

Keskijänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon

Kulutusliittymän liittämisen ohjeiden päivittäminen Caruna Oy:lle

Tiivistelmä

Tekijä Eetu Nurmio	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Valmistumisaika 2024
	Sivumäärä 45	
Työn nimi Keskijänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon Kulutusliittymän liittäminen ohjeiden päivittäminen Caruna Oy:lle		
Tutkinto ja koulutusala Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka		
Toimeksiantajaorganisaatio Caruna Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää Carunan keskijänniteliittymän tilausprosessia sekä siihen liittyviä ohjeistuksia. Keskijänniteliittymien kysyntä sekä tarve ovat kasvussa koko Suomessa energiankulutuksen kasvun myötävaikutuksesta. Energiamurros lisää sähköverkkojen tarpeellisuutta sähköistyvässä yhteiskunnassa. Tällöin on oleellista, että yksi Carunan tärkeimmistä prosesseista on ajan tasalla ja toimii kustannustehokkaasti. Keskijänniteliittymän saattaminen tarjouskyselystä aina kytkentään asti on pitkä ja monivaiheinen prosessi, jolloin selkeät ohjeet yksinkertaistavat ja nopeuttavat asiakkaita, sähkösuunnittelijoita sekä -urakoitsijoita.</p> <p>Yhtenä päätavoitteena oli myös yhtenäistää keskijänniteliittymän tilausprosessi Carunan kanavastrategian mukaiseksi. Yhteydenotot asiakkailta, sähkösuunnittelijoilta sekä urakoitsijoilta ovat tyypillisesti hyvin samankaltaisia. Kehittämällä ja lisäämällä olemassa olevan tiedon määrää pyritään saavuttamaan kustannustehokkaammat toimitatavat tekemisessä.</p> <p>Carunalla ohjeistukset uusista sähköliittymistä sekä niiden liittämisestä sähköverkkoon on pääasiassa hyvällä tasolla. Tulevaisuudessa kuitenkin keskijänniteliittymien rakentamis- ja liittämisosat vaativat lisäohjeistuksia. Tuotantokohteiden muokkauksen tekniikan kehittyessä sekä sähkövarastojen lisääntyvä määrä sähköverkossa ovat seikkoja, jotka vaativat täsmennyksiä sekä Carunalla että valtakunnallisesti.</p>		
Asiasanat sähköverkko, sähköliittymä, keskijännite, sähköasema		

Abstract

Author Eetu Nurmio	Type of Publication Thesis, UAS	Published 2024
	Number of Pages 45	
Title of Publication Connecting medium voltage connection to electrical grid Updating the instructions for connecting the consumption connection to Caruna Oy		
Degree, Field of Study Engineer (UAS), Energy and Environmental Engineering		
Organisation of the client Caruna Oy		
Abstract <p>The purpose of the thesis was to update the order process for Caruna's medium voltage connection, and the instructions related to it. The demand and need for medium-voltage connections are increasing throughout Finland due to the contribution of the increase in energy consumption. The energy transition increases the necessity of electricity networks in an electrifying society. In this case, it is essential that one of Caruna's most important processes is up to date and works cost-effectively. Getting the medium voltage connection from the request to activating the connection is a long and multistep process, where clear instructions simplify and speed up customers and electrical contractors.</p> <p>One of the main goals was also to unify the order process for the medium voltage connection in line with Caruna's channel strategy. Contacts from customers, electrical designers and contractors are typically very similar. By increasing and developing the amount of existing information, the aim is to achieve more cost-effective ways of doing things.</p> <p>At Caruna, the instructions for new electrical connections and their connection to the electrical network are mainly at a good level. However, in the future, the construction and connection methods of medium voltage connections will require additional guidelines. The modification of production sites as technology develops and the increasing amount of electricity storage in the electrical grid are issues that require clarification at Caruna and nationwide.</p>		
Keywords electrical grid, electricity connection, medium voltage, substation		

Sisällys

1	Johdanto.....	1
2	Caruna.....	2
3	Suomen sähköverkon rakenne	4
3.1	Sähkönjakelu ja energiamurros	4
3.2	Kantaverkko	8
3.3	Suurjännitteinen jakeluverkko.....	10
3.4	Jakeluverkko	10
3.5	Valvonta	11
4	Keskijänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon.....	13
4.1	Keskijänniteliittymän suunnittelu	13
4.1.1	Toimitusaika	15
4.1.2	Hinnoitteluperiaatteet.....	16
4.2	Tekniset vaatimukset.....	18
4.2.1	Yleiset ehdot.....	18
4.2.2	Liittymiskaapeli	18
4.2.3	Suojaus	20
4.2.4	Loistehon kompensointi.....	22
4.3	Liittämiskohta	22
4.3.1	Sähköasema	22
4.3.2	Kytkemö	24
4.3.3	Sisäkojeistotila.....	29
4.4	Liittymän rakentaminen	30
4.5	Turvallisuus	31
4.6	Liittyminen sähköverkkoon	32
5	Työn tulokset	33
5.1	Kokonaiskuva.....	33
5.2	Uudet ohjeistukset.....	35
5.3	Kehittämiskohdat nyt ja tulevaisuudessa	40
6	Yhteenveto ja pohdinta	41
	Lähteet	43

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet

ANSI	American National Standards Institute
EV	Energiavirasto
ISO	International Organization for Standardization
KJ	Keskijännite
kPa	Kilopascal
kV	Kilovoltti
kVA	Kilovolttiampeeri
KVM	Kapasiteettivarausmaksu
kW	Kilowatti
MVA	Megavoltiampeeri
MW	Megawatti
PJ	Pienjännite
SFS	Suomen Standardisoimisliitto
SJ	Suurjännite
SJV	Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset
V	Voltti
VJV	Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset
A	ampeeri
C_0	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi
f	taajuus
I_e	maasulkuvirran itseisarvo
U	verkon pääjännite

1 Johdanto

Energiamurros on merkittävä tulevaisuuden haaste, joka näyttäytyy nyt Suomessa suuremmin kuin koskaan. Aiheesta on uutisoitu lisääntyvissä määrin jo pitkään, mutta sen hahmottaminen ja laajuus on ymmärrettävissä tosiasiallisesti vasta nyt kun ensimmäiset sen mukana tuomat ongelmat ovat konkretisoitumassa. Energiamurros tarkoittaa uusiutuviin energialähteisiin siirtymistä ja fossiilisten polttoaineiden hylkäämistä, jopa kokonaan. Räjähdyksmäisesti sähköistyvä yhteiskunta liikenteen- ja asumisen sektorilla tuo lisähaasteita sähköjakelulle. Sähköistyvä kaukolämmöntuotanto on erinomainen esimerkki siitä, miksi sähkönkulutus tulee kasvamaan tulevaisuudessa suuresti. Sähköjakeluverkot ovat tämän muutoksen keskiössä ja sen mahdollistajia. Sähkönkulutuksen kasvu, tuotantomäärien lisääntyminen ja hajaantuminen aiheuttavat todellisia haasteita koko Suomen sähköverkkoinfrastruktuurille. Sähköverkon tulee kestää muuttuvat kulutus- ja tuotantokäyttötymiset. Sähkönsiirrosta ei saa tulla energiamurroksen ja samalla koko hiilineutraalin tulevaisuuden pullonkaulaa.

Keskijänniteliittymällä tarkoitetaan sitä että, jakeluverkkoyhtiön asiakas liittyy suoraan 20 kV:n keskijänniteverkkoon. Yleisin tehontarve kulutusliittymillä on vähintään 0,7 MVA ja tuotantoliittymillä 0,3 MVA. Tätä pienemmät liittymätehotarpeet pyritään pääsääntöisesti liittämään pienjänniteverkon 0,4 kV:n jännitetasoon. Keskijänniteliittymän hankkivia asiakkaita ovat tyypillisesti teollisuustoiminta, kauppakeskukset sekä sähköinen liikenne. Keskijänniteverkko on yksi merkittävimmistä osa-alueista sähköverkossa. Sen oikeanlaisella suunnittelulla sekä käytöllä voidaan taata toimintavarma ja laadukas sähköjakelu jopa yli 50 vuoden päähän.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia ja etsiä kehityskohteita Carunan keskijänniteliittymien toimitus- sekä liittämisprosesseissa. Sähköliittymän liittäminen sähköverkkoon vaatii monia toimenpiteitä, jotta käyttöönotto sujuu nopeasti, kustannustehokkaasti, mutta samalla äärimmäistä turvallisuutta noudattaen. Caruna haluaa helpottaa sekä edesauttaa asiakkaidensa, heidän sähkösuunnittelijoiden sekä sähköurakoitsijoiden työtä yksinkertaistamalla uuden keskijänniteliittymän tilausprosessia. Prosessia tehostetaan ja parannetaan, jotta liittymän suunnittelu, toteutus ja kytkentä sähköverkkoon olisi mahdollisimman yksinkertaista. Caruna osaltaan auttaa asiakkaita liittymään sähköverkkoon kulutus- tai tuotantotarkoituksessa. Ratkaisuehdotuksilla sekä päivittyvillä ohjeistuksilla voidaan keskittää resursseja oikeisiin kohteisiin ja saavuttaa parempi tehokkuus niin asiakkailla kuin Carunalla. Toimiva prosessi edesauttaa asiakkaita, mutta samalla yhteiskuntaa sähköistymisen uudella valtakaudella.

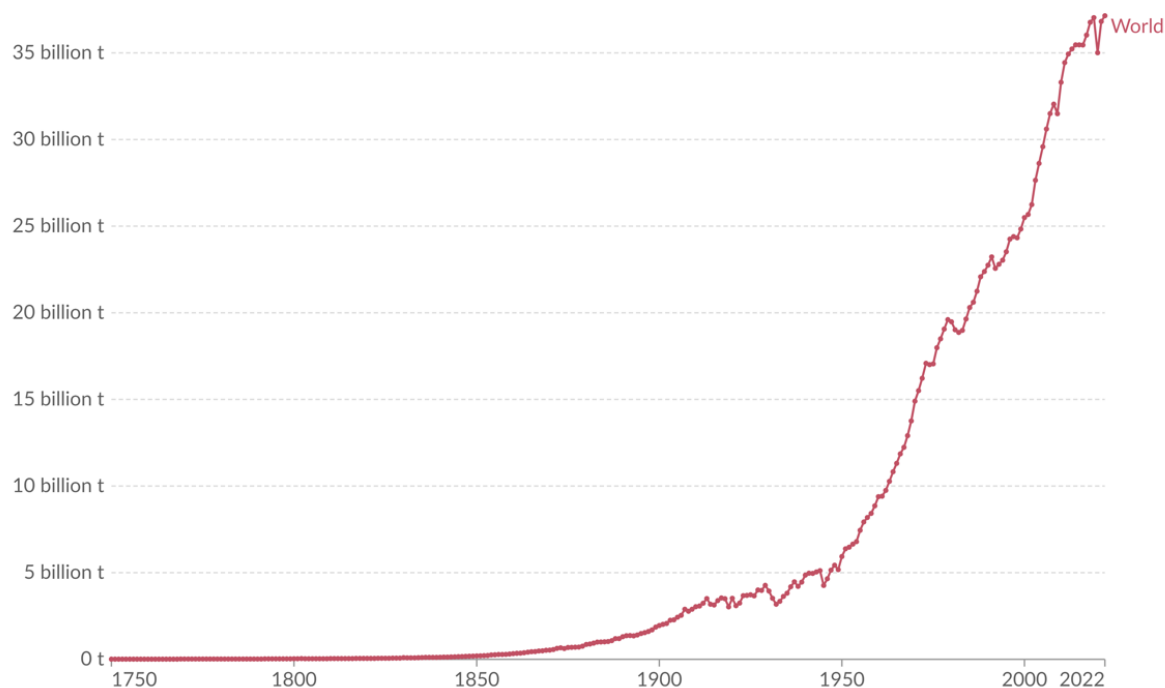
Caruna Oy:n asiakasmäärä oli vuoden 2023 lopussa 492 000 ja Caruna Espoo Oy:n asiakasmäärä 245 000. Yhdessä nämä kaksi yhtiötä muodostavat Carunan, joka on Suomen suurin sähköverkkoyhtiö yli 700 000 asiakkaalla. Osuus koko Suomen sähkönjakelusta vastaa n. 20 %. (Caruna 2023.) Caruna työllisti 2023 vuoden lopussa noin 280 työntekijää, joista suurin osa työskentelee Espoon toimistolla asiantuntija- sekä projektinhallintatehtävissä.

3 Suomen sähköverkon rakenne

3.1 Sähkönjakelu ja energiamurros

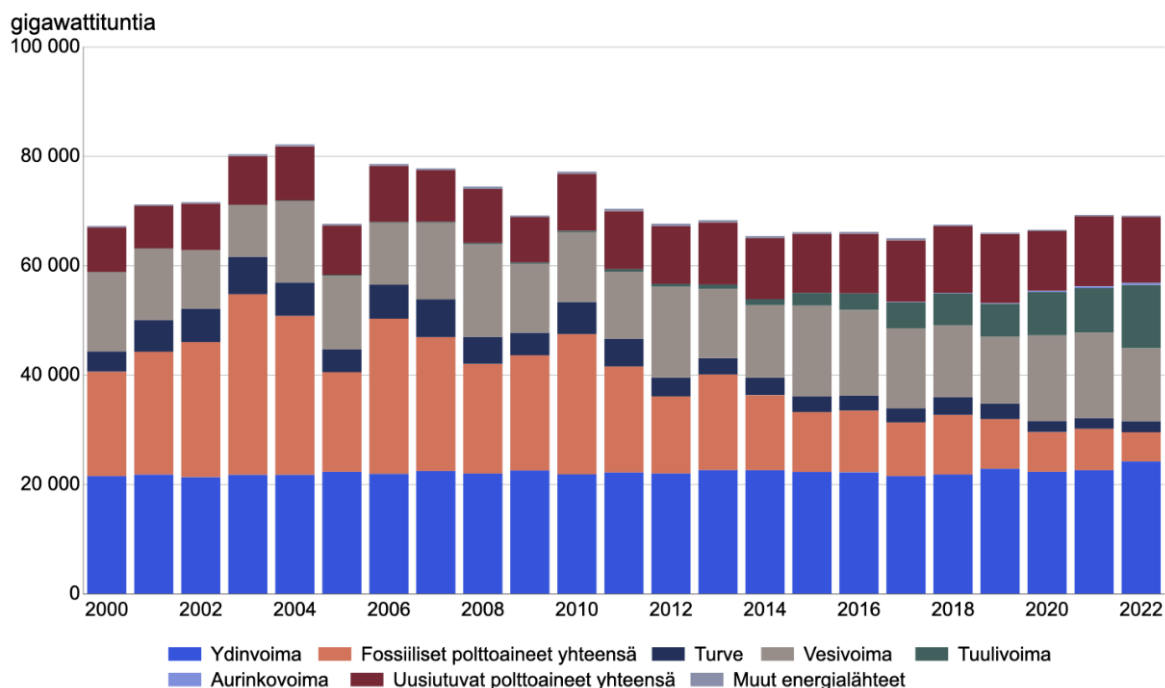
Sähkönjakelu eli sähköverkkotoiminta on Suomessa luvanvaraista toimintaa, jota valvoo ja ohjaa Energiavirasto. Tällä hetkellä Suomessa toimii noin 80 sähköverkkoyhtiötä, joilla kaikilla on tarkkaan rajatut ja määrätyt toimialueet (Energiateollisuus b). Sähköverkkoyhtiöiden määrä on laskenut sen huippuvuosista, jolloin parhaimmillaan eri jakeluyhtiöitä on ollut yhtäaikaisesti jopa moninkertainen määrä nykytilanteeseen verrattuna. Osin tähän on syynä se, että Suomen sähköistyessä 1900-luvun alkupuolella sähköverkot olivat hyvin paikallisia ja pienien sähköyhtiöiden omistuksessa. Koko Suomen sähköistyessä 1980-luvun aikana verkkomäärät ja alueet olivat kasvaneet jo huomattavasti, jolloin sähköyhtiöt ovat yhdistäneet liiketoimintojansa ja sulautuneet toisiinsa. Tällä hetkellä Suomen suurimpiin jakeluverkkoyhtiöihin lukeutuu Caruna, Elenia Verkko Oyj sekä Helen Sähköverkko Oy. (Energiateollisuus b) Sähköverkon eri osa-alueet voidaan jakaa kolmeen tyypilliseen luokitteluun, joissa jokaisella on hieman erilainen rakenne ja rooli sähkönsiirrossa ja sen merkittävydessä.

