



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jarmo Leppinen

KULUTUKSEN JA TUOTANNON LIIT-
TÄMINEN SUURJÄNNITTEISEEN JA-
KELUVERKKOON

Vaasan Sähköverkko Oy

Tekniikka
2015

TIIVISTELMÄ

| | |
|--------------------|--|
| Tekijä | Jarmo Leppinen |
| Opinnäytetyön nimi | Kulutuksen ja tuotannon liittäminen suurjännitteiseen jakeluverkkoon |
| Vuosi | 2015 |
| Kieli | suomi |
| Sivumäärä | 86 + 7 liitettä |
| Ohjaaja | Olavi Mäkinen |

Opinnäytetyö tehtiin Vaasan Sähköverkko Oy:lle. Työn tarkoituksena on tuoda lisätietoa suurjännitteiseen jakeluverkkoon mahdollisesti liittyvistä tuotantolaitteistoista, sekä selvittää mitä vaatimuksia ja ehtoja liittyjän tulee noudattaa. Yrityksellä ei ollut ennen tätä ohjeistusta suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittämistä varten. Ohjeistuksen saamiselle oli kova tarve, koska Vaasan Sähköverkko Oy:n toimialueella on useita tuulivoimahankkeita vireillä, joista osa on mahdollisesti liittymässä yrityksen jakeluverkkoon. On myös mahdollista, että yrityksen suurjännitteiseen jakeluverkkoon tulee liittymään kulutusta ja tämän työn tarkoituksena oli ottaa ohjeistuksessa huomioon myös tämä mahdollisuus.

Työssä selvitettiin tahtikone- ja tuulivoimalaitoksien generaattoritekniikan pääperiaatteet, että voitaisiin ymmärtää paremmin niille asetetut vaatimukset. Tämän esiselvityksen jälkeen laadittiin yritykselle oma ohjeistus, jossa otettiin huomioon yleisesti käytössä olevat liittymisehdot, vaatimukset sekä standardit, jotka olivatkin olennaisimmat työkalut tässä työssä.

Tutkimuksessa tärkein havainto oli, että tuotantolaitteistoille on asetettu merkittäviä vaatimuksia kantaverkon tehotasapainon ylläpitoa ajatellen, joiden toteutumista paikallisten verkkoyhtiöiden tulee valvoa. Nykyisten tehokonvertterin kautta verkkoon kytkeytyvien tuulivoimalaitosten kyky osallistua kantaverkon jännitteen säätöön on merkittävä ja tätä Fingrid pyrkiikin vaatimuksillaan tehokkaasti hyödyntämään.

VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES
Sähkötekniikka

ABSTRACT

| | |
|--------------------|---|
| Author | Jarmo Leppinen |
| Title | Connection of Consumption and Production to High-Voltage Distribution Network |
| Year | 2015 |
| Language | Finnish |
| Pages | 86 + 7 Appendices |
| Name of Supervisor | Olavi Mäkinen |

The thesis was made for Vaasan Sähköverkko Ltd to gather more information about power plants that can be connected to high-voltage distribution network, as well as to find out what the requirements and conditions the subscribers should follow. There are many possible wind power projects in the distribution area of the Vaasan Sähköverkko Ltd, and the company does not have existing guidance for connecting the network. For what reason this thesis was urgent. The thesis also took into account the future connection of the consumption to the high-voltage grid.

The main principles of the synchronous generator plants and the wind power plants were studied in the thesis so that the requirements can be understood. On the basis of a feasibility study the company's own guidelines were made. Commonly used terms of subscription, requirements and standards were also taken into account.

The main finding of the thesis was that the production plants have been set important requirements for the maintenance of grid power, regarding the balance of the grid, and the realization of which the local network should supervise. The ability of wind power plants to participate in the grid voltage through the power converter is important, and this is what Fingrid will seek to effectively utilize by applications.

Keywords high voltage distribution network, synchronous generator power plant, wind power plant, connection

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | JOHDANTO | 14 |
| 1.1 | Työn tarkoitus | 14 |
| 1.2 | Yritysesittely | 14 |
| 2 | NYKYTILANNE | 17 |
| 3 | SUURJÄNNITTEINEN JAKELUVERKKO JA KANTAVERKKO | 19 |
| 3.1 | Suurjännitteinen jakeluverkko | 19 |
| 3.2 | Kantaverkko | 19 |
| 3.3 | Suurjännitteinen jakeluverkko ja kantaverkko VSV:n toimialueella | 19 |
| 3.4 | Fingrid Oyj:n rooli voimajärjestelmän tilan hallinnassa | 21 |
| 4 | TUOTANTOLAITTEISTOT | 23 |
| 4.1 | Voimalaitostyyppit | 23 |
| 4.2 | Tahtikonevoimalaitos | 24 |
| 4.2.1 | Tahdistus | 25 |
| 4.2.2 | Loistehon ja jännitteen säätö | 26 |
| 4.2.3 | Pätötehon säätö | 28 |
| 4.2.4 | Tahtigeneraattori oikosulussa | 30 |
| 4.3 | Tuulivoimalaitos | 32 |
| 4.3.1 | Kiinteänopeuksinen tuulivoimala | 33 |
| 4.3.2 | Kaksoissyötetty liukurengaskonekäyttö | 36 |
| 4.3.3 | Suoravetoinen tuulivoimala | 38 |
| 5 | TUOTANTOLIITTYMIEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET | |
| VJV2013 | | 42 |
| 5.1 | Teholuokitus | 42 |
| 5.2 | VJV-referenssipiste | 44 |
| 5.3 | Suojausasettelut | 45 |
| 5.4 | Sähkönlaatu | 45 |
| 5.5 | Jännite- ja taajuusvakavuus | 45 |
| 5.6 | Eriyisvaatimukset tahtikonevoimalaitoksille | 48 |
| 5.6.1 | Pätötehon ja taajuuden säätö | 48 |

| | |
|---|-----------|
| | 5 |
| 5.6.2 Loistehokapasiteetti | 49 |
| 5.6.3 Jännitteen säätö..... | 51 |
| 5.7 Erityisvaatimukset tuulivoimalaitoksille | 51 |
| 5.7.1 Taajuuden ja pätötehon säätö | 52 |
| 5.7.2 Jännitteen ja loistehon säätö | 53 |
| 6 SUURJÄNNITELIITTYMIEN YLEISET TEKNISET VAATIMUKSET | |
| VSV-TOIMIALUEELLA | 55 |
| 6.1 Noudatettavat ehdot ja vaatimukset | 55 |
| 6.2 Liittämiskohta ja liittäminen..... | 55 |
| 6.3 Suurjännitteisen jakeluverkon oksajohtoon liittyminen..... | 56 |
| 6.4 Liittymän muutos | 58 |
| 6.5 Taajuus- ja jännitevaihtelujen huomioiminen..... | 58 |
| 6.6 Sähköverkon häiriöihin varautuminen | 59 |
| 6.7 Sähköverkon maadoitustapa | 59 |
| 6.8 Sähkölaitteistojen suojaus..... | 59 |
| 6.9 Vaarajänniteselvitys | 60 |
| 6.10 Loistehon ja jännitteen säätö..... | 60 |
| 6.11 Liittymisjohto..... | 60 |
| 6.12 Energian mittaus | 61 |
| 6.13 Tuotantolaitteiston tuottaman sähkön laatu | 64 |
| 6.13.1 Taajuus | 64 |
| 6.13.2 Jännitetaso | 64 |
| 6.13.3 Jännitteen vaihtelu | 65 |
| 6.14 Jännitteen ja virran yliaallot sekä vastakomponentti | 65 |
| 7 LIITTYMINEN VAASAN SÄHKÖVERKKO OY:N | |
| SUURJÄNNITTEISEEN JAKELUVERKKOON..... | 68 |
| 7.1 Yhteydenotto..... | 68 |
| 7.2 Aiesopimus | 68 |
| 7.3 Liitettävyyden ja liittämistavan selvittäminen..... | 68 |
| 7.4 Suunnittelu..... | 69 |
| 7.5 Liittymissopimus..... | 70 |
| 7.6 Rakentaminen | 71 |

| | |
|--|----|
| | 6 |
| 7.7 Käyttöönotto | 71 |
| 7.8 Dokumentointi | 73 |
| 7.9 Voimalaitosten VJV2013 -vaatimusten todentamisprosessi | 74 |
| 8 SUURJÄNNITTEISEN JAKELUVERKON LIITTYMISMAKSU | 75 |
| 8.1 Liittymismaksun määräytyminen..... | 75 |
| 8.1.1 Uuden liittymän liittymismaksu | 75 |
| 8.1.2 Vanhan liittymän suurentaminen..... | 76 |
| 8.1.3 Kapasiteetin varausmaksun laskenta | 76 |
| 9 SIIRTOTARIFFIT SUURJÄNNITTEISESSÄ JAKELUVERKOSSA..... | 78 |
| 9.1 Siirtohinta | 78 |
| 9.2 Tehotariffi..... | 80 |
| 9.2.1 Perusmaksu..... | 80 |
| 9.2.2 Pätötehomaksu..... | 80 |
| 9.2.3 Energian siirtomaksu | 80 |
| 9.2.4 Loistehomaksu..... | 81 |
| 9.3 Fingridin kantaverkkomaksut | 83 |
| 9.4 EPV Alueverkko Oy:n sähkönsiirtotariffit | 83 |
| 10 YHTEENVETO | 85 |
| LÄHTEET..... | 87 |
| LIITTEET | |

KUVALUETTELO

| | |
|---|----|
| Kuva 1. Vaasan Sähköverkko Oy:n vastuualue | 15 |
| Kuva 2. Vaasan Sähköverkko Oy:n jakeluverkosto | 16 |
| Kuva 3. Tuulivoimahankkeet pohjanmaalla ja VSV-toimialueella | 18 |
| Kuva 4. Kantaverkko ja suurjännitteinen alueverkko VSV-toimialueella | 20 |
| Kuva 5. Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko (kantaverkko) | 21 |
| Kuva 6. Avonapa- ja umpinapatahtigeneraattorin periaatteellinen rakenne | 25 |
| Kuva 7. Tahtikoneen yksinkertaistetut osoitinpiirroksset eri tapauksissa | 26 |
| Kuva 8. Tahtigeneraattorin yksinkertaistettu sijaiskytkentä..... | 27 |
| Kuva 9. Tahtigeneraattorin P-Q-diagrammi | 28 |
| Kuva 10. Tahtikoneen teho tehokulman funktiona | 30 |
| Kuva 11. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun alkutilassa | 30 |
| Kuva 12. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun muutostilassa | 31 |
| Kuva 13. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun jatkuvuustilassa | 31 |
| Kuva 14. Esimerkki erään tahtigeneraattorin tuottamasta oikosulkuvirrasta | 32 |
| Kuva 15. Tuulienergian generointi sähköenergiaksi..... | 33 |
| Kuva 16. Kiinteänopeuksisen tuulivoimalan periaate | 34 |
| Kuva 17. Kiinteänopeuksisen tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue..... | 35 |
| Kuva 18. Epätahtigeneraattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta | 36 |
| Kuva 19. DFIG - tuulivoimalan periaate | 37 |
| Kuva 20. DFIG -tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue..... | 37 |
| Kuva 21. DFIG-generaattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta | 38 |
| Kuva 22. Suoravetoisen tuulivoimalaitoksen periaate | 39 |
| Kuva 23. Back-to-back -täystehokonvertterilla varustetun tuulivoimalan pääkaavio | 39 |
| Kuva 24. Suoravetoisen tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue | 40 |
| Kuva 25. Suoravetoisen, taajuusmuuttajalla varustetun generaattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta | 41 |
| Kuva 26. VJV-referenssipisteen määräytyminen KJ-verkkoon kytkeytyvän teholuokan 1 voimalaitoksen osalta | 44 |
| Kuva 27. VJV-referenssipisteen määräytyminen suurjännitteiseen jakeluverkkoon kytkeytyvän tuulivoimalaitoksen osalta | 45 |

| | |
|---|----|
| Kuva 28. Teholuokkien 1, 2 ja 3 tuotantolaitoksien käyttöalueet..... | 46 |
| Kuva 29. Lyhytaikaista jännitehäiriötä vastaava referenssipisteen jännite | 47 |
| Kuva 30. Tahtikonevoimalaitokselta vaadittava loistehokapasiteetti | 50 |
| Kuva 31. Teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteettivaatimus | 53 |
| Kuva 32. Teholuokan 3 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteettivaatimus | 54 |
| Kuva 33. Voimajohtoliitynnän toteutustapa..... | 57 |
| Kuva 34. Liityntätapa, kun liittyvä laitteisto sijaitsee VSV:n oksajohdon välittömässä läheisyydessä | 57 |
| Kuva 35. Suuren tehon liittäminen VSV:n oksajohtoon | 58 |
| Kuva 36. 110 kilovoltin johdon puuvarma johtoalue | 61 |
| Kuva 37. Vaihejohtimien vuorottelu | 61 |
| Kuva 38. Mittauskytkennän esimerkkiipiirikaavio | 63 |
| Kuva 39. VJV2013-vaatimusten todentamisprosessin aikajana | 74 |
| Kuva 40. Loistehoikkunan graafinen malli | 81 |
| Kuva 41. Fingridin kantaverkkopalvelun hintarakenne | 83 |
| Kuva 42. EPA:n 1.1.2015 alkaen voimassa olevat tariffimaksut | 84 |

TAULUKKOLUETTELO

| | |
|---|----|
| Taulukko 1. Fingridin laatima teholuokitus | 43 |
| Taulukko 2. Käyttöalueiden määritelmät..... | 47 |
| Taulukko 3. Tahtikonevoimalaitoksen loistehokapasiteetilaskelmassa käytettävät toimintapisteet | 50 |
| Taulukko 4. Teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteetilaskelmassa käytettävät toimintapisteet | 54 |
| Taulukko 5. Mittareiden ja mittamuuntajien tarkkuusluokkavaatimukset sekä jännitejohtimille sallitut jännitehäviöt | 62 |
| Taulukko 6. Sallittu jännitteenmuutosten esiintymistäajuus | 65 |
| Taulukko 7. Liittyjille sallitut emissiovirtarajat verrattuna referenssivirtaan I_{Ref} | 66 |
| Taulukko 8. Taajuuspainotuskertoimet harmonisilla yliaalloilla | 67 |
| Taulukko 9. Harmonisten jännitteiden maksimitasot | 67 |
| Taulukko 10. Tuulivoimalaitoksen mallinnusvaatimukset teholuokittain | 69 |
| Taulukko 11. Tahtikonevoimalaitoksen mallinnusvaatimukset teholuokittain .. | 70 |
| Taulukko 12. Teholuokkien 2 ja 3 tuulivoimalaitoksien käyttöönottokokeissa todennettavat osa-alueet | 72 |
| Taulukko 13. Teholuokkien 2 ja 3 tahtikonevoimalaitoksien käyttöönottokokeissa todennettavat osa-alueet | 73 |

LIITELUETTELO

LIITE 1. 110 kilovoltin liittymän hankekortti

LIITE 2. Teholuokan 1 voimalaitoksista suunnitteluvaiheessa toimitettavat tiedot

LIITE 3. Teholuokan 1 voimalaitoksista käyttöönoton jälkeen toimitettavat tiedot

LIITE 4. Teholuokan 2 ja 3 voimalaitoksista vaiheessa 1 toimitettavat tiedot

LIITE 5. Tahtikonevoimalaitoksen generaattoreista vaiheessa 1 toimitettavat tiedot

LIITE 6. Teholuokan 2 ja 3 voimalaitoksista vaiheessa 2 toimitettavat tiedot

LIITE 7. Teholuokan 2 ja 3 voimalaitoksista vaiheessa 4 toimitettavat tiedot

LYHENTEET

| | |
|----------------------------------|---|
| a | Välittömät liittämiskustannukset |
| AC | Vaihtosähkö |
| ALE2006 | Alueverkon liittämisehdot (ehdot on laadittu vuonna 2006) |
| AVPE2006 | Alueverkon verkkopalveluehdot (ehdot on laadittu vuonna 2006) |
| b | Kapasiteetin varausmaksu |
| c | Johdon ja laitteiden jälleenhankinta-arvo |
| cos(φ) | Tehokerroin |
| DC | Tasasähkö |
| DFIG | Doubly Fed Induction Generator, kaksoissyötetty liukurengaskonekäyttö |
| E_{mv} | Tahtigeneraattorin sähkömotorinen jännite |
| EPA | EPV-Alueverkko Oy |
| FG | Fingrid Oyj |
| GWh | Gigawattitunti |
| h | Harmoninen järjestysluku |
| jX_I | Tahtigeneraattorin jännitehäviö |
| I_G | Tahtigeneraattorin virta |
| I_p | Vaihevirran psfometriarvo |
| I_{Ref} | Referenssivirta |
| ind | Induktiivinen |

| | |
|-----------------------------|------------------------------------|
| kap | Kapasitiivinen |
| kV | Kilovoltti |
| kVA | Kilovolttiampeeri |
| M | Momentti |
| MVar | Megavari |
| MVA | Megavoltttiampeeri |
| MW | Megawatti |
| MW_h | Megawattitunti |
| N | Lukumäärä |
| <i>n</i>_s | Synkroninen pyörimisnopeus |
| <i>p</i> | Napapariluku |
| <i>p</i>_h | Taajuuspainotuskerroin |
| P_{liittymä} | Liittymisteho |
| P_{johto} | Johdon siirtokapasiteetti |
| P_{lt} | Pitkäaikainen häiritsevyyssindeksi |
| P_{max} | Maksimi pätöteho |
| P_{min} | Minimiteho |
| P_{st} | Lyhytaikainen häiritsevyyssindeksi |
| p.u. | Per yksikkö (per unit) |
| S_N | Nimellinen näennäisteho |
| t_k | Huipun käyttöaika |

| | |
|----------------|---|
| U_v | Tahtigeneraattorin staattorin napajännite |
| U_{vJV} | Referenssipisteen jännite |
| VJV2013 | Voimalaitosten järjestelmätekniiset vaatimukset (vaatimukset on laadittu vuonna 2013) |
| VSV | Vaasan Sähköverkko Oy |
| W_{otto} | Liittymispisteen ottoenergia |
| W_{tuotto} | Voimalaitoksen nettotuotanto |
| ω_s | Synkroninen kulmanopeus |
| X_G | Tahtigeneraattorin sisäinen reaktanssi |
| X_d'' | Alkuoikosulkureaktanssi |
| X_d' | Muutosoikosulkureaktanssi |
| X_d | Pitkittäinen tahtireaktanssi oikosulun pysyvyystilassa |
| YLE2013 | Yleiset liittämisehdot (ehdot on laadittu vuonna 2013) |
| δ | Tehokulma |

1 JOHDANTO

1.1 Työn tarkoitus

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittämisen periaatteet ja siirtotariffin muodostumiseen vaikuttavat seikat Vaasan Sähköverkko Oy:lle. Yhtiöllä ei ole tällä hetkellä olemassa määrittelyjä näihin liittyen, koska aiemmin siihen ei ole ollut tarvetta. Nyt toimintaympäristö on kuitenkin muuttumassa hajautetun voimantuotannon lisääntyessä ja aiheen käsittely on tullut ajankohtaiseksi. Samalla määritellään periaatteet myös mahdollisen kulutuksen liittämiseksi suurjännitteiseen jakeluverkkoon, eli 110 kilovoltin jännitetasoon.

Työssä määritellään Vaasan Sähköverkko Oy:n liittämisperiaatteet voimassa olevien vaatimusten ja liittymisehtojen, sekä Fingrid Oyj:n (myöhemmin Fingrid) järjestelmätekniisten vaatimusten pohjalta. Määritellään myös liittymisprosessin eteneminen aina suunnitteluvaiheesta toteutukseen ja dokumentointiin saakka. Työssä ei keskitytä mihinkään yksittäiseen liittymishankkeeseen, vaan tarkoitus on selvittää yleiset periaatteet koko jakeluverkon alueella.

1.2 Yritysesittely

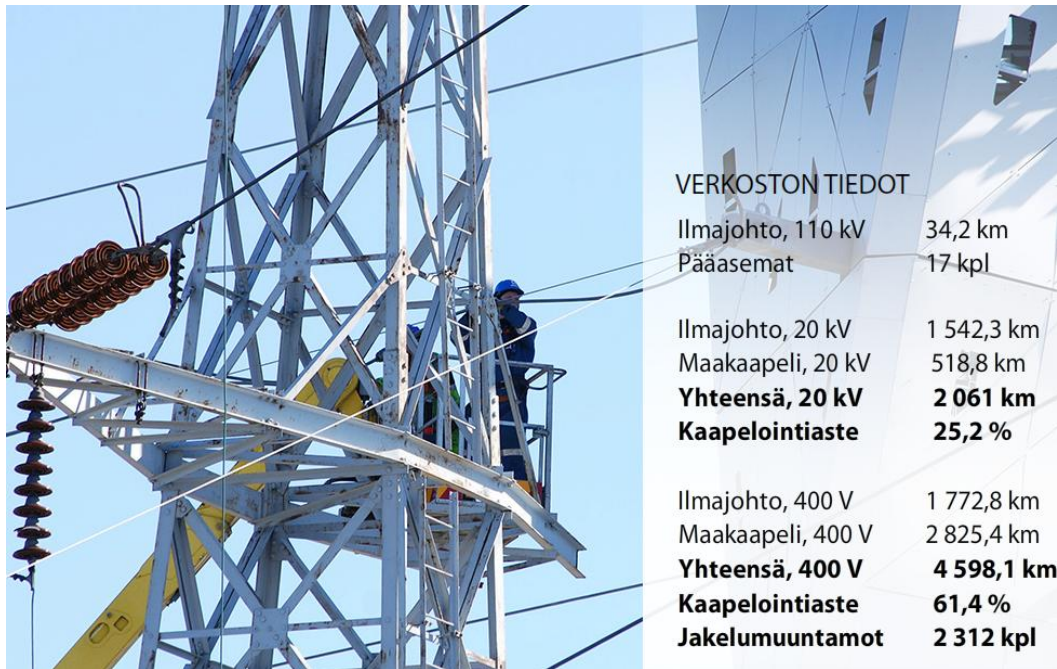
Vaasan Sähköverkko Oy (myöhemmin VSV) vastaa sähkön siirrosta ja jakelusta sekä niihin liittyvien palvelujen tuottamisesta Vaasan, Mustasaaren, Laihian, Maalahden, Vöyrin sekä Närpiön pohjoisosan asukkaille ja yrityksille. Yhtiö on Vaasan Sähkö Oy:n kokonaan omistama, eriytettyä liiketoimintaa harjoittava tytäryhtiö. Kuvassa 1 on esitetty VSV:n vastuualue./28/



Kuva 1. Vaasan Sähköverkko Oy:n vastuualue /27/

VSV:n toimintapolitiikkana on tuottaa asiakkaille edullista ja käyttövarmaa verkopalvelua, pyrkimyksenä asiakastyytyväisyyden lisääminen luotettavana ja toimivana kumppanina. VSV:n toimintajärjestelmä on sertifioitu ja yrityksellä on hallussaan SFS ISO 9001-laatu- ja SFS ISO 14001-ympäristösertifikaatit sekä OHSAS 18001-työturvallisuus- ja työterveysjärjestelmästandardien vaatimusten täyttämistä. VSV:n toimintajärjestelmä vastaa em. standardien ja viranomaisvaatimusten täyttämistä. /28/

Vuonna 2014 yhtiön liikevaihto oli 29,8 miljoonaa euroa, henkilöstöä on 33 henkilöä. Sähköä siirrettiin 68 608 asiakkaalle yhteensä 962 GWh. Sähkön siirron huipputeho oli 219 MW. Sähköverkon pituus on 6 693 km. Kuvassa 2 on esitetty tietoja VSV:n jakeluverkostosta. /28/



Kuva 2. Vaasan Sähköverkko Oy:n jakeluverkosto /27/

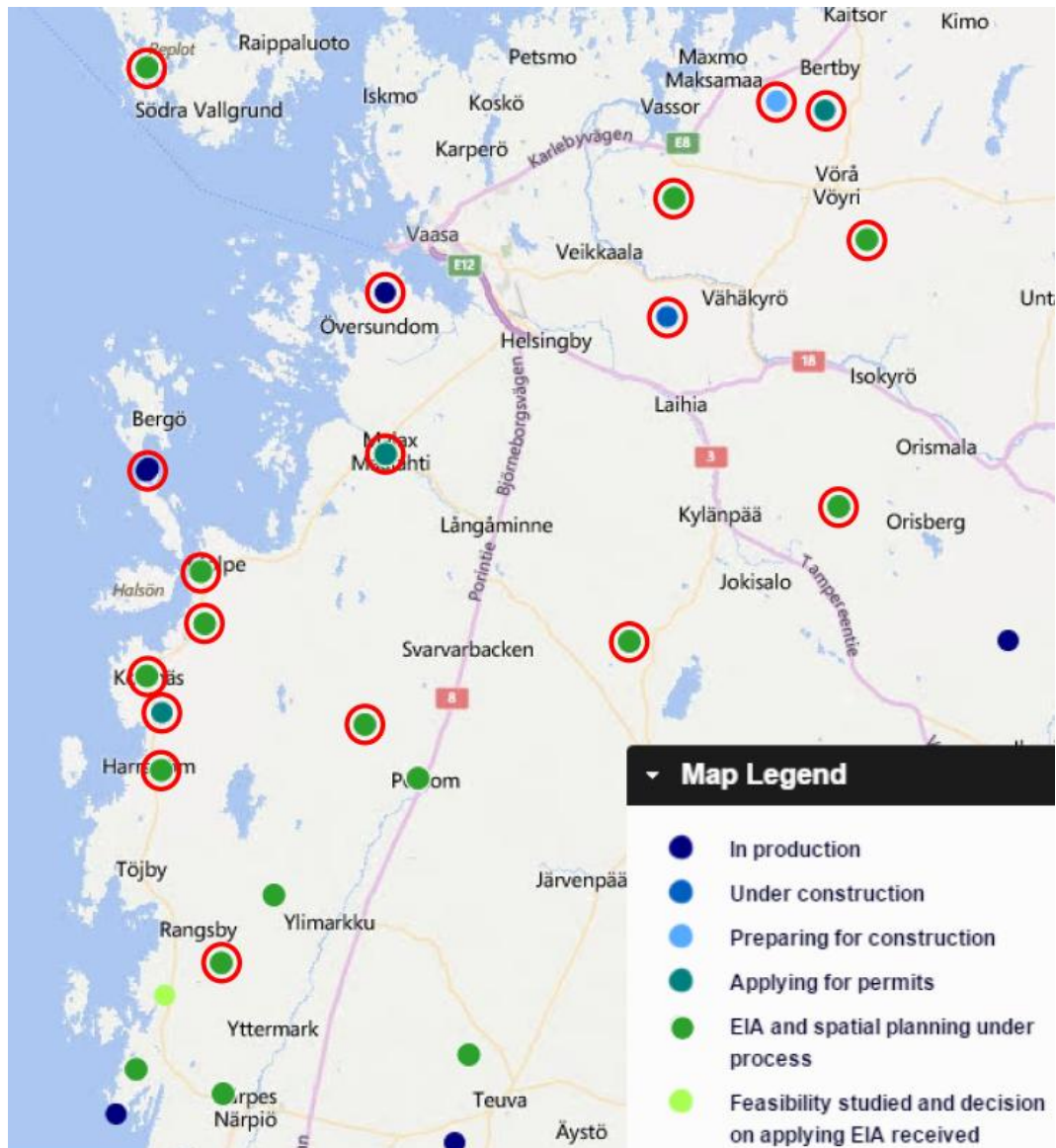
2 NYKYTILANNE

Sähkömarkkinalain mukaan verkonhaltijan tulee pyynnöstä ja kohtuullista korvausta vastaan liittää sähköverkkonsa tekniset vaatimukset täyttävät sähkönkäyttöpaikat ja voimalaitokset omalla toiminta-alueella. Liittämisehtojen ja teknisten vaatimusten tulee olla tasapuolisia kaikille liittyjille ja niissä on otettava huomioon sähköjärjestelmän toimintavarmuus ja tehokkuus. /19/

Verkonhaltijalla on velvollisuus julkaista liittämistä koskevat tekniset vaatimukset. Liittämistä koskevat tarjouspyynnöt on käsiteltävä kohtuullisessa ajassa ja verkonhaltijan tulee antaa kattava ja riittävän yksityiskohtainen arvio liittymiskustannuksista sekä toimitusajasta. /19/

Nykytilanteessa VSV:llä ei ole olemassa määrittelyjä tuotannon tai kulutuksen liittämistä suurjännitteiseen jakeluverkkoon. Tämä on kuitenkin tarpeen, koska alueella on käynnissä useita tuulivoimahankkeita ja on mahdollista, että osa niistä liittyy VSV:n verkkoon. Kuvasta 3 voidaan nähdä voimassa olevat tuulivoimahankkeet Pohjanmaalla. Kuvassa on korostettu punaisella ympyrällä VSV-toimialueella sijaitsevat hankkeet.

Alueella on myös joitain suuria sähkönkuluttajia, jotka ovat kiinnostuneita liittymisestä 110 kilovoltin verkkoon, näin ollen on tarve saada periaatteet selville myös tämän tyyppisiä tapauksia varten.



