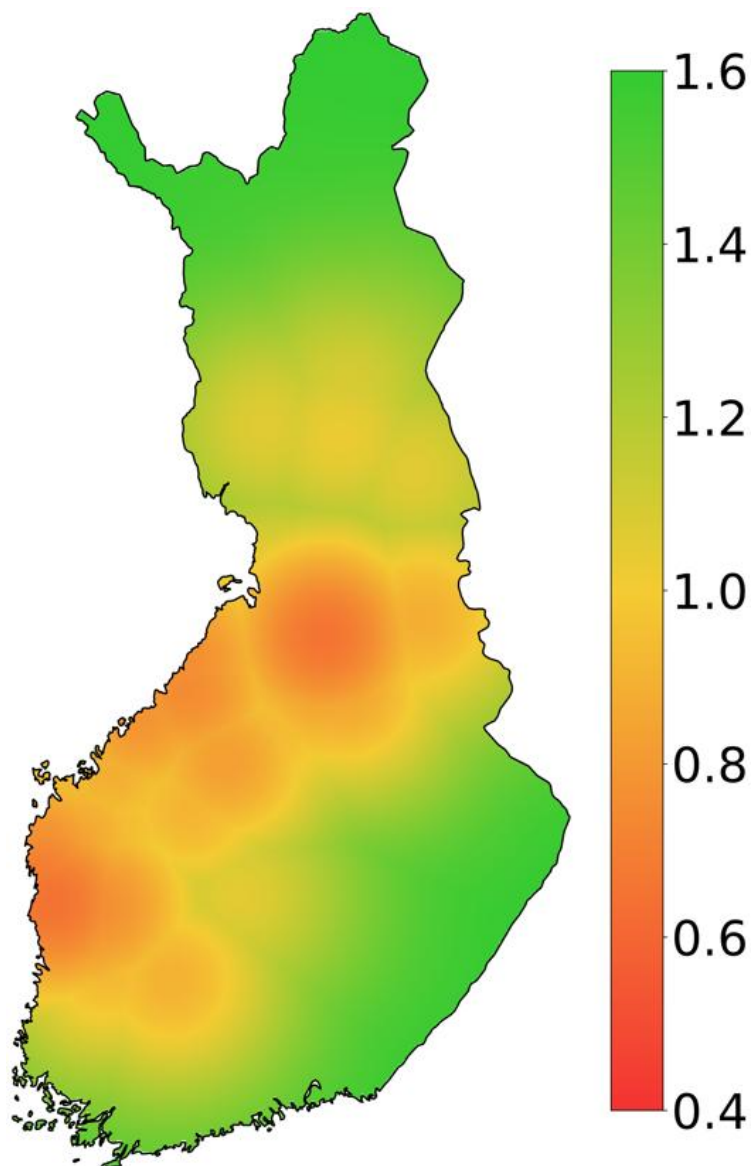




16.10.2026

Erityistarkasteluvaatimukset Suomen sähköjärjestelmän suuntaajavaltaisille alueille liittyville suuntaajakytketyille voimalaitoksille

Uudet vaatimukset ja niiden käyttöönotto

Webinaari 16.10.2026

FINGRID

QA osion kysymysten vastaukset esityksen lopussa

Sisältö

- Vaatimusten tekninen tausta
- Vaatimusten esittely
- Huomioita vaatimusten soveltamisesta

Linkki
vaatimus-
dokumenttiin



Linkki
tekniseen
tausta-
dokumenttiin
("white paper")



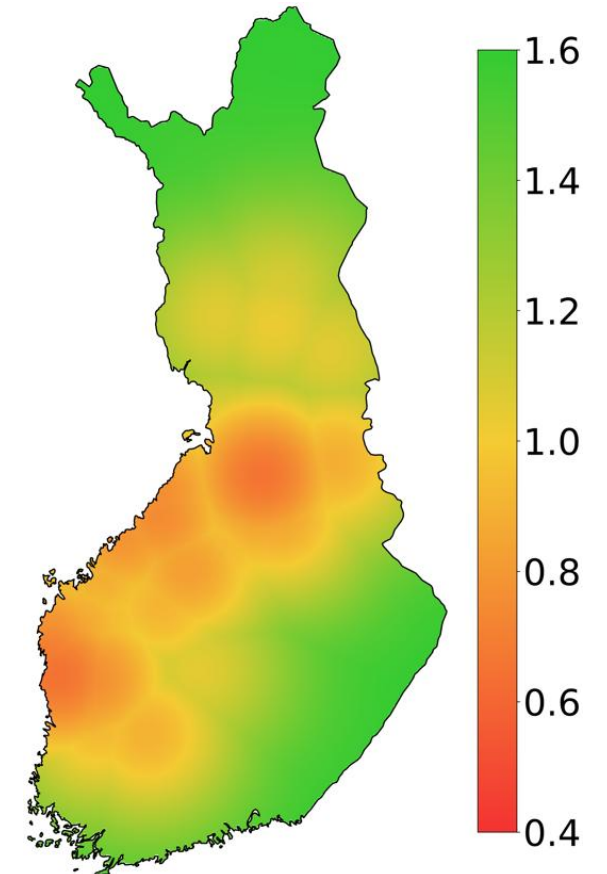
Vaatimusten voimaanastuminen ja sovellusala

- Tässä esityksessä kuvatut erityistarkasteluvaatimukset astuvat voimaan **9.10.2026** ja koskevat tämän jälkeen allekirjoitettuja **uusia** liittymissopimuksia
- Vaatimukset koskevat kaikkia Suomen sähköjärjestelmään liitettyjä suuntaajakytkettyjä voimalaitoksia, joille Fingridin toimittama **ESCR-arvo on 1,0 tai pienempi**.
 - Käytännössä ESCR-arvo on näin alhainen vain erittäin suuntaajavaltaisissa verkon osissa eli alueilla, joilla on jo runsaasti tuulivoimaa.

Linkki
vaatimus-
dokumenttiin



Linkki
tekniseen
tausta-
dokumenttiin
("white paper")



FINGRID

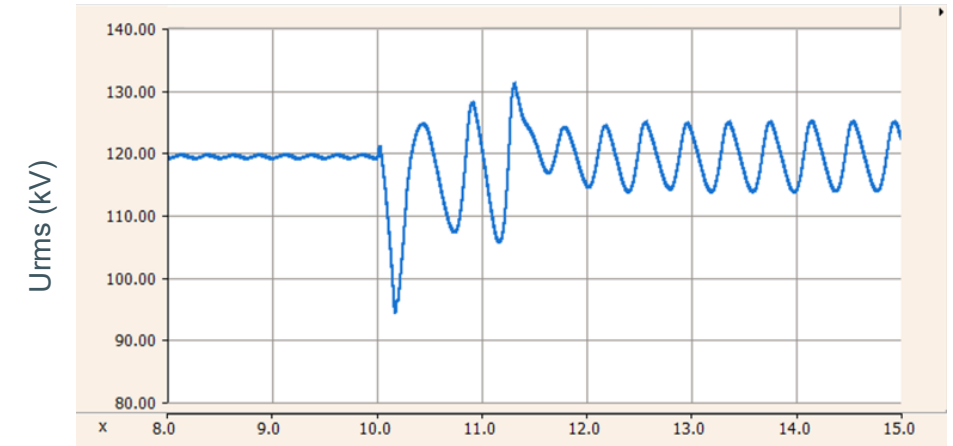
An aerial night view of Helsinki, Finland, showing a dense urban landscape with illuminated buildings, a large Ferris wheel, and a church with a prominent spire. The text is overlaid in the center of the image.

