



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville-Matti Varonen

Energiavarastojen liittymisprosessi sähkön- jakeluverkossa

Tekniikka
Energianvarastointi YAMK
2025

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Varonen Ville-Matti
Opinnäytetyön nimi	Energiavarastojen liittymisprosessi sähköjakeluverkossa
Vuosi	2025
Kieli	suomi
Sivumäärä	89 + 3 liitettä
Ohjaaja	Jukka Hautala

Tämä opinnäytetyö käsittelee sähkövarastojen liittämisprosessia Vaasan Sähköverkon toiminta-alueella. Työssä on käsitelty Vaasan sähköverkon liittymisprosessia ja sen kehittämistä liittyen sähkövarastojen liitettävyydestarkasteluun ja sähkövarastojen liittämiseen liittyviä vaatimuksia ja standardeja.

Työn lopputuloksena on syntynyt päivitetty tarkasteluohje, jossa otetaan huomioon liittämistä koskevat raja-arvot ja suunnitteluperiaatteet. Lisäksi työssä on käsitelty sähkövarastojen käyttöönottoon liittyvien tietojen ilmoittamista ja niiltä vaadittavien ominaisuuksien reunaehdoja.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Energy storage systems

ABSTRACT

Author	Ville-Matti Varonen
Title	Energy storage connection process
Year	2025
Language	Finnish
Pages	89 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Jukka Hautala

This thesis deals with the process of connecting electrical storage systems in the Vaasa Electricity Network's operating area. The project has examined the connection process of the Vaasa electricity network, focusing on the development related to the connectivity assessment of electrical storage systems. It also addresses the requirements and standards pertinent to the integration of electrical storage systems.

The work produced an updated review guide considering the limits and design principles of the connection. In addition, the work has addressed the reporting of information related to the commissioning of electrical storage systems and the boundary conditions of the required features.

Energy storage, Connection process, Connectivity review, Electricity distribution network

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	13
1.1	Toimeksiantaja	14
1.2	Energiamurros.....	15
1.3	Toimintaympäristön muutos	16
2	ENERGIAVARASTOT	18
2.1	Energiavarastoinnin nykytila.....	19
2.2	Käyttökohteet	20
2.3	Vaikutukset jakeluverkossa.....	21
3	SÄHKÖVERKKO JA LIITTYMISPROSESSI	23
3.1	Sähköverkon rakenne	23
3.1.1	Kantaverkko	23
3.1.2	Alueverkko	24
3.1.3	Jakeluverkko.....	24
3.2	Sähköliittymä ja liittyminen sähköverkkoon.....	24
3.3	Liittymisprosessi.....	25
3.3.1	Liittymätilaus.....	26
3.3.2	Liittymän hinnoittelu.....	26
3.3.3	Liittymissopimus	26
3.3.4	Työtilaus	27
3.3.5	Verkostosuunnittelu.....	27
3.3.6	Maastosuunnittelu.....	27
3.3.7	Liittymän rakentaminen.....	27
3.3.8	Työn tarkastus ja käyttöönotto.....	28
3.3.9	Dokumentointi ja liittymän laskutus.....	28
4	VAATIMUKSET JA LAINSÄÄDÄNTÖ	29

4.1	Sähkömarkkinalaki	30
4.1.1	Verkkoyhtiön velvollisuudet	30
4.2	SJV2019	31
4.3	VJV2018.....	31
4.4	SFS-EN 50160:2022	33
4.5	KJV2018.....	33
4.6	Tyypiluokat.....	34
5	VERKKOLIITYNTÄTARKASTELU JA SUUNNITTELUPERIAATTEET	36
5.1	Liityntätarkastelu	37
5.2	Lähtötiedot.....	37
5.3	Jännitteen laatu	38
5.4	Eri jännitetasoille kytkeytyneiden sähkövarastojen huomiointi	41
5.5	Kuormitettavuus ja jännitteen alenema	42
5.6	Jännitteen nousu.....	43
5.7	Toimenpiteet liitettävyyden parantamiseksi.....	44
5.7.1	Verkkotopologian muutos	45
5.7.2	Tuotanto-/kulutustehon rajoitus	45
5.7.3	Verkon vahvistus	45
5.8	Suojausten toiminnan varmistaminen.....	46
5.8.1	Virhelaukaisu	47
5.8.2	Suojauksen sokeutuminen	48
5.9	Liittymiskustannukset	50
5.10	Suunnitteluprosessi sähkövarastojen liittämässä	52
5.11	Kulutuksen ja tuotannon kapasiteetti VSV:n verkossa	55
6	LIITYMISTAVAT JA TEKNISET RATKAISUT.....	57
6.1	Pienjänniteliityntä	57
6.2	Keskijänniteliityntä.....	58
6.3	Sähköasemaliityntä	59
6.4	Tekniset ratkaisut ja yleiset vaatimukset.....	60
6.4.1	Sähkötyön aikaiset erotuskytkimet.....	60

6.4.2	Keskitetty suojaus	60
6.4.3	Etäohjausvalmius	62
6.4.4	Sähkövaraston jännite-taajuustoiminta-alue	62
6.4.5	Taajuuden muutosnopeuden sietokyky.....	62
6.4.6	Automaattinen kytkeytyminen	63
6.5	Tyypiluokan B yleiset vaatimukset.....	63
6.5.1	Etäohjausvalmius	63
6.5.2	Lähivikakestoisuus.....	63
6.5.3	Vikavirran syöttö	64
6.5.4	Pätötehon palauttaminen	65
6.5.5	Suojaukset	65
6.6	Toteutuksen vastuurajat	66
6.6.1	Pienjänniteliityntä	66
6.6.2	Keskijänniteliityntä.....	67
6.7	Liittymisprosessin vastuujako	68
6.7.1	Liittyjän vastuut, velvollisuudet sekä oikeudet.....	69
6.7.2	Verkonhaltijan vastuut, velvollisuudet sekä oikeudet.....	69
6.8	Sähkövaraston käyttöönotto- ja todentamisprosessi.....	69
6.9	Säätö- ja suojausmäärittelyt	70
6.9.1	Loss of Mains suojaus.....	70
6.9.2	Lois- ja pätötehon säädön asettelut	70
6.10	Reaaliaikainen tiedonvaihto	73
6.11	Todentamisprosessi ja käyttöönottoilmoitusmenettely	74
6.11.1	Tyypiluokka A	74
6.11.2	Tyypiluokka B	75
6.12	Sähkövarastojen käyttöönottokokeet	76
6.13	Energianmittaus	77
6.14	Vaadittavat dokumentit ja tiedot liittymisprosessin eri vaiheissa	78
6.14.1	Esiselvitys	78
6.14.2	Suunnitteluvaihe	79

6.14.3 Toteutus- ja käyttöönottovaihe	80
7 MUUT HUOMIOITAVAT ASIAT	81
7.1 Käyttötoiminta	81
7.2 Muutokset tulevaisuudessa teknisissä vaatimuksissa	82
7.3 Tuotannon rajoitukset	82
8 POHDINTA.....	84
LÄHTEET	86
LIITTEET	90

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1 Vaasan sähköverkon toiminta-alue.....	14
Kuva 2 Toimintaympäristön muutos VSV:n verkkoalueella (Vaasan Sähköverkko, 2024)	17
Kuva 3 Energiavarastojen jaottelu tyypeittäin (Choton K. Das, 2018).....	19
Kuva 4 Energiavarastoinnin kehittyminen vuoteen 2023 mennessä (IEA, 2024). 20	
Kuva 5 Energiavarastojen käyttötarkoitukset (wecfinland, 2016).....	21
Kuva 6 Sähköverkon rakenne (Savonvoima, 2021).....	23
Kuva 7 Suositellut tuotannon tehorajat eri liittymistavoille.....	35
Kuva 8 Hajautetun tuotannon vaikutus johtolähdön jännitteeseen (LUT yliopisto, 2022)	44
Kuva 9 Virhelaukaisun toimintaperiaate jakeluverkossa (Diplomityö Puolakanaho, 2022)	47
Kuva 10 Suojauksen sokeutumisen toimintaperiaate (Diplomityö Puolakanaho, 2022)	49
Kuva 11 Suunnitteluprosessi sähkövarastojen liittämisestä.....	53
Kuva 12, Liitettävyyden tarkasteluohje.....	54
Kuva 13 Vapaa kapasiteetti kulutukselle VSV:n verkkoalueella	55
Kuva 14 Vapaa kapasiteetti tuotannolle VSV:n alueella	56
Kuva 15 Pienjänniteliityntä	57
Kuva 16 Keskijänniteliityntä	58
Kuva 17 Liityntä sähköasemalle	59
Kuva 18 Keskitetyn suojauksen toimintaperiaate.....	61
Kuva 19 Tyyppiluokan B & C sähkövarastojen lähivikakestoisuuden toimintaperiaate	64
Kuva 20 Esimerkki pienjänniteliitynnän toteutuksesta	67
Kuva 21 Asiaksmuuntamon mallikaavio.....	68
Kuva 22 Q(U) -säädön asetteluarvot.....	71
Kuva 23 P(U) -säädön asetteluarvot ja toimintaperiaate	72

Kuva 24 Sähköliittymän energianmittaus sähköliittymällä, jossa tuotantoa ja kulutusta.....	78
Kuva 25 Rajoitusalue koskien yli 1MW suuntaajakytketyn tuotannon liittämistä.	83
Taulukko 1 Sähkövarastojen tyyppiluokat	34
Taulukko 2 Pienjänniteliittymien liittämisrajat pääsulakekoon mukaisten mitoitusosikosulkuvirtojen mukaan.	40
Taulukko 3 Jännitteenaleneman suunnittelurajat.....	43
Taulukko 4 Suunnittelurajat muuntajien kuormitettavuudelle.....	43
Taulukko 5 Suunnittelurajat runkojohtimien kuormitettavuudelle	43

LIITELUETTELO

LIITE 1. Pientuotannon yleistietolomake VSV

LIITE 2. Tyypiluokalta B vaadittavat tiedot ja dokumentit

LIITE 3. Vaasan sähköverkon asiakasmuuntamon mallikaavio

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

LYHENTEET

VSV	Vaasan Sähköverkko
Hz	Hertsi
pu	per unit
LOM	loss of mains
kV	kilovoltti
GWh	gigawattitunti
kVA	kilovolttiampeeri
MVA	megavoltiampeeri

MERKINNÄT

$\Delta U\%$	jännitteen muutos
K	käynnistysvirtakerroin
S_N	tuotantolaitteiston nimellisteho
S_{oik}	oikosulkuteho
U_N	nimellisjännite
I_k	oikosulkuvirta
k_{3v}	korjauskerroin kolmivaiheiselle oikosulkuvirralla
k_y	korjauskerroin hajautetun tuotannon yhteisvaikutukselle

U_h	jännitteenalenema
R	resistanssi
Φ	vaihevirran ja -jännitteen välinen vaihekulma
P_N	nimellisteho
U	sähköaseman kiskojännite
I_N	sulakkeen nimellisvirta
I_{kn}	tuotantolaitteiden tuottama oikosulkuvirta
I_{kmin}	suojattavan alueen pienin oikosulkuvirta
a	välittömät rakentamiskustannukset
b	kapasiteetinvarausmaksu

1 JOHDANTO

Energiamurroksen myötä sähkökäyttö ja uudet teknologiat yleistyvät, mikä vaikuttaa myös sähköverkon toimintatapoihin ja käytäntöihin. Yksi uusi teknologiatrendi on sähkövarastointi ja sähköverkkoon liittyvät sähkövarastot. Vaasan Sähköverkon alueella ei ole vielä virallisesti verkkoon liittyneitä sähkövarastoja, mutta viime aikoina kiinnostus sähkövarastojen liittämiseen on kasvanut liittymiskyselyjen muodossa. Vaasan Sähköverkolla ei ole vielä valmista liittymisprosessia koskien sähkövarastojen liittämistä.

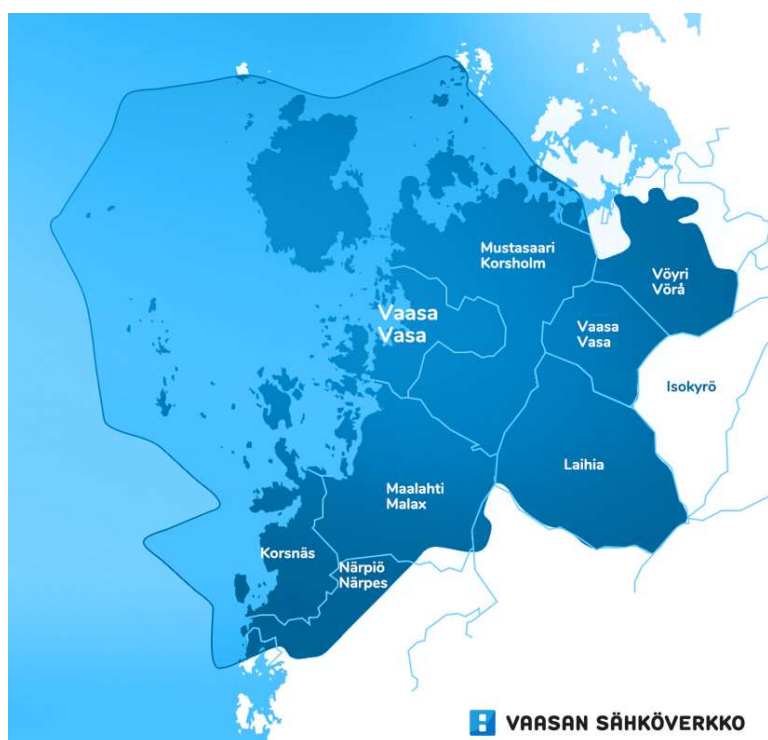
Tämän työn tavoitteena on tutkia ja tarkastella sähkövarastojen liittämisen periaatteita sähköverkkoon lainsäädännön ja sähkövarastoja koskevien vaatimusten perusteella. Työn lopputuloksena on tarkoitus luoda päivitetty ohjeistus koskien sähkövarastojen liittymisestä sähköverkkoon ottaen huomioon verkkoyhtiön velvollisuudet, vaatimukset ja kansalliset standardit.

Tutkimus pitää sisällään sähkövarastojen liittämistä koskevan teknisen tarkasteluperiaatteiden määrittelyn, lainsäädännön ja järjestelmätekniikan vaatimusten tarkastelun, sekä yhtiökohtaisen liittymisratkaisun ja vaatimusten määrittämisen. Ensimmäiset kolme kappaletta käsittelevät työn taustaa, energianvarastointia ja niiden käyttökohteita. Neljännessä kappaleessa on käsitelty sähkövarastojen liittämiseen liittyviä vaatimuksia ja lainsäädäntöä. Viidennessä kappaleessa käsitellään sähköverkon suunnitteluprosessia ja liityntätarkastelun periaatteita ja reunaeh-toja. Tämän jälkeen kuudennessa kappaleessa on määriteltynä jakeluverkon erilaiset liityntätavat, sekä tekniset vaatimukset eri tyyppiluokan sähkövarastoille. Viimeiset kappaleet sisältävät muut huomioitavat asiat ja pohdinnan.

1.1 Toimeksiantaja

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Vaasan Sähköverkko Oy (VSV). Vaasan sähköverkko on osa Vaasan Sähkö -konsernia ja sen kokonaan omistama tytäryhtiö. VSV on yksi Suomen 77 sähkönjakeluyhtiöstä, jonka vastuulla on sähkön-siirto, -jakelu ja niihin liittyvien palveluiden tarjoaminen. VSV:n vastuualue ulottuu Vaasan, Mustasaaren, Laihian, Korsnäsin, Närpiön, Maalahden ja Vöyrin kuntien alueelle. Vastuualue sisältää useita erilaisia toimintaympäristöjä, kuten tiheästi asuttua kaupunkialuetta, maaseutua, mökkipainotteista rannikko- ja saaristoaluetta.

VSV:n jakelualueen (Kuva 1) verkon pituus on noin 7500 kilometriä sisältäen 110kV, 20kV ja 0,4kV verkkoa. VSV palvelee noin 73 000 asiakasta ja vuonna 2023 siirretyn sähkön määrä oli noin 900 GWh. Vuonna 2023 yhtiön liikevaihto oli 33M€ ja yhtiössä työskenteli 32 henkilöä.



Kuva 1 Vaasan sähköverkon toiminta-alue

1.2 Energiamurros

Energiamurros on yksi tämän päivän suurimmista puheenaiheista. Se pitää sisällään monta erilaista aihealuetta ja vaikuttaa meihin kaikkiin usealla eri tavalla. Lyhyesti energiamurros tarkoittaa siirtymäkautta uuteen energiajärjestelmään, joka on hiilineutraali, energiatehokas sekä älykäs. Tämä koko siirtymä on lähtenyt liikkeelle ihmisten halusta siirtyä fossiilisesta energiantuotannosta hiilineutraaleihin ja uusiutuviin tuotantomuotoihin.

Energiatuotannon rakenteen muuttuessa fossiilisista polttoaineista uusiutuviin energiatuotantomuotoihin, muuttuu myös tuotantokapasiteetin ajoittainen saatavuus. Tähän asti on totuttu siihen, että sähköjärjestelmä joustaa ja mukautuu sähkön kulutuksen mukaan. Tulevaisuudessa kun joustamattomat energiantuotantomuodot korvaavat perinteisiä säädettäviä tuotantomuotoja on asetelmaa tuotannon ja kulutuksen välillä muutettava. Tulevaisuudessa sähkönkulutuksen on joustettava enemmän tuotannon mukaan, tätä kutsutaan kulutusjoustoksi. Yksi joustoja mahdollistava tekniikka ovat energiavarastot (A.B. Gallo, 2016).

Pelkkä sähköenergian tuotantomuotojen uusiminen ei ratkaise tavoitteita hiilineutraalisuudesta. Uudenlainen sähköjärjestelmä tulee vaatimaan uusia ratkaisuja ja teknologioiden käyttöönottoa, jotta järjestelmästä saadaan entistä joustavampi ja käyttövarmempi. Energiamurroksen myötä energiavarastojen markkinat ovat kasvaneet räjähdysmäisesti globaalilla tasolla. Tämän myötä myös varastointiteknologiat ovat kehittyneet ja hinnat ovat olleet laskussa. Lisäksi erilaiset sektori-integraatiot lisäävät uusia mahdollisuuksia energianvarastoinnille.

Yksi energiamurroksen käsitteistä on sektori-integraatio. Sektori-integraatiolla tarkoitetaan eri energiasektoreiden yhdistymistä siten, että ne voivat tasapainottaa toistensa kulutus- ja tuotantopiikkejä. Energiasektoreihin kuuluu yleisesti sähkö-, kaasu-, lämpö- ja liikennesektori. Näiden sektoreiden sähköistyessä yhdistävänä tekijänä toimii tulevaisuudessa sähköverkko. (Fingrid, 2020)

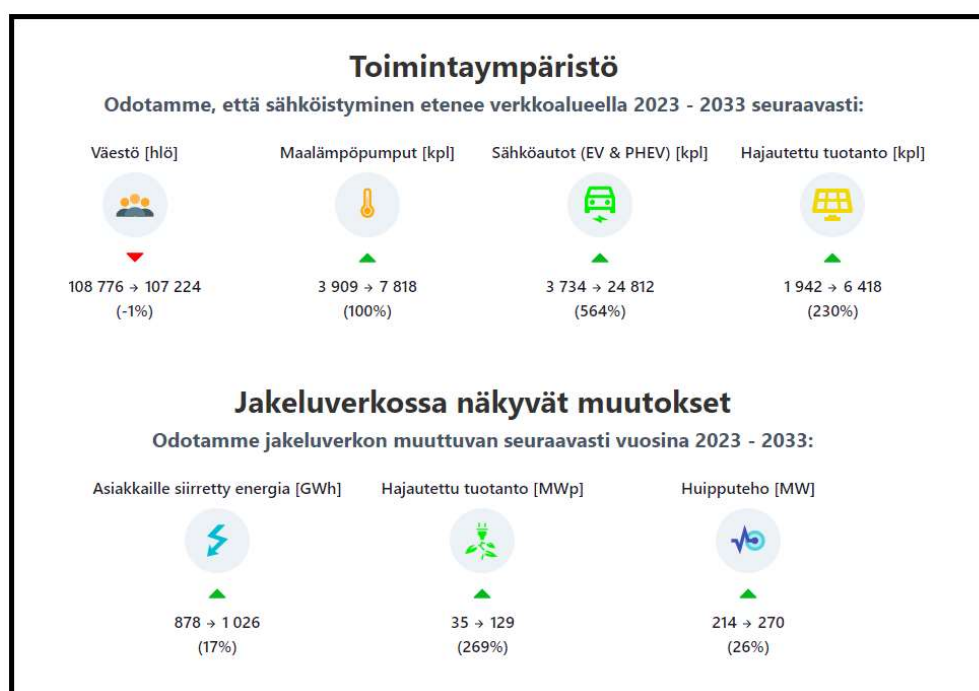
Sähköistyvä yhteiskunta on siis tulevaisuudessa aina vain riippuvampi sähköjärjestelmästä ja sen toimitusvarmuudesta. Kaiken tämän mahdollistajana toimii sähköverkot, joka mahdollistaa uusien teknologioiden liittämisen uuteen kehittyneeseen järjestelmään. Suomessa on tällä hetkellä käynnissä ja suunnitteilla suuri määrä investointeja sähköverkon vahvistamiseen ja kehittämiseen.

1.3 Toimintaympäristön muutos

Siirtyminen hiilineutraaliin yhteiskuntaan on väistämätöntä, jonka toteuttaminen vaatii yhteiskunnan sähköistymistä. Sähköistämisen tavoitteena on luopua fossiilista polttoaineista osana energiajärjestelmää, mikä johtaa siihen, että sähkönkulutus tulee nousemaan globaalisti. Sähkönkulutuksen nousuun tulee erityisesti vaikuttamaan teollisuuden sähköistyminen. Tähän asti sähkön käytön kasvun ennustaminen on ollut helppoa ja tasaista, mutta energiamurroksen myötä tulevaisuuden kehitystä on vaikea ennakoida. Lisääntyvä sähkönkulutus tulee kattaa uusiutuvalla energiatuotannolla, mikä tulee lisäämään kulutusjouston tarvetta, sekä vauhdittamaan uusien teknologioiden käyttöönottoa. Tulevaisuudessa sähköjärjestelmä tulee sisältämään suuren määrän säästä riippuvaa tuotantoa, jonka myötä tarve energianvarastoinnille kasvaa. Järjestelmätekniisten muutosten ohella energiamurroksella on myös yhteiskunnallisia ja sosiaalisia vaikutuksia. Muutokset tulevat vaikuttamaan jakeluverkon kannalta, miten, missä ja milloin energiaa käytetään tai tuotetaan. Uudet teknologiat muuttavat myös perinteistä jakeluverkon asiakkaan roolia pelkästä sähkönkuluttajasta tuottajaksi ja aktiiviseksi osallistujaksi joustomarkkinoilla. (LUT, 2020)

Sähköistyvän yhteiskunnan trendeinä voidaan pitää liikenteen ja lämmityksen sähköistymistä. Tämä muutos vaikuttaa suoraan sähkönjakeluverkkoihin ja asettaa uusia haasteita. Tavallisten kuluttajien vuosittainen sähköenergian kulutus saattaa pysyä samana tai jopa laskea, mutta toisaalta kulutuspisteen huipputeho pysyy samana tai kasvaa. Lisäksi spot-hintaiset sähkösopimusten yleistyessä on hyvin todennäköistä, että huipputehot ajoittuvat samalle ajalle. Tällainen radikaali muutos

tehojen risteilyn osalta pakottaa jakeluverkkoyhtiöt tekemään aikaisempaa enemmän investointeja ja nopeuttamaan verkon saneeraustöitä (LUT, 2020). Kuvassa 2 on esitetty VSV:n toimintaympäristössä arvioituja muutoksia koskien energianmurrosta sisältäen sähköistyvän liikenteen, hajautetun tuotannon ja huipputehon kasvua. (Vaasan Sähköverkko, 2024) Kuvasta voidaan huomata, että liikenteen sähköistyminen ja lämmityksen sähköistyminen ovat kasvavia trendejä hajautetun tuotannon kanssa, vaikka kuluttajien määrä toiminta-alueella odotetaan pysyvän samana.