Kuva 3. Tuulivoimahankkeet pohjanmaalla ja VSV-toimialueella /26/

3 SUURJÄNNITTEINEN JAKELUVERKKO JA KANTAVERKKO

Tässä luvussa määritellään suurjännitteinen jakeluverkko ja kantaverkko sekä toimijat VSV:n toimialueella. Näillä verkoilla on omat erityispiirteensä ja erilainen hallintapolitiikka.

3.1 Suurjännitteinen jakeluverkko

Suurjännitteinen jakeluverkko tarkoittaa sähkömarkkinalain mukaan nimellisjännitteeltään 110 kilovoltin paikallista tai alueellista sähköverkkoa tai -johtoa, joka ei ole liittymisjohto ja joka ei ylitä valtakunnan rajaa. /19/

Suurjännitteinen jakeluverkko on 110 kilovoltin alueverkko, joka siirtää sähkön kantaverkosta paikallisille jakeluverkonhaltijoille.

3.2 Kantaverkko

Kantaverkko on nimellisjännitteeltään vähintään 110 kilovoltin sähköjohdoista, sähköasemista ja muista laitteistoista koostuva valtakunnallinen yhtenäinen sähkön siirtoverkko. /19/

Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, johon ovat liittyneet suuret voimalaitokset ja tehtaot sekä suurjännitteiset jakeluverkot.

Suomen kantaverkko on osa yhteispohjoismaista sähköjärjestelmää ja se on kytketty Keski-Euroopan järjestelmään tasavirtayhteyksin. Lisäksi Suomesta on Venäjälle ja Viroon tasasähköyhteydet. Kantaverkkoon kuuluu 400, 220 ja 110 kilovoltin voimajohtoja n. 14 000 kilometriä sekä yli 100 sähköasemaa. /16/

3.3 Suurjännitteinen jakeluverkko ja kantaverkko VSV:n toimialueella

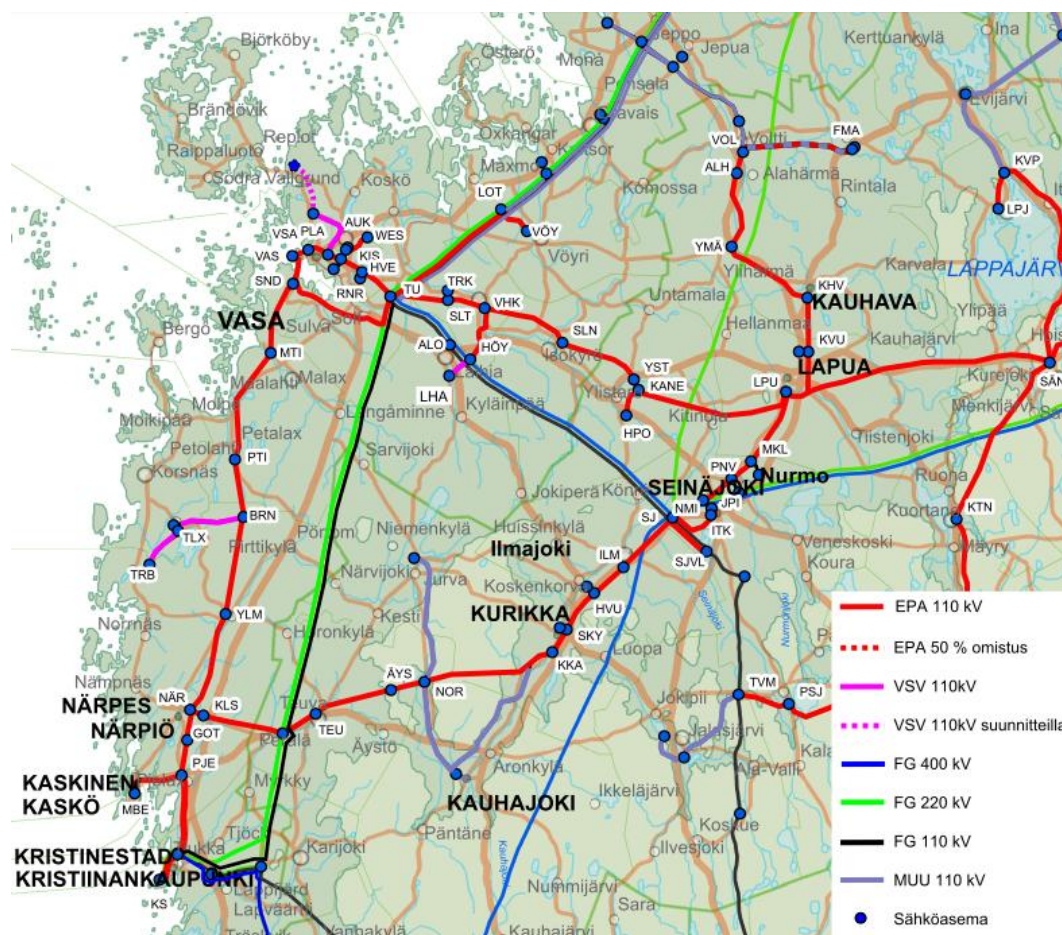
Suurjännitteisen jakeluverkon omistavat paikalliset ja alueelliset verkkoyhtiöt. VSV:n toimialueella alueellinen toimija on EPV Alueverkko Oy (myöhemmin EPA). EPA on perustettu 1993 ja se vastaa sähkön siirtämisestä Fingridin kantaver-

kosta alueensa asiakkaille /9/. EPA kuuluu EPV Energia Oy -konserniin ja on kokonaan emoyhtiönsä omistama /9/. VSV on yksi EPAn asiakkaista, mutta on myös itsessään suurjännitteisen jakeluverkon toimija omistamiensa verkkojen osalta.

Valtakunnallisen kantaverkon omistaa Fingrid Oy, joka vastaa sähkön siirrosta Suomen kantaverkossa. Fingrid on suomalainen julkinen osakeyhtiö, jonka enemmistöomistaja on valtio (70,61 %) /16/.

Vaasan Sähköverkko Oy:n 17 sähköasemasta 15 on liitetty EPA:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon ja kaksi Laihia (LHA) ja Alho (ALO) Fingridin kantaverkkoon.

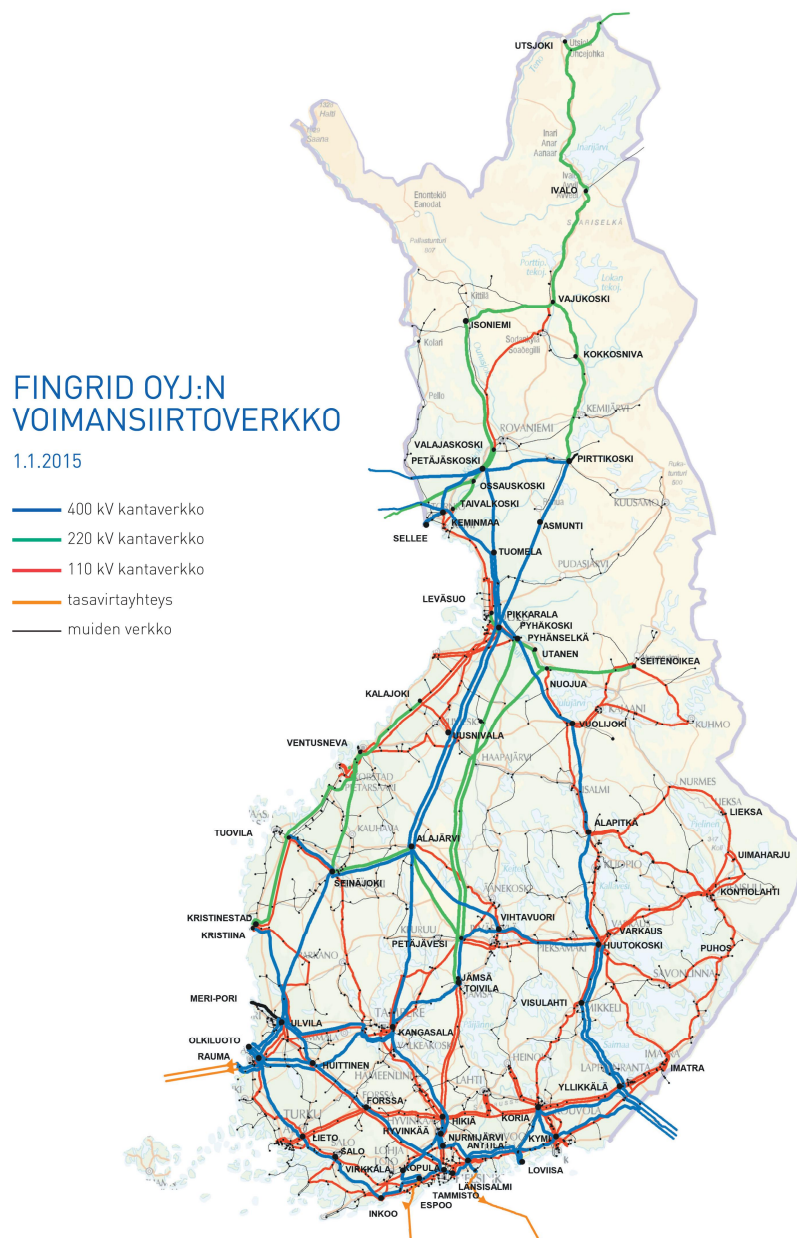
Kuvassa 4 nähdään kantaverkko ja suurjännitteinen jakeluverkko Pohjanmaan ja Etelä-Pohjanmaan alueella. Kuvaan on selitetty eri värein omistajat ja jännitetasot.



Kuva 4. Kantaverkko ja suurjännitteinen alueverkko VSV-toimialueella /9/

3.4 Fingrid Oyj:n rooli voimajärjestelmän tilan hallinnassa

Energiavirasto on nimennyt Fingridin järjestelmä vastaavaksi ja kantaverkonhaltijaksi, jolloin se vastaa voimajärjestelmän tilan hallinnasta ja sähkön siirtämisestä valtakunnallisella tasolla /19/. Kuvassa 5 on esitetty Fingridin voimansiirtoverkko. Fingridin Tuovilan (TU) sähköasema sijaitsee VSV:n toimialueella.



Kuva 5. Fingrid Oyj:n voimansiirtoverkko (kantaverkko) /16/

Fingridin tehtävänä on järjestelmävastaavana huolehtia kulutuksen ja tuotannon tasapainosta kunkin tunnin aikana. Tasapainosta huolehditaan aktiivisella säätötarjouksilla sähkömarkkinoilta ja varaamalla reservejä. Fingrid hankkii erilaisia tehoreservituotteita, jotka reagoivat tuotannon ja kulutuksen muutoksiin eri aikatasoilla.
/16/

Fingridin rooli on siis vahva koko voimajärjestelmän tilan hallinnassa ja sen tulee järjestelmävastaavana olla tietoinen kaikista merkittävistä tuotantokapasiteetin lisäyksistä ja muutoksista sekä uuden kulutuksen liittämisestä verkkoon. Tätä varten Fingrid on laatinut yleiset liittymisehdot (YLE2013), jota tulee noudattaa kun liitetään kantaverkkoon. Fingrid on laatinut myös voimalaitosten järjestelmätekniset (VJV2013) vaatimukset, joita alueellisten verkkoyhtiöiden ja liittyjien tulee noudattaa liitettäessä tuotantoa kantaverkkoon tai suurjännitteiseen jakeluverkkoon.
/16/.

Alueelliseen suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittäessä noudatetaan alueverkon liittymisehtoja (ALE2006) ja Fingridin järjestelmäteknisiä vaatimuksia (VJV2013). Lisäksi Fingridin yleisissä liittymisehdoissa mainitaan, että liittyjä on velvollinen huolehtimaan sähköverkkoonsa suoraan tai välillisesti liittyvien kanssa, että myös niiden sähköverkot täyttävät Fingridin YLE2013 -vaatimukset, joten myös nämä täytyy ottaa huomioon liittymien rakentamisessa suurjännitteiseen jakeluverkkoon.
/15/.

4 TUOTANTOLAITTEISTOT

Tämän luvun tarkoituksena on selvittää tuotantolaitteistojen generaattoritekniikan yleisimmät tyypit ja käydä lyhyesti läpi niiden ominaisuudet, joilla on merkitystä jäljempänä tulevien järjestelmätekniisten vaatimusten määrittelyssä ja ymmärtämisessä.

4.1 Voimalaitostyypit

Suomen voimajärjestelmään on liitetty useita konventionaalisia tuotantomuotoja, joita ovat esim. lauhdutus-, ydin- ja vesivoima. Näissä tuotantomuodoissa käytetään sähkön tuotantoon pääasiassa tahtikoneita, jotka muuttavat mekaanisen energian sähköenergiaksi. Jäljempänä tässä työssä käytetään näiden osalta yhteisnimitystä tahtikonevoimalaitos. Useat tahtikoneet yhdessä ylläpitävät voimajärjestelmän jännitettä ja taajuutta verkon tahtinopeudella.

Valtion asettamien tuotannon tukijärjestelmien ja kehittyneen tekniikan ansiosta myös tuulivoimapuistojen rakentaminen on lähtenyt toden teolla käyntiin. Rakenteilla ja suunnitteilla olevien tuulivoimapuistojen koot ovat sitä luokkaa, että liittyminen suurjännitteiseen jakeluverkkoon tai kantaverkkoon on tarpeen useimmissa tapauksissa. Tuulivoimapuistojen kokoluokat liikkuvat tällä hetkellä muutamasta megawatista satoihin megawatteihin saakka. Suurimpien yksittäisten tuuliturbiinien koko on tällä hetkellä 5 MW /26/. Jäljempänä tässä työssä käytetään näiden osalta nimitystä tuulivoimalaitos. Tuulivoimalaitoksissa sähköteho syötetään pääsääntöisesti puolijohdetekniikalla rakennettujen taajuusmuuttajien kautta sähköjärjestelmään ja tämän vuoksi ne käyttäytyvät voimajärjestelmän rinnalla hieman eri tavalla kuin tahtikoneet. Tässä kappaleessa käsitellään myös suoraan verkkoon kytettyjen epätahtikoneiden toimintaperiaate, koska pienemmillä tehoilla myös näiden liittyminen verkkoon on mahdollista.

4.2 Tahtikonevoimalaitos

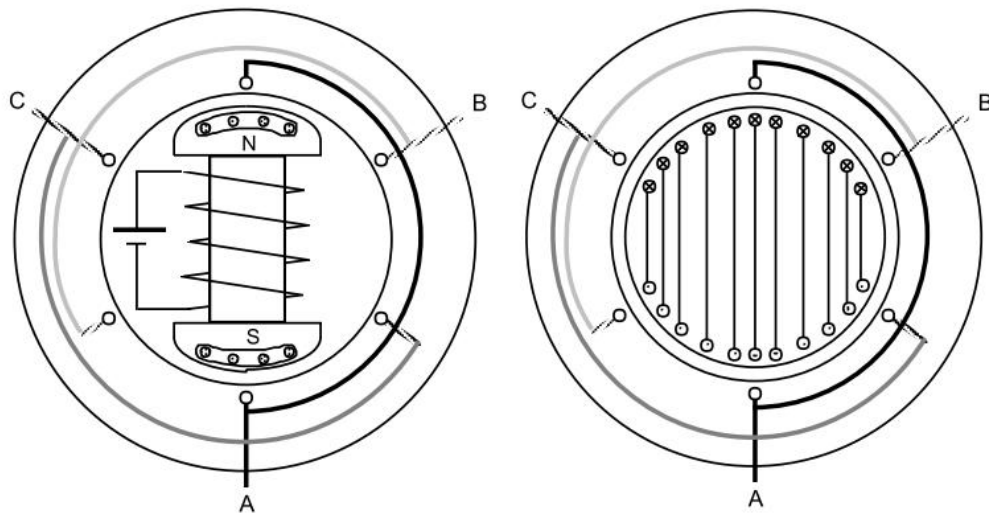
Tahtikonevoimalaitos on Fingridin määritelmän mukaan voimala, jossa on yksi tai useampi tahtigeneraattori ja joka toimii voimajärjestelmän tahtinopeudella käydessään verkon kanssa rinnan /11/.

Tahtikonevoimalaitos voi antaa sähkötehoa verkkoon vain sillä generaattorin pyörimisnopeudella, joka vastaa verkon taajuutta. Useat eri puolilla voimajärjestelmää voimalaitoksissa sijaitsevat tahtigeneraattorit ylläpitävät verkon taajuutta ja jännitettä. Voimalaitoksien on pystyttävä nopeasti reagoimaan verkossa tapahtuviin hetkellisiin muutoksiin voimajärjestelmän tehotasapainon ja taajuuden säilyttämiseksi. Tehon säädöstä huolehtii kullakin voimalaitoksella turbiinin tehonsäätöjärjestelmä. Esimerkki nopeasta säätövoimasta on vesivoima, jossa turbiinin tehoa pystytään nopeasti säätämään muuttamalla veden virtausnopeutta. /22;3/

Suuremmilla teholuokilla tahtigeneraattoria pyöritetään yleensä kaasu-, höyry- tai vesiturbiinin avulla. Pienemmissä teholuokissa esim. varavoimakäytössä voimakoneena käytetään tyypillisesti dieselmoottoreita /29/.

Tahtikoneiden tehoalueet ovat 10 kVA... 1000 MVA ja jännitteet vaihtelevat alueella 400 V... 30 kV. Suuremmilla voimalaitoksilla jännite nostetaan välimuuntajalla 110 - 400 kilovolttiin siirrettäväksi kantaverkon kautta alueellisille toimijoille suurjännitteiseen jakeluverkkoon. /29/

Tahtikoneen pyörivässä osassa eli roottorissa on magneettinavat, joiden magneettisuus saadaan aikaan tasavirralla ja jokaisella navalla on pari samassa käämivyyhdessä, näitä kutsutaan napapariksi. Napaparien lukumäärä määrää koneelta vaadittavan pyörimisnopeuden tietyllä taajuudella. Staattori puolestaan on koneen paikallaan pysyvä osa, johon indusoituu jännite roottorin ja staattorin ilmvälissä. Generaattorin jännite otetaan ulos staattorin navoista. Kuvassa 6 on esitetty tahtikoneen periaatteellinen rakenne avonapa- ja umpinaparoottoreilla. Umpinapakonetta käytetään suurilla kierrosluvuilla paremman mekaanisen kestävyytensä ansiosta ja avonapakonetta pienillä kierrosnopeuksilla.



Kuva 6. Avonapa- ja umpinapatahtigeneraattorin periaatteellinen rakenne /29/

Tahtikoneella taajuus ja magneettikentän synkroninen pyörimisnopeus riippuvat toisistaan kaavan (1) mukaisesti:

$$n_s = \frac{f}{p} \quad (1)$$

, missä

n_s = synkroninen pyörimisnopeus, f = taajuus, p = napapariluku

Koneen roottori eli napapyörä pyörii samalla nopeudella kuin magneettikenttä, eli kone pyörii aina synkronisella nopeudella kuormituksesta riippumatta. Tästä tulee nimitys tahtikone. /29/

4.2.1 Tahdistus

Tahtikone tulee aina saattaa sähköjärjestelmän kanssa samaan tahtiin ennen kytkentää verkon kanssa rinnan.

Tahdistus verkkoon edellyttää seuraavien tahdistusehtojen täyttymistä:

- Generaattorin lähdejännitteen taajuus ja verkon taajuus oltava samat (säädetään pyörimisnopeutta).

- Generaattorin lähdejännite ja verkon jännite oltava yhtä suuret (säädetään magnetointia).
- Verkon ja generaattorin vaiheisuus on oltava samat.

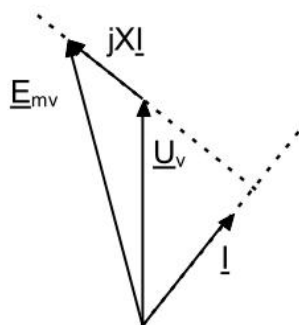
Generaattorin jännitteen ja verkon vaihejännitteen vaihe-eron ollessa lähes nolla, voidaan generaattori tahdistaa verkkoon sulkemalla generaattorikatkaisija. /22/

Oikein suoritetun tahdistuksen jälkeen lähdejännitteet ovat yhtä suuret ja tahtigeneraattori ei ota virtaa kytkeytyessään verkkoon. /29/

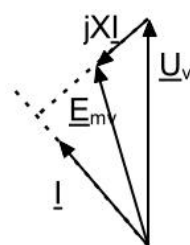
4.2.2 Loistehon ja jännitteen säätö

Loistehoa ja jännitettä säädetään tahtigeneraattorin roottorin magnetointivirran säädöllä. Generaattori syöttää verkkoon induktiivista virtaa ja induktiivista loistehoa, kun ylimagnetoinnilla kasvatetaan kuvan 7 a mukaisesti tahtigeneraattorin sähkömotorista jännitettä E_{mv} suuremmaksi kuin napajännite U_v . Tällöin generaattorin avulla pystytään tukemaan verkon jännitettä. Alimagnetoinnissa E_{mv} on pienempi kuin napajännite U_v kuvan 7 b mukaisesti, jolloin generaattorin loisvirta on kapasitiivista. Tällöin generaattorin avulla voidaan alentaa verkon ylijännitettä. jXI kuva tahtigeneraattorissa syntyvää jännitehäviötä /29;22;3/. Kuvassa 7 on esitetty tahtikoneen osoitinpiirrokset kummassakin tapauksessa ja kuvassa 8 yksinkertaistettu tahtigeneraattorin sijaiskytkentä.

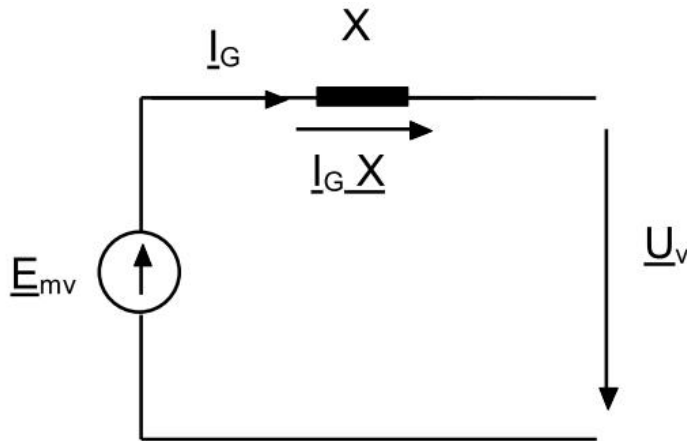
a) Ylimagnetoitu generaattori



b) Alimagnetoitu generaattori



Kuva 7. Tahtikoneen yksinkertaistetut osoitinpiirrokset eri tapauksissa



Kuva 8. Tahtigeneraattorin yksinkertaistettu sijaiskytkentä

Kuvasta 8 saadaan generaattorille jänniteyhtälö:

$$\underline{E}_{mv} = \underline{U}_v + jX\underline{I}_G \quad (2)$$

, missä

E_{mv} = generaattorin sähkömotorinen jännite

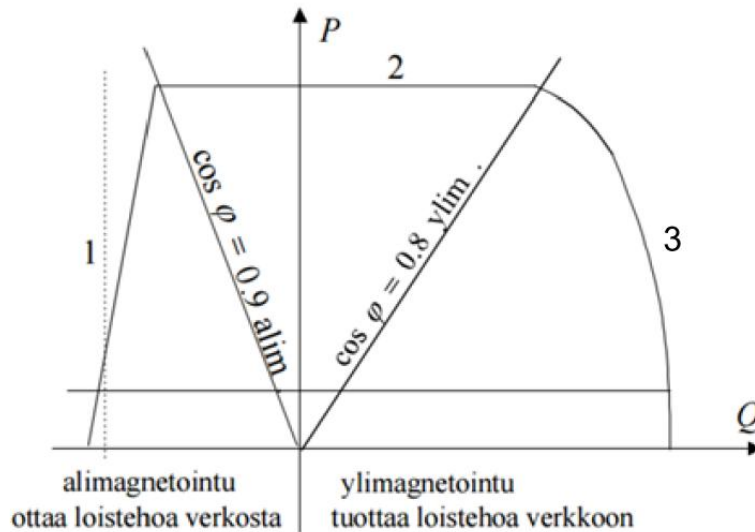
U_v = generaattorin staattorin napajännite

$jX\underline{I}_G$ = generaattorin reaktanssista johtuva jännitehäviö

Loistehon säätöä käytetään hyväksi voimajärjestelmän jännitteen säädössä. Siirtojohtojen reaktanssi on hyvin suuri ja resistanssi pieni, minkä vuoksi kahden solmupisteen väliseen jännite-eroon vaikuttaa suuresti pisteiden välillä kulkeva loisteho. Toisin sanoen, tahtigeneraattori tuottaa loistehoa ja kuluttaa sitä riippuen vallitsevasta jännitetasosta. Toisaalta loistehon säätö tarvitaan myös kuorman loistehotarpeen tyydyttämiseen.

Kuvassa 9 nähdään tahtigeneraattorin PQ-diagrammi, joka antaa rajat loistehon suurimmalle tuotannolle ja kulutukselle. Loistehon kulutuksen maksimirajan (1) määrää generaattorin stabiiliusraja tai staattorin ja roottorin lämpeneminen magneettikenttien vaikutuksesta. Pätötehon tuotannon maksimirajan (2) määrää staattorivirran maksimiraja. Loistehon tuotannon maksimirajan (3) määrää roottorivirran maksimiraja. /3/

Generaattorin alimagnetointi-, ylikuormitus- ja ylimagnetointisuojat on aseteltava ottaen huomioon nämä rajoitukset.