Vaatimusten tekninen tausta: Miksi lisälaitteita tarvitaan?

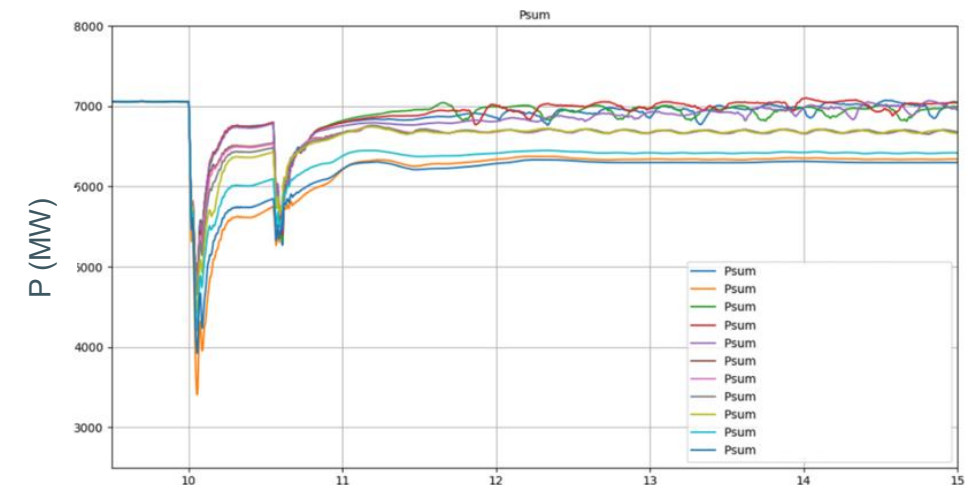
Epästabiili toiminta näkyy jänniteheiluntolina ja laitosten irtoamisena verkkohäiriöissä

- Kaikki nykyiset tuuli- ja aurinkovoimalaitosten suuntaajat ovat nk. verkkoa seuraavia suuntaajia (Grid following, GFL). Niiden kyky pysyä kytkeytyneenä verkkoon ja syöttää sinne hallitusti pätö- ja loistehoa edellyttää, että verkkoon on kytkeytynyt myös riittävä määrä verkon jännite- ja kulmajäykkyyttä itsenäisesti ylläpitäviä ”verkkoa luovia” resursseja, kuten tahtikoneita tai verkkoa luovia suuntaajia (Grid forming, GFM), kuten sähkövarastoja.
- Jos verkkoa seuraavien suuntaajien osuus on merkittävästi verkkoa luovia laitteistoja isompi (GFL/GFM-suhde $> n.65\%$) – eli verkonosa on ”suuntaajavaltainen” – verkkoa seuraavat suuntaajakytketyt voimalaitokset saattavat aiheuttaa vaimentumattomia tai heikosti vaimenevia suuntaajalähtöisiä jänniteheilahteluita (engl. Converter-driven oscillations).
- Lisäksi suuntaajakytkettyjen voimalaitosten lähivikakestoisuuden (engl. fault ride-through capability) on havaittu olevan heikko suuntaajavaltaisilla alueilla.
 - Suuntaajakytkettyjen voimalaitosten on havaittu aiheuttavan kolmivaiheisissa oikosuluissa merkittäviä ylijännitteitä verkkoon ja voimalaitosten suuntaajien DC-välipiiriin.
 - Ylijännitteet aiheutuvat voimalaitosten säätöpiirien epästabiilista käyttäytymisestä ja aiheuttavat tietyissä tilanteissa riskin voimalaitosten laajamittaisille irtoamisille.

a) Suuntaajalähtöiset jänniteheilunnat



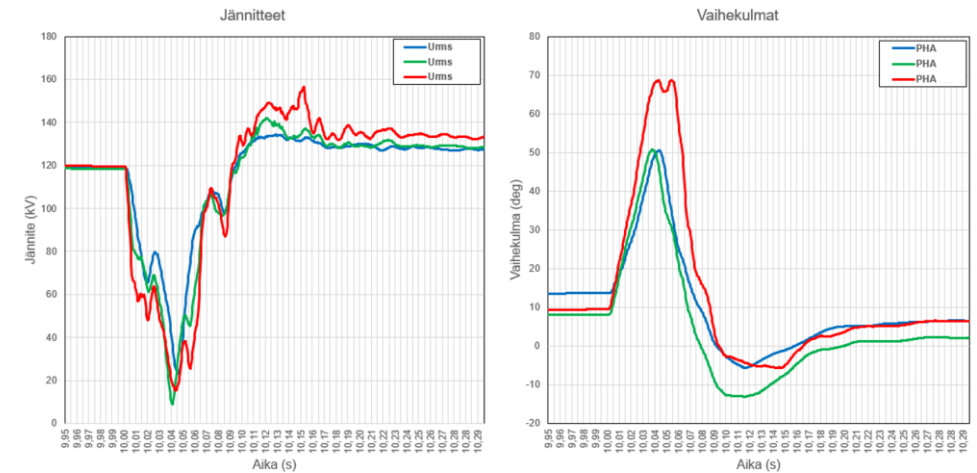
b) Tuulivoimatehon palautuminen verkkoviasta



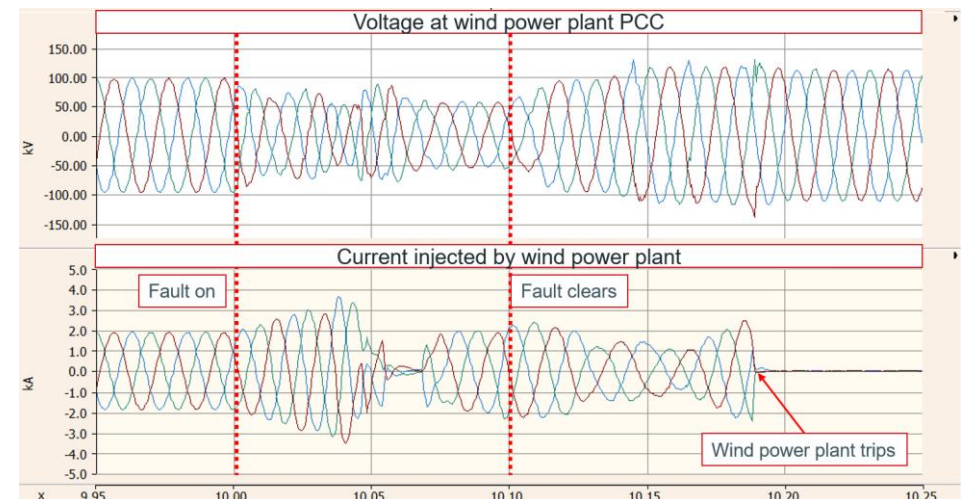
Voiko ongelmat ratkaista nykyisten suuntaajien asetteluilla optimoimalla?