Suomen ja koko maailman kasvava luonnon- ja energiavarojen käyttö on ajanut meidät tilanteeseen, jossa ilmastonmuutosta on pystyttävä hillitsemään välittömästi. Tämä on johtanut tilanteeseen, jossa ilmastonmuutoksen tuomat vaikutukset määrittävät tulevaisuuden kulkua yhä suuremmin kuin aiemmin on osattu edes epäillä. Kuviossa 1 esitettynä maapallon vuosittaiset CO₂ -päästöt. Hiilidioksidipäästöissä on huomattavissa erittäin massiivinen nousu, joka tulisi saada pysähtymään.



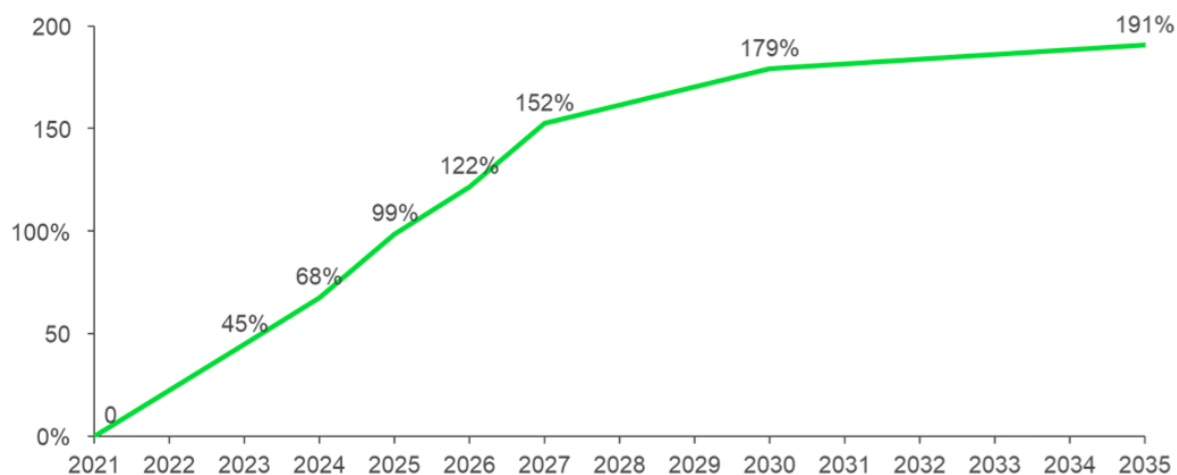
Kuvio 1. Maapallon hiilidioksidipäästöt vuosilta 1750–2022. (Ritchie & Roser 2024)

Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi on välttämätöntä, että energian käyttö muuttuu hiilineutraaliksi, mahdollisuuksien mukaan jopa hiilinegatiiviseksi. Tässä tavoitteessa onnistumisessa erittäin suurta roolia edustaa fossiilisista polttoaineista luopuminen sekä korvaavia hiilineutraaleja energiantuotantomuotojen hyödyntäminen. Kuvioista 2 on havaittavissa, että kehityssuunta on oikeanlainen, mutta lisätoimia edelleen tarvitaan. Tuulivoiman kasvava osuus tuotannossa näkyy jo vuonna 2022 selvästi. Fossiilisten polttoaineiden osuus sähköntuotannosta on vähentynyt merkittävästi vuodesta 2000-luvun alun jälkeen.



Kuvio 2. Sähkön tuotanto Suomessa vuosina 2000–2022 (Tilastokeskus)

Kasvava energiamurros tuo mukanaan suuria haasteita niin kanta- kuin jakeluverkkoyhtiöillekin. Energiankulutukseen on ennustettu erittäin suuria muutoksia esimerkiksi Espoossa, jossa vuoteen 2021 verrattuna on ennustettu, että sähkön huipputehotarve tulee kasvamaan 110 % vuoteen 2030 mennessä ja 127 % vuoteen 2040 mennessä. Tämä selittyy muun muassa liikenteen ja kaukolämmön sähköistymisellä. Sähköverkolle tehotarpeen kasvu aiheuttaa ongelmia, mikäli tarvittavia investointeja ei pystytä tekemään. Mahdollista myös on, että sähköjakelu koituu Suomen sähköisen tulevaisuuden rajoittavaksi tekijäksi. Investoinnit sähköverkkoon on pystyttävä turvaamaan nyt ja tulevaisuudessa. (Caruna e.) Caruna Espoo Oy:n verkkoalueelle mallinnettu huipputehon kehittyminen vuosille 2021–2035 esitettyä kuviossa 3. Ennusteesta on nähtävillä suuri kasvu, jonka mahdollistaminen vaatii koko sähköverkolta paljon.



Kuvio 3. Caruna Espoo Oy:n verkkoalueen hiipputehon kehittyminen vuosina 2021–2035 (Caruna k)

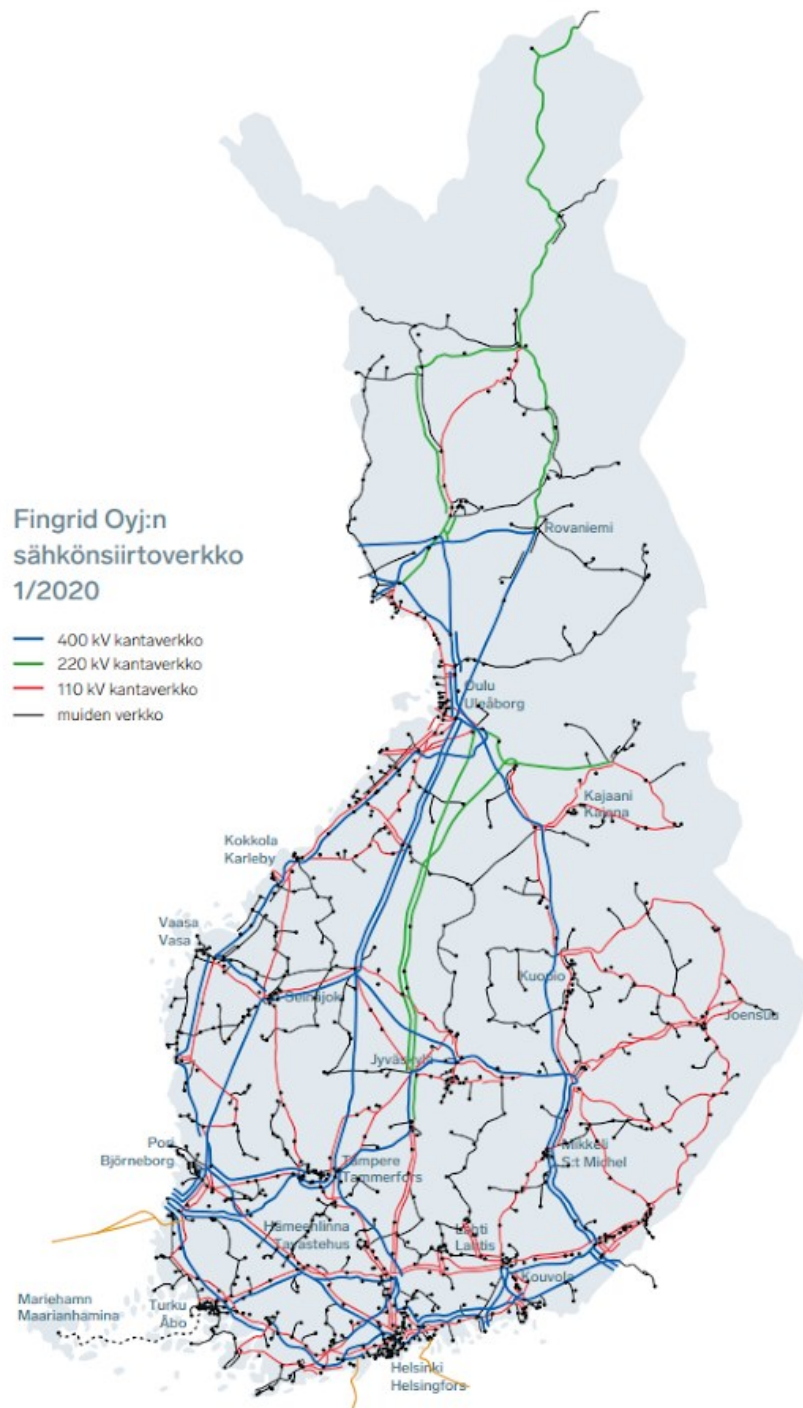
Sähkön kulutustottumusten muutosten lisäksi myös sähkön tuotanto on kokemassa tulevaisuudessa suuria muutoksia. Pientuotantomäärien kasvu ja sähköverkkoon liitettävien akkujen eli sähkövarastojen määrä on kokenut suuren kasvun hyvin lyhyen ajan sisällä. Vuoden 2023 loppuun mennessä Carunan verkkoon oli liitettynä noin 290 MW aurinkosähkön tuotantoa. Kappalemäärissä tämä vastaa noin 28000 asiakasta. (Caruna e.)

Sähkövarastot sekä tuotantomäärien lisääntyminen ovat erinomainen esimerkki siitä, millaiseen suuntaan koko sähköjakelun on mukauduttava. Kulutus- ja tehohippuja on pakko pyrkiä tulevaisuudessa tasaamaan ja ennustamaan nykyistä paremmin, kulutuksen ja tuotannon on vastattava kysyntää. Koko Suomen sähköjärjestelmän kannalta on erinomaista, että sähkövarastoja rakennetaan ja liitetään verkkoon. Suurien akkujen tarkoituksena on pääsääntöisesti auttaa sähköjärjestelmää joustamaan. Lähtökohtaisesti tämä tapahtuu Fingridin taajuusreservimarkkinoilla tasapainottamalla sähköverkon taajuutta. (Fingrid c.)

Pientuotannon lisääntyminen ja hajaantuminen on tuonut mukanaan myös uusia ja erilaisia haasteita koko sähköverkon toiminnalle. Aiemmin on ollut selvää, että sähkövirtaa tuotetaan suurjännitteisessä jakeluverkossa ja kulutetaan infran loppupäässä. Tuotannon lisääntyminen ja hajaantuminen koko sähköverkon alueelle lisää turvallisuusriskejä, mutta samalla kulutuksen- ja kysynnän jouston tulee lisääntyä. Tuotantomäärien lisääntyminen voi aiheuttaa haasteita muun muassa sähköverkon suojalaitteissa, ylijännitteenä sekä sähkön laatupoikkeamina. (Lakervi. & Partanen 2009, 209–212.) Selvää on myös, että sähköverkkoyhtiöille ilmoittamatta jääneet tuotantolaitteistot sähköverkossa aiheuttavat merkittävän riskin muun muassa sähköurakoitsijoille. Työ- ja vikakeskeytyksissä ilmoittamatta jääneet tuotantolaitteistot voivat aiheuttaa suuren turvallisuusriskin, jos tuotantolaitteistoa ei ole erotettu sähköverkosta.

3.2 Kantaverkko

Suomen kantaverkon omistaa Fingrid Oyj, joka vastaa valtakunnallisesti kantaverkon sähkönsiirrosta pois lukien Ahvenanmaan maakunnan, jossa sähköjakelusta huolehtii Kraftnät Åland. Fingrid on Energiaviraston toimesta määrätty Suomen sähköverkon järjestelmävastavaksi, joka tarkoittaa Suomen sähköverkon ylläpitämistä toimintakuntoisena sekä muun muassa kulutuksen ja tuotannon pitämisen tasapainossa eli niin kutsutun tehotasapainon ylläpitämisen. Suomen kantaverkosta on siirtoyhteys myös Ruotsiin, Norjaan, Viroon sekä Venäjälle. Kantaverkkoa operoidaan 110–400 kV:n jännitetasossa. (Fingrid b.) 500 kV:n jännitettä käytetään Fingridin toimesta valtioiden välisissä siirtoyhteyksissä ja näin tapahtuu muun muassa Rauman Rihtniemellä, josta on merikaapelilla siirtoyhteys Ruotsiin. Kuvasta 2 voimme havaita, kantaverkko muodostaa Suomen sähköjakelun perustan.



Kuva 2. Suomen sähköverkon siirtoyhteydet (Fingrid 2020)

Kantaverkossa siirtomatkat sähköasemien välillä ovat pidempiä, jolloin suurempi jännite auttaa hillitsemään sähkön siirrossa syntyvää häviösähkön määrää. Sähkön siirrossa syntyvä häviö muodostuu pääosin virtalämpöhäviöistä. Häviösähköä muodostuu kaikilla jännitetasoilla, mutta myös muuntajat sekä muut sähkölaitteet aiheuttavat häviötä. Häviösähkön määrää on mahdollista vähentää verkon optimaalisella rakentamisella ja operoimalla verkkoa tehotarpeisiin vastaavilla osilla.

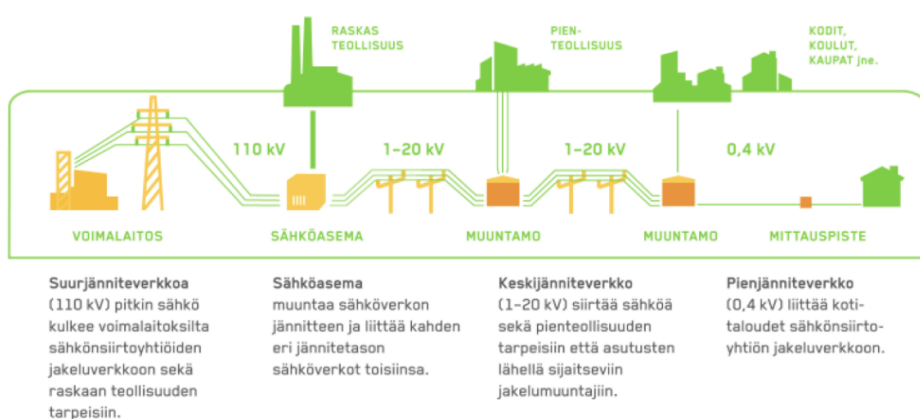
3.3 Suurjännitteinen jakeluverkko

Suurjännitteisellä jakeluverkolla tarkoitetaan nimellisjännitteeltään tyypillisesti 110 kV:n sähköverkkoa, jonka omistaa paikallinen sähköverkkoyhtiö. Suomessa suurjännitteisen jakeluverkonhaltijoita on vain noin 10. Suurjännitteistä jakeluverkkoa pitkin sähkö siirretään voimalaitoksilta sähköasemien kautta jakeluverkkoon sekä muun muassa suurjännitettä tarvitseville asiakkaille. (Energiavirasto b.) Suurjännitettä tarvitsevia asiakkaita ovat tyypillisesti raskas teollisuus, voimalaitokset sekä kaukolämpölaitokset.