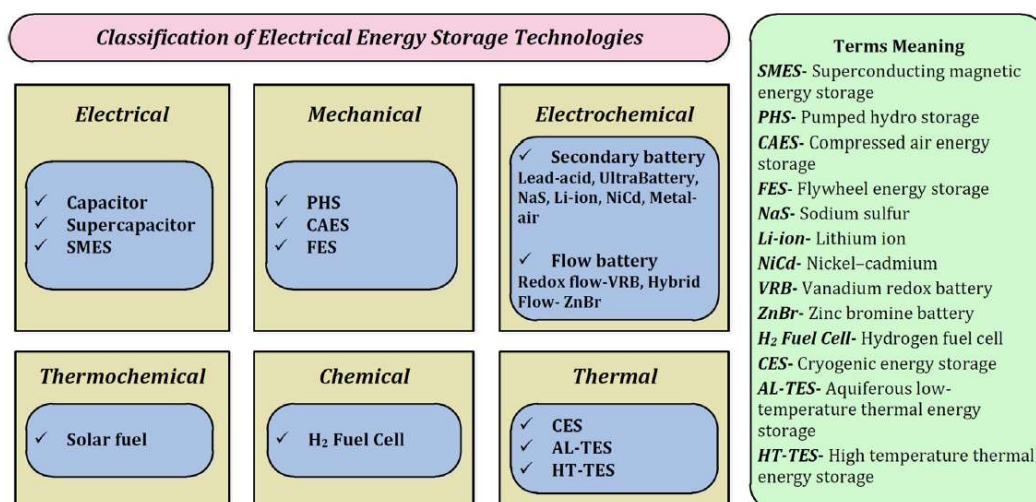


Kuva 2 Toimintaympäristön muutos VSV:n verkkoalueella (Vaasan Sähköverkko, 2024)

2 ENERGIAVARASTOT

Energian varastoinnilla tarkoitetaan energian muuntamista sellaiseen muotoon, jossa se on helppo varastoida myöhempää käyttöä varten. Nykypäivänä energianvarastoinnilla tarkoitetaan useimmiten sähköenergian muuntamisesta potentiaali-, kemialliseksi- tai lämpöenergiaksi. Energiavarastoilla on useita erilaisia käyttökohteita ja teknologioita. Yleisin käyttötarkoitus on varastoida energiaa yhdeltä ajanhetkeltä toiseen. Energiavaraston käyttökohde on usein riippuvainen varaston mallista, kapasiteetista ja tehosta. Energianvarastoinnin käyttöönotto osana energijärjestelmää on kiihtynyt osana energiamurrosta. Säätöriippuvainen energiatuotanto on lisännyt tarvetta tasoittaa ja siirtää tuotettua energiaa ajanhetkeltä toiselle. Energianvarastointiin liittyy tällä hetkellä suuria odotuksia, sekä paljon epäilyksiä ja kysymysmerkkejä. (Anam Kalair, 2020)

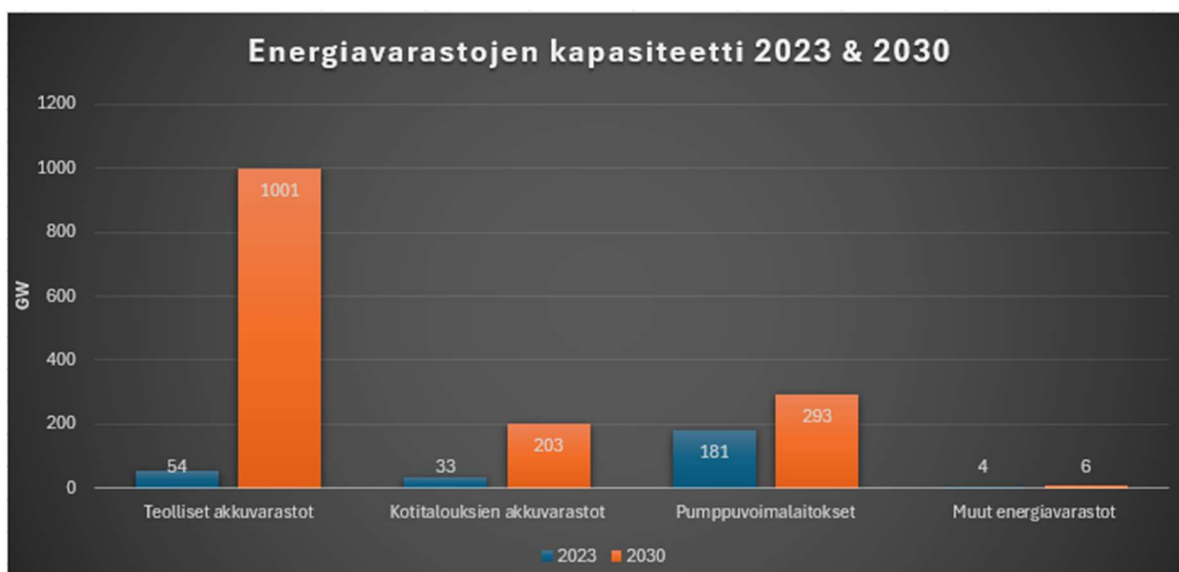
Energiavarastot voidaan jaotella erilaisiin tyyppeihin niiden toimintaperiaatteiden mukaan. Jaottelu erityyppisiin energiavarastoihin on esitetty kuvassa 3. Karkeajaottelu on luokittelu fysikaalisiin- ja sähkökemiallisiin varastoihin. Fysikaalisiin energiavarastoihin kuuluvat varastotyyppit, jotka muuntavat sähköenergiaa kineettiseksi- tai lämpöenergiaksi. Tällaisia energiavarastoja ovat esimerkiksi vauhtipyörät tai pumppuvoimalaitokset. Sähkökemiallisiksi energiavarastoihin kuuluvat taas akkuvarastot tai superjohteet. (LUT, 2020)



Kuva 3 Energiavarastojen jaottelu tyypeittäin (Choton K. Das, 2018)

2.1 Energiavarastoinnin nykytila

Tällä hetkellä yhteenlasketusta energianvarastointikapasiteetista suurin osa on sijoitettu pumppuvoimalaitoksiin. Vuonna 2021 pumppuvoimalaitosten teho oli 160GW maailmanlaajuisesti ja kapasiteetti 8600GWh. Pumppuvoimalaitoksien osuus on yhteensä n. 90 % kaikesta energianvarastointikapasiteetista maailmanlaajuisesti (IEA, 2023). Muiden teknologioiden osuuden odotetaan kuitenkin kasvavan huomattavasti tulevaisuudessa. Erityisesti akkuvarastojen osuuden odotetaan nousevan eniten prosentuaalisesti akkujen markkinahinnan laskiessa. Akkuvarastot ovat helposti skaalattavissa useisiin eri kokoluokkiin ja käyttötarkoituksiin. Vuonna 2023 maailmanlaajuisesti käytössä olevien teollisen kokoluokan akkuvarastojen teho oli 54 GW. Tehon odotetaan kuitenkin kasvavan lähivuosina kiihtyvää tahtia ja vuonna 2030 käyttöönotetun tehon odotetaan olevan yhteensä jopa 1001 GW maailmanlaajuisesti. Akkuvarastojen lisäksi ovat lisääntyneet suuritehoiset kaukolämmön lämpövarastot, sekä vetyyn liittyvät ratkaisut. Kuvassa 4 on esitettyä arvioitu sähkövarastokapasiteetti vuonna 2030. (IEA, 2024)



Kuva 4 Energiavarastoinnin kehittyminen vuoteen 2023 mennessä (IEA, 2024)

2.2 Käyttökohteet

Energiavarastoille on useita käyttökohteita ja tarpeita riippuen sen ominaisuuksista ja mihin osaan energiajärjestelmää se kytkeytyy. Energiavarastot voivat toimia useassa eri käyttötarkoituksessa tai markkinassa lisäten sen taloudellista kannattavuutta. Suuren kapasiteetin varostotyyppit kuten pumppuvoimalaitos tai paineilma- varastot toimivat usein pidemmän aikavälin joustotarpeisiin tasoittaen vuorokauden tai viikkojen sisäisiä sähköenergian tuotannon vaihteluita. Lyhyemmän aikavälin energiavarastot kuten akkuvarastot tai vauhtipyörät taas tuottavat nopean reagoimisajan vaativia palveluja kuten sähköjärjestelmän tehotasapainon hallintaa tukeville reservimarkkinoille. Kuvassa 5 on esitettyä energiavarastojen käyttötarkoituksia sähköjärjestelmän eri tasoilla. (LUT, 2020)

	Kantaverkon varasto	Jakeluverkon varasto	Loppukäyttäjän varasto
Kulutusjousto	<ul style="list-style-type: none"> -Tuotannon ja kulutuksen vaihtelun tasapainottaminen -Viikko tai päivä -tason vaihteluiden tasoittaminen 	<ul style="list-style-type: none"> -Huipunleikkaus -Päivä- ja tuntitasoisen vaihtelun tasoittaminen 	<ul style="list-style-type: none"> -Päivittäisen kulutuksen ja tuotannon tasaaminen -Sähkömarkkina arbitraasin hyödyntäminen
Verkonkäyttö	<ul style="list-style-type: none"> -Taajuus- & jännitesäätö -Reservikapasiteetti -Säätömarkknat -Huipputuotannon korvaaminen 	<ul style="list-style-type: none"> -Jännite- & taajuussäätö -Varavoima -Loistehon säätö -Mikroverkot ja saarekeajo 	<ul style="list-style-type: none"> -Varastojärjestelmien aggregointi -Varavoima -Joustopalveluiden tarjoaminen
Energiatehokkuus	<ul style="list-style-type: none"> -Tuotannon siirto kulutuksen huippuhetkiin 	<ul style="list-style-type: none"> -Kysyntäjoustoratkaisut 	<ul style="list-style-type: none"> -Mikrotuotannon arvon lisääminen -Energiatehokkaat rakennukset -Oman kulutuksen optimointi

Kuva 5 Energiavarastojen käyttötarkoitukset (wecfinland, 2016)

2.3 Vaikutukset jakeluverkossa

Yksi energiavarastojen käyttökohteista on myös tarjota jousto- ja lisäpalveluita verkkoyhtiölle ja tukea sähköverkon toimintaa. Varastoimalla energiaa ja purkamalla sitä oikeaan aikaan voidaan saavuttaa useita erilaisia taloudellisia tai käyttövarmuuteen liittyviä hyötyjä. Pääasiallisesti akkuvarastot tarjoavat eniten mahdollisuuksia jakeluverkon kannalta. Tällaisia käyttökohteita ovat esimerkiksi huipputehon leikkaaminen suuressa kulutuspisteessä, jännitteen hallinnan tukeminen tai saarekekäytöt. Huipputehon leikkaaminen lähellä suurta kulutuspistettä voi vähentää tarvetta investoida verkon vahvistamiseen tai siirtää niitä tulevaisuuteen. Akkuvarastot voivat myös tarjota mahdollisuuksia nopeaan jännitehallintaan tilanteissa, joissa tapahtuu suuria yhtäaikaisia kulutus- tai tuotantopiikkejä. Lisäksi saarekekäyttöön soveltuvat akkuvarastot voivat parantaa jakeluverkon toimitusvarmuutta ja lisätä säästöjä keskeytyksistä aiheutuvista kustannuksista. Tällä hetkellä

kuitenkin akkuvarastojen suuri hinta vaikeuttaa akkuvarastojen jalkautumista verkkoyhtiöiden investointiohjelmaan. (LUT, 2020)

Energiavarastojen lisääntyminen jakeluverkossa aiheuttaa myös erilaisia sähkötekniisiä vaikutuksia. Väärin sijoitettu tai mitoitettu sähkövarasto voi heikentää jakeluverkon sähkönlaatua, tasapainoa ja kuormanhallintaa (Choton K. Das, 2018). Tällaisia ovat esimerkiksi jännitteen nousu paikallisesti, muut sähkönlaadulliset ongelmat ja vikavirtojen hallinnan monimutkaistuminen. Kaikilla näillä on vaikutusta verkon suunnitteluun ja käyttötoimintaan. Esimerkiksi jakeluverkon jännitesäätö päämuuntajan käämikytkimellä ei toimi halutulla tavalla normaalitilanteessa, jossa hajautettu tuotanto ei ole tasapainossa rinnakkaisilla johtolähdöillä (Khawaja Khalid Mehmood, 2018). Jakeluverkkoon liitettyjen tehoelektroniikka laitteiden määrä lisää myös verkossa esiintyviä yliaaltoja, mikä kuormittaa verkossa olevia komponentteja kuten muuntajia ja täten vähentää laitteiden käyttöikää (Watson, 2003). Lisäksi hajautetut tuotantolaitteet muuttavat järjestelmää kaksisuuntaiseksi, jolloin vikatilanteiden virran suunnat voivat aiheuttaa ongelmia suojausten toteuttamisessa ja suunnittelussa. (Kivinen, 2008)

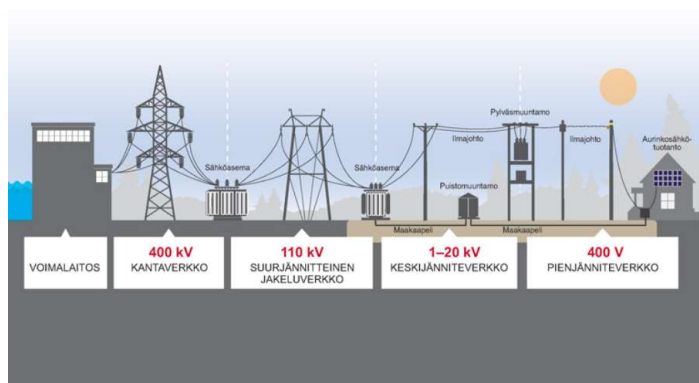
Jakeluverkkoon liitetyt sähkövarastot tarjoavat siis hyötyjä kuluttajille mutta myös verkkoyhtiölle, jos liitetyn laitteiston mitoitus ja sijoitus on tehty optimaalisesti kummankin osapuolen kannalta. Väärin mitoitettu tai optimoitu verkkoliityntä voi taas aiheuttaa haasteita verkkoyhtiölle.

3 SÄHKÖVERKKO JA LIITTYMISPROSESSI

Tässä kappaleessa käsitellään suomen sähköjakelujärjestelmän rakennetta ja niistä vastaavan tahon roolia. Sähköverkon eri osia ja osapuolia käsitellään lyhyesti pyrkien luomaan yleiskäsitys jokaisesta verkon osa-alueesta ja tarkoituksesta Suomen sähköjärjestelmässä. Lisäksi kappaleessa käsitellään VSV:n nykyisen liittymisprosessin rakennetta ja eri vaiheiden tarkoitusta.

3.1 Sähköverkon rakenne

Suomessa sähköä siirretään karkeasti jaoteltuna kolmella eri osa-alueella. Nämä osa-alueet koostuvat kantaverkosta, suurjännitteisistä jakeluverkoista ja jakeluverkoista. Kaikki kolme osiota sisältävät voimajohtoja, sähköasemia ja muuntajia, kytkinlaitteita, sekä erilaisia suojalaitteita. Yhdessä nämä muodostavat Suomen sähköverkon. Eri verkonosien haltijoilla on erilainen rooli ja vastuualue suomen sähköjärjestelmässä. Kuvassa 6 on esitettyä sähköjakelujärjestelmän periaatteellinen rakenne ja eri jännitetasojen kytkeytyminen toisiinsa. (Savonvoima, 2021)



Kuva 6 Sähköverkon rakenne (Savonvoima, 2021)

3.1.1 Kantaverkko

Kantaverkolla tarkoitetaan suurjännitteistä silmukoitua runkoverkkoa, jonka jännitetaso vaihtelee 400 – 110kV välillä. Suomessa kantaverkon haltijana toimii Fing-

rid, joka vastaa kantaverkon toimivuudesta ja ylläpidosta. Fingridin omistaa Suomen valtio ja suomalaiset eläkeyhtiöt. Fingridin päätehtävänä on huolehtia ja turvata sähköjärjestelmän tasapainosta ja pyrkiä yhdistämään suuret sähkön tuottajat ja kuluttajat toisiinsa. (Fingrid, fingrid.fi, 2024)

3.1.2 Alueverkko

Alueverkko on suurjännitteinen 110kV voimalinjojen muodostama kokonaisuus, joka ei kuulu kantaverkkoyhtiö Fingridille. Alueverkot ovat yleensä itsenäisiä alueverkkoyhtiön tai jakeluverkkoyhtiön muodostamia ja niissä siirretään sähköä kantaverkon ja jakeluverkon välillä. Suuritehoiset kuluttajat tai tuottajat voivat liittyä usein suoraan alueverkkoon ja joissain tapauksissa jopa omistaa niitä.

3.1.3 Jakeluverkko

Jakeluverkko on jakeluverkkoyhtiön omistama alle 110kV jakeluverkko. Jakeluverkon jännitetasoja ovat tyypillisesti 20kV keskijänniteverkko ja 0,4kV pienjänniteverkko. Jakeluverkot liittyvät aina kanta- tai alueverkkoon sähköasemalla, jossa suurjännite muutetaan alempaan jännitetasoon jakeluverkossa siirrettäväksi. Sähköasemalta sähköenergia siirretään keskijänniteverkossa lähemmäksi kulutuspiisteitä, joissa muuntamalla jännitetaso muutetaan yleensä 0,4kV loppukäyttäjille sopivaksi. Liittymispisteillä, joilla tehontarve on tavallista kulutusta suurempaa, on myös mahdollisuus liittyä suoraan keskijänniteverkkoon oman muuntamon kautta. (Fingrid, fingrid.fi, 2024)

3.2 Sähköliittymä ja liittyminen sähköverkkoon

Sähköliittymällä tarkoitetaan tontin sähkökäyttöoikeutta ja tontilla fyysisesti sijaitsevaa sähköverkkoa, jonka kautta sähkönkulutuspiiste on liitetty paikalliseen jakeluverkkoon. Sähköverkkoon liittymisestä vastaa aina paikallinen jakeluverkkoyhtiö.

Sähkökäyttöpaikan liittäminen sähköverkkoon tapahtuu aina paikallisen jakeluverkkoyhtiön liittymisprosessin ja teknisten vaatimusten mukaisesti. Sähkökäyttöpaikan täyttäessä verkkoyhtiön vaatimukset on verkkoyhtiön velvollisuutena liittää se toiminta-alueensa verkkoon. Verkkoliitynnän liittymiskustannuksista ja toimitusajasta saa aina arvion paikalliselta verkkoyhtiöltä. Lisäksi verkkoyhtiön täytyy ilmoittaa julkisesti liittämistä koskevat tekniset vaatimukset, myyntiehdot ja hinnastot, sekä kohtuullinen aika, jonka kuluessa verkkoyhtiö käsittelee liittymistä koskevat tarjouspyynnöt. (Energiavirasto, 2024)

Sähköliittymien kohtuullista hinnoittelua valvoo Energiavirasto. Hinnoittelun katsotaan olevan asianmukaista, jos verkkoyhtiön hinnoitteluperiaatteet ovat energiaviraston vahvistaman mallin ja sähkömarkkinalain mukaisia. Verkkoyhtiöt veloitetaan ilmoittamaan liittymismaksujen määräytymisperusteet julkisesti. Liittymismaksun suuruus vaihtelee usein liittymispisteen sijainnin ja rakennuskustannuksia jakavien muiden liittyjien mukaan. Yleisesti mitä lähempänä muuntamoaa liittymispiste sijaitsee, sitä pienemmäksi liittymiskustannukset muodostuvat. (Energiavirasto, 2024)

Jakeluverkkoyhtiön liittämistä koskevat vaatimusten tulee olla syrjimättömiä, tasapuolisia ja kohtuullisia. Paikallinen jakeluverkkoyhtiö ei saa asettaa perusteettomia vaatimuksia tai ehtoja liittyjälle. (Energiavirasto, 2024)

3.3 Liittymisprosessi

Liittymisprosessin tarkoituksena on vakioida ja varmistaa, että liittyminen jakeluverkkoon toteutuu aina verkkoyhtiön vaatimusten ja standardien mukaisesti. Liittymisprosessi sisältää useiden eri toimintojen yhteistyötä aina asiakkaalle asti. Liittymisprosessi alkaa asiakkaan yhteydenotosta ja päättyy liittymän laskutukseen. Vakioitu liittymisprosessi varmistaa, että asiakkaan liittyminen jakeluverkkoon täyttää sopimukset, tekniset mitoituksen, työn tarkastuksen ja loppudokumentoinnin. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.1 Liittymätilaus

Liittymätilaus prosessi alkaa asiakkaan yhteydenotosta verkkoyhtiöön. Asiakas voi tilata uuden liittymän tai muutoksen olemassa olevaan liittymispisteeseen puhelimitse tai VSV:n verkkosivujen kautta. Tuotannon tai sähkövaraston liittämisen tapauksissa asiakas täyttää myös yleistietolomakkeen VSV:n verkkosivuilla. Tuotantolaitteen liitettävyyttä tarkastetaan aina suunnitteluosastolla, kun yleistietolomakkeen tiedot saapuvat. Liittymäpalveluiden edustaja neuvottelee aina asiakkaan kanssa, mikäli tuotantolaitte ei ole liitettävissä sellaisenaan ja neuvoo millä ehdoilla laite voidaan mahdollisesti liittää. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.2 Liittymän hinnoittelu

Liittymän hinnoittelu tapahtuu energiaviraston ohjeistuksen sähköliittymien hinnoitteluperiaatteiden mukaisesti. Tekninen asiakaspalvelija hinnoittelee liittymän vyöhykehinnoittelun mukaisesti, kun se on mahdollista. Vyöhykehinnoittelun ulkopuolella olevat liittymät hinnoitellaan aina tapauskohtaisesti. Tapauskohtaisessa hinnoittelussa verkostosuunnittelija laskee liittymishinnan, määrittelee toimitusajan ja hyväksyy laskelman suunnittelupäälliköllä. Tarjouslaskelman valmistuttua tekninen asiakaspalvelija lähettää liittymätarjouksen asiakkaalle. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.3 Liittymissopimus

Liittymissopimus tehdään aina kirjallisena dokumenttina liittymisen kanssa. Liittymissopimuksen osapuolena voi toimia yksityishenkilö tai yritys. Liittymissopimuksen allekirjoittamalla liittymä sitoutuu noudattamaan sähköverkkoon liittymisen ehtoja ja voimassa olevia hinnastoja. Vaasan Sähköverkon liittymisehdot perustuvat Energiateollisuus ry:n suosittelemiin yleisiin liittymisehtoihin. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.4 Työtilaus

Verkkoliitynnän toteutus lähtee liikkeelle aina työtilauksesta. Työtilaus kirjataan järjestelmään, jonka jälkeen suunnittelutehtävä tilataan työnohjausjärjestelmän kautta. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.5 Verkostosuunnittelu