Kuva 9. Tahtigeneraattorin P-Q-diagrammi

4.2.3 Pätötehon säätö

Jos verkkoon syötetään pätötehoa, on pyörittävän voimanlähteen tehoa suurennettava. Tällöin pyörimisnopeus suurenee lyhyeksi aikaa ja generaattorin osoitin \underline{E}_{mv} pyörii lyhyen aikaa nopeammin kuin \underline{U}_v päästen sitä tehokulman verran edelle. Tällöin generaattori syöttää verkkoon lähes puhdasta pätötehoa. Mitä suurempi on voimakoneen antama momentti, sitä suurempi napajännitteen ja lähdejännitteen välinen tehokulma ja sitä suurempi verkkoon syötetty virta. Virran kasvu aiheuttaa sen, että generaattorin voimakonetta vastustava momentti kasvaa ja tilanne pysyy siltä osin tasapainossa. /29/

Tahtikoneella teho ja momentti ovat aina suoraan verrannolliset ja momentiksi saamme:

$$M = \frac{P}{\omega_s} \quad (3)$$

, missä

$M =$ momentti, $P =$ generaattorin nimellisteho,

$\omega_s = \text{synkronikulmanopeus}$

Tahtikoneen staattinen rajateho P suhteessa tehokulmaan saadaan kaavasta:

$$P(\delta) = 3 \times \frac{E_{mv} \times U_v}{X_G} \times \sin \delta \quad (4)$$

, missä

$P = \text{generaattorin syöttämä teho}$

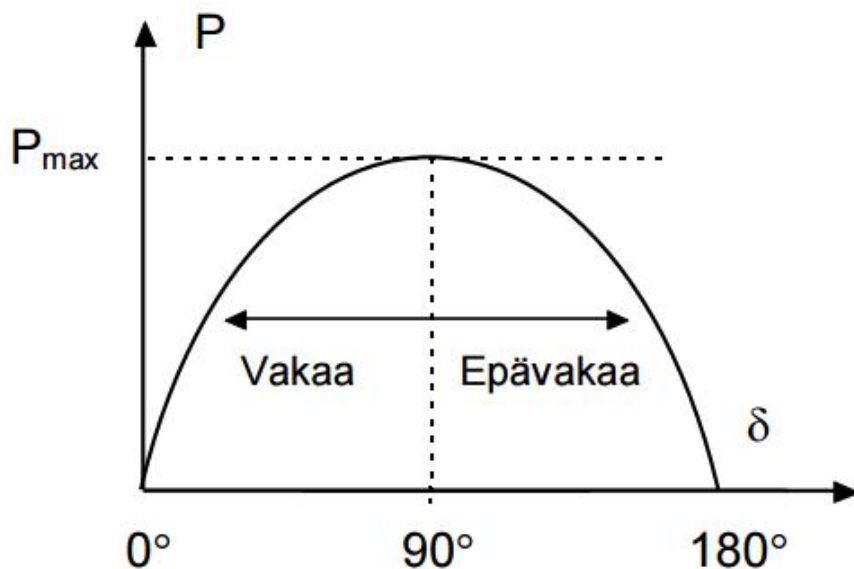
$\delta = \text{tehokulma}$

$E_{mv} = \text{generaattorin sähkömotorinen vaihejännite}$

$U_v = \text{generaattorin staattorin napajännite}$

$X_G = \text{generaattorin sisäinen reaktanssi}$

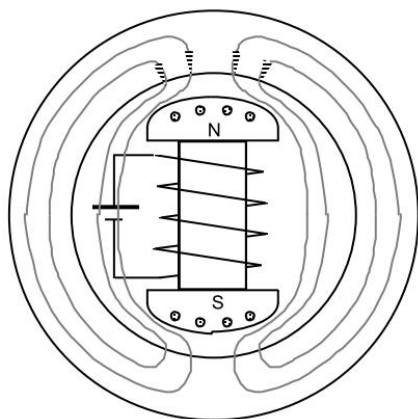
Tehokulman kasvaessa kasvaa siirtyvä pätöteho. Tehoa ja kulmaa voidaan kasvat-
taa kaavan 4 mukaisesti, kunnes tehokulma on 90 astetta. Näin voidaan toimia,
koska generaattorin pätöteho kasvaa aina uuteen tasapainopisteeseen mekaanista
tehoa lisättäessä. Mikäli tehokulma kasvaa yli 90 asteen, voimakoneen mekaanista
tehoa kasvatettaessa sähköteho pienentyy, minkä seurauksena kone kiihtyy jatku-
vasti ja putoaa tahdistä. Tämän vuoksi voimalaitoksilla on tärkeää olla tahdissa py-
symisen valvonta. Mikäli tahdistä pudotaan, pitää voimalaitos irrottaa verkosta. Ku-
vassa 10 on esitetty tahtikoneen teho tehokulman funktiona ja määritelty vakaa ja
epävakaa alue. /29;22;3/



Kuva 10. Tahtikoneen teho tehokulman funktiona /29/

4.2.4 Tahtigeneraattori oikosulussa

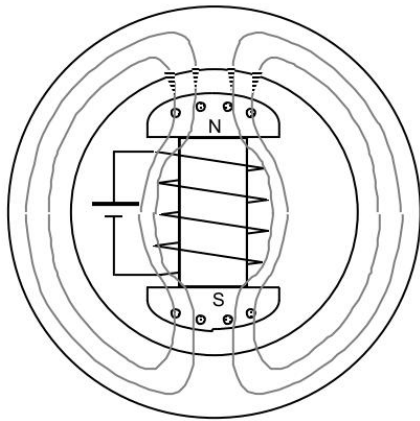
Oikosulussa sekä tahtikone että verkko ovat induktiivisia ja virta on lähes puhdasta induktiivista loisvirtaa. Tämä aiheuttaa pitkittäisen vastamagnetoinnin generaattorissa, minkä seurauksena oikosulkuvirta kohtaa generaattorissa pienen pitkittäisen reaktanssin, joka on nimeltään alkuoikosulkureaktanssi X_d'' . Kuvasta 11 voidaan nähdä vuon käyttäytyminen oikosulun alkutilassa. /29/



Kuva 11. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun alkutilassa /29/

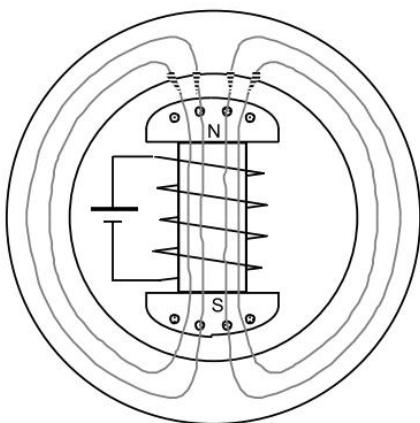
Vaimennuskäämityksen aikavakio on pienempi kuin magnetoimiskäämityksen, minkä seurauksena oikosulun vaimennuskäämitykseen indusoituva virta pienenee

nollaan. Tällöin staattorivuo tunkeutuu napakengän läpi, mutta ei pääse vielä magne-
netoimiskäämityksen kautta, minkä seurauksena staattorivirran kohtaama reak-
tanssi on suurentunut muutosoikosulkureaktanssiksi X_d' . Suurilla tahtikoneilla vai-
meneminen X_d'' tilasta X_d' tilaan kestää n. 0,1 sekuntia. Kuvasta 12 voidaan nähdä
vuon käyttäytyminen oikosulun muutostilassa. /29/



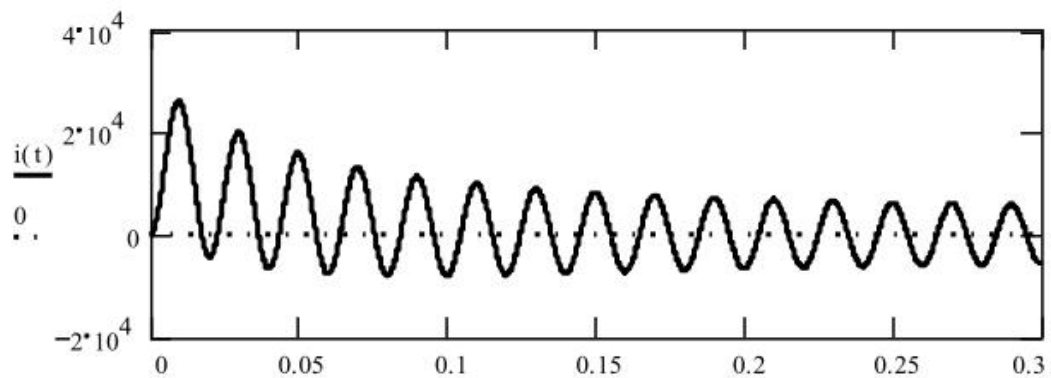
Kuva 12. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun muutostilassa /29/

Oikosulun jatkuvuustilaan päästyä vuon muutoksia vastustava virta on vaimentunut
magneetoimiskäämityksestäkin ja staattorivirta kohtaa pitkittäisen tahtireaktanssin
 X_d . Suurilla tahtikoneilla vaimeneminen X_d' tilasta X_d tilaan kestää n. yhden sekun-
nin. Kuvasta 13 voidaan nähdä vuon käyttäytyminen oikosulun jatkuvuustilassa.
/29/



Kuva 13. Staattorivirran aiheuttama vuo oikosulun jatkuvuustilassa /29/

Alkuoikosulkureaktanssi on 10...20 % pysyvän reaktanssin arvosta ja muutosreaktanssi 20...50 %. /29/ Alkuoikosulkureaktanssin X_d'' avulla saadaan oikosulkuvirran ensimmäinen huippuarvo, jonka mukaan tulee mitoittaa sähköjärjestelmään liitettävien sähkölaitteiden dynaaminen oikosulkukestoisuus. Muutosreaktanssin X_d' avulla määritellään mikä tulee olla katkaisijoiden katkaisukyky, koska niiden toiminta-aika ajoittuu yhden sekunnin sisään, mutta ei tapahdu kuitenkaan alle 0,1 sekunnissa. Pysyvän tilan X_d mukaan määritellään laitteiden ja johtojen terminen oikosulkukestoisuus. Termisen rasituksen vaikutusta säädetään katkaisijoiden toiminta-aikoja säätämällä. Oikosulkuvirran arvoon, kussakin pisteessä, verkossa vaikuttaa luonnollisesti myös siirtojohtojen aiheuttamat impedanssit. Kuvassa 14 voidaan nähdä erään generaattorin tuottama oikosulkuvirta 0,3 sekunnin kuluessa. /29/

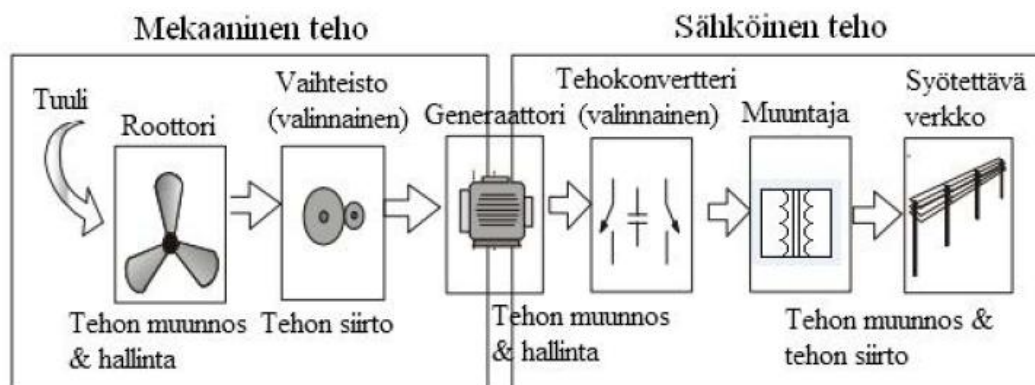


Kuva 14. Esimerkki erään tahtigeneraattorin tuottamasta oikosulkuvirrasta /29/

4.3 Tuulivoimalaitos

Tuulivoimalaitos on voimala, jossa yksi tai useampi tuuliturpiinigeneraattori on kytkettyä voimajärjestelmään. /11/. Tuulivoima poikkeaa perinteisestä sähköntuotannosta sen tuotannon ajallisen vaihtelun vuoksi, minkä vuoksi voimajärjestelmän tehtasapainoa ei voida jättää pelkästään niiden varaan.

Tuulienergia syntyy auringonsäteiden epätasaisesta jakautumisesta ilmakehässä sekä maanpinnan muotojen epäsäännöllisyyksistä. Lämpimien ja kylmien ilmassojen liikkuminen aiheuttaa liike-energiaa, joka voidaan muuttaa tuulivoimaloilla sähköksi. Kuvassa 15 on esitetty periaate kuinka tuulienergia muutetaan sähköenergiaksi /18/.



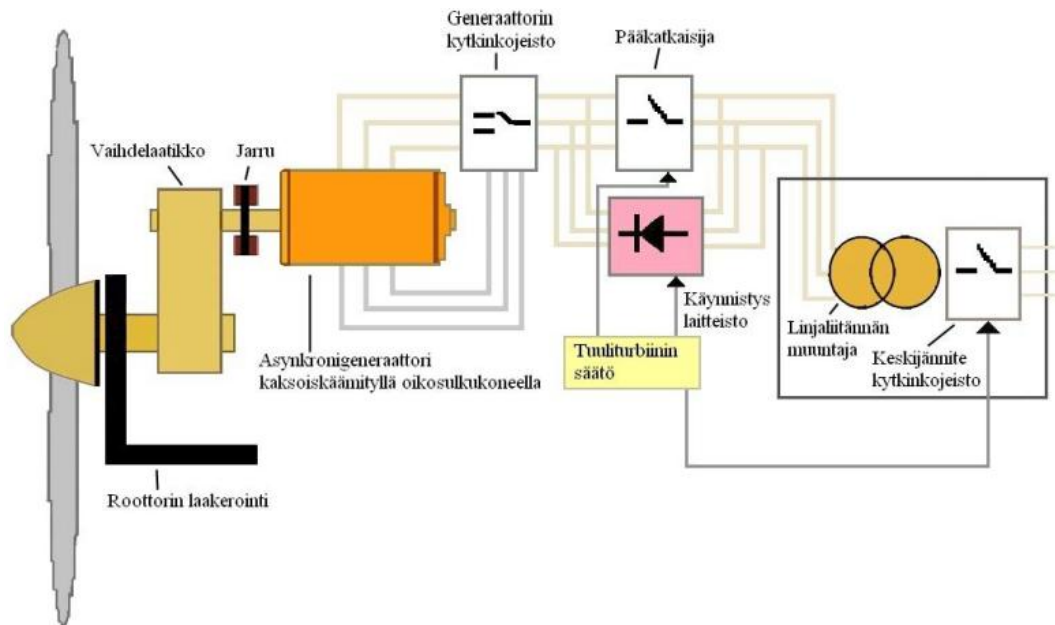
Kuva 15. Tuulienergian generointi sähköenergiaksi

Tuulivoimalaitoksissa generaattorina on aiemmin käytetty pääasiassa epätahtikoneita, jotka toimivat kiinteällä nopeudella vaihdelaatikon välityksellä kytkeytyneenä suoraan verkkoon. Nämä kiinteänopeuksiset tuulivoimalat ovat pieniä tehoja ja niiden säätöominaisuudet ovat huonot. Kehittyneemmässä versiossa epätahtigeneraattoriin on kytketty tasasuuntaaja, joka ohjaa epätahtikoneen magneetointia. Magneetoinnin säätö taajuusmuuttajalla mahdollistaa paremmat säätömahdollisuudet. Uusimissa tuulivoimalaitoksissa käytetään suoravetotekniikkaa, jossa tuulienergia välittyy suoraan tahtigeneraattorille ilman vaihteistoa ja generaattori on kytkeytynyt taajuusmuuttajan kautta sähköverkkoon. Tällaisten tuulivoimalaitosten säätömahdollisuudet ovat huomattavasti paremmat. Seuraavissa osioissa käydään lyhyesti läpi em. tuulivoimalaitosten tyypit ja niiden säätöominaisuudet. /9;10/

4.3.1 Kiinteänopeuksinen tuulivoimala

Kiinteänopeuksisessa tuulivoimalassa epätahtigeneraattori, eli oikosulkugeneraattori, kytketään suoraan sähköverkkoon ja roottorin hidas pyörimisnopeus kasvatetaan vaihteen avulla generaattorille sopivaksi. Pyörimisnopeus kasvatetaan niin suureksi, että roottori pyörii suuremmalla nopeudella kuin staattorin magneetikenttä, jonka seurauksena roottorivirran suunta muuttuu. Magneetoinnin loisteho otetaan verkosta ja pätöteho syötetään verkkoon. Generaattorin rinnalle kytketään kondensaattori parantamaan käytön tehokerrointa. Kiinteällä nopeudella toimiva tuuliturbiini tuottaa tietyllä nopeudella nimellistehollaan maksimimäärän energiaa.

Epätahtigeneraattori voidaan varustaa kahdella käämityksellä, jolloin toista käämistä voidaan käyttää heikommassa tuulessa. Kuvassa 16 on esitetty kiinteänopeuksisen tuulivoimalan periaatteellinen rakenne. /21;2/

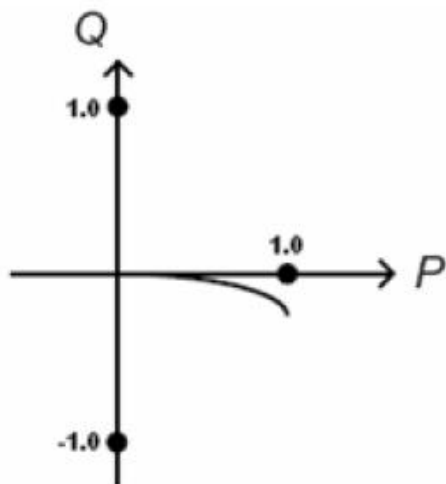


Kuva 16. Kiinteänopeuksisen tuulivoimalan periaate /1/

Tuulen voimakkuuden muutokset aiheuttavat kiinteänopeuksisessa tuulivoimalassa sähkötehon muutoksia, mikä puolestaan aiheuttaa jännitteen vaihteluita, varsinkin heikoissa sähköverkoissa. Koska epätahtigeneraattori on kytketty suoraan verkkoon, siirtyvät häiriöt generaattorista suoraan verkkoon ja päinvastoin verkon häiriöt generaattorille. Jännitteen laskiessa verkon vikatilanteessa voi turbiinin mekaaninen teho kasvaa generaattorin sähkötehoa suuremmaksi, jolloin turbiini kiihtyy ja epätahtigeneraattorin jättämä kasvaa. Jännitteen palautuessa kiihtynyt generaattori ottaa verkosta paljon loistehoa, mikä saattaa aiheuttaa verkon jännitteen rajun laskun vikatilanteen jälkeen. /21;2/

Oikosulkugeneraattori kuluttaa toimiessaan aina induktiivista loistehoa. Loistehon kulutuksen määrään vaikuttaa napajännite, tuotettu pätöteho sekä roottorin pyörimisnopeus. Kuvassa 17 on esitetty kiinteänopeuksisen tuulivoimalaitoksen reaktii-

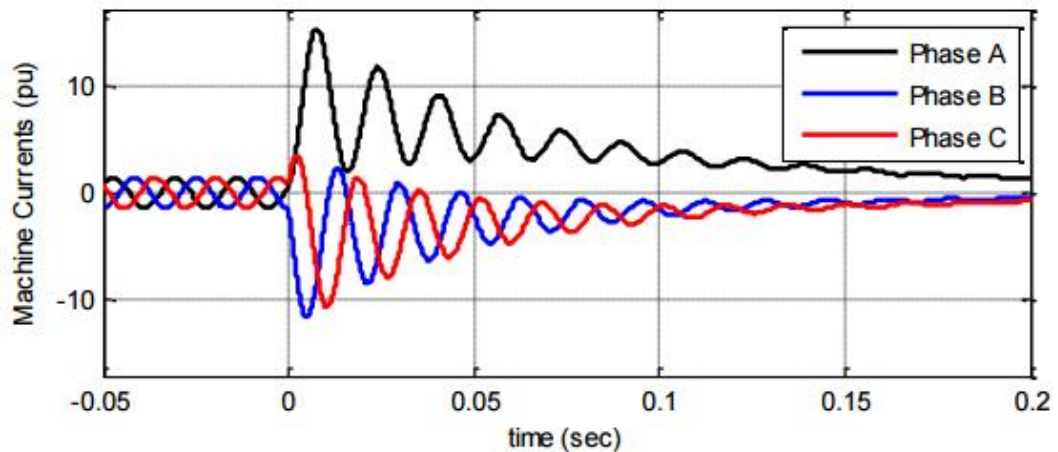
vinen toiminta-alue nimellisjännitteellä. Kuvan perusteella huomataan, että oikosulkugeneraattoria ei voida käyttää jännitteensäätöön, koska sillä ei pystytä tuottamaan loistehoa. /21;2/



Kuva 17. Kiinteänopeuksisen tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue

Tämän tyyppiselle voimalaitokselle voidaan jännitteensäätökyky järjestää ainoastaan erillisellä loistehosäätimellä. Käynnistystilanteessa ilman pehmokäynnistimiä oikosulkugeneraattori ottaa karkeasti n. 8 kertaisen virran nimellisvirtaan nähden, mutta yleisesti tällaiset voimalaitokset on varustettu pehmokäynnistimellä, mikä pienentää merkittävästi käynnistysvirtaa /7/.

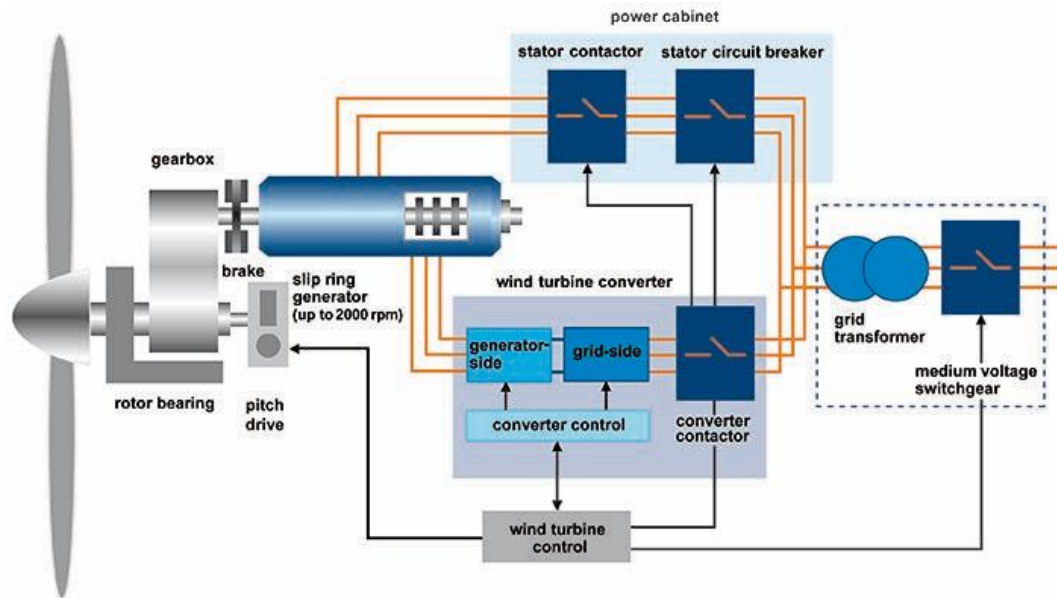
Kuvassa 18 voidaan nähdä eräs simulointitulokset epätahtigeneraattorin käyttäytymisestä kolmivaiheisessa oikosulkutilanteessa. Kuvasta voidaan päätellä oikosulkuvirran ensimmäisen huippuarvon olevan noin 8 kertainen nimelliseen nähden, eli samaa luokkaa kuin suorassa käynnistyksessä.



Kuva 18. Epätahtigeneraattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta

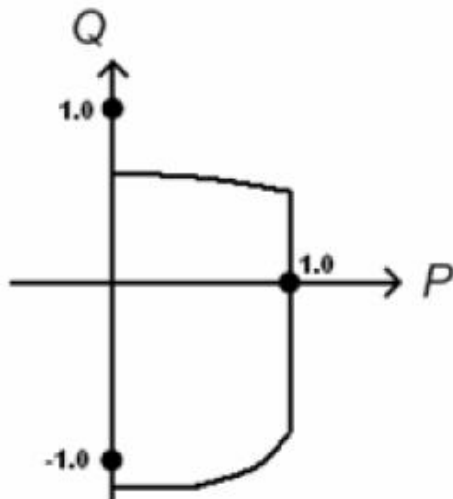
4.3.2 Kaksoissyötetty liukurengaskonekäyttö

Kaksoissyötetyssä liukurengaskonekäytössä (DFIG, Doubly fed induction generator) epätahtigeneraattorin staattori kytketään suoraan sähköverkkoon ja roottori kytketään verkkoon taajuuden muuttajan välityksellä. Myös tässä käytössä tarvitaan vaihe oikean toiminnan takaamiseksi. Tuulivoimalan pyörimisnopeus voi tässä käytössä vaihdella +/- 30 % välillä generaattorin synkroniseen pyörimisnopeuteen nähden, koska jättämäteho voidaan syöttää taajuusmuuttajan kautta sähköverkkoon tai tuottaa roottoriin riippuen siitä, toimitaanko yli- vai alisynkronisella puolella. Kuvassa 19 on esitetty kyseisen tuulivoimalaitostyyppin periaatteellinen rakenne. /21;2/



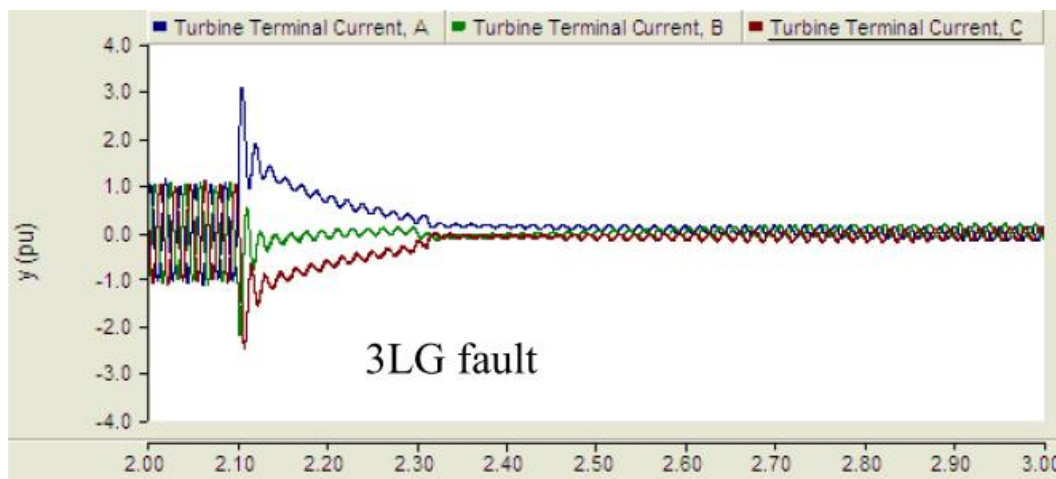
Kuva 19. DFIG - tuulivoimalan periaate /1/

DFIG – käytön loistehonsyöttökykyä voidaan ohjata säätämällä roottorivirtoja taajuudenmuuttajalla. Roottorivirroilla vaikutetaan myös voimalan momenttiin. Taajuudenmuuttajan virranrajoituksen ja momentin tuottamiseen tarvittavan virran erotus muodostaa sen virran, jolla kussakin tilanteessa voidaan vaikuttaa loistehoon, eli loistehon antokyky riippuu jossain määrin pätehosta. Kuvassa 20 on esitetty DFIG -tuulivoimalaitoksen reaktiivinen toiminta-alue nimellisjännitteellä. /21;2/



Kuva 20. DFIG -tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue

Kuvassa 21 voidaan nähdä erään simuloinnin tuloksena DFIG-generaattorin virtojen käyttäytyminen kolmivaiheisessa oikosulkutilanteessa. Kuvasta voidaan päätellä oikosulkuvirran huippuarvon olevan noin 3 kertainen nimellisvirtaan nähden. Oikosulkuvirtaa pienentää magnetointivirran säätö vaihtosuuntaajalla oikosulkutilanteessa.



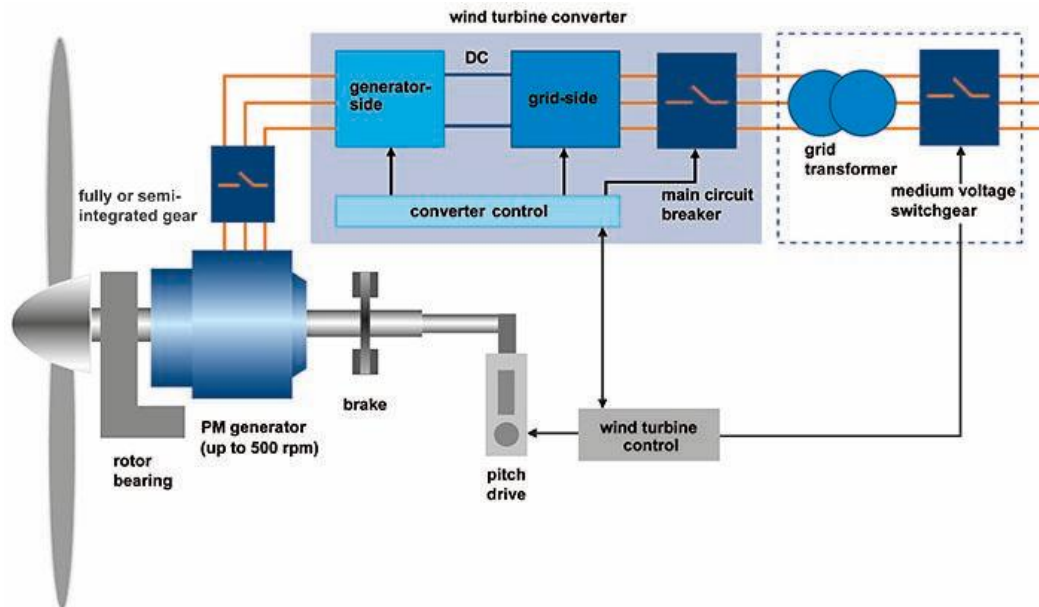
Kuva 21. DFIG-generaattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta

DFIG-voimalat eivät pysty ajamaan verkon vian läpi, koska taajuusmuuttaja pitää suojata suurilta roottorivirroilta vian aikana. Tämä toteutetaan oikosulkemalla roottoriin tyristoreiden avulla sekä ohjaamalla taajuusmuuttajan suurtehotransistorit johtamattomaan tilaan verkkovian ajaksi. Vian mentyä ohi, voimalaitos palauttaa normaaliin käyttötilaan, mikäli se on varustettu aktiivisella vikatilanteen hallinnalla /30/.