Suurjännitteisen jakeluverkon ollessa yleensä 110 kV, voidaan verkko ulkomuodoltaan helposti sekoittaa kantaverkkoon. Suurjännitteisen jakeluverkon ja kantaverkon määrittelykriteerit ovat kuitenkin tarkat ja niiden tehtävät ovat erilaiset. Kantaverkonhaltijalla eli Fingridillä on merkittävä yhteiskunnallinen vastuu sähköjärjestelmän tasapainosta sekä ylläpitää tasapuolista mahdollisuutta liittää verkkoon tuotanto- ja kulutuspiisteitä.

3.4 Jakeluverkko

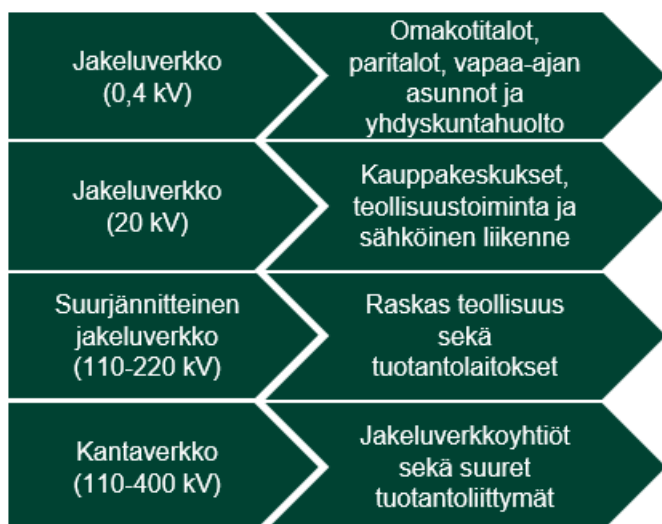
Jakeluverkko tarkoittaa alle 110 kV sähköverkkoa, jonka omistavat alueelliset sähköverkkoyhtiöt. Jakeluverkko muodostuu pien- sekä keskijänniteverkosta. Tämän lisäksi jakeluverkkoon lukeutuu jakeluverkonhaltijan maakaapelit, ilmajohtoverkko, muuntamot sekä muun muassa jakokaapit. Jakeluverkolla tyypillisesti tarkoitetaan siis koko 0,4–20 kV:n (0,4–45 kV) sähköverkkoinfraa aina verkonhaltijan ja asiakkaan väliseen liittämiskohtaan saakka, joka toimii verkkoyhtiön ja asiakkaan välisenä vastuurajana.



Kuva 3. Sähköverkon yleinen rakenneperiaate (Caruna e.)

Sähköverkon yleinen rakenne- ja toimintaperiaate on esillä kuvassa 3. Tässä kantaverkkoa, suurjännitteistä jakeluverkkoa ja alle 110 kV jakeluverkkoa ei ole eritelty edellä esitetyllä

tavalla. Kuva antaa kuitenkin hyvän käsityksen siitä, mitä sähkönsiirto voimalaitoksilta asiakkaille edellyttää. Jännitetasojen vaihtelut sekä sähköverkon tärkeimmät komponentit kuten sähköasemat ja muuntamot ovat kuvassa esillä.



Kuva 4. Sähköverkon tyypilliset asiakkaat jännitetasoittain

Sähköverkon muuttuneiden kulutus- ja tuotantotottumusten myötävaikutuksesta sen on pystyttävä vastaamaan nyt sekä tulevaisuudessa aiempaa suurempiin haasteisiin. Kuvassa 4 esillä olevat jännitetasot sekä niihin tyypillisesti liittyvät asiakasryhmät. Aiemmin on ollut selvää, että tuotanto tapahtuu vain suurjännitteisessä- tai kantaverkossa. Hajautettu ja lisääntynyt tuotanto on lisännyt sähköverkon monipuolisuutta.

3.5 Valvonta

Sähköverkkotoiminta on erittäin tarkkaan säädelyä- ja valvottua toimintaa. Sääntelyn yhtenä päätavoitteista on taata kuluttajille kohtuulliset hinnat sekä laadukas ja toimintavarma sähköverkko. Vastuu energia-alan sääntelystä on työ- ja elinkeinoministeriöllä, joka muun muassa valmistelelee uusia esityksiä hallitukselle ja eduskunnalle. Toimintaa kuitenkin valvoo sekä ohjaa energiavirasto. (Energiavirasto b.)

Yhtenä näkyvimpänä ja tärkeimpänä Energiaviraston tehtävistä on valmistella valvontajaksomenetelmät sekä niiden sisältämät hinnoittelukäytännöt aina kahdeksan vuoden jaksoksi. Valvontajaksomenetelmiin sisällytetään sähköverkkoyhtiöille kehykset, joiden sisällä yhtiöiden tulee pysyä. Valvontajaksolla pyritään saamaan kohtuulliset hinnat kuluttajille, mutta myös kohtuullinen tuotto sähköverkkoyhtiöille. Lainsäädännön noudattaminen ja

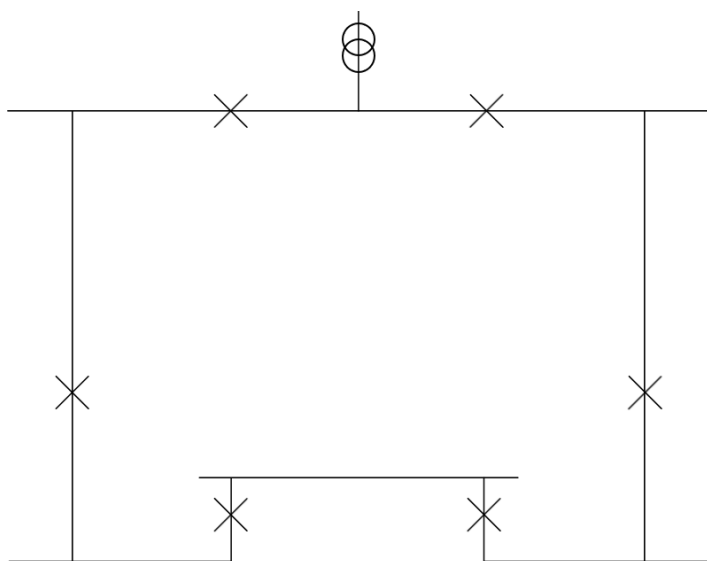
oikeaoppisen oikeuskäytännön valvominen on tärkeä osa Energiaviraston toimintaa ja sähkönsiirtomonopolin valvontaa. (Energiavirasto a.) Hinnoitteluperiaatteiden ja kannustimien tulee olla sähköverkkoyhtiöille järkeviä. On tärkeää, että jakeluverkkoyhtiöillä on halu ja mahdollisuus tukea asiakkaita niin uusien sähköliittymien osalta kuin energiamurroksen mahdollistamisen kannalta.

4 Keskiänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon

4.1 Keskiänniteliittymän suunnittelu

Keskiänniteliittymällä tarkoitetaan sähkönkäyttöoikeutta, sekä oikeutta liittyä sähköverkkoyhtiön keskiänniteverkkoon. Yleensä liittymällä tyypillisesti myös tarkoitetaan tontilla fyysisesti sijaitsevaa sähköverkkoa sekä yleisimmin toimivaa liittämispistettä eli kytkemöä sekä siihen kuuluvaa kojeistoa. Nykyisin uudet keskiänniteliittymät liitetään Carunalla aina 20 kV:n jännitetasoon, mutta yhä tänä päivänäkin on tapauksia, joissa liittymä on keskiänniteverkossa 6 kV – 45 kV:n jännitetasossa. Tällaiset kohteet tuottavat haasteita niin Carunalle verkon kehittämisen kannalta, kuin asiakkaan laitteistolle. Keskiänniteverkon saneeraus 20 kV:n jännitetasoon aiheuttaa asiakkaille mahdollisesti jopa kohtuuttomia oman laitteiston vaihto- ja saneeraustarpeita. Jännitetasomuutoksessa kustannus- ja vastuunäkökulma on tällöin ongelmallinen verkonhaltijan kannalta, jos asiakas ei uusi laitteistoaan standardien vaatimalle tasolle. (Kokkonen 2023.)

Carunalla keskiänniteverkot suunnitellaan pääasiallisesti rengasverkoksi. Tällaisen käyttövarman verkon suunnittelu- ja toimintatapa tarjoaa laajempia käyttömahdollisuuksia työ- ja vikakeskeytyksissä. Rengasverkossa työ- tai vikakeskeytyksen katkokohdan löytymisen jälkeen, sähköä voidaan syöttää asiakkaille toisesta lähdöstä. Rengasverkolla on siis mahdollista päästä tilanteeseen, jossa vika keskiänniteverkossa ei aiheuta keskeytystä asiakkaille lainkaan. Siitä huolimatta, että KJ-verkko suunnitellaan ja rakennetaan rengasverkoksi, käytetään sitä kuten tavallista PJ-verkkoa eli säteittäisenä. Säteittäisverkkoa kuormitetaan vain yhdestä suunnasta, jolloin häiriötä kokevien asiakkaiden määrä on huomattavasti suurempi. (Kokkonen 2023.)



Kuva 5. Mallinnus rengasverkosta

Keskijänniteverkon oikeanlaisella suunnittelulla sekä rakentamisella, voidaan saavuttaa rengasverkolle ominaiset hyödyt. Kuvassa 5 jokainen rasti merkitsee sähkökäyttöpaikkaa eli esimerkiksi kytkemöä. Verkkoa syöttävä sähköaseman muuntaja on tässä tapauksessa kuvan ylälaidassa ympyröillä merkittynä.

Uutta keskijänniteliittymää tai KJ-verkkoprojektia Carunalla käsittelee yleissuunnittelutiimi, joka suunnittelee uuden KJ-verkon tekniset sekä tehotarpeelliset vaatimukset ja piirtää suunnitelman toteutuksesta. Lopullisen esisuunnittelun ja maastokäynnin suorittaa Carunan alueelliset kumppaniurakoijat. He myös tekevät lopullisen sähköisen suunnitelman, jolloin selviää myös taloudelliset kustannukset ja liittymän lopullinen hinta muodostuu asiakkaalle.

Carunalla asiakastyytyvyyteen ja toimitustäsmällisyyteen panostetaan jatkuvasti. Toimitustäsmällisyydellä tarkoitetaan tilauksen tai palvelun onnistunutta toimitusta tavoiteajassa. Päästäkseen tähän tavoitteeseen tulee erilaiset prosessit ja niihin vaikuttavat tekijät tiedostaa kokonaisvaltaisesti. Yksi tärkeimmistä prosesseista on uuden liittymän tilaus, jonka tulee edetä asiakkaan sekä heidän sähkösuunnittelijoidensa kannalta ymmärrettävästi. Kuvassa 6 havainnollistetaan asiakkaan kulkemaa polkua uuden keskijänniteliittymän tilaamisen eri vaiheissa



Kuva 6. Keskijänniteliittymän tilausprosessi

Keskijänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon on laajuudeltaan PJ-liittymiä monimutkaisempi sekä pidempi prosessi kokonaisuutena, sillä liittymän suunnittelu vaatii enemmän verkon tarkastelua ja käyttöönottoprosessi on monimutkaisempi kuin PJ-liittymillä. Asiakkaan kulkemaa tilauspolkua voidaan kuvata seuraavalla tavalla lyhyesti ja yksinkertaistettuna:

- asiakkaalla syntyy tarve keskijänniteliittymälle
- asiakkaan tulee ottaa yhteyttä Carunaan hyvissä ajoin ja lähettää tarjouspyynnöllä tiedot muun muassa liittymän tehon tarpeesta sekä sijainnista
- Caruna tarkastelee uuden liittymän liitettävyyttä ja tekee alustavan suunnitelman liittymän liitettävyydestä ja sijainnista

- allekirjoitetun liittymissopimuksen jälkeen asiakas sitoutuu liittymän toimitusehtoihin, jonka jälkeen alkaa verkon rakentaminen tai olemassa olevan verkon vahvistaminen
- Carunalle tulee toimittaa mittaus- ja tarkastuspöytäkirjat, KJ- ja PJ-kaaviot sekä käytönjohtajan tiedot. Käyttöpaikalla tulee myös olla voimassa oleva sähkösofimus
- asiakkaan sähköurakoitsija pyytää liittymän liittämistä sähköverkkoon Carunalle toimitettavalla yleistietolomakkeella, jossa vakuutetaan liittymän olevan hyvää asenustapaa noudattaen tehty ja valmiina kytkettäväksi.

Keskijänniteliittymillä prosessi on teoriassa hyvin samankaltainen kuin PJ-liittymillä, mutta tarkasteltavia dokumentteja on useampia. Myös liittymän mahdolliseen liitettävyyteen ja tulevaisuuden tehon tarpeen suurentamiseen kiinnitetään enemmän huomiota jo tilausvaiheessa. Vaadittujen dokumenttien ja pöytäkirjojen tarkistaminen luonnollisesti pidentää toimitusaikaa ja prosessin sujuvuuden kannalta on olennaista, että vaaditut dokumentit toimitetaan Carunalle hyvissä ajoin.

4.1.1 Toimitusaika

Keskijänniteliittymän toimitusaikaan vaikuttaa monet eri seikat ja muuttujat, mutta suurimpina ja yleisimpinä toimitusaikaa pidentävinä asioina voidaan mainita tällä hetkellä koko maailmaa ravisuttava materiaali- ja komponenttipula. Komponenttipulaan on monia erilaisia syitä. Alkunsa se sai koronapandemiasta, jolloin muun muassa tehtaita suljettiin. Enston toimitusjohtaja Hannu Keinäsen mukaan haasteena on myös raaka-aineiden huono saatavuus sekä hintojen nousu (Pitkänen 2022). Erityisesti toimitusaikaa Carunan keskijänniteliittymillä pidentävät kytkemöiden ja muuntamoiden komponenttien vaikea saatavuus.

Uuden KJ-liittymän toimitusaika Carunalla on tällä hetkellä noin 6–8 kuukautta, mutta toimitusaikaa voi pidentää edellä mainitut asiat. On myös hyvä muistaa, että toimitusaika alkaa vasta siitä, kun Caruna on saanut verkon rakennusta varten tarvittavat maankäyttöoikeudet. Kun asiakkaalla on tiedossa sähköliittymän tehontarve, on suositeltavaa olla yhteydessä mahdollisimman pian. Muun muassa alueesta ja liittymistehosta riippuen, voi liitettävyydestä kasteluun mennä asiakkaan kannalta yllättävän kauan.

Energiaviraston julkaisema valvontamalli, joka astui voimaan 1.1.2024 vaikuttaa sähköverkko-yhtiöiden toimintaan huomattavasti. Valvontamalliin tulleilla muutoksilla on suuria vaikutuksia myös yhtiöiden kykyyn investoida sähköverkkoon. Tämä tarkoittaa myös muutoksia keskijänniteverkon ja -liittymien rakentamiseen. Vaikutukset ovat moniosaisia, mutta huomattavia kaikilla kriteereillä. Carunan toteuttamien sopeuttamistoimien takia liittymien

toimitusaikoja on jouduttu pidennetty huomattavasti. Sähköliittymän toimitusajat ovat kuitenkin sähkömarkkinalain 20 §:n mukaisesti lähtökohtaisesti 24 kuukautta. (Caruna 2024; Sähkömarkkinalaki 588/2013 20 §.)