- Yhteistyössä laitevalmistajien kanssa toteutetulla säätöparametrien optimoinnilla on pystytty merkittävästi vähentämään suuntaajalähtöisten jänniteheilahtelujen riskiä ja parantamaan voimalaitosten toimintaa verkkovikojen yhteydessä.
- Verkkojännitteen **riittävän jännite- ja kulmajäykkyuden varmistaminen** on kuitenkin erityisen haastavaa suuntaajavaltaisilla alueilla, joilla verkkoa luovien laitteistojen osuus on vähäinen. Käytännössä riittävää suorituskyykyä ei voida saavuttaa pelkästään säätöparametreja optimoimalla.
- VJV2024:n mukainen jännitteensäädön nopea alkuvaste pienentää jänniteheilahteluiden riskiä, mutta ei paranna riittävästi kulmajäykkyyttä.

a) Verkkojännite ja jännitteen vaihekulma verkkovian yhteydessä kolmessa eri kantaverkon 110 kV kiskostossa



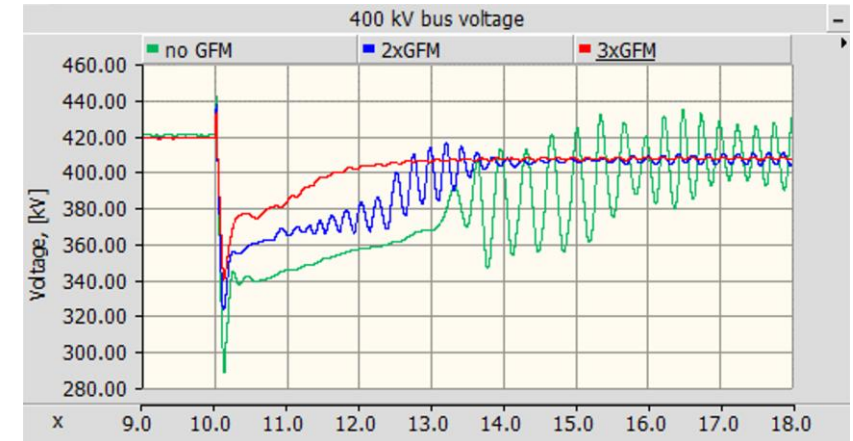
b) Tuulipuiston vaste verkkoviassa



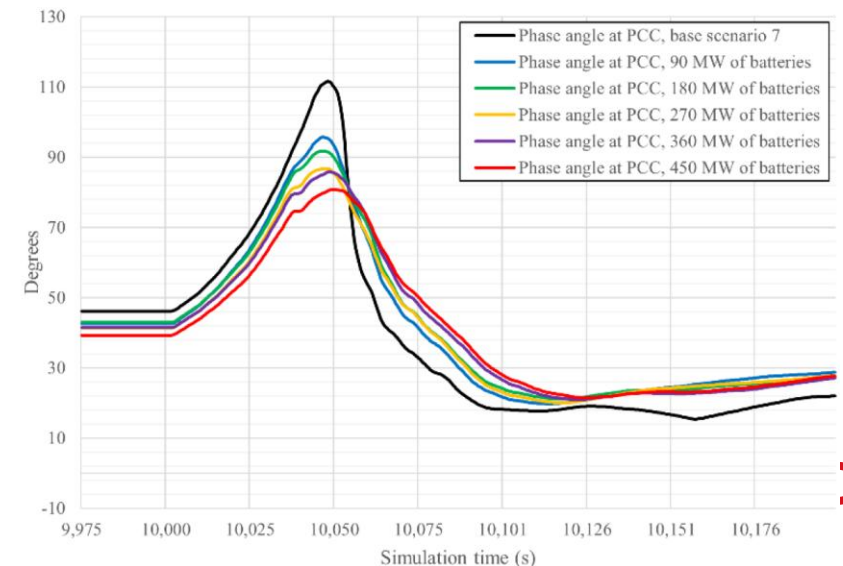
Miksi suuntaajiin toteutettu verkkoa luova säätö auttaa?

- Fingridin tekemien teknisten analyysien perusteella oikein toteutetulla suuntaajien verkkoa luovalla säädöllä on luonnostaan kyvykkyys estää edellä kuvattuja ongelmia.
- Verkkoa luova laitteisto pyrkii vastustamaan jänniteosoittimen muutoksia vastaamalla verkon jännitteen kulmamuutokseen lähes välittömällä pätötehovasteella sekä verkon jännitteen amplitudimuutokseen lähes välittömällä loistehovasteella.
- **Jännitteen amplitudijäykkyyden** eli jännitteen amplitudimuutoksia vastustavan loistehovasteen on analyyseissä havaittu olevan keskeistä suuntaajalähtöisten jänniteheiluntojen vaimentamiseksi.
- **Jännitteen kulmajäykkyyden** eli kulmamuutoksia vastustavan pätötehovasteen on puolestaan havaittu olevan keskeistä suuntaajakytketyn voimalaitoksen lähivikakestoisuuden varmistamiseksi suuntaajavaltaisilla alueilla.

a) Verkkoa luovien sähkövarastojen vaikutus jänniteheiluntoihin



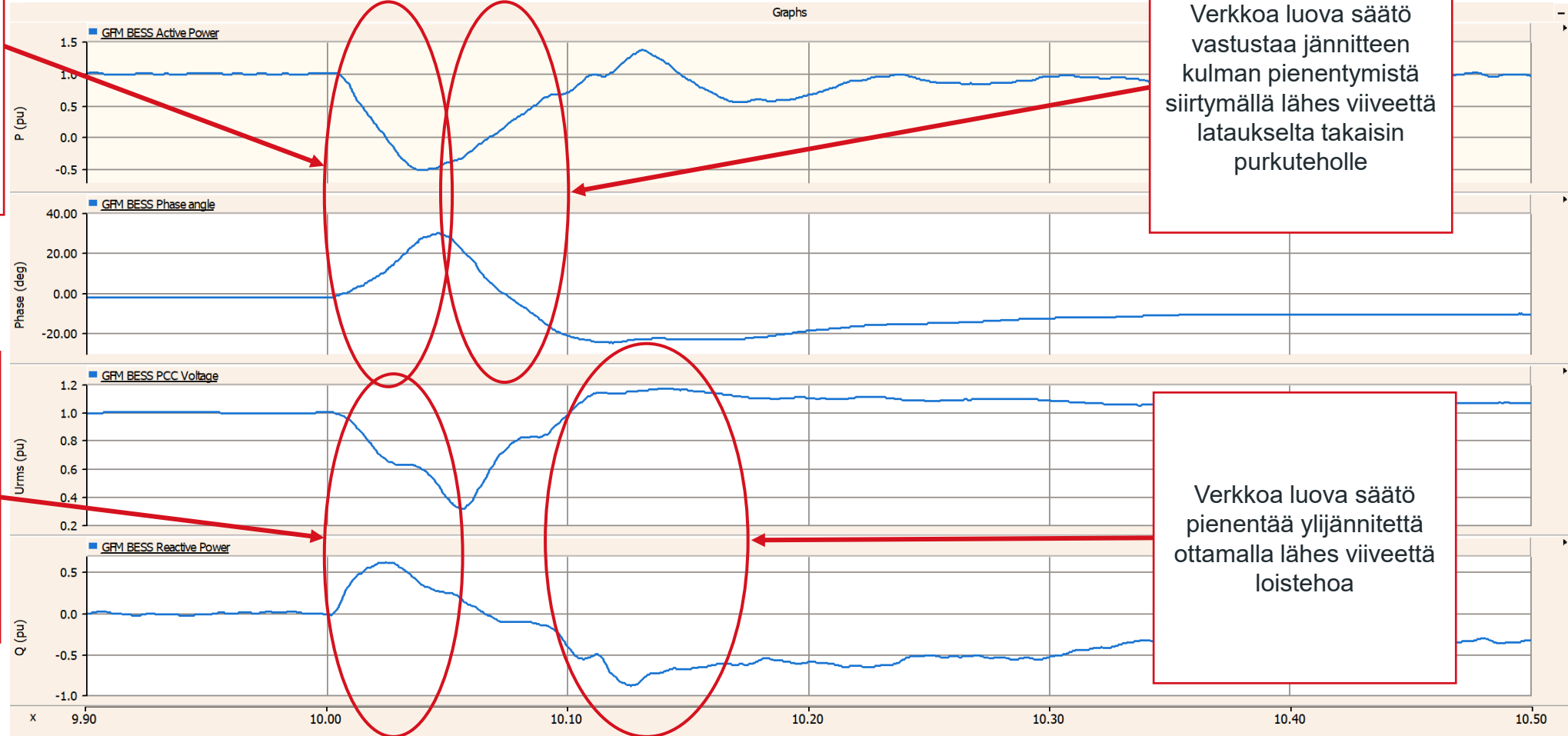
b) Verkkoa luovien sähkövarastojen vaikutus kulmajäykkyyteen ja tuulipuistojen lähivikakyvykkyteen verkkoviassa