Verkostosuunnitteluvaihe sisältää liittymisratkaisun sähkösuunnittelun. Sähkösuunnittelussa mitoitetaan sähköiset komponentit kuten johtimet, muuntajakooneet ja suojaukseen liittyvät varokkeet tai asetellut. Sähköisen mitoituksen lisäksi verkostosuunnittelija tekee alustavan reittisuunnittelun ottaen huomioon VSV:n suunnitteluperiaatteet. Työ tilataan alueelliselta sopimusurakoitsijalta, kun suunnittelu on valmis. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.6 Maastosuunnittelu

Maastosuunnitteluvaiheen toteuttaa aina aktiivinen sopimusurakoitsija. Maastosuunnittelu vaiheessa tarkoitus on tehdä tarkempi reitti- ja rakennesuunnitelma, sekä komponenttien sijoituslupien tekeminen. Maastosuunnittelija hakee sijoituslupaa maanomistajilta ja sopii yksityiskohdat liittyjän kanssa. Tarkemman reittisuunnittelun ja tarvittavien lupien jälkeen maastosuunnittelija laatii yksityiskohtaiset työpiirustukset toteutuksesta. Maastosuunnitelma tarkastetaan ja hyväksytään tämän jälkeen verkkoyhtiön edustajan toimesta. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.7 Liittymän rakentaminen

Rakennetaan verkkoliityntä ja siihen liittyvä jakeluverkko suunnitelman mukaisesti. Rakennuttajana toimii liittymäpalvelut tai projektipäällikkö riippuen työn laajuudesta ja liityntäjännitteestä. Rakentamisen valmistuttua toimitetaan tarvittavat dokumentit verkkoyhtiölle. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.8 Työn tarkastus ja käyttöönotto

Asiakkaan urakoitsija tilaa mittarin ja liittymisjohdon kytkennän. Tuotantoa sisältävät liittymissä täytetään myös käyttöönottilauslomake. VSV:n sopimusurakoitsija sopii ja suorittaa kytkennän yhteistyössä asiakkaan kanssa. VSV:n sopimusurakoitsija merkitsee suoritettun työn dokumentointivalmiuteen ja luo laskutusehdotuksen. (Vaasan Sähköverkko, 2024)

3.3.9 Dokumentointi ja liittymän laskutus

Työn tarkastamisen ja hyväksymisen jälkeen muutokset dokumentoidaan verkkoyhtiön tietojärjestelmiin. Dokumentoija tarkistaa, että vaaditut tiedot ovat täytetty verkkotietojärjestelmään ja loppudokumentit on lähetetty verkkoyhtiölle. Työn valmistumisen jälkeen toteutus laskutetaan asiakkaalta (Vaasan Sähköverkko, 2024)

4 VAATIMUKSET JA LAINSÄÄDÄNTÖ

Verkkoon liitettävien tuotantolaitoksien tulee täyttää VSV:n verkossa seuraavat vaatimukset:

Noudatettavat standardit

- SFS 6000, Pienjännitesähköasennukset
- SFS 6001, Suurjännitesähköasennukset
- SFS-EN 50549-1:2019, Requirements for generating plants to be connected in parallel with distribution networks
- SFS-EN 50549-2:2019 Connection to a MV distribution network. Generating plants up to and including Type B
- SFS-EN 50160, Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet
- Fingrid Oyj:n järjestelmätekniiset vaatimukset
- VJV2018 (Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset 2018)
- SJV2019 (Sähkövarastojen järjestelmätekniiset vaatimukset 2019)
- KJV2018 (Kulutuksen järjestelmätekniiset vaatimukset 2018)

Energiateollisuus ry:n ohjeistukset 50–1000 kVA tuotantolaitteistoille

- Sähköntuotantolaitoksen liittäminen jakeluverkkoon 14.6.2021
- Verkostosuositus YA 9:23

Verkkopalveluehdot VPE 2024

Liittymisehdot LE 2019

4.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinoilla tarkoitetaan Suomessa sähköntuotantoa, -siirtoa ja jakeluverkotoimintaa. Sähkömarkkinoita säätelee sähkömarkkinalaki. Sähkömarkkinalain tarkoituksena ja tavoitteena on varmistaa edellytykset kestävästi toimiville kansallisille ja alueellisille sähkömarkkinoille. Sähkömarkkinalaki varmistaa hyvän sähköntoimitusvarmuuden, kilpailukykyisen sähkön hinnan, sekä kohtuulliset palvelueriaatteet loppukäyttäjille toteutuvat.

Sähkömarkkinalaki sisältää seitsemän osaa, joista osa kaksi on keskittynyt sähköverkkoihin. Sähkömarkkinalain osa kaksi määrittelee sähköverkkotoiminnan luvanvaraisuutta, verkonhaltijan yleisiä velvollisuuksia, verkkopalveluiden hinnoittelua, sekä muita jakeluverkon haltijaa koskevia säännöksiä. (Sähkömarkkinalaki 2013/588)

4.1.1 Verkkoyhtiön velvollisuudet

Verkonhaltijalla on sähkömarkkinalain mukaan kehittämis- ja liittämisvelvollisuus. Käytännössä sähkömarkkinalaki velvoittaa verkonhaltijoita kehittämään ja ylläpitämään sähköverkkoa siten, että sähkönsiirron tekninen laatu vastaa vaatimuksia. Lisäksi laki velvoittaa verkonhaltijaa liittämään verkkoonsa tekniset vaatimukset täyttävät käyttöpaikat kuten sähkövarastot. Liittämistä koskevien ehtojen tulee lisäksi olla avoimia, tasapuolisia ja syrjimättömiä kaikille liittyjille. Näissä ehdoissa on myös otettava huomioon sähköjärjestelmän tehokkuus ja toimintavarmuus. Verkonhaltijan on julkaistava liittämistä koskevien säädösten lisäksi myös kohtuullinen aika, jonka sisällä verkkoyhtiö käsittelee liittymistä koskevat tarjoukset. Sähkömarkkinalaki määrittelee myös erityissäännökset koskien voimalaitosten tai energiavarastojen liittämistä suurjännitteiseen jakeluverkkoon. Säännöksessä määritellään, että verkonhaltija ei voi kieltäytyä liittämästä uutta energiavarastoa vetoamalla käytettävissä olevassa verkon siirtokapasiteetissa myöhemmin mahdollisesti ilmeneviin rajoituksiin. (Sähkömarkkinalaki 2013/588)

4.2 SJV2019

SJV2019 (sähkövarastojen järjestelmätekniiset vaatimukset) on kantaverkkoyhtiö Fingridin tuottama asiakirja, jonka tarkoituksena on määrittää tekniset vaatimukset suuntaajakytketyille sähkövarastoille. Näiden järjestelmätekniisten vaatimusten lisäksi liittymisen on noudatettava liittymishetkellä voimassa olevia Fingridin yleisiä liittymisehtoja (YLE), kantaverkkosopimuksen mukaisia ehtoja, sekä liittymispisteen verkonhaltijan asettamia liittymisehtoja. (Fingrid, 2020)

Vaatimukset ovat määritetty sähkövarastojen liityntälaitteiston teknologian perusteella, mikä on yhtenevä suuntaajakytkettyjen voimalaitosten kanssa. Euroopallaiset verkkosäännöt eivät tällä hetkellä aseta vaatimuksia sähkövarastoille. (Fingrid, 2020)

Kansallisesti sähkövarastojen järjestelmätekniisten vaatimusten asettamisella pyritään varmistamaan, että (Fingrid, 2020)

- sähkövarasto kestää sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut,
- sähkövarasto tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteiden yhteydessä sekä toimii luotettavasti niiden aikana ja niiden jälkeen,
- sähkövarasto 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 sähkövarastosta.

4.3 VJV2018

Suomessa sähköjärjestelmään liitettävien nimellisteholtaan yli 0,8kW voimalaitosten tulee täyttää VJV2018 (voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset) mu-

kaiset vaatimukset. Vaatimukset perustuvat eurooppalaiseen verkkosääntöön, johon kantaverkkoyhtiö Fingrid on tehnyt kansallisia lisäyksiä ja täydennyksiä. Tällä hetkellä voimassa oleva versio on VJV2018 -dokumentti. Dokumentissa koskevat vaatimukset koskevat liittymispisteen verkon haltijaa sekä liittyjää. Liittyjän vastuulla on täyttää aina sen hetkiset vaatimukset, jolloin liittyjä allekirjoittaa sitovan liittymissopimuksen. (Fingrid, 2018)

Verkkoon kytkeytyvien voimalaitosten vaatimukset ja niiden todentamiseen liittyvät seikat määräytyvät tyyppiluokittain. Tyyppiluokat voimalaitoksille määräytyvät liitettävän voimalaitoksen nimellistehon ja liittymisjännitteen perusteella. Tahtikone- ja suuntaajakytketyille voimalaitoksille on omat vaatimuksensa. Teknisten vaatimusten lisäksi VJV määrittelee verkkoon liitettävistä laitoksista toimitettavat tiedot ja mahdolliset laadittavat laskennalliset mallit, sekä suoritettavat käyttöönottokeheet. (Fingrid, 2018)

VJV määrittää, että liittymispisteen verkonhaltija on vastuullinen seuraamaan ja valvomaan vaatimusten todentamista, sekä vastaamaan tiedonvaihdosta liittyjän ja kantaverkkoyhtiö Fingridin kanssa. (Fingrid, 2018)

4.4 SFS-EN 50160:2022

SFS-EN 50160:2022 on suomen standardisoimisliiton määrittelemä standardi, joka käsittelee yleisesti jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuuksia. Standardi korvaa eurooppalaisen standardin EN-50160:2010 ja kaikki sen lisäykset ja korjaukset. Standardi käsittelee jännitteen ominaisuudet verkon käyttäjien liittymiskohdassa kaikilla jännitetasoilla normaaleissa käyttötilanteissa. Lisäksi asiakirja määrittelee raja-arvot tai arvot, joiden sisällä jännitteen ominaisuuksien voidaan olettaa pysyvän eurooppalaisen yleisen sähköverkon alueella. Teollisuuden verkot eivät kuulu tähän soveltamisohjeeseen. Standardia ei kuitenkaan sovelleta epänormaaleissa käyttöolosuhteissa kuten vikatilanteissa, joissa sähkönloppukäyttäjille pyritään varmistamaan sähkönsyöttö ja minimoimaan käyttökeskeytyksen laatu ja kesto. (SFS ry, 2022)

4.5 KJV2018

KJV eli kulutuksen järjestelmätekniset vaatimukset ovat kantaverkkoyhtiö Fingridin määrittelemiä teknisiä vaatimuksia, jotka koskevat sähköjärjestelmään liitettäviä kulutusyksiköitä, jotka tarjoavat kysyntäjoustopalveluita. Näiden vaatimusten lisäksi liittymisen on noudatettava Fingridin yleisiä liittymisehtoja, sekä liittymispisteen verkonhaltijan asettamia liittymisehtoja. Vaatimusten lähtökohtana on toiminut eurooppalainen verkkosääntö, johon Fingrid on tehnyt lisäyksiä ja täsmennyksiä. Näiden verkkosääntöjen tavoitteena on ollut taata tasapuoliset ja syrjimättömät olosuhteet, sekä varmistaa sähköjärjestelmän käyttövarmuus. (Fingrid, 2018)

Näiden vaatimusten pääasiallinen tarkoitus on varmistaa, että kytkettävä laitteisto kestää järjestelmässä tapahtuvat jännite- ja taajuusvaihtelut, laitteisto ei irtoa verkosta normaalin taajuus- ja jännitevaihtelun seurauksena, kytketty laitteisto ei aiheuta haittaa muille kytketyille laitteille, sekä liittymispisteen verkonhaltijalla on käytössään käyttövarmuuden varmistamiseen vaadittavat tiedot liitetystä laitteistosta. (Fingrid, 2018)

4.6 Tyyppiluokat

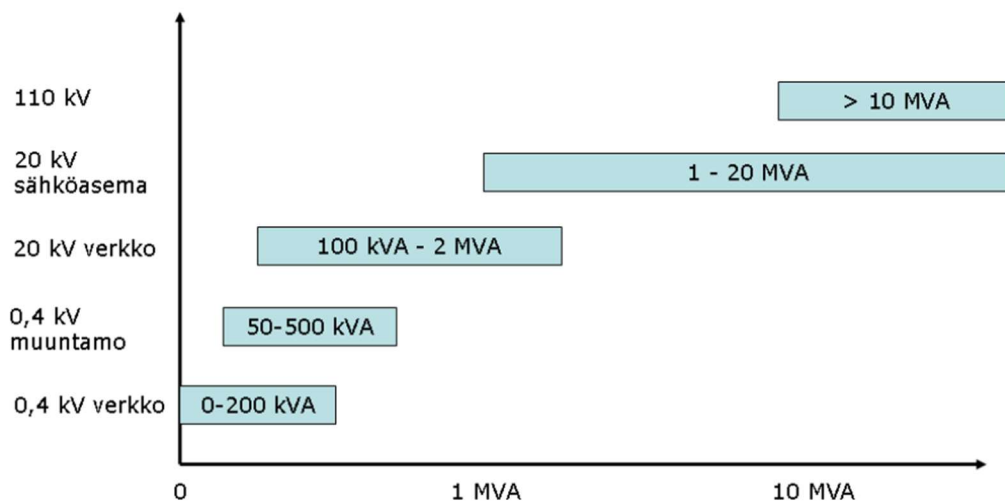
Sähkövarastoja koskevat tekniset vaatimukset ovat porrastettu sähkövaraston tuotantotilan mitoitus-tehon ja liittymispisteen jännitetason mukaan. Tässä työssä keskitytään tyyppiluokkaan A & B, jotka ovat yleisimpiä tyyppiluokkia jakeluverkoissa. (Fingrid, 2020)

Tyyppiluokat ovat esitettynä taulukossa:

Taulukko 1 Sähkövarastojen tyyppiluokat

Tyyppi-luokka	Liittymispisteen jännite-taso	ehto	Sähkövaraston mitoitus-teho
A	alle 110kV	ja	0,8 kW - < 1 MW
B	alle 110kV	ja	1 MW- < 10 MW
C	alle 110kV	ja	10 MW - < 30 MW
D	vähintään 110kV	tai	30 MW tai yli

Verkkoon liitettävän sähkövaraston liittämistapa tulisi valita siten, että laitteisto ei aiheuta häiriötä muille käyttäjille, sähkönlaadulle tai muulle verkon toiminnalle. Verkkoon liitettävän laitteiston mitoitus-tehon perusteella voidaan kuitenkin arvioida suositeltavaa liittämistapaa. Yleisesti voidaan arvioida, että pienjänniteverkossa kapasiteetti riittää tuotannon liittämiseen muutaman sadan kilowatin luokassa. Suuremmat yksiköt käytännössä vaativat keskijänniteliitynnän runkoverkkoon tai suoraan sähköasemalle. Pienjänniteverkon kapasiteetin pullonkaulana voidaan pitää käytettyjen jakelumuuntajien nimellisteho. Kuvassa 7 (Energiateollisuus, 2011) esitetyt rajat ovat ohjeellisia ja jokainen liittymistapaus tulisi käsitellä tapauskohtaisesti. Käytettävissä oleva kapasiteetti jokaisessa liittämistapauksessa on riippuvainen olemassa olevista verkon ominaisuuksista ja käytöstä.



Kuva 7 Suositellut tuotannon tehorajat eri liittymistavoille

Kuvassa 7 on esitettyä suositellut liittymistavat ja -jännite eri tehoisille tuotantolaitoksille. Pystyakselilla on esitetty liittymistapa ja jännite, sekä vaak akselilla liitettävän laitteiston nimellisteho. Suositellut tehorajat periaatteellisesti sopivat myös kaksisuuntaisille laitteistolle kuten sähkövarastoille, mutta käytännössä sähkövarastojen liitettävyyys olemassa olevaan verkkoon voidaan olettaa vielä hiukan heikompi.

5 VERKKOLIITYNTÄTARKASTELU JA SUUNNITTELUPERIAATTEET

Sähköverkon suunnittelu voidaan jakaa useampaan kategoriaan. Karkeasti jaoteltuna verkon suunnittelu voidaan jakaa lyhyen- ja pitkänaikavälin suunnitteluun. Lyhyen aikavälin suunnitteluun kuuluu viiden vuoden hankesuunnittelu, uusien sähköliittymien suunnittelu sekä nopean prioriteetin verkon vahvistus tai saneeraustyöt. Toinen kategoria on pitkän aikavälin suunnittelu, joka ulottuu 10–15 vuoden aikajaksolle. Pitkän aikavälin suunnitteluun kuuluu yleensä verkon tilan arviointi pidemmällä aikavälillä ottaen huomioon uudet sähköasemat, voimajohdot ja suuremmat kehittämisalueet. (Jarmo Elovaara, 2011)

Verkon suunnittelun pääasiallisia tavoitteita on taloudellisuus, jakelun luotettavuus, pitkäikäinen komponenttien mitoitus sekä henkilöturvallisuus. Sähköstä on tullut yhteiskunnalle välttämätön jokapäiväinen hyödyke, joten jakeluverkon toiminnan tulee olla tarpeeksi luotettavaa ja kestää mahdollisimman hyvin siinä esiintyviä vikoja ilman toimitushäiriöitä. Lisäksi sähkön laadun tulee vastata sille asetettuja laatu vaatimuksia. Sähkönjakelun tavoite taloudellisuudesta ja luotettavuudesta ovat osittain ristiriidassa. Luotettavuutta voidaan parantaa lisäinvestoinneilla, mutta tällöin taloudellisuus kärsii. Tämän takia optimoinnilla on suuri rooli sähköverkon suunnittelussa. (Jarmo Elovaara, 2011)

Sähköverkon komponenttien mitoitus tulisi aina tehdä huolella passiivisten komponenttien pitkien pitoaikojen vuoksi. Jakeluverkon saneerauksen aikana tulisi aina ottaa huomioon tulevaisuuden kasvavat tarpeet, jotta välttyttäisiin turhilta verkon vahvistustoimenpiteiltä. Tämän vuoksi verkossa tapahtuvien kuormitusten tunteminen ja niiden kasvun ennustaminen on hyvin tärkeässä roolissa, kun mitoitetaan komponentteja. (Jarmo Elovaara, 2011)

Suomessa sähkönsiirron suunnittelun periaatteena voidaan pitää N-1-periaatetta. Kyseinen periaate tarkoittaa sitä, että jakelu- tai siirtoverkon toiminnan täytyisi kestää yksittäiset tavanomaiset viat, joita sähkönsiirrossa esiintyy. Tällaisella suun-

nitteluperiaatteella saavutetaan käyttövarmuuden ylläpito, joka täyttää sähkönjakelun vaatimukset Suomessa. N-1-periaatteen vuoksi mitoittava tilanne komponenttien suunnittelussa ei yleisesti olekaan normaalikytkentätilanne vaan N-1-periaatteen mukainen korvauskytkentätilanne. (Jarmo Elovaara, 2011)

5.1 Liityntätarkastelu

Tarkasteluissa tavoitteena on auttaa verkkoyhtiöitä ja liittyjää:

- Määrittämään liittymiskapasiteetti tai kapasiteetin riittävyys
- Selventämään liittyjiltä vaadittavat tekniset vaatimukset
- Tarvittaessa määrittää liittymiskustannukset laskelmilla

Verkkoliityntätarkastelujen tarkoituksena on määrittää ja selvittää sähkövaraston liittymiskapasiteetti tai kapasiteetin riittävyys. Kapasiteetin lisäksi selvityksessä on hyvä selventää liittyjille heiltä vaadittavat tekniset vaatimukset, sekä liittymiseen liittyvät kustannukset.

5.2 Lähtötiedot

Tarkastelujen lähtötietoina voidaan käyttää liittyjän ilmoittamia tietoja koskien sähkövarastoa ja verkkoyhtiön omaa verkkomallia. Lähtötiedot olisi hyvä toimittaa verkkoyhtiön edustajalle liittymisprosessin mukaisesti heti liittymisprosessin alkuvaiheessa.

Lähtötietoja verkkoliityntä tarkasteluille ovat:

- Suunnitellun sähkövaraston sijainti verkkoalueella
- Sähkövaraston tekniset tiedot
- Suunnitellun liittymispisteen vikavirrat
- Verkkoa syöttävän muuntajan tiedot
- Verkko syöttävän kaapeleiden tiedot
- Johtolähdön kulutus- ja tuotantotiedot

5.3 Jännitteen laatu

Sähkönlaatua koskeva standardi on SFS-EN 50160, joka määrittää jännitettä koskevat raja-arvot. Jakeluverkkoyhtiö on vastuullinen omalla toiminta-alueellaan huolehtimaan, että sähkönjakelun piirissä olevat käyttäjät saavat käyttöönsä standardin vaatimukset täyttävää sähköä.

Tärkeimmät liityntätarkastelua koskevat standardin määrittämät raja-arvot ovat jännitteen normaali vaihteluväli ja äkillisten jännitteen muutosten raja-arvot. Standardin mukaan sähköliittymään voidaan liittää tuotantolaitos, jonka käynnistys tai verkosta putoaminen ei aiheuta yli 4% jännitemuutoksia verkkoon keskijänniteverkossa tai 5 % nopeita muutoksia pienjänniteverkossa. (SFS ry, 2022)

Verkonhaltija määrittää normaalin käyttöjännitteen (VJV). Jännitteen normaali vaihteluväli on 0,9-1,05 pu. välillä. SFS-EN 50160 esittää viitteelliset arvot nopeille jännitteen muutoksille normaaleissa käyttötilanteissa. Äkillisten jännitteen muutosten viitteellisinä raja-arvoina voi pitää keskijännitteelle <4% tai harvoin tapahtuvalle <6%. Pienjännitteellä normaaleissa käyttöolosuhteissa sallitaan 5% jännitteen muutos ja jopa 10% jos muutoksia tapahtuu joissakin olosuhteissa muutamia kertoja päivässä.

Verkkoliityntätarkasteluissa verkkoyhtiö tarkastelee voimalaitoksen vaikutuksia jännitteeseen eri tilanteissa. Energiavaraston kytkeytyminen ja lataus/purku -tilojen vaihtelu aiheuttavat äkillisiä tehonvaihteluita, mikä aiheuttaa jännitetason muutoksia verkossa. Energiavaraston käyttö verkossa ei saa aiheuttaa standardissa määritettyjen raja-arvojen ylittymistä.

Pienvoimalaitoksen aiheuttamaa jännitteenmuutosta verkossa voidaan laskea kaavalla: (Energieollisuus, 2023)

$$\Delta U\% = k \times \frac{S_N}{S_{oik}} \times 100\% \quad (1)$$

jossa k on käynnistysvirtakerroin, S_N on kytkettävän tuotantolaitoksen nimellisteho ja S_{oik} on liittymispisteen oikosulkuteho. Suuntaajakytketyissä sähkövarastoissa käynnistysvirtakertoimen voidaan olettaa olevan = 1. Liittymispisteen oikosulkuteho voidaan laskea kaavalla:

$$S_{oik} = \sqrt{3} \times U_N \times I_K \quad (2)$$

Jossa U_N on verkon nimellisjännite ja I_K liittymispisteen yksivaiheinen oikosulkuvirta.

Verkkoyhtiö tarkistaa liittymispisteen oikosulkutehon ja varmistaa laskennalla sen, ettei laitteisto aiheuta yli 5 % nopeita jännitemuutoksia liittymispisteessä.