4.1.2 Hinnoitteluperiaatteet

Keskijänniteliittymän liittymismaksu muodostuu aina tapauskohtaisesti, mutta on perusperiaatteeltaan kaikille asiakkaille samankaltainen ja tasapuolinen. Liittymismaksu koostuu aina kapasiteettivarausmaksusta sekä verkon välittömistä rakennus- ja laajennuskustannuksista eli oikealta termiltään välittömät laajennuskustannukset. Liittyessä keskijänniteverkkoon voidaan asiakkaalle koituvaa liittymismaksua kuvata alla olevan kaavan 1 mukaisesti.

$$c = a + b \quad (1)$$

jossa:

a on välittömät laajennuskustannukset

b on kapasiteettivarausmaksu (€/kVA)

c on liittymismaksu

Liittymismaksun muodostuminen on teoreettisesti yksinkertaista, mutta kokonaiskustannukseen vaikuttavia muuttujia ovat:

- Välittömät laajennuskustannukset koostuvat verkon rakennus- ja laajennuskustannuksista. Olemassa olevan verkon parantamisesta koituvia kustannuksia ei kuitenkaan saa veloittaa asiakkaan liittymismaksussa
- kapasiteettivarausmaksu tarkoittaa jo olemassa olevasta sähköverkosta varattavaa liittymistehoa liittymälle
- liittymismaksu pitää sisällään kaikki asiakkaalle koituvat kustannukset sähköverkkoyhtiölle, jotta liittymä voidaan ottaa käyttöön.

Sähköliittymän hintaan vaikuttaa näiden muuttujien lisäksi se, kummalla verkkoyhtiön alueella liittymä tulee sijaitsemaan. Caruna Espoo Oy:n alueella kapasiteettivarausmaksu on

edullisempi Caruna Oy:n liittymismaksuhinnastoon verrattuna. Tämä selittyy alueellisella eroavaisuudella. Caruna Oy:n toiminta-alue on kaupunkimaisempi ja verkkopituus (metriä/asiakas) on lähes 130 metriä enemmän kuin Caruna Espoo Oy:n jakeluverkkoalueella.

Liittämiskohta	Caruna Espoo Oy (alv 0 %)	Caruna Oy (alv 0 %)
Sähköasema	8,8 €/kVA	8,8 €/kVA
Kytkemö	16 €/kVA	55 €/kVA

Taulukko 1. Keskijänniteliittymän kapasiteettivarausmaksu molempien jakeluverkkoyhtiöiden alueella (mukailtu Caruna h.)

Verkon välittämistä rakennus- ja laajennuskustannuksista puhuttaessa, ei kyseessä ole Carunalle suoraan koituvat verkon rakentamiskustannukset. Carunan verkko-omaisuuden arvo kasvaa ja siihen sijoitettava rahasumma on huomattavasti suurempi kuin asiakkaalta voi, tai on edes järkevää periä. Liittymismaksua asiakkaalle on kohtuullistettu, ja verkon laajennuskustannuksissa noudatetaan energiaviraston luomaa hinnastoa verkkokomponenteista ja yksikköhinnoista. Liittymismaksua on siis kohtuullistettu asiakkaalle, ja riskiä verkon rakennuksesta siirretty sähköverkkoyhtiöille. Olemassa olevan sähköverkon laajennus- tai kehittämiskustannuksia ei voi sisällyttää liittymismaksuun.

Energiavirasto valvoo sekä tarvittaessa ottaa kantaa sähköverkkoyhtiöiden toimintaan ja menettelytapoihin muun muassa tutkintapyyntöjen perusteella. Sähköverkkoyhtiöiden hinnoittelun tulee olla kohtuullinen, tasapuolinen sekä syrjimätön kaikille asiakkaille. Sähkömarkkinalaissa todetaan liittämisvelvollisuudesta seuraavasti.

Verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää sähköverkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat, voimalaitokset ja energiavarastot toiminta-alueellaan. Liittämistä koskevien ehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla avoimia, tasapuolisia sekä syrjimättömiä, ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus. (Sähkömarkkinalaki 588/2013 20 §.)

Sähköverkkoyhtiöt toimivat luonnollisina monopoleina, mutta nykyisin on kuitenkin ymmärretty, että on yhtiön edun mukaista ”kilpailla” asiakkaista sekä heidän tyytyväisyydestään.

Suuret teolliset tuotantolaitokset ja nyt runsaasti lisääntyvät sähkövarastot ovat erinomaisia esimerkkejä siitä, millaisten toimijoiden on kannattavaa valita toimipaikkansa kustannuksien perusteella, joita heille syntyy. Liittymismaksu sekä sähkön siirrosta ja kulutuksesta syntyvien verkkopalvelumaksujen kustannukset ovat tyypillisesti suurimpia.

4.2 Tekniset vaatimukset

4.2.1 Yleiset ehdot

Liittyessä Carunan sähköverkkoon, tulee liittyjän hyväksyä ja noudattaa kulloinkin voimassa olevia Carunan liittymisehtoja. Carunan liittymis-, verkkopalvelu- ja sähköntoimintusehdot ovat Energiateollisuus ry:n hyväksymät ja suosittelemat. Ehdot tuodaan asiakkaan tietoon, ennen liittymissopimusten allekirjoitusta, jolloin asiakkaan ja Carunan välille luodaan selkeät säännöt ja vastuurajat. Teknisten vaatimusten ymmärtämisen kannalta on tärkeää, että asiakkaan ja Carunan välinen vastuuraja on selkeä ja ymmärrettävissä yksinkertaisestikin. Hyvin ja selkeästi ilmaistut liittymisehdot ovat ongelmien välttämisen perusta.

Asiakkaan kanssa käytävään vuoropuheluun on tärkeää panostaa, jotta mahdolliset väärinkäsitykset saadaan korjatuksi. Carunan asiantuntijoiden tulee myös tiedostaa työssään välttämättömät dokumentit. Verkkopalvelu- tai liittymisehtojen sisäistäminen ja tunteminen auttaa työssä jatkuvasti.

4.2.2 Liittymiskaapeli

Liittymiskaapelit on Carunan ohjeiden mukaisesti mitoittettava liittymän suurimman tehontarpeen mukaiseksi. Liittämispisteestä riippumatta, pätee liittymiskaapelin asennukseen, suojaukseen ja teknisiin vaatimuksiin samankaltaiset vaatimukset sekä noudatettavat standardit. Liittymiskaapeli tulee koteloida asianmukaisesti turvallisuus- ja palotekniset vaatimukset huomioiden. Etenkin sisäkojeistotilan liittymiskaapelin osalta vaatimukset ovat tiukat. Asennuksessa tulee ottaa huomioon kiinteistön ja käyttötilojen vaatimukset. Yleisesti käytössä oleva palosuojausvaatimus liittymiskaapeleille vaihtelee 30–60 minuutin välillä.

Asiakasta koskee liittymiskaapelin mitoituksen kuin koko sähkölaitteiston suojauksen osalta Carunan omat vaatimukset, sähköturvallisuuslain kuten myös muun muassa SFS 6000 -sarjan standardien vaatimukset. Suomessa keski- ja suurjännitekaapelin rakenne- ja testausvaatimuksia koskevat vaatimukset määritellään standardissa SFS 5636:2017. Standardi luo pohjan kaapeleiden asentamiselle sekä oikeanlaiselle valinnalle. (SESKO ry 2017)

Liittymää suunnitellessa on hyvä ottaa huomioon myös lähitulevaisuuden, tyyppillisesti vähintään viiden vuoden sähkökäyttötarpeen arvio ja ennuste. Mikäli liittymän kulutus- tai tuotantokäyttötymiseen on mahdollista ennustaa muutoksia, jotka vaikuttavat esimerkiksi liittymiskaapelin mitoittamiseen, on tyyppillistä, että kaapeli mitoitetaan jo tulevaisuuden kuormitustehoa vastaavaksi. Kustannukset kaapeleista ovat kokonaisuuteen nähden pieni osuus.

Johtolaji	Maksimikuormitusteho (MW)	Maksimietäisyys maksimikuormitusteholle (km)
AHXWP25 AHXAMK-WP 3x25	3,91	4,3
AHXWP50 AHXAMK-WP 3x50	5,5	5,8
AHXWP95 AHXAMK-WP 3x95	8,34	7,6
AHXWP150 AHXAMK-WP 3x150	10,7	9,3
AHXWP185 AHXAMK-WP 3x185	11,7	10,7
AHXWP240 AHXAMK-WP 3x240	13,7	12

Taulukko 2. Liittymiskaapeleiden mitoittustaulukko

Sähkökaapeleiden nimet ja merkintätavat koostuvat lyhenteistä, jossa jokainen kirjain ja numero merkitsee tiettyä sähkökaapelin ominaisuutta. Esimerkkinä taulukossa 2 esillä oleva AHXAMK-WP 3x25 -kaapelin nimi tulee sanoista:

- A = alumiini
- H = hohtosuojattu
- X = PEX-muovieristetty (vulkanoitu)
- W = vesistökäyttöön soveltuva
- P = pyöreä teräslanka
- (3x)25 = (3-johtiminen) johtimien paksuus 25 mm.

Tällainen vesitiivis alumiinivoimakaapeli on hyvin yleinen sen nykyaikaisen ja turvallisen käyttönsä ansiosta. Kaapelin monipuoliset ja turvalliset ominaisuudet antavat sille laajoja käyttömahdollisuuksia. Alumiinikaapelin hinta on myös edullisempi verrattuna kuparikaapeliin.

4.2.3 Suojaus

Keskijänniteverkon pääasiallinen yleissuojaus toteutetaan sähköasemilla sijaitsevilla ylivirta-, maasulku ja jälleenkytkentäreleillä. (Lakervi & Partanen 2009, 176.) Releiden tarkoitus on "aistia" verkon tilaa, jotta mahdollisissa vikatilanteissa katkaisijoita ohjaavat releet avaavat vikaantuneen verkon osan, jolloin muun verkon käyttö voi jatkua normaalisti. Nopealla verkon irti kytkemisellä on tärkeä rooli niin sähköaseman, asiakkaiden laitteistojen kuin ihmisten ja eläinten hengen turvaamiseksi. Tällöin sähkönsyöttö vialliselle johtolähdölle aukeaa ja sähkönsyöttö katkeaa.

Liittämiskohdan ollessa kytkemö tai sähköasema, on käytävä vuoropuhelua asiakkaan ja Carunan myynti- ja asiakaspäälliköiden kanssa, mutta tämän lisäksi Carunan suojausasiantuntijoiden kanssa. Kytkemön ja sähköaseman liittymiskenttien suojarelasettelut määritellään yhteisesti. Caruna kertoo verkkosivuston urakoitsijaohjeissaan (Caruna c.), että kytkemön liittymiskenttä kalustetaan suojarelällä, joka sisältää aina vähintään seuraavat toiminnot:

- *kolmiportainen suuntaamaton (/suunnattu) ylivirtasuojaja (ANSI 67)*
- *kaksiportainen suuntaamaton (/suunnattu) maasulkusuojaja (ANSI 67)*
- *katkeilevan maasulun suoja (ANSI 67NI)*
- *yksiportainen nolajännitesuojaja (ANSI 59N)*
- *virtaepäsymmetriasuojaja (ANSI 46)*
- *kaksiportaiset ali- ja ylijännitesuojat (ANSI 27, ANSI 59)*
- *kaksiportaiset ali- ja ylitaajuussuojat (ANSI 81L, ANSI 81H)*
- *pika- ja aikajälleenkytkennät (ANSI 79).*

Kaikkia suojarelleen toiminnallisuuksia ei ole kuitenkaan välttämätöntä tai edes järkevää ottaa käyttöön. On tyypillistä, että kytkemössä ei oteta käyttöön pika- ja aikajälleenkytkentää johtuen ohimenevän vian pienestä mahdollisuudesta, jolloin toiminnallisuus aiheuttaa suuremman riskin hyötyyn nähden. Käyttöön otettavat Carunan suojatoiminnallisuudet suojaavat Carunan laitteiston lisäksi myös asiakkaan kojeistoa, liittymiskaapelia sekä mahdollisesti muuta verkkoa. (Reikko 2024.)

Liittymän sujuvan ja turvallisen käyttöönoton takaamiseksi, on Carunan ja asiakkaan edun mukaista, että asiakas on yhteydessä Carunaan liittymiskennon suojarieleen asetteluiden määrittelyä varten hyvissä ajoin.

Caruna tarvitsee aina asiakkaalta selvityksen 20 kV:n laitteistojen tuottamasta maasulkuvirrasta. Asiakkaan sähköverkon aiheuttaessa yli 5 A maasulkuvirran, tulee asiakkaan huolehtia ylittävän osuuden kompensoinnista kiinteällä maasulkuvirran kuristimella. Aiemmin raja maasulkuvirralla on ollut 10 A, mutta tällöin asiakkaan suuri sisäverkko voi aiheuttaa ongelmia, vaikka KJ-kaapeli olisikin ylimitoitettua. Toimitettavasta dokumentista tulisi käydä selväksi liittymispisteen takaisten kaapeleiden yhteenlaskettu maasulkuvirta. Dokumentista tulee selvittää myös kaapelityypit sekä niiden pituudet.

Maasulkuvirta on laskettavissa käyttökapasitanssiarvon avulla, kun käyttöjännite on tiedossa. Kaapeleiden käyttökapasitanssiarvot ovat saatavilla valmistajien ja maahantuojien sivuilla. Maasulkuvirran itseisarvon suuruus vikaresistanssittomassa maasulussa voidaan laskea seuraavalla lausekkeella kuten kaavassa 2 on esitetty. (ABB)

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U \quad (2)$$

jossa:

ω on $2\pi f$

C_0 on verkon yhden vaiheen maakapasitanssi

U on verkon pääjännite.

Liittymän liittämiskohdan ollessa sähköasemalla, relesuojausten toiminnot sovitaan Carunan kanssa erikseen tapauskohtaisesti. Sähköasemaliitynnällä relesuojaukset eivät kuitenkaan tyypillisesti ole yhtä kattavia kuin kytkemössä. On kuitenkin erittäin tärkeää, että liittämiskohdan ollessa sähköasemalla asiakas on mahdollisimman varhaisessa vaiheessa yhteydessä Carunan asiantuntijoihin suojausasetteluihin ja sisällytettäviin toimintoihin liittyen. (Reikko 2024.)

4.2.4 Loistehon kompensointi

Lähes kaikki sähkölaitteet tarvitsevat toimiakseen pätötehon lisäksi loistehoa. Pätöteho on työtä tekevää tehoa, toisin kuin loisteho. Loisteho on kuitenkin välttämätön sähkölaitteen magneettikentän ylläpitämisen kannalta, mutta liian suuri määrä loistehoa sähköjakeluverkossa aiheuttaa ongelmia ja muun muassa ylimääräistä virran kasvua. Virran kasvu johtuu jännitteen ja virran välille muodostuneesta vaihesiirrosta. Sähköverkossa loistehon siirto aiheuttaa johtojen sekä muuntajien jännite-, teho- ja energiahäviöitä sekä vähentää pätötehon siirtokykyä. (Caruna d.)

Asiakkaan tulee Carunan ohjeistuksien mukaisesti kompensoida loistehoa, asentamalla lähtökohtaisesti kompensointilaitteisto käyttöpaikkakohtaisesti mittauksen jälkeen.