Verkkoa luovan sähkövaraston vaste verkkoviassa

Verkkoa luova säätö vastustaa jännitteen kulman kasvua siirtymällä lähes viiveettä täydeltä purkuteholta lataukselle

Verkkoa luova säätö tukee jännitekuopan aikana syöttämällä lähes viiveettä loistehoa/virtaa verkkoon

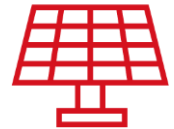


Verkkoa luova säätö vastustaa jännitteen kulman pienentymistä siirtymällä lähes viiveettä lataukselta takaisin purkuteholle

Verkkoa luova säätö pienentää ylijännitettä ottamalla lähes viiveettä loistehoa

Miten suuntaajakytketyn voimalaitoksen stabiili toiminta voidaan varmistaa?

- Suuntaajakytketyn voimalaitoksen stabiili toiminta on **ehdoton edellytys** Fingridin järjestelmätekniisten vaatimusten täyttymiselle ja siten suuntaajakytketyn voimalaitoksen verkkoon liittämiselle
- Stabiilin toiminnan varmistava riittävä jännite- ja kulmajäykkyys on mahdollista toteuttaa joko
 - 1) suuntaajakytketyn voimalaitoksen suuntaajiin toteutetun verkkoa luovan säädön avulla
 - 2) suuntaajakytketyn voimalaitoksen liittymispisteen läheisyyteen liitettävällä erillisellä verkkoa luovalla lisälaitteistolla, jollaisia ovat
 - sähkövarasto,
 - energiavarastolla varustetulla STATCOM-laitteistolla (ES-STATCOM, energy-storage-equipped static synchronous compensator)
 - tahtikone, kuten synkronikompensaattori.



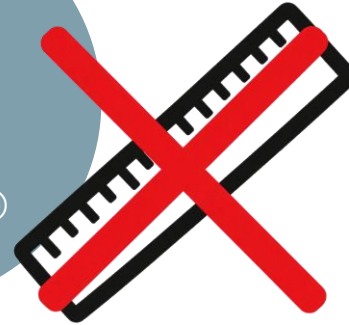
Ekvivalenttinen oikosulkusuhte (ESCR)

- Perinteinen oikosulkusuhte, SCR (Short-circuit ratio), tarkastelee yksittäisen voimalaitoksen vaikutusta verkon oikosulkutehoon. Erittäin suuntaajavaltaisenkin alueen sähköverkko vaikuttaa tällöin tyypillisesti ”vahvalta” (eli SCR saa korkean arvon).
- Ekvivalenttinen oikosulkusuhte, ESCR (Equivalent short-circuit ratio), huomioi samalla alueella sähköverkkoon liitettyjen suuntaajakytkettyjen voimalaitosten ja sähkövarastojen vaikutuksen suuntaajakytketyn voimalaitoksen kokemaan verkon ”vahvuuteen”. Suuntaajavaltaisella alueella muiden verkkoa seuraavien suuntaajien määrä on tahtikoneiden määrään verrattuna suuri, mikä pienentää alueen voimalaitoksille laskettua ESCR-arvoa.
- ESCR-arvon ollessa matala eli alle 2 kasvaa riski suuntaajien ohjausjärjestelmien keskinäisestä vuorovaikutuksesta aiheutuvia ongelmille, joita kutsutaan suuntaajalähtöiseksi epästabiiliudeksi. Tällaisia ovat mm. jänniteheilahtelut. Myös laitosten käyttäytyminen jännitehäiriöistä palautuessa alkaa heikentyä.
- Liittyjän tulee huomioida verkon suuntaajavaltaisuus voimalaitoksensa suunnittelussa ja varmistaa laitoksen stabiili toiminta (VJV2024, luku 18.2.1).
- Fingrid on toimittanut liittyjille ESCR-arvoja vuodesta 2023 alkaen. Arvot toimitetaan liittyjälle VJV2024:n vaiheessa ”0” vikavirtatietojen ohessa.

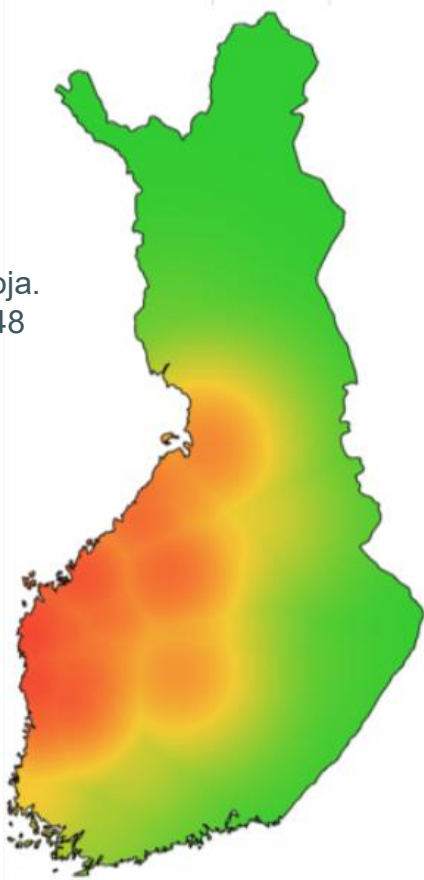
Fingrid on julkaissut ESCR-metodista erillisen teknisen taustajulkaisun vuonna 2023: [Utilizing Equivalent Short-Circuit Ratio \(ESCR\) approach for assessing the slow converter driven stability and tuning the voltage controllers](#)