DFIG- voimalaitos on varustettu käynnistysjärjestelmällä, jolla se saatetaan ja tahdistetaan verkkoon siten, että suuria jänniteheilahteluja ei pääse syntymään. /30/

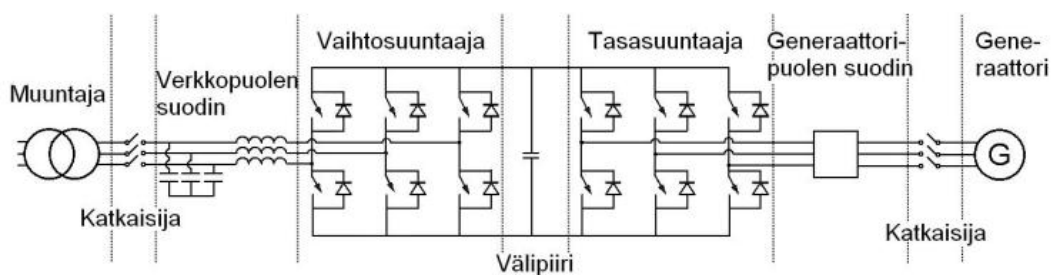
4.3.3 Suoravetoinen tuulivoimala

Suoravetoisessa tuulivoimalaitoksessa käytetään yleisesti moninapaista kestopaattitahtigeneraattoria voimantuotantoon. Generaattorin staattori kytketään sähköverkkoon jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan välityksellä. Kuvassa 22 on esitetty suoravetoisen voimalaitoksen periaatteellinen rakenne. /21;2/



Kuva 22. Suoravetoisen tuulivoimalaitoksen periaate /1/

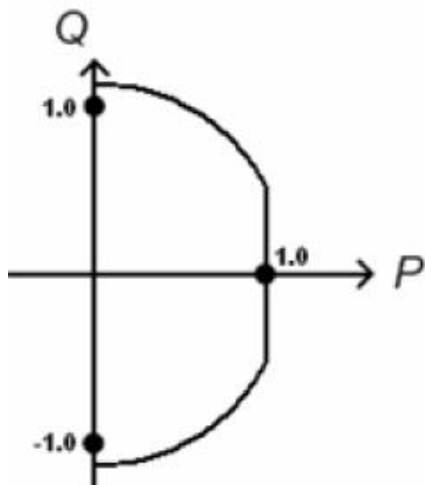
Generaattorin ja välipiirin välissä on tehomuokkain ja energia varastoidaan välipiirin kondensaattoriin. Teho siirtyy kondensaattorista verkkovaihtosuuntaajan avulla verkkoon. Taajuusmuuttaja asetetaan seuraamaan verkon taajuutta, joka mahdollistaa tuulivoimalan laajan käyttöalueen eri tuulennopeuksilla, jonka vuoksi myöskään vaihteistoa ei tarvita. Taajuusmuuttaja mitoitetaan voimalan nimellistehon ja loistehon säätötarpeen mukaan. Kuvassa 23 on esitetty täystehokonvertterilla varustetun tuulivoimalan periaatekuva. /21;2;22/



Kuva 23. Back-to-back -täystehokonvertterilla varustetun tuulivoimalan pääkaavio /2/

Loistehon syöttökyky määräytyy suuntaajasillan ominaisuuksista. Tämä johtuu siitä, että generaattori ja verkko ovat täysin toisistaan erotettuja suuntaajasillan avulla. Loistehoa säädetään verkkovaihtosuuntaajan lähdejännitteen amplitudia

säätämällä. Kun lähdejännitettä nostetaan yli verkon jännitteen, tuottaa laitos induktiivista loistehoa. Jos lähdejännite säädetään alle verkkojännitteen, tuottaa laitos kapasitiivista loistehoa. Kuvassa 24 on esitetty suoravetoisen tuulivoimalaitoksen reaktiivinen toiminta-alue nimellisjännitteellä. Loistehon syöttökyky rajoittuu taajuusmuuttajan nimellisvirtaan, jonka vuoksi suuntaaja joudutaan monesti ylimitoitamaan. /21;2;22/



Kuva 24. Suoravetoisen tuulivoimalaitoksen P-Q -toiminta-alue

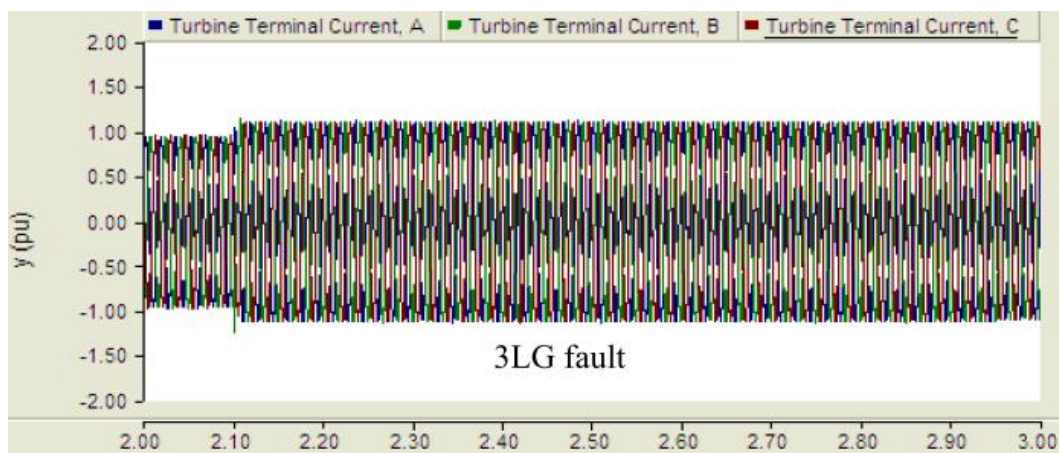
Pätötehoa saadaan siirtymään verkkoon, kun lähdejännite on edellä verkon jännitettä. Kun kulmaeroa kasvatetaan, pätötehoa siirtyy enemmän. /22/.

Taajuusmuuttajakäytöllä pystytään pienentämään välkyntää verrattuna suoraan verkkoon kytkettyihin tuulivoimaloihin. Tämä johtuu siitä, että nopeat tuulennopeuden muutoksista johtuvat tehovaihtelut pystytään varastoimaan roottorin pyörimisnopeuden vaihteluihin. Taajuusmuuttajan säätö mahdollistaa myös sen, että pätö- ja loistehoa voidaan ohjata toisistaan riippumatta, jolloin loistehon säädöllä pystytään vaikuttamaan tehokkaasti verkon jännitevaihteluihin. /30/

Konvertterin haittapuolena ovat lisääntyvät tehohäviöt ja yliaallot. Yliaaltojen haittavaikutuksia joudutaan vähentämään joissain tapauksissa erillisillä suotimilla. /2/

Suoravetoisen tuulivoimalaitoksen tasasuuntaaja rajoittaa oikosulkuvirtaa tehokkaasti. Oikosulkuvirta on n. 1.2-kertainen suuntaajan nimellisvirtaan nähden. /22/.

Kuvassa 25 nähdään erään simuloinnin tuloksena suoravetoisen taajuusmuuttajan kautta verkkoon kytketyn generaattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta.



Kuva 25. Suoravetoisen taajuusmuuttajalla varustetun generaattorin tuottama kolmivaiheinen oikosulkuvirta

Taajuusmuuttajan avulla verkkoon kytketty tuulivoimalaitos pystyy tukemaan verkon jännitettä tehokkaasti vikatilanteessa ja kykenee helposti täyttämään Fingridin vaatimukset jännitekuopan yli ajamisesta ilman tuotannon keskeytystä.

Tämän tyyppinen voimala ei aiheuta verkkoon kytkettäessä merkittäviä kytkentävirrasyökyksiä, koska se kytketään verkkoon ns. nollavirralla. Teho ajetaan ylös ennalta määrätyn ohjeen mukaan sekä lapakulmasäädöllä kiihdyttäen. Verkosta erottaessa toimitaan päinvastoin. /30/

5 TUOTANTOLIITTYMIEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET VJV2013

Fingrid on laatinut tuotantovoimalaitoksien liittämistä varten järjestelmätekniiset vaatimukset, joiden noudattamista se järjestelmävastaavana vaatii. Vaatimuksia on noudatettava kaikkialla Suomen voimajärjestelmän alueella, riippumatta siitä millä jännitetasolla ja kenen verkkoalueella voimalaitos sijaitsee. Vaatimuksia tulee noudattaa kaikkiin vähintään 0,5 megawatin kokoisiin tuotantolaitoksiin. Vaatimukset eroavat tuotantomuodon, mitoitusasteen ja maantieteellisen sijainnin perusteella. Niiden perustana on pohjoismainen sääntökokoelma ”Nordic Grid Code”. /11/

Järjestelmätekniisten vaatimusten avulla pyritään varmistamaan seuraavat seikat /11/:

- Voimalaitos kestää sähköjärjestelmässä esiintyvät jännite- ja taajuusvaihtelut.
- Voimalaitos tukee sähköjärjestelmän toimintaa häiriötilanteiden yhteydessä sekä toimii luotettavasti niiden aikana ja niiden jälkeen.
- Voimalaitos ei verkossa ollessaan aiheuta haittaa muille järjestelmään kytetyille laitteille.
- Liittymispisteen verkonhaltijalla ja Fingridillä on käytössään sähköjärjestelmän ja sen käytön suunnitteluun sekä käyttövarmuuden ylläpitoon tarvittavat tiedot voimalaitoksesta.

Seuraavissa osioissa käydään läpi keskeisimmät vaatimukset, jotka voivat tulla vastaan liitettäessä tuotantoa VSV:n omistamaan suurjännitteiseen jakeluverkkoon.

5.1 Teholuokitus

Järjestelmätekniiset vaatimukset on porrastettu mitoitusasteen mukaisesti teholuokkiin, joiden perusteella määritellään tietyt vaatimukset teholuokittain. Taulukossa 1 on esitetty Fingridin laatima teholuokitus.

Taulukko 1. Fingridin laatima teholuokitus /11/

| Teholuokka | Voimalaitoksen mitoitusteho P_{\max} |
|--------------|--|
| Teholuokka 1 | Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 0,5 MW mutta alle 10 MW. ($0,5 \text{ MW} \leq P_{\max} < 10 \text{ MW}$) |
| Teholuokka 2 | Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 10 MW mutta alle 25 MW. ($10 \text{ MW} \leq P_{\max} < 25 \text{ MW}$) |
| Teholuokka 3 | Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 25 MW mutta alle 100 MW. ($25 \text{ MW} \leq P_{\max} < 100 \text{ MW}$) |
| Teholuokka 4 | 1) Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 100 MW ($P_{\max} \geq 100 \text{ MW}$) tai 2) Voimalaitoksen mitoitusteho on vähintään 10 MW ja laitos liittyy Lapissa Valajaskosken ja Pirttikosken 220 kV:n sähköasemien Isoniemen ja Kokkosnivan johtolähtöjen takana sijaitsevaan sähköverkkoon. |

Suomessa kantaverkon voimajohdot ovat maantieteellisistä siirtoetäisyyksistä johtuen pitkiä ja kytkinasemat harvassa, minkä vuoksi liittymisen mahdollistaminen 110 kilovoltin voimajohtoon on välttämätöntä. Fingrid on kuitenkin omissa ohjeituksissaan määritellyt suoraan 110 kilovoltin voimajohtoon liitettävän generaattorin maksimitehoksi 5 MVA. 25 MVA tuulituotantoa voidaan liittää silloin kun voimalaitoksen syöttämä oikosulkuvirta on korkeintaan 1,2-kertainen nimellistehoon verrattuna. /16;11/.

Fingridin ohjauksessa myös VSV:n alueella tullaan lähtökohtaisesti noudattamaan tätä sääntöä. Suurempi teho voidaan siirtokapasiteetin ja järkevien vahvistuskustannusten rajoissa kuitenkin liittää, mikäli rakennetaan erillinen kytkinlaitos liittämistä varten jäljempänä osiossa 6.3 esitetyllä tavalla.

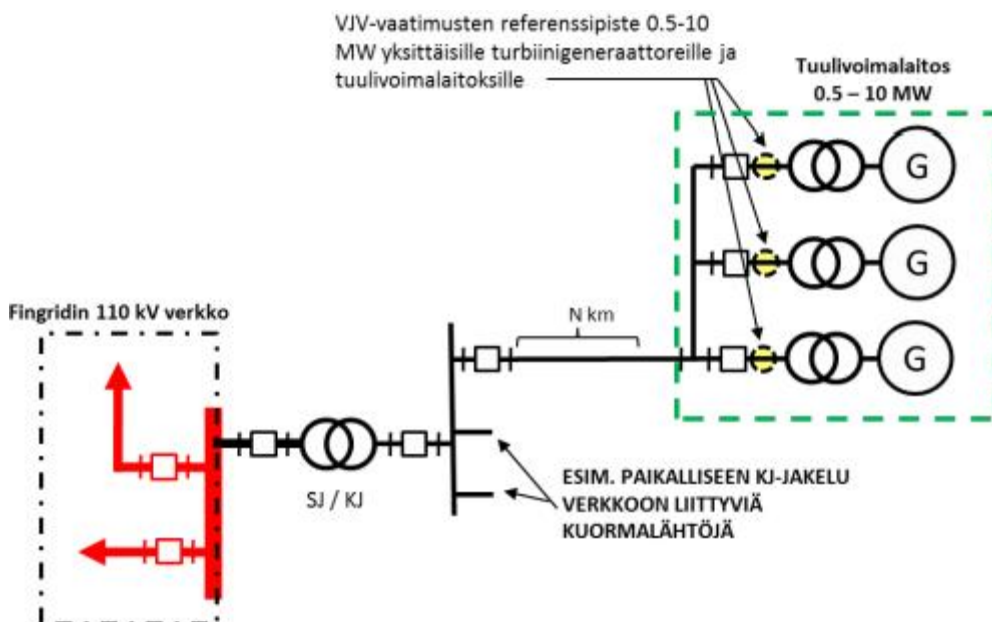
Seuraavissa osioissa tarkastellaan teholuokkien 1 – 3 vaatimuksia. Teholuokka 4 jätetään käsittelemättä, koska sellaisen voimalaitoksen liittyminen VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon ei ole mahdollista, vaan kytketyminen tulee tapahtua suoraan Fingridin tai EPV Alueverkon 110, 220 tai 400 kilovoltin kytkinlaitokseen.

5.2 VJV-referenssipiste

VJV-referenssipiste on se sähköjärjestelmän piste jossa järjestelmätekniset vaatimukset on täytettävä. Liittymispisteen verkonhaltija määrittelee referenssipisteen. /11/

Teholuokan 1 voimalaitoksille VJV-referenssipiste on yksittäisen generaattorimuuntajan yläjännitepuolta vastaavassa sähköisessä pisteessä kuvan 26 mukaisesti. /11;13/

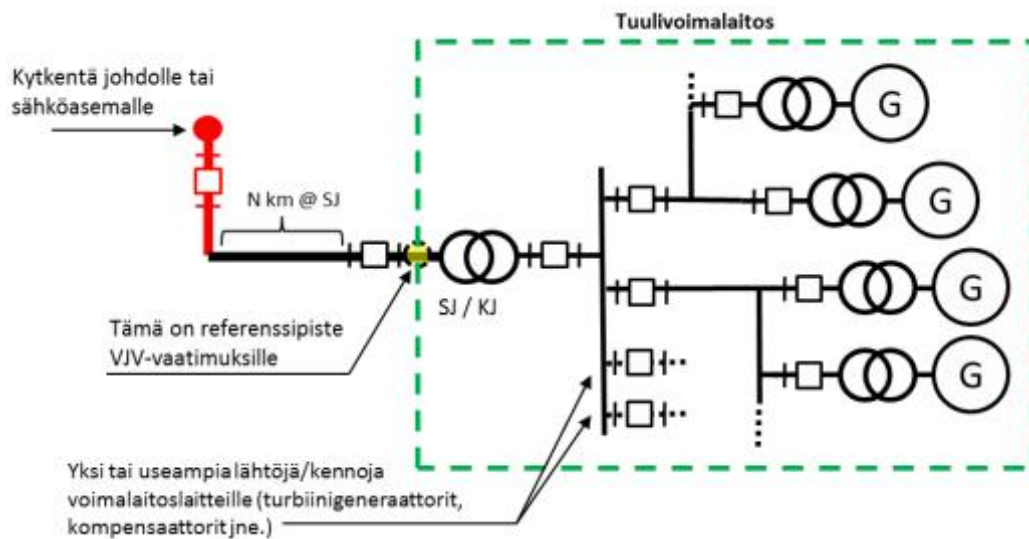
Tämän kokoluokan laitokset kytketään tyypillisesti 20 kilovoltin verkkoon. Samaa periaatetta noudatetaan myös 110 kilovoltin verkkoon liityttäessä.



Kuva 26. VJV-referenssipisteen määrittäminen KJ-verkkoon kytkeytyvän teholuokan 1 voimalaitoksen osalta /13/

Teholuokkien 2 ja 3 tahtikonevoimalaitoksien VJV-referenssipiste on se voimalaitoksen generaattorimuuntajan yläjännitepuolella oleva kohta, joka on sähköisesti lähimpänä voimalaitoksen liittymispistettä. /11/

Teholuokkien 2 ja 3 tuulivoimalaitoksen VJV-referenssipiste on se voimalaitoksen nostomuuntajan yläjännitepuolella oleva kohta, joka on sähköisesti lähimpänä liittymispistettä kuvan 27 mukaisesti. /11;13/



Kuva 27. VJV-referenssipisteen määräytyminen suurjännitteiseen jakeluverkkoon kytkeytyvän tuulivoimalaitoksen osalta /13/

5.3 Suojasasettelut

Suojasasetteluiden määrittäminen asiakkaan verkossa on liittäjän vastuulla. Liittymispisteen verkonhaltija vastaa suojauskoordinaatiosta ja asiakas vastaa liittyvän verkon suojausasetteluista. Asettelut on määriteltävä henkilö- ja laiteturvallisuuden takaamiseksi sekä laitevaurioiden välttämiseksi. Suojasasettelut on asetettava siten, että voimalaitos pysyy verkossa sähköjärjestelmän häiriöiden aikana. /11/. Jäljempänä määritellään tarkemmin, minkälaisia häiriöitä voimalaitoksen on siedettävä.

5.4 Sähkönlaatu

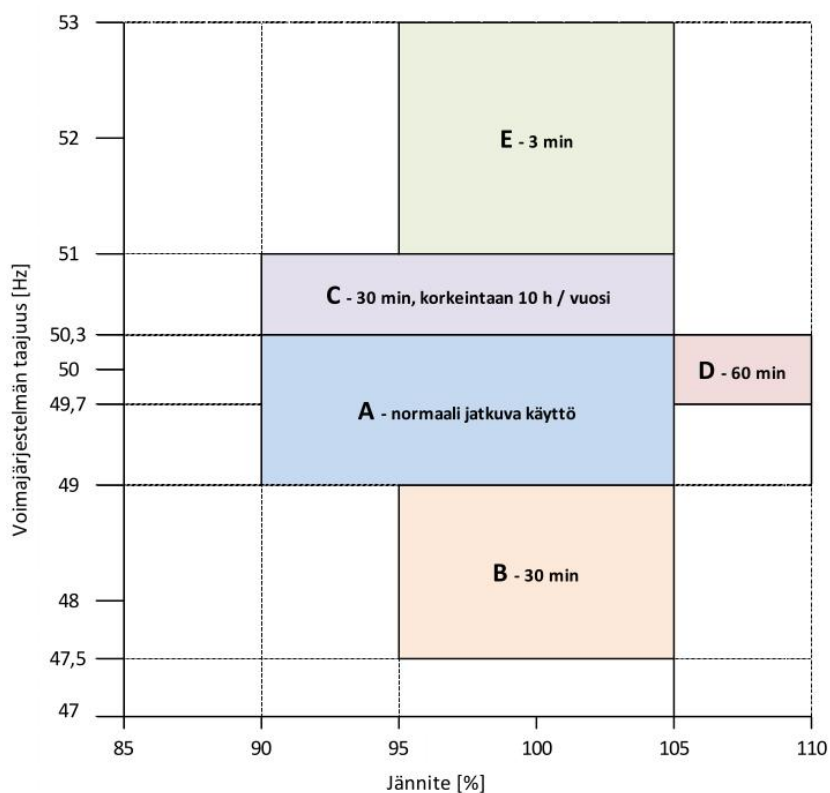
Liittäjä on velvollinen noudattamaan liittymispisteen verkonhaltijan asettamia sähkön laatuvaatimuksia. /11/. VSV:n jännitteen laatuvaatimukset määritellään jäljempänä tässä työssä.

5.5 Jännite- ja taajuusvakavuus

Nimellisjännitteeltään 110 kilovoltin verkossa jännitteen normaali vaihteluväli on 105 – 123 kilovolttia. Häiriö- ja poikkeustilanteissa vaihteluväli saa olla 100 – 123 kilovolttia. Mitoituksen perustana käytetään liittymispisteen normaalitilanteen käyttöjännitettä, jonka liittymispisteen verkonhaltija määrittelee. /11/

Pohjoismaisen sähköjärjestelmän taajuus voi vaihdella 49,5 – 50,5 Hz:n välillä ja poikkeuksellisesti vaihtelu voi olla jopa 47,5 – 53 Hz. /11/

Kuvassa 28 on esitetty jännite ja taajuusrajat, jolla teholuokan 1, 2 ja 3 voimalaitosten on pysyttävä verkossa ja taulukossa 2 on määritelty käyttöalueet. Toiminta-alueiden ulkopuolella käyttöä tulee jatkaa teknologian sallimissa rajoissa ja välitön irtikykytyminen ei ole sallittua.

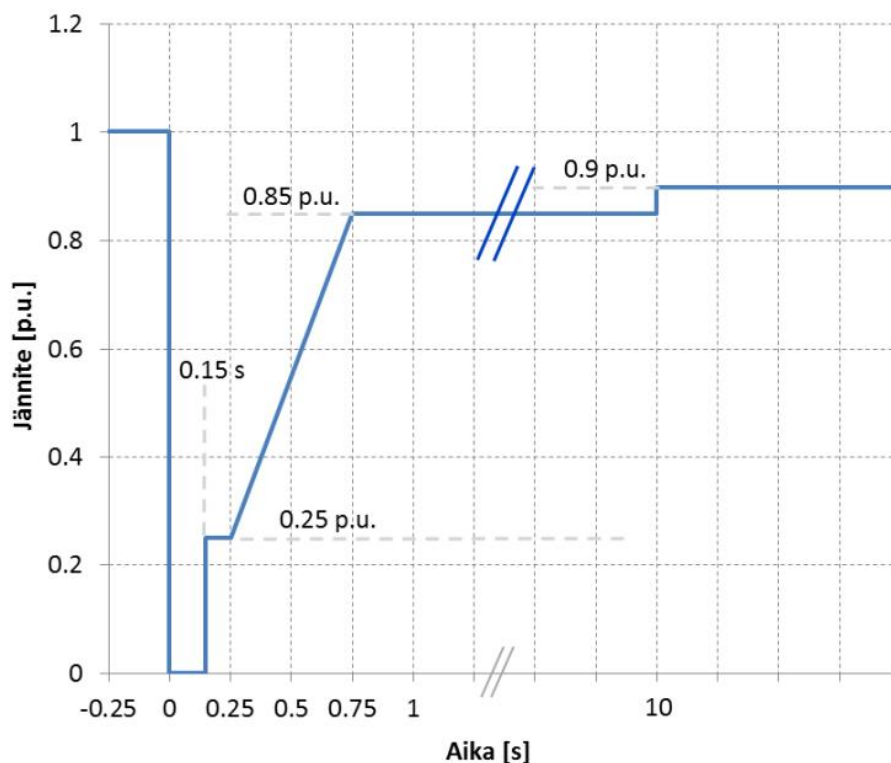


Kuva 28. Teholuokkien 1, 2 ja 3 tuotantolaitoksien käyttöalueet

Taulukko 2. Käyttöalueiden määritelmät

| | | |
|-----------|--|--|
| A: | Normaali jatkuva käyttö | Voimajärjestelmän jännitteestä ja/tai taajuudesta johtuvaa pätötehon tai loistehon tuotantokyvyn alentumista ei sallita |
| B: | 30 min yhtäjaksoinen käyttö | Tehonalenema sallittu siten, että suurin sallittu alenema 49 Hz:n tasolla on 0 % ja 47,5 Hz:n tasolla 15 % (välille jäävällä taajuusalueella sallittu alenema määrytyy lineaarisesti rajataajuuksilla sallittujen alenemien perusteella) |
| C: | 30 min yhtäjaksoinen käyttö yhteensä korkeintaan 10 tunnin ajan vuosittain | 10 % tehonalenema sallitaan mikäli se ei aseta rajoituksia jatkaa toimintaa täydellä teholla taajuuden palaututtua alle 50,3 Hz:n tason |
| D: | 60 minuutin yhtäjaksoinen käyttö | Tehon sallitaan alenevan enintään 10 % täydestä tehosta |
| E: | 3 minuutin yhtäjaksoinen käyttö | Voimakas tehonalenema sallittu |

Teholuokkien 1, 2 ja 3 voimalaitoksien tulee pystyä jatkamaan toimintaansa sähköjärjestelmän häiriöissä sekä niiden jälkeen. Tahtikonevoimalaitosten ja suuntaajakytkettyjen tuulivoimalaitosten on kestettävä kuvan 29 mukaisen lyhytaikainen jännitekuoppa referenssipisteessä irtoamatta verkosta. Tahtikonevoimalaitoksen on lisäksi pysyttävä verkon tahdissa jännitehäiriön aikana.

**Kuva 29.** Lyhytaikaista jännitehäiriötä vastaava referenssipisteen jännite

Kuvassa 29 jännitteen suhteellisuusarvo 1.0 p.u. on jännite ennen häiriötä ja jännite on 0 p.u. 150 millisekunnin ajan. Näiden vaatimusten lisäksi teholuokkien 2 ja 3 voimalaitosten on kyettävä palauttamaan ennen jännitehäiriötä syötetty pätöteho yhden sekunnin kuluessa. Pätötehoa ei pystytä välttämättä palauttamaan vaaditulla nopeudella, koska referenssipisteen jänniteraja saattaa rajoittaa loistehon siirtoa. Tällöin kyseinen riippuvuus ja sen mahdollinen vaikutus tehon palauttamiseen on toimitettava Fingridille ja liittymispisteen haltijalle. /11/

Teholuokan 1, 2 ja 3 voimalaitoksien tulee pystyä jatkamaan toimintaansa normaalisti, kun taajuuden muutosnopeus on 2 Hz sekunnissa. Kun muutosnopeus on tasan 2 Hz sekunnissa, tulee toimintaa pystyä jatkamaan 1,25 sekuntia. Muutosnopeuden kasvaessa suuremmaksi kuin 2 Hz sekunnissa, voidaan laitos irrottaa verkosta. /11/

5.6 Erityisvaatimukset tahtikonevoimalaitoksille

Tahtikonevoimalaitoksella tulee olla pätötehon säätöön, tehotasapainon ylläpitoon ja pyörimisnopeuden säätöön vaadittavat toiminnollisuudet ja Fingridillä tulee olla mahdollisuus hyödyntää tarvittaessa kyseisiä toimintoja. Fingridillä on oikeus vaatia voimalaitoksia säätämään tehonsäätöön liittyviä ominaisuuksia, mikäli sähköjärjestelmää ei kyetä häiriön jälkeen palauttamaan normaalitilaan. Seuraavissa osioissa käydään pääpiirteet läpi kyseisistä vaatimuksista.

5.6.1 Pätötehon ja taajuuden säätö

Tahtikonevoimalaitoksen käytettävissä olevan minimitehon tulee olla mahdollisimman pieni. Vesi-, kaasuturpiini- ja moottorivoimalaitoksilla 10 % nimellistehosta sekä sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksilla ja muilla voimalaitoksilla 40 % nimellistehosta /11/.

Kaikki mitoitustehon ja lyhytaikaisen kuormitettavuuden riippuvuudet ulkoisista tekijöistä on selvitettävä Fingridille. Tahtikonevoimalaitosten säätö on toteutettava siten, että lyhytaikaista ylikuormituskykyä voidaan hyödyntää tehokkaasti. /11/

Fingrid on myös asettanut ehdot tahtikonevoimalaitosten käynnistysvalmiudesta. Voimalaitokset on tarvittaessa saatava nopeasti käyttöön mahdollisen tehonvajauksen syntyessä. Esim. vesi-, kaasuturpiini- ja moottorivoimalaitokset pitää saada käyntiin täydellä teholla 15 minuutissa /11/.

Tahtikonevoimalaitokset tulee varustaa turpiini- ja pyörimisnopeuden säätäjällä, joilla teho ja tehon muutosnopeus voidaan asettaa. Näiden säätäjien tulee mahdollistaa tehon asetteleminen manuaalisesti sekä taajuusmittauksien perusteella. Taajuussäädöllä pitää pystyä automaattisesti osallistumaan sähköjärjestelmän taajuuden tukemiseen häiriötilanteissa. /11/

Normaalitilanteissa vesi-, kaasuturpiini ja moottorivoimalaitosten tehon muutosnopeuden tulee olla vähintään ± 40 % mitoitustehosta minuutissa. Sähkön- ja lämmöntuotantolaitosten sekä muiden voimalaitosten tehon muutosnopeuden tulee olla vähintään ± 5 % mitoitustehosta minuutissa. /11/ Häiriötilanteen tehon muutosnopeudet on asetettu erikseen Fingridin vaatimuksissa.

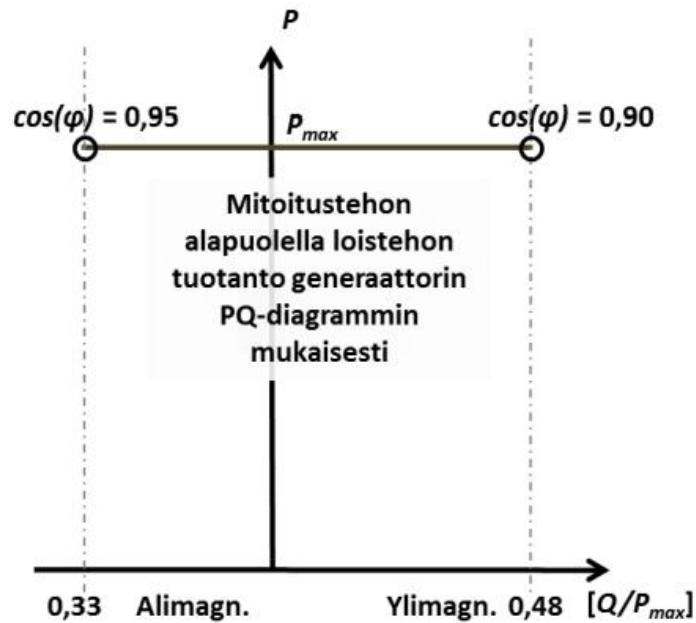
Tahtikonevoimalaitokset on suunniteltava siten, että ne siirtyvät turvallisesti omakäytölle silloin, kun VJV-referenssipisteen jännitteet tai taajuus ovat sellaiset, että niiden sallitaan irrottautua sähköjärjestelmästä. Niiden on toimittava tietty aika omakäytöllä ja oltava valmiina kytkeytymään uudelleen verkkoon.

5.6.2 Loistehokapasiteetti

Teholuokan 1 tahtikonevoimalaitoksien loistehokapasiteetin määrittää liittymispisteen verkonhaltija. /11/

Teholuokkien 2 ja 3 voimalaitoksien generaattoreiden reaktanssien tulee olla niin pieniä kuin mahdollista, että voimalaitos tukee mahdollisimman tehokkaasti sähköjärjestelmän toimintaa ja stabiiliteettia. /11/

Tahtikonevoimalaitoksien tulee voida toimia jatkuvasti mitoitusteholla P_{\max} , kun tehokerroin on $0,95 \text{ kap} - 0,9 \text{ ind}$. Kuvan 30 avulla on havainnollistettu tahtikonevoimalaitoksilta vaadittava loistehokapasiteetti. /11/



Kuva 30. Tahtikonevoimalaitokselta vaadittava loistehokapasiteetti /11/

Voimalaitoksen tulee kyetä rajoittamaan VJV-referenssipisteen jännitteenousua kuluttamalla loistehoa, kun jännite on korkeampi kuin liittymispisteen verkonhaltijan määrittämä normaali käyttöjännite. Sen tulee myös kyetä rajoittamaan jännitteen laskua tuottamalla VJV-referenssipisteeseen loistehoa, kun jännite on matalampi kuin normaali käyttöjännite. /11/

Liittyjän tulee toimittaa liittymispisteen verkonhaltijalle laskelma tahtikonevoimalaitoksen loistehokapasiteetista VJV-referenssipisteessä taulukon 3 mukaisilla toimintapisteillä. /11/

Taulukko 3. Tahtikonevoimalaitoksen loistehokapasiteetilaskelmassa käytettävät toimintapisteet /11/

| VJV-referenssipisteen jännite [p.u.] | 0,85 | 0,875 | 0,9 | 0,925 | 0,95 | 0,975 | 1,0 | 1,025 | 1,05 | 1,075 | 1,1 |
|--------------------------------------|---------------------------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| Tehotaso 1 | Minimiteho | | | | | | | | | | |
| Tehotaso 2 | $P = 0,75 \times P_{max}$ | | | | | | | | | | |
| Tehotaso 3 | Mitoitusteho | | | | | | | | | | |

Toimintapisteet 0,85 p.u. ja 0,875 p.u. ovat hetkellisiä eli näille ilmoitettava loisteho on pystyttävä tuottamaan vähintään 10 sekunnin ajan

Tämä laskentamalli on hieman ristiriitainen siihen nähden, jos liittynnän suunnitelun lähtökohtana käytetään Fingridin yleisissä liittymisehdoissa (YLE2013) verkkojännitteelle 118 kilovoltin arvoa ja korkein sallittu jännite verkossa poikkeustilanteessakin on 123 kilovoltia. Mikäli käytetään 118 kilovoltin arvoa loistehokapasiteetin laskennassa, nousee referenssipisteen jännite lähes 130 kilovolttiin ja näin ei käytännössä saa tapahtua. Laskentamalli on myös hyvin työläs, koska siinä joudutaan tekemään vähintäänkin 33 laskentasuoritusta.

5.6.3 Jännitteen säätö

Teholuokan 1 tahtikonevoimalaitoksen tulee kyetä toimimaan VJV-referenssipisteessä mitatulla tehokertoimella 1,0 tai vaihtoehtoisesti sen tulee kyetä tukemaan jännitettä säätämällä loistehoa tuottamalla sitä, kun jännite laskee ja kuluttamalla, kun jännite nousee. /11/

Teholuokkien 2 ja 3 tahtikonevoimalaitoksissa tulee olla generaattorin liitinjännitteen vakiosäätö ja sen toiminta tulee olla jatkuvaa sekä sen tulee säätää jännitettä portaattomasti VJV-referenssipisteessä. Generaattorin jännitesäätäjä tulee toteuttaa kaksikanavaisena. Kummassakin kanavassa tulee olla automaattinen generaattorin liitinjännitteen vakiosäätö ja varajärjestelmänä magnetointivirran vakiovirtasäätö. /11/

Generaattorin virranrajoitus tulee toteuttaa käänteisellä aikakarakteristikalla, jotta generaattorin jännitesäätölaitteiden ylikuormitusaluetta pystytään hyödyntämään tehokkaasti. /11/

5.7 Erityisvaatimukset tuulivoimalaitoksille

Teholuokan 1 tuulivoimalaitoksille ei ole määritelty taajuuden tai pätötehon säätöön liittyviä vaatimuksia, mutta jos tällaisia toiminnollisuuksia otetaan käyttöön, tulee Fingridillä olla oikeus hyödyntää niitä tarvittaessa. Tässä osiossa tarkastellaan siis teholuokkien 2 ja 3 vaatimuksia. Teholuokissa 2 ja 3 Fingridillä on oikeus vaatia voimalaitoksia säätämään jäljempänä esitettyjen ominaisuuksien mukaisesti, mikäli sähköjärjestelmän palauttaminen ei muulla tavoin ole mahdollista. /11/

5.7.1 Taajuuden ja pätötehon säätö

Tuulivoimalaitoksen minimiteho saa olla korkeintaan 10 % mitoitustehosta ja tehotuotannon riippuvuus tuulen voimakkuudesta tulee ilmoittaa Fingridille. Lisäksi tarvitaan tieto laitoksen omakäyttötehosta. /11/

Tuulivoimalaitoksen kytkeytyminen sähköjärjestelmään si saa aiheuttaa yli 3 % :n muutosta VJV-referenssipisteen jännitteeseen. Liittymispisteen verkonhaltijan kanssa on sovittava erikseen pätötehon tuotannon nousunopeuden rajoittamisesta käynnistyksen yhteydessä. Tuulivoimalaitoksissa tulee olla laitteet, joiden avulla teho ja tehon muutosnopeus voidaan asettaa. Tehosäätö tulee mahdollistaa manuaalisesti ja taajuusmittauksen perusteella. /11/

Taajuussäätö tulee tapahtua lineaarisesti ja tehoa pitää pystyä rajoittamaan niin, että taajuussäädön avulla voidaan kasvattaa tai pienentää tehotuotantoa taajuuden vaihtelun mukaisesti.

Pätötehoa tulee pystyä rajoittamaan niin, että pätötehon suurimmalle sallitulle tasolle tulee voida määrittää mitoitustehoa pienempi arvo. Säädettävä pätötehotuotannon yläraja tulee toiminnallaan varmistaa, ettei 10 sekunnin keskiarvo ylitä määritettyä tasoa. Myöskin pätötehon muutosnopeutta tulee pystyä rajoittamaan vähintäänkin alueella $0,1 \times P_{\max}/\text{min} \dots 1,0 \times P_{\max}/\text{min}$. Pätötehon nopea alassäätö tulee tapahtua 100 prosentista 20 prosenttiin alle viidessä sekunnissa. /11/

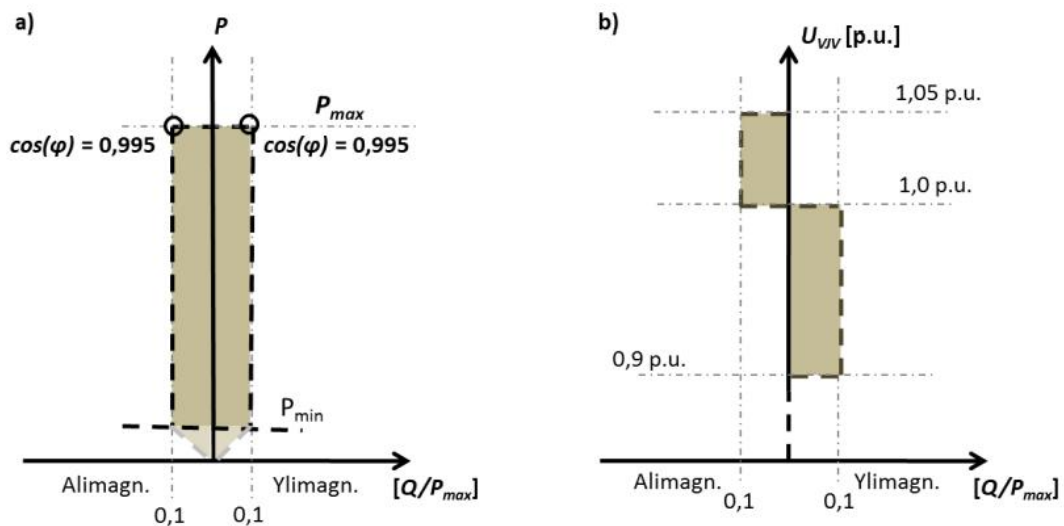
Tehon ja taajuuden säädön toimintatilan muutos ei saa aiheuttaa huomattavaa äkillistä vaihtelua voimalaitoksen tuottamassa pätö- tai loistehossa. /11/

Tuulivoimalaitoksen tuuliturbiinigeneraattorit eivät saa pysähtyä yhtä aikaa suuren tuulennopeuden vuoksi, vaan pysäytys tulee olla porrastettu ja porrastus tulee olla perustettu generaattoreiden kykyyn toimia turvallisesti voimakkaalla tuulella. Voimalaitoksen tuotannon aloittamisesta irti kytkeytymisen jälkeen on sovittava liittymispisteen verkonhaltijan kanssa. /11/

5.7.2 Jännitteen ja loistehon säätö

Teholuokan 1 tuulivoimalaitoksen tulee kyetä toimimaan VJV-referenssipisteessä tehokertoimella 1 tai vaihtoehtoisesti sen tulee kyetä tukemaan VJV-referenssipisteen jännitettä loistehokapasiteettinsa avulla tuottamalla loistehoa, kun jännite laskee ja kuluttamalla sitä, kun jännite nousee. /11/

Teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen tuottaessa verkkoon tehoa vähintään minimitehollaan [P_{\min}] ja enintään mitoitustehollaan [P_{\max}], tulee pystyä tuottamaan ja kuluttamaan loistehoa [Q] kuvan 31 a mukaisesti tehokertoimella 0,995. Laitoksen tulee tällöin pystyä säätämään VJV-referenssipisteen [U_{VJV}] jännitettä loistehon kuvan 31 b mukaisesti. Kuvassa 1,0 p.u. jännite vastaa liittymispisteen verkonhaltijan määrittämää normaalia käyttöjännitettä. /11/



Kuva 31. Teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteettivaatimus /11/

Loistehokapasiteettivaatimus voidaan täyttää myös muulla tavalla kuin tuuliturbiineja säätämällä. Tämä voi tapahtua erillisiä loistehokompensointilaitteistoja hyödyntämällä, kunhan kuvan 31 vaatimukset täyttyvät /11/.

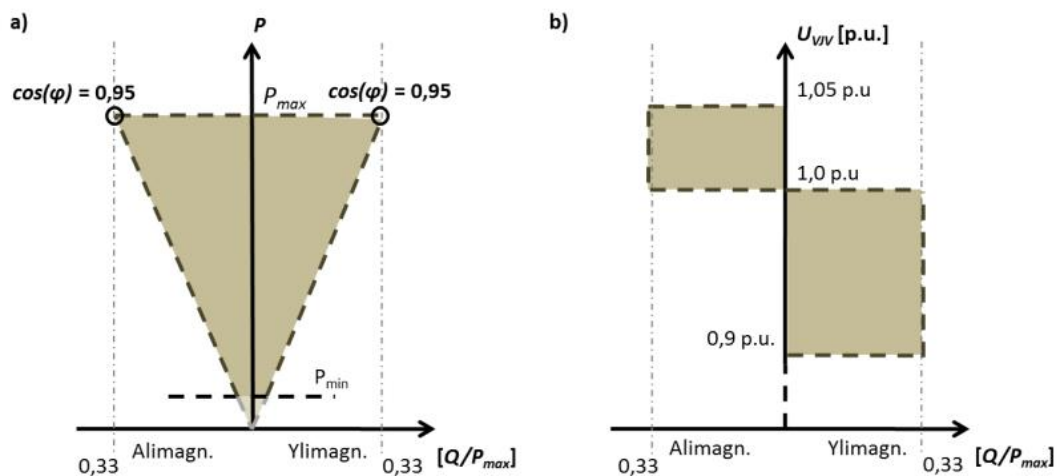
Liittäjän tulee toimittaa liittymispisteen verkonhaltijalle laskelma teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteetista VJV-referenssipisteessä taulukon 6 mukaisilla toimintapisteillä. /11/

Taulukko 4. Teholuokan 2 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteettilaskelmassa käytettävät toimintapisteet /11/

| VJV-referenssipisteen jännite [p.u.] | 0,85 | 0,875 | 0,9 | 0,925 | 0,95 | 0,975 | 1,0 | 1,025 | 1,05 | 1,075 | 1,1 |
|--------------------------------------|---------------------------|-------|-----|-------|------|-------|-----|-------|------|-------|-----|
| Tehotaso 1 | Minimiteho | | | | | | | | | | |
| Tehotaso 2 | $P = 0,50 \times P_{max}$ | | | | | | | | | | |
| Tehotaso 3 | Mitoitusteho | | | | | | | | | | |

Toimintapisteet 0,85 p.u. ja 0,875 p.u. ovat hetkellisiä eli näille ilmoitettava loisteho on pystyttävä tuottamaan vähintään 10 sekunnin ajan

Teholuokan 3 tuulivoimalaitosten tulee täyttää muuten samat vaatimukset kuin teholuokassa 2, mutta loistehokapasiteettivaatimus on kuvan 32 a ja b mukainen. /11/



Kuva 32. Teholuokan 3 tuulivoimalaitoksen loistehokapasiteettivaatimus /11/

Teholuokan 2 ja 3 tuulivoimalaitoksilla tulee olla jatkuva automaattinen loisteho- ja jännitesäätö. Muutokset VJV-referenssipisteessä tulee tapahtua portaattomasti. /11/

Teholuokan 2 ja 3 tuulivoimalaitoksilla loisteho- ja jännitesäädön toimintatilat tulee olla vakio-loisteho-, vakio-tehokerroin- ja vakio-jännitesäätö. Säätötoimintojen tulee pystyä pitämään loistehotuotanto VJV-referenssipisteessä sille annettussa asettelu-arvossa. /11/

6 SUURJÄNNITELIITTYMIEN YLEISET TEKNISET VAATIMUKSET VSV-TOIMIALUEELLA

Tässä luvussa määritellään suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittyvälle kuluttajalle tai sähköntuottajalle asetettavat yleiset tekniset vaatimukset Vaasan Sähköverkko Oy:n jakelualueella. Vaatimusten pohjana käytetään Fingridin yleisiä liittymisehtoja (YLE2013) ja alueverkon liittymisehtoja (ALE2006) sekä alueverkon verkkopalveluehtoja (AVPE2006). Alueverkko tarkoittaa suurjännitteistä jakeluverkkoa. Suurjännitteiselle jakeluverkolle käytettiin aiemmin nimitystä alueverkko ja liittymisehtoja ei ole päivitetty uuden nimeämistavan käyttöönoton jälkeen. Fingridin yleiset liittymisehdot on laadittu kantaverkkoon liittymistä varten.

Fingridin yleisissä liittymisehdoissa mainitaan, että liittyjä on velvollinen huolehtimaan sähköverkkoonsa suoraan tai välillisesti liittyvien kanssa, että myös niiden sähköverkot täyttävät Fingridin YLE2013 vaatimukset /15/.

6.1 Noudatettavat ehdot ja vaatimukset

Uuden tuotanto- tai kulutusliittymän on täytettävä Suomen lainsäädännön ja kulloinkin voimassa olevien standardien vaatimukset. Näiden lisäksi liittyjän tulee noudattaa seuraavia ehtoja ja vaatimuksia:

- Fingridin yleiset liittymisehdot YLE 2013
- Fingridin järjestelmätekniiset vaatimukset VJV 2013
- Alueverkon liittymisehdot ALE 2006
- Alueverkon verkkopalveluehdot AVPE 2006.

6.2 Liittämiskohta ja liittäminen

Liittämiskohdalla tarkoitetaan suurjännitteisen jakeluverkon ja liittyjän sähkölaitteiston välistä kohtaa, jollei toisin sovita. Liittämiskohta tulee sopia suunnittelun alkuvaiheessa ja se vahvistetaan liittymissopimuksessa. Tuotantoliittymän kyseessä ollessa määritellään myös VJV-referenssipiste, jossa Fingridin järjestelmätekniiset vaatimukset on toteuduttava. /15;5/

VSV vastaa mahdollisista omistamaansa voimajohtoon kohdistuvista liittymisen aiheuttavista muutoksista ja voimajohtoon liittyvät rakenteet ovat VSV:n omaisuutta. Liittymisen aiheuttamien välittömien verkon muutostarpeiden kustannuksista vastaa liittyjä. Olemassa olevan runkoverkon vahvistus sisältyy liittymismaksun osana olevaan kapasiteettivarausmaksuun.

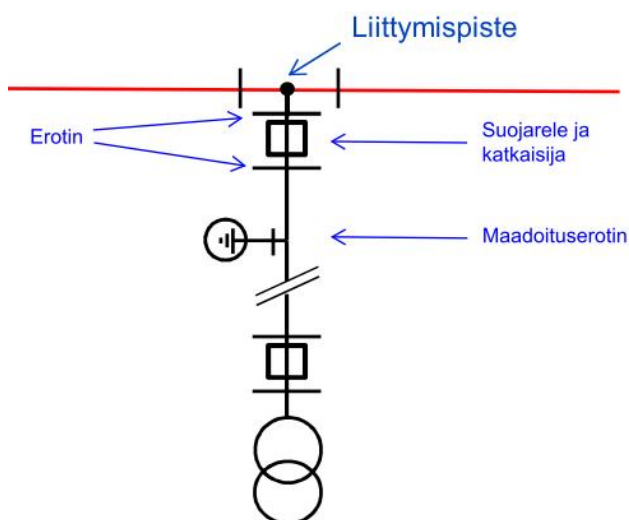
Liittämisen edellytykset tarkistetaan aina tapauskohtaisesti ottaen huomioon käytävissä oleva siirtokapasiteetti kantaverkossa ja suurjännitteisessä jakeluverkossa. Myös suojauskoordinaatio tarkistetaan aina tapauskohtaisesti. Liittyjän tulee olla yhteydessä hyvissä ajoin etukäteen, jotta voimalaitoksen liitettävyyden voimajärjestelmään voidaan selvittää.

6.3 Suurjännitteisen jakeluverkon oksajohtoon liittyminen

Liittämiseen sovelletaan järjestelmävastaavan, eli Fingridin liittämisen- ja relesuojausperiaatteita sekä muita Fingridin tähän tarkoitukseen laatimia ohjeistuksia

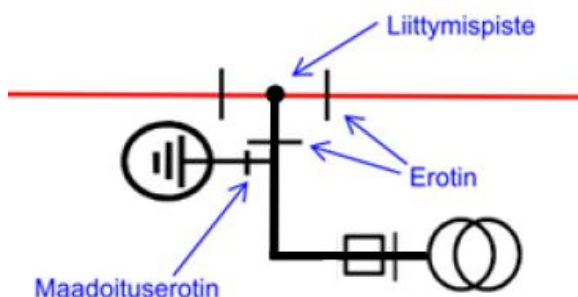
VSV:n nykyiset 110 kilovoltin runkojohdot ovat ns. oksajohtoja, jotka on liitetty joko Fingridin tai EPAn verkkoon. Liityntä oksajohtoon voi tapahtua voimajohtoliityntänä, jolloin asiakas rakennuttaa oman 110 kilovoltin voimajohdon kulutusta tai tuotantopisteeltä ennalta sovittuun liittymispisteeseen. Asiakas vastaa oman johdonsa ylivirta- ja maasulkusuojauksesta. Asiakkaan haarajohtolla ei voida käyttää pikajälleenkytkentöjä. VSV vastaa suojauskoordinaatiosta ja määrittelee kulloinkin käytettävän suojaustavan ja -asettelut. /12/

Kuvassa 33 on esitetty voimajohtoliitynnän liittymistapa silloin, kun tuotannon liittymisteho on ≤ 5 MVA tai suuntajakykettyä tuotannon ≤ 25 MVA (oikosulkuvirta rajoitettu 1,2 kertaiseksi nimellisvirtaan nähden) tai kulutuksen ≤ 25 MVA. /12/. Linjaerottimien tarpeellisuus runkojohtolla tarkistetaan tapauskohtaisesti.



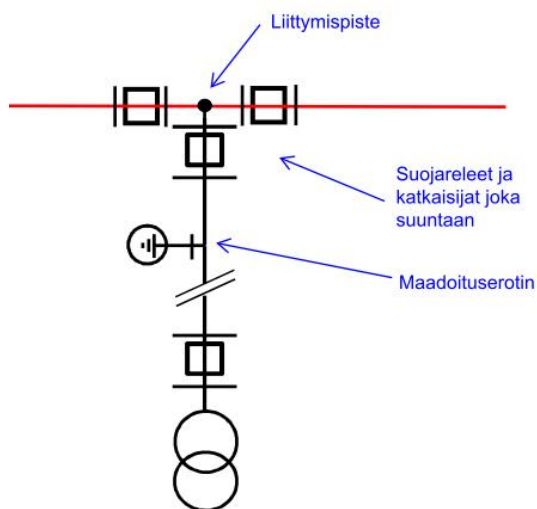
Kuva 33. Voimajohtoliitynnän toteutustapa

VSV oksajohdon välittömässä läheisyydessä olevat laitokset voidaan liittää em. tehorajoissa kuvan 34 mukaisesti silloin, kun asiakkaalla ei ole tarvetta rakentaa voimajohtoa ja asiakkaan sähköasema on VSV:n oksajohdon alla. Linjaerottimien tarpeellisuus runkojohdolla tarkistetaan tapauskohtaisesti.



Kuva 34. Liityntätapa, kun liittyvä laitteisto sijaitsee VSV:n oksajohdon välittömässä läheisyydessä

Suuntajakytketyn tuotannon tehon ollessa > 25 MVA ja ilman suuntaajaa kytketyn generaattoritehon > 5 MVA sekä kulutuksen > 25 MVA, tulee liityntä tapahtua kuvan 35 mukaisesti. Kytkennällä varmistetaan voimajärjestelmän tehotasapaino ja tuotannon jatkuminen oksajohdon vikatilanteissa sekä vikasuojauksen toimivuus.



Kuva 35. Suuren tehon liittäminen VSV:n oksajohtoon

Liitettäessä suurta tehoa VSV:n omistamaan oksajohtoon, tulee VSV:n oman liityntäpisteen vaatimukset tarkistaa Fingridin tai EPA:n kanssa mahdollisen muutostarpeen vuoksi. Tällainen muutostarve voisi olla katkaisijoiden lisääminen liityntäpisteen jokaiseen haaraan varmistamaan kantaverkon suojausta sekä voimajärjestelmän tehotasapaino vikatilanteissa. Katkaisijoiden lisääminen varmistaisi myös kulutuksen ja tuotannon toimitusvarmuutta vian ollessa EPA:n tai Fingridin runkoverkolla.

6.4 Liittymän muutos

Mikäli liittyjä aikoo tehdä lisäyksiä tai muutoksia olemassa olevaan liittymään, tulee liittyjän ottaa yhteyttä Vaasan Sähköverkkoon etukäteen mahdollisten verkko-vaikutusten selvittämiseksi. Tällaisia muutoksia ovat esim. uusi muuntaja, generaattori tai järjestelmäteknisten ominaisuuksien muutos.

6.5 Taajuus- ja jännitevaihtelujen huomioiminen

Sähköverkon taajuuden ohjearvo on 49,9...50,1 Hz. Häiriöttömässä käyttötilanteessa taajuus voi vaihdella välillä 49,5...50,5 Hz ja poikkeuksellisesti taajuusalueella 47,5...53 Hz.

Suurjännitteisen jakeluverkon nimellisjännitetaso on 110 kilovoltia. Liitynnän suunnittelun lähtökohtana liittymispisteen normaali jännite on 118 kilovoltia. Normaali jännitteen vaihtelualue on 105...123 kilovoltia ja häiriö- ja poikkeustilanteissa jännitealueella 100...123 kilovoltia.

Liittyjän sähkölaitteisto on toimittava näillä jännite- ja taajuusalueilla siten, että laitteisto täyttää sähköjärjestelmän asettamat vaatimukset. Sähkölaitteisto on suojattava siten, ettei se vaurioidu em. suuremmistakaan jännite- tai taajuusmuutoksista. /15;5/

6.6 Sähköverkon häiriöihin varautuminen

Liittyjän tulee varautua sähköverkon häiriöihin ottamalla huomioon suunnittelussa sähköverkon vikojen aiheuttamat jännitekuopat, jännitteettömyys sekä käytön palautuksessa yleisesti käytettävien pika- ja aikajälleenkytkentöjen vaikutukset. /15;5/

6.7 Sähköverkon maadoitustapa

Suurjännitteinen jakeluverkko on tehollisesti maadoitettu keskitetysti valittujen asemien muuntajien tähtipisteessä maasulkuvirran rajoittamiseksi /15/. VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittyviltä ei edellytetä maasulkuvirran kompensointia. Liityntämuuntajan suojaamiseksi ylijänniteiltä on suositeltavaa varustaa muuntajan maadoittamaton tähtipiste ylijännitesuojalla /16/.

6.8 Sähkölaitteistojen suojaus

Liittyjän sähkölaitteiston ja suurjännitteisen jakeluverkon suojauksen on toimittava yhdenmukaisesti ja selektiivisesti verkon käyttövarmuuden ylläpitämiseksi. Tuotantolaitokset on varustettava eroonkytkentäreleistyksellä, joka erottaa tuotantolaitoksen sähköverkosta VSV:n runkojohdon lähiviassa pikajälleenkytkennän jännitteettömänä väliaikana. VSV:n runkojohtoa suojaavalla katkaisijalla tulee olla tahdissa olon valvonta siltä varalta, että tuotanto jää syöttämään saarekettä. Tuotantolaitoksen on kyettävä tukemaan sähköjärjestelmää silloin, kun kyseessä ei ole lähi-

vika VJV2013 vaatimusten mukaisesti. VSV antaa tekniset tiedot ja ohjeet suojausien toteuttamisen tueksi. Suojausien suunnittelussa käytetään apuna Fingridin ohjeistuksia. /15;5;6/

6.9 Vaarajänniteselvitys

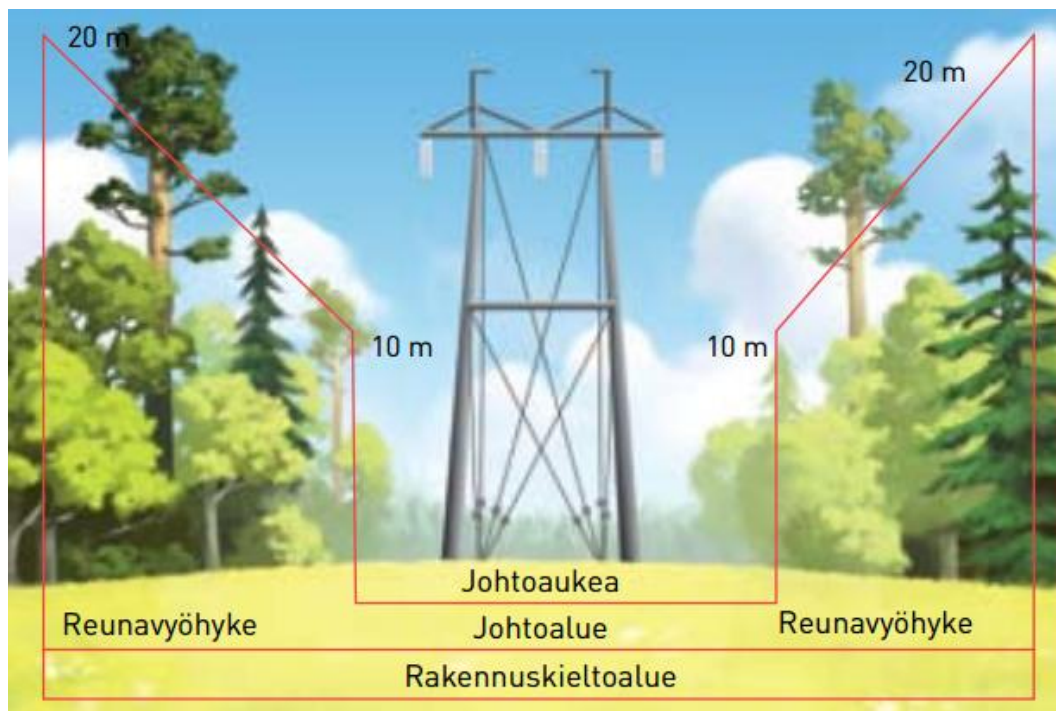
Liittyjä on velvollinen selvittämään voimajohtojen maasulkuvikojen aiheuttamien vaarajännitteiden vaikutukset liittyvän laitteiston suunnitteluun ja toteutukseen, sekä suunniteltava laitteiston maadoitukset voimassa olevien standardien ja määräysten mukaisella tavalla.

6.10 Loistehon ja jännitteen säätö

Teholuokan 1 tuotantolaitoksen tulee kyetä toimimaan VJV-referenssipisteessä tehokertoimella 1 tai vaihtoehtoisesti sen tulee kyetä tukemaan VJV-referenssipisteen jännitettä loistehokapasiteettinsa avulla. Teholuokan 2 ja 3 tuotantolaitoksen tulee täyttää Fingridin järjestelmätekniiset vaatimukset VJV2013 loistehon ja jännitteen säädön suhteen. Loistehon säätö toteutetaan ns. vakiojännitesäädöllä, jolloin voimalaitos tuottaa automaattisesti loistehoa, kun jännite laskee ja kuluttaa sitä, kun jännite nousee. VSV antaa VJV-referenssipisteelle vakiojännitteen tason, jota laitos asetetaan seuraamaan. /11/

6.11 Liittymisjohto

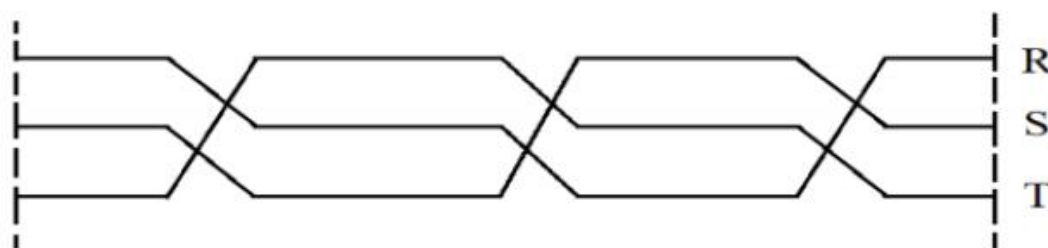
Suurjännitejohdot on varustettava ukkosköysin ja ne on rakennettava sekä ylläpidettävä sähkömarkkinalain mukaisesti puuvarmoina, jotta sähköverkolle ei aiheudu häiriöitä sen läheisyydessä kasvavista puista kuvan 36 mukaisesti /19/. Johdon oikosulkukestoisuuden ja kuormitettavuuden tulee olla riittävä.



Kuva 36. 110 kilovoltin johdon puuvarma johtoalue /16/

Johtoaukea tulee olla puustosta vapaa ja reunavyöhykkeen puiden kasvukorkeus on rajoitettu siten, etteivät puut kaatuessaan ylety voimajohdolle. /16/

Yli 10 kilometrin pituisille johdoille on järjestettävä vaihesymmetrian saavuttamiseksi vuorottelu siten, että kukin vaihejohdin kulkee keskimmäisenä yhtä pitkän matkan kuvan 37 mukaisesti. /15;4/



Kuva 37. Vaihejohtimien vuorottelu /4/

6.12 Energian mittaus

Liittyjä ja VSV sopivat liittymän suunnitteluvaiheessa energian mittausjärjestelyistä. Mittauspiste on lähtökohtaisesti aina laitteistojen omistusrajan välittömässä

läheisyydessä. Liittyjä on velvollinen järjestämään tilat mittalaitteille, sekä tarvittavat apusähkösyötöt. Liittyjä vastaa myös mittamuuntajien ja niihin liittyvien johdotuksien asentamisesta. Mittausjärjestelyt suunnitellaan ja rakennetaan voimassa olevien vaihtosähköenergian mittaukseen liittyvien standardien mukaisesti. Tuotantoliittymien osalta mittaus toteutetaan kaksisuuntaisena.

Mittareiden tarkkuusluokkavaatimus riippuu liitettävästä tehosta. Taulukosta 5 nähdään vaadittavat tarkkuusluokat mittareille ja mittamuuntajille. /24/

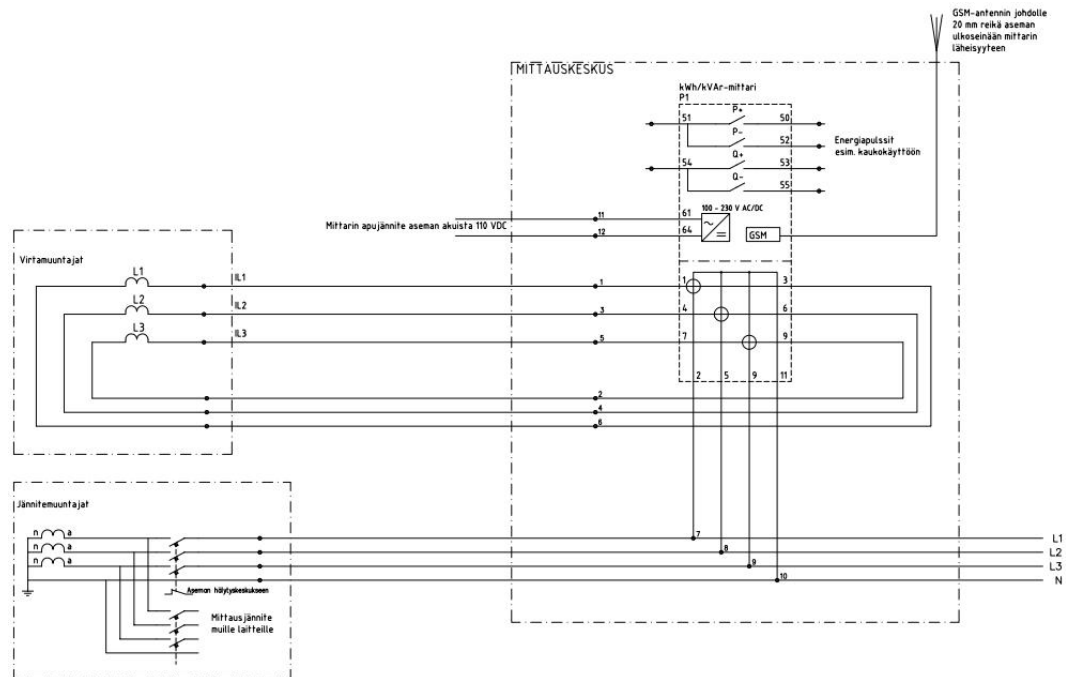
Taulukko 5. Mittareiden ja mittamuuntajien tarkkuusluokkavaatimukset sekä jännitejohtimille sallitut jännitehäviöt /24/

| Mittausryhmä | Mittaustapa ja tehorajat ¹⁾ | U_N | Pätömittari | Virtamuuntaja | Jännitemuuntaja | Jännitealenema | Pulssimäärä ²⁾ |
|--------------|--|--------|-------------|---------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| 1 | Suora mittaus | < 1 kV | 2 | – | – | ≤ 0,2 % | ≥ 200 |
| 2 | Virtamuuntajamittaus | < 1 kV | 1 | 0.2S | – | ≤ 0,2 % | ≥ 500 |
| 3 | Tehoraja < 2 MW | ≥ 1 kV | 1 | 0.2S | 0.2 | ≤ 0,2 % | ≥ 500 |
| 4 | Tehoraja 2-10 MW | ≥ 1 kV | 0.5S | 0.2S | 0.2 | ≤ 0,1 % | ≥ 1000 |
| 5 | Tehoraja > 10 MW | ≥ 1 kV | 0.2S | 0.2S | 0.2 | ≤ 0,05 % | ≥ 2000 |

¹⁾ Tehoraja on mittauspisteen mitoitusteho, joka voidaan myös laskea mittamuuntajien nimellisarvoista (jännite ja virta) olettaen, että mittamuuntajat on valittu oikein.
²⁾ Pulssimäärä nimelliskuormalla yhden tunnin aikana.

Mittamuuntajien toisiovirtasuositus on 5 A. Virtamuuntajat valitaan siten, että mitattava virta vastaa 5 – 100 % virtamuuntajan ensiön nimellisvirrasta. Kaikilla vaiheilla tulee olla omat paluuvirtajohtimet. Virtamuuntajien tulee täyttää standardin IEC 60044-1 mukaiset vaatimukset ja jännitemuuntajien vastaavasti IEC 60186 mukaiset vaatimukset. /24;23/

Mittamuuntajien tulee pystyä toimimaan tarkkuusluokassaan, joka edellyttää virtamuuntajien ja johtimien valintaa siten, että ne muodostavat taakan, joka on 25 - 100 % mittamuuntajien toision nimellistaakasta. Riittävän taakan saavuttamiseksi saatetaan joutua käyttämään lisävastuksia. Nykyisin käytettävien staattisten energiamittareiden virtapiirin taakka on niin pieni, ettei sitä käytännössä tarvitse huomioida taakkalaskelmissa. Mittamuuntajat tulee asentaa siten, että niiden kilpiarvot voidaan turvallisesti todeta kojeiston ollessa jännitteellinen. Vaihtoehtoisesti tämä voidaan järjestää kojeiston kanteen kiinnitettävällä kopiolla mittamuuntajien arvokilvistä. Mittamuuntajista tulee olla saatavilla koestuspöytäkirjat. /24;23/. Kuvassa 38 on esitetty mittauskytkennän esimerkkiipiirikaavio.



Kuva 38. Mittauskytkennän esimerkki piirikaavio /23/

Mittausjohtimien poikkipintojen täytyy olla vähintään $2,5 \text{ mm}^2$. Niissä tulee olla katkaistavat ns. mittausriviliittimet mahdollisimman lähellä mittamuuntajia ja mittareita. Virta- ja jänniteriviliittimet erotetaan toisistaan välilevyillä. Apujännite, pulssi ym. johtojen poikkipinta on $1,5 \text{ mm}^2$. Riviliittinten tulee olla katkaistavaa tyyppiä. Mittariin kytkettävät johdot numeroidaan koje- tai riviliittinnumeroin. /24;23/

VSV toimittaa tarvittavan energiamittarin johon on integroitu GPRS-modeemi etäluentaa varten. Mittaria varten tulee olla M2-mittariristikko. Mittarissa on yhdet potentiaalivapaat pulssilähdöt jokaiselle mittaussuureelle (P+, P-, Q+, Q-). Mikäli pulsseja halutaan monistaa, tulee niitä varten asentaa pulssinmonistusreleet. Jokaisella releellä on oltava sama jännite, max 230 VAC/VDC , 120 mA . Mittarin apujännite on $100 - 240 \text{ V AC/DC}$. On suositeltavaa, että apujännitteenä käytetään aseman akuston (110 VDC) jännitettä tai aseman omakäyttöjännitettä (230 VAC), jotta mittarin etäluenta toimisi vaikka mittarissa ei olisi mittausjännitettä. /23/

6.13 Tuotantolaitteiston tuottaman sähkön laatu

Sähkömarkkinalain mukaan suurjännitteinen jakeluverkko on suunniteltava ja rakennettava siten, että verkko täyttää kantaverkonhaltijan asettamat verkon käyttövarmuutta ja luotettavuutta koskevat vaatimukset /19/. Fingrid on laatinut raportin 110 kilovoltin sähkönlaadusta voimajärjestelmän suunnittelun tueksi, jota myös VSV:n on seurattava sähkömarkkinalakiin viitaten. Lisäksi suunnittelussa on otettava huomioon sähkönlaatustandardi SFS-EN 50160. Seuraavissa kohdissa määritellään sähkön laatuun liittyvät seikat, joita VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittyvän tulee noudattaa.

Seuraavissa osioissa on esitetty jännitteen laatua koskevat tavoitetasot verkon normaalissa kytkentätilanteessa. Normaalitila ei ole kuitenkaan voimassa seuraavissa tilanteissa /14/ :

- mitoituskriteereitä pahempien vikojen aikana ja niiden jälkitilanteissa
- liittymisehtojen tarkoittamissa ylivoimaisen esteen olosuhteissa
- poikkeukselliset keskeytysolosuhteet huoltojen tai verkon rakentamisen vuoksi, jolloin verkko on olennaisesti heikompi
- ulkopuolisista tapahtumista aiheutuva tehonvajaus.

6.13.1 Taajuus

Nimellistaajuuden tulee olla 50 Hz.

Normaaleissa käyttöolosuhteissa perustaajuuden keskiarvo 10 s aikavälillä mitattuna tulee olla 99,5 % vuodesta rajoissa 50 Hz \pm 1 % ja 100 % ajasta rajoissa 50 Hz +4 % / -6 %. /25/

6.13.2 Jännitetaso

Verkon pääjännitteen nimellisarvo on 110 kilovolttia. /14/

Pääjännitteen tehollisarvon 10 min keskiarvon on oltava vähintään 95 % ajasta alueen 105 ... 122 kV sisällä ja 100 % ajasta alueen 100...123 kV sisällä viikon mitausjakson aikana, keskeytyksiä lukuun ottamatta. /14/

VSV määrittelee referenssipisteen jännitteen ohjearvon kussakin tilanteessa erikseen.

6.13.3 Jännitteen vaihtelu

Käyttötoimenpiteistä aiheutuu tyypillisesti nopeita jännitteen muutoksia, joissa jännitteen taso muuttuu alle sekunnin aikana tasolta toiselle. Verkon normaalikäyttöolosuhteissa nopeat jännitteenmuutokset eivät saa ylittää taulukon 6 arvoja. Suurempia yksittäisiä muutoksia voi poikkeuksellisesti esiintyä erityisesti häiriöiden yhteydessä. /14/

Taulukko 6. Sallittu jännitteenmuutosten esiintymistäajuus /14/

| Jännitemuutosten esiintymistäajuus | Jännitteen muutos % |
|------------------------------------|---------------------|
| kerran vuorokaudessa | < 6 |
| alle 24 kertaa vuorokaudessa | < 4 |
| yli 24 kertaa vuorokaudessa | < 3 |

Jännitteen muutoksia, jotka ovat usein toistuvia ja nopeita, kutsutaan välkynnäksi. Välkyntää mitataan tarvittaessa erillisellä mittarilla, joka antaa mittaustulokseksi 10 minuutin mittausjaksolle lyhytaikaisen häiritsevyyssindeksin P_{st} arvon. Lyhytaikaisesta häiritsevyyssindeksistä lasketaan pitkäaikainen häiritsevyyssindeksi P_{lt} kaavan 5 mukaisesti.

$$P_{lt} = \left[\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{st,i}^3}{12} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

Lyhytaikaisen häiritsevyyssindeksin tulee pysyä arvon 1,0 alapuolella 95 % viikon mittausarvoista ja pitkäaikaisen häiritsevyyssindeksi arvon 0,8 alapuolella 95 % viikon mittausarvoista. /14/

6.14 Jännitteen ja virran yliaallot sekä vastakomponentti

VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon liittyjän sallitaan syöttää verkkoon korkeintaan taulukkoon 7 referenssivirtaan verratut yliaaltovirrat. Virran vastakomponentti, joka liittyy tyypillisesti vinokuormaan, saa olla korkeintaan 20 %. /14/

Taulukko 7. Liittyjille sallitut emissiovirtarajat verrattuna referenssivirtaan I_{Ref}

| SALLITUT EMISSIOVIR RAT | |
|------------------------------------|-------------|
| % liittyjän referenssivirrasta | |
| Virran kokonaissärö | 6 % |
| Vaihev irran psofometriarvo | 5 A |
| Virran vastakomponentti | 20 % |

Referenssivirta I_{Ref} lasketaan liittyjän kyseisen liittymispisteen kokonaistehon P perusteella ja referenssipisteen U_{VJV} normaalilla jännitteellä sekä tehokertoimella 1 kaavan 6 mukaisesti.

$$I_{Ref} = \frac{P}{U_{VJV} \times \sqrt{3} \times \cos \varphi 1,0} \quad (6)$$

, missä

U_{VJV} = *VJV referenssipisteen normaali jännitetaso*

Vaihev irran psofometriarvo I_p lasketaan kaavan 7 mukaisesti.

$$I_p = \frac{1}{1000} \times \sqrt{\sum_{h=1}^{h=N} (p_h \times I_h)^2} \quad (7)$$

, missä

I_h = *vaihev irran harmoninen komponentti*

h = *harmoninen järjestysluku*

N = *harmonisten lukumäärä (mukaan otetaan 100)*

p_h = *taajuuspainotuskerroin harmonisella (taulukosta 8)*

Taulukko 8. Taajuuspainotuskertoimet harmonisilla yliaalloilla

| h | p _h | h | p _h | h | p _h | h | p _h | h | p _h |
|----|----------------|----|----------------|----|----------------|----|----------------|-----|----------------|
| 1 | 0,7 | 21 | 1109 | 41 | 698 | 61 | 513 | 81 | 161,3 |
| 2 | 8,9 | 22 | 1072 | 42 | 689 | 62 | 501 | 82 | 144,5 |
| 3 | 35,5 | 23 | 1035 | 43 | 679 | 63 | 487 | 83 | 130,3 |
| 4 | 89,1 | 24 | 1000 | 44 | 670 | 64 | 473 | 84 | 116 |
| 5 | 178 | 25 | 977 | 45 | 661 | 65 | 458,5 | 85 | 104,2 |
| 6 | 295 | 26 | 955 | 46 | 652 | 66 | 444 | 86 | 92,3 |
| 7 | 376 | 27 | 923 | 47 | 643 | 67 | 428 | 87 | 82,4 |
| 8 | 484 | 28 | 905 | 48 | 634 | 68 | 412 | 88 | 72,4 |
| 9 | 582 | 29 | 881 | 49 | 625 | 69 | 394 | 89 | 64,3 |
| 10 | 661 | 30 | 861 | 50 | 617 | 70 | 376 | 90 | 56,2 |
| 11 | 733 | 31 | 842 | 51 | 607 | 71 | 355,5 | 91 | 50 |
| 12 | 794 | 32 | 824 | 52 | 598 | 72 | 335 | 92 | 43,7 |
| 13 | 851 | 33 | 807 | 53 | 590 | 73 | 313,5 | 93 | 38,8 |
| 14 | 902 | 34 | 791 | 54 | 580 | 74 | 292 | 94 | 33,9 |
| 15 | 955 | 35 | 775 | 55 | 571 | 75 | 271,5 | 95 | 30,1 |
| 16 | 1000 | 36 | 760 | 56 | 562 | 76 | 251 | 96 | 26,3 |
| 17 | 1035 | 37 | 745 | 57 | 553 | 77 | 232,5 | 97 | 23,4 |
| 18 | 1072 | 38 | 732 | 58 | 543 | 78 | 214 | 98 | 20,4 |
| 19 | 1109 | 39 | 720 | 59 | 534 | 79 | 196 | 99 | 18,2 |
| 20 | 1122 | 40 | 708 | 60 | 525 | 80 | 178 | 100 | 15,9 |

Harmonisten jännitteiden maksimiavot suurjännitteisessä jakeluverkossa on annettu taulukossa 9.

Taulukko 9. Harmonisten jännitteiden maksimitasot

| HARMONISTEN JÄNNITTEIDEN MAKSIMITASOT 110 kV VERKOSSA | | | | | |
|--|----------|--------------------------------------|----------|-------------------|----------|
| Prosentteina nimellisjännitteestä | | | | | |
| Parittomat ei kolmella jaolliset | | Parittomat kolmella jaolliset | | Parilliset | |
| n | % | n | % | n | % |
| 5 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |
| 7 | 2,5 | 9 | 1,5 | 4 | 0,7 |
| 11 | 1,7 | 15 | 0,5 | 6 | 0,5 |
| 13 | 1,7 | 21 | 0,5 | >6 | 0,3 |
| 17 | 1,5 | >21 | 0,3 | | |
| 19 | 1,5 | | | | |
| 23 | 0,8 | | | | |
| 25 | 0,8 | | | | |
| >25 | 0,5 | | | | |
| Jännitteen kokonaisharmoninen särö | | | | < 3 % | |

7 LIITTYMINEN VAASAN SÄHKÖVERKKO OY:N SUURJÄNNITTEISEEN JAKELUVERKKOON

Tässä luvussa käydään läpi liittämisen prosessin eteneminen vaihe vaiheelta aina ensimmäisestä yhteydenotosta käyttöönottoon.

7.1 Yhteydenotto

Liittyminen VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon etenee vaiheittain yhdessä asiakkaan kanssa. Asiakkaan tulee olla yhteydessä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, koska liitettävyyden selvittämiseen saattaa kulua aikaa yllättävän paljon. Liitteessä 1 on esitetty ilmoituslomake, jolla alustavat liityntätiedot voidaan toimittaa VSV:lle.

7.2 Aiesopimus

Liitettävyyden selvittämistä ja esisuunnittelua varten laaditaan aiesopimus kolmikantaisena sopimusasiakirjana, jossa osapuolina ovat Liittyjä, VSV sekä EPV Alueverkko tai Fingrid riippuen siitä kenen verkkoon VSV on liittynyt. Aiesopimuksessa määritellään liittämisen etenemisen vaiheet ja kunkin vaiheen maksupositit. /16;9/

7.3 Liitettävyyden ja liittämistavan selvittäminen

Liitettävyydellä tarkoitetaan liittymän teknistä soveltuvuutta VSV:n jakeluverkkoon. Liittymistapa ja – paikka valitaan tarkastelemalla eri liittymismahdollisuuksia ottaen huomioon suurjännitteisen jakeluverkon ja kantaverkon käyttövarmuus sekä sähköturvallisuus, ympäristönäkökohdat huomioiden. /16/

Mikäli uusi liityntä aiheuttaa muutoksia olemassa olevaan suurjännitteiseen jakeluverkkoon tai kantaverkkoon, tulee se ottaa huomioon hankkeen aikataulutuksessa.

Tuotantoliittymien osalta tarkistetaan tässä vaiheessa Fingridin VJV2013 vaatimukset liitettävälle laitteistolle sekä selvitetään liitettävyyden Fingridin ja EPAn kanssa yhteistyössä.

Kun liitettävyyden tarkistettu ja todettu mahdolliseksi, lasketaan asiakkaalle alustava liittämiskustannus.

7.4 Suunnittelu

VSV toimittaa asiakkaalle tiedot oikosulku- ja maasulkuvirroista sekä suojauksen perusvaatimuksista. Asiakas vastaa omistamiensa laitteistojen teknisten arvojen määrittelystä näiden tietojen pohjalta.

Liittyjän tulee toimittaa Fingridin vaatimusten todentamisprosessin eri vaiheissa teknisiä tietoja liittymispisteen verkonhaltijalle teholuokkien 2,3 ja 4 voimalaitoksista, joka toimittaa ne tarkastuksen jälkeen edelleen Fingridille. Vaatimusten todentamisprosessi on kuvattu osiossa 7.9. /11/

Teholuokan 1 voimalaitoksien ei tarvitse osallistua vaatimusten todentamisprosessiin, mutta niistä tulee toimittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa liitteen 2 mukaiset tiedot VSV:lle.

Tuotantoliittymien osalta mahdolliset VJV2013 vaatimusten toteutuminen mallinnetaan Fingridille liittyjän toimesta. Taulukoista 10 ja 11 nähdään mallinnusvaatimukset teholuokittain sekä tuulivoimalaitoksille että tahtikonevoimalaitoksille /11/. Teholuokan 1 voimalaitoksille ei ole esitetty mallinnusvaatimuksia.

Taulukko 10. Tuulivoimalaitoksen mallinnusvaatimukset teholuokittain /11/

| Todennettava osa-alue | Teholuokka 2 | Teholuokka 3 | Teholuokka 4 |
|--|--------------|--------------|--------------|
| Jännitteensäädön askelvaste (sekä jännitteen nousu että lasku) | X | X | X |
| Jännitteensäädön statiikka kahdella eri statiikan asetteluarvolla | | X | X |
| Loistehokapasiteetti ja kapasiteettia rajoittavien rajoittimien toiminta | | X | X |
| Lähivikakoe *) | X | X | X |

Taulukko 11. Tahtikonevoimalaitoksen mallinnusvaatimukset teholuokittain /11/

| Todennettava osa-alue | Teholuokka 2 | Teholuokka 3 | Teholuokka 4 |
|---|--------------|--------------|--------------|
| Generaattorin jännitteen askelvaste (sekä jännitteen nousu että lasku) | X | X | X |
| Jännitteensäädön loistehostatiikka kahdella eri statiikan asetteluarvolla | | X | X |
| Lisästabiloinnin (PSS) toiminta | | | X |
| Ylimagnetointirajoittimen toiminta | | | X |
| Alimagnetointirajoittimen toiminta | | | X |
| Lähivikakoe ^{*)} | | | X |

^{*)} Mikäli voimalaitoksen lähivikakoetta ei toteuteta, voimalaitoksen toiminta lähiviassa osoitetaan laskentatarkasteluilla.

Asiakas laatii liittynästäan yksityiskohtaiset suunnitelmat ja toimittaa ne ja muut tarvittavat tekniset tiedot VSV:lle tarkastettavaksi. Liittyjä pyytää tässä vaiheessa tarjouksen liittymän toteuttamisesta laitteiston mitoitus tietojen mukaisella liittymisteholla [MVA]. Tässä vaiheessa tehdään myös kapasiteettivaraus suurjännitteeseen jakeluverkkoon.

7.5 Liittymissopimus

Kun kaikki liittämisen edellytykset ovat kunnossa ja aiesopimuksen kohdat täyttyneet, laaditaan liittymän ja VSV:n välille liittymissopimus. Sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen voidaan aloittaa liittymän rakentaminen.

Liittymissopimuksessa määritellään seuraavat kohdat:

- sopijapuolet ja sopimuksen tarkoitus
- sopimuksen voimassaolo
- liittymispisteet ja omistusrajat (tuotantoliittymissä VJV referenssipiste)
- menettelytapa verkon häiriötilanteessa (VSV:n ohjattavissa olevat laitteet)
- maksut ja maksuehdot
- noudatettavat sopimusehdot
- allekirjoitukset.

7.6 Rakentaminen

Asiakas vastaa omistamiensa sähköasemalaitteistojen asennuksista liittymissopimuksessa määritellystä liittämiskohdasta lähtien. VSV vastaa omistamaansa 110 kilovoltin voimajohtoon mahdollisesti kohdistuvista muutostöistä.

Liitynnän rakentamisen aikana sähkönsiirtoon tehtävistä käyttökeskeytyksistä on sovittava mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, että käyttökeskeytyksen suunniteluun jää riittävästi aikaa.

VSV toimittaa liittymispisteeseen sähköenergiamittarin. Asiakas varaa liittymispisteelle tilan mittareille ja huolehtii mittausjärjestelyn rakentamisesta ohjeistuksien mukaisesti. Asiakas toimittaa energian mittauspiirikaavion VSV:n yhteyshenkilölle tarkastusta ja mittauksen suunnittelua varten.

7.7 Käyttöönotto

Ennen käyttöönottoa on sähkölaitteistolle tehtävä asiakkaan toimesta käyttöönotto-tarkastus. VSV:n käyttöasiantuntija käy perehtymässä uuteen liityntään ja tarkistaa, että liitynnän toteutus vastaa aiemmin sovittuja suunnitelmia, ja että liityntään voidaan kytkeä jännite.

Käyttöönottotarkastuksesta tulee laatia pöytäkirja, joka tulee toimittaa VSV:n käyttöasemalle ennen laitteiston käyttöönottoa. Käyttöönottotarkastus tulee sisältää re-lekoestuspöytäkirjat. Lisäksi tulee toimittaa laitoksen loppudokumentit sekä sähköiset arvot viimeistään 2 kuukauden kuluttua käyttöönotosta.

Tuotantoliittymien VJV2013 vaatimukset tulee todentaa käyttöönoton yhteydessä. Taulukoissa 12 ja 13 on esitetty käyttöönoton yhteydessä todennettavat kohdat teholuokan 2 ja 3 voimalaitoksille./11/

Teholuokan 1 tahtikonevoimalaitoksille ei ole mallinnusvaatimuksia, mutta käyttöönoton yhteydessä on tehtävä käyttöönottokokeet, joissa tulee todentaa seuraavat ominaisuudet:

- voimalaitoksen pysäyttämisen ja käynnistämisen vaikutus jännitetasoon VJV-referenssipisteessä
- voimalaitoksen mitoitusteho
- voimalaitoksen loistehokapasiteetti
- jännitteen ja loistehosäädön toiminta, mikäli sitä on vaadittu
- sähkön laatu.

Kohdat 2, 3 ja 5 voidaan korvata tyyppitestausraportilla tai vastaavalla asiakirjalla. Käyttöönottokokeista toimitetaan VSV:lle liitteen 3 mukaiset tiedot. VSV lähettää tiedot myös Fingridille. /11/

Taulukko 12. Teholuokkien 2 ja 3 tuulivoimalaitoksien käyttöönottokokeissa todennettavat osa-alueet /11/

| Todennettava osa-alue | U_{JV} | P_{JV} | Q_{JV} | Signaalit |
|--|--|----------|----------|----------------------------|
| Jännitteensäädön askelvaste (sekä jännitteen nousu että lasku) | X | X | X | |
| Jännitteensäädön statiikka kahdella eri statiikan asetteluarvolla | X | X | X | |
| Loistehokapasiteetti ja kapasiteettia rajoittavien rajoittimien toiminta | X | X | X | Sovitaan tapauskohtaisesti |
| Lähivikakoe | Sovitaan tapauskohtaisesti. Mikäli voimalaitoksen lähivikakoetta ei toteuteta, voimalaitoksen toiminta lähiviassa osoitetaan laskentatarkasteluilla. | | | |
| U_{JV} | VJV-referenssipisteen jännite | | | |
| P_{JV} | VJV-referenssipisteessä mitattu voimalaitoksen pätöteho | | | |
| Q_{JV} | VJV-referenssipisteessä mitattu voimalaitoksen loisteho | | | |

Taulukko 13. Teholuokkien 2 ja 3 tahtikonevoimalaitoksien käyttöönottokokeissa todennettavat osa-alueet /11/

| Todennettava osa-alue | U_{gen} | U_l tai U_{ef} | f_{gen} | I_l tai I_{ef} | P_{gen} | Q_{gen} | Signaalit |
|--|-----------|--|-----------|--------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|
| Generaattorin jännitteen askelvaste (sekä jännitteen nousu että lasku) | X | X | X | X | | | |
| Jännitteensäädön statiikka kahdella eri statiikan asetteluarvolla | X | X | X | X | X | X | |
| Lisästabiloinnin (PSS) toiminta | X | X | X | X | X | X | PSS-sisäänmeno- ja ulostulosignaalit |
| Ylimagnetointirajoittimen toiminta | X | X | X | X | X | X | Rajoittimen ulostulosignaali |
| Alimagnetointirajoittimen toiminta | X | X | X | X | X | X | Rajoittimen ulostulosignaali |
| Lähivikakoe | | Sovitaan tapauskohtaisesti. Mikäli voimalaitoksen lähivikakoetta ei toteuteta, voimalaitoksen toiminta lähiviassa osoitetaan laskentatarkasteluilla. | | | | | |
| | U_{gen} | generaattorin liitinjännite | | | | | |
| | U_{ef} | magnetointikoneen magnetointijännite | | | | | |
| | U_l | generaattorin magnetointijännite | | | | | |
| | f_{gen} | generaattorin taajuus | | | | | |
| | I_{ef} | magnetointikoneen magnetointivirta | | | | | |
| | I_l | generaattorin magnetointivirta | | | | | |
| | P_{gen} | generaattorin pätöteho | | | | | |
| | Q_{gen} | generaattorin loisteho | | | | | |

Teholuokan 2 ja 3 käyttöönottokokeet tulee suorittaa yhteistyössä liittymispisteen verkonhaltijan, liittäjän ja Fingridin kanssa. Mallinnustietojen paikkaansa pitävyys tulee todentaa toimittamalla käyttöönottokokeiden mittaustiedot taulukon 5 mukaisesti. /11/

7.8 Dokumentointi

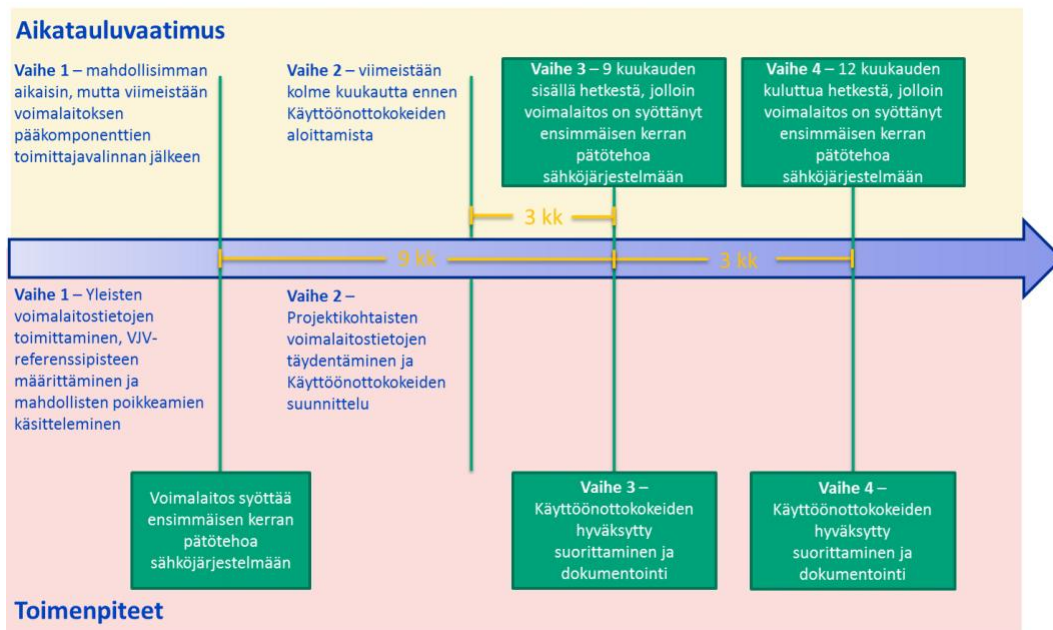
Tuotanto- ja kulutuslaitteiston liittynnästä toimitetaan seuraavat loppudokumentit VSV:lle sähköisessä muodossa:

- sähköjärjestelmän pääkaavio
- nosto- ja päämuuntajien tekniset tiedot
- generaattoreiden tekniset tiedot
- sähköverkkoliittynän katkaisijan relekoestuspöytäkirjat
- käyttöönottopöytäkirjat.

VSV digitoi liittynän Trimble NIS -verkkotietojärjestelmään ja tallentaa dokumentit kunkin laitteen omalle laitekortille verkkotietojärjestelmässä.

7.9 Voimalaitosten VJV2013 -vaatimusten todentamisprosessi

Fingrid vaatii, että asetettujen vaatimusten toteutuminen todennetaan edellä mainittujen mallinnusvaatimusten sekä käyttöönottokokeiden avulla. Kuvassa 39 on esitetty vaatimusten todentamisprosessin aikajana ja eteneminen. /13/



Kuva 39. VJV2013-vaatimusten todentamisprosessin aikajana /13/

Vaatimusten todentamisprosessin vaiheessa 1 liittyjän tulee toimittaa teholuokkien 2 ja 3 voimalaitoksesta VSV:lle liitteen 4 mukaiset tiedot sekä tahtikonevoimalaitoksen kyseessä ollessa toimitetaan lisäksi liitteen 5 tiedot kaikista voimalaitoksen generaattoreista. Tiedot tulee toimittaa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, mutta kuitenkin viimeistään voimalaitoksen pääkomponenttien toimittajavalinnan jälkeen. VSV tarkistaa tiedot ja lähettää ne edelleen Fingridille. /11/

Vaiheessa 2 toimitetaan liitteen 6 mukaiset tiedot. Nämä tulee toimittaa viimeistään kolme kuukautta ennen vaatimuksiin liittyvien käyttöönottokokeiden suorittamista. Käyttöönottokokeet suoritetaan (vaihe 3) 9 kuukauden sisällä siitä, kun voimalaitos on syöttänyt ensimmäisen kerran pätötehoa sähköjärjestelmään. /11/

Todentamisprosessin hyväksyntää varten tarvittavat tiedot tulee toimittaa liitteen 7 mukaisesti viimeistään kolmen kuukauden kuluttua käyttöönottokokeiden suorittamisesta (vaihe 4). /11/

8 SUURJÄNNITTEISEN JAKELUVERKON LIITTYMISMAKSU

Liittymismaksu määräytyy rakentamiskustannusten ja kapasiteetin varausmaksun perusteella. Tässä luvussa määritellään kyseiset käsitteet sekä liittymismaksun perusteet.

8.1 Liittymismaksun määräytyminen

Rakentamiskustannus muodostuu verkkoon liittämistä verkonhaltijalle koostuvista liittämistä ja rakentamiskustannuksista sekä muista mahdollisista liittämisen aiheuttamista välittömistä kustannuksista. /9/

Kapasiteetin varausmaksu muodostuu liittäjän sähkötehon mukaisen kapasiteettivarausten mukaan. Kapasiteettivarauskseen lisätään mahdolliset Fingridin tai EPAn perimät maksut kapasiteetin varauksesta.

Kapasiteettivarauskseen muodostuu suurjännitteisen jakeluverkon kokonaissiirtokapasiteetin ja liittäjän tarvitseman tai tuottaman tehon suhteesta. Kapasiteettivarauskseen tehoperuste on liittäjän päämuuntajan tai generaattoreiden yhteenlaskettu nimellisteho. Kapasiteettivarauskseen kohteena olevan verkon laajuus on liittäjän liittymispisteestä lähimpään kantaverkon liittymispisteeseen. Verkon arvo määräytyy Energiaviraston määrittelemän jälleenhankinta-arvon mukaan. /9/

Mikäli liittäjää varten joudutaan rakentamaan kokonaan uusi liittymisjohto VSV:n omistukseen, vastaa kustannuksista Liittäjä. Mikäli seuraavan 10 vuoden aikana johdolle tulee uusi liittäjä, hyvitetään aiempaa tai aiempia liittäjiä uuden liittäjän maksaman kapasiteettivarauskseen osuudella. /9/

Liittämismaksuun sisältyy liittämisen suurjännitteiseen jakeluverkkoon sekä päto- ja loisenenergiamittauksien asennus liittäjän tätä tarkoitusta varten varaamassa paikassa. /9/

8.1.1 Uuden liittymän liittymismaksu

Suurjännitteisen jakeluverkon liittymismaksu määräytyy kaavan 8 mukaisesti. /9/

$$\text{Liittymismaksu} = a + b \times P \quad (8)$$

, missä

a = välittömät liittämiskustannukset [€]

b = kapasiteetin varausmaksu $\left[\frac{\text{€}}{\text{MVA}} \right]$

P = liittymisteho [MVA]

8.1.2 Vanhan liittymän suurentaminen

Liittymää suurennettaessa liittymismaksu määräytyy kaavan 9 mukaisesti. /9/

$$\text{Liittymismaksu} = a + b \times P_{\text{uusi}} - P_{\text{vanha}} \quad (9)$$

, missä

a = välittömät liittämiskustannukset [€]

b = kapasiteetin varausmaksu $\left[\frac{\text{€}}{\text{MVA}} \right]$

P_{uusi} = uusi liittymisteho [MVA]

P_{vanha} = nykyinen liittymisteho [MVA]

8.1.3 Kapasiteetin varausmaksun laskenta

Kapasiteetin varausmaksu muodostuu johdon kapasiteetin varauksesta ja siihen liittyvien laitteistojen kapasiteetin varauksesta kaavan 10 mukaisesti.

$$b = c \times \frac{P_{\text{liittymä}}}{P_{\text{johdo}}} \quad (10)$$

, missä

c = johdon ja laitteiden jälleenhankinta – arvo [€]

$P_{\text{liittymä}}$ = liittymisteho [MVA]

P_{johdo} = johdon siirtokapasiteetti [MVA]

Liittymismaksu määritellään tapauskohtaisesti, mikäli nykyisen johdon kapasiteetti ylittyy uuden liittymän seurauksena ja johto joudutaan vahvistamaan.

9 SIIRTOTARIFFIT SUURJÄNNITTEISESSÄ JAKELUVERKOSSA

Sähkötuote muodostuu kahdesta eri hyödykkeestä, siirtopalvelusta ja sähköenergiasta. Sähköenergian hinnoittelu ja myynti kuuluu sähkömarkkinoilla toimiville sähkönmyyjille, jotka hankkivat myymänsä energian sähköpörssistä tai omistamistaan tuotantolaitoksista. Verkkopalvelun tuottaminen ja niiden hinnoittelu kuuluu puolestaan paikalliselle sähköverkkoyhtiölle, jonka verkkoon tuottaja tai kuluttaja on liittymässä.

Sähkömarkkinalain mukaan verkkopalvelujen myyntihintojen ja -ehtojen sekä niiden määräytymisperusteiden on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä kaikille verkon käyttäjille. Kuluttajille suunnatut myyntiehdot on lisäksi esitettävä selkeällä ja ymmärrettävällä tavalla, eikä niihin saa sisältyä sopimusten ulkopuolisia esteitä kuluttajien oikeuksien toteutumiselle. /19;8/. Verkkopalvelun hinnoittelu tulee olla kohtuullista ja tämän toteutumista valvoo Energiavirasto./8/

Vaasan Sähköverkko Oy:n siirtohinnoittelussa tulee ottaa huomioon Fingridin kantaverkkomaksut, sekä EPAn tariffimaksut, riippuen siitä kumman verkkoon kussakin tapauksessa VSV on kytkeytyneenä.

9.1 Siirtohinta

Siirtomaksulla katetaan sähköenergian siirtämisen aiheuttamat kustannukset tuottajalta sähkön käyttäjälle sekä sähkönjakeluverkon ylläpidosta aiheutuneet kustannukset. Lisäksi hintoihin lisätään kate kohtuullisen tuoton sallimissa rajoissa.

Siirtohinnoitteluun ei ole olemassa yleistä laskentamenetelmää. Eri verkkoyhtiöiden toimintaympäristöt sekä asiakas- ja kustannusrakenteet eivät ole keskenään identtisiä, joten yleispätevän ja tarkan hinnoittelumenetelmän muodostaminen olisi hyvin monimutkaista. Sähköyhtiöt voivat hinnoitella siirtomaksut oman harkintansa mukaisesti, mutta määräytymisperusteet on sähkömarkkinalain mukaisesti ilmoitettava Energiavirastolle. /20;17;/

Siirtohinnoittelussa sovelletaan yleisiä hinnoitteluperiaatteita, joita ovat aiheuttamisperiaate, yksinkertaisuusperiaate ja markkinahintaperiaate. Aiheuttamisperiaate tarkoittaa sitä, että myytävälle tuotteelle kohdistetaan vain ne kustannukset, jotka aiheutuvat tuotteen käyttämisestä. Yksinkertaisuusperiaatteella pyritään siihen, että verkkoyhtiön siirtohinnoittelu on ymmärrettävää ja selkeää kuluttajan näkökulmasta. Markkinahintaperiaate perustuu siihen, että verkonhaltija varmistaa siirtohintojensa markkinakelpoisuuden yleisellä tasolla vertailemalla hintojaan alan muiden samankaltaisten toimijoiden hintoihin. /20/

Siirtohinnoittelun tulisi sisältää ainakin seuraavat vaiheet:

- kulutusanalyysi
- kustannusanalyysi
- maksukomponenttien muodostaminen ja kustannusten kohdistaminen
- siirtohinnoituksen muokkaus
- valmis siirtohinnoitus.

Kulutusanalyysissä määritetään sähköverkon ja sen eri osien kuormitusasteet vuoden tunteina. Kustannusanalyysissä selvitetään sähkön siirtotoiminnasta aiheutuneet vuotuiset kustannukset ja kohdistetaan ne aiheuttamisperiaatteen mukaisesti eri siirtotariffeille sekä niiden maksukomponenteille. Tästä muodostuu aiheuttamisperiaatteen toteuttava hinnoitus, jota muokataan siten, että se toteuttaa myös muut siirtohinnoittelussa käytettävät hinnoitteluperiaatteet. Lisäksi siirtohinnoitusta voidaan muokata markkinahintojen perusteella, sekä yksinkertaisuusperiaatteen mukaisesti. Näin toimien saadaan aikaan valmis siirtohinnoitus. /20/

Suurjännitteisen jakeluverkon osalta hinnoittelu tulee toteuttaa em. periaatteiden mukaisesti, mutta määrittely todettiin niin suureksi työksi, ettei sitä voida tämän työn yhteydessä käsitellä. Hinnoittelu tullaan määrittelemään erillisenä työnä. Seuraavissa osioissa käydään kuitenkin läpi tariffiin mahdollisesti sisällytettävien komponenttien tarkoitus sekä lopulliseen siirtohinnoitukseen ja tariffirakenteeseen vaikuttavat Fingridin ja EPAn tariffit. VSV tulee käyttämään sekä Fingridin että EPAn tariffirakennetta, riippuen kulloinkin siitä kumman verkkoon VSV on kytkeytyneenä.

9.2 Tehotariffi

Suurjännitteisen jakeluverkon asiakkaila tulee olemaan käytössä pätötehon mitaus, joka mahdollistaa erillisen tehokomponentin käytön siirtotariffissa. Tehotariffia käytetään yleisesti suurten kuluttajien ja tuottajien siirtohinnoittelussa. Tehotariffi muodostuu tyypillisesti perusmaksusta, pätötehomaksusta, loistehomaksusta sekä energiamaksusta. Seuraavissa kohdissa käydään läpi tehotariffin tyypilliset komponentit. /20/

9.2.1 Perusmaksu

Sähköverkkopalveluiden ylläpitämisessä suurin osa on kustannuksia, jotka eivät riipu asiakkaiden sähkönkäytön määrästä. Verkkopalveluyhtiön on huolehdittava, että asiakkaalla on tarvittaessa sähkönsaanti varmistettu ja siksi sähköverkkoa on huollettava ja kehitettävä. Näihin seikkoihin perustuu perusmaksun määräytyminen. Perusmaksut on yleensä porrastettu liittymistehon mukaisesti, koska verkoston kustannukset ovat riippuvaisia asiakkaan huipputehosta. /17/

9.2.2 Pätötehomaksu

Tehomaksu on perinteisesti käytössä suurilla sähkön kuluttajilla tai tuottajilla. Asiakkaan tehomaksu määräytyy tyypillisesti vuoden suurimman tai suurimpien kuluttettujen huipputehojen perusteella. Tehomaksulla pyritään hillitsemään kuluttajien huipputehoja, jotka ovat merkittävin tekijä verkon mitoittamisen kannalta. /17/

Kulutuksen osalta tehomaksut on yleisesti määritelty erikseen eri vuoden- tai vuorokauden ajoille. Tällä ohjataan kulutusta ajankohtiin, jolloin kuormitus on alhaisinta.

9.2.3 Energian siirtomaksu

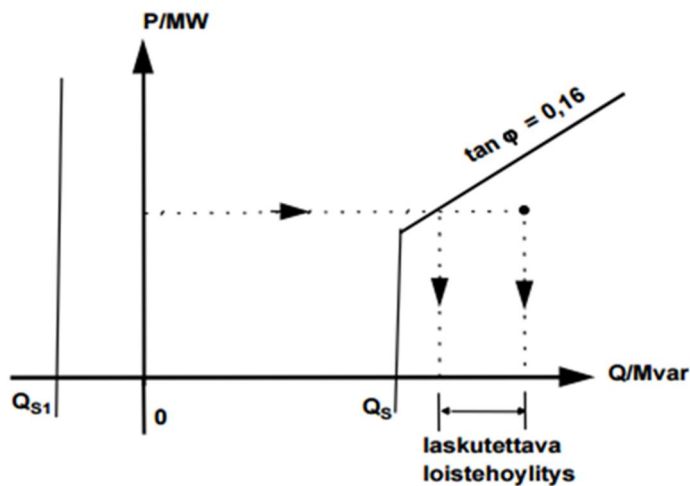
Asiakkaalta peritään yleisesti kuluttamastaan energiasta siirtomaksu. Energiamaksulla pyritään kattamaan jakeluverkkoyhtiön siirtämän sähköenergian määrästä riippuvia kustannuksia, joita ovat häviökustannukset ja kantaverkkoyhtiön perimät siirtomaksut. Energiamaksut kannustavat myös osaltaan energiansäästöön. /17/

9.2.4 Loistehomaksu

Loisteho on tekninen tekijä, jonka taloudellisella ohjauksella pyritään käyttötekniikan ja verkon siirtokyvyn kannalta järkevään toimintatapaan. Kulutuksen osalta tuotettu loisteho pyritään kompensoimaan kulutusasteessa. Tuotannon osalta pyritään käyttämään hyödyksi loistehon säätökykyä voimajärjestelmän jännitetasapainon kannalta. Fingrid onkin asettanut loistehon säätövaatimukset yli 10 MVA:n tuotantolaitoksille. Niiden on kyettävä säätämään liittymispisteen jännitettä tarpeen mukaan loistehokapasiteettinsa avulla, kuten luvussa 5 todettiin.

Tuotanto- ja kulutusasteille määritellään loistehoikkuna, jonka sisällä toimittaessa loisteho on maksutonta. /10/

Kuvassa 40 on esitetty Fingridin käyttämä loistehoikkunan graafinen malli. Loistehoikkunan määrittelyssä käytetään Fingridin mallia.



Kuva 40. Loistehoikkunan graafinen malli /10/

Liittymispisteen loistehon ottoraja Q_s lasketaan kahdella eri kaavalla 11 ja 12, joista ottorajaksi valitaan laskennan perusteella suurempi arvo. /10/

$$Q_s = W_{otto} \times 0,16/t_k + 0,025 \times W_{tuotto}/5000, \text{ tai} \quad (11)$$

$$Q_s = W_{otto} \times 0,16/t_k + 0,1 \times S_N \quad (12)$$

, missä

$Q_s = \text{loistehon antoraja [MVar]}$

$W_{otto} = \text{liittymispisteen ottoenergia [MWh]}$

$W_{tuotto} = \text{voimalaitoksen nettotuotanto [MWh]}$

- arvo on nolla, jos enintään 10 MVA generaattori (ellei toisin sovita) tai liittymispisteessä ei ole generaattoria

$t_k = \text{huipun käyttöaika [h]}$

- 7000 h, jos prosessiteollisuutta
- 6000 h, jos muuta teollisuutta
- 5000 h, jos muuta kulutusta

$S_N = \text{liittymispisteen suurin generaattori [MVA]}$

- arvo nolla jos generaattori enintään 10 MVA (ellei toisin sovita) tai liittymispisteessä ei ole generaattoria
- $0,1 \times S_N$ voi olla enintään 30,0 MVar

Liittymispisteen loistehon antoraja Q_{s1} lasketaan kaavalla 13:

$$Q_{s1} = -0,25 \times Q_s \quad (13)$$

, missä

$Q_{s1} = \text{loistehon antoraja [MVar]}$

Jotta generaattoreiden loistehoreservit tukisivat tarkoituksenmukaisella tavalla verkon jännitettä, tuotantoliittymispisteessä ei peritä loissähkötaksua Q_{s1} -arvoa suuremmasta loissähkön verkkoon syötöstä, ellei loissähkön syöttö ole pysyväisluonteista. Pysyväisluonteiseksi katsotaan yli 30 tunnin loistehotuotanto kalenterikaudessa. /10/

Tuotantolaitoksen loistehoikkunan laskennassa ei huomioida omakäyttöön käytettyä energiaa. /10/

9.3 Fingridin kantaverkkomaksut

Fingrid perii kantaverkkopalvelusta kulutusmaksun, kantaverkosta ottomaksun ja kantaverkkoon antomaksun. Kuvassa 41 on esitetty kantaverkkopalvelun hintarakenne vuodelle 2015. Talviajalla tarkoitetaan ajanjaksoja 1.1.–31.3. ja 1.11.–31.12. /16/



Kuva 41. Fingridin kantaverkkopalvelun hintarakenne /16/

VSV tulee noudattamaan Fingridin tariffirakennetta silloin, kun VSV on kytkeytyneenä suoraan Fingridin kantaverkkoon. Tällöin Fingridin tariffimaksujen päälle lisätään aiheuttamis- ja markkinahintaperiaatteen mukaisesti VSV:n määrittelemä siirtomaksun osuus.

9.4 EPV Alueverkko Oy:n sähkönsiirtotariffit

EPAn tariffi perustuu läpilaskutettaviin kantaverkkomaksuihin sekä verkosta otettuun tehomaksuun ja energiamaksuun. /9/. Kuvassa 42 voidaan nähdä EPAn voimassa olevat tariffimaksut. Näiden lisäksi asiakkaalta laskutetaan kohdan 9.5 mukaiset kantaverkkomaksut ns. läpilaskutuksena.

EPV Alueverkko Oy:n tariffimaksut

- Kiinteä maksu 200,00 €/asiakas/kk
- Liittymispistemaksu 800,00 €/liittymispiste/kk
- Tehomaksu suurimman kulutushuipun mukaan
 - verkkoon syöttö 110,00 €/MW/kk
 - verkosta otto 220,00 €/MW/kk
- Energiamaksu
 - verkkoon syöttö 0,00 €/MWh
 - verkosta otto 2,55 €/MWh

Kuva 42. EPAn 1.1.2015 alkaen voimassa olevat tariffimaksut /9/

VSV tulee noudattamaan EPAn tariffirakennetta silloin, kun VSV on kytkeytyneenä suoraan EPAn suurjännitteiseen jakeluverkkoon. Tällöin EPAn tariffimaksujen päälle lisätään aiheuttamis- ja markkinahintaperiaatteen mukaisesti VSV:n määrittelemä siirtomaksun osuus. Lisäksi EPA perii läpilaskuna aina Fingridin kappaleessa 9.3 esitetyt kantaverkkomaksut, jotka myös VSV:n tulee edelleen läpi laskea omilta asiakkailtaan.

10 YHTEENVETO

Aloitin työn määrittelemällä VSV-toimialueella sijaitsevan kantaverkon ja suurjännitteisen jakeluverkon. Selvitin itselleni alueen jakeluverkon ja kantaverkon rakenteen ja omistussuhteet. VSV:n omistuksessa verkosta on vain pieni osa, mutta verkkojen sijainti osuu kuitenkin potentiaalisille tuulituotantoalueille, jonka vuoksi mahdollisia halukkaita liittymiä yhtiön verkkoon saattaa tulevaisuudessa olla kuitenkin useampia. Muutamia yhteydenottoja yhtiöön onkin jo tullut tähän liittyen.

Seuraava vaihe työssä oli eri tuotantomuotojen selvittäminen. Keskityin yleisesti tahtikonevoimalaitoksissa käytettävien tahtigeneraattoreiden sähkötekniikkaan sekä hieman yleisemmällä tasolla eri tuulivoimalaitostyyppien toimintaperiaatteisiin. Tämä vaihe oli tärkeä, että ymmärtäisin paremmin Fingridin voimalaitoksille asetetut järjestelmätekniset vaatimukset (VJV2013). Selvityksessä mielenkiintoisin havainto oli uusimman tuulivoimatekniikan, eli täystehokonvertterin kautta verkkoon kytketyn tuulivoimalan hyvät jännitteen säätöominaisuudet ja laaja käyttöalue eri tuulennopeuksilla sekä kyky ajaa lyhytaikaista vikaa vasten. Tahtikonevoimalaitos olikin koulun teoriatunneilla jo paremmin tuttu. Tahtigeneraattoreiden ja konventionaalisten voimalaitosten rooli perusvoimantuotannossa tulee varmasti olemaan tulevaisuudessakin vahva ja se kykenee säätämään jännitettä ja taajuutta tehokkaasti. Tahtikonevoimalaitos on kuitenkin alttiimpi tippumaan verkosta jännitekuopassa kuin tuulivoimalaitos. Nämä kaksi sähköön tuotantotekniikkaa tukevat mielestäni toisiaan hyvin silloin kun molemmat ovat yhtä aikaa käytössä.

Seuraava vaihe oli tutustua Fingridin laatimiin järjestelmäteknisiin vaatimuksiin. Vaatimusten ymmärtäminen oli paljon helpompaa, kun olin käynyt läpi tuotantomuotojen teoriaa. Vaatimuksista kävi selväksi Fingridin vastuu voimajärjestelmän tehotasapainon hallinnasta. Fingrid asettaa suuremmille tuotantolaitoksille vaatimukset jännitteen-, taajuuden-, ja pätötehon säädön suhteen. Lisäksi voimalaitoksilla tulee olla kyky pysyä tuotannossa melko hankalissakin poikkeustilanteissa.

Järjestelmäteknisten vaatimusten käsittelyn ja ymmärtämisen jälkeen siirryin laatimaan ohjeistusta liittymisestä VSV:n suurjännitteiseen jakeluverkkoon. Työssä

käytin apuna edellä mainittuja opittuja asioita, sekä liittymistä varten laadittuja yleisiä ehtoja ja standardeja. Ensin laadin yleiset tekniset vaatimukset VSV-toimialueella. Seuraavaksi määrittelin liittymismaksun määräytymisen periaatteet, jossa noudattelin hyvin pitkälle EPA:n määrittelemää laskentatapaa. Selvitin myös liittymisprosessin eri vaiheet aina ensimmäisestä yhteydenotosta käyttöönottoon asti.

Käsittelin työssä myös siirtotariffin muodostamisen periaatteet suurjännitteiseen jakeluverkkoon sekä loistehoikkunan määrittelytavan.

Ohjeistuksen toteutus onnistui mielestäni hyvin. Työn alkuperäinen etenemissuunnitelma toteutui lähes täysin. Ohjeistus voidaan ottaa sellaisenaan käyttöön ja asettaa VSV:n verkkosivuille antamaan asiakkaille yksityiskohtaista tietoa verkkoon liittämisen vaatimuksista ja periaatteista. Ohjeistuksien laatimisessa on käytetty runsaasti luotettavia lähteitä ja se perustuu hyvin pitkälti alan vaatimuksiin, ehtoihin sekä standardeihin, jonka vuoksi työn tuloksia voidaan pitää luotettavina.

Selvitettäväksi jäi vielä VSV:n osuus siirtotariffien hintarakenteessa. Tämä tullaan toteuttamaan erillisenä työnä. Tässä työssä todettiin, että hinnoittelu tulee toteuttaa aiheuttamis- ja markkinahintaperiaatteen mukaisesti noudattaen Fingridin ja EPAn tariffirakennetta, riippuen siitä kumman verkkoon kussakin tapauksessa ollaan kytkeytyneenä.

LÄHTEET

- /1/ ABB Oy. Turbine concepts. Verkkosivut. Viitattu 17.9.2015. <http://new.abb.com/windpower-old/expertise/turbine-concepts>
- /2/ Ackermann T. 2005. Wind Power in Power Systems. England. John Wiley & Sons Ltd. 690 sivua.
- /3/ Elovaara J & Haarala L. 2011. Sähköverkot I. Järjestelmäteknikka ja sähköverkon laskenta. 1. painos. Otatieto. 520 sivua.
- /4/ Elovaara J & Laiho Y. 1999. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. painos. Otatieto. 487 sivua.
- /5/ Energiateollisuus ry. Alueverkon liittämisehdot ALE2006. Verkkodokumentti. Viitattu 5.10.2015. <http://alueverkko.c2epv.fi/wp-content/uploads/sites/3/ALE-2006-alueverkon-liittämisehdot.pdf>
- /6/ Energiateollisuus ry. Alueverkon verkkopalveluehdot (AVPE2006). Viitattu 15.10.2015. <http://alueverkko.c2epv.fi/wp-content/uploads/sites/3/AVPE-2006-Alueverkon-verkkopalveluehdot.pdf>
- /7/ Energiateollisuus ry. Ohje verkon suunnittelijoille tuotannon liittämisestä. Verkkodokumentti. Viitattu 17.9.2015. http://energia.fi/sites/default/files/ohje_verkon_suunnittelun_tueksi.pdf
- /8/ Energiavirasto. Sähkön siirtohintatariffien kehitys. Verkkodokumentti. Viitattu 22.10.2015. https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkon_siirtohintatariffienkehitys2013.pdf/49f73b2d-f227-473f-b510-fb77a76f18e4
- /9/ EPV Alueverkko Oy:n verkkosivut. Viitattu 2.9.2015. <http://www.epa.fi/>
- /10/ Fingrid Oy. Loissähkön toimituksen ja loistehoreservin ylläpito. Verkkodokumentti. Viitattu 22.10.2015. <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Liite%204%20Loiss%C3%A4hk%C3%B6n%20sovel-lusohje.pdf>
- /11/ Fingrid Oyj. Järjestelmätekniset vaatimukset VJV 2013. Verkkodokumentti. Viitattu 2.9.2015. <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittymisen/2013/Voimalaitosten%20j%C3%A4rjestelm%C3%A4tekniset%20vaatimukset%20VJV2013.pdf>
- /12/ Fingrid Oyj. Kantaverkkoon liittämisen periaatteet. Verkkodokumentti. Viitattu 5.10.2015. http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Kantaverkkopalvelut/Liittymisen_periaatteet.pdf

- /13/ Fingrid Oyj. VJV-tukidokumentti. Verkkodokumentti. Viitattu 29.10.2015. http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/2014/VJV2013_tuki-dokumentti.pdf
- /14/ Fingrid Oyj. Voimajärjestelmän suunnittelu. 110 kV sähkönlaatu. Verkkodokumentti. Viitattu 15.10.2015. http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/110%20kV_verkon_sahkonlaatu.pdf
- /15/ Fingrid Oyj. Yleiset liittymisehdot YLE2013. Verkkodokumentti. Viitattu 5.10.2015. <http://www.fingrid.fi/fi/asiakkaat/asiakasliitteet/Liittyminen/VAHVIS-TETTU%20-%20Fingrid%20Oyj%20yleiset%20liittymisehdot%20YLE2013.pdf>
- /16/ Fingrid Oyj:n verkkosivut. Viitattu 2.9.2015. <http://www.fingrid.fi>
- /17/ Haapaniemi J. 2014. Siirtohinnoittelun kehittäminen etäluettavilta mittareilta saatavan datan avulla sähkönjakeluyhtiö Mäntsälän Sähkö Oy:lle. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. 142 sivua.
- /18/ Khaligh A. 2010. Energy harvesting – Solar, Wind and Ocean Energy Conversion systems. CRC Press. Taylor & Francis Group. 350 sivua.
- /19/ L588/2013. Sähkömarkkinalaki 3 §, 20 §, 31 §. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. Viitattu 31.8.2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- /20/ Lummi K. 2013. Sähkön siirtohinnoittelu ja kuormitusmallien käyttö tariffisuunnittelussa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. 75 sivua.
- /21/ Mäkinen A. 2009. Wind power in power systems. Verkkodokumentti. Viitattu 17.9.2015. <http://webhotel2.tut.fi/units/set/opetus/kurssit/Wind/Seminaarit/luku19.pdf>
- /22/ Mäkinen O, tekniikan lisensiaatti, yliopettaja. Vaasan ammattikorkeakoulu. Haastattelut ja sähköpostikeskustelut 1.9.2015 – 30.10.2015.
- /23/ Polarmit. Energiamittauslaitteiston suunnitteluohje 110/20kV sähköasemat. Verkkodokumentti. Viitattu 10.1.2015. http://www.polarmit.fi/assets/site/files/apua_sahkomittauksiin/Mittausohje_Sahkoasemat_2012.pdf
- /24/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS3381 Vaihtosähköenergian mittaus. Mittauslaitteistot. 3. painos. SESKO ry. 10 sivua.
- /25/ Suomen standardisoimisliitto SFS. SFS-EN 50160 Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. 4. painos. SESKO ry. 63 sivua.
- /26/ Suomen tuulivoimayhdistyksen verkkosivut. Viitattu 31.8.2015. <http://www.tuulivoimatieto.fi>
- /27/ Vaasan Sähkö Oy / tytäryhtiöt. Vaasan Sähkö Oy:n yritysesitysmateriaali 2015. Viitattu 31.8.2015.

/28/ Vaasan Sähköverkko Oy:n yritystietoja 2014. Vaasan Sähkö Oy:n verkkosivut. Viitattu 31.8.2015. <http://www.vaasansahko.fi/FI/Sisalto/Pages/Vaasan-S%C3%A4hk%C3%B6verkko.aspx>

/29/ Verkkonen V. 2014. Vaasan Ammattikorkeakoulun luentomateriaali. Sähkömoottorikäytöt osa 3 Tahtikoneet.

/30/ VTT. Taajuusmuuttajien rakenne, mitoitus ja säätö generaattorikäytössä. Verkkodokumentti. Viitattu 20.9.2015. <http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2009/TAMU-loppuraportti.pdf>

LIITE 1. Hankekortti.



VAASAN **SÄHKÖVERKKO**
VASA **ELNÄT**

HANKEKORTTI / 110 KV liittymä

| |
|---------------------------------------|
| Projektivastaava (yritys): |
| Laitteiston haltija: |
| Sijainti (kunta, osoite): |
| Yhteyshenkilö (nimi, puhelin): |
| Varahenkilö: |

| Tuotanto tai kulutusliittymä | |
|--|--------------------------|
| Hankkeen sijaintikartta ja tuotantopisteiden / kulutuspuisteen sijoittuminen (liite 1) | <input type="checkbox"/> |
| Sähköaseman tai asemien asemapiirros (liite 2) | <input type="checkbox"/> |
| Päämuuntajan koko [MVA] | |
| Arvio kulutuksen huipputehosta [MW] | |
| Suunniteltujen generaattoreiden kappalemäärä ja teho [MVA] | |
| Arvio tuotannon huipputehosta [MW] | |
| Voimalaitostyyppi (esim. tuulipuisto) | |
| Voimalaitoksen oikosulkuvirta $\leq 1,2 \times I_n$ | <input type="checkbox"/> |

| Alustava rakentamis- ja valmistumisaikataulu | ALOITUS - VALMIS |
|--|------------------|
| Yleisinfran rakentaminen | |
| Sähköaseman rakentaminen | |
| Sähköverkkoliittymän oltava valmis | |
| Sähköntuotanto tai kulutus alkaa | |
| | |
| | |

Liite 1; Hankkeen sijoittumiskartta ja tuotanto-/ kulutuspuisteen

Liite 2; Hankkeen sähköasemien alustava sijoittuminen

Muuta huomioitavaa:

| |
|--|
| |
|--|

LIITE 2. Teholuokan 1 voimalaitoksesta suunnitteluvaiheessa toimitettavat tiedot.

| |
|---|
| 1 Voimalaitoksen rakenne ja sijainti |
| 1.1 1-vaiheinen sähköpääkaavio (single line diagram) |
| 1.2 Rakenne |
| Voimalaitoksen tyyppi (esim. tuulivoima, aurinkovoima, biomassa, kaasutus) |
| Perustiedot (esim. tuulivoimalaitoksesta tornin korkeus, roottorin halkaisija, suuntaajakäyttö yms.) |
| 1.3 Sijaintitieto (paikkakunta, alue, liittymispiste, koordinaatit) |
| 2 Voimalaitoksen muuntajan/muuntajien tekniset tiedot: |
| 2.1 Voimalaitoksen loistehokapasiteettiin vaikuttavien muuntajien lukumäärä(t) |
| 2.2 Voimalaitoksen muuntajien mitoitusarvot |
| Teho [MVA] |
| Virta [A] |
| Muutosuhde [ensio/toisio] |
| Välilotto- tai käämikytkimen säätöalue ja -askel [%,%] |
| Välilotto- tai käämikytkimen askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, asematieto] |
| 3 Voimalaitoksen voimajärjestelmätekniiset tiedot: |
| 3.1 Generaattoryksiköiden lukumäärä |
| 3.2 Generaattoryksiköiden toimittaja/toimittajat |
| 3.3 Generaattoryksiköiden tyyppi/tyypit |
| 3.4 Generaattoryksiköiden mitoitusarvot |
| Teho (näennäis) [MVA] |
| Mitoitusteho [MW] |
| Virta [A] |
| Jännite [V] |
| Taajuus [Hz] |
| Tahtikoneista sähköiset parametrit (resistanssit, reaktanssit ja niihin liittyvät aikavakiot) ks. taulukko 6.5 |
| 3.5 Tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. tuulen voimakkuus, lämpötila) |
| 3.6 Mahdollisesti käytössä olevat kompensointi- ja/tai tehokertoimen korjaamisessa käytettävät laitteet |
| Tyyppi/tyypit |
| Lukumäärä(t) |
| Mitoitusarvot (teho, virta, jännite, taajuus) |
| Mikäli hyödynnetään yliaaltojen suodatukseen, tiedot rakenteesta ja viritystaajuudesta |
| 4 Voimalaitoksen ominaisuudet: |
| Seuraavat kohdat voidaan korvata esim. valmistajan laitedokumenteilla, IEC61400-21 standardin mukaisella testausdokumentaatiolla tai muulla testausdokumentaatiolla |
| 4.1 Kuvaus loistehotuotantokapasiteetista ja generaattoreiden PQ-diagrammit |
| 4.2 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylijännitteellä |
| 4.3 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylitajuudella |
| 4.4 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia jännitehäiriöiden yhteydessä |
| 4.5 Kuvaus voimalaitoksen vikavirran syötöstä jännitehäiriön aikana |
| 4.6 Kuvaus voimalaitoksen mahdollisista säätöominaisuuksista |
| 4.7 Kuvaus voimalaitoksen vaikutuksesta sähkön laatuun |

LIITE 3. Teholuokan 1 voimalaitoksesta käyttöönoton jälkeen toimitettavat tiedot.

| |
|---|
| 1 Voimalaitoksen rakenne ja sijainti |
| 1.1 1-vaiheinen sähköpääkaavio (single line diagram) |
| 1.2 Rakenne |
| Voimalaitoksen tyyppi (esim. tuulivoima, aurinkovoima, biomass, kaasutus) |
| Perustiedot (esim. tuulivoimalaitoksesta tornin korkeus, roottorin halkaisija, suuntaajakäyttö yms.) |
| 1.3 Sijaintitieto (paikkakunta, alue, liittymispiste, koordinaatit) |
| 2 Voimalaitoksen muuntajan/muuntajien tekniset tiedot: |
| 2.1 Voimalaitoksen loistehokapasiteettiin vaikuttavien muuntajien lukumäärä(t) |
| 2.2 Voimalaitoksen muuntajien mitoitusarvot |
| Teho [MVA] |
| Virta [A] |
| Muuntosuhde [ensio/toisio] |
| Väliloito- tai käämikytkimen säätöalue ja -askel [%,%] |
| Väliloito- tai käämikytkimen askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, asematieto] |
| 3 Voimalaitoksen voimajärjestelmätekniset tiedot: |
| 3.1 Generaattoriyksiköiden lukumäärä |
| 3.2 Generaattoriyksiköiden toimittaja/toimittajat |
| 3.3 Generaattoriyksiköiden tyyppi/tyypit |
| 3.4 Generaattoriyksiköiden mitoitusarvot |
| Teho (näennäis) [MVA] |
| Mitoitus-teho [MW] |
| Virta [A] |
| Jännite [V] |
| Taajuus [Hz] |
| Tahtikoneista sähköiset parametrit (resistanssit, reaktanssit ja niihin liittyvät aikavakiot) Liite 5 |
| 3.5 Tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. tuulen voimakkuus, lämpötila) |
| 3.6 Mahdollisesti käytössä olevat kompensointi- ja/tai tehokertoimen korjaamisessa käytettävät laitteet |
| Tyyppi/tyypit |
| Lukumäärä(t) |
| Mitoitusarvot (teho, virta, jännite, taajuus) |
| Mikäli hyödynnetään yliaaltojen suodatukseen, tiedot rakenteesta ja viritystaajuudesta |
| 4 Voimalaitoksen ominaisuudet: |
| Seuraavat kohdat voidaan korvata esim. valmistajan laitedokumenteilla, IEC61400-21 standardin mukaisella testausdokumentaatiolla tai muulla testausdokumentaatiolla |
| 4.1 Kuvaus loistehotuotantokapasiteetista ja generaattoreiden PQ-diagrammit |
| 4.2 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja ylijännitteellä |
| 4.3 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia ali- ja yliaajuudella |
| 4.4 Kuvaus voimalaitoksen kyvystä toimia jännitehäiriöiden yhteydessä |
| 4.5 Kuvaus voimalaitoksen vikavirran syötöstä jännitehäiriön aikana |
| 4.6 Kuvaus voimalaitoksen mahdollisista säätöominaisuuksista |
| 4.7 Kuvaus voimalaitoksen vaikutuksesta sähkön laatuun |
| 5 Voimalaitoksen suojaustiedot: |
| 5.1 Voimalaitoksen relesuojauskaavio |
| 5.2 Voimalaitoksen lopulliset relesuojausasettelut |
| 5.3 Kuvaus saarekesuojan toimintaperiaatteesta |
| 6 Käyttööndokumentit: |
| 6.1 Käyttöönottopöytäkirjat |
| 6.2 Loistehosäädön lopulliset asetteluarvot ja toimintatila |

LIITE 4 Vaatimusten todentamisvaiheessa 1 toimitettavat tiedot.

| | |
|--------------|--|
| 1 | Voimalaitoksen vaatimusten todentamisprosessin vaiheessa 1 toimitettavat tiedot |
| 1.1 | Voimalaitoksen perustiedot, rakenne ja sijainti |
| 1.1.1 | Sähköpääkaavio (single line diagram) Voimalaitoksen keskeisimmät komponentit ja niitä yhdistävä sähköverkko Pääkaaviossa esitettyjen komponenttien ja johdinten sähköiset parametrit |
| 1.1.2 | Rakenne Voimalaitoksen tai turpiinigeneraattoreiden tyyppi (esim. tuulivoima, vesivoima, lauhdevoima) Perustiedot (esim. tuulivoimalaitoksesta tornin korkeus, rootorin halkaisija, suuntaajakäyttö yms.) |
| 1.1.3 | Sijaintitieto (paikkakunta, alue, liittymispiste, koordinaatit) |
| 1.2 | Voimalaitoksen loistehokapasiteetti |
| 1.2.1 | Loistehokapasiteetilaskelma (luku 12.2.3 tai 17.2.3) |
| 1.2.2 | Generaattoreiden PQ-diagrammit Generaattoreiden PQ-diagrammit sekä tiedot niiden jännite-taajuusriippuvuudesta |
| 1.2.3 | Muut loistehoon vaikuttavat komponentit (luku 17.2.2) Loistehoa tuottavat (esim. STATCOM) ja kuluttavat komponentit sekä niiden toiminta komponentteihin vaikuttavien suureiden (esim. jännite, pätöteho) funktiona |
| 1.3 | Voimalaitoksesta ja generaattoreista toimitettavat tekniset tiedot Tiedot on toimitettava voimalaitoksesta kokonaisuutena sekä jokaisen yksittäisen generaattorin osalta erikseen |
| 1.3.1 | Yleistiedot Turpiinigeneraattoriyksiköiden lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot |
| 1.3.2 | Dokumentaatio ja datalehdet näennäisteho [MVA], mitoitusteho [MW], maksimiteho [MW], minimiteho [MW], virta [A], jännite [V], taajuus [Hz] Yleistason kuvaus taajuuden ja pätötehoensäädön periaatteista; kuvaus säätöjärjestelmän toteutuksesta ja toiminnallisuuksista tai vaihtoehtoisesti yksityiskohtainen kuvaus voimalaitoksen säätäjistä (luku 11 tai 16) Yleistason kuvaus loistehon ja jännitteensäädön periaatteista; kuvaus säätöjärjestelmän toteutuksesta ja toiminnallisuuksista tai vaihtoehtoisesti yksityiskohtainen kuvaus voimalaitoksen säätäjistä (luku 13 tai 18) Voimalaitoksen käynnistysajat minimi- ja mitoitusteholle |
| 1.3.3 | Jännite- ja taajuustoiminta-alueet (luku 10.2.1) Kuvaus toiminnasta ali- ja ylijännitteellä Kuvaus toiminnasta ali- ja ylitajuudella |
| 1.3.4 | Tiedot voimalaitoksen toiminnasta lyhytaikaisessa jännitehäiriössä (luku 10.2, 10.3 tai 10.4) Laskelma voimalaitoksen toiminnasta jännitehäiriön aikana sekä mahdolliset tehdaskokeiden raportit Kuvaus voimalaitoksen vikaviiran syötöstä jännitehäiriön aikana Kuvaus voimalaitoksen tehonpalautumisesta jännitehäiriön jälkeen |
| 1.3.5 | Kuvaus voimalaitoksen toiminnasta omakäytöllä (luku 11.2.6) Voimalaitoksen omakäyttötehon suuruus, toiminta-aika omakäytöllä, mahdolliset viiveet omakäytölle siirtymisen ja verkkoon tahdistumisen suhteen sekä omakäytölle siirtymisen rajoitteet |
| 1.3.6 | Tuotantotehon muutokset Tuotantotehon muutokset taajuus- ja jännitevaihteluiden yhteydessä Tuotantotehon riippuvuus käyttöolosuhteista (esim. lämpötila, tuulen nopeus tms.) Tuotantotehon alarajaan johtavat käyttöolosuhteet (esim. maksituulennopeuden raja-arvo) Tuotantotehon muutosnopeus, muutosnopeuden rajoittimien toiminnallisuus sekä rajoitteet |
| 1.4 | Muuntajista ja muista voimalaitoksen komponenteista toimitettavat tiedot Tiedot on toimitettava jokaisesta loistehokapasiteettiin vaikuttavasta muuntajasta sekä jokaisesta muusta voimalaitoksen komponentista erikseen. Muut komponentit ovat sellaisia laitteita, jotka vaikuttavat voimalaitoksen toimintaan Vaatimusten kannalta (esim. kompensointilaitteet, yliaaltosuodattimet, reservitehonsyöttöyksiköt tms.) |
| 1.4.1 | Yleistiedot Lukumäärä, toimittaja- ja tyyppitiedot |
| 1.4.2 | Muuntajien dokumentaatio ja datalehdet Teho [MVA], virta [A], muutosuhde [ensio/toisio], oikosulkuiмпedanssi [%], oikosulkuresistanssi [%], kytkentäryhmä ja maadoitustiedot, käämikytkimen säätöalue ja askel [%,%], käämikytkimen askeleiden määrä ja valittu askel [kpl, askel] |
| 1.4.3 | Muiden komponenttien dokumentaatio ja datalehdet Soveltuvin osin vastaavat tiedot kuin generaattoreista (kohta 1.3) ja muuntajista (kohta 1.4) sekä kaikki ne tiedot joilla on merkitystä Vaatimusten kannalta (esim. rakenne, viritystaajuus) |
| 1.5 | Mallinnustiedot Yleiset voimalaitoksen mallintamiseen vaadittavat tiedot tai simulointimallit Vaatimusten mukaisesti (luku 15 tai 20) |
| 1.6 | Entyistarkastelut Vaadittavat erityistarkastelut Vaatimuksiin liittyen (luku 4) |
| 1.7 | Reaaliaikaiset mittaustiedot Kuvaus tavasta, jolla reaaliaikaisen mittaustiedon toimittaminen Fingridille toteutetaan (luku 8) |
| 1.8 | Voimalaitosprojektin alustava aikataulu Projektin alustava aikataulu ja Vaatimuksiin liittyvien käyttöönottokokeiden suunniteltu ajankohta. Myös mahdolliset optiot projektin laajentumiselle ja jo tiedossa olevat tulevaisuuden laajennussuunnitelmat tulee ilmoittaa. |

LIITE 5 Tahtikoneista toimitettavat tiedot.

| | | |
|--------------------------------|---|---------------------|
| 1 Mitoitusarvot | | |
| 1.1 | Mitoitusjännite U_r | [kV] |
| 1.2 | Jännitealue | [p.u.] |
| 1.3 | Näennäisteho S_r | [MVA] |
| 1.4 | Mitoitusteho P_{max} | [MW] |
| 1.5 | Mitoitusvirta I_r | [A] |
| 1.6 | Mitoitustehokerroin $\cos \phi_r$ | |
| 1.7 | Mitoituspyörimisnopeus n | [1/min] |
| 1.8 | Mitoitus magnetointijännite U_e | [V] |
| 1.9 | Mitoitus magnetointivirta I_e | [A] |
| 2 Impedanssit | | |
| 2.1 | Staattoresistanssi R | [p.u.] |
| 2.2 | Pitkittäinen tahtireaktanssi X_d | [p.u.] |
| 2.3 | Pitkittäinen tahtireaktanssi X_d' (kyllästynyt) | [p.u.] |
| 2.4 | Poikittainen tahtireaktanssi X_q | [p.u.] |
| 2.5 | Pitkittäinen muutosreaktanssi X_d'' | [p.u.] |
| 2.6 | Pitkittäinen muutosreaktanssi X_d'' (kyllästynyt) | [p.u.] |
| 2.7 | Poikittainen muutosreaktanssi X_q' | [p.u.] |
| 2.8 | Pitkittäinen alkureaktanssi X_d'' | [p.u.] |
| 2.9 | Poikittainen alkureaktanssi X_q'' | [p.u.] |
| 2.10 | Staattoirin hajareaktanssi X_l | [p.u.] |
| 2.11 | Nollareaktanssi X_0 | [p.u.] |
| 2.12 | Vastareaktanssi X_2 | [p.u.] |
| 3 Aikavakiot | | |
| 3.1 | Tasakomponentin aikavakio T_a | [s] |
| 3.2 | Pitkittäinen tyhjäkäyntimuutosaikavakio T_{d0} | [s] |
| 3.3 | Poikittainen tyhjäkäyntimuutosaikavakio T_{q0}' | [s] |
| 3.4 | Pitkittäinen tyhjäkäyntialkuaikavakio T_{d0}'' | [s] |
| 3.5 | Poikittainen tyhjäkäyntialkuaikavakio T_{q0}'' | [s] |
| 3.6 | Pitkittäinen muutosaikavakio T_d' | [s] |
| 3.7 | Poikittainen muutosaikavakio T_q' | [s] |
| 3.8 | Pitkittäinen alkuaikavakio T_d'' | [s] |
| 3.9 | Poikittainen alkuaikavakio T_q'' | [s] |
| 4 Mekaaniset parametrit | | |
| 4.1 | Hitausvakio (generaattori + turpiini) H | [s] |
| 4.2 | Generaattorin hitausmomentti J_G | [kgm ²] |
| 4.3 | Kunkin turpiinin hitausmomentti $J_{t1}, J_{t2}, J_{t3}, \dots$ | [kgm ²] |
| 4.4 | Magnetointikoneen (jos käytössä) hitausmomentti J_{exc} | [kgm ²] |
| 4.5 | Edellä annettujen turpiinigeneraattorien osien väliset jousivakiot $K_{t1,t2}, K_{t2,t3}, \dots, K_{t,tG}, K_{G,exc}$ | [Nm/Rad] |

LIITE 6. Vaatimusten todentamisvaiheessa 2 toimitettavat tiedot.

| | |
|--------------|--|
| 2 | Voimalaitoksen vaatimusten todentamisprosessin vaiheessa 2 toimitettavat tiedot |
| 2.1 | Muutokset ja täsmennykset |
| | Muutokset ja täsmennykset todentamisprosessin vaiheessa 1 vaadittuihin tietoihin |
| 2.2 | Voimalaitoksen suojausasettelut ja vaikutus sähkön laatuun |
| 2.2.1 | Suojausasettelut (luku 9.1.2) |
| | Alustavat tiedot generaattoreiden ja laitostason relesuojauskaaviosta ja kuvattujen suojien primääriasetteluista. Tiedot on toimitettava suojista, jotka johtavat generaattorin/laitoksen verkosta irtoamiseen sekä suojista joiden toiminta johtaa generaattorin/laitoksen pätötehon, loistehon tai jännitteen rajoittamiseen tai automaattiseen muuttamiseen |
| 2.2.2 | Kuvaus voimalaitoksen/generaattorin vaikutuksesta sähkön laatuun (luku 9.1.3) |
| | Kuvaus voimalaitoksen verkkoonliittymisen aiheuttamasta sähkön laadun muutoksesta sekä mahdolliset tehdaskokeiden raportit |
| 2.2.3 | Kuvaus mahdollisen saarekesuojan toimintaperiaatteesta |
| | Toimintaperiaatteet sekä rajoitteet saarekekäyttöön siirryttäessä sekä poistuttaessa saarekekäytöstä |
| 2.3 | Voimalaitoksen taajuuden ja pätötehon säätö |
| 2.3.1 | Dokumentaatio ja kuvaus (luku 11 tai 16) |
| | Täsmennetty dokumentaatio, soveltuvin osin siirtofunktioitasolla(toiminnallinen, ei yksityiskohtainen), voimalaitoksen/generaattorin taajuuden ja pätötehon säätöjen toteutuksesta ja toimintaperiaatteista. |
| 2.3.2 | Säätäjien asettele |
| | Säätäjille alustavasti aseteltavat parametrit ja toimintaviiveet |
| 2.4 | Voimalaitoksen jännitteen ja loistehon säätö |
| 2.4.1 | Dokumentaatio ja kuvaus (luku 13 tai 18) |
| | Täsmennetty dokumentaatio, soveltuvin osin siirtofunktioitasolla(toiminnallinen, ei yksityiskohtainen), voimalaitoksen/generaattorin jännitteen ja loistehon säätöjen toteutuksesta ja toimintaperiaatteista. |
| 2.4.2 | Säätäjien asettele |
| | Säätäjille alustavasti aseteltavat parametrit ja toimintaviiveet |
| 2.5 | Dynaamisen toiminnan laskentaan tarvittavat tiedot |
| | Projektiikohtaiset dynaamisen toiminnan mallintamiseen tarvittavat tiedot tai laskentamallit Vaatimusten mukaisesti (luku 15 tai 20) |
| 2.6 | Käyttöönottokokeisiin liittyvät tiedot |
| 2.6.1 | Käyttöönottosuunnitelma (luku 14.3.1 tai 19.3.1) |
| | Yksityiskohtainen käyttöönottosuunnitelma mukaan lukien käyttöönottokoesuunnitelma, alustavat voimalaitostoitittajan antamat käyttöönotto-ohjeet ja kuvaus kokeiden käytännön järjestelyistä Vaatimusten todentamiseksi on toimitettava Fingridin kommentoitavaksi. |
| 2.6.2 | Käyttöönoton alustava aikataulu (luku 14.3.1 tai 19.3.1) |
| | Käyttöönoton alustava aikataulu, myöhemmät muutokset alustavaan aikatauluun tulee ilmoittaa Liittymispisteen verkkonhaltijalle ja Fingridille. |
| 2.6.3 | Mittausjärjestelyt (luku 14.3.1 tai 19.3.1) |
| | Suunnitelma Vaatimuksiin liittyvien kokeiden mittauksien toteuttamisesta. Tiedot sekä kiinteästi asennettavista että vain käyttöönottokokeiden aikana käytössä olevista mittalaitteista |

LIITE 7. Vaatimusten todentamisvaiheessa 4 toimitettavat tiedot.

| | |
|-----|---|
| 3 | Voimalaitoksen vaatimusten todentamisprosessin vaiheessa 4 toimitettavat tiedot |
| 3.1 | Muutokset ja täsmennykset Muutokset ja täsmennykset todentamisprosessin vaiheissa 1 & 2 vaadittuihin tietoihin |
| 3.2 | Käyttöönottokokeiden tulokset Vaatimuksiin liittyvien kokeiden käyttöönottoraportti ja sekä käyttöönottokokeiden keskeiset tulokset numeerisessa muodossa Vaatimusten mukaisesti (luku 14.3.3 tai 19.3.3) |
| 3.3 | Todennetut mallinnustiedot Validoidut dynaamisen toiminnan mallintamiseen tarvittavat tiedot tai laskenmallit (luku 15 tai 20) |
| 3.4 | Säätäjien lopulliset asetteluarvot Voimalaitoksen/generaattoreiden pätötehon ja taajuuden säätäjien sekä loistehon ja jännitteen säätäjien lopulliset asetteluarvot |
| 3.5 | Suojauksen lopulliset asetteluarvot Voimalaitoksen/generaattoreiden ja voimalaitosliittynän suojauksen lopulliset asetteluarvot |