Suurimpana haittana asiakkaalle loistehon syntymisestä, on siitä koituvat kulut, joita verkoyhtiöt asiakkailta perivät. Mikäli liittymällä on takamittauksia nk. alamittauksia, vähennetään alamittauksien kulutus pääkäyttöpaikan mittauksesta. Loistehomaksun ollessa laskuttava komponentti alamittauksella, vähennetään loistehot päämittauksesta.

4.3 Liittämiskohta

4.3.1 Sähköasema

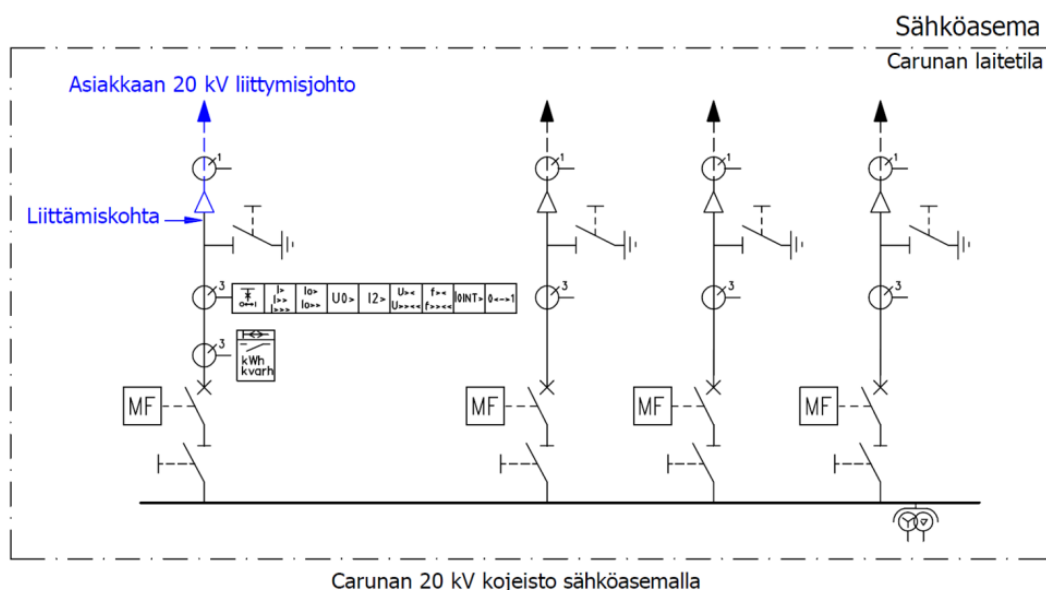
Sähköasemat toimivat jakeluverkon solmukohtina, niiden avulla sähkö siirretään niin keski- kuin pienjännitettä käyttäville asiakkaille. Sähköasemalla päämuuntaja muuntaa 110 kV:n suurjännitteen 20 kV:n keskijännitteeksi. Päämuuntajia voi sähköasemalla olla useampia, tai useammalle muuntajalle on yleisesti ainakin tilavaraus olemassa. Samalla kun sähköaseman kautta jakeluverkonhaltija siirtää sähköä tuhansille loppuasiakkaille, toimii sähköasema myös KJ-liittymä asiakkaiden liittämiskohtana, kun tehontarve on 5–15 MVA (Caruna c) MVA eli megavoltiampeeri kuvastaa tarvittavaa tehoa näennäistehona. Näennäisteho sisältää pätö- ja loistehon.

Sähköasemilla toimii KJ-verkon perussuojaus. Suojaus on toteutettu suojarileillä, jotka sijaitsevat sähköaseman kiskostossa ennen johtolähtöjä. Ennen johtolähtöjä sijaitsee katkaisijat, jotka toimivat suojarileiden avulla. Mikäli rele verkon tilaa arvioidessa havaitsee muun muassa vika- tai maasulkuvirtojen vaihtelua, johtolähtö aukeaa katkaisijalla. Sähköasemat ovatkin toiminnallisuuksiltaan ja ominaisuuksiltaan sähköverkon tärkeimpiä osia. Hyvin sijoitetulla ja kapasiteetiltaan riittävällä sähköasemalla on suuri merkitys verkon toiminnallisuuden sekä tulevaisuuden verkon kehittämistarpeeseen.

Sähköaseman toimiessa liittymän liittämiskohtana, tulee asiakkaalle liittymismaksuun sisällytettäväksi verkon välittömät laajennuskustannukset (Caruna h). Sähköasemalla näihin kuuliihin sisältyy muun muassa liittymiskennot sekä katkaisijat, jotka kuitenkin ovat verkonhaltijan omistuksessa ja hallinnassa.

Liittämiskohtana sähköasema on asiakkaalle tyypillisesti työläämpi ja vastuurajoiltaan suurempi. Asiakkaan vastuulla on kaivaa liittymiskaapeli sähköasemalle, jolloin hän on huolto- ja kunnossapitovastuussa liittymiskaapelista. Liittämiskohdat ovat kuitenkin tehorajojen puitteissa neuvoteltavissa, eli mikäli asiakkaan tehontarve on liittämishetkellä tai tulevaisuuden käytöntarpeenarvioinnilla 5–15 MVA, tulee liittymä liittää Carunan sähköasemalle. Käytännössä tämä tarkoittaa, että vaikka liittymän tehontarve olisi tällä hetkellä alle 5 MVA, mutta tulevaisuudessa yli, voidaan liittymä liittää sähköasemalle jo tässä vaiheessa, mikäli kapasiteetti tämän sallii.

Kuviossa 4 sähköaseman kytkentäkaavio, jossa on yksiselitteisesti näkyvissä asiakkaan ja verkkoyhtiön välinen vastuuraja.



Kuvio 4. Sähköaseman piirikaavio (Caruna. g.)

Oli sähköliittymän liittämiskohta sähköasema, kytkemö tai sisäkojeistotila, sijaitsee energian mittaus aina keskijänniteverkon puolella. Tämä on havaittavissa kuviossa 4, jossa liittymän liittämiskohtana on sähköasema. Energiamittari sijaitsee ennen liittämiskohtaa. Mikäli liittymälle halutaan useampia mittareita, tulee mittaus toteuttaa takamittauksina. Tämä

tarkoittaa, että mittauksen kulutus on erotettu liittymän pääkäyttöpaikan mittauksesta. Tällä toimintaperiaatteella liittymän pääkäyttöpaikan mittauksesta ei selviä alamittausten kulutus-tiedot. Carunan keskijänniteliittymien urakoitsijaohjeisiin (Caruna. c.) viitaten, on keskijän-niteliittymän takamittaukset mahdollista toteuttaa monella eri tavalla, mutta erityisten omi-naisuuksiensa takia tulee erityisesti varmistaa, että:

- takamittaukset asennetaan oman nousujohdon taakse
- takamittarit eivät ole peräkkäin
- energiamittarit sijoitetaan samaan tilaan, tai vaihtoehtoisesti rapuittain tai kerroksit-tain samaan paikkaan
- jokainen käyttöpaikka on oltava katkaistavissa Carunan toimesta pystyä katkaise-maan erikseen Carunan toimesta.

4.3.2 Kytkemö

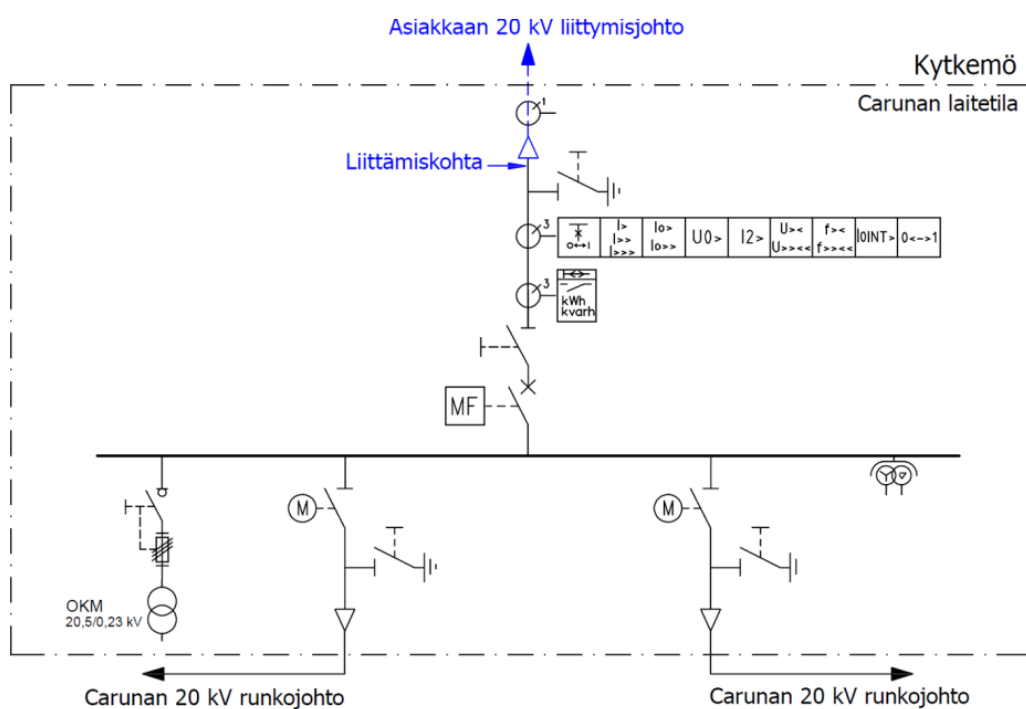
Uuden keskijänniteliittymän yleisin liittämiskohta Carunalla on nykyisin kytkemö. Tämä on verkon käytettävyyden ja vastuurajojen kannalta paras ratkaisu niin Carunan, kuin asiak-kaankin kannalta. Kytkemöä käytetään keskijänniteliittymän liittämiskohtana, kun tehon-tarve liittymällä on 0,7 MVA – 5 MVA. Tätä pienemmät liittymät pyritään lähtökohtaisesti kytkemään 0,4 kV:n jännitetasoon eli pienjänniteliittymällä. (Caruna c.) Perusteltua olisi kui-tenkin miettiä myös vaihtoehtoisia rakennustapoja kytkemön rinnalle. Energiaviraston uudet valvontamenetelmät vuosille 2024–2031 ovat radikaalisti muuttaneet toimialan kannatta-vuutta sekä investointikykyä. Tässä suuressa roolissa on myös se summa, joka verkkoyhtiön on kannattavaa sijoittaa verkon arvoon, tuoton pudotessa nykyisten valvontamalli-menetelmien mukaisesti. Nykyinen rakentamistapa, jossa Caruna rakentaa kytkemön ja omistaa keskijännitekojeiston on verkon käytön kannalta tyyppillisesti tehokas ratkaisu, mutta aina ei kuitenkaan se järkevin ratkaisu. Verkon ominaisuuksien mukaan, on mahdol-lista, että se ei tuo verkon käytettävyyteen lisäarvoa. Olisi siis perusteltua pohtia eri vaihto-ehtoja nykyisten liittämisperiaatteiden lisäksi tai mahdollisesti luopua kytkemön käytöstä kokonaan.

Liittämiskohtana verkonhaltijan rakentama kytkemö on Suomessa harvinainen, sillä vastaa-vanlaista toimintatapaa ei käytä mikään muu sähköverkkoyhtiö. Carunalla luovuttiin van-hasta rakentamistavasta, jotta verkon käyttö olisi tehokkaampaa. Vanhassa toimintata-vassa asiakas oli vastuussa muuntamon rakentamisesta, omisti ja oli tällöin myös vas-tuussa kojeiston kuormanerotinkenoista. Verkonhaltijan keskijänniteverkko kiersi siis

asiakkaan omistamien sähkölaitteistojen kautta. Tästä toimintatavasta Carunalla luovuttiin sen tuomien ongelmien takia.

Kytkemössä liittämiskohta ja samalla vastuuraja Carunan ja asiakkaan välillä sijaitsee kaapelipääteessä keskijännitekojeistossa eli kuormanerotimien verkonpuoleisilla liittimillä. Kuvassa 8 nähtävillä keskijännitekojeisto, johon tulee kaksi verkonhaltijan kaapelipäätettä.

Kojeisto sisältää suojareleen, jolla on mahdollista suojata asiakkaan sähkölaitteistoa. Suojausten tulee olla toimintatavaltaan selektiivisiä. Kytkemön suojausasettelut tulee aina tarkistaa ja mitoittaa taustaverkon mukaisesti. Suojausasetteluiden tarkastelu tulee kuitenkin suorittaa hyvissä ajoin, jolloin verkon käyttöönotto ja liittymän kytkentä voidaan tehdä mahdollisimman pian verkon rakennuksen valmistuttua (Reikko 2024).



Kuvio 5. Kytkemön piirikaavio (Caruna. g.)

Kuviossa 5 kuvattuna kytkemön piirikaavio. Carunan 20 kV keskijänniteverkko kiertää kytkemön, mutta ei asiakkaan laitteistoa. Runkojohto on erotettavissa kummastakin lähdöstä omilla katkaisijoillaan, tämä tuo verkolle lisää käytettävyyttä ja lisää toimitusvarmuutta kaikille asiakkaille.



Kuva 7. Kytkemön omakäyttökeskuksen ulkopuoli

Kytkemö tulee lähtökohtaisesti pyrkiä sijoittamaan asiakkaan omistaman kiinteistörajojen sisälle. Kytkemö vastaa ulkomuodoltaan ja kokonsa puolesta normaalia puistomuuntamaa. Kytkemön ulkomitat ovat:

- korkeus 2620 mm
- yleispituus 3350 mm
- yleisleveys 2100 mm.



Kuva 8. Kahden kaapelipäätteen keskijännitekojeisto (Kokkonen 2024)



Kuva 9. Kolmen kaapelipäätteen keskijännitekojeisto (Kokkonen 2024)

Kytkemössä kaapelipäätteiden määrä vaihtelee tapauskohtaisesti, mutta yleisesti tyypillistä on kahden tai kolmen kaapelipäätteen keskijännitekojeistot. Kuvassa 9 näkyvässä betoni-rakenteisessa kytkemössä tilaa olisi vielä neljännelle kaapelille, mutta normaalikokoisessa kytkemössä tekninen toteutus on mahdollinen, mutta tila aiheuttaa rajoituksia kaapelien määrälle. Kuvassa 9 olevassa kytkemössä OKM eli omakäyttömuuntaja, OKK eli omakäyttökeskus, RTU eli kaukokäyttökeskus sekä mittauskeskus ovat samassa tilassa keskijännitekojeiston kanssa.

4.3.3 Sisäkojeistotila

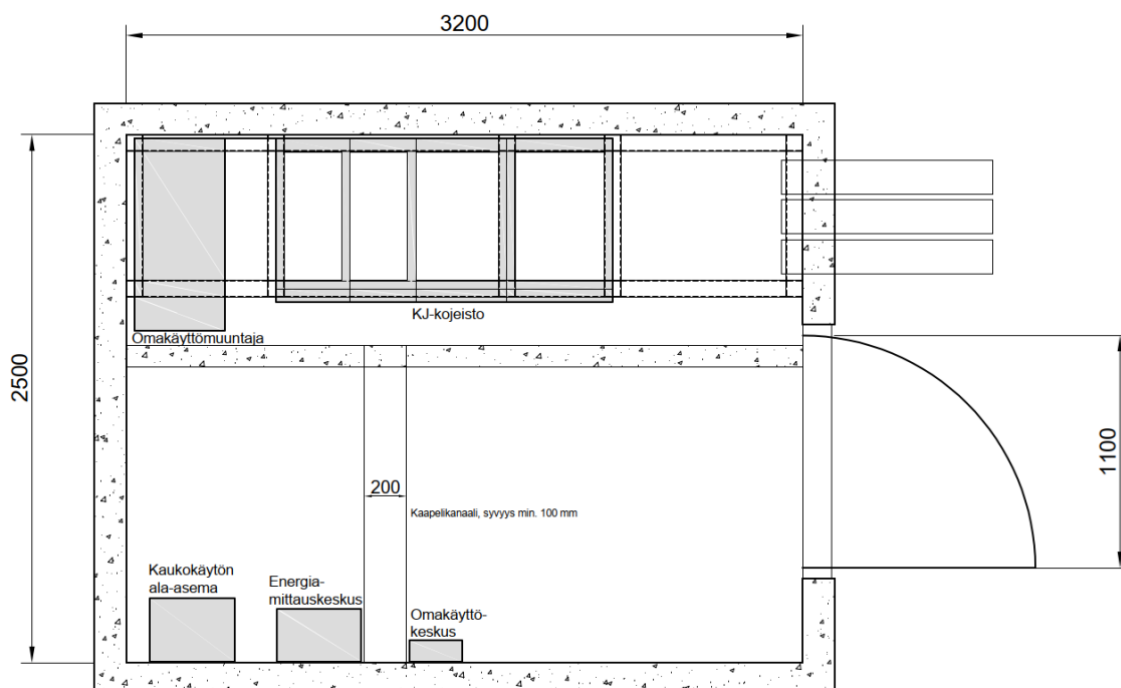
Sisäkojeistotila eli sisäkytkemö on asiakkaan kiinteistöllä sijaitsevan rakennukseen rakennettu KJ-kojeistotila, joka toimii samalla periaatteella kuin Carunan rakentama kytkemörakennus. Sisäkojeistotilaa on mahdollista käyttää liittymän liittämiskohtana, kun mahdollisuutta muuhun ei ole. Etenkin tiheään asutetussa kaupunkiympäristössä voi olla haasteita löytää kytkemölle tilaa asiakkaan tontilta. Keskijännitekojeistotilan rakenteelliset- sekä tekniset vaatimukset tulee täyttää verkonhaltijan edellyttämällä tavoilla. Kojeistotilan tulee olla asiakkaan sekä verkonhaltijan yhteisymmärryksessä sovittu, jolloin kaapelireititykset sekä turvallisuusvaatimukset saadaan Carunan edellyttämällä tavoilla täyttymään. Carunalla tulee olla pääsy kojeistotilaan ympärivuorokautisesti. (Ristimäki & Vierimaa 2019.)

Kaapelireititysten kojeistotilaan tulee olla mahdollisimman lyhyitä ja suorita kiinteistössä. Lähtökohtaisesti Caruna vaatii, että kojeistotilasta avautuu ovet suoraan ulos, joka tarkoittaa myös, että kojeistotila tulee sijoittaa ensimmäiseen maanpäälliseen kerrokseen. (Ristimäki & Vierimaa 2019.) Kaapelireitin rakentamisvastuu on asiakkaalla. Palotekniset vaatimukset tulee täyttää palokoteloinnilla, palokääre ei lukeudu hyväksytyihin suojaustapoihin.

Sisäkojeistotilaan sijoitetaan tavallista kytkemöä vastaavat laitteet ja laitteistot, joihin lukeutuu muun muassa:

- keskijännitekojeisto
- omakäyttömuuntaja
- mittauskeskus
- kaukokäyttökeskus.

Kojeistotilan rakenteet, ovet sekä kaikki läpiviennit tulee mitoittaa valokaarioikosulun aiheuttaman paineaallon kestäviksi. Ovet eivät saa avautua valokaaripaineen vaikutuksesta, vastuu rakenteellisten vaatimusten täyttymisestä on asiakkaalla. Valokaaripaineenpurkauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa sähkövirta purkautuu sähköä heikosti johtavan materiaalin läpi. Valokaaren aiheuttama vaara ihmiselle on suuri johtuen sen suuresta lämpötilasta, säteilystä sekä voimakkaasta paineaallosta (Elovaara & Laiho 1988, 459).



Kuva 10. Esimerkkikuva sisäkojeistotilan pohjaratkaisusta (Ristimäki & Vierimaa 2019)

Sisäkojeistotilaa koskevat erittäin tiukat vaatimukset, joilla on suuria turvallisuutta edistäviä vaikutuksia. Kojeistotilan tulee olla turvallinen sen käyttöhenkilöille, mutta myös samassa tiloissa asioiville. Jos kojeistotila ei sijaitse rakennuksen ulkoseinällä, voi valokaaripaineenpurkauksen ulosohjaus tilasta olla vaikeaa. Valokaaripaineen aiheuttama vaakasuuntainen voima on mitoituksia määrittävä (Ristimäki & Vierimaa 2019).

4.4 Liittymän rakentaminen

Sähköliittymän rakentaminen alkaa molemminpuolisesti allekirjoitetun liittymissopimuksen jälkeen. Tässä vaiheessa Carunalla ja asiakkaalla on tiedossa liittymän toimitusaika-arvio, liittämiskohta sekä liittymän liittymismaksu eli asiakkaalle koituvat kulut verkonhaltijan puolelta. Carunan alueellinen urakoitsija on tässä vaiheessa tehnyt sähköisen suunnittelun sekä suorittanut maastokäynnin. Verkon rakentamisaikatauluun olennaisesti vaikuttaa myös lupien saaminen eli kaikkien sähköverkkorakenteiden luvittaminen.

Verkon rakennustyö tilataan Carunan alueelliselta urakoitsijalta, joka tekee lopullisen sähköisen suunnitelman keskijänniteliittymän rakentamisesta. Carunan yleissuunnittelutiimi suunnittelee verkon käytettävyyden ja tehotarpeiden mukaan mistä ja miten liittymä voidaan ottaa, mutta lopullinen toteutus on urakoitsijan vastuulla. Urakoitsijan suorittama

maastokäynti on oleellisena osana rakentamisen suunnittelussa ja toteutuneessa rakentamishankkeessa.

Sähköliittymän rakentaminen pyritään toteuttamaan yhteistyössä asiakkaan rakennushankkeen aikataulunmukaisesti mahdollisuuksien mukaan. Tällä toimintatavalla on mahdollista säästää kustannuksissa sekä aikataulullisesti huomattaviakin summia kokonaisuutta ajatellen.

4.5 Turvallisuus

Työskenneltäessä sähköverkkojen- tai laitteiden kanssa, tulee kaikkien välillisesti tai välittömästi työturvallisuuteen vaikuttavien henkilöiden suhtautua asiaan riittävällä vakavuudella. Työturvallisuus Carunalla otetaan vakavasti ja työturvallisuus on osa yrityskulttuuria. Turvallisuutta ja toimintatapoja kehitetään jatkuvasti ja puutteisiin kiinnitetään huomiota välittömästi. Tätä vaaditaan Carunan omilta työntekijöiltä, Carunan omilta yhteistyöurakoitsijalta, mutta myös asiakkaiden sähköurakoitsijoilta. Uuden sähköverkon rakentaminen, vanhan saneeraus tai vikatilanteiden korjaaminen suoritetaan aina parhaalla mahdollisella tehokkuudella ja nopeudella, mutta turvallisuus edellä.

Ennen liittymän kytkentää tulee asiakkaan toimittaa Carunalle 20 kV järjestelmän pääkaavio, 20 kV laitteistojen käyttöönottotarkastus- ja koestuspöytäkirjat, selvitys 20 kV laitteistojen tuottamasta maasulkuvirrasta. Kaikki edellä mainitut Carunalle toimitettavat kaaviot sekä pöytäkirjat ovat asiakkaan omasta laitteistosta. Mikäli kohteessa on kiinteistökytkemö tai aidattu alue, tulee Carunalle toimittaa myös sisäänpääsy tiedot.

Turvallisuutta on takaamassa myös asiakkaan käytön johtaja, jonka yhteystiedot tulee ilmoittaa Carunalle viimeistään ennen liittymän kytkentää. Sähkölaitteiston haltijan tulee nimetä käytön johtaja aina kun:

- Sähkölaitteistoon sisältyy nimellisjännitteeltään yli 1000 V osia tai laitteita
- Kiinteistön tai kiinteistöryhmän haltijan sähköliittymien liittymisteho on yli 1600 kVA.

Turvallista työmaatoimintaa sekä työskentelyä on tarpeellista edistää jatkuvasti ja toimintamallien tulee mukautua muuttuviin olosuhteisiin. On tärkeää, että turvallista työympäristöä ja sähkölaitteistojen kytkentää on edistämässä Carunan urakoitsijat sekä asiakkaiden sähköurakoitsijat.

4.6 Liittyminen sähköverkkoon

Keskijänniteliittymän pääkäyttöpaikan energiamittaus sijaitsee aina keskijännitepuolella ja mittaus suoritetaan epäsuoralla mittarilla. Mittauskeskuksessa käytetään kolmea virta- ja jännitemuuntajaa. Virtamuuntajien toisiovirta tulee olla 5 A ja tarkkuusluokan 0,2S. (Caruna. i) Keskijänniteliittymien takamittaukset eivät vaikuta olennaisesti liittymän liittämisen mahdollisuuteen. Takamittauksessa tulee kuitenkin huomioida, että ensimmäinen mittari on keskijännitepuolella 20 kilovoltin jännitetasossa ja toinen mittareista on pienjännitepuolella 400 voltin jännitetasossa. Pienjännitemittarin mittaama kulutus vähennetään jakeluverkkoyhtiön toimesta päämittauksen kulutuksesta. Ongelmia takamittauksessa kuitenkin esiintyy, jos laskujen maksamattomuuden päämittauksen asiakkaalta olisi perusteltua katkaista sähköt. Liittymän verkosta ottama loisteho laskutetaan päämittauksella.

Jotta liittymän liittäminen sähköverkkoon on mahdollista, tulee sähkönkäyttöpaikalla olla voimassa oleva liittymis- ja sähkö sopimus. Sähkötoimituksen edellytyksenä pidetään voimassa olevia sopimuksia, jota voidaan käyttää myös sähköjen katkaisun perusteena tarvittaessa. Tulee kuitenkin huomioida, että sähkönsiirron- tai myynnin laskutus ei ala ennen käyttöön kytkettyä käyttöpaikkaa.

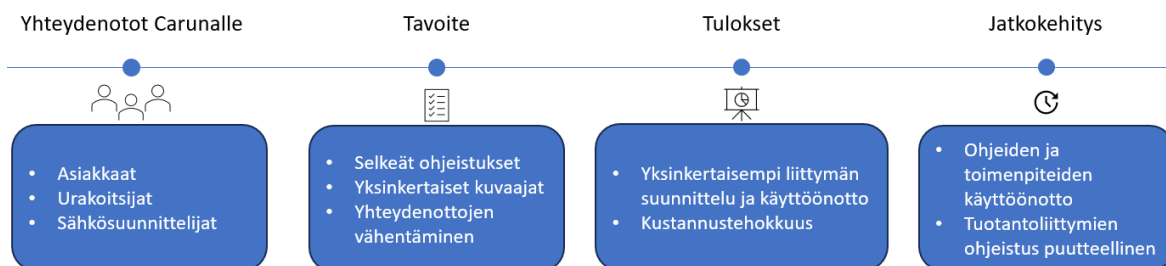
Asiakkaan sähköurakoitsija pyytää Carunalta liittymän liittämistä sähköverkkoon yleistietolomakkeella. Tällä lomakkeella asiakkaan sähköurakoitsija vakuuttaa, että sähkölaitteistoon tehdyt toimenpiteet on suoritettu standardien mukaisesti siten, että se voidaan kytkeä sähköverkkoon ilman vaaraa tai häiriötä. Yleistietolomake toimii verkkoyhtiölle vakuutena siitä, että sähkölaitteiston asennus- tai muutostyöt on tehty asiallisesti kaikkia asennukseen vaikuttavia standardeja noudattaen. Tämän lisäksi asiakkaan sähköurakoitsija ilmoittaa lomakkeella muun muassa asennettavien ja kytkettävien sähkömittareiden määrän sekä toivotun liittymän kytkentäpäivämäärän.

5 Työn tulokset

5.1 Kokonaiskuva

Carunalla seurataan eri prosesseja sekä niiden sujuvuutta hyvin tarkasti. Toiminnalla pyritään saavuttamaan ennen kaikkea parempi asiakastyytyvyys, mutta myös saamaan käsitys siitä mihin Carunan asiantuntijoiden työpanos sijoitetaan. Carunan nykyinen kanavastrategia ohjaa asiakkaan lähtökohtaisesti itsepalvelukanaviin, aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista. Tällöin tarvitaan tehokasta, mutta asiakaslähtöistä palvelua. Suuressa roolissa tällöin on saatavilla olevan tiedon laatu ja selkeys.

Tämän työn yhtenä päätavoitteista on ollut lisätä olemassa olevan tiedon määrää ja pyrkiä luomaan selkeämpiä ja ajantasaisia ohjeita keskijänniteliittymän liittämiseksi Carunan sähköverkkoon. Työn alussa loin havainnekuvan (kuva 11) opinnäytetyön tavoitteesta. Yksinkertaisen visuaalisen havainnekuvan tekeminen auttaa hahmottamaan kokonaisuutta ja kehittämään koko prosessia.

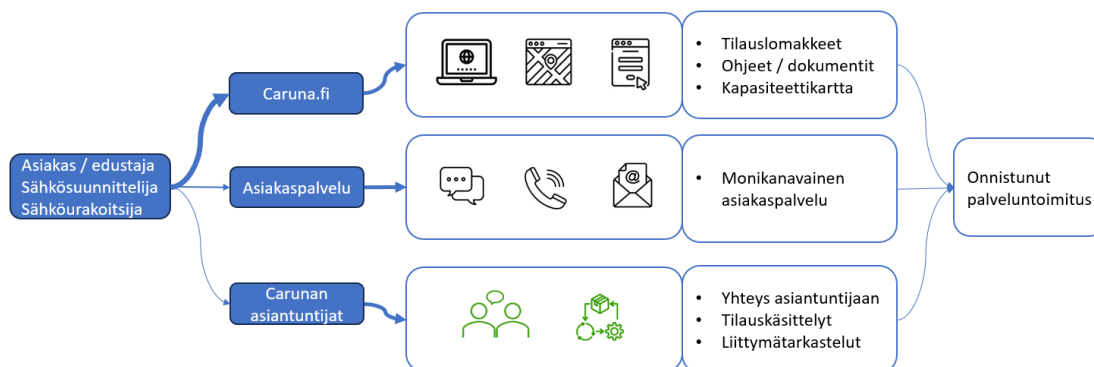


Kuva 11. Opinnäytetyön tavoitekuvaus

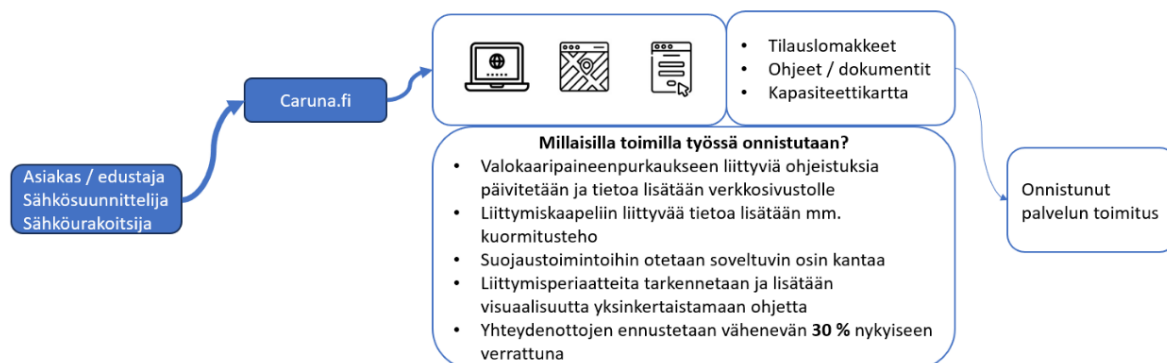
Carunan kanavastrategian (kuvassa 12) mukaisesti on välttämätöntä, että asiakkaalle sekä muun muassa heidän sähkösuunnittelijoille on saatavilla tarpeeksi tietoa jokaiselta osa-alueelta. Tällöin voidaan välttää ylimääräisiä yhteydenottoja Carunan, mutta myös Carunan urakoitsijoiden suuntaan. Tämän haasteen selvittämiseksi on välttämätöntä, että Carunan tarjoama tieto on aina ajantasaista sekä laadultaan tarpeeksi kattavaa.