Kaava 1 voidaan muuttaa myös muotoon:

$$S_N = \frac{S_{oik}}{20 * k} \quad (3)$$

Mikäli sähkövarasto kykenee kaksisuuntaiseen tehon vaihteluun suurentaa se kerrointa samassa suhteessa nimellistehoon. Esimerkiksi täydestä tuotantotehosta täyteen kulutustehoon tarkoittaa 200% tehonvaihtelua. Tällöin käynnistysvirta kerroin on kaksinkertainen. Lisäksi kolmivaiheisten liityntälaitteiden tapauksessa voidaan olettaa oikosulkuvirran olevan 15,5% suurempi, jolloin voidaan lisätä korjauskerroin $k_{3v} = 0,866$.

$$S_N = \frac{S_{oik}}{20 * k * k_{3v}} \quad (4)$$

Johdettu kaava ei kuitenkaan ota huomioon tilannetta, jossa samaan verkkoon on liitettyä laaja-alaisesti useita samankaltaisia laitteita ja niiden yhteisvaikutusta. Yhteisvaikutuksen mallintaminen vaikeaa, eikä ilmiöstä ole vielä tarkempaa tietoa. Yhteisvaikutusta voidaan kuitenkin ottaa huomioon suunnittelussa korjauskertoimen avulla.

$$S_N = \frac{S_{oik}}{20 * k * k_{3v} * k_y} \quad (5)$$

Yhteisvaikutuksen korjauskertoimeksi voidaan valita esimerkiksi $k_y = 2$. Yhteisvaikutuksen korjauskertoimen valinnassa tulee kiinnittää huomiota siihen, kuinka paljon muuta tuotantoa tai sähkövarasto laitteita on liitettyä samaan verkkoon tai kuinka paljon kapasiteettivarausta halutaan varata muille liittyjille.

Esimerkkilaskuja voidaan käsitellä 3x25 A pienjänniteliittymää ja sen mitoitusosulkuvirtaa:

$$S_N = \frac{S_{oik}}{20 * k * k_{3v} * k_y} = \frac{250 \text{ A} * 400 \text{ V} * \sqrt{3}}{20 * 2 * 0,866 * 2} \approx 2500 \text{ W}$$

Taulukko 2 Pienjänniteliittymien liittämisaikat pääsulakekoon mukaisten mitoitusosulkuvirtojen mukaan.

Pääsulakkeen koko / A	Ik1 / A	Sn / kW
25	250	2,50
35	250	2,50
63	320	3,20
125	715	7,14
160	950	9,49
200	1250	12,49
250	1650	16,48
315	2200	21,97
400	2840	28,37
600	5100	50,94
800	7000	69,92
1000	9500	94,89

Taulukossa 2 esitetyt liitettävyyssrajat tavallisimmille pienjänniteverkon liittymien pääsulakekoille ovat tämän laskentavan perusteella todella heikot. Laskentaperiaatteet olettavat tällä hetkellä, että tehonmuutos tapahtuu nopeasti ja samaan muuntopiiriin olisi kytketty muita vastaavanlaisia laitteita. Jos yhteyskäyttökerroin

jätetään huomioimatta, liitettävyyks kaksinkertaistuu taulukossa ilmoitettuihin arvoihin nähden. Tehonmuutokseen liittyvä oletama, että tehonmuutos on 200 % nimellistehoon nähden perustuu oletukseen, jossa verkkoon liitettyä sähkövarastoja käytettäisiin nopeisiin lataus- ja purkusovelluksiin. Tällaisia käyttötarkoituksia on esimerkiksi osallistuminen nopeaan taajuusreserviin Fingridin reservimarkkinoilla. Nopean taajuusreservin aktivointiaika on 0,7 - 1,3 sekuntia riippuen aktivointitaajuudesta. Jos sähkövaraston käyttö liittyy hitaampaan sovellukseen, jossa tehonmuutos voidaan toteuttaa portaittain pidemmällä aikavälillä, voitaisiin liitettävyyttä parantaa, tämä vaatisi kuitenkin tarkempaa tutkimusta asiaan liittyen. Käytännössä Liittymispisteiden oikosulkuvirrat ovat taulukossa 2 esitettyjä arvoja suurempia. Käytännössä liitettävyyden tarkastelu tehdään aina liittymispisteen todellisten oikosulkuvirta arvojen mukaan, jotka ovat yleensä taulukon 2 arvoja suurempia. Tästä syystä liitettävyyks on usein aikaisemmin esitettyjä arvoja parempi.

5.4 Eri jännitetasoille kytkeytyneiden sähkövarastojen huomiointi

Yksittäisen sähkövaraston kannalta nopeiden jännitemuutosten tarkasteleminen liittymispisteessä ei aina vastaa todellisuutta, jos saman sähköjakelualueen vaihtuspiiriin on liitetty useita samankaltaisia laitteita. Esimerkiksi saman johtolähdön keskijännitepuolelle on voitu liittää sähkövarastoja, joiden toiminta vastaa pienjänniteverkon puolelle liitettyjä laitteita. Eri jännitetasolle kytkeytyneiden laitteiden yhteisvaikutuksen voidaan olettaa summautuvan jännitemuutoksena, jos laitteistot toimivat esimerkiksi saman reservimarkkinan mukaan.

Tällöin muuntopiirikohtaisessa tarkastelussa olevan jännitemuutoksen voi olettaa noudattavan kaavaa:

$$\Delta U\%_{yhteensä} = \Delta U\%_{20kV} + \Delta U\%_{0,4kV} \quad (6)$$

Jossa $\Delta U\%_{yhteensä}$ on muuntopiirissä tapahtuva todellinen nopeajännitteen muutos, $\Delta U\%_{20kV}$ on jakelumuuntajan 20kV:n puolella tapahtuva jännitteenmuutos ja

$\Delta U\%_{0,4kV}$ on yhteenlaskettu nopeajännitteenmuutos pienjänniteverkossa. Kaava pätee vain muuntopiirikohtaisessa tarkastelussa.

5.5 Kuormitettavuus ja jännitteen alenema

Jännitevaikutusten lisäksi myös verkon päämuuntajan tai johtimien kuormitettavuus voi toimia pullonkaulana verkkoon liitettävälle kapasiteetille. Kuormitettavuus ja jännitteen alenema on helpoin määrittää verkkoyhtiön verkkotietojärjestelmän avulla. Verkkotietojärjestelmään on mallinnettuna jakeluverkkoyhtiön tekniset komponentit kuten muuntajat, asennetut johdot ja niiden poikkipinta-alat, sekä kulutustiedot. Näiden tietojen pohjalta verkkotietojärjestelmän tehonjakolaskennan avulla pystytään mallintamaan ja tarkastamaan verkon maksimikuormat, sekä riittävyys uudelle liitettävälle kuormalle. Verkkotietojärjestelmään siirretyt kulutustiedot varmistavat sen, että hetkellinen teho voidaan mallintaa tarkasti vuoden ajasta riippumatta.

Jännitteenalenemaa U_h voidaan kuvata yhtälöllä:

$$U_h = I * (R * \cos\varphi + X * \sin\varphi) \quad (7)$$

Jossa U_h on jännitteenalenema, I johtimen virta, R johtimen resistanssi, X johtimen reaktanssi ja φ on vaihejännitteen ja -virran vaihekulma.

Suunnitteluperiaatteet on hyvä määrittellä etukäteen. Kuormitettavuuden osalta tulisi aina tarkastella ja ottaa huomioon alueen muu kuormitustason oletettu nousu. Jännitteen aleneman osalta tulisi noudattaa SFS-EN 50160 standardia, joka määrittelee jännitteen laadun liittymispisteessä. Vaasan Sähköverkolla jännitteenaleneman suunnitteluarvo vaihtelee riippuen jännitetasosta ja verkon osasta. Tarvoitearvot esitettyinä taulukossa 3.

Taulukko 3 Jännitteenaleneman suunnittelurajat

Jännitetaso	KytKentättilanne	Alue	Tavoitearvo
20 kV	Normaali	Taajama	<3%
20 kV	Korvaus	Taajama	<5%
20 kV	Normaali	Maaseutu	<4%
20 kV	Korvaus	Maaseutu	<6%
0,4 kV	Normaali	Kaikki	<5%
0,4 kV	Korvaus	Kaikki	<10%

Komponenttien kuormitettavuudelle voidaan soveltaa seuraavia ohjearvoja:

Taulukko 4 Suunnittelurajat muuntajien kuormitettavuudelle

Muuntajat

Tyyppi	kytKentättilanne	Kuormitettavuus %
110/20 kV	Normaali	60
110/20 kV	Korvaus	80
20/0,4 kV	Normaali	60
20/0,4 kV	Korvaus	80

Taulukko 5 Suunnittelurajat runkojohtimien kuormitettavuudelle

Johtimet

Tyyppi	kytKentättilanne	Kuormitettavuus %
20 kV	Normaali	60
20 kV	Korvaus	100
0,4 kV	Normaali	60
0,4 kV	Korvaus	100

5.6 Jännitteen nousu

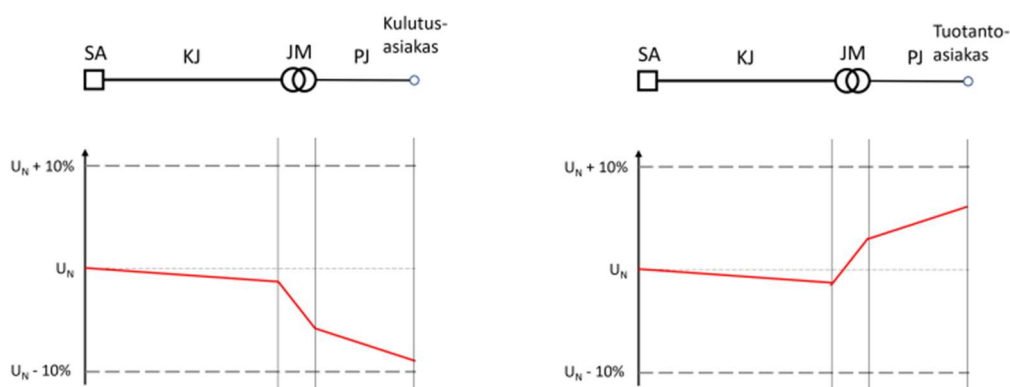
Verkkoon liitetyt hajautetut tuotantolaitteet voivat aiheuttaa jännitteen nousua jakeluverkossa. Ilmiö on samanlainen kuin jännitteenaleneman tapauksessa mutta tuotannon tapauksessa teho on negatiivinen kulutukseen nähden. Ilmiötä on esitetty kuvassa 8 (LUT yliopisto, 2022). Ilmiön voimakkuuteen vaikuttaa verkon

kuormitus- ja tuotantotilanteet. Tietyissä tapauksessa tuotantoteho verkon suuntaan voi parantaa jakeluverkon jänniteprofiilia. Liian suuret tuotantotehot voivat kuitenkin johtaa tilanteeseen, jossa jännitteen nousu aiheuttaa liian suuria jännitearvoja liittymispisteen lähellä.

Jännitteen nousua tuotantolaitoksen ja sähköaseman välillä voidaan kuvata yhtälöllä: (Energiateollisuus, 2011)

$$\Delta U = \frac{P_N * (R * \cos \varphi - X * \sin \varphi)}{U^2} \quad (8)$$

Jossa R ja X ovat liittymispisteen ja sähköaseman välinen resistanssi ja reaktanssi. U on sähköaseman kiskojännite, P_N on tuotantolaitoksen nimellisteho ja $\cos \varphi$ on tuotantolaitoksen tehokerroin.



Kuva 8 Hajautetun tuotannon vaikutus johtolähdön jännitteeseen (LUT yliopisto, 2022)

5.7 Toimenpiteet liitettävyyden parantamiseksi

Sähkövaraston liitettävyyden tarkastelussa törmätään usein tarkasteltavan verkon osan pullonkauloihin, jotka rajoittavat liitettävän tuotantolaitteen liitettävyyttä. Liitettävyyden parantamiseksi on kuitenkin erilaisia keinoja, jotka tulisi ottaa huomioon uutta liityntää suunniteltaessa. Liitettävyyden reunaehdot rajoittuvat usein

liittymispisteen jännitejäykkyyteen, komponenttien kuormitettavuuteen tai jännitteen laatuun. Tässä luvussa on käsitelty keinoja, joilla näitä reunaehtoja voidaan parantaa.

5.7.1 Verkkotopologian muutos

Verkkotopologian muutos on usein helppo ja halpa keino parantaa sähkövaraston liitettävyyttä. Verkkotopologian muutoksella tarkoitetaan olemassa olevan kytkentätilanteen muutosta, jossa jakorajaa muutetaan liittymispisteen kannalta edullisemmaksi. Verkkotopologian muutoksella voidaan saavuttaa liittymispisteelle suurempaa oikosulkuvirtaa, jolloin liittymispisteessä tapahtuvat tehonmuutokset aiheuttavat pienemmän jänniteheilahduksen. Verkkotopologian muutos on myös hyvä keino jakaa jakeluverkon kuormia uudella tavalla, jolloin voidaan saavuttaa parempi tilanne olemassa olevien komponenttien kuormituksen kannalta. Verkkotopologian muutokset eivät kuitenkaan ole usein mahdollisia muuta kuin tiheästi asutetuilla alueilla, joissa on rakennettu vahvaa silmukoitua verkkoa.

5.7.2 Tuotanto-/kulutustehon rajoitus

Tuotanto- tai kulutustehon ohjelmallinen rajoittaminen liityntälaitteistolla on kustannustehokas ratkaisu tilanteissa, joissa tuotanto- tai kulutustehon nimellisarvo on rajoittava tekijä laitteiston liittämisesä. Tehojen ohjelmallinen rajoittaminen ei usein ole liittymisen kannalta edullinen toimenpide mutta tietyissä tapauksissa tehojen ohjelmallinen rajoittaminen voi antaa kytkentäluvan asiakkaalle nopeamman aikataululla. Tällainen tilanne voi syntyä silloin, kun asiakkaalla on motiivi saada laitteisto käyttöönotettua nopeasti mutta verkon vahvistaminen toimenpiteet vievät liikaa aikaa tai asiakas haluaa ottaa laitteiston käyttöön ennen kuin verkon vahvistustoimenpiteet ovat valmiit.

5.7.3 Verkon vahvistus

Verkon vahvistuksella tarkoitetaan olemassa olevan verkkokomponenttien korvaamista tai uusien komponenttien rakentamista. Verkon vahvistustoimenpiteillä

on tarkoitus parantaa liittymispisteen ja jakelun sähköisiä ominaisuuksia, joilla haluttu laitteisto on mahdollista liittää sähköjakeluverkkoon. Verkon vahvistus toimenpiteet ovat aina tapauskohtaisia ja liitettävyyttä tulisi parantaa aina ensisijaisesti toisin keinoin. Usein kuitenkin muilla keinoilla saavutetut parannukset eivät riitä ja liitettävyyden toteuttaminen vaatii verkonvahvistus toimenpiteitä. Tavallisia verkonvahvistustoimenpiteitä pienjänniteverkossa on liittymis- ja runkokaapeleiden vahvistus, sekä jakelumuuntajien vaihtaminen suurempaan. Joissakin tapauksissa tämä voi tarkoittaa myös uusien jakelumuuntamoiden rakentamista lähemmäksi liittymispistettä. Keskijänniteverkossa verkon vahvistustoimenpiteet usein rajoittuvat runkokaapeleiden tai johtojen vahvistukseen. Keskijänniteverkossa sähköasemien päämuuntajien suurentaminen tai uusien sähköasemien rakentaminen on kallista tai vaatii pitkän toimitusajan.

5.8 Suojausten toiminnan varmistaminen

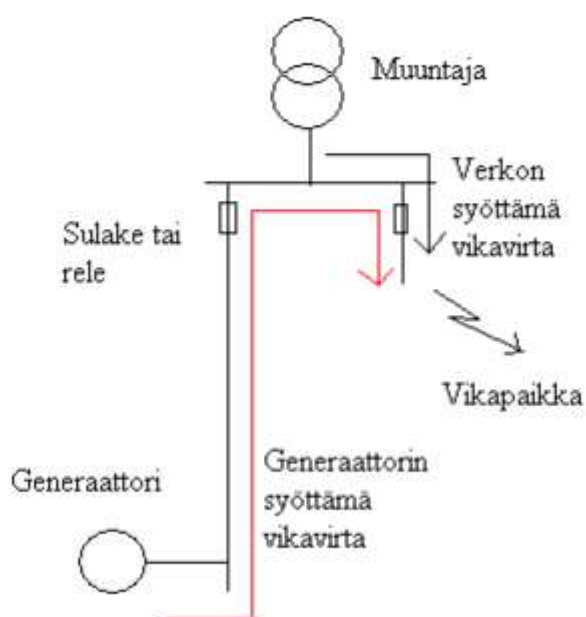
Jakeluverkon suojaus oikosulkusuojaus vikatilanteiden varalta toteutetaan yleensä sulake- tai relesuojauksen avulla riippuen jännitetasosta. Perinteisesti keskijännitelähtöjen oikosulkusuojaus on toteutettu suojareleiden ja katkaisijoiden avulla. Vikatilanteessa suojarele havahtuu mitatun vikavirran avulla ja lähettää laukaisukäskyn katkaisijalle. Suojarele mittaa haluttua suuretta keskijännitelähdöllä. Normaalityltilassa seurattu suure ei ylitä määritettyä havahtumisarvoa ja sähkönkäyttö voi jatkua normaalisti. Suojareleen asettelut tulisi suunnitella siten, että jokaisessa mahdollisessa vikatilanteessa suojareleen seuraama mitattu suure ylittää sille asetetun havahtumisarvon. (Partanen, 2008)

Pienjänniteverkon suojaukseen taas käytetään perinteisesti sulakkeita. Sulakkeita sijoitetaan pienjänniteverkkoon muuntamon pienjännitekeskuksen lähtöihin, pylväsvärokkisiin ja jakokaappeihin verkon topologian ja rakenteen mukaan. Sulakkeen toiminta perustuu sulakkeeseen asetettuun sulakelankaan, jonka läpi virtapiiri kulkee. Sulakelangat on mitoitettu tietyn nimellisvirran mukaan, jonka ylittäminen sulattaa ja katkaisee virtapiirin ajan funktiona. Jakeluverkkoon asennetut

sulakkeet tulee mitoittaa aina siten, että sulake kestää normaalit kuormitusolot mutta katkaisevat virtapiirin tarvittaessa syöttöhaaran loppupäässä tapahtuvien oikosulkutilanteiden tapahtuessa. (Diplomityö Puolakanaho, 2022)

5.8.1 Virhelaukaisu

Perinteisesti jakeluverkon suojaukset on suunniteltu säteittäisesti yksisuuntaiseen tehonsyöttöön. Hajautetut tuotantolaitteet verkossa muuttavat kuitenkin asetelmaa ja vikatilanteissa syöttävät vikavirtaa vikatilanteissa. Tuotantolaitteisto voi mahdollisesti olla osallisena vikavirran syötössä rinnakkaisen haaran vikatilanteissa. Tällaisessa tilanteessa on mahdollista, että tuotantolaitteen vikavirran ylitäessä sulakkeen tai releen havahtumisvirran tapahtuu terveen lähdön virhelaukaisu. Virhelaukaisun periaate on esitetty kuvassa 9 (Diplomityö Puolakanaho, 2022)



Kuva 9 Virhelaukaisun toimintaperiaate jakeluverkossa (Diplomityö Puolakanaho, 2022)

Mitoitusta ajatellen jakeluverkon sulakkeen toimintarajavirran (I_N) tulisi olla suurempi kuin tuotantolaitteen tuottama oikosulkuvirta (I_{k1}).

$$I_N > I_{k1} \quad (9)$$

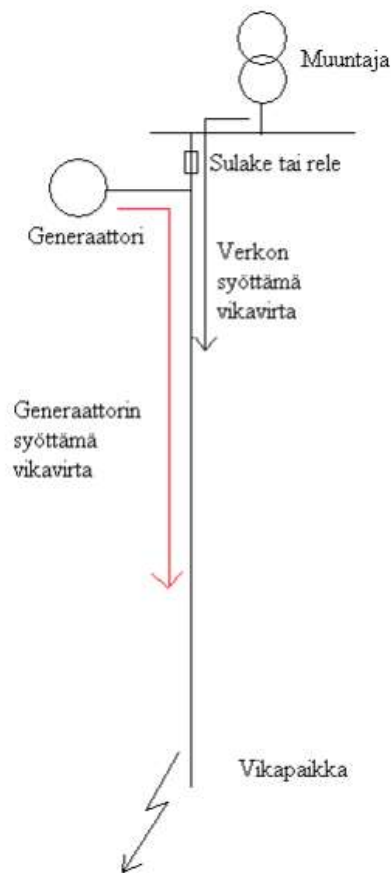
Käytännön tapauksissa haasteeksi usein nousee tilanne, jossa saman sulakkeen takana on useamman tuotantolaitoksen kokonaisuus. Mitoituksessa olisi myös aina syytä jättää pientä korjauskerrointa. Tällaisessa tilanteessa voidaan soveltaa kaavaa:

$$1,25 * I_N > I_{k1} + I_{k2} \dots I_{kn} \quad (10)$$

Missä I_N on sulakkeen nimellisvirta ja I_{kn} yhteenlaskettu tuotannon tuottama oikosulkuvirta.

5.8.2 Suojauksen sokeutuminen

Verkon vikatilanteen ja hajautetun tuotantolaitteen ollessa saman suojalaitteen takana on mahdollisuus suojauksen sokaistumiselle. Suojauksen sokaistuminen tarkoittaa tilannetta, jossa johtolähdöllä olevat tuotantolaitteet vähentävät taustaverkosta otettavaa vikavirtaa, jolloin suojalaitteen näkemä vikavirta ei välttämättä ylitä suojauksen toimintaan vaadittavaa virtaa. Tällaisessa tilanteessa suojauksen toiminta estyy ja syöttö ei katkea. Suojauksen sokeutumisen periaate on esitetty kuvassa 10. (Diplomityö Puolakanaho, 2022)



Kuva 10 Suojauksen sokeutumisen toimintaperiaate (Diplomityö Puolakanaho, 2022)

Suojaavan sulakkeen mitoituksessa on huomioitava, että suojaus havahtuu, kun vikapaikka on tuotantolaitteen kanssa samalla lähdöllä. Pienjännitepuolella voidaan käyttää seuraavia mitoitusperiaatteita.

Sulakkeet, joiden nimellisvirta enintään 63 A:

$$2,5 * I_N < I_{kmin} - I_{k1} - \dots - I_{kn} \quad (11)$$

Sulakkeet, joiden nimellisvirta yli 63 A:

$$3 * I_N < I_{kmin} - I_{k1} - \dots - I_{kn} \quad (12)$$

Missä I_N on sulakkeen nimellisvirta, I_{kmin} on suojattavan alueen pienin oikosulkuvirta ja I_{kn} on yhteenlaskettu tuotannon tuottama oikosulkuvirta.

5.9 Liittymiskustannukset

Verkonhaltijan tulee laatia itselleen kirjalliset verkkoon liittämistä koskevat hinnoittelumenetelmät ja -periaatteet, joiden tulee noudattaa energiaviraston määrittämiä menetelmiä liittämisestä perittävien maksujen määrittämiseksi. Liittymistapauksissa, joissa käyttöpaikalla on tuotantoa sekä kulutusta peritään liittymismaksu aina suuremman liittymistehon (kulutus tai tuotanto) mukaan. Liittymismaksuun ei saa sisällyttää asiakkaan liittymisjohdon rakentamisesta aiheutuvia kuluja. (Energiavirasto, 2018)

Liittymien hinnoittelun tulee myös olla kohtuullista ja kustannusvastaavaa. Liittymiselle asetetut ehdot ja vaatimukset tulee olla tasapuolisia ja perusteltuja. Tämä tarkoittaa sitä, että liittymiskustannuksiin ei voi sisällyttää toteuttamisen kannalta ylimääräisiä toimenpiteitä tai kustannuksia. Lisäksi toimenpiteet, jotka palvelevat verkon tai muiden käyttäjien tarpeita katsotaan kuuluvan kehittämisvelvollisuuden piiriin, jolloin kyseiset kustannukset tulee periä yleisesti verkkopalvelumaksuilla eikä yksittäisiltä käyttäjiltä. (Energiavirasto, 2018)

Jakeluverkossa pääasiallisina hinnoitteluperiaatteina pidetään, vyöhyke-, alue- ja tapauskohtaista hinnoittelua. Pienjänniteverkossa käytetään pääasiallisesti vyöhykehinnoittelua. Vyöhykehinnoittelu tarkoittaa tilannetta, jossa hinnoittelu tapahtuu jakamalla liittymispisteet maantieteellisiin hintavyöhykkeisiin. Liittymiskustannukset määräytyvät tällöin keskimääräisiin vakiohintoihin. Vyöhykehinnoittelu voidaan rajata koskemaan tietyn tehoisia liittymiä, jolloin sovelletaan alue- tai tapauskohtaista hinnoittelua. (Energiavirasto, 2018)

Tapauskohtaista hinnoittelua käytetään pääasiassa keski- ja suurjännitteisten liittymien hinnoittelussa, sekä pienjänniteliittymissä, jotka jäävät vyöhyke- tai aluehinnoittelun ulkopuolelle. Tapauskohtaisella hinnoittelulla tarkoitetaan tapauskohtaisesti liittymiseen liittyvien kustannusten perimistä. Tapauskohtainen liittymismaksu koostuu välittömistä rakentamiskustannuksista, sekä kapasiteetinva-

rausmaksusta. Hinnoittelun täytyy perustua edullisimpaan mahdolliseen toteuttamisvaihtoehtoon. Verkonhaltija voi kuitenkin valita ja toteuttaa lopullisen toteutustavan itse mutta se ei saa vaikuttaa liittymismaksuun. (Energiavirasto, 2018)

Tapauskohtainen hinnoittelu noudattaa seuraavanlaista kaavaa:

$$a + b \times P \quad (13)$$

jossa a on välittömät rakentamiskustannukset. Tämä ei sisällä verkonvahvistus ja kehittämisvelvollisuuden piirin kuuluvia kustannuksia. [€]

b on kapasiteettivarausmaksu, jolla huomioidaan verkon keskimääräiset vahvistuskustannukset [€/kVA tai €/MVA]

P on liittymispisteen liittymisteho [kVA tai MVA]

Välittömät rakentamiskustannukset lasketaan liittymistarjouksessa energiaviraston määrittämien yksikköhintojen mukaisesti. Alle 2 MVA:n tuotannon osuudelta ei voida periä kapasiteetinvarausmaksua. Yli 2MVA:n tuotantolaitoksilta voidaan periä kapasiteetinvarausmaksu.

5.10 Suunnitteluprosessi sähkövarastojen liittämässä

Kuvassa 11 on esitetty päivitettyä suunnitteluprosessia liittyen sähkövarastojen liittymiseen VSV:n jakeluverkkoon. Liittymisprosessi alkaa aina esiselvityksellä, jossa liittyjältä varmistetaan liitettävän laitteistoon liittyvät tekniset tiedot ja sijainti verkkoalueella. Kun kaikki lähtötiedot on saatu kerättyä VSV:n suunnittelija suorittaa liityntätarkastelun luvussa 5 esitettyjen kappaleiden mukaisesti. Tarkastelujen pohjalta liittyjälle ilmoitetaan liitettävyyden kapasiteetti tai myönnetään kytkentäluva normaalin liittymisprosessin jälkeen.

Kuvassa 12 on esitetty tarkempi tarkasteluprosessi vaiheineen. Tarkasteluprosessi käydään läpi jokainen mahdollinen pullonkaula liittymiselle. Tarkasteluohjeen tarkoituksena on ottaa huomioon mahdolliset rajoitteet ja suunnitella tarvittavat toimenpiteet, joilla laitteiston liitettävyyden verkko voidaan varmistaa. Jos laitteisto ei ole suoraan liitettävissä nykyisessä verkon tilassa voidaan liittyjälle ilmoittaa rajoitettuteho, jolla liittyminen on mahdollista tai aikataulu ja mahdollinen tarjous verkkoon tehtävistä muutoksista, jolla laitteisto on liitettävissä. Hyväksytyin tarjouksen tai liitettävyyden todentamisen jälkeen liittyjälle voidaan antaa kytkentäluva tai siirtää suunnittelutyö toteutukseen normaalin liittymisprosessin mukaisesti.

Aikaisemmin liitettävyydestarkastelun ohjeistus piti sisällään suunnitteluparametrit hajautettujen tuotantolaitteiden osalta kuten verkkoon liitettävät aurinkopaneelit. Uudessa ohjeistuksessa on nyt lisättyä myös tässä työssä esitetyt tarkasteluparametrit sähkövarastojen osalta. Lisäksi liitettävyydestarkastelun tehtävienhallintajärjestelmään lisättiin päivitettyt lähtötietojen kentät sähkövarastojen tarkastelua ja esisuunnittelua varten. Uudet suunnitteluohjeet otettiin käyttöön henkilöstön sisäisellä koulutuksella.

1. ESISELVITYS

Selvitys liityntätarkasteluun vaadittavista lähtötiedoista:

- Tuotantolaitoksen tyyppi
- Laitteiston nimellisteho
- Tuotantolaitteiston sijainti
- Liittymispisteen oikosulkuteho
- Verkkoa syöttävän johtolähdön komponenttien tiedot
- Johtolähdön kulutus- ja tuotantotiedot

2. LIITYNTÄTARKASTELU

Tarkastellaan tuotantolaitoksen vaikutukset liittymispisteessä eri näkökulmilta:

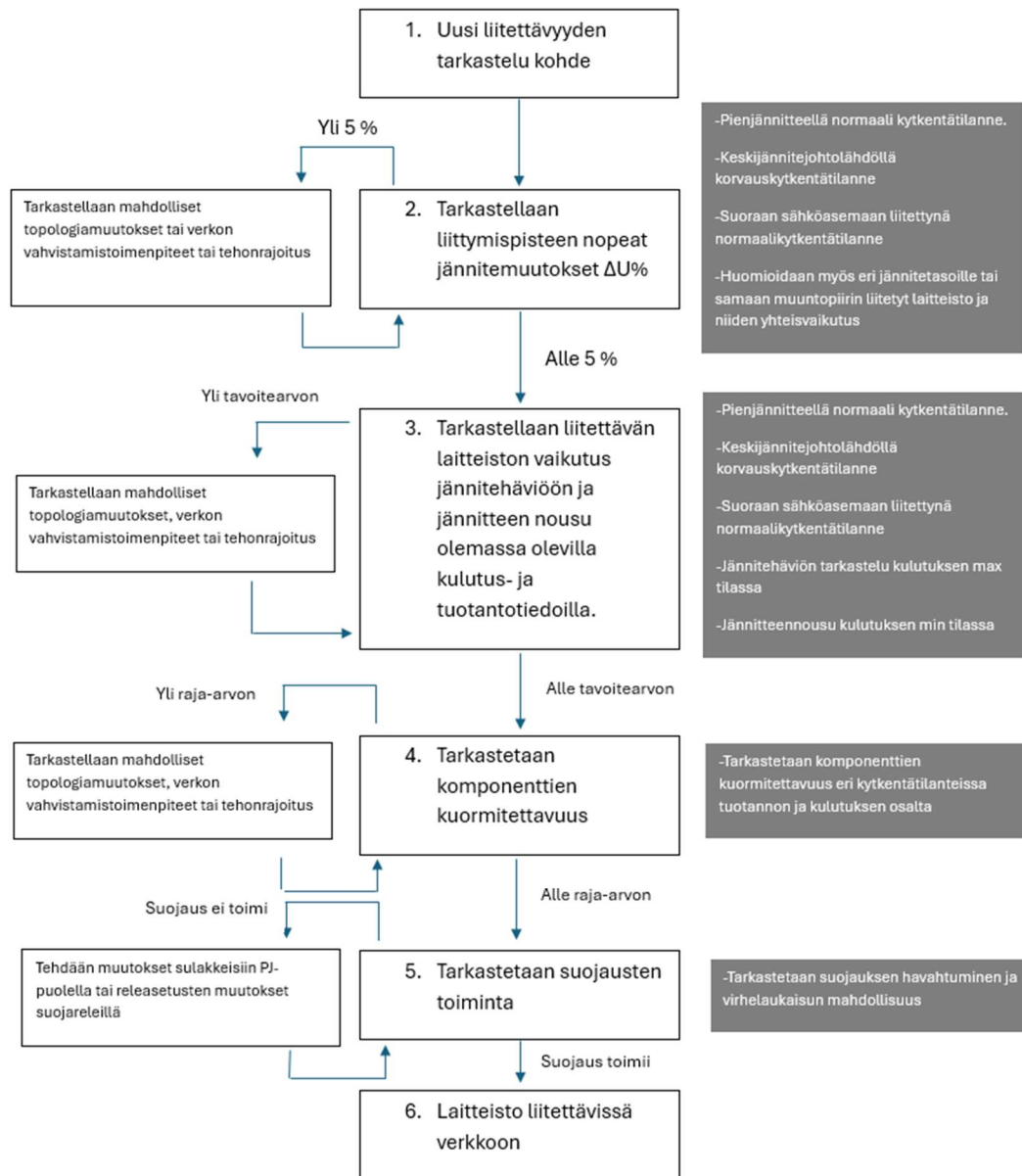
- Komponenttien kuormitettavuus
- Kulutuksen aiheuttama jännitteen alenema
- Tuotannon aiheuttama jännitteen nousu
- Nopeiden kytkentämuutosten vaikutus jännitteeseen
- Suojausten tarkastelu
- Eri kytkentätilanteiden huomiointi
- Liittymiskustannusten laskenta

3. TYÖN SUUNNITTELU

Verkkoon tehtävien muutosten suunnittelu laitteiston liittämistä varten:

- Verkon komponenttien vahvistus
- Uuden verkon rakentaminen
- Suojaukseen tehtävät muutokset
- Kytkeätilanteiden muutokset

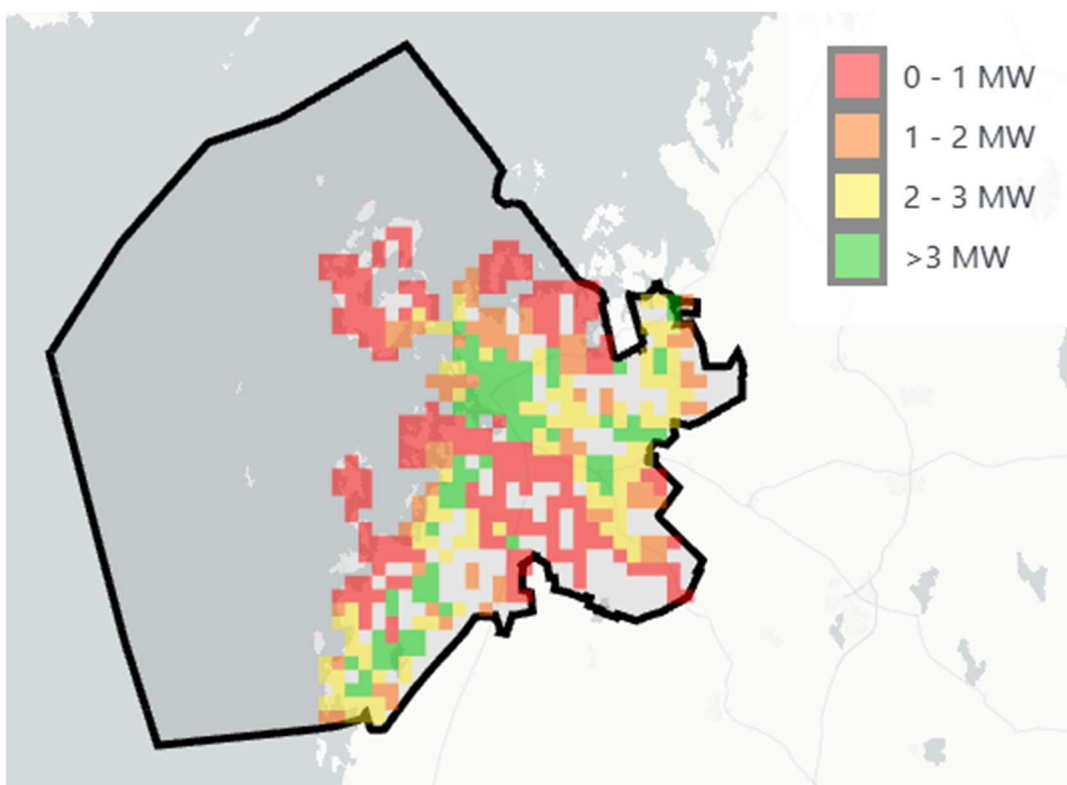
Kuva 11 Suunnitteluprosessi sähkövarastojen liittämisestä



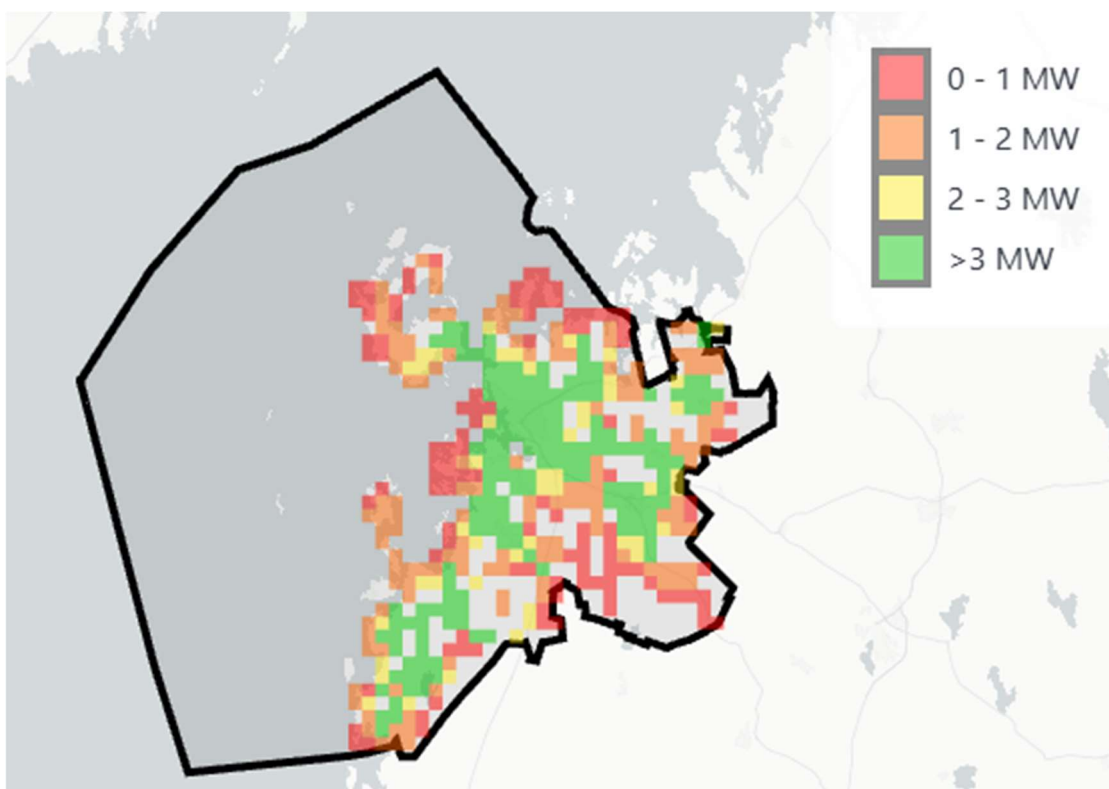
Kuva 12, Liitettävyyden tarkasteluohje

5.11 Kulutuksen ja tuotannon kapasiteetti VSV:n verkossa

Tarkastelu jakeluverkossa olevalle kapasiteetille tulee aina tehdä tapauskohtaisesti ottaen huomioon tässä kappaleessa esitetyt mahdolliset pullonkaulat. Isommassa kuvassa on kuitenkin mahdollista esittää mahdollinen vapaa kapasiteetti koko verkon tasolla auttaen näin mahdollisia verkkoliittyjiä liittymispisteen suunnittelussa. Vaasan Sähköverkolla on muodostettu karkea kartta koko verkkoalueelta kuvaten kulutuksen ja tuotannon vapaata kapasiteettia. (Vaasan Sähköverkko, 2024)



Kuva 13 Vapaa kapasiteetti kulutukselle VSV:n verkkoalueella



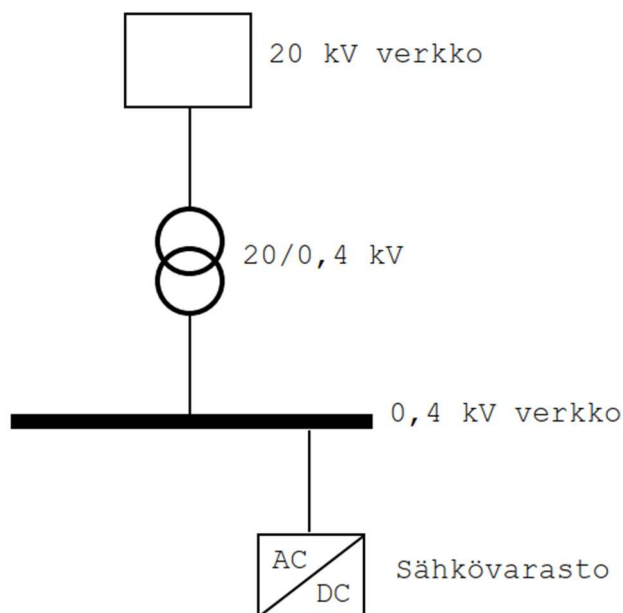
Kuva 14 Vapaa kapasiteetti tuotannolle VSV:n alueella

Kuvissa 13 & 14 (Vaasan Sähköverkko, 2024) esitetyt kapasiteetit kulutukselle ja tuotannon Vaasan Sähköverkon alueella koskevat keskijänniteverkkoa ja arvot ovat suuntaa antavia (Vaasan Sähköverkko, 2024). Tulokset perustuvat verkon massalaskentoihin normaalissa kytkentätilanteessa ja tilanne muuttuu koko ajan. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että eniten liityntäkapasiteettia kulutukselle sekä tuotannolle on asemakaava-alueilla ja niiden välittömässä läheisyydessä. Tilanne on hyvin vastaavanlainen myös pienjänniteverkon puolella.

6 LIITTYMISTAVAT JA TEKNISET RATKAISUT

Sähkövaraston liittämistapa vaihtelee käyttötarkoituksen ja liittymisjännitteen mukaan. Vastuu- ja omistusrajat toteutukselle vaihtelevat liittymistavan mukaan. Liittymätyyppejä jakeluverkossa ovat pienjänniteliittymä, keskijänniteliittymä ja sähköasemaliityntä. Liittymien toimitusraja eli liittymiskohta on aina mainittuna liittymissopimuksessa.

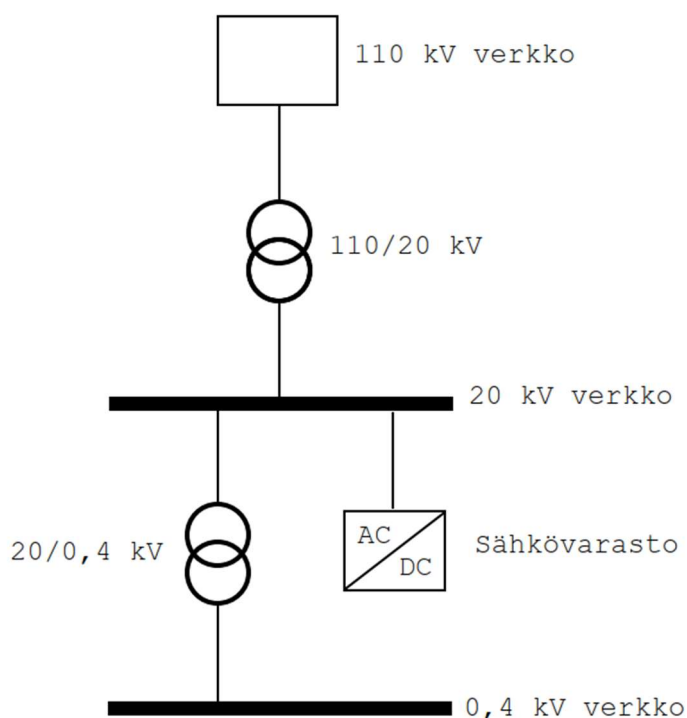
6.1 Pienjänniteliityntä



Kuva 15 Pienjänniteliityntä

Pienjänniteliitynnässä (Kuva 15) asiakkaan liittymisjännite on 0,4 kV. Pienjänniteliitynnässä liittymiskohta on usein liittymiskaapelin pää, jakokaappi, pienjänniteverkon ilmajohtopylväs tai jakeluverkon muuntamo. Pienjänniteliitynnässä jakeluverkko vastaa liittymiskaapelin mitoituksesta. Keskimääräisesti voidaan olettaa, että pienjänniteliitynnässä tuotantolaitteiden liityntäkapasiteetti on alle 300 kVA alapuolella.

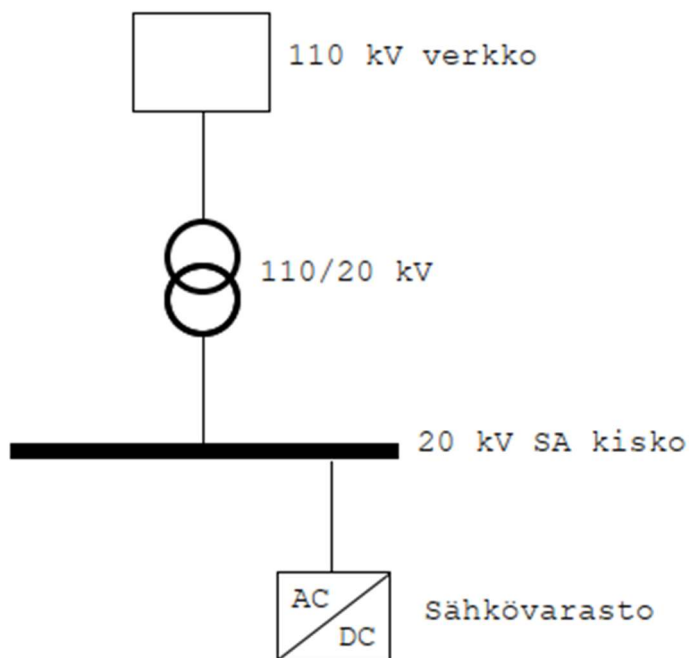
6.2 Keskijänniteliityntä



Kuva 16 Keskijänniteliityntä

Keskijänniteliityntä (kuva 16) asiakkaan liittymisjännite on 20 kV. Keskijänniteliityntä on usein sopivin vaihtoehto suurille sähkönkuluttajille. Keskijänniteliityntä asiakas liittyy jakeluverkkoon omalla muuntamollaan, johon verkkoyhtiö toimittaa 20 kV:n liittymiskaapelit. Liittymispiste on usein syvemmillä verkon johdoluodossa, jolloin liitettävä kapasiteetti on pienempi suoraan sähköasemaliityntään verrattuna. Yleensä keskijänniteliityntät rakennetaan silmukoituna yhteytenä, jolloin voidaan parantaa liittymän toimitusvarmuutta. Keskijänniteliityntä asiakas vastaa itse oman muuntamon rakentamisesta ja mitoituksista, jotka täytyy vastata verkkoyhtiön vaatimuksia. Yleensä keskijänniteliityntälle liitettävä sähkövaraston kapasiteetti verkossa on 300 – 2000 kVA.

6.3 Sähköasemaliityntä



Kuva 17 Liityntä sähköasemalle

Sähköasemaliityntä (Kuva 17) on samankaltainen keskijänniteliittymän kanssa mutta tässä tapauksessa liittymiskaapelit liitetään suoraan jakeluverkon sähköasemalle omalle johtolähdölle. Suoraan sähköasemalle liitetty liittymispisteen kapasiteetti ja jännitejäykkyyden ominaisuudet tarjoavat paremmat liittämismahdollisuudet suuremmille sähkövarastokokonaisuuksille. Sähköasemaliitynnälle voidaan pitää ohjenuorana liittää yli 2 MVA:n laitteistoja. Sähköasemaliitynnän liitettävyyttä parantaa myös se, että korvauskytkentätilanteissa suoraan sähköasemalle liitetty sähkövarasto voidaan erottaa verkosta.

6.4 Tekniset ratkaisut ja yleiset vaatimukset

Sähkövarastoilta vaadittavat tekniset ratkaisut vaihtelevat varaston nimellistehon ja liittymisjännitteen määrittämän tyyppiluokan mukaan. Kappaleessa 6.5 on määritetty tyyppiluokan A sähkövarastoilta vaaditut vaatimukset ja kappaleessa 6.6 tyyppiluokan B vaatimukset. Teknisten ratkaisujen ja vaatimusten määrittämiseen on käytetty pohjana Energiategollisuuden pientuotannon suositusta, sekä Fingridin SJV2019.

6.4.1 Sähkötyön aikaiset erotuskytkimet

Sähköverkon käytön ja kunnossapidon kannalta on tärkeää, että verkkoon kytketty tuotantolaitos voidaan erottaa väliaikaisesti jännitteettömäksi ja syöttämästä verkon suuntaan.

Sähkötyöturvallisuus standardi SFS6002 vaatii verkkoon kytketyn tuotantolaitoksen olla erotettavissa verkosta niin, että erotuslaitteessa on näkyvä ilmaväli tai luotettava mekaaninen asennonosoitus. Lisäksi erotuslaite tulee olla lukittavissa. Erotuskytkin täytyy olla sijoitettuna sellaiseen paikkaan, johon verkkoyhtiön edustajalla on esteetön pääsy. Esteetön pääsy voidaan järjestää sijoittamalla erotuskytkin ulkotiloihin, sisätiloihin, johon on järjestetty reittiävain tai vartiointiliikkeen avustuksella. (SFS, 2015)

Erotuslaite voi olla myös verkonhaltijan verkossa ennen tuotantolaitteen liittämiskohtaa. Tällaisia erotinlaitteita voi olla esimerkiksi ilmajohtoverkon pylväsvaroke tai maakaapeliverkon jakokaapissa oleva jonovarokekytkin.

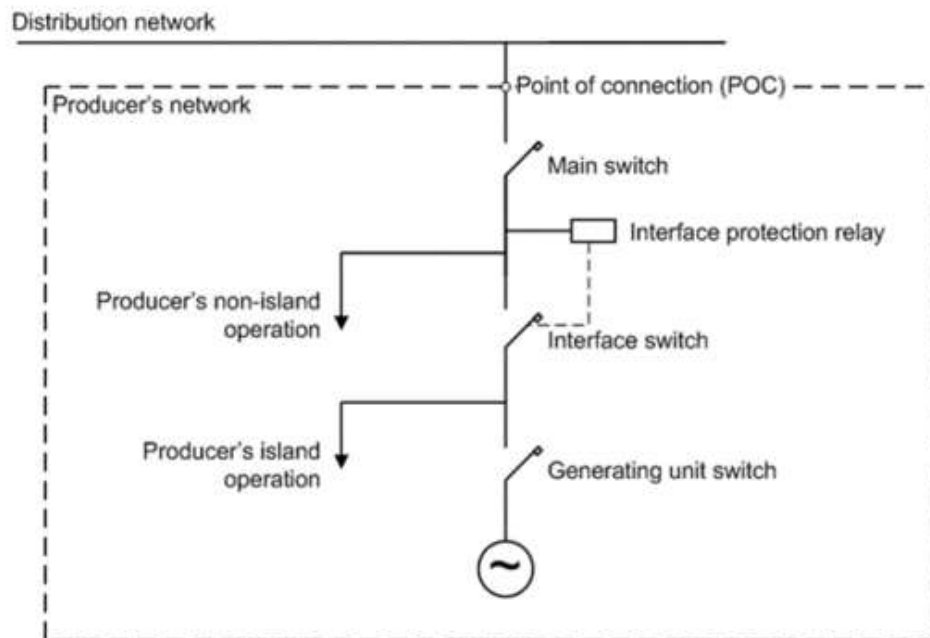
6.4.2 Keskitetty suojaus

Tuotantoteholtaan 50 kVA tai sen yli sähkövarastoille tulee asentaa erillinen keskitetty suojauslaitteisto. Suojauksen tulee varmistaa tuotantolaitteen erotus, jos invertterin omat suojaukset eivät toimi. Käytännössä tämä vaatii erillistä mitausta, suojarelettä ja katkaisijaa, joka on koestettavissa. Kytkinlaitteeksi voidaan

soveltaa SFS-EN 50549-1 standardin mukaisia laitteita. Keskitetty suojalaite voi toimia myös erotuskytkimenä, jos se täyttää sille tarkoitetut vaatimukset. Keskitetyn suojalaitteen ja katkaisijan tulisi pääsääntöisesti sijaita liittymispisteen läheisyydessä mutta tarvittaessa kyseinen kokonaisuus voidaan sijoittaa syvemmälle verkkoon, jos sillä vältetään esimerkiksi kuormien erottaminen. (SFS, SFS-EN 50549-1:2019, 2019)

Jos järjestelmä kokonaisuus koostuu useasta erillisestä laitteistosta, tulee suojauksen vaatima mittaus ja suojarele olla keskitetysti samassa paikassa, joka ohjaa katkaisijan/katkaisijat auki samanaikaisesti. Suojarele tulee myös koestaa ja katkaisijalle suorittaa valmistajan suosittelemat määräaikaishuollot ajallaan. Keskitetyn suojauksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 18.

Alle 50 kVA laitteistoilta ei vaadita erillistä keskitettyä suojausta ja liitännäsuojaus voidaan toteuttaa integroituna laitteiston inverttereihin.



Kuva 18 Keskitetyn suojauksen toimintaperiaate

6.4.3 Etäohjausvalmius

Fingridin järjestelmätekniisten vaatimusten (VJV2018 & SJV2019) mukaan tuotantolaitteet tulee varustaa logiikkaliitännällä (syöttöportilla), jonka avulla pätötehon tuotanto voidaan lopettaa viiden sekunnin viiveellä signaalin saavuttua syöttöporttiin. Verkkoyhtiö voi tarvittaessa edellyttää syöttöportin käyttämistä vedoten sähköverkon turvallisen käytön varmistamiseksi. Liittymän tulee mahdollistaa verkonhaltijan pyynnöstä etäohjaus ja liitäntäportin käyttö toteuttamalla ohjauspiirien ohjaus- ja tilatietosignaalien johdotukset verkonhaltijan tai kantaverkkoyhtiön vaatimalla tavalla. (Fingrid, 2020)

6.4.4 Sähkövaraston jännite-taajuustoiminta-alue

Jakeluverkkoon liitetyn sähkövaraston täytyy pystyä toimimaan normaalisti verkonhaltijan määrittämällä toiminta-alueella liittymispisteessä. Liittymispisteen normaali käyttöjännite vaihtelee liittymispisteittäin ja normaalin vaihteluvälin on oltava vähintään 0,9 – 1,05 pu nimellisestä jännitteestä.

Sähkövaraston täytyy myös pystyä toimimaan normaalisti ja jatkuvasti sähköjärjestelmän taajuuden ollessa 49,9 - 51,5 Hz. Lisäksi verkkoon liitetyn sähkövaraston on pystyttävä toimimaan 30 minuutin ajan sähköjärjestelmän taajuuden ollessa 51 – 51,5 Hz tai 49 - 47,5 Hz (Fingrid, 2020)

6.4.5 Taajuuden muutosnopeuden sietokyky

Verkkoon liitetyn sähkövaraston vaaditaan myös jatkamaan normaalia toimintaansa taajuuden muutosnopeuden ollessa alle 2 Hz/s. Tämän lisäksi taajuuden muutosnopeuden mittausta ei saa häiriintyä järjestelmän häiriöiden aiheuttamiin äkillisiin jännitteen käyrämuutoksiin. Taajuuden muutosnopeuden tunnistavaa laitetta voidaan käyttää sähkövaraston suojauksessa silloin, kun liitetyn laitteiston tuotantoteho on alle 50 kVA. (Fingrid, 2020)

6.4.6 Automaattinen kytkeytyminen

Sähkövarasto voi kytkeytyä sähköverkkoon automaattisesti, kun seuraavat reunaehdot täyttyvät: (Fingrid, 2020)

1. Sähköjärjestelmän taajuus on välillä 49 – 51 Hz
2. Liittymispisteen jännite on normaalilla vaihteluvälillä
3. Sähkövaraston pätötehon suurin sallittu muutosnopeus on korkeintaan 100% tuotantotilan mitoitustehosta minuutissa
4. Verkkoyhtiö sallii automaattisen jälleenkytkentäjärjestelmän asentamisen ja automaattisen kytkeytymisen 1-10 minuutin kuluttua häiriön jälkeen

6.5 Tyyppiluokan B yleiset vaatimukset

Tyyppiluokan B sähkövarastoilta vaaditut yleiset vaatimukset ovat samanlaiset kuin tyyppiluokalla A. Edellä mainittujen vaatimusten lisäksi tyyppiluokkaa B koskee tässä kappaleessa esitetyt vaatimukset.

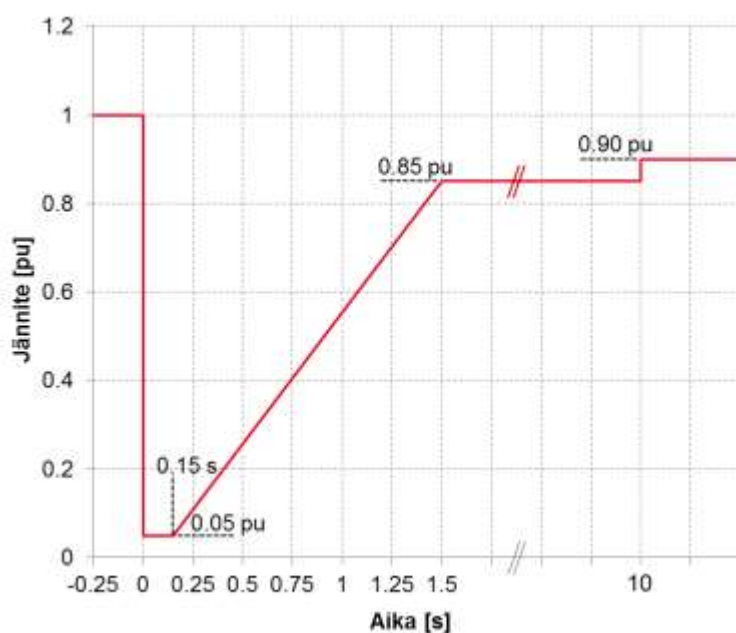
6.5.1 Etäohjausvalmius

Tyyppiluokassa B etäohjausvalmius sähkövarastolle tulee varustaa syöttöportilla, jonka kautta on mahdollista ohjata ja asettaa ohjearvoja laitteiston tuotanto- ja kulutustiloille. Väyläliitännän tulee olla yhteensopiva IEC 60870-6 (Elcom, ICCP/TASE.2), IEC 61850 tai IEC60870-5-104 kanssa. (Fingrid, 2020)

6.5.2 Lähivikakestoisuus

Verkossa toimivan sähkövaraston tulee kyetä toimimaan ja jatkamaan toimintaansa sähköjärjestelmässä tapahtuvien häiriöiden ja vikojen aikana. Laitteisto on suunniteltava siten, että se kykenee toimimaan ilman verkosta irtoamista mahdollisissa jännitehäiriöistä ja siitä seuraavista ilmiöistä huolimatta. Lähivikavaatimus on voimassa symmetrisissä ja epäsymmetrisissä vioissa. (Fingrid, 2020)

Lähivikavaatimus on määritelty SJV2019 mukaan seuraavasti (Kuva 19):



Kuva 19 Tyyppiluokan B & C sähkövarastojen lähivikakestoisuuden toimintaperiaate

6.5.3 Vikavirran syöttö

Sähkövaraston vikavirran syötön tulee käynnistyä seuraavilla tavoilla (Fingrid, 2020):

- varmistamalla nopea vikavirran syöttö liityntäpisteessä.
- tai mittaamalla jännitepoikkeamia yksittäisten yksiköiden liittimistä ja syöttämällä vikavirtaa näihin liittimiin.

Vianaikaisen virransyötön asetellut täytyy määritellä seuraavien parametrien mukaisesti:

- Vikavirran syötön tulee ensisijaisesti olla loisivirtaa

- Vikavirran syötön k-kerroin tulee olla 2,5, sekä epäsymmetrisissä vioissa vikavirran myötä- ja vastakomponentin tulee olla k-kertoimen määrittämässä suhteessa. Sähkövaraston mitoitusvirtaa ei tarvitse ylimitoittaa ja vikavirran syötön voi rajoittaa normaalikäytön mitoitusvirran tasoon.
- Vikavirran syötön tulee nousta tavoitearvoon 30-50 ms kuluessa ja asettua tavoitearvoon 60-80ms kuluessa.
- Vikavirran syötön tulee aktivoitua, kun liityntäpisteen tai laitteiston liittimien vaihejännite on alle 0,85 pu.
- Vikavirran syötön tulee poistua käytöstä, kun vaihejännite palaa yli 0,9 pu.

6.5.4 Pätötehon palauttaminen

Sähköjärjestelmässä tapahtuvien jännitehäiriöiden jälkeen sähkövaraston on kyettävä palauttamaan häiriötä edeltänyt pätöteho taso 1-3 s kuluessa. Pätötehon katsotaan olevan palautunut, kun liittymispisteestä mitattu pätöteho on +- 5% verrattuna jännitehäiriötä edeltäneeseen tilaan. Jos pätötehon palauttaminen johtuu liittymispisteen jännitteen tasosta, kyseinen riippuvuus tehonpalautuksesta tulee kuvata ja toimittaa verkonhaltijalle. (Fingrid, 2020)

6.5.5 Suojaukset

Liittymispisteen verkonhaltijan vastuulla on määrittää ja tarkastella sähköverkon suojaamiseksi vaaditut suojausasetukset ja -järjestelmät. Suojausasettelut ja järjestelmät on suunniteltava sähkövaraston ominaisuuksien pohjalta. Suojaukseen liittyvät asiat on aina sovittava koordinoitusti liittyjän ja verkonhaltijan välillä. (Fingrid, 2020)

Sähkövaraston haltijan vastuulla on taas määrittää sähkövaraston ja sen liityntää koskeviin suojausasetuksiin, joilla taataan henkilö- ja laiteturvallisuus. Suojausasettelut tulee määritellä siten, että laitteisto pysyy verkossa sähköjärjestelmän häiriöiden ajan. Sähkövaraston haltija vastaa siitä, että suojausten suunnittelussa

on otettu huomioon jakeluverkossa tapahtuvat muutokset jännitteessä, virrassa ja taajuudessa, sekä verkossa tapahtuvat aika- ja pikajälleenkytkennät. Suojausasettelut tulisi määrittää siten, että laitteisto kestää mahdollisimman suuria järjestelmän häiriöitä ottaen huomioon käyttövarmuuden, henkilöturvallisuuden sekä mahdollisen laitteiston vaurioitumisen. (Fingrid, 2020)

6.6 Toteutuksen vastuurajat

Seuraavissa kappaleissa on kuvattuna eri liittymistyyppien toteutuksen vastuurajat. Liittyjän ja verkkoyhtiön vastuurajat riippuvat liittymisjännitteestä ja liittymän toteutustavasta.

6.6.1 Pienjänniteliityntä

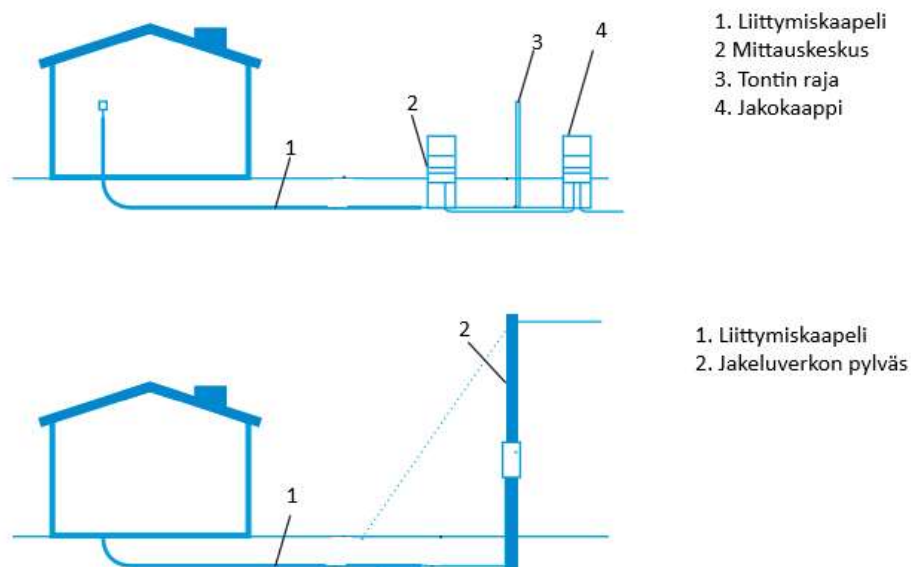
Pienjänniteliitynnässä verkkoyhtiön ja liittyjän vastuun erottaa liittymän omistusraja. Omistusraja voi sijaita tontin rajalla, ilmajohdon pylvällä, maakaapeliverkon jakokaapilla tai asemakaava-alueella sijaitsevalla mittauskeskuksella. Pienjänniteliittymän rakenne ilmajohto ja maakaapeliverkossa on esitetty kuvassa 20.

VSV vastuulle pienjänniteliitännässä kuuluu:

- Liittymän ja jakeluverkon suunnittelu omistusrajalle asti
- Asentaa ja kytkeä liittymiskaapeli omistusrajalla
- Toimittaa energiamittari

Liittyjän vastuulle kuuluu:

- Hankkia mittauskeskus
- Asentaa liittymiskaapeli omistusrajalle asti
- Vastata perusmaadoituksesta ja liittymiskaapelin suojauksesta
- Huolehtia asennusten määräysten mukaisuudesta



Kuva 20 Esimerkki pienjänniteliitynnän toteutuksesta

6.6.2 Keskijänniteliityntä

VSV:n vastuulle toteutuksessa kuuluu:

- Liittymiskaapelit ja maadoitusjohtimet asiakkaan liityntäkojeistoon.
- Kauko-ohjauksiin vaadittava ala-asema ja siihen liittyvät toimilaitteet.
- Energiamittarin toimitus.

VSV:n käyttö- ja kunnossapitovastuu ulottuu:

- Liittymiskaapelien käyttö- ja kunnossapito 20 kV:n kaapelipäätteisiin asti.
- Ala-aseman käyttö ja kunnossapito.
- Käyttövastuu 20 kV:n liityntäkentistä J01 ja J02, liityntäkenttien ohjaaminen muiden osapuolien osalta ei ole sallittua.

Liittyjän vastuulle toteutuksessa kuuluu:

- Hankkia kaikki liittymiskennot varusteineen sekä rakennuttaa kojeistotilat ja vastata niihin liittyvistä kustannuksista.

Järjestelmätekniset vaatimukset ovat esitetty Fingridin toimintaohjeessa SJV2019. Verkonhaltijalla on kuitenkin mahdollisuus lisätä tarkentavia vaatimuksia liityntää koskien, jotka on ilmoitettava liittymissopimuksen yhteydessä. (Fingrid, 2020)

6.7.1 Liittyjän vastuut, velvollisuudet sekä oikeudet

Jakeluverkkoon liittyjän vastuulla on aina laitteiston vaatimusten täyttäminen ja todentaminen koko laitteiston elinkaaren ajan. Liittyjän vastuulla on myös ilmoittamisvelvollisuus laitteistolle suoritettavista koeohjelmista tai laitteistoon tehtävistä muutoksista, jotka verkkonhaltijan tulee tarkistaa ja hyväksyä mahdollisimman nopeasti. (Fingrid, 2020)

6.7.2 Verkonhaltijan vastuut, velvollisuudet sekä oikeudet

Verkonhaltijan vastuulla on valvoa ja varmistaa, että liittyjä on noudattanut laitteiston käyttöönottoon liittyvien vaatimusten noudattamisen. Verkonhaltijalla on myös oikeus vaatia liittyjää tekemään toistuvan suunnitelman koskien laitteistolle tehtäviä kokeita, joilla varmistetaan verkkoon liitetty laitteisto täyttää vaatimukset. Verkonhaltijan tulee myös ilmoittaa julkisesti sähkövaraston liittämiseen liittyvien tietojen ja asiakirjojen, sekä vaatimusten lista, jotka liittyjän on täytettävä ennen sähköverkkoon liittymistä.

Mikäli liittyjä tai verkkonhaltija huomaa ristiriitaisuuksia verkkoon liitetyn laitteiston toiminnassa tai vaatimuksissa tulee kummankin olla yhteydessä välittömästi eri osapuoliin ristiriidan poistamiseksi. (Fingrid, 2020)

6.8 Sähkövaraston käyttöönotto- ja todentamisprosessi

Sähkövaraston todentamisprosessi ja käyttöönottoilmoitusmenettely on aina laitteiston mitoitustehosta riippuvan tyyppiluokan mukaista. Käyttöönottoilmoitusmenettelyyn vaadittavat dokumentit ja tiedot tulevat verkkonhaltijalta. (Fingrid, 2020)

6.9 Sääto- ja suojausmäärittelyt

Tässä kappaleessa esitettyjä sääto- ja suojausmäärittelyjä suositellaan otettavan käyttöön sähkövaraston verkkoliitäntälaitteissa. Varsinkin loistehosäädön avulla voidaan nostaa merkittävästi tuotantoteho liitettävyyttä jakeluverkoissa. Lisäksi pätothosäädön avulla voidaan ehkäistä standardin SFS-EN 50160 asettamaa jännitteen ylärajaa. (Energiateollisuus, 2023)

6.9.1 Loss of Mains suojaus

Loss of Mains (LOM) tarkoittaa tilannetta, jossa jakeluverkon puolelta syöttö käyttöpaikalle katkeaa. Jos verkkoon kytketty tuotantolaitte ei havaitse verkon puolella tapahtuvaa syötön katkeamista on mahdollista ajautua tahattomaan saarekekäyttötilaan. Tahattomien saarekekäyttöjen estämiseksi verkkoon liitetyissä liitäntälaitteissa on usein sisäänrakennettuja LOM-suojafunktioita. LOM-suojaukset perustuvat sähköisten suureiden mittaamisen kuten jännitteen ja taajuuden muutoksien havaitsemiseen. Yleisimpiä suojausfunktioita, joita tähän tarkoitukseen käytetään ovat ROCOF ja vector shift.

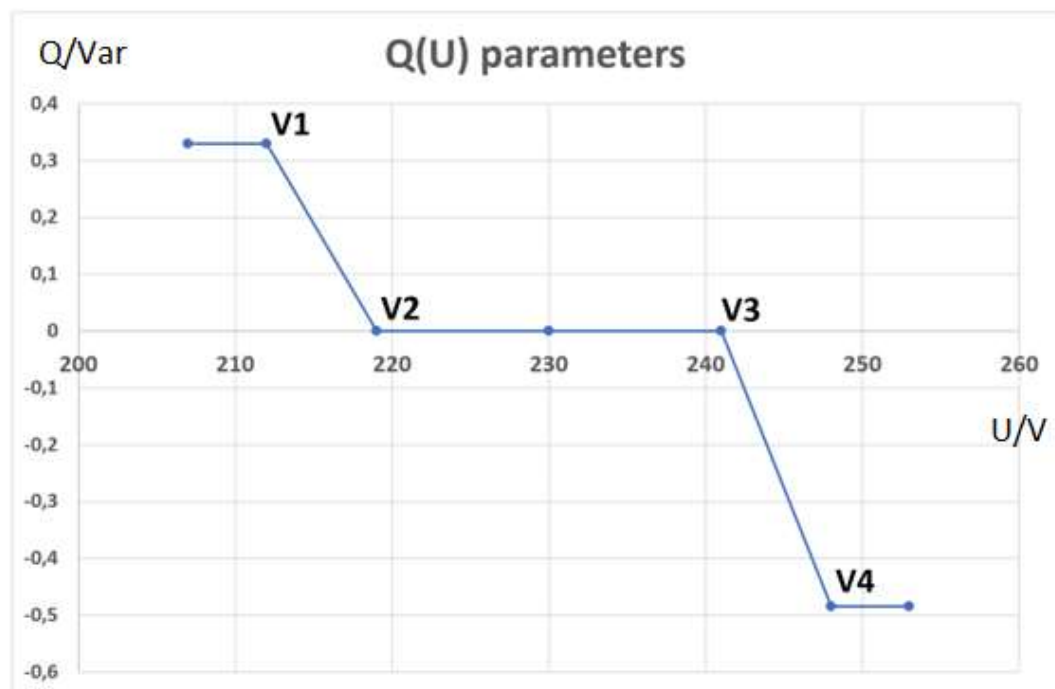
Käytännössä on kuitenkin havaittu tilanteita, joissa LOM-suojaus ei havaitse saarekesyöttötilannetta tai LOM-suojaus on aiheuttanut turhia tuotantolaitteen irti kytkeytymisiä. Tällä hetkellä ei ROCOF suojaus käytössä sallita kuin alle 50 kW:n tuotantolaitteistoille. Standardit eivät tällä hetkellä esitä LOM-suojaukselle suoria vaatimuksia vaan suojaus määrittely tulisi tehdä aina verkkoyhtiön kanssa yhteistyössä. (Energiateollisuus, 2023)

6.9.2 Lois- ja pätothos säädön asettelut

Verkkoon liittyvien suuntaajakytkettyjen tuotantolaitosten käyttöönotossa suositellaan ottamaan käyttöön verkkoliitäntälaitteisiin integroitua lois- ja pätothos säätöasetteluita. Suositeltuja suojausfunktioita ovat Q(U) & P(U) säädöt. Aktiivisella loistehosäädöllä ja pätothos leikkaamisella pyritään hillitsemään hajautet-

tujen tuotantolaitosten aiheuttamaa jännitteen nousua tai laskua liittymispisteessä. Q(U) -säädön avulla voidaan parantaa sähkövarastojen verkkoon liitettävyyttä jakeluverkossa, kun liityntälaitteet pystyvät reagoimaan haitallisiin jännitteen muutostilanteisiin. Lisäksi P(U) -säädöllä voidaan ehkäistä standardin SFS-EN 50160 asettamaa jännitteenylärajaa verkon eri kytkentätilanteissa.

Q(U) -säätö eli loistehon säätö jännitteen funktiona perustuu tuotantolaitteiston tuottamaan tai kuluttamaan loistehoon jännitteen noustessa tai laskiessa raja-arvon ali tai yli. Kun liittymispisteen jännite laskee, tulee sähkövaraston liityntälaitteiston tuottaa loistehoa ja liittymispisteen jännitteen noustessa kuluttaa loistehoa. (Energiateollisuus, 2023)

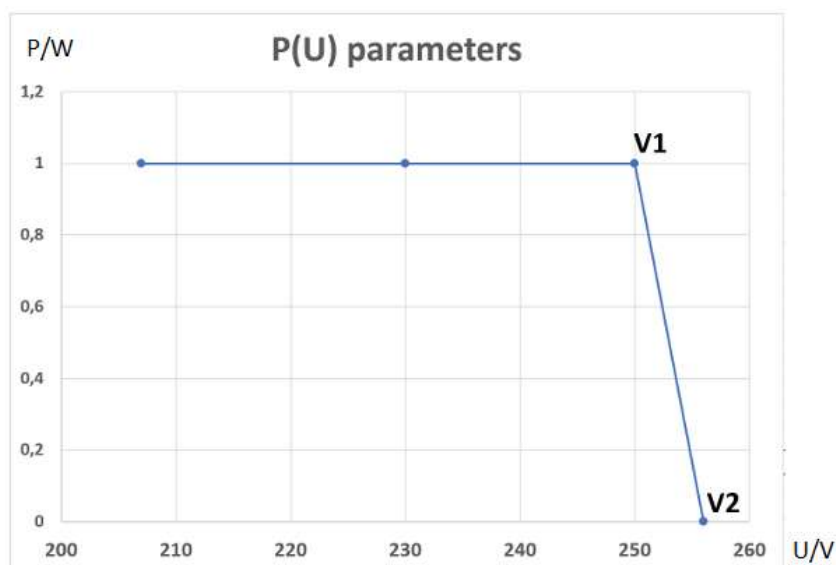


Kuva 22 Q(U) -säädön asetteluarvot

Yllä mainitussa kuvaajassa (Kuva 22) esitetään Q(U) -säädön toimintaperiaate. Liityntäpisteen jännitteen laskiessa alle 219 V alkaa tuotantolaitte tuottamaan loistehoa lineaarisesti jännitteeseen 212 V asti, jolloin loistehon tuotto on $0,329 \cdot$ mi-

toituspätöteho. Toisaalta jännitteen ylittäessä raja-arvon 241 V alkaa tuotantolaitte kuluttamaan loistehoa lineaarisesti aina jännitteeseen 248 V, tällöin loistehon kulutus on $-0,484 \cdot$ mitoituspätöteho. Jännitteen raja-arvojen välillä 219 – 248 V on niin sanottu ”kuollut alue”, jolloin loistehon säätö ei reagoi. Q(U)- säätöön on erikseen määritelty aikavakio, jonka arvo on 10 s. Aikavakiolla hidastetaan loisteho säädön reagointia jännitteeseen, jolloin vältetään säädön reagoiminen nopeisiin jännitevaihteluihin.

Loistehon säädön lisäksi voidaan käyttää P(U) -säätöä, joka tarkoittaa pätötehon leikkaamista jännitteen funktiona. Pätötehon leikkaamisella pyritään hillitsemään liittymispisteen jännitteen nousua. P(U) -säädöllä verkkoon kytketyn tuotantolaitteen pätötehoa aletaan rajoittamaan tietyn jännite raja-arvon ylittyessä ja katkaistamaan kokonaan, kun päästään tiettyyn asetteluarvoon.



Kuva 23 P(U) -säädön asetteluarvot ja toimintaperiaate

P(U) -säätöön on raja-arvona asetettu 250 V. Jännitteen raja-arvon ylittyessä lähtee tuotantolaitte leikkaamaan lineaarisesti verkkoon syötettyä pätötehoa. Liittymispisteen jännitteen saavuttaessa arvon 256 V tulisi pätötehon tuotannon olla nolla. P(U) -säädölle ei määritellä aikavakio asettelua.

Loistehon säädössä ja pätötehon leikkauksessa referenssimittauspisteinä käytetään liittymispistettä. Mittauspiste voi myös olla tuotantolaitteiston liitännänoissa. (Energiateollisuus, 2023)

6.10 Reaaliaikainen tiedonvaihto

Reaaliaikaisten mittausten ja tiedonvaihdon osalta noudatetaan kantaverkkoyhtiö Fingridin vaatimuksia ja sovellusohjetta ”Reaaliaikainen tiedonvaihto”. Sähkövarastojen tiedonvaihdon osalta vaatimukset vaihtelevat sähkövaraston tyyppiin luokan mukaan. Tyypiluokalta A ei tällä hetkellä vaadita reaaliaikaista tiedonvaihtoa tai mittausta, jolloin liittymispisteen verkonhaltija määrittelee ilmoitusmenettelyn ennen sähkövaraston käyttöönottoa.

Suuremmilta sähkövarastoilta luokiltaan B, C & D vaaditaan reaaliaikaiset mittaukset ja tiedonvaihto. Tiedonvaihdon tulisi sisältää seuraavat asiat (Fingrid, 2020):

- Pätötehon mittaus
- Loistehon mittaus
- Kytkinlaitteiden tilatiedot

Lisäksi yli 10MW tehoisilta vähintään 110 kV jännitteeseen liittyneiltä sähkövarastoilta vaaditaan:

- Jännitemittautustieto siitä jännitteestä, jonka mukaan tuotantolaite säätää jännitettä jännitesäädössä
- Tieto käytössä olevasta säätötilasta
- Kyky vastaanottaa Fingridin antama tehomääräys ja lähettää kuittaus tiedon vastaanotosta ja toteutuksesta

Sähköverkkoon liittyjällä on vastuu vaatimusten täyttämistä todentamisesta sekä niihin liittyvistä kustannuksista. Lisäksi liittyjällä on vastuu ylläpitää Fingridin

määrittelemien vaatimusten mukainen toiminta koko sähkövaraston käyttöiän ajan. Liittyjä toimittaa mittaukset liittymispisteen verkonhaltijalle tai verkonhaltijan velvoittamana suoraan kantaverkkoyhtiölle. Reaaliaikamittausten päivityssyklin täytyy olla 60 s tai alle. Reaaliaikainen tiedonvaihto vaatii aina testaamisen ja konfiguroinnin Fingridin kanssa ennen kuin sähkövarastolle voidaan antaa lupa käyttöönottoon. (Fingrid, Reaaliaikainen tiedonvaihto, 2024)

6.11 Todentamisprosessi ja käyttöönottoilmoitusmenettely

Sähkövaraston todentamisprosessi ja käyttöönottoilmoitusmenettely on aina laitteen mitoitusetehosta riippuvan tyyppiluokan mukaista. Käyttöönottoilmoitusmenettelyyn vaadittavat dokumentit ja tiedot tulevat verkonhaltijalta.

6.11.1 Tyyppiluokka A

Tyyppiluokaltaan A luokitellulta sähkövarastolta käyttöönottoilmoitusmenettelyyn tulee aina sisältää asennusdokumentti, joka on laitteistokohtainen. Useammasta laitteistosta tulee täyttää erillinen asennusdokumentti. Sähkövaraston haltijan tulee varmistaa, että kaikki verkonhaltijan vaaditut tiedot ovat täytetty ja ne on toimitettu verkonhaltijalle ennen liittämistä (Fingrid, 2020).

Asennusdokumentin sisällön määrittää verkonhaltija ja sen tulee sisältää vähintään seuraavat tiedot:

- Fyysisen liittymän paikka
- Liittymispäivämäärä
- Sähkövaraston tuotanto- ja kulutustilan mitoituseteho
- Sähkövaraston tyyppi
- 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

LIITE 1: yleistietolomake

6.11.2 Tyypiluokka B

Tyypiluokaltaan B luokitellulta sähkövarastolta käyttöönottoilmoitusmenettelyn vaatimukset ovat tyypiluokkaa A vaativammat. Jokaisesta liitettävästä sähkövarastosta on toimitettava sähkövarastoon liittyvät tiedot ja asiakirjat. Toimitettavien asiakirjojen lisäksi käyttöönottoilmoitusmenettelyyn kuuluu vaatimustenmukaisuusilmoitus. Vaatimuksenmukaisuusilmoituksessa liittyjä merkitsee kaikkien toimitettujen asiakirjojen nimen ja vahvistaa allekirjoituksellaan, että sähkövarasto täyttää sille asetetut vaatimukset (Fingrid, 2020).

Toimitettavien tietojen tulee kertoa verkonhaltijalle:

- Liityntää koskevat yleistiedot
- Muuntajien tekniset tiedot
- Sähkövaraston tekniset tiedot
- Sähkövaraston järjestelmätekniset ominaisuudet
- Sähkövaraston suojaustiedot
- Käyttöönottodokumentit
- Vaatimuksenmukaisuusilmoitus

Toimitettavat tiedot ovat esitettyinä Liitteessä 2.

6.12 Sähkövarastojen käyttöönottokeet

Ennen sähkövaraston käyttöönottamista liittyjän vastuulla on varmistaa ja todentaa, että verkkoon kytkettävän laitteisto täyttää sille asetetut vaatimukset. Vaatimusten täyttäminen tulee ensisijaisesti varmistaa sähkövaraston käyttöönoton yhteydessä tehtävillä kokeilla. Käyttöönottokeiden kustannuksista vastaa aina liittyjä. Liittymispisteen verkonhaltijalla on myös oikeus osallistua käyttöönottokeiden valvontaan ja seurantaan paikan päällä tai valvomosta. Tällöin liittyjän on välitettävät kaikki testien osalta olennaiset signaalit ja mittaukset verkonhaltijan käyttöön testien ajaksi. Käyttöönottokeiden vaatimukset vaihtelevat aina liitettävän sähkövaraston tyyppin mukaisesti. Tyyppiluokaltaan A sähkövarastolta ei vaadita käyttöönottokeita. (Fingrid, 2020)

Tyyppiluokan B käyttöönottokeet

Sähköverkkoon liittyjän vastuulla on todentaa ja varmistaa tyyppiluokaltaan B sähkövaraston käyttöönoton yhteydessä vähintään seuraavat ominaisuudet:

- Sähkövaraston käynnistyksen ja pysäyttämisen vaikutus jännitetasoon liittymispisteessä
- Sähkövaraston mitoitusteho
- Sähkövaraston loistehokapasiteetti
- Jännitteen ja loistehosäädön toiminta
- Taajuussäätö- ja ylitaajuustoimintatila

Liittyjän on toimitettava kokeista käyttöönottopöytäkirja verkonhaltijalle, johon on dokumentoitu mittaustulokset ja kokeiden suoritus ajankohta. Käyttöönottokeet voidaan tapauskohtaisesti korvata valtuutetun todentajan antamalla laitetodistuksilla, mutta ensisijaisesti toiminta tulee varmistaa käyttöönottokeilla. Laitetodistukset toimitetaan aina verkonhaltijalle, mutta laitetodistukset eivät takaa laitteistokokonaisuuden ja apulaitteiden yhteistoimintaa. Käyttöönottokeiden korvaamisesta laitetodistuksilla tulee aina sopia verkonhaltijan kanssa (Fingrid, 2020).

6.13 Energianmittaus

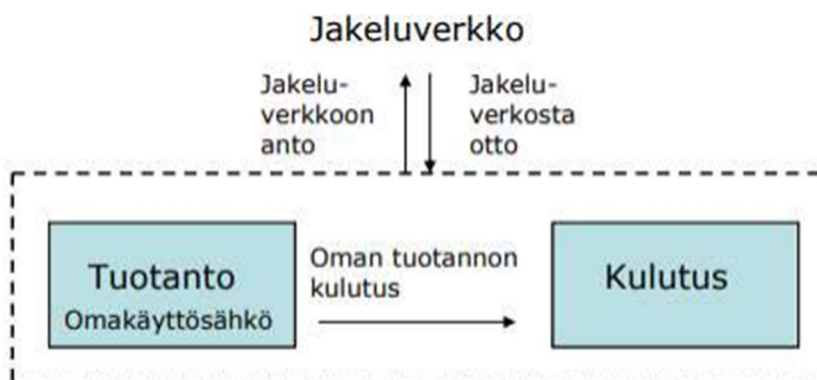
Energianmittauksesta jakeluverkossa vastaa verkonhaltija. Mittarin omistaa verkonhaltija, joka huolehtii mittauksen luennasta. Oman tuotannon kulutuksen mittaamisvastuu on aina sähkön tuottajalla. Energianmittauksen toimintaperiaate on esitetty kuvassa 24.

Vaasan sähköverkolla mittausratkaisuihin käytetään seuraavia standardeja:

- SFS 2529 Vaihtosähköenergian mittaus Energiamittarin alusta
- SFS 3381 Vaihtosähköenergian mittaus- ja mittaustiedot

Mittaustapoina voidaan soveltaa suoraa – tai epäsuoraa mittausta. Suoraa mittausta voidaan käyttää pienjänniteliitymissä, jonka ylivirtasuojan mitoitusvirta on enintään 63 A. Epäsuoraa mittausta käytetään pienjänniteliitymissä, joiden nimellisvirta ylittää 63 A. Keskijänniteliitymissä sovelletaan aina epäsuoraa mittausta.

Nimellisteholtaan yli 100 kVA:n tuotantolaitokset varustetaan omalla erillisellä mittauksella, jonka avulla voidaan laskea oman tuotannon kulutus. Oman tuotannon kulutuksella tarkoitetaan tuotantolaitoksella tuotetun energian kuluttamista sähkökäyttöpaikalla. (SFS, SFS 2529 Vaihtosähköenergian mittaus Energiamittarin alusta, 2012) (SFS, SFS 3381 Vaihtosähköenergian mittaus- ja mittaustiedot, 2023)



Kuva 24 Sähköliittymän energianmittaus sähköliittymällä, jossa tuotantoa ja kulu-
tusta.

6.14 Vaadittavat dokumentit ja tiedot liittymisprosessin eri vaiheissa

Sujuvan liittymisprosessin kannalta on tärkeää määritellä liittyjältä vaadittavat tiedot eri liittymisprosessin vaiheissa. Tällä tavoin voidaan varmistaa, että liittyjä on noudattanut verkonhaltijan sille määrittämiä vaatimuksia. Tässä kappaleessa on määriteltynä, mitä tietoja tai dokumentteja liittyjän tulee toimittaa VSV:lle ennen esiselvitystä, suunnittelua tai laitteiston käyttöönottoa.

6.14.1 Esiselvitys

Tyypiluokka A:

- Liittäjän yhteystiedot
- Osoite tai kartta halutusta liittymän sijainnista
- Liittymän tyyppi & koko
- Liittymän käyttötarkoitus
- Mahdolliset liittymän laajennus tarpeet

Tyypiluokka B:

- Liittyjän yhteystiedot
- Osoite tai kartta halutusta liittymän sijainnista
- Liittymän tyyppi & koko
- Liittymän käyttötarkoitus
- Mahdolliset liittymän laajennus tarpeet
- Mahdollinen varaliityntä

6.14.2 Suunnitteluvaihe

Tyypiluokka A:

- Täytetty yleistietolomake
- Asemapiirros, josta selviää liittymispisteen tarkka sijainti
- Järjestelmäkaavio ja keskitetyn suojauksen periaate, jos yli 50kVA laitteisto
- Sähköpääkaavio, josta selviää liittymisen sähköjärjestelmään ja erotuskytkimien sijainti

Tyypiluokka B:

- Asemapiirros, josta selviää liittymispisteen tarkka sijainti
- Liittymispisteen kj-pääkaavio
- Koko järjestelmän pääkaavio, mikäli kyseessä yhtä muuntamoaa laajempi järjestelmä
- VSV:n kenttien J01 & J02 kojeistopiirikaavio
- Kaapelireittisuunnitelma
- Suojausta koskevat dokumentit

6.14.3 Toteutus- ja käyttöönottovaihe

Tyypiluokka A:

- Suojasasettelupöytäkirjat
- Keskitetyn suojareleen ja katkaisijoiden koestuspöytäkirjat
- Käyttöönottotarkastuspöytäkirja
- Valokuvat erotuskytkimistä, varoitusmerkinnöistä ja opastuksista
- Liittämispöytäkirjan tarkistuslista
- Asennusdokumentti, joka sisältää kappaleen 6.12.1 mukaiset tiedot
- Käyttöönottoilmoitus

Tyypiluokka B:

- Liityntäkojeiston tekniset tiedot ja käyttöohje
- Esteettömän reitin tiedot, reittiavaimet ja putkilukon sijainti
- Käytönjohtajan yhteystiedot
- Energianmittausjärjestelyn tiedot
- Dokumentti omakäytösähkön toteuttamisesta VSV:n kaukokäytön alustalle
- Käyttöönottotarkastuspöytäkirja sisältäen maadoitusmittaukset, relekoestuspöytäkirja ja käyttöönottokokeet
- Lopulliset suojausta koskevat tiedot
- Lopulliset pää- ja piirikaaviot
- Sähkövaraston tyyppitiedot liitteen 2 mukaisesti
- Käyttöönottoilmoitus

7 MUUT HUOMIOITAVAT ASIAT

Teknisten tarkastelujen lisäksi ja sähkövaraston käyttöönoton jälkeen tulee hajautetut tuotantolaitteet ottaa huomioon myös normaalissa verkon käyttötoiminnassa. Liitettävyyteen VSV:n toiminta-alueella on myös tällä hetkellä voimassa rajoituksia uusien tuotantolaitteiden liittämisen osalta kantaverkkoyhtiön toimesta. Lisäksi järjestelmätekniisiin vaatimuksiin on tulossa tulevaisuudessa päivityksiä.

7.1 Käyttötoiminta

Sähkönjakeluverkot ulottuvat usein laajalle alueelle, minkä takia verkon valvonta ja käyttötoiminta perustuu suurimmaksi osaksi kaukomittaus ja -ohjauksiin. Sähkönjakeluverkon käytöstä vastaa usein jakeluverkoissa sitä varten perustettu käytönohjausvalvomo. Verkon valvonnan perustana toimivat erilaiset tiedonsiirtolaitteistot, kaukokäyttö ohjaukset ja käytöntukijärjestelmät. Käyttötoiminnan perustehtäviin kuuluu kytkentäohjelmien suunnittelu, jatkuva verkon tilan seuranta ja ohjaus sekä häiriö- tai vikatilanteiden hallinta. Käyttötoiminnan vastuulla on toteuttaa mahdollisimman turvallinen ja toimitusvarma sähkönjakelutoiminta. (Partanen, 2008)

Hajautetut tuotantolaitteet asettavat uusia haasteita sähköverkon käytönvalvonnalle ja kytkentäsuunnitelmille. Jakeluverkon suunnitelluissa tai suunnittelemattomissa keskeytyksissä työturvallisuuden varmistamiseksi verkkoon liitetyt tuotantolaitteet tulee aina todeta ja lukita jännitteettömäksi. Hajautetut tuotantolaitteet voivat myös toimintahäiriön vuoksi aiheuttaa ei haluttuja saareketilanteita tai takasyöttö tilanteita. Uusien kytkentätilanteiden suunnittelussa tulee myös ottaa huomioon tuotantolaitteiden aiheuttamat vaikutukset jakeluverkon suojausasetteluihin (Singh, 2017).

Työturvallisuuden ja käyttötoiminnan varmistamiseksi verkkoon kytketyt sähkövarastot tulisi dokumentoida riittävällä tarkkuudella verkkotietojärjestelmään ja käy-

töntukijärjestelmään. Kytkeäohjelmissa tulisi aina tulla ilmi takasyötön mahdollisuus ja riittävät toimenpiteet jännitteettömyyden toteamiseksi. Verkkoon kytkeytyvät tuotantolaitteiden mahdollinen takasyöttömahdollisuus tulisi myös kuvata verkossa työskenteleville henkilöille maastomerkinnoilla ja työnohjaussovelluksissa (Energiateollisuus, 2023). Tietyissä korvaustilanteissa verkon sähkötekniiset ominaisuudet voivat muuttua niin paljon, että tuotantolaitteiden tehoa joudutaan rajoittamaan hetkellisesti tai ajamaan alas kokonaan.

7.2 Muutokset tulevaisuudessa teknisissä vaatimuksissa

Fingrid on päivittämässä sähkövarastoja ja tuotantolaitoksia koskevia järjestelmätekniisiä vaatimuksia uusilla dokumenteilla VJV2024 & SJV2024. Päivitetyt vaatimukset tulevat koskemaan voimalaitos- ja sähkövarastohankkeita, joista tehdään liittymissopimus vaatimusten voimaantumisen jälkeen. Uusia vaatimuksia on myös tarkoitus soveltaa olemassa oleviin hankkeisiin, joissa ei ole tehty sitovaa hankintasopimusta 1.7.2025 mennessä. (Fingrid, Voimalaitoksia ja sähkövarastoja koskevien järjestelmätekniisten vaatimusten päivitys, 2025)

7.3 Tuotannon rajoitukset

Suuntaajakytketty tuotanto ovat kasvattaneet rajusti osuuttaan Suomen länsirannikolla. Voimakas kasvu ja alueellisen keskittymisen takia Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid on asettanut toistaiseksi voimaan olevan rajoituksen koskien suuntaajakytketyn tuotannon liittämistä länsirannikolla. Kansainvälisten kokemusten ja Fingridin arvion mukaan verkon toiminta voi muuttua epävakaaksi, kun suuntaajakytketyn tuotannon osuus kasvaa alueellisesti liian suureksi. Epävakaas saattaa pahimmillaan johtaa laajaan sähköntoimituksen keskeytykseen. (Fingrid, 2023)

Rajoitus koskee tällä hetkellä yli yhden megawatin suuntaajakytkettyjä tuotantolaitoksia koskien myös sähkövarastoja. 1.2.2025 Fingrid on poistanut rajoituksen koskien yli 1 MW laitteistoja Vaasasta ja sen eteläpuolelta. Vaasan Sähköverkon toiminta-alue kuuluu nyt vain osittain tämän rajoituksen piiriin (Kuva 25). Rajoitus

on voimassa siihen asti, kun kantaverkko-yhtiö antaa luvan kytkeä suurempia sähkövarastolaitoksia. Rajoituksen arvioidaan olevan voimassa vuoteen 2027 asti, jolloin kantaverkon uudet investoinnit uusiin siirtoyhteyksiin ovat valmiita. Rajoitus ei koske yksittäisiä alle yhden megawatin laitoksia tai tahtikonevoimalaitoksia. (Fingrid, 2025)



Kuva 25 Rajoitusalue koskien yli 1MW suuntaajakytketyn tuotannon liittämistä.

8 POHDINTA

Energianmurroksen myötä myös sähköjakelu on murrosvaiheessa. Uudet tekniset ratkaisut muokkaavat sähköjakelun toimintaa ja suunnitteluperiaatteita. Uusien energiaratkaisuiden ja lainsäädännön myötä sähköverkoille asettuu kehitys- ja muutospainetta. Kaksisuuntainen tehonsiirron yleistyessä ja sen mahdollistamisessa vaaditaan paljon investointeja tulevaisuutta ajatellen. Investoinnit tulevat keskittymään sähköverkon vahvistamistoimenpiteisiin, automaation lisäämiseen, suojausratkaisuiden kehittämiseen sekä käytöntuki- & verkkotietojärjestelmien kehittämiseen. Suurimpana pullonkaulana sähkövarastojen liittämiseksi voidaan pitää vanhoja käytössä olevia jakeluverkkoja, jotka ovat suunniteltu sen aikaisilla suunnitteluperiaatteilla käyttäen.

Jakeluverkkoon kytkeytyneet akkuvarastot ovat uusi ja poikkeuksellinen sähkölaitteisto perinteisen sähköjakelujärjestelmän kannalta. Vaikka sähköjakeluverkkoon liitetyt laitteistot tarjoavat hyötyjä sähköjakelujärjestelmän kannalta, aiheuttavat ne myös paljon haasteita ja mitoitusperiaatteiden päivitystä. Suuritehoiset akkulaitteistot voivat aiheuttaa nopeita kaksisuuntaisia tehonmuutoksia, joilla on vaikutuksia sähköjakeluverkon kuormituksen ja jännitteen laadun kannalta. Sähkövarastojen lisääntyminen jakeluverkossa voi aiheuttaa paikallisesti huipputehojen kasvua, jännitteen nousua tai nopeita jännitteen muutoksia liittämispisteellä. Kaksisuuntainen tehonsiirto monimutkaistaa myös vikavirtojen suuruutta, joka aiheuttaa haasteita suojausten ja käyttötilanteiden suunnittelussa.

Suunnitteluperiaatteiden päivittäminen tulevaisuuden kannalta on välttämätöntä. Uusia jakeluverkkojen mitoituksessa on otettava jatkossa paremmin huomioon sähkövarastojen, muiden hajautettujen tuotantolaitteiden sekä sähköisen liikenteen vaikutukset. Suurien sähkövarasto yksiköiden liittämiskapasiteetti 20 kV:n verkkoon on tällä hetkellä heikkoa, jos mitoitus tehdään korvauskytkentätilanteiden mukaan. Liitettävyyttä voitaisiin parantaa, jos sähkövaraston ohjelmallinen ra-

joittaminen on rakennettu etäohjattavaksi ja korvauskytkentä tilanteessa sähkövaraston ominaisuuksia olisi mahdollista optimoida tilanteen mukaan. Sähkövarastojen mitoitus ja niiden aiheuttamat ongelmat jakeluverkossa riippuvat paljolti myös sähkövarastojen käyttötarkoituksesta. Jakeluverkon kannalta sähkövarastot voivat toimia jakeluverkkoa tukevasti ja näin parantaa sähkönlaatua tai toimitusvarmuutta. Toisaalta sähkövarastot voivat toimia yhtäaikaisesti samoilla reservimarkkinoilla tai hyödyntää sähkömarkkinoiden hintavaihteluita, jolloin hetkellisesti voi aggregoitua jakeluverkon kannalta todella suuria tehoja ja syödä olemassa olevaa jakelukapasiteettia.

Sähkövarastojen ja hajautettujen tuotantolaitosten hallinta tulevaisuudessa tulee vaatimaan kehitystyötä myös tietojärjestelmien osalta. Vaihtelevat tuotanto ja kulutusprofiilit muuttuvat koko ajan vaikeammin ennustettavaksi ja sähköverkon hallinnan avuksi vaaditaan parempaa reaaliaikaista seurantaa ja analysointia. Lisääntyvä data määrä uusien älymittareiden, IoT -ratkaisuiden ja automaation välillä vaatii lähes reaaliaikaista tehojakolaskentaa, jotta sähkönjakelua voidaan optimoida ja hallita mahdollisia joustoratkaisuja.

Uudet säädökset energia-alalla vaativat jo toimijoita hyödyntämään mahdollisia joustoratkaisuja ja viime aikoina on käynnistynyt huomattavissa määrin hankkeita joustomarkkinoiden kehitykselle. Edellytykset joustomarkkinoiden käyttöönottoon jokapäiväisessä toiminnassa ovat kuitenkin vielä heikot jakeluverkkoyhtiöiden osalta. Nykyiset joustotuotteet keskittyvät pääasiassa sähköjärjestelmän tehotasapainon ja taajuuden ylläpitämiseen.

Potentiaalisena jatkotutkimuksessa työlle voisi tutkia millaisia verkostovaikutuksia erilaisilla sähkövarastojen käyttösovelluksilla on ja millaisia yhteisvaikutuksia samalle nopean säädön reservimarkkinoille osallistuvilla sähkövarastoilla on sähkönjakeluverkon sähkönlaadulle ja kuormitukselle.

LÄHTEET

- A.B. Gallo, J. S.-M. (2016). *Energy storage in the energy transition context: A technology review*.
- Anam Kalair, N. A. (2020). *Role of energy storage systems in energy transition*.
- Choton K. Das, O. B. (2018). *Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality*. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Diplomityö Puolakanaho, J. (2022). *Aurinkosähköjärjestelmien verkostovaikutukset pienjänniteverkossa*. Vaasan Yliopisto.
- Energiateollisuus. (2011). *Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämisestä*. Energiateollisuus.
- Energiateollisuus. (2023). *Pientuotannon liittäminen sähköjakeluverkkoon YA:23*. Energiateollisuus.
- Energiavirasto. (2018). *Menetelmät liittämisestä perittävien maksujen määrittämiseksi*. Energiavirasto.
- Energiavirasto. (09. 02 2024). *Sähköverkkoon liittyminen*. Noudettu osoitteesta <https://energiavirasto.fi>: <https://energiavirasto.fi/sahkoverkkoon-liittyminen>
- Fingrid. (2018). *Kulutuksen järjestelmätekniset vaatimukset KJV2018*. Fingrid.
- Fingrid. (2018). *Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset VJV2018*. Fingrid.
- Fingrid. (2020). *Sähkövarastojen järjestelmätekniset vaatimukset SJV2019*. Fingrid.

Fingrid. (15. 5 2020). *sektori-integraatio*. Noudettu osoitteesta fingridlehti.fi:
<https://www.fingridlehti.fi/sektori-integraatio/>

Fingrid. (26. 4 2023). *ajankohtaista/tiedotteet*. Noudettu osoitteesta fingrid.fi:
<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2023/fingrid-varmistaa-sahkojarjestelman-ja-voimalaitosten-toimivuuden-rajoittamalla-toistaiseksi-uuden-tuotannon-liittamista-kantaverkkoon-lansirannikolla/>

Fingrid. (09. 02 2024). *fingrid.fi*. Noudettu osoitteesta
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/>

Fingrid. (2024). *Reaaliaikainen tiedonvaihto*.

Fingrid. (30. 01 2025). *Sähkövarastojen verkkoliityntöjen väliaikainen rajoitus poistuu länsirannikolla Vaasan eteläpuolella*. Noudettu osoitteesta Fingrid.fi:
<https://www.fingrid.fi/ajankohtaista/tiedotteet/2025/sahkovarastojen-verkkoliityntojen-valiaikainen-rajoitus-poistuu-lansirannikolla-vaasan-etelapuolella/>

Fingrid. (22. 2 2025). *Voimalaitoksia ja sähkövarastoja koskevien järjestelmäteknisten vaatimusten päivitys*. Noudettu osoitteesta Fingrif.fi:
<https://www.fingrid.fi/kantaverkko/liitynta-kantaverkkoon/tekniset-vaatimukset/voimalaitoksia-ja-sahkovarastoja-koskevien-jarjestelmateknisten-vaatimusten-paivitys-2024/>

IEA. (2023). *IEA.org*. Noudettu osoitteesta Grid-scale Storage:
<https://www.iea.org/energy-system/electricity/grid-scale-storage>

IEA. (09. 02 2024). *Global installed energy storage capacity by scenario, 2023 and 2030*. Noudettu osoitteesta <https://www.iea.org>:

<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-installed-energy-storage-capacity-by-scenario-2023-and-2030>

Jarmo Elovaara, L. H. (2011). *Sähköverkot I*. Otatieto.

Khawaja Khalid Mehmood, S. U.-J.-H. (2018). *A real-time optimal coordination scheme for the voltage regulation of a distribution network including an OLTC, capacitor banks, and multiple distributed energy resources*.

Kivinen, K. J. (2008). *Hajautetun sähköntuotannon verkostovaikutukset*. LUT.

LUT. (2020). *Jousto 2035 visio – Energiajärjestelmän jouston tarpeet ja toteutuspotentiaali 2035*. Yliopisto LUT.

LUT yliopisto. (2022). *Laaja-alaisen aurinkosähkön yleistymisen huomioivat sähköverkon mitoitusperiaatteet*. Lappeenranta: LUT.

Partanen, E. L. (2008). *Sähkönjakelutekniikka*. Otatieto.

Sähkömarkkinalaki 2013/588. (n.d.).

Savonvoima. (17. 3 2021). *savonvoima.fi*. Noudettu osoitteesta <https://savonvoima.fi/miten-sahko-kulkee/>

SFS. (2012). *SFS 2529 Vaihtosähköenergian mittaus Energiamittarin alusta*.

SFS. (2015). *SFS 6002 Sähkötyöturvallisuus*.

SFS. (2019). *SFS-EN 50549-1:2019*. SFS.

SFS. (2023). *SFS 3381 Vaihtosähköenergian mittaus- ja mittaustiedot*.

SFS ry. (2022). *SFS-EN 50160:2022*. SFS ry.

Singh, M. (2017). *Protection coordination in distribution systems with and without distributed energy resources*.

Vaasan Sähköverkko. (2024). *Kehittämissuunnitelma 2024*. Vaasan sähköverkko oy.

Vaasan Sähköverkko. (2024). *Prosessikuvaus sähköliittymä*. Vaasan Sähköverkko oy.

Watson, J. A. (2003). *Power System Harmonics*.

wecfinland. (09. 02 2016). Noudettu osoitteesta <https://wecfinland.fi/>:
<https://wecfinland.fi/energiavarastot-visiosta-liiketoimintaan-2/>

LIITTEET

LIITE 1 PIENTUOTANNON YLEISTIETOLOMAKE VSV

Pientuotannon yleistietolomake

Laitteen omistaja * Sähköposti *

Puhelinnumero * Asunuksen osoite *

Postinumero * Postitoimipäikkö *

Yhteyshenkilö

Jos et ole laitteen omistaja.

Sähköposti Puhelinnumero

Jos et ole laitteen omistaja. Jos et ole laitteen omistaja.

Käytöksen käyttäjäkategorian (ilmyy sähköisellä) *

GSN - 18 numero

Tuotantomuoto *

Aurinko

Tuuli

Biokaasu

Diesel

Vesi

Muu, mikä?

Verkkoseläintietojen tiedot (asennus/valtuutus)

Välittäjä * Maa * Määrä *

Välittäjä Maa Määrä

Välittäjä Maa Määrä

Tuotantolaitteen tyyppi *

Tuotantolaitteen nimistö (suurin mahdollinen laitevoima sähköverkkoon liittymä) * kW/kV

Mahtiluvun osien rajoitus on nähtävissä.

Tuotantolaitteen nimistö (suurin mahdollinen virtä) * A

Tuotantolaitteen on mahdollista käyttää varusimona (kaarokäyttö) *

Ei (kaarokäyttö on estetty)

Kyllä (suojattu verkosta verkkovirtäkytöillä sähkökatkon aikana)

Käyttöpäivä on liittymäpäivä Kapasiteetti (kW) Teho (kW)

(kW)

Lisätietoja

* pakollinen tieto

Tuotantolaitteen tulee täyttää standardin SF5-DN 10549-1:2019 vaatimukset. Laitteen tulee olla FinGridin ja Energiateollisuuden vaatimusten mukainen. Tuotantolaitteen tulee olla erotettavissa sähköverkoista laitteilla erotuskykyisellä, johon verkkohäätijä on estetty päällä. Liittymän sähkötehoilla tulee olla varuuskäyttötakausohjeita ja opetus laitteen erotuskykyisellä. Sähköverkkoon liitettävälle sähköille on oltava sähköt. Oskariin toimittava asiakasille laitteita koskevan käyttöturvastarkastuspyyntö, joka on pyydetty toimittava verkkohäätijä. Huolellinen näiden verkkokäyttöön tuotantolaitteiden asennus vaatimukset ja valtuutus antamasi tiedot oikeiksi.

* Kyllä

Lähetä

LIITE 2

TYYPILUOKALTA B VAADITTAVAT TIEDOT JA DOKUMENTIT

Taulukko 7.1. Tyypin B sähkövarastosta toimitettavat tiedot.

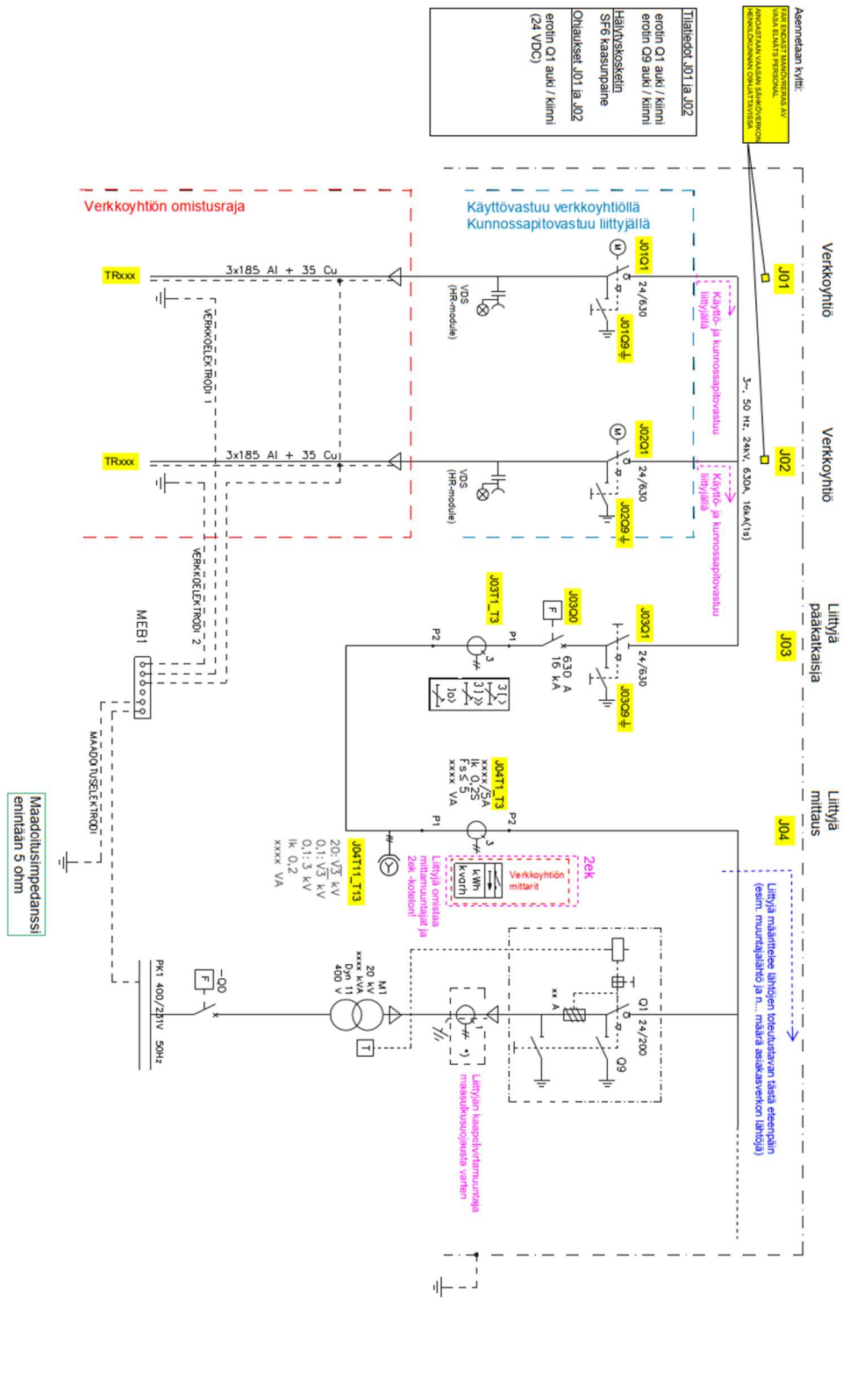
1 Yleistiedot	Viite
1.1 Sähköpääkaavio (single line diagram)	
1.2 Sähkövaraston tyyppi (esim. sähköakku, polttokenno tms.)	
1.3 Sijaintitieto (paikkakunta, alue, liittymispiste, koordinaatit)	
2 Muuntajien tekniset tiedot:	
2.1 Sähkövaraston muuntajien lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot	
2.2 Muuntajien dokumentaatio ja datalehdet Teho [MVA], virta [A], muuntosuhde [ensio/toisio], oikosulkuimpedanssi [%], oikosulkuresistanssi [%], kytkentäryhmä ja maadoitustiedot, käämikytkimen säätöalue ja askel [%,%], käämikytkimen askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, askel]	
3 Sähkövaraston tekniset tiedot:	
3.1 Sähkövarastointiyksiköiden lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot	
3.2 Sähkövarastointiyksiköiden dokumentaatio ja datalehdet Mitoitusteho kulutustilassa [MW], mitoitus-teho tuotantotilassa [MW], virta [A], jännite [V]	
3.3 Tuotanto- ja kulutustehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. lämpötila)	
3.4 Mahdollisesti käytössä olevat kompensointi- ja/tai tehokertoimen korjaamisessa käytettävät laitteet Lukumäärä, tyyppi, mitoitusarvot (teho, virta, jännite, taajuus) Mikäli hyödynnetään yliaaltojen suodatukseen, tiedot rakenteesta ja viritystaajuuudesta	
4 Sähkövaraston järjestelmätekniset ominaisuudet:	
Seuraavat kohdat voidaan korvata esim. valmistajan laitedokumentilla tai muulla testausdokumentaatiolla	
4.1 Sähkövaraston loistehokapasiteetti ja yksittäisten yksiköiden loistehokapasiteetit	
4.2 Sähkövaraston kyky toimia ali- ja ylijännitteellä	
4.3 Sähkövaraston kyky toimia ali- ja ylitäajuudella	
4.4 Sähkövaraston taajuuden muutosnopeuden sietokyky	
4.5 Sähkövaraston lähivikakestoisuus	
4.6 Sähkövaraston vikavirran syöttö jännitehäiriön aikana	
4.7 Sähkövaraston pätelehonsäätöominaisuudet	
4.8 Sähkövaraston jänniteensäätöominaisuudet	
5 Sähkövaraston suojaustiedot:	
5.1 Sähkövaraston relesuojauskaavio	
5.2 Sähkövaraston lopulliset relesuojausasettelut	
5.3 Tiedot saarekesuojan toimintaperiaatteesta (jos käytössä)	
6 Käyttöönottodokumentit:	
6.1 Käyttöönottopöytäkirjat	
6.2 Jänniteensäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila	
Vaatimustenmukaisuusilmoitus	
Liittyjän edustaja vahvistaa allekirjoituksellaan, että tämän taulukon viitetietojen osoittamat dokumentit todentavat sähkövaraston täyttävän sille asetetut Vaatimukset. Paikka, aika, allekirjoitus ja nimenselvennys:	

LIITE 3

VAASAN SÄHKÖVERKON ASIAKASMUUNTAMON MALLIKAAVIO



Asiakasmuuntamon mallipätkäkaavio



Tiiteet: J01 ja J02
 erotin Q1 aukki / kiinni
 erotin Q9 aukki / kiinni
 Hälvyskokein
 SF6 kaasunpaine
 Ohjauksell J01 ja J02
 erotin Q1 aukki / kiinni
 (24 VDC)

Asennetaan kyllä:
 Pää erotin tulo- ja lähtöpuolelta
 VASA ELIMIT PERSONAL
 ANNOSETAAN VAASAN SÄHKÖVERKON
 REKUPRODUKTION OSAKASTIIVISTÄ

Maadoitusimpedanssi
 enintään 5 ohm

Liittyä määrittelee sähköjen toteutustavan tästä esityksestä
 (esim. murrinjäljälto ja n... määrää asiakasverkon lähtöjä)

Liittyä lausontilijärjestelmästä
 maastokäyttöolosuhteista varten

Liittyä omistaa
 mittamunntilijä ja
 2ek-kohde

Verkkoyhtiön
 mittarit

Liittyä omistaa
 mittamunntilijä ja
 2ek-kohde