen verkon vahvistamisen vuoksi. Tuottajalla on myös oikeus siirtää vaatimusten täyttäessä sähköä verkkoon, mutta ylijäämäenergialle on oltava myyntisopimus energiayhtiön kanssa. Mikrotuotantolaitos (enintään 100 kVA) ei vaadi omaa mittalaitetta, vaan riittää, että kohteesta mitataan erikseen sekä sähköverkosta otettu että siihen syötetty sähkö. (Energiateollisuus: Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon, 2019)

2.2.4 Verkostosuositus YA9:13, Standardit SFS-EN 50438 ja VDE-AR-N 4105

Järjestelmä ei saa kytkeytyä verkkoyhtiön verkkoon, jos sen tuottama jännite ja taajuus eivät ole sovittujen asettelurajojen sisäpuolella. Se ei saa myöskään syöttää verkkoyhtiön verkkoa, jos verkossa on katko. Verkkosäännöt ja standardit määrittävät muun muassa edellä mainitut ehdot tuotannon liittämiseen. Verkkoyhtiöllä on vastuu puuttua tilanteeseen, jos aurinkosähkötuottajan laitteisto ei täytä vaatimuksia, ja jopa poistattaa laitteisto verkosta. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset, 2018)

Suomessa on käytössä standardi SFS-EN 50549-1, josta löytyy käytettävät suojausasetukset. Myös Saksan mikrotuotantonormin mukaiset laitteet sallitaan Suomessa liitettävän jakeluverkkoon. (Energiateollisuus, Tekninen liite 1 ohjeeseen ”Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – Nimellistehoaltaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen”)

Sähköliittymään voidaan liittää tuotantoa liittymissopimuksessa määritellyn tehon mukaisesti, jos tuotantolaitoksen käynnistyminen tai verkosta pois putoaminen ei aiheuta pienjänniteverkossa yli 4 % jännitteen muutosta, kun jakelu- muuntamalla on liittyneenä myös muita asiakkaita, ja sähkön laatu liittymiskohdassa pysyy aina SFS-EN 50160 rajoissa. Lisäksi tuotantolaitoksen käynnistysvirta ei saa ylittää liittymissopimuksen maksimitehon mukaista virran huippuarvoa. (Energiateollisuus ry: Verkostosuositus YA9:13, 2016)

2.3 Tuotantolaitosten tehorajat

Yleisinä tuotantolaitosten tehorojoina pidetään mikrotuotantolaitoksella 0-100 kVA ja pientuotantolaitoksella 100-2000 kVA. Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset -asiakirjassa tyyppiluokka A sisältää tuotantolaitokset vain 1 MW:iin asti. Siitä suuremmat, mutta kuitenkin alle 10 MW kuuluvat jo tyyppiluokkaan B. Tuotantolaitoksen kokoluokka määrää millaisia vaatimuksia sille on asetettu eri säädöksissä, ohjeissa ja laissa. Voimalaitosten mitoitus-tehohon perustuvat tyyppiluokitukset on esitelty taulukossa 1. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset, 2018)

Nimellisteholtaan alle 100 kVA tuotantolaitokset eli mikrotuotantolaitokset eivät ole verovelvollisia eivätkä ole velvoitettuja ilmoittamaan sähköntuotannostaan veroviranomaisille. Tätä suurempien, mutta vuosituotannoltaan alle 800 MWh tuotantolaitoksien tulee ilmoittautua verohallinnolle verovelvolliseksi ja ilmoittaa tuottamansa sähkön vuosittain. Tämän kokoluokan ei kuitenkaan tarvitse maksaa sähköveroä tuottamastaan sähköstä. Kun tuotantolaitos on nimellisteholtaan yli 100 kVA sekä vuosituotanto ylittää 800 MWh, tulee verohallinnolle ilmoittautua verovelvolliseksi, ilmoittaa tuotettu sähkö kuukausittain sekä maksaa sähköveroä itse kulutetusta sähköstä. (Tampereen sähkölaitos Oy: Pientuotannon liittäminen sähköverkkoon, 2020)

TAULUKKO 1. Voimalaitosten tyyppiluokittelu mitoitus-tehon ja liittymispisteen jännitetason perusteella. (Fingrid Oyj: Voimalaitosten järjestelmätekni-set vaatimukset, 2018)

Tyyppi-luokka	Liittymispisteen jännitetaso	Ehto	Voimalaitoksen mitoitus-teho P_{max}
Tyyppi A	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV ¹	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitus-teho on vähintään 0,8 kW mutta alle 1 MW. ($0,8 \text{ kW} \leq P_{max} < 1 \text{ MW}$)
Tyyppi B	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV ¹	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitus-teho on vähintään 1 MW mutta alle 10 MW. ($1 \text{ MW} \leq P_{max} < 10 \text{ MW}$)
Tyyppi C	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV	ja (*)	Voimalaitoksen mitoitus-teho on vähintään 10 MW mutta alle 30 MW. ($10 \text{ MW} \leq P_{max} < 30 \text{ MW}$)
Tyyppi D	Liittymispisteen jännitetaso on vähintään 110 kV	tai (+)	Voimalaitoksen mitoitus-teho on vähintään 30 MW. ($P_{max} \geq 30 \text{ MW}$)

3 TUOTANTOLAITOSTEN VAIKUTUKSET SÄHKÖVERKKOON

Tuotantolaitokset vaikuttavat sähkön laatuun ja verkon suojaukseen. Sähköverkko kokee siihen kytketyn tuotantolaitoksen negatiivisena kuormituksena. (Lakervi, E., Partanen J.: Sähkönjakelutekniikka, 2008)

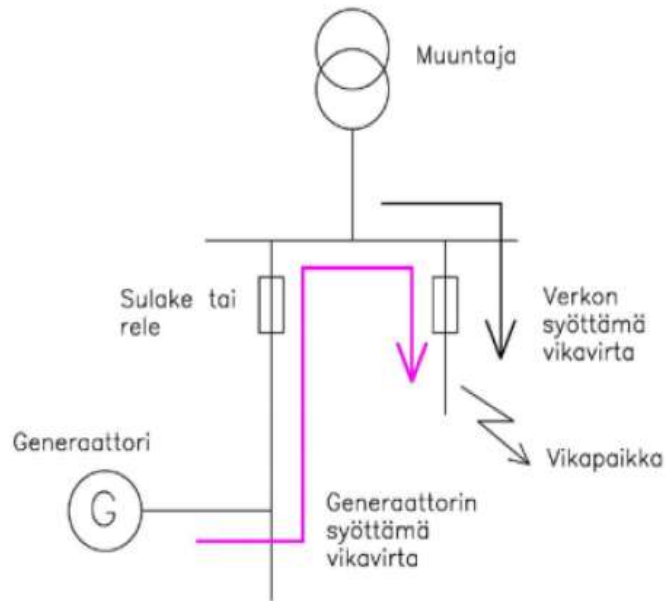
3.1 Tuotantolaitoksen vaikutus jännitteeseen

Tuotantolaitos nostaa jännitettä muuntopiirissä, jossa se sijaitsee. Tämä on pääosin myönteinen asia, varsinkin jos se sijaitsee kaukana muuntamolta, missä jännitteenalenemaa voi olla huomattavasti. Toisaalta, jos samassa muuntopiirissä on useita voimalaitoksia, joiden yhteenlaskettu teho on selvästi suurempi kuin muuntopiirin kuormitus, voi jännite nousta liian suureksi ja muun muassa rikkoa verkkoon kytkettyjä laitteita. Jos muuntopiiriin, johon on jo kytketty useita tuotantolaitoksia, ollaan kytkemässä lisää tuotantoa, tulee tilanne tarkastella vertaamalla tuotannon ja kuormituksen suhdetta, sekä käytettyjä tuotantomuotoja. Aurinkosähköä tuotetaan eniten kesällä päiväsaikaan, jolloin kuormitukset ovat pienimmillään. (Lakervi, E., Partanen J.: Sähkönjakelutekniikka, 2008)

3.2 Tuotantolaitokset vaikutus suojaukseen

Verkkoon liitetty tuotantolaitos vaikuttaa myös oikosulkuvirtoihin, mikä voi aiheuttaa virheellistä toimintaa suojauksiin. Perinteisesti jakeluverkon suojaus on suunniteltu niin, että syöttösuunta on isoista voimalaitoksista kohti kuluttajaa. (Lakervi, E., Partanen J.: Sähkönjakelutekniikka, 2008)

Kuvassa 2 on kuvattu vikavirtojen suunta, kun oikeanpuoleinen lähtö vioittuu. Vasemmanpuoleisessa lähdössä on tuotantoa, joka syöttää vikavirtaa takaisin päin ja edelleen oikeanpuoleiseen lähtöön. Jos tuotantolaitoksen syöttämä vikavirta on suuri, voi oikeanpuoleisen lähdön suojauksen lisäksi laueta myös vasemmanpuoleisen lähdön suojaus, vaikka siinä ei ole vikaa. (Lakervi, E., Partanen J.: Sähkönjakelutekniikka, 2008)



KUVA 2. Vikavirran syöttö viereiseen lähtöön.

3.3 Yksittäisen tuotantolaitoksen vaikutus

Uusien 3x25 A...3x50 A sähköliittymien liittämisen tarkastelussa yksi vaatimus on 250 A:n oikosulkuvirta liittymän päävarokkeilla. Yksittäisissä poikkeustapauksissa voidaan hyväksyä tätä pienempi mitoitusoikosulkuvirta, mutta se on oltava kuitenkin vähintään 180 A. Vanhoilla liittymillä voi olla paljonkin tätä alhaisempi. (Elenia Oy: Pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus)

Sähkön pientuotannon verkkoon kytkeminen voidaan normaalisti sallia, jos liittämiskohdan oikosulkuteho S_k toteuttaa yhtälön 1.

$$S_k \geq 25 \times S_n \quad (1)$$

, jossa S_n on tuotantolaitteiston nimellisteho. Tällöin oletetaan, ettei tuotantolaitteisto ota nimellisvirtaansa merkittävästi suurempaa kytkentävirtaa.

Liittämiskohdan oikosulkuteho saadaan laskettua liittämiskohdan oikosulkuvirrasta (I_k) ja verkon jännitteestä (U).

$$S_k = 3 \times I_k \times U \quad (2)$$

Oikosulkuvirran arvo 250 A vastaa pienjänniteverkon kolmivaiheisena tehona oikosulkutehoa yhtälön 2 mukaisesti.

$$S_k = 3 \times 250 \text{ A} \times 230 \text{ V}$$

$$S_k = 172,5 \text{ kVA}$$

Näin ollen liittymään, jolla yksivaiheinen oikosulkuvirta on 250 A, saa tuotantolaitteiston nimellisteho yhtälöstä 1 johdetusti olla enintään

$$S_n = \frac{S_k}{25}$$

$$S_n = \frac{172,5 \text{ kVA}}{25}$$

$$S_n = 6,9 \text{ kVA}$$

Kun liittymän pääsulakkeilla oikosulkuvirta on 250 A ja siihen liitetään 6,9 kVA tuotantoa, voidaan laskea tuotannon käynnistymisen tai loppumisen aiheuttama nopea jännitteen muutos kaavan 3 mukaisesti.

$$\frac{S_n}{S_k} \times 100 \% \quad (3)$$

$$\frac{6,9 \text{ kVA}}{172,5 \text{ kVA}} \times 100 \% = 4 \%$$

Tällä tuotantolaitoksen teholla ja liityntäpisteen oikosulkuteholla saadaan nopeaksi jännitteen muutokseksi 4 %, joka on raja-arvo jännitteen muutokselle.

(Energiateollisuus ry: Verkostosuositus YA9:13, 2016)

Standardijännitteen ylärajalla aurinkosähköjärjestelmä alkaa pudottaa tehoa. Esimerkiksi kumpupilvisellä säällä tuotantotehon vaihtelu naapuruston aurinkosähköjärjestelmissä tapahtuu samanaikaisesti. Verkkoyhtiö saattaa joutua vahvistamaan jakeluverkkoa ennen aurinkosähköjärjestelmän käyttöönottoa etenkin jakeluverkon latvoilla haja-asutusalueilla. (Selonen, T: Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon, 2018)

Yksivaiheisen aurinkosähköjärjestelmän maksimiteho saa olla 3,68 kVA, sillä liian suuri yksivaiheinen tuotanto aiheuttaa epätasapainoa verkkoon ja vaarantaa verkon turvallisuuden ja luotettavuuden. Kiinteistön kuormia ei kannata ryhmittää yksivaiheisen aurinkosähköjärjestelmän perään, koska tällöin sähköverkkoon aiheutuu epäsymmetriaa etenkin silloin kun aurinko ei paista. (Selonen, T: Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon, 2018)

3.4 Useamman tuotantolaitoksen vaikutus

Useamman tuotantolaitoksen sijaitseminen samassa muuntopiirissä on nykyään jo tavanomaista. Tällaisessa muuntopiirissä voi varsinkin aurinkoisena, lämpimänä kesäpäivänä muodostua ylijännitettä, sillä kulutus verkossa on pientä ja tuotanto suurimmillaan. Ylijännite voi pahimmassa tapauksessa rikkoa asiakkaiden sähkölaitteita.

Elenialla on vuodesta 2018 asti tuotettu kuukausittain Excel-raporttia Elenian sähköverkkoon liitetyistä tuotantokohteista. Tämän pohjalta olisi mahdollista kehittää luettavampi raportti muuntopiirikohtaisista tuotantolaitosmääristä sekä niiden tehoista.

3.5 Kiinteistötuotantolaitokset

Kiinteistötuotantolaitoksissa, esim. kerrostalot, ei lähtökohtaisesti ole liitettävyyden kannalta ongelmia, sillä ne sijaitsevat yleensä taajamissa, jossa sähköverkko on vahvempaa, ja sähköiset arvot liittymispisteessä reilusti sallituissa rajoissa.

Mikäli kiinteistön tuotantolaitokset koostuvat useammasta erillisestä tuotantolaitoksesta, tulee niiden liitettävyyden tarkastella yhtenä kokonaisuutena. Verkkotietojärjestelmässä tarkastellaan yhden liittymispisteen arvoja, jonka taakse tämä kokonaisuus jää. Useamman tuotantolaitteiston kokonaisuus on oltava erotettavissa sähköverkosta yhdellä lukittavalla erotuskytkimellä. (Energiateollisuus, Tekninen liite 1 ohjeeseen ”Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen”)

3.6 Maksimituotanto muuntopiirissä

Tuotantolaitteiston nimellisteho ei saa ylittää sen sähköliittymän nimellisteho, johon se kytketään. Tuotantolaitteistoa varten voi tarvittaessa hankkia oman isomman sähköliittymän, tai suurentaa olemassa olevaa liittymää. (Elenia Oy: Sähköntuotanto, 2021)

Tällä hetkellä Elenialla tarkastellaan tuotantolaitoksen liitettävyyttä vain tuotantolaitoksen kytkeytymisen ja irtautumisen aiheuttaman nopean muutoksen perusteella. Tuotantolaitosten määrän kasvaessa muuntopiirikohtaisesti, tulisi harvinaisena asetettavaksi myös suurinta sallittua tuotantotehomäärää. Tämä raja olisi loogista määrittää muuntopiirin muuntajan tehon mukaan. Esimerkiksi tietty prosentuaalinen osuus muuntajakoneen tehosta. Mikäli raja ylittyisi, järjestäisi sähköverkkoyhtiö muuntopiiriä syöttävän muuntajan vaihdon isompaan. Tällä tavoin koko muuntopiirin sähköiset arvot paranisivat ja verkosta tulisi vakaampi.

4 TUOTANTOLAITOKSEN LIITÄNTÄ- JA SUOJAUSLAITTEET

4.1 Liitäntälaitteet

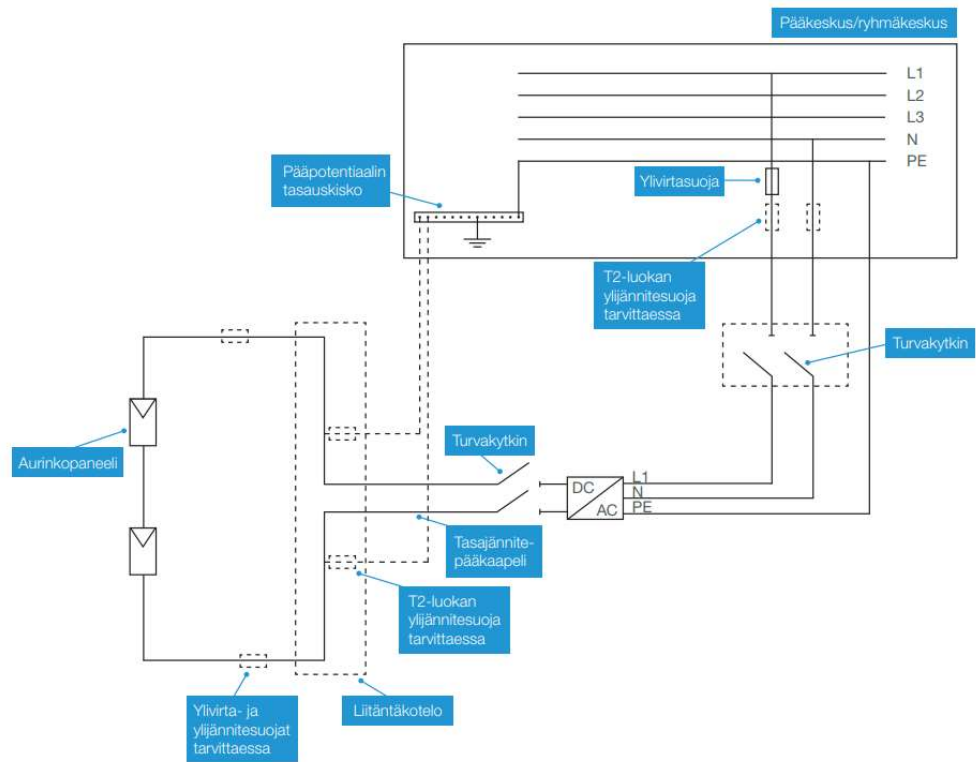
Invertteriä eli vaihtosuuntaajaa käytetään muuttamaan aurinkopaneelien tuottaman tasasähkön vaihtosähköksi ja huolehtii sähköverkon suojauksesta. Invertterin suojausasettelut määräytyy joko mikrotuotantostandardin SFS-EN 50438 tai saksalaisen standardin VDE-AR-N 4105 2011-8 mukaan. (Selonen, T: Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon, 2018)

Sähköverkkoon kytketyssä aurinkosähköinvertterissä on oltava saarekekäytön esto käytössä, jotta järjestelmä ei syötä verkkoon takajännitettä, joka voisi vaarantaa verkossa työskentelevien turvallisuuden. On saatavilla myös invertterejä, jotka käyvät sekä saarekekäyttöön, että liitettäväksi jakeluverkkoon, mutta niistä saatu hyöty on huomattavan pieni verrattuna tämän tyyppisen invertterin hintaan. (Selonen, T: Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon, 2018)

Invertterin teho määräytyy paneelien tehon mukaan. Hyötykäyttöalue saadaan maksimoitua mitoittamalla teho vastaamaan paneelien tuottamaa maksimitehoa. Invertterissä on näyttö, josta voi seurata järjestelmän toimintaa, kuten sähkön tuottoa ja mahdollisia vikakoodeja. Järjestelmän toimintaa on mahdollista seurata myös mobiililaitteella, mikäli invertteriin on asennettu etälukulaite. (Rexel Finland Oy: Aurinkosähköjärjestelmät)

4.2 Suojauslaitteet

Kun suunnitellaan sähköverkkoon kytkettävää aurinkosähköjärjestelmää, invertteriä ja paneeleita pidetään kuormituksena. Sähköverkko nähdään tehon lähteenä. Järjestelmään asennetaan tarpeen mukaan ylivirta- ja ylijännitesuojia suojaamaan laitteistoa erilaisilta vikatilanteilta, kuten salaman iskuilta ja sähköverkon ylivirroilta. Kuvassa 4 on esitetty aurinkosähköjärjestelmän komponentit. (Rexel Finland Oy: Aurinkosähköjärjestelmät)



KUVA 4. Kytentäkaavio (Rexel Finland Oy)

4.2.1 AC-puolen suojaus

Aurinkosähköjärjestelmän vaihtosähköpuolella on pakollisena suojalaitteena ainoastaan turvakytkin. Turvakytkin on oltava lukittava, ja verkon haltijalla on oltava vapaa pääsy sen luokse. Kytkimessä on oltava asennonosoitus tai näkyvä avausväli. Liittymän pääkytkin voi toimia erotuslaitteena, mikäli tästä on sovittu liittymän omistajan ja verkonhaltijan kesken. (Selonen, T: Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon, 2018)

Lisäksi invertteri suositellaan suojattavaksi sähköverkosta tulevilta ylijännitteiltä pää-/ryhmäkeskukseen asennettavilla ylijännitesuojilla. Mikäli keskuksen ja invertterin välinen matka ylittää 10 m suositellaan ylijännitesuojia asennettavaksi myös vaihtosuuntaajan läheisyyteen. (Rexel Finland Oy: Aurinkosähköjärjestelmät)

4.2.2 DC-puolen suojaus

Järjestelmä on oltava kytkettävissä irti myös tasasähköpuolella. Useissa inverttereissä on valmiina DC-kytkin, mutta mikäli paneelien ja invertterin välillä on

huomattava matka, suositellaan DC-kytkintä asennettavaksi myös paneelien läheisyyteen. Näin tuotanto voidaan irrottaa verkosta, vaikka invertterin luokse ei olisi pääsyä. Ylivirtasuojauksen voi jättää pois, mikäli kaapeli kestää jatkuvasti vähintään 1,25-kertaista virtaa oikosulkuvirtaan nähden. Myös DC-puolelle voidaan asentaa ylijännitesuojaus suojaamaan invertteriä. (Rexel Finland Oy: Aurinkosähköjärjestelmät)

5 LIITYNTÄMAKSUN TARKASTELU

Tuotantolaitteistojen kytkeminen sähköverkkoon aiheuttaa toisinaan verkon vahvistuskustannuksia sähköverkkoyhtiöille, kun oikosulkuvirta liittymispisteessä ei ole tarpeeksi korkea siihen, että nopea jännitteen muutos olisi alle 4 %. Elenialla on pohdittu, onko näitä kustannuksia mahdollista kattaa esimerkiksi tuotannon liittämismaksulla. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista, sillä pientuotannon liittämisen tulee sisältyä verkkoyhtiön peruspalveluun. (Energiavirasto: Pientuotannon liittämisen pitää sisältyä verkkoyhtiön peruspalveluun, 2020)

Energiavirasto linjasi 13.2.2020, että eräs toinen verkkoyhtiö toimi lainvastaisesti periessään asiakkaalta tuotannon tarkastusmaksun. Verkkoyhtiö oli vaatinut liittämisehdoista poiketen tuotannon tarkastuskäyntiä, joka oli perusteena tarkastusmaksulle. Energiavirasto velvoitti linjauksella verkkoyhtiötä poistamaan palvelumaksuhinnastostaan kyseisen tarkastusmaksun, poistamaan liittämisaikavaihteluun kyseisen tarkastuskäynnin, sekä palauttamaan asiakkailta perityt tarkastusmaksut vuodesta 2015 lähtien. (Energiavirasto: Pientuotannon liittämisen pitää sisältyä verkkoyhtiön peruspalveluun, 2020)

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tuloksena saatiin koottua tuotantolaitosten liittämiseen vaikuttavista asioista, ja avattua mihin 4 % jännitteen muutoksen raja perustuu. Työn lähteinä käytettiin paljon Energiaviraston, Energiateollisuuden ja Fingridin uusimpia ohjeistuksia.

Konkreettisin työstä ilmennyt kehityskohde oli tuotantolaitosten muuntopiirikoh-
taisen määrän havaitseminen ja seuranta, ja mahdollinen tuotannon maksimite-
hon määrittäminen muuntopiirin muuntajan koon perusteella.

Liityntämaksun mahdollisuuden tutkiminen päättyi nopeasti Energiaviraston lin-
jaukseen, jonka mukaan tuotantolaitoksen liittäminen tulee sisältyä verkkoyhtiön
peruspalveluihin. Tässä aiheessa ei ollut muuta mahdollisuutta kuin todeta lii-
tyntämaksun olevan mahdoton toteuttaa.

LÄHTEET

Energiavirasto. 2020. Aurinkosähkön tuotantokapasiteetti jatkoi kasvuaan vuonna 2019 - vuosikasvua 64 prosenttia. Julkaistu 18.6.2020. Luettu 20.6.2020. <https://energiavirasto.fi/-/aurinkosahkon-tuotantokapasiteetti-jatkoi-kasvuaan-vuonna-2019-vuosikasvua-64-prosenttia>

Energiavirasto. 2020. Sähköenergian ja siirron hinnan kehitys. Julkaistu 1.12.2019. Luettu 25.3.2020. <https://energiavirasto.fi/sahkon-hintatilastot>

Motiva. 2020. Aurinkosähköteknologiat. Julkaistu 5.8.2020. Luettu 14.11.2020. https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/aurinkosahko-jarjestelmat/aurinkosahkoteknologiat

Julia Müller. 2015. Ympäristövaikutukset. Julkaistu 08/2015. Luettu 20.6.2020. <https://finsolar.net/aurinkoenergia/ymparistovaikutukset>

Janne Junttila. 2015. Suomen sään valoisa puoli: aurinkopaneeli tuottaa parhaiten kylmässä. Julkaistu 9.11.2015. Päivitetty 12.11.2015. Luettu 20.6.2020. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2015/11/09/suomen-saan-valoisa-puoli-aurinkopaneeli-tuottaa-parhaiten-kylmassa>

Elenia Oy. 2020. Tuotantokohteet. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Energiateollisuus ry. 2019. Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon. Julkaistu 12/2011. Päivitetty 11.6.2019. Luettu 13.6.2020. https://www.elenia.fi/sites/www.elenia.fi/files/S%C3%A4hk%C3%B6tuotantolaitoksen_liitt%C3%A4minen_jakeluverkkoon_2019.pdf

Energiateollisuus ry. 2019. Tekninen liite 1 ohjeeseen Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. Julkaistu 12/2011. Päivitetty 7.6.2019. Luettu 9.9.2020. https://energia.fi/files/3887/tekninen_liite_1_-_enintaan_100_kVA_PAIVITETTY_20190607.pdf

Energiateollisuus ry. 2016. Verkostosuositus YA9:13. Päivitetty 27.4.2016. Luettu 13.6.2020.

Fingrid Oyj. 2018. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/voimalaitosten-jarjestelmatekniset-vaatimukset/>

Fingrid Oyj. 2018. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Luettu 3.7.2020. <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttovarmasahkonsiirto/vjv2018.pdf>.

Fingrid Oyj. 2020. Verkkosäännöt. Luettu 13.6.2020. <https://www.fingrid.fi/sahkomarkkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/verkkosaannot/>

Fingrid Oyj. 2020. Liityntäsäännöt. Luettu 3.7.2020. <https://www.fingrid.fi/sahko-markkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/verkkosaannot/liityntasaannot/>

Fingrid Oyj. 2020. Käyttösäännöt. Luettu 3.7.2020. <https://www.fingrid.fi/sahko-markkinat/markkinoiden-yhtenaisyyys/verkkosaannot/kayttosaannot/>

Energiateollisuus ry. 2014. Sähkötuotannon liittymisehdot. Luettu 3.7.2020. https://energia.fi/files/1056/Tuotannon_liittymisehdot_TLE_2014.pdf

Selonen, T. 2018. Tuotantolaitoksen liittäminen sähköverkkoon. Esitelmä. Aurinkosähköpäivät. Scandic Helsinki Aviacongress. Vantaa

Tampereen sähkölaitos Oy. 2020. Pientuotannon liittäminen sähköverkkoon. Luettu 14.8.2020. <https://www.sahkolaitos.fi/globalassets/tiedostot/ohjeet-ja-opasteet/sahkoverkko/tsv-ohjepankki/3.-sahkontuotannon-liittaminen-jakelu-verkkoon/pientuotannon-liittaminen-sahkoverkkoon.pdf>

Lakervi, E., Partanen J. 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Otatieto.

Elenia Oy. 2016. Pienjänniteverkon mitoitus ja sähköinen suojaus. Julkaisematon. Opinnäytetyön tekijän hallussa.

Energiateollisuus ry. 2016. Tekninen liite 1 ohjeeseen Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon – Nimellisteholtaan enintään 100 kVA laitoksen liittäminen. Julkaistu 12/2011. Päivitetty 27.4.2016. Luettu 14.8.2020.

Elenia Oy. 2020. Sähköntuotanto. Luettu 14.8.2020. https://www.elenia.fi/sahko/sahkon_tuotanto

Rexel Finland Oy. 2019. Aurinkosähköjärjestelmät. Luettu 9.9.2020. <https://docplayer.fi/2858858-Rexel-aurinko-sahkojarjestelmat.html>

Energiavirasto 2020. Pientuotannon liittämisen pitää sisältyä verkkoyhtiön peruspalveluun. Julkaistu 2.3.2020. Luettu 14.8.2020. <https://energiavirasto.fi/-/pientuotannon-liittamisen-pitaa-sisaltya-verkkoyhtion-peruspalveluun>