Tarjottava tieto on myös tarpeen tullen saatava päivitettyä ajantasaiseksi. Tulee siis ottaa huomioon, julkaiseeko verkkosivustolla ladattavan dokumentin, jonka päivittäminen on mahdotonta, kun se on päätynyt kolmannen osapuolen tietokoneelle. Samankaltaista toimintatapaa tulisi välttää myös Carunan sisäisten ohjeiden kanssa. Verkkosivustolla sijaitsevat ohjeet ja vaatimukset ovat helppoja päivittää ja pysyvät kaikille osapuolille aina

ajantasaisina. Tätä toimintatapaa noudattaessa pystytään välttämään väärän eli vanhentuneen tai muuttuneen tiedon leviämisen.



Kuva 12. Carunan kanavastrategian kuvaus



Kuva 13. Opinnäytetyön vaikutus Carunan kanavastrategiassa

Carunan kanavastrategian onnistuneessa toteutuksessa tietoa sekä ohjeita sisällytetään itsepalvelukanaviin mahdollisimman paljon sekä laajasti jokaiselta osa-alueelta. Suurin asiakasvirta (kuva 13) pyritään ohjaamaan itsenäiseen onnistumiseen. Kanavastrategian yhtenä päätavoitteista on kustannustehokkuuden parantaminen, asiakastytyvyydestä kuitenkin tinkimättä. Opinnäytetyössä tunnistettuja puuttuvia sekä täydennettäviä ohjeistuksia olisi syytä lisätä Carunan verkkosivustolle. Tällä hetkellä asiakaspalvelu sekä myynti- ja asiakaspäälliköt saavat toistuvasti puuttuvien ohjeistusten takia samankaltaisia kysymyksiä. Tällä on suora vaikutus kustannustehokkuuteen. Kustannustehokkuutta pystytään

parantamaan tarjoamalla yksiselitteistä ja laadukasta tietoa asiakkaille sekä sähköurakoitsijoille.

Tässä työssä tunnistetuilla puutteilla ja niiden korjaustoimenpiteillä arvioidaan yhteydenottojen vähenevän 30 % nykyiseen verrattuna. Tämän tavoitteen saavuttaminen vaatii, että päivitettäviä- sekä uusia ohjeita tuotetaan julkisesti saatavaksi. Tehokkuusluku on saatu tutkimalla kolmen kuukauden aikana tulleita yhteydenottoja asiakaspalveluun sekä niiden sisältöä. Arvioimalla uusien ohjeiden ja kuvaajien vaikutusta yhteydenottoihin, on pääteltävissä toimenpiteiden vaikutukseksi noin 30 % vähemmän asiakaskontakteja vertailuajanjaksoon nähden.

5.2 Uudet ohjeistukset

Caruna tarjoaa tällä hetkellä verkkosivustollaan tietoa pienjänniteliittymistä hyvin kattavasti. Koko Suomen mittakaavassa tarjolla olevan tiedon laatu ja määrä on yksi parhaista. Keski-jänniteliittymistä tietoa ei kuitenkaan ole tähän mennessä ollut saatavilla tarpeeksi, jotta Carunan asiakaslupaus tai kanavastrategia toimisi luvutulla tavalla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa ja kerätä mahdollisuuksien mukaan nettisivustolta, urakoitsijaohjeista ja sisäisistä dokumenteista puuttuvaa tietoa. Tietoa on kerätty ja koottu muun muassa erilaisilla haastatteluilla.

Tietoa keskijänniteliittymistä sekä niiden liittämisestä sähköverkkoon oli Carunalla jo entuudestaan erittäin runsaasti. Useimmiten kuitenkin dokumentit olivat vain sisäisessä käytössä ja tällöin yhteydenottoja asiakkailta ja sähkösuunnittelijoilta tuli tarpeettoman paljon. Nyt tuotettu ja kerätty materiaali on asiakkaille sekä urakoitsijoille julkisesti saatavaksi tarkoitettua, jolloin yhteydenottojen uskotaan vähenevän.

Carunan verkkosivustolla keskijänniteliittymän -tilauspolku on hyvin yksinkertainen ja pelkistetty kuten kuvasta 14 havaitaan (Caruna j). Verkkosivustolle on tarpeenmukaista lisätä tietoa liittymisperiaatteista ja ohjeistusta liittymän saattamisesta kytkentävalmiiksi. Yksinkertaiset infograafit sekä selkeät, mutta yksinkertaiset tietoiskut tilauspolun eri vaiheissa auttavat asiakasta tiedostamaan tarvittavat toimenpiteet. Tällä tavalla on myös mahdollista selkeyttää asiakkaan ja verkkoyhtiön välistä vastuurajaa ja edesauttaa yhteydenottojen vähentämisessä.



1. Täytä tarjouspyyntölomake ajoissa – selvitämme liittymän liitettävyyden ja hinnan

Pyydä tarjous

Täytä lomake hyvissä ajoin. Selvitämme liittymän liitettävyyden ja hinnan noin kuukauden kuluessa.

2. Tilaa sähkösuunnitelma ja määritä tarkka tehontarve liittymälle, kun olemme varmistaneet liitettävyyden ▼

3. Allekirjoita sopimus. Tilaus astuu voimaan ja verkonrakennus alkaa. ▼

4. Toimita viimeistään tässä tarvittavat dokumentit ja tekniset tiedot laitteistosta ▼

5. Tee sähkö sopimus sähkömyyjän kanssa. ▼

6. Sähköurakoitsijasi toimittaa yleistietolomakkeen liittymän kytkennästä ▼

7. Rakentamisen vaiheet ja vastuut. ▼

Kuva 14. Keskijänniteliittymän tilauspolku Carunan verkkosivustolla (Caruna j)

Nykyisiin ohjeistuksiin verrattuna tietoa saatiin kerättyä haastatteluilla tilanteen tarpeeseen nähden runsaasti. Vastuurajoja pyrittiin selkeyttämään kuvioilla sekä teksteillä kytkemöiden sekä sisäkojeistotilojen osalta. Työssä pyrittiin myös luomaan selkeät prosessikuvaajat, joita on mahdollista hyödyntää tulevaisuudessa Carunan verkkosivustolla. Prosessikuvaajilla voidaan esittää visuaalisesti paljon tietoa sisältävää aineistoa.

Keskijänniteliittymien tilauksessa, kuten myös monissa muissa pitkän aikavälin projekteissa, aikataulu on usein tiukka. Aikaa kuluu usein yllättävän paljon, vaikka tilanne olisikin liittymän liitettävyyden kannalta hyvä. Usein myös asiakkaat ottavat yhteyttä verkkoyhtiöön liittymän liitettävyydestä tarkastelun puitteissa liian myöhään. Tällöin mahdollisuutta toivotulle kytkentäpäivälle ei saada toteutettua. On myös tärkeää, että asiakkaat sekä sähkösuunnittelijat ovat yhteydessä verkkoyhtiöön ennen lopullisia suunnitelmia asiakasmuuntamon tai kojeistotilan sijainnin lopullisesta päätöksestä. Etenkin Espoossa, jossa sisäkojeistotilat ovat yleisiä, aiheuttaa niiden suunnittelu usein haasteita. Käytännön toteutus vaatii selkeää ja asianmukaista suunnittelua. Kaapelireitit sekä mitoituskojeistotiloille ovat usein asioita, joihin puututaan. Tarkentuneiden ja täsmentyneiden ohjeistusten lisäksi alla oleviin asioihin on pyritty lisäämään selkeyttä.

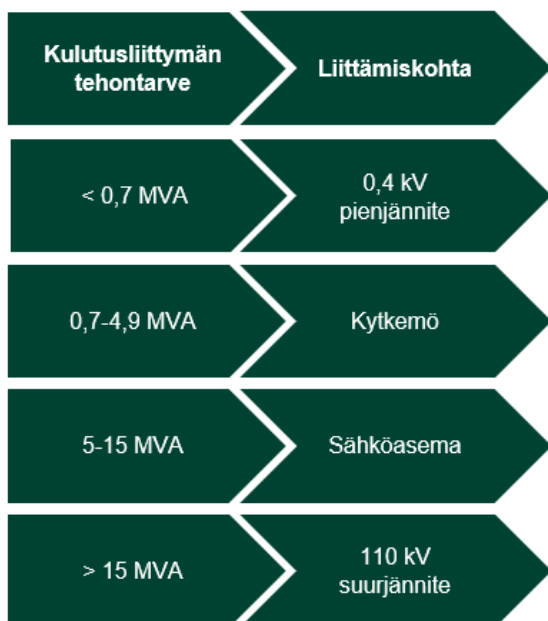
Valokaaripaineenpurkaus

Sisäkojeistotilassa valokaaripaineenpurkaus on otettava huomioon, jotta pystytään välttämään rakenteellisten sekä erityisesti henkilövahinkojen syntyminen. Vahinkoja on mahdollista välttää valokaaripaineenpurkaukselle tarkoitetuilla purkausteiden oikeaoppisella rakentamisella. Yleisesti suurimmassa valokaaripaineenpurkauksesta aiheutuvalle valokaarelle sekä paineallolle altistuvat ovat kojeistotilan käyttöhenkilöt. Jos kojeistotilassa sijaitsee myös muita laitteistoja, on henkilöiden turvallisuuden kannalta tärkeää, että kojeistotilan turvallisuus on toteutettu hyvää rakentamistapaa noudattaen. Valokaaripaineenpurkauksen ohjeistuksia ei julkisesti Carunalla juuri ollut, tässä työssä niihin kuitenkin otettiin soveltuvin osin kantaa. Pääosin sisäkojeistotilan suunnittelussa sekä rakentamisessa tulee noudattaa voimassa olevia standardeja sekä RT- ja ST-korttien vaatimuksia. Tästä esimerkkinä RT 92-10774, muuntamotila rakennuksessa. Valokaaren aiheuttama painevaikutus tulee huomioida jo rakentamisvaiheessa. Vaatimus rakenteiden mitoituspaineeksi on ollut 6,5 kPa.

Carunan sisäisiin tai julkisiin dokumentteihin valokaaripaineenpurkauksesta ei tällä hetkellä tai tulevaisuudessakaan oteta sen enempää kantaa. Noudatettavia vaatimuksia ja ohjeita ovat Carunan omat julkiset ohjeet, Fingridin sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset sekä voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Näiden vaatimusten lisäksi noudatettava suunnittelu- sekä rakentamistapa tulee pohjautua SFS-standardeihin sekä RT- ja ST-korttien vaatimuksiin. Näistä esimerkkeinä muun muassa SFS 6000, SFS 6001, RT 92-10774 sekä ST 53.21. Näistä rakennus- ja sähkötietokorteista löytyvät vaatimukset selkeyttävät edellä mainittuja standardeja.

Liittämisperiaatteet

Sähköyhtiöillä on Suomessa velvollisuus liittää sähkökäyttöpaikka, voimalaitos tai sähkövarasto sähköverkkoon, mikäli se täyttää liittymisen tekniset vaatimukset (Sähkömarkkinalaki 588/2013, 19 §). Toteutettavan rakentamis- ja liittämistavan voi kuitenkin jokainen yhtiö erikseen omilla ehdoillaan määritellä. Ehtojen tulee kuitenkin olla kaikille asiakkaille syrjimättömät sekä tasapuoliset. Carunalla 20 kV:n keskijänniteliittymä liitetään sähköverkkoon lähtökohtaisesti kuvassa 15 esitettävällä tavalla.



Kuva 15. Carunan liittämisperiaatteet

Tammikuussa 2024 voimaan astuneen valvontamallimenetelmiin tehtyjen muutosten takia, on perusteltua suorittaa uudelleentarkastelua vaihtoehtoisista rakentamistavoista. Suurin osa liittymistä liitetään Carunalla asiakkaan tontille rakennettavalla kytkemöllä, jonka vastuurajat sekä toiminnallisuus ovat verkkoyhtiön kannalta käytännölliset. Toimintatapa on kuitenkin asiakkaalta perittävää liittymismaksua hintavampi. Verkkoyhtiön investointien mukauttaminen uusiin valvontamallimenetelmiin vaatii uudelleentarkastelua, ja on tällöin perusteltua pohtia muutoksia olemassa olevaan rakentamistapaan.

Liittymiskohdasta sekä siihen liittyvistä periaatteista ei tällä hetkellä ole ollut Carunalla selkeää kuvaajaa verkkosivustolla. Ennen tämän lopputyön aloittamista sellaiselle nähtiin tarve, on kuitenkin tarpeenmukaista arvioida sen tarpeellisuus nykyisessä muuttuneessa tilanteessa.

Liittymiskaapeli & suojaus

Haasteita, joita havaittiin Carunan nykyisissä ohjeissa, koskee erityisesti Espoon aluetta, jossa keskijänniteliittymän liittämiskohtana toimii usein sisäkojeistotila. Puutteellisia ohjeita on liittymiskaapelin mitoittamiseen, suojaukseen sekä reititykseen liittyen. Tiheään asutetulla kaupunkialueella voi olla haastavaa sijoittaa kytkemöä tontille. Tällöin sisäkojeistotila on lähes poikkeuksetta ainoa mahdollisuus. Tällaisia tapauksia on Caruna Espoo Oy:n alueella paljon, jolloin ajantasaista tietoa sekä ohjeita tulisi olla saatavilla asiakkaille runsaasti. Haasteet eivät kuitenkaan rajoitu vain sisäkojeistotiloihin tai Caruna Espoo Oy:n jakeluverkkoalueeseen. Tällä alueella kuitenkin vallitsevana liittämiskohtana keskijänniteliittymillä on ollut sisäkojeistotila, jolloin esiin nousseet aiheet ovat olleet tyypillisesti tähän liittyviä.

Näiden lisäksi aikataulutusta, niin asiakkaan kuin sähkösuunnittelijankin puolelta voi olla tiukka. Tämä takia on vahvasti suositeltavaa olla yhteydessä verkkoyhtiöön hyvissä ajoin ennen lopullisten suunnitelmien valmistumista. Tällöin muun muassa vaatimukset reitityksistä, kaapeleista sekä suojausasetteluista pystytään vielä tarkastelemaan yhteistyössä asiakkaan kanssa. Lopputyötä varten kartoitin Carunan asiantuntijoilta sekä yhteistyöura-koitsijoilta usein esille nousevia asioita. Aiheita, joita työssä tunnistettiin puutteellisiksi:

- liittymiskaapelin palosuojaus
- liittymiskaapelin suojaus parkkihallissa
- liittymiskaapelin koteloinnin yhteisreititys
- liittymiskaapelin kuormitusteho.

Tällä hetkellä Caruna viittaa julkisesti saatavilla olevissa ohjeissaan muun muassa RT-korttiin, jonka vaatimukset perustuvat SFS-standardeihin. Osin tämän kaltainen toimintatapa on perusteltua, mutta yleisimpiin asiakkaiden esittämiin kysymyksiin olisi tarpeellista saada vastaukset Carunan verkkosivustolle. Opinnäytetyössä syntyviä tuloksia tullaan hyödyntämään Carunan verkkosivustolla asiakaspoluilla sekä muun muassa urakoitsijaohjeissa.

5.3 Kehittämiskohdat nyt ja tulevaisuudessa

Opinnäytetyössä saadut tulokset kattavat ainoastaan kulutusliittymän liittämisen ohjeita sekä siihen liittyviä vaatimuksia. Tulevaisuudessa tuotantokapasiteetin määrä lisääntyy koko sähköverkossa, niin pien-, keski-, kuin suurjännitteeseenkin. Tällöin olisi tarpeenmuokaista päivittää sekä lisätä tietoa asiakkaille muun muassa tuotannosta sekä sen liittämisestä sähköverkkoon. Tuotantomäärien lisääntyminen ja hajaantuminen tulevat myös lisäämään energiayhteisöjen tarvetta. Energiayhteisöllä esimerkiksi taloyhtiöissä osakkaat voivat jakaa tuotannon hyödyt sekä haitat. Yhteisön avulla on mahdollista saada aiemmin vain kiinteistön käyttöön tarkoitettu tuotantokapasiteetti kaikkien yhteisöön osallistuvien asukkaiden hyödynnettäväksi.

Eri toimintaperiaatteella toimivien sähkövarastojen sekä voimalaitosten liittäminen sähköverkkoon on suunnittelun ja sähköverkkoon liittämisen osalta normaalia kulutusliittymää monimutkaisempi prosessi. Tarkasteltavia ominaisuuksia, noudatettavia vaatimuksia sekä standardeja on enemmän. Esimerkiksi sähköverkkoon liitettävien suuntaajakytkettyjen sähkövarastojen tulee noudattaa Fingridin asettamia sähkövarastojen järjestelmätekniisiä vaatimuksia. Vaatimukset koskevat mitoitusteholtaan vähintään 0,8 kW laitteistoja. Carunan sähköverkkoon liitettävien sähkövarastojen tulee noudattaa Carunan omien vaatimusten lisäksi SJV:ta. Tämän lisäksi Suomen sähköverkkoon vähintään 0,8 kW voimalaitosjärjestelmällä liittyvien tulee noudattaa Fingridin soveltamaa voimalaitosten järjestelmätekniisiä vaatimuksia. Vaatimukset perustuvat Euroopan komission asetukseen 2016/631. Jokaisen niin kanta- kuin jakeluverkkoyhtiön verkkoon liittyvä asiakas on veloitettu noudattamaan kyseisiä vaatimuksia. Carunalla ohjeistukset ovat tuotantokohteiden ja sähkövarastojen osalta tällä hetkellä suppeat.

Tulevaisuudessa koko Suomen sähköverkossa tullaan näkemään lisääntyvissä määrin erilaisia tuotantomuotoja. Tuulivoimapuistojen sekä sähköjärjestelmää tasapainottavien akkuvaretojen määrä tulee lisääntymään jo muutamassa vuodessa suuresti. Tällöin on tärkeää, että koko sähköjärjestelmä on valmiina vastaamaan uuteen kulutus- ja tuotantokäyttämiseen. Energiaviraston julkaisema valvontamalli vuosille 2024–2031 aiheuttaa valtavia haasteita ja hidastaa koko sähköverkon kehitystä. Haaste ei ole vain Carunalla, vaan koko toimiala kamppailee investointikykyyn sopeutumisen kanssa. Carunalla on toimialan suurimpana yhtiönä etulyöntiasema selvitä vaikeissa ja muuttuvissa olosuhteissa. Toiminnan mukauttaminen sekä investointikyvyn lasku ovat kuitenkin seikkoja, jotka vaikuttavat toimintamalleihin ja muun muassa rakentamistapoihin. Jos verkkoyhtiöiden investointikykyä ei turvata, puhdas siirtymä, huoltovarmuus ja sähköistytävä yhteiskunta uhkaa tällöin jäädä vain kuluneeksi sanonnaksi paperille.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Suomen koko energiajärjestelmä on suuren muutospaineen alaisena. Keskijänniteliittymien tarve on tulevaisuudessa kasvamassa, jolloin osaamisen sekä palvelutarjonnan tärkeys korostuu entisestään. Osaamisen korostaminen sekä näyttäminen luo myös pohjaa koko toimialalla. Suurimpana verkkoyhtiönä Carunalla on mahdollisuus olla eräänlaisena suunnan näyttäjänä valtakunnallisesti. Halu kehittää ja tehostaa toimintojaan auttaa Carunaa kustannustehokkuudessa, mutta myös asiakaslähtöisyydessä.

Fossiilisten polttoaineiden hylkääminen ja energiamurroksen lisäämä sähkönkulutus kasvaa tulevaisuudessa suuresti. Sähköverkot ovat tämän muutoksen keskiössä ja sen mahdollistajia. Kuitenkin Energiaviraston julkaisemat valvontamenetelmät sähköverkkoyhtiöille vuosille 2024–2031 ovat huolestuttavat, joka uhkaa koko Suomen vihreää siirtymää. Sähköverkot vaativat jatkuvia investointeja ja energiamurroksen kynnyksellä investointien tarve on jopa suurempi. On siis tärkeää, että koko Suomen sähköverkko pidetään toimintakuntoisena sekä valmiina tukemaan vihreää siirtymää.

Keskijänniteliittymän liittäminen sähköverkkoon pyritään Carunan jakeluverkkoalueella tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi. Tällöin Caruna pystyy osaltaan auttamaan ja nopeuttamaan asiakkaiden arkea ja liittymän saattamista kytkentävalmiiksi. Opinnäytetyöhön saatiin kerättyä julkisesti saataville tietoa asiakkaille, joka auttaa heitä keskijänniteliittymään liittyvissä asioissa. Hiljaista tietoa kerättiin myös yhteen eri asiantuntijoilta ja saatettiin julkaisumuotoon erilaisin kuvin ja taulukoin. Carunalla oli hyvin kattavasti sisäisiä dokumentteja, joista saatavaa tietoa kerättiin julkaisukelpoiseksi.

Tämän opinnäytetyön on tarkoitus olla tietopohjana tulevaisuudessa julkaistavalle uudelle sisällölle Carunan verkkosivustolle. Varautumalla yleisimpiin esille nouseviin kysymyksiin, pystytään välttämään yhteydenottoja asiakkailta ja tällöin kehittämään kustannustehokkuutta. Eri tiimien välisellä yhteistyöllä on myös suuri merkitys Carunan sisäisessä työskentelyssä. Paremmalla tiedon välittymisellä sekä jatkuvalla perehdyttämisellä pystytään välttämään asiakkaan pompottaminen ja tuomaan kysymykseen vastaus parhaassa tapauksessa heti yhteydenoton yhteydessä. On kuitenkin edelleen kysymyksiä ja kohteita, joihin ei ole ennakkotapauksia tai täydellisiä ohjeistuksia. Tällöin täytyy hyödyntää henkilöstön asiantuntemusta ja soveltaa olemassa olevan tiedon, säädösten, ehtojen sekä lakien mukaan parhaan mahdollisen ja tasapuolisen lopputuloksen saavuttamiseksi.

Opinnäytetyöprosessi oli mielenkiintoinen ja uutta opittavaa oli runsaasti. Tutustumalla keskijänniteliittymiin Carunan myynti- ja asiakaspäälliköiden tukemana, sai aiheesta hyvin kattavan käsityksen. Erinomaisena tukena oli myös Carunan laajat sisäiset ohjeet sekä alan

kirjallisuus. Keskijänniteliittymistä puhuttaessa aihe kattaa kaiken liitettävyydestä tarkastelusta ja sähköisestä suunnittelusta aina energiamittauksen pienimpiin yksityiskohtiin. Työn haasteista voi kertoa myös tiedon määrällä ja poikkitieteellisyydellä, jota lähes täydellinen osaaminen vaatisi. Opinnäytetyön onnistuminen kannalta oli olennaista, että työ ei pyri olemaan kaiken kattava. Aihetta rajattiin laajasti, jolloin selkeästi tärkeimmät epäkohdat saatiin paremmin nostettua esiin nykyisiin olemassa oleviin ohjeisiin verrattuna.

Lähteet

ABB Oy. 2000. Teknisiä Tietoja ja Taulukoita. Maasulkusuojaus. Viitattu 26.4.2024. Saatavissa https://heikkilaakso.com/opetus/abb/080_0007.pdf

Caruna. 2023. Carunan vuosi 2023. Viitattu 4.4.2024. Saatavissa <https://caruna.fi/sites/default/files/docs/Caruna%20vuosiraportti%202023.pdf>

Caruna. 2024. Rakennatko tai suunnitteletko rakentamista? Huomioithan myös sähköliittymän toimitusajan. Viitattu 12.4.2024. Saatavissa <https://caruna.fi/ajankohtaista/rakennatko-tai-suunnitteletko-rakentamista-huomioithan-myos-sahkoliittyman>

Caruna. a. Caruna lyhyesti. Viitattu 11.9.2023. Saatavissa <https://caruna.fi/tietoa-meista/caruna-lyhyesti>

Caruna. b. Carunan yhtiöiden rajat kartalla. Viitattu 15.9.2023. Saatavissa https://caruna.fi/sites/default/files/styles/scaled_l/public/2023-06/caruna_verkkoalueet_lahikuvassa.png?itok=u_d7vGg9

Caruna. c. Keskijänniteliittymät. Viitattu 11.9.2023. Saatavissa <https://caruna.fi/urakoitsijoille/urakoitsijaohjeet/keskijanniteliittymat>

Caruna. d. Loistehon kompensointi ja taajuusmuuntajien häiriösuojaus. Viitattu 11.11.2023. Saatavissa <https://caruna.fi/urakoitsijoille/urakoitsijaohjeet/loistehon-kompensointi-ja-taajuusmuuntajien-hairiosuojaus>

Caruna. e. 2024. Tuotantolaitokset ja tehotiedot. Viitattu 23.1.2024. Ei saatavissa

Caruna. f. 2019. Kytkemön sijoituspiirustus. Viitattu 29.1.2024. Ei saatavissa

Caruna. g. 2019. Ohje liittymisestä Carunan 20 kV keskijänniteverkkoon sekä 20 kV liittymän käytöstä. Viitattu 29.1.2024. Ei saatavissa.

Caruna. h. Liittymishinnasto. Viitattu 8.2.2024. Saatavissa <https://caruna.fi/tuotteet-ja-palvelut/sahkoliittymat/liittymishinnasto>

Caruna. i. Epäsuora mittaus ja mittamuuntajat. Viitattu 22.2.2024. Saatavissa <https://caruna.fi/urakoitsijoille/urakoitsijaohjeet/mittarit-ja-mittauskeskukset/epasuora-mittaus-ja-mittamuuntajat>

Caruna. j. Tutustu ja tilaa sähköliittymä. Viitattu 27.3.2024. Saatavissa <https://plus.caruna.fi/new-connection>

Caruna. k. 2021. Kokonaiskuva Caruna Espoon verkkoalueen huipputehon kehittymisestä vuosina 2021–2035. Viitattu 15.4.2024. Ei saatavissa

Elovaara, J & Laiho, Y. 1988. Sähkölaitostekniikan perusteet. Helsinki: Otatieto

Energiateollisuus. a. Lainsäädäntö ja viranomaisvalvonta. Viitattu 29.9.2023. Saatavissa https://energia.fi/energiasta/energiaverkot/sahkoverkot/lainsaadanto_ja_viranomaisvalvonta

Energiateollisuus. b. Sähköverkkoyhtiöt. Viitattu 17.1.2024. Saatavissa <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/sahkoverkkoyhtiot/>

Energiateollisuus. c. Sähköverkot. Viitattu 8.4.2024. Saatavissa <https://energia.fi/energiatietoa/energiaverkot/sahkoverkot/>

Energiavirasto. a. Hinnoittelun valvonta. Viitattu 29.9.2023. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta>

Energiavirasto. b. Verkkotoiminnan luvanvaraisuus. Viitattu 21.9.2023. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus>

Energiavirasto. c. Verkkoon liittäminen. Viitattu 11.9.2023. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/verkkoon-liittaminen>

Energiavirasto. d. Sähköverkkoon liittyminen. Viitattu 5.10.2023. Saatavissa <https://energiavirasto.fi/sahkoverkkoon-liittyminen>

Fingrid. 2020. Naapurina voimajohto. Viitattu 9.1.2024. Saatavissa https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/julkaisut/fingrid_naapurina_voimajohto_2020.pdf

Fingrid. a. Häviösähkö. Viitattu 4.11.2023. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/sahkon-siirtovarmuus/haviosahko/>

Fingrid. b. Sähköjärjestelmän hallinta. Viitattu 21.9.2023. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/sahkonsiirto/sahkojarjestelman-hallinta/>

Fingrid. c. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018. Viitattu 27.1.2024. Saatavissa <https://www.fingrid.fi/globalassets/dokumentit/fi/palvelut/kayttvarma-sahkonsiirto/vjv2018.pdf>

Fingrid. d. Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset. Viitattu 4.3.2024. Saatavilla <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/sahkovarastojen-jarjestelmatekniset-vaatimukset/>

Fingrid. e. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset. Viitattu 4.3.2024. Saatavilla <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/voimalaitosten-jarjestelmatekniset-vaatimukset/>

Kokkonen, J. 2023. Myynti- ja asiakaspäällikkö. Caruna Oy. Haastattelu 18.10.2023

Lakervi, E. & Partanen, J. 2009. Sähkönjakelutekniikka. 2. uudistettu painos. Helsinki: Ota-tieto.

Pitkänen, J. 2022. Komponenttipula sai alkunsa koronasta, eikä hellitä vielääkään – ”Komponentteja metsästetään kaikkien kivien ja kantojen alta ympäri maailmaa”. Maaseudun tulevaisuus. Viitattu 8.2.2024. Saatavissa <https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/uutiset/462c48fb-2b92-4807-97c5-c130bf92e6ce>

Reikko, J. 2024. Tekninen asiantuntija, relesuojaus. Caruna Oy. Haastattelu 19.1.2024.

Ristimäki, R & Vierimaa, H. 2019. KJ-kojeistotila kiinteistössä. Caruna Oy. Viitattu 22.1.2024. Ei saatavissa.

Ritchie, H & Roser, M. 2024. CO₂ emissions. Our World in Data. Viitattu 8.2.2024. Saatavissa <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

SESKO ry. 2017. Keski- ja suurjännitekaapelistandardit uusittu. Viitattu 18.12.2023. Saatavissa <https://sesko.fi/keskijannite-ja-suurjannitekaapelistandardit-uusittu/>

Sähkömarkkinalaki. 588/2013. Viitattu 5.10.2023. Saatavissa <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2013/20130588>

Tilastokeskus. Sähkön tuotanto tuulivoimalla ja ydinvoimalla nousivat vuonna 2022. Viitattu 7.12.2023. Saatavissa <https://www.stat.fi/julkaisu/cl8mo29omxf8t0duky5aa8i1>