ESCR-tilannekuva v. 2029 eri oletuksilla GFM-sähkövarastojen määrästä

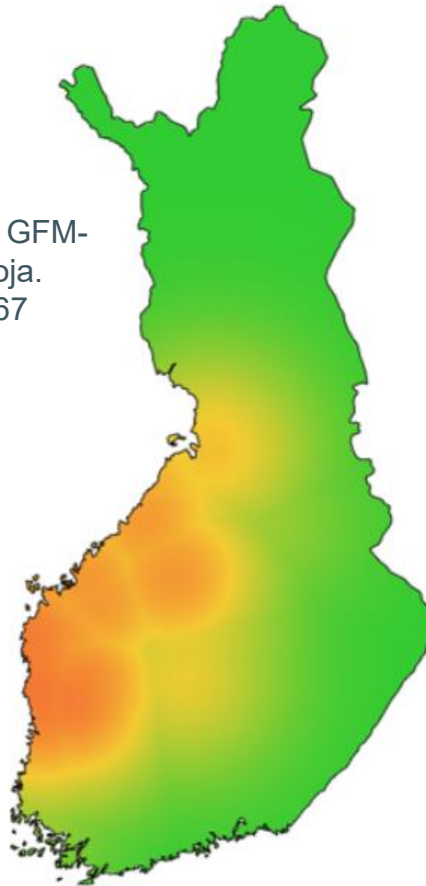
Kuvat ovat
alueellisesti
suuntaa-
antavia.
Älä mittaa 😊



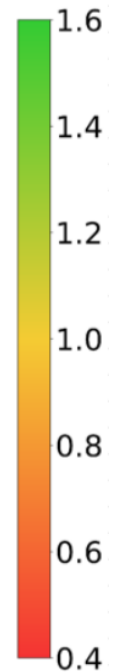
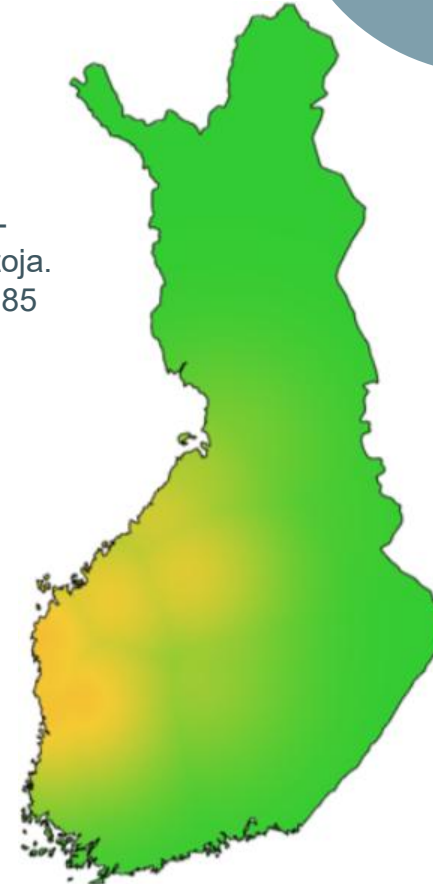
Ei GFM-
sähkövarastoja.
 $ESCR_{MIN}=0,48$



Melko paljon GFM-
sähkövarastoja.
 $ESCR_{MIN}=0,67$



Paljon GFM-
sähkövarastoja.
 $ESCR_{MIN}=0,85$



GFM-sähkövarastojen määrä kasvaa

FINGRID

An aerial night view of Helsinki, Finland, showing a mix of historic and modern architecture. In the foreground, a historic building with a prominent dome and ornate facade is visible. The middle ground is filled with a dense urban landscape, including a large green park area. In the background, a large Ferris wheel and other city lights are visible against the dark sky.

Vaatimusten esittely

FINGRID

Vaatus verkoa luovasta säädöstä

- Uusi erityistarkasteluvaatus suuntaajavaltaiselle alueelle liitettävälle suuntaajakytketyille voimalaitoksille:

*Suuntaajakytketyltä voimalaitokselta vaaditaan kyvykkyyttä verkoa luovaan säätöön joko voimalaitoksen oman säädön tai lisälaitteiston tuottamana, mikäli Fingridin voimalaitokselle toimittama **ESCR-arvo alittaa arvon 1,0**.*

Verkkoa luovan lisälaitteiston vähimmäismitoitus määräytyy voimalaitokselle toimitetun ESCR-arvon suuruuden perusteella. Eri lisälaitteiden mitoitus on esitetty Taulukossa 1. Liittyjä valitsee lisälaitteiston tyyppin.

ESCR	Sähkö- varasto (P/Pmax)	ES-STATCOM (P/Pmax), 200 ms	Tahtikone (S''k/Pmax)
ESCR ≥ 1.0	-	-	-
0.9 ≤ ESCR < 1.0	±10 %	±7 %	33 %
0.7 ≤ ESCR < 0.9	±20 %	±13 %	66 %
ESCR < 0.7	±30 %	±20 %	100 %

Taulukko 1. Pmax on liitettävän suuntaajakytketyn voimalaitoksen mitoitusteho.

Vaatimus verkkoa luovasta säädöstä

- Sähkövarastoilla mitoitusarvo perustuu sähkövaraston pätötehoon suhteessa liitettävän suuntaajakytketyn voimalaitoksen mitoitustehoon (P_{max}).
- Vastaavasti energiavarastollisella STATCOMilla eli ES-STATCOMilla mitoitusarvo perustuu ES-STATCOMin energiavaraston pätötehoon suhteessa liitettävän suuntaajakytketyn voimalaitoksen mitoitustehoon.
- Tahtikoneella mitoitusarvo perustuu tahtikoneen alkuoikosulkutehoon (S''_k) suhteessa liitettävän suuntaajakytketyn voimalaitoksen mitoitustehoon.
- Verkkoa luovan lisälaitteiston tulee olla kytkettynä verkkoon ja kyetä toimimaan Taulukon 1 mukaisten mitoitusarvojen puitteissa, kun **voimalaitoksen teho ylittää 50 %** voimalaitoksen mitoitustehosta. Keskeytys-, vika- tai muussa poikkeuksellisessa tilanteessa Fingridillä on oikeus pyytää lisälaitteisto verkkoon, mikäli voimalaitoksen stabiili toiminta alle 50 % teholla edellyttää lisälaitteiston käyttöä. Lisälaitteiston rakentaminen ja käyttöönotto tulee ajoittaa siten, että se on käytettävissä voimalaitoksen aloittaessa pätötehon syötön verkkoon (ION).

ESCR	Sähkö- varasto (P/P_{max})	ES-STATCOM (P/P_{max}), 200 ms	Tahtikone (S''_k/P_{max})
$ESCR \geq 1.0$	-	-	-
$0.9 \leq ESCR < 1.0$	$\pm 10 \%$	$\pm 7 \%$	33 %
$0.7 \leq ESCR < 0.9$	$\pm 20 \%$	$\pm 13 \%$	66 %
$ESCR < 0.7$	$\pm 30 \%$	$\pm 20 \%$	100 %

Taulukko 1. P_{max} on liitettävän suuntaajakytketyn voimalaitoksen mitoitusteho.

Suuntaajien verkkoa luovan säädön yleiset vaatimukset

- tulee toteuttaa kaikkiin voimalaitoksen suuntaajakytkettyihin yksiköihin.
- oltava toiminnassa aina voimalaitoksen ollessa kytkeytyneenä verkkoon, eikä toimintatila saa vaihtua verkon muutostilanteissa tai häiriöissä.
- oltava toiminnassa kaikissa toimintapisteissä ja säätötiloissa
- toiminta tulee koordinoita suuntaajien virtarajoilla
- toiminta tulee koordinoita voimalaitoksen muiden laitteiden ja säätöjen kanssa



Suuntaajien verkkoa luovan säädön toiminnalliset vaatimukset

- Jännitelähdekäyttäytyminen ja vasteen rajoittaminen
- Kyvykkyys toimia saarekkeessa energia- ja tehorajojen puitteissa
- Säädön vaste mitoitetaan efektiivisen impedanssin kautta
- Stabiilius ja vaimennusominaisuudet: ei saa aiheuttaa eikä vahvistaa taajuus, jännite- tai tehoheilahteluita
- Toimittava epäsymmetrisellä verkkojännitteellä
- Kestettävä jälleenkytkennät ja vaihekulman askelmaiset muutokset ($\pm 30^\circ$)
- Tahtikoneelle ei ole erityisiä, voimalaitosgeneraattoreista poikkeavia (VJV2024) toiminnallisia vaatimuksia.



Simulointimallilla suoritettavat dynaamiset tarkastelut

Verkkoa luova voimalaitos

- Toiminta jännitehäiriön yhteydessä (LVRT)
- Verkon jännitteen kulmamuutos ($\pm 30^\circ$)
- Toiminta saarekekäytössä
- Impedanssiskannaus
- Jänniteheilahteluiden vaimennustesti
- Kulmaheilahteluiden vaimennustesti
- Kyvykkyys toimia osana suuntaajavaltaista järjestelmää
- Efektiivisen impedanssin määrittäminen

Verkkoa seuraava voimalaitos

- VJV2024 mukaiset dynaamiset tarkastelut
- ESCR-testipenkki

Sähkövarasto tai ES-STATCOM

- Jänniteheilahteluiden vaimennustesti
- Kulmaheilahteluiden vaimennustesti
- Efektiivisen impedanssin määrittäminen
- GFM-testipenkki

Tahtikone

- VJV2024 mukainen jännitehäiriötarkastelu

Verkkoa seuraava voimalaitos, joka on varustettu lisälaitteistolla (sähkövarasto tai ES-STATCOM tai tahtikone)

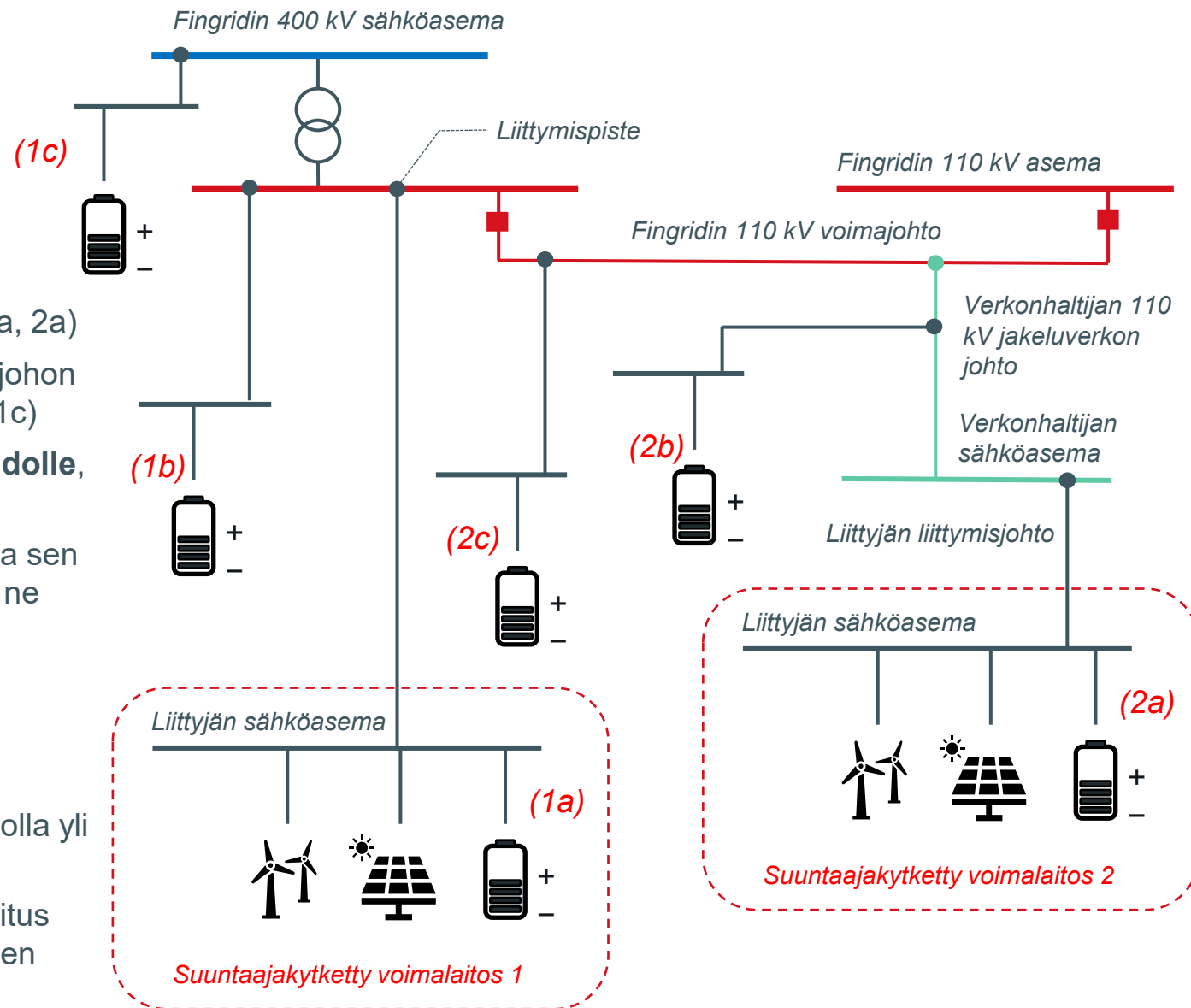
Tarkastelut tehdään PSCAD-mallilla.

Tarkasteluja ei tarvitse tehdä PSS/E-mallilla, mutta malli pitää toimittaa (verkkoa luovat ominaisuudet / lisälaitteisto sisällytetään osaksi voimalaitosmallia).

FINGRID

Lisälaitteiden sijainti

- Lisälaitteisto voidaan liittää
 - i. osaksi **voimalaitoksen** sisäistä sähköjärjestelmää (1a, 2a)
 - ii. verkonhaltijan tai Fingridin **samalle sähköasemalle**, johon voimalaitoskin on liitetty säteittäisellä yhteydellä (1b, 1c)
 - iii. verkonhaltijan tai Fingridin **samalle 110 kV voimajohtolle**, johon voimalaitoskin on liitetty (2b, 2c)
- Periaate: rengasjohdon vika ei saa johtaa voimalaitoksen ja sen lisälaitteiston päätymiseen erillisiin verkonosiin. Näin ollen ne eivät voi sijaita
 - Eri Fingridin asemilla (400 kV tai 110 kV)
 - Toinen Fingridin kytkinlaitos- ja toinen 110 kV voimajohtoliitynnässä
- Voimalaitoksen ja lisälaitteiston sähköinen etäisyys ei saa olla yli **60 km**.
 - Tässä tulee huomioida myös muuttuvat jakorajat. Mitoitus tehdään verkon normaalin (pääasiallisen) käyttötilanteen mukaan.
 - Sääntö pätee riippumatta verkon jännitetasosta (400 kV ja 110 kV)



FINGRID

An aerial night view of Helsinki, Finland, showing a dense urban landscape. In the foreground, there are historic buildings with ornate facades and a large Ferris wheel in the background. The city lights are visible, and the water of the harbor is in the distance.

Huomioita vaatimusten soveltamisesta

FINGRID

Prosessi



FINGRID

Lisälaittevaatimuksen täyttäminen ostopalveluna?

- Voimalaitos voi hankkia vaaditun lisälaitteiston palveluna esim. sähkövarastotoimijalta, jos kyseessä on uusi sähkövarasto, jolla ei ole vielä liittymissopimusta.
- Lisälaittevaatimusta ei voi täyttää hankkimalla palvelua jo olemassa olevasta tai rakenteilla olevasta (liittymissopimuksen tehneestä) sähkövarastosta, koska ne on jo huomioitu Fingridin Liittyjälle ilmoittamassa ESCR-arvossa.
 - Sähkövarastot nostavat ESCR-arvoja ja vähentävät alueellista tarvetta lisälaitteille
 - Sähkövarastoille tehtävissä liittymissopimuksissa on vaatimus suorittaa päälaitehankinta 13 kuukauden kuluessa liittymissopimuksen allekirjoittamisesta tai liittymissopimus voidaan purkaa
- Fingrid ei rakenna laitteita korvausta vastaan eikä tarjoa palvelua omista jo olemassa olevista laitteistoistaan.
- Liittyjän tulee varmistaa ostopalveluna hankitun lisälaitteiston käytettävyyys läpi voimalaitoksensa elinkaaren. Mikäli lisälaitteisto ei ole käytettävissä, pitää voimalaitoksen tehoa rajoittaa.

Muuta olennaista

- Voimalaitoksella (saman liittymispisteen takana) sijaitsevaa lisälaitteistoa voi käyttää voimalaitoksen loistehokapasiteettivaatimuksen täyttämiseen
- Lisälaitteiston integrointi osaksi voimalaitosta voi edellyttää voimalaitoksen hybridisointia eli tuotantoyksiköille ja lisälaitteille yhteistä säätöjärjestelmää. Näin voi olla esim. tilanteessa, joissa lisälaitteistona toimivan sähkövaraston mitoitus-tehon ja voimalaitoksen mitoitus-tehon summa ylittää liittymälle sallitun mitoitus-tehon ja tehoa liittymispisteessä pitää rajoittaa.
- Mikäli lisälaitteisto toteutetaan sähkövarastona, vaatimukset eivät estä sen kaupallista käyttöä esim. reservimarkkinoilla.
 - Vaatimuksen täyttyminen ei riipu sähkövaraston toimintapisteestä (purku/lataus).
 - Vaatimukset täyttyvät, kun sähkövarasto on aina kytkeytyneenä verkkoon voimalaitoksen toimiessa vähintään $50 \% \times P_{\max}$ teholla ja sähkövaraston verkkoa luovan säädön vaste on käytettävissä mitoitusarvojen mukaisesti.

Tulevaisuus?

Kansainvälinen kehitys

- Eurooppalainen verkkosääntö RfG 2.0 astuu voimaan todennäköisesti vuoden 2027 alussa ja edellyttää verkkoa luovaa säätöä C- ja D-tyypin suuntaajakytketyiltä voimalaitoksilta. Kansallisesti verkkosäännön vaatimukset tulee (alustavasti) ottaa käyttöön 2,5 vuoden kuluessa voimaanastumisesta.
- Voimalaitostoimittajat varautuvat parhaillaan RfG 2.0:n käyttöönottoon. Epäselvää on, kuinka pian verkkoa luovat säätöominaisuudet saadaan voimalaitoksiin, eikä lisälaitteita enää tarvita.
 - Niitä kannattaa tiedustella laitostoimittajilta jo nyt!

Stabiiliuden kehittyminen Suomessa

- Lisälaitteiden alueellinen tarve lähivuosina riippuu asiakashankkeiden määrästä, sijoittumisesta ja ajoituksesta
 - uusi tuuli- ja aurinkovoima sekä niihin saatavat verkkoa luovat ominaisuudet
 - asiakaslähtöiset sähkövarastohankkeet
 - kulutuslaitokset.
- Fingrid suunnittelee uusien synkronikompensaattoreiden rakentamista länsirannikolle, mutta toteutuessaan ne valmistuvat vasta 2030-luvun alussa. Niiden tehtävä on varmistaa olemassa olevan ja jo sovitun suuntaajakytketyn tuotannon stabiilia toimintaa.

FINGRID

Vaatimuspohja

- Sähköjärjestelmä muuttuu uusiutuvan energian liittämisen myötä entistä suuntaajavaltaisemmaksi. Tämä on väistämätön, ilmastotavoitteiden ohjaama ja yhteiskunnallisesti hyväksytty kehityssuunta. Fingrid tukee ja pyrkii mahdollistamaan tätä kehitystä.
- Fingridillä on järjestelmävastaavana kantaverkonhaltijana oikeus asettaa käyttövarmuuden varmistamiseksi tarvittavia ehtoja Suomen sähköjärjestelmään liitettävien voimalaitosten liittämislle ja käyttämiselle. (SML 45§ 1. ja 2.mom)
 - Fingrid pyrkii mahdollistamaan asiakkaan laitteiden liittämisen haluttuun liittymispisteeseen
 - Vaatimus liitettävän teknologian stabiilista toiminnasta ja häiriösietoisuudesta osana muuta sähköjärjestelmää on liittämisen ehdoton edellytys. Liitettävä teknologia ei saa vaarantaa sähköjärjestelmän käyttövarmuutta.
 - Liittämisen mahdollistamiseksi voidaan tarvittaessa asettaa liittymispistekohtaisia lisävaatimuksia (VJV2024, luku 5, erityistarkasteluvaatimukset). Nämä ”erityistarkasteluvaatimukset” voivat perustua esimerkiksi haluttuun liittymispisteeseen kytkettyvän verkon alueellisiin ominaisuuksiin.
- Mikäli asiakkaan esittämä suuntaajateknologia ei kykene toimimaan stabiilisti suuntaajavaltaisella alueella, eikä vaatimukset täyttävää kehittyneempää teknologiaa ole saatavilla, tulee laitos varustaa stabiilin toiminnan mahdollistavilla lisälaitteilla.
- Vaadittavat lisälaitteet mitoitetaan poistamaan liitettävästä voimalaitoksesta verkolle ja muille liittyjille aiheutuva haitta. Liittyjä ei siis kompensoi toisten liittyjien aiheuttamia haitallisia verkkovaikutuksia – ainoastaan omansa. Lisälaitteevaatimus ei ole myöskään velvoite tuottaa Fingridille järjestelmäpalvelua (SML 23 a §, 3§ 27c).

Vaatimus lisälaitteista annetaan liittymispistekohtaisesti kaikille Suomen sähköjärjestelmään liitettäville tyypin D suuntaajakytketyille voimalaitoksille voimalaitosten järjestelmätekniisten vaatimusten VJV2024 luvun 5 ”*Erityistarkasteluvaatimukset*” kohdan ”*suuntaajien vuorovaikutusilmiöt*” nojalla.

FINGRID

Kiitos! Kysymyksiä?

(Kysymyksiä ja kommentteja voi lähettää myös osoitteeseen
gridcompliance@fingrid.fi)

Fingrid Oyj

Läkkisepäntie 21

00620 Helsinki

PL 530, 00101 Helsinki

Puh. 030 395 5000

www.fingrid.fi

The Fingrid logo consists of the word "FINGRID" in a bold, red, sans-serif font. A thin red diagonal line runs from the top right corner of the slide towards the bottom left, passing behind the logo.

QA 1/4

- Kysymys: Onko sähkövaraston mitoituskoolle aiemmissa kalvoissa esitetyt +/- haarukat minimitoituksia ja vaadittu stabilointilaitteiston koko saa olla vapaasti Fingridin minimivaatimusta suurempikin? Otetaan käytännön esimerkiksi vaikka länsirannikkolla sijaitseva (escr alle 0.7) 100MW tuulivoimala tai aurinkovoimala: Jos vaatimukset toteutetaan sähkövarastoa hyödyntäen niin onko sähkövaraston minimiteho tasan 30MVA? Voiko tämän 100MW esimerkkivoimalaitoksen yhteyteen vapaasti rakentaa suuremmankin esim 40-50MVA tai sitä suuremman sähkövaraston? (utility kokoluokassa sähkövarastojen "leegopalikoiden" yksikkökoot on usein 5-10MVA haarukassa, valmistajasta ja heidän tuotevalikoimastaan riippuen, joten käytännössä eri kokoisissa voimalaitoksissa ei aina MVA tasaon laitteiston koon täsmäytystä pysty tekemään tarkasti Fingridin ohjeistuksen täsmällisiä prosenttirajoja vasten) Vastaus: Kyseessä on minimimitoitus ja stabiloiva laitteisto saa olla suurempikin. Esimerkissäsi sähkövaraston mitoitustehoksi tulee 30 MW ja se voi olla myös isompi. Tulee kuitenkin huomata, että verkko saattaa rajoittaa liitettävyyttä eli sähkövaraston koko ei voi kasvaa rajatta. Liittymispisteen verkonhaltija arvioi tämän.
- Kysymys: Haastava tilanne simulointien perusteella kun IBR osuus >65% - miten suuri IBR osuus on kun ESCR on 1 (eli miten nämä kaksi tapaa mitata korreloivat)? Vastaus: ESCR arvon ja IBR osuuden välistä suhdetta ei voida suoraa laskea. ESCR arvo huomioi verkkoa luovien ja verkkoa seuraavien laitosten sähköisen etäisyyden ja soveltuu paremmin yksittäisen voimalaitoksen suuntaajien stabiiliuden arviointiin, kun taas IBR osuus suhteessa tahtikoneisiin kuvaa enemmän järjestelmätason tilannetta ottamatta kantaa laitosten alueelliseen jakautumiseen.
- Kysymys: Miten ES-STATCOMin pätöteho kapasiteetti huomioidaan mitoitustehon laskennassa? Vastaus: ES-STATCOM-laitteiston tulee kyetä syöttämään ja ottamaan mitoituspätötehonsa vähintään 200 ms ajan. ES-STATCOM-laitteiston tulee noudattaa SJV2024 luvun 12.2 loistehokapasiteettivaatimusta, joka määrittää laitteiston mitoitusteholla. ES-STATCOMilla ei voi tuottaa järjestelmäpalveluita. Mikäli ES-STATCOM-laitteistolla tuotetaan järjestelmäpalveluita, tulkitaan se sähkövarastoksi. Käytännössä ES-STATCOM on mahdollista suunnitella niin, ettei se vaikuta voimalaitoksen mitoitustehoon, mutta sen dynaaminen pätö- ja loistehovaste saattaa vaikuttaa voimalaitoksen laitemitoituksiin.

QA 2/4

- **Kysymys:** Voiko yhtä lisälaitteistoa hyödyntää useamman voimalaitoksen osalta? olettaen, että ovat sähköisesti riittävän etäisyyden sisällä. **Myös voiko olemassa olevia sähkövarastoja hyödyntää vaatimusten täyttämiseen?** **Vastaus:** Kyllä, yksi lisälaitteisto voi palvella myös useampaa voimalaitosta, mikäli etäisyysvaatimus täyttyy. Olemassa olevia sähkövarastoja ei voi ostaa uuden voimalaitoksen lisälaitteistoksi, koska ne on jo huomioitu voimalaitokselle ilmoitetussa ESCR-arvossa. Olemassa olevien sähkövarastojen stabilointikyvykkyyttä ei ole myöskään testattu lisälaitteivaatimuskäytännön mukaisesti.
- **Kysymys:** Toimitetaanko PSCAD ja PSSE mallit pakettina vai erillisinä omina malleinaan, jos PSSE malliin tulee lisätä stabiloiva yksikkö? **Vastaus:** PSCAD- ja PSSE-mallit toimitetaan Fingridille viimeistään osana vaiheen 1 muuta dokumentaatiota. Lisälaitteivaatimusten tähtyminen osoitetaan PSCAD-mallilla, joten sillä tehtävät tarkastelut ja mallin toimitus kannattaa priorisoida. Mikäli lisälaitteisto on osa voimalaitosta (nk. hybridivoimalaitos), sisällytetään lisälaitteisto voimalaitoksen malliin. Mikäli se on täysin itsenäinen (oman päämuuntajansa takana tai eri liittymispisteessä), toimitetaan sen malli erikseen.
- **Kysymys:** Onko esim jänniteheilahtuiden vaimennustestille jokin suurempi vähimmäisvaatimus vaimennuskertoimelle näille "lisälaitteille" kuin normaalisti (eli vaimentaa). **Vastaus:** Kyllä. Ks. vaatimusten luvut 3.4.3.1 ja 3.4.3.2. Esim. Jänniteheilunta: Verkkoa luovan sähkövaraston tai ES-STATCOMin vaaditaan saavuttavan vahvistuserroin, joka on alle 0,5 pu taajuusalueella 1–10 Hz sekä alle 0,9 pu taajuusalueella 0.3–0.5 Hz ja 10–40 Hz (tulkittuna dq-tasossa). Verkkoa luovan sähkövaraston tai ES-STATCOMin vaaditaan saavuttavan kulmaero, joka on 120 ja 240 asteen välissä koko tarkastellulla taajuuskaistalla 0,3–40 Hz (tulkittuna dq-tasossa).
- **Kysymys:** Millä perusteella ESCR:n raja-arvoksi on määritetty 1, vaikka vakausongelmia esiintyy tyypillisesti jo ESCR-arvon ollessa alle 2. **Vastaus:** Tekemiemme tarkastelujen perusteella ESCR raja-arvo yksi on riittävän alhainen Suomen sähköjärjestelmässä. Tämä vaatii kuitenkin hyvin viritetyn verkkoa seuraavan voimalaitoksen säädön. VJV2024 vaatimusten ja verkkoa seuraaville suuntaajille tarkoitetun ESCR testipenkin avulla olemme pystyneet optimoimaan voimalaitosten säädöt varsin hyväksi. Tämän ansiosta rajaa on kyetty laskemaan tyypillisestä alan arvosta 2 arvoon 1.

QA 3/4

- Kysymys: Tuleeko sähkövarastosta olla varattuna kapasiteettia joka hetkellä, vai voiko normaalissa tