



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tommi Heimo

Pientuotanto Carunan verkossa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

Insinöörityö

31.1.2021

Tekijä Otsikko	Tommi Heimo Pientuotanto Carunan verkossa
Sivumäärä Aika	21 sivua 31.1.2021
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	
Ohjaajat	asiakaskokemuspäällikkö Laura Sohlman lehtori Tuomo Heikkinen
<p>Insinööriyön aiheena oli Carunan verkon pientuotanto ja sen aineiston kartoitus sekä laadun varmistus. Lisäksi työssä käsiteltiin Fingridin voimalaitosten järjestelmätekniisiä vaatimuksia.</p> <p>Työn tavoitteena oli käydä läpi Carunan verkon pientuotantomuotojen tehotietoja ja päivittää niitä vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Tehotietojen läpikäynnillä pyrittiin yhtenäistämään Carunan tietojärjestelmässä olevaa aineistoa pientuotannon tuotantopaikoista. Lisäksi tavoitteena oli tiivistetysti selvittää voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset pientuotannon osalta sekä selvittää isoimpien pientuotantolaitosten loistehon säätömahdollisuuksia.</p> <p>Insinööriyön käytännön osuudessa työhön rajatuttujen tuotantopaikkojen tiedot tarkastettiin eri menetelmiä käyttäen ja päivitettiin vaatimusten mukaisiksi sekä selvitettiin isoimpien pientuotantolaitosten loistehon säätömahdollisuuksia. Menetelmiä olivat muun muassa uuden ja vanhan tietojärjestelmän dokumenttien haravointi sekä suorat yhteydenotot tuotantopaikkojen haltijoihin. Selvitettyjen tietojen pohjalta tehtiin Carunan nykyiseen tietojärjestelmään tarvittavat päivitykset sekä toimitettiin loistehon säätömahdollisuuksista erillinen dokumentti Carunalle.</p> <p>Insinööriyön tuloksena Carunan tietojärjestelmässä pientuotantopaikkojen tiedot päivitettiin ajan tasalle vaatimusten mukaisiksi sekä yhtenäistettiin aineiston laatua.</p>	
Avainsanat	pientuotanto, VJV2018, pätöteho, näennäisteho, loisteho

Author Title	Tommi Heimo Small-Scale Energy Production of the Caruna Grid
Number of Pages Date	21 pages 31 January 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	
Instructors	Laura Sohlman, Customer Experience Manager Tuomo Heikkinen, Senior Lecturer
<p>The subject of the thesis was small-scale energy production in Caruna grid and the mapping of its data and quality assurance. In addition, the Fingrid document Grid code specifications for power generating facilities were handled.</p> <p>The aim of the thesis was to study the power data of small-scale energy production facilities and to update them to meet the current requirements. The purpose of the data review was to also unify the data in the Caruna information system. In addition, the aim was to summarize the requirements of Grid code specifications for power generating facilities and to find possibilities for adjusting the reactive power of the largest small-scale facilities.</p> <p>In the practical part of the thesis, the data of the production facilities were checked using different methods and updated to match the requirements. Also, the possibilities for adjusting the reactive power of the largest small-scale facilities were investigated. The methods included searching and studying documents on the new and old information system and directly contacting with the manager of the facilities. On the basis of the results, the necessary data was updated in the Caruna information system and a separate document involving the reactive power adjustment possibilities was submitted to Caruna.</p> <p>As a result of the thesis the data of small-scale energy production facilities was updated to meet the current requirements and the data quality was unified.</p>	
Keywords	small-scale energy production, VJV2018, active power, apparent power, reactive power

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Caruna	2
3	Pientuotanto Carunan verkossa	4
3.1	Pientuotannon jakautuminen	4
3.2	Aurinkosähköjärjestelmien määrän voimakas kasvu	6
3.3	Muut pientuotannon muodot Carunan verkossa	8
3.3.1	Tuulivoimalat	9
3.3.2	Vesivoimalat	10
3.3.3	Bioenergia	11
4	Fingridin Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018	12
4.1	Tyypin A voimalaitoksesta toimitettavat tiedot	14
4.2	Tyypin B voimalaitoksesta toimitettavat tiedot	14
5	Carunan verkon pientuotantolaitosten kartoitus ja aineiston päivitys	16
5.1	Kartoituksen tavoitteet	16
5.2	Tuotantopaikkojen tehotietojen oikeellisuuden selvitys	17
5.3	Pätötehon ja näennäistehon riippuvuus	18
5.4	Loistehon säätömahdollisuudet	19
6	Yhteenveto	20
	Lähteet	21

Lyhenteet

kWp	Kilowatt peak. Piikkikilowatti. Aurinkopaneelien tuottama sähköteho tietyissä standardiolosuhteissa kilowateissa ilmoitettuna.
VA	Voltiampeeri. Näennäistehon yksikkö
var	Vari. Loistehon yksikkö.
W	Watti. Pätötehon yksikkö.

1 Johdanto

Caruna on suomalainen sähköverkkoyhtiö, jolla on asiakkaita yli puoli miljoonaa. Yhä kasvava osuus näistä asiakkaista ryhtyy itse sähköenergian pientuottajiksi. Ylivoimaisesti eniten sähköverkkoon asennetaan pieniä aurinkosähköjärjestelmiä yksityisasiakkaiden omaan käyttöön, mutta muidenkin tuotantomuotojen laitoksia lisätään vuosittain. Samalla järjestelmätekniset vaatimukset myös pientuotantolaitosten tietojen osalta ovat muuttuneet. Tämä asettaa haasteen sähköjärjestelmän kannalta tarpeellisten tietojen ylläpitämiselle, kun Carunan verkon vanhimmat laitokset ovat esimerkiksi vesivoimaloita museoiden yhteydessä ja uusia aurinkojärjestelmiä lisätään verkkoon kovaa vauhtia.

Käytännöt tuotantolaitosten tietojen lisäämisestä tietojärjestelmään ovat Carunalla muuttuneet vuosien saatossa, ja tietojärjestelmäkin on vaihtunut viime vuosien aikana uuteen. Työn tavoitteena on yhtenäistää tietoja sekä saattaa vanhentunutta aineistoa ajan tasalle ja vaatimusten mukaisiksi.

Tässä insinööriyössä käydään myös läpi Carunan verkon pientuotantokantaa yleisesti sekä erityisesti aurinkosähkön tuotannon kovaa kasvua viime vuosina. Lisäksi perehdytään Fingridin VJV2018-dokumenttiin, joka asettaa vaatimukset tuotantolaitoksista toimitettaville tiedoille. Käytännön osuudessa myös loistehon säätömahdollisuuksiin otetaan lyhyesti kantaa.

2 Caruna

Caruna on vuonna 2014 perustettu sähköverkkoyhtiö, joka huolehtii ja ylläpitää sähkönjakelua- ja verkkoa yli 680 000 asiakkaalle. Carunan toimintaa sääntelee Energiavirasto. Carunan verkkoaluetta Suomessa on Etelä-, Lounais- ja Länsi-Suomessa, Joensuussa, Koillismaalla sekä Satakunnassa. [1.]

Caruna koostuu kahdesta verkkoyhtiöstä. Caruna Espoo Oy toimii nimensä mukaisesti Espoon alueella sekä Kauniaisissa, Kirkkonummella ja Joensuussa ja sen hinnoittelu eroaa Carunan muusta verkkoalueesta. Caruna Oy toimii Carunan verkkoalueen muilla osilla, pääosin verkko on haja-asutusalueilla. Carunasta puhuttaessa tarkoitetaan molempia yrityksiä, Caruna Oy:tä ja Caruna Espoo Oy:tä. Kuvassa 1 on Carunan verkkoalueet Suomen kartalla. [1; 2.]



Kuva 1. Carunan verkkoalueet [2].

Carunalla työskentelee noin 290 henkilöä ja se työllistää hankkeissaan suoraan noin 1 000 ja välillisesti 4 000 henkilöä. Carunan enemmistön omistaa kaksi kansainvälistä infrastruktuurisijoittajaa OMERS Infrastructure ja First State Investments, ja molempien osuus omistuksesta on 40 %. Loput omistuksesta ovat kahdella suomalaisella eläkevaikutusyhtiöllä: Elo 7,5 %:n osuudella ja Keva 12,5 %:n osuudella. [1.]

3 Pientuotanto Carunan verkossa

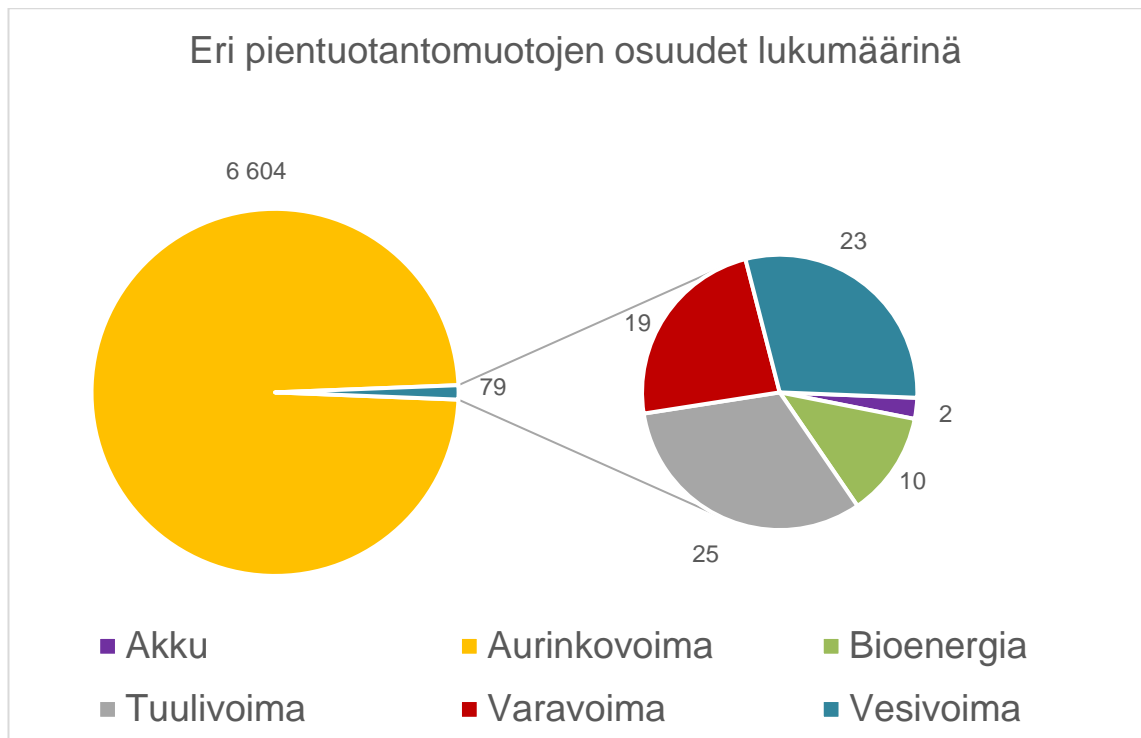
Pientuotanto on Carunan verkkoon kuuluvan asiakkaan omaa sähköntuotantoa, jonka tuotantoteho on enintään 2 MW. Eri pientuotantomuotoja Carunan verkossa ovat

- aurinkovoima
- bioenergia
- tuulivoima
- vesivoima.

Pientuotannoksi lasketaan myös alle 2 MW:n aggregaatit ja varavoimakoneet sekä sähköakat. Yleisesti pientuotantolaitteisto liitetään jo olemassa olevaan sähkönkäyttöpaikkaan ja tuotettu sähkö pyritään käyttämään itse tuolla käyttöpaikalla. Carunan verkossa on kuitenkin myös pientuotantolaitoksia, joiden pääsääntöinen tarkoitus on tuottaa ja myydä sähköä omille asiakkailleen. [3.]

3.1 Pientuotannon jakautuminen

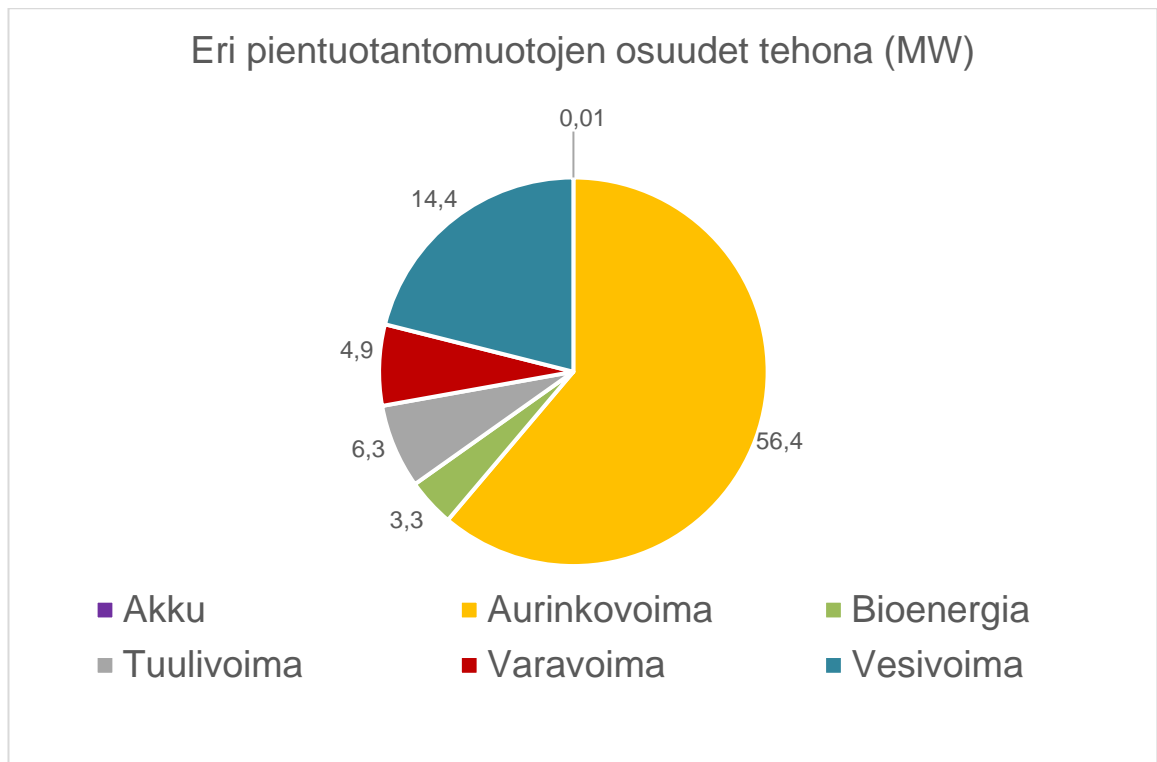
Yleisin pientuotantomuoto Carunan verkossa on pienen kokoluokan aurinkosähköjärjestelmä. Yli puolet Carunan verkon kaikista tuotantolaitoksista onkin alle 5 kW:n aurinkovoimaloita ja alle 10 kW:n aurinkovoimalat kattavat jo yli 85 % kaikista Carunan verkon voimaloista. Kun otetaan huomioon kaikki Carunan verkon pientuotantolaitokset, oli aurinkovoimaloiden osuus vuoden 2019 lopussa noin 98,75 %. Kuvassa 2 on esitetty eri pientuotantomuotojen osuudet tuotantopaikkojen lukumäärien mukaan Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4.]



Kuva 2. Eri pientuotantomuotojen osuudet tuotantopaikkojen lukumäärien mukaan Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4]

Aurinkovoimaloiden suurta osuutta selittää yksittäisten kotitalouksien yhä kasvava määrä piensähkön tuottajina. Suosituimpaan aikaan Carunan verkkoon liitetään jopa satoja pieniä aurinkosähköjärjestelmiä kuukaudessa, kun taas esimerkiksi tuuli- ja biovoimaloita lisätään yksittäisiä kappaleita vuosittain. [4.]

Aurinkosähkön osuus hallitsee pientuotantomuotoja myös nimellistehona tarkasteltaessa. Yli puolet kaikkien pientuotantomuotojen tehokapasiteetista tulee aurinkosähköltä. Vuoden 2019 lopussa aurinkosähkön kapasiteettia oli Carunan verkossa noin 56,41 MW:n edestä. Muiden pientuotantomuotojen yhteenlaskettu kapasiteetti oli samaan aikaan noin 29 MW. Kuvassa 3 on esitetty eri pientuotantomuodot Carunan verkossa tehokapasiteettinsa mukaan vuoden 2019 lopussa. [4.]

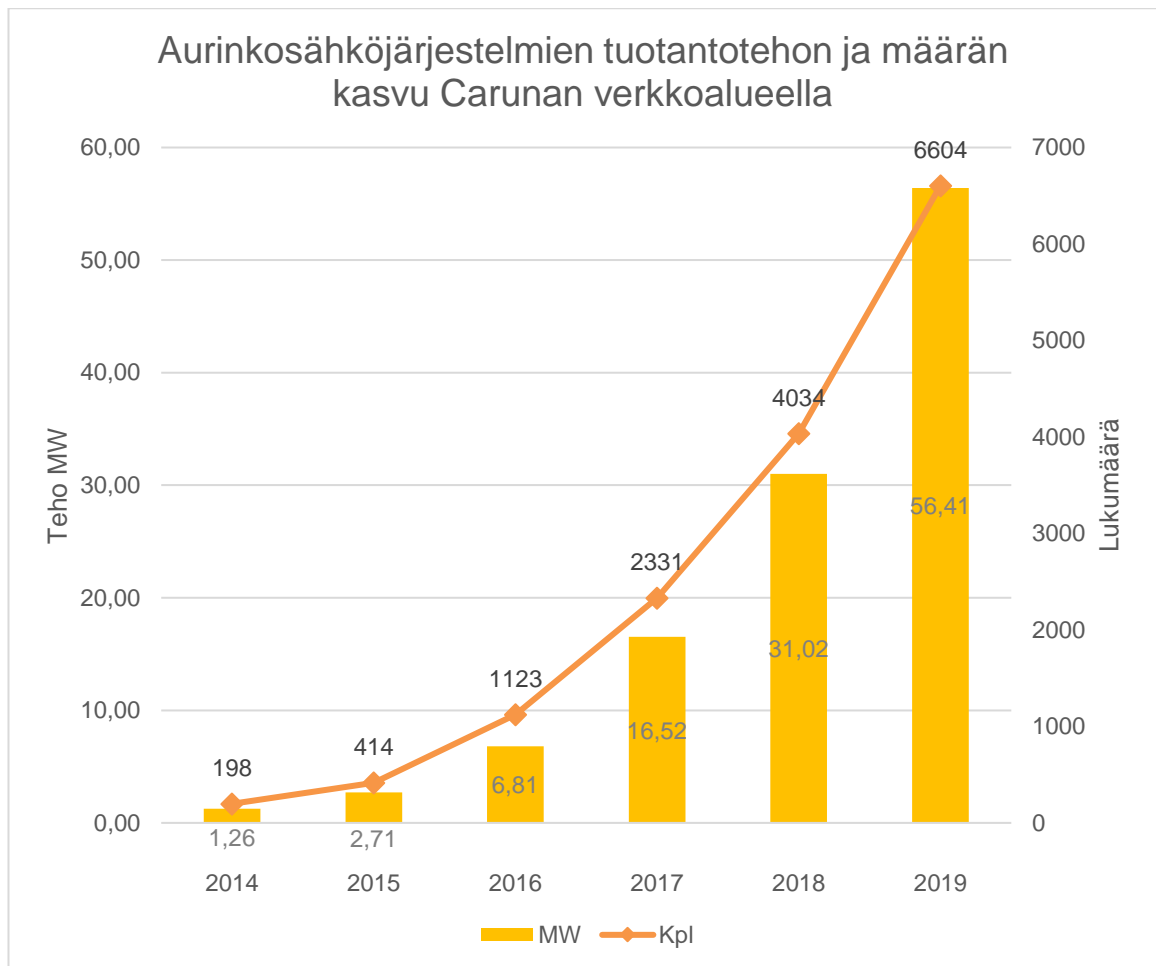


Kuva 3. Eri pientuotantomuodot Carunan verkossa tehokapasiteettinsa mukaan vuoden 2019 lopussa. [4]

Edellä esitetyissä osuuksissa ja kuvissa tulee kuitenkin ottaa huomioon, että kyseessä on vain Carunan verkossa olevat pientuotantolaitokset eli teholtaan yli 2 MW:n laitoksia ei ole huomioitu. Lukumäärällisesti yli 2 MW:n laitosten huomioiminen ei juuri vaikuttaisi osuuksiin, mutta tehoja tarkasteltaessa tilanne muuttuu täysin. Jos huomioidaan teholtaan kaikki Carunan verkossa olevat tuotantomuodot, on aurinkosähkön kapasiteetti edelleen noin 56 MW, mutta muiden laitosten yhteenlaskettu kapasiteetti onkin jo noin 181 MW. Suuri muutos tuloksissa johtuu siitä, että Carunan verkossa on tehokapasiteetiltaan erittäin suuria, parhaimmillaan yli 20 MW:n, laitoksia, joita ei lasketa mukaan pientuotantomuotoihin suuren tehonsa vuoksi. [4.]

3.2 Aurinkosähkölaitosten määrän voimakas kasvu

Kuten luvussa 3 mainittiin, ylivoimaisesti suurin osuus pientuotantolaitoksista on pieniä aurinkosähkölaitoksia, ja vilkkaimpina kuukausina Carunan verkkoon liitetään satoja uusia aurinkolaitoksia. Kuvassa 4 on kuvattuna aurinkosähkölaitosten tuotantotehon ja lukumäärän kasvu Carunan verkkoalueella vuodesta 2014 vuoteen 2019. [4.]



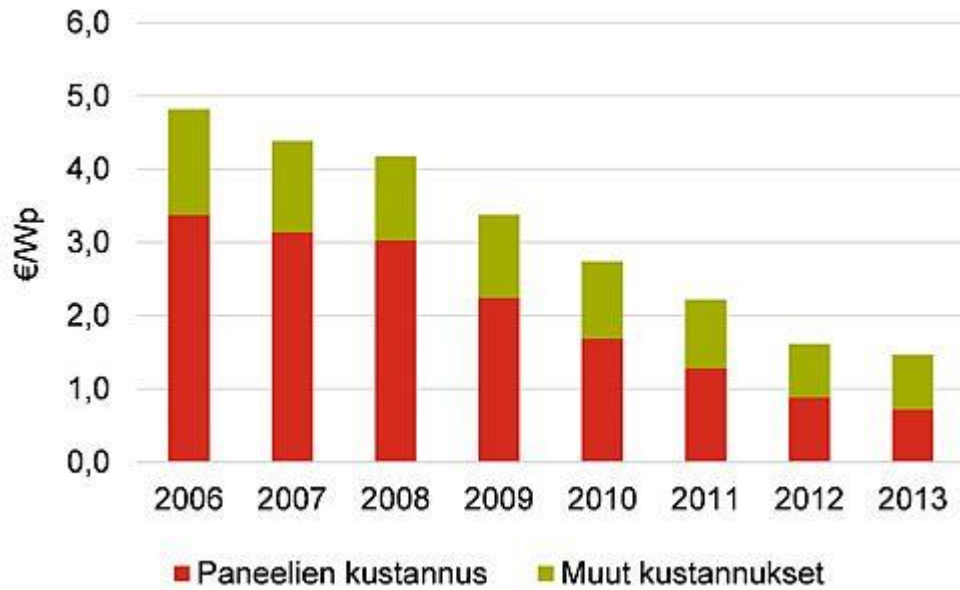
Kuva 4. Aurinkosähköjärjestelmien tuotantotehon ja määrän kasvu Carunan verkkoalueella vuodesta 2014 eteenpäin. [4]

Sekä lukumäärissä että tuotantotehossa mitattuna on kasvu ollut kiihtyvää jokaisena vuonna vuoden 2014 jälkeen. [4.]

Suurin syy aurinkosähköjärjestelmien määrän kiihtyvään kasvuun on aurinkosähköjärjestelmien hintojen lasku 2010-luvulla. Eniten järjestelmien hintojen laskuun on vaikuttanut aurinkopaneelien hintojen voimakas laskeminen. Maailmanlaajuisesti aurinkopaneelien hinnat ovat laskeneet 2010-luvulla yli 80 prosenttia. Kokonaisten aurinkosähköjärjestelmien hinnat eivät ole pudonneet yhtä voimakkaasti, koska järjestelmiin kuuluu paneelien lisäksi myös invertterit, säätölaitteet, tarvikkeet, suunnittelu ja asennustyö, joiden hinnat eivät ole laskeneet yhtä voimakkaasti kuin paneelien. [5.]

Nykyään tyypillisen pientalolle asennettavan 3,3 kWp:n aurinkosähköjärjestelmän hinta on kuluttajalle noin 5 500–7 000 euroa, sisältäen 24 % arvonlisäveron. Kuvassa 5 näkyy

rakennuksiin integroitujen suuritehoisten (10–100 kWp) aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys Saksassa (alv. 0 %) vuosina 2006–2013. [5.]



Kuva 5. Rakennuksiin integroitujen suuritehoisten (10–100 kWp) aurinkosähköjärjestelmien hintakehitys Saksassa (alv. 0 %) vuosina 2006–2013. [5]

Suomessa ei ole kattavaa tilastointia asennettujen aurinkosähköjärjestelmien hintojen kehityksestä, mutta kehitys seuraa jossain määrin muita Euroopan maita. [5.]

3.3 Muut pientuotannon muodot Carunan verkossa

Vuoden 2019 lopussa pientuotannon tuotantopaikkoja oli lukumäärältään ja teholtaan seuraavasti taulukossa 1.

Taulukko 1. Pientuotantomuotojen lukumäärät ja tehot Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4]

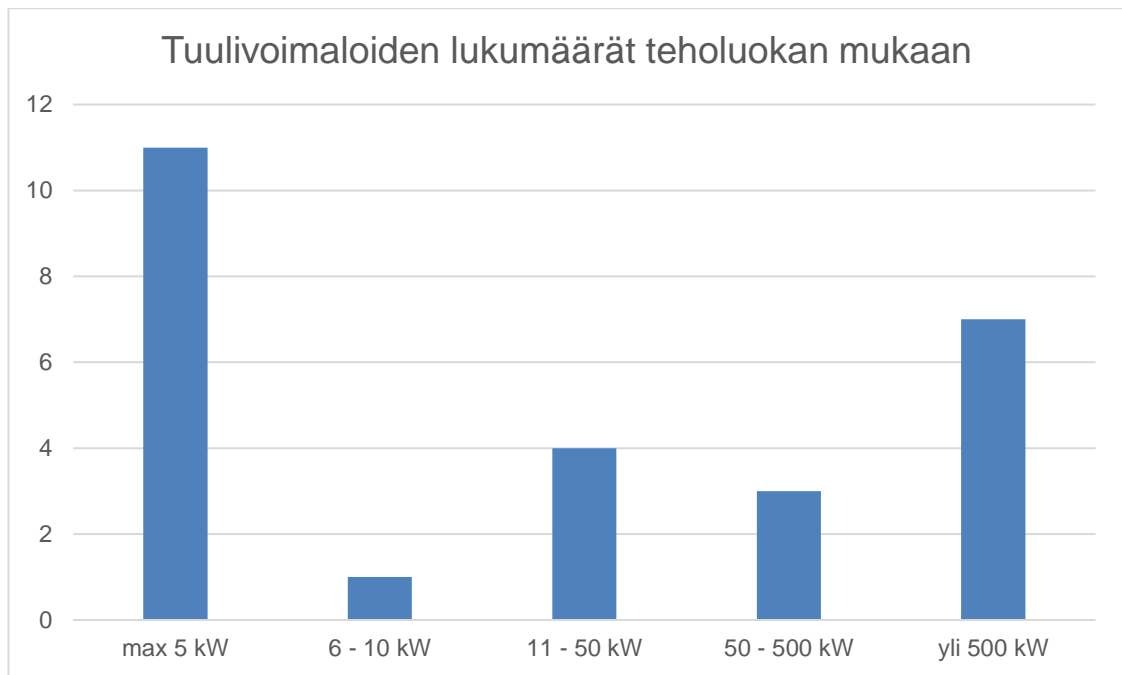
Pientuotannon muoto	Tuotantopaikkojen lukumäärä	Pientuotannon teho yhteensä (MW)
Aurinkosähkö	6604	56,4
Tuulivoima	25	6,3
Vesivoima	23	14,4
Varavoima	19	4,9
Bioenergia	10	3,3
Muut yhteensä, pois lukien aurinkovoima	77	28,9

Lukumäärällisesti muut pientuotannon muodot häviävät selvästi aurinkovoimalle, mutta esimerkiksi tuuli- ja vesivoimaloiden suuren teholuokan vuoksi niiden tuotantopotentiaali on suhteessa suurempaa ja teholuokka on lähellä aurinkovoimaa. Vertailussa tulee myös huomioida, että Carunan verkon kaikki aurinkosähkön tuotantopaikat ovat alle 2 MW:n järjestelmiä ja kuuluvat siten pientuotannon alle, mutta tuuli-, vesi- ja biovoimaloita on teholtaan myös yli 2 MW:n kokoisia, joten ne eivät tässä vertailussa näy. [4.]

Aurinkosähkijärjestelmät pois lukien ei pientuotannon tuotantopaikkojen lukumäärässä tapahdu suuria muutoksia eri vuosien välillä [4].

3.3.1 Tuulivoimalat

Pientuotantoon kuuluvia eli teholtaan alle 2 MW:n tuulivoimaloita oli Carunan verkkoalueella 25 kpl vuoden 2019 lopussa. Teholuokka tuulivoimaloissa oli erittäin vaihtelevaa: suurin pienvoimalaksi laskettava tuulivoimala oli teholtaan 1,5 MW:n luokkaa ja pienin vain 0,23 kW. Tuulivoimaloista 16 kpl olivat teholtaan 20 kW tai vähemmän ja loput yli 200 kW. Kuvassa 6 on tuulivoimaloiden jakauma teholuokan mukaan. [4.]



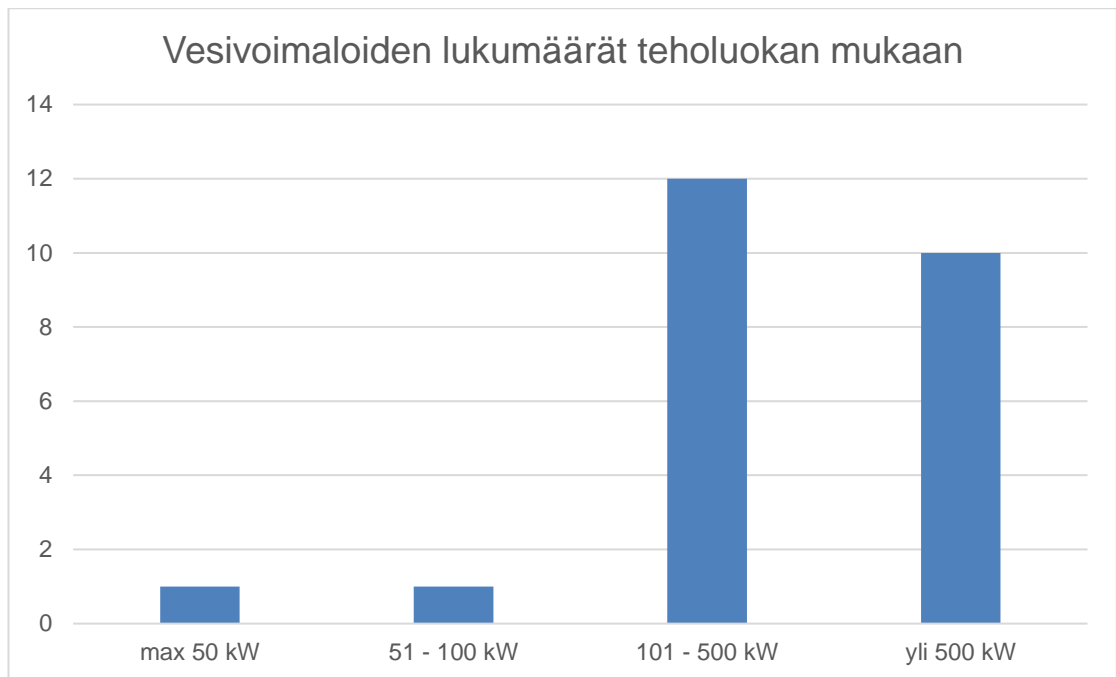
Kuva 6. Tuulivoimaloiden lukumäärät teholuokan mukaan Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4]

Tuulivoimaloiden määriä hallitsee selvästi teholtaan pienimuotoiset alle 5 kW:n voimalat sekä suuremmat yli 500 kW:n voimalat. Tässä vertailussa ei ole mukana tuulivoimaloita, joiden teho ylittää 2 MW. [4.]

Tuulivoimaa käytettäviä kohteita oli Carunan verkossa monenlaisia, kuten tehojakaumastakin voi päätellä. Alle 5 kW:n voimalat olivat tyypillisesti yksityiskäytössä omakotitaloissa, vapaa-ajan asunnoissa ja maatalouden kohteissa. Isommat tuulivoimalat olivat joko tuotannon yhteydessä tai yksinomaan tuottamassa sähköä myytäväksi. [4.]

3.3.2 Vesivoimalat

Pientuotantoon kuuluvia alle 2 MW:n vesivoimaloita oli Carunan verkkoalueella 23 kpl vuoden 2019 lopussa. Teholtaan pienimmän vesivoimalan teho oli 44 kW ja suurimman 1,6 MW. Kuvassa 7 on vesivoimaloiden jakauma teholuokan mukaan. [4.]



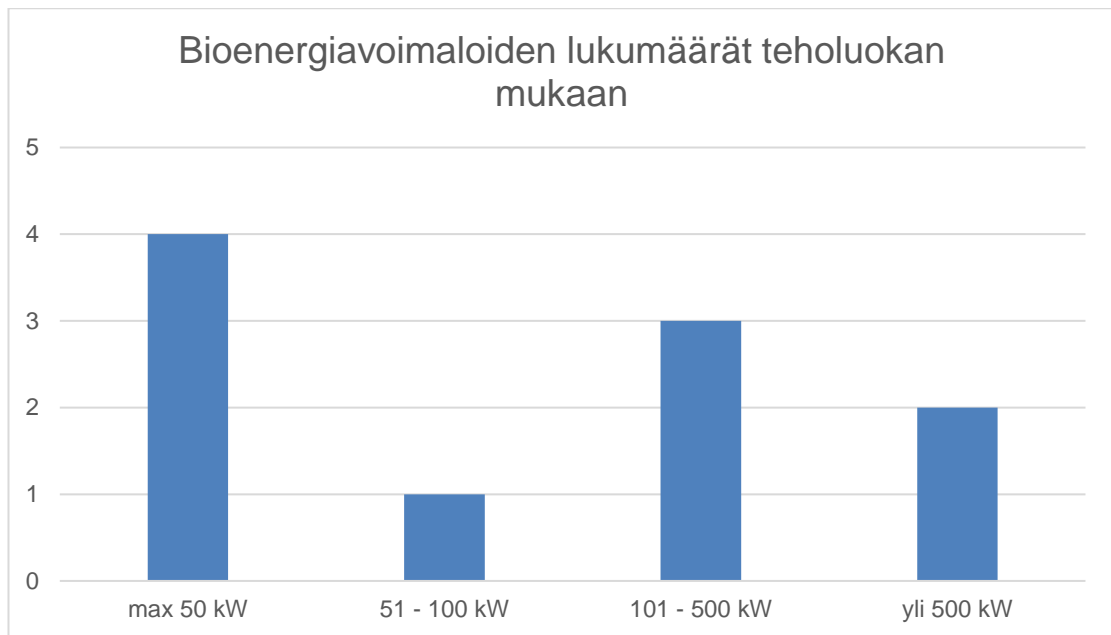
Kuva 7. Vesivoimaloiden lukumäärät teholuokan mukaan Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4]

Vesivoimaloiden tapauksessa oli nähtävissä selvästi se, että pieniä vesivoimaloita ei juuri ole, vaan selvästi suurin osa vesivoimaloista on teholtaan yli 100 kW. Vertailussa ei ole teholtaan yli 2 MW:n vesivoimaloita mukana. [4.]

Vesivoimaloista suurin osa tuotti sähköä myytäväksi tai oli muun yhdyskuntatoiminnan yhteydessä. Osa vesivoimaloista oli esimerkiksi hyvin vanhoja ja toimii edelleen osana museon energianlähteenä. [4.]

3.3.3 Bioenergia

Vuoden 2019 lopussa Carunan verkossa oli 10 kpl bioenergian tuotantolaitoksia. Pienin tuotantolaitos oli teholtaan 40 kW ja suurin 1460 kW. Kuvassa 8 on bioenergiavoimalaitosten jakauma teholuokan mukaan. [4.]



Kuva 8. Bioenergiavoimalaitosten jakauma teholuokan mukaan Carunan verkossa vuoden 2019 lopussa. [4]

Pienet bioenergialaitokset ovat tyypillisesti maataloilla hyödyntämässä siellä tuotettua biomateriaalia energiantuotannossa sähkökäyttöpaikan omaan käyttöön. Teholtaan isoimmat toimivat energiantuotantolaitoksina yleiseen käyttöön. [4.]

4 Fingridin Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset VJV2018

Fingrid Oyj on suomalainen kantaverkkoyhtiö, jonka tehtävänä on ylläpitää ja kehittää Suomen sähkönsiirron kantaverkkoa. Muut sähköverkkoyhtiöt ovat yhteydessä Fingridin kantaverkkoon joko suoraan tai välillisesti. [6.]

Fingridin Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset VJV2018 -dokumentti (myöhemmin VJV2018) sisältää voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset, jotka Fingrid Oyj on sille määrätyn järjestelmävastuun perusteella asettanut Suomen sähköjärjestelmään liitettäville voimalaitoksille. Alueellisten sähköverkkoyhtiöiden, kuten Carunan, verkkoon liitettävien voimalaitosten tietojen toimittaminen Fingridille on kyseisten alueellisten sähköverkkoyhtiöiden vastuulla. Sähköverkkoyhtiöiden vastuulla on myös varmistua tietojen oikeellisuudesta ja ajantasaisuudesta. [7.]

VJV2018:n vaatimusten pohjana on eurooppalainen verkkosääntö, Euroopan komission asetus 2016/631. Fingrid on tehnyt vaatimuksiin omat kansalliset lisäykset ja täsmennykset. [7.]

Voimalaitosten järjestelmäteknisten vaatimusten asettamisella pyritään varmistamaan, että

- voimalaitos kestää sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut,
- voimalaitos tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteiden yhteydessä sekä toimii luotettavasti niiden aikana ja niiden jälkeen,
- voimalaitos ei verkossa ollessaan aiheuta haittaa muille sähköjärjestelmään kytketyille laitteille, ja että
- liittymispisteen verkonhaltijalla ja Fingridillä on käytössään sähköjärjestelmän ja sen käytön suunnitteluun sekä käyttövarmuuden ylläpitoon tarvittavat tiedot voimalaitoksesta. [7.]

Vaatimukset koskevat Suomen sähköjärjestelmään kytkettäviä voimalaitoksia, joiden mitoitus-teho on vähintään 0,8 kW. Voimalaitokset on jaettu mitoitus-pisteen jännitetason ja voimalaitoksen mitoitus-tehon mukaisesti neljään tyyppiluokkaan A-D taulukon 2 mukaisesti. [7.]

Taulukko 2. Voimalaitosten tyyppiluokittelu mitoitus-tehon ja liittymispisteen jännitetason perusteella. [7]

Tyyppi-luokka	Liittymispisteen jännite-taso	Ehto	Voimalaitoksen mitoitus-teho P_{max}
Tyyppi A	Liittymispisteen jännitetaso on alle 110 kV	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	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. ($P_{max} \geq 30 \text{ MW}$)

Tässä insinööriyössä käsitellyt tuotantopaikat kuuluvat tyyppiluokkiin A ja B, eikä tyyppiä C ja D käsitellä jatkossa.

4.1 Tyypin A voimalaitoksesta toimitettavat tiedot

VJV2018:n mukaan jokaisesta tyypin A voimalaitoksesta on toimitettava erillinen asennusdokumentti liittymispisteen verkonhaltijan vaatimusten mukaan kyseiselle verkonhaltijalle. VJV2018:n vaatimusten mukaan asennusdokumentissa on oltava vähintään seuraavat tiedot:

- paikka, jossa fyysinen liityntä tehdään
- liittymispäivämäärä
- laitteiston mitoitusteho kilowatteina
- primäärienergianlähteen tyyppi
- voimalaitoksen luokittelu kehittymässä olevaksi teknologiaksi Energiaviraston antaman vahvistuksen mukaisesti
- laitospaikalla sijaitsevista laitteista käytettyjen valtuutetun todentajan antamien laitetodistusten viitetiedot
- sellaisten laitteiden osalta, joista ei ole saatu laitetodistusta, liittymispisteen verkonhaltijan ohjeiden mukaiset tiedot
- liittyjän ja asentajan yhteystiedot ja näiden allekirjoitukset. [7.]

Tämän insinööriyön kannalta oleellisin kohta edellä mainituista tiedoista oli kohta, jossa vaaditaan laitteiston mitoitusteho kilowatteina.

Carunalla ilmoitukset verkkoon liitettävistä tuotantomuodoista tehdään Carunan yleistietolomakkeella. Yleistietolomakkeen täyttää yleensä tuotannon liittämisen suorittava sähköurakoitsija. [8.]

4.2 Tyypin B voimalaitoksesta toimitettavat tiedot

Tyypin B voimalaitoksesta liittyjän tulee toimittaa verkonhaltijalle taulukon 3 mukaiset tiedot sähköisinä asiakirjoina käyttöönottokokeiden jälkeen [7].

Taulukko 3. Tyypin B voimalaitoksesta toimitettavat tiedot. [7]

1 Yleistiedot	Viite
1.1 Sähköpääkaavio (single line diagram)	
1.2 Rakenne	
Voimalaitoksen tyyppi (esim. tuulivoima, aurinkovoima, biomassa, kaasutus)	
Perustiedot (esim. tuulivoimalaitoksesta toimin korkeus, roottorin halkaisija, suuntaajakäyttö yms.)	
1.3 Sijaintitieto (paikkakunta, alue, liittymispiste, koordinaatit)	
2 Muuntajien tekniset tiedot	
2.1 Voimalaitoksen muuntajien lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot	
2.2 Muuntajien dokumentaatio ja datalehdet	
Teho [MVA], virta [A], muuntosuhde [ensio/toisio], oikosulkum impedanssi [%], oikosulkuresistanssi [%], kytkentäryhmä ja maadoitustiedot, käänkitykimen säätöalue ja askel [%,%], käänkitykimen askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, askel]	
3 Voimalaitoksen tekniset tiedot	
3.1 Sähkötuoantoyksiköiden lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot	
3.4 Sähkötuoantoyksiköiden dokumentaatio ja datalehdet	
Näennäisteho [MVA], mitoitus-teho [MW], maksimiteho [MW], minimiteho [MW], virta [A], jännite [V], taajuus [Hz]	
Tahtikoneista sähköiset parametrit (resistanssit, reaktanssit ja niihin liittyvät aikavakiot) ks. taulukko 7.4	
3.5 Tuoantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. tuulen voimakkuus, lämpötila)	
3.6 Mahdollisesti käytössä olevat kompensointi- ja/tai tehokertoimen korjaamisessa käytettävät laitteet	
Lukumäärä, tyyppi, mitoitusarvot (teho, virta, jännite, taajuus)	
Mikäli hyödynnetään yliaaltojen suodatukseen, tiedot rakenteesta ja viritystaajuudesta	
4 Voimalaitoksen ominaisuudet	
Seuraavat kohdat voidaan korvata esim. valmistajan laitedokumenteilla, IEC61400-21 standardin mukaisella testausdokumentaatiolla tai muulla testausdokumentaatiolla	
4.1 Tiedot voimalaitoksen loistehokapasiteetista ja generaattoreiden PQ-diagrammit	
4.2 Tiedot voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylijännitteellä	
4.3 Tiedot voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylitaaajuudella	
4.4 Tiedot voimalaitoksen kyvystä toimia jännitehäiriöiden yhteydessä	
4.5 Tiedot voimalaitoksen vikavirran syötöstä jännitehäiriön aikana	
4.6 Tiedot voimalaitoksen pätötehonsäätöominaisuuksista	
4.7 Tiedot voimalaitoksen jännitteensäätöominaisuuksista	
5 Voimalaitoksen suojaustiedot	
5.1 Voimalaitoksen relesuojauskaavio	
5.2 Voimalaitoksen lopulliset relesuojausasettelut	
5.3 Tiedot saarekesuojan toimintaperiaatteesta	
6 Käyttöönottodokumentit	
6.1 Käyttöönottopöytäkirjat	
6.2 Jännitteensäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila	
Vaatimustenmukaisuusilmoitus	
Liittyjän edustaja vahvistaa allekirjoituksellaan, että tämän taulukon viitetietojen osoittamat dokumentit todentavat voimalaitoksen täyttävän sille asetetut Vaatimukset. Paikka, aika, allekirjoitus ja nimenselvennys:	

Myös tyypin B voimalaitosten tapauksessa insinööriyön kannalta oleellisin tarvittava tieto oli mitoitus-teho ilmoitettuna megawatteina.

5 Carunan verkon pientuotantolaitosten kartoitus ja aineiston päivitys

Käytännön osuutena opinnäytetyöstä kartoitettiin kaikki Carunan verkon yli 100 kW:n aurinkovoimalat sekä kaikki muut pienvoimalat. Tarkoituksena oli parantaa Carunan omissa tietojärjestelmissä olevan aineiston laatua, varmistua tuotantopaikkojen tehotietojen oikeellisuudesta sekä selvittää loissähkön säätöominaisuuksia niiden pienvoimaloiden osalta, joissa se on mahdollista.

Kartoitettuja aurinkovoimaloita sekä muita pientuotantopaikkoja oli kumpaakin lukumäärällisesti noin 100 kpl eli yhteensä noin 200. Kartoitukseen sisältyi lisäksi muutama yli 2 MW:n tuotantopaikka, joiden kohdalla oli Carunan järjestelmässä tuotantomuodon kohdalla tieto MUU. Näiden tuotantopaikkojen osalta tavoitteena oli selvittää kohteiden todellinen tuotantomuoto.

5.1 Kartoituksen tavoitteet

Tuotantopaikkojen tietojen kartoituksen tavoitteena oli varmistaa, että Carunan tietojärjestelmissä on ajankohtaiset tiedot kaikista pientuotantomuodoista. Oleellisimpia tietoja oli varmistaa, että tehotiedot ovat järjestelmässä oikein, koska vanhimpien tuotantopaikkojen tiedot saattoivat olla kymmenien vuosien takaa.

Aurinkovoiman osalta työ päätettiin rajata teholtaan vain yli 100 kW:n kokoisiin tuotantopaikkoihin. Tämä päätös tehtiin siitä syystä, että aurinkovoimaloita on Carunan verkossa yli 6000 kpl kaikki teholuokat mukaan lukien, kuten aiemmista kappaleista käy ilmi. Tämän määrän läpikäyminen olisi ollut yhdelle henkilölle kohtuuttoman iso työ. Läpikäytävien aurinkovoimaloiden teholuokka päätettiin rajata yli 100 kW:n, koska siten tuotantopaikkojen lukumäärä jäi kohtuulliseen noin sadan kohteen määrään. Lisäksi isoimpien aurinkovoimaloiden tehon virheellinen tieto voisi olla suhteessa isompi kuin pienempien voimaloiden ja isoimpien aurinkosähköjärjestelmien paikallinen vaikutus Carunan sähköverkossa ja sen suunnittelussa on merkittävämpi kuin pienempien järjestelmien tapauksissa.

Carunan järjestelmissä oli vuoteen 2019 saakka tallennettu tuotantopaikkojen tehotiedot näennäistehoina eli muodossa kVA tai MVA. Fingridin VJV2018:n mukaan tyyppin A ja B

voimalaitoksista on toimitettava laitosten mitoitustehot pätötehon muodossa eli riippuen laitoksen teholuokasta muodossa kW tai MW. Sen lisäksi, että tarkistettiin tuotantopaikkojen tehotietojen oikeellisuus, tuli myös muuntaa tehot näennäistehosta pätötehoksi.

Yli 1 MW:n tuotantolaitosten osalta selvitettiin myös loistehon säätömahdollisuuksia.

5.2 Tuotantopaikkojen tehotietojen oikeellisuuden selvitys

Tehotietojen päivitystä varten haettiin Carunan tietojärjestelmistä Excel-muodossa kaikkien teholtaan yli 100 kW:n aurinkovoimaloiden sekä kaikkien alle 2 MW:n tuotantopaikkojen tiedot. Tämän jälkeen tuli tuotantopaikka kerrallaan tutkia tehotietojen paikkansa pitävyys.

Uusimpien tuotantopaikkojen tiedot olivat helppo löytää, koska tuotannon lisääminen Carunan tietojärjestelmään oli uusimpien tuotantopaikkojen lisäämisen aikaan jo vakiintunut yleistietolomakkeen muodossa. Monista uusimmista voimaloista löytyi Carunan yleistietolomake, josta kävi yksiselitteisesti ilmi asennetun tuotannon tehotiedot näennäistehona. Yleistietolomake oli Carunan järjestelmässä usein liitettynä kontaktina tuotantopaikan tai varsinaisen sähkökäyttöpaikan kohdalla. Hakua pystyi tarvittaessa tekemään myös tuotanto- tai sähkökäyttöpaikan osoitteen, sähköliittymän tai asiakkaan nimen perusteella.

Hiukan vanhempien tuotantopaikkojen tapauksessa tuli etsiä tietoa Carunan aiemmin käyttämästä vanhemmasta tietojärjestelmästä. Yleistietolomake on ollut myös vanhemman tietojärjestelmän aikaan käytössä, mutta tietojen tallentamiskäytännöt eivät olleet jokaisen tuotantopaikan kohdalla yhteneväiset. Monessa tapauksessa yleistietolomake löytyi varsinaisen sähkökäyttöpaikan tietoihin liitettynä, mutta useissa tapauksissa näin ei ollut. Vanhassakin tietojärjestelmässä hakua pystyi suorittamaan osoitteen, sähköliittymän tai asiakkaan nimen perusteella. Vanhan järjestelmän kontaktit myös näkyivät uuden järjestelmän kartassa vanhoina kontakteina. Yleistietolomakkeiden sijaan tuotannon lisäämisestä saattoi löytyä asennusdokumentti, josta tehotieto oli saatavilla.

Monissa tapauksissa Carunan tietojärjestelmään tallennettu tehotieto ei ollut jäljitettävissä yleistietolomakkeeseen tai muuhunkaan dokumenttiin. Näitä tapauksia saattoivat

olla esimerkiksi kymmeniä vuosia vanhat pienet vesivoimalat, jotka toimivat nykyisin museon yhteydessä. Jos sähköisiä dokumentteja ei löytynyt, oli ainoa vaihtoehto ottaa yhteyttä suoraan tuotantopaikan hallitsijaan. Yhteydenottokeinona käytettiin ensisijaisesti sähköpostia, jos sähköpostiosoite löytyi asiakastiedoista. Toissijaisena keinona otettiin yhteyttä puhelimella, jonka Caruna oli tätä työtä varten varannut. Tuotantopaikkojen tehotiedot selvisivät voimaloiden dokumenteista tai joissakin tapauksissa esimerkiksi generaattorin kilpiarvoista. Tiedot saatiin yleensä sähköpostitse, mutta joissakin tapauksissa saatiin esimerkiksi puhelimella otettu kuva kilpiarvoista tehotietojen todentamista varten.

Joistakin isoimmista voimaloista tehotiedot olivat julkista tietoa, ja ne löytyivät esimerkiksi voimalan omilta nettisivuilta.

Lopuksi päivitettiin Carunan tietojärjestelmässä kaikki virheelliset tehotiedot vastaamaan tuotannon todellista tehoa.

5.3 Pätötehon ja näennäistehon riippuvuus

Jotkin sähköverkkoon liitettävät laitteet tarvitsevat pättötehon P lisäksi toimiakseen myös loistehoa Q . Näitä laitteita ovat muun muassa moottorit, muuntajat ja purkauslamput [9].

Pätö- ja loisteho yhdessä muodostavat näennäistehon S kaavan 1 mukaan [9].

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1)$$

Pätötehon yksikkö on watti (W), loistehon yksikkö on vari (var) ja näennäistehon yksikkö on voltiampeeri (VA) [9].

Näennäisteho muodostuu pätö- ja loistehosta ja se kuvaa laitteeseen kuluva kokonais-tehoa. Pätöteho on vaihtovirran todellisuudessa kulutettu teho, joka tekee varsinaista työtä. Pätö- ja näennäistehon suhde voidaan ilmaista tehokertoimella kaavan 2 mukaan. [9.]

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

Yhtälöstä seuraa, että tehokerroin voi olla maksimissaan 1, jolloin pätöteho on korkeintaan näennäistehon suuruinen [9].

Aurinkosähköjärjestelmien tapauksessa paneelien tuottama sähkö tulee tasasähkönä invertterille, missä se muunnetaan sähköverkossa käytettäväksi vaihtosähköksi [10]. Tästä syystä aurinkosähköjärjestelmissä tehokerroin on lähes 1. Aurinkosähköjärjestelmien osalta päätettiin muutos näennäistehosta pätötehoksi tehdä suoraan vain muuttamalla yksiköt volttiampeereista wateiksi.

Muiden kuin aurinkovoimaloiden tapauksissa tuli selvittää laitoksen pätöteho. Selvitysmenetelmät olivat samat kuin tehotietojen oikeellisuuden selvittämisessä. Tietoja saatiin muun muassa voimaloiden dokumenteista, sähköpostitse, puhelimitse ja kuvista. Pätöteho saattoi löytyä suoraan laitoksen dokumenteista tai se tuli laskea tehokertoimen avulla. Tehokertoimia tuli vastaan etenkin niissä tapauksissa, kun voimalasta saatiin kuva generaattorin kilpiarvoista. Joidenkin voimaloiden tapauksissa myös pätöteho oli julkista tietoa, joka löytyi internetistä.

Tehotietoja selvittäessä tuli ottaa huomioon, että alun perin Carunalle oli saatettu ilmoittaa tuotannon teho pätötehoon, mutta se oli tallennettu tietojärjestelmään näennäistehona vakiintuneen tavan mukaan.

Lopuksi päivitettiin Carunan tietojärjestelmässä kaikkien tuotantopaikkojen näennäistehot pätötehoiksi. Kaikkien päivitettyjen tuotantopaikkojen lisätietoihin kirjattiin, mitä oli muutettu ja millä päivämäärällä muutos oli tehty. Lisäksi laitettiin ylös selvitetty tehokertoimet sekä mahdolliset lisätiedot, mitä selvityksissä ilmeni.

5.4 Loistehon säätömahdollisuudet

1–2 MW:n tuotantolaitoksista selvitettiin loistehon säätömahdollisuuksia. Loistehon säätömahdollisuuksia selvittäessä suurin osa tuli kysyä suoraan tuotantolaitokselta sähköpostitse tai puhelimitse. Kaikkien tuotantolaitosten tapauksessa loistehon säätö ei ollut mahdollista, mutta osassa loistehoa pystyi säätämään. Säätöä pystyi tekemään tuotantolaitoksesta riippuen joko paikan päällä käsin, tai isompien laitosten tapauksessa myös kaukokäytöllä.

Loistehon säätömahdollisuudet kirjattiin kunkin tuotantopaikan tietoihin, jonka lisäksi toimitettiin erillinen dokumentti tuotantopaikoista sitä pyytäneelle osastolle. Dokumentista kävi ilmi kunkin tuotantopaikan tehotiedot sekä loistehon säätömahdollisuudet.

6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli käydä läpi Carunan verkon pientuotantomuotojen tehotietoja ja päivittää niitä vastaamaan nykyisiä vaatimuksia. Työhön rajattujen tuotantopaikkojen tietojen läpikäynti ja päivitys oli arveltua työllistävämpi ja pitkäkestoisempi, koska vastauksia tuotantopaikkojen haltijoilta saattoi joutua odottamaan pitkäänkin. Kaikkien rajauksen sisään kuuluneiden tuotantopaikkojen tiedot kuitenkin selvitettiin ja päivitettiin vastaamaan nykyisiä vaatimuksia.

Loistehon säätöominaisuuksien selvittämisen osalta päädyttiin jäämään selvityksen tasolle, eikä työhön sisällytetty mahdollisia muutoksia säätöihin.

Energiatekniikan opiskelijalle lähinnä sähkötekniikkaan painottuva insinööryö oli haastava, mutta työssä päästiin asetettuihin tavoitteisiin lisärajausten jälkeen.

Lähteet

- 1 Caruna lyhyesti. Verkkoaineisto. Caruna. <www.caruna.fi/caruna/caruna-yrityksena/lyhyesti>. Luettu 2.1.2020.
- 2 Verkkoluekartta. Verkkoaineisto. Caruna. <<https://images.caruna.fi/caruna-verkkoluekartta-suomi.pdf>>. Luettu 11.1.2020.
- 3 Pientuotanto. Verkkoaineisto. Caruna. <<https://www.caruna.fi/palvelut/omasahkontuotanto/muu-pientuotanto>>. Luettu 1.3.2020.
- 4 Pientuotannon käyttöpaikat. Excel-aineisto. Caruna. Luotu 2.1.2020.
- 5 Aurinkosähkölaitteiden hinta. Verkkoaineisto. Motiva. <https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkosahko/jarjestelman_valinta/aurinkosahkojarjestelmien_hinta>. Luettu 14.11.2020.
- 6 Suomen sähköjärjestelmä. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/suomen-sahkojarjestelma/>>. Luettu 13.12.2020.
- 7 Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018. Verkkoaineisto. Fingrid. <<https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttovarman-sahkonsiirto/vjv2018.pdf>>. 16.11.2018. Luettu 13.12.2020.
- 8 Täytä Carunan yleistietolomake. Verkkoaineisto. Caruna. <<https://www.caruna.fi/urakoitsijoille/tayta-yleistietolomake>>. Luettu 13.12.2020.
- 9 ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Verkkoaineisto. ABB. <http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/09_0_Loistehon%20kompensointi%20ja%20ylyllaallot.pdf>. Luettu 7.1.2021.
- 10 Invertteri. Verkkoaineisto. Aurinkovirta.fi. <<https://www.aurinkovirta.fi/aurinkosahko/aurinkovoimala/invertteri/>>. Luettu 13.12.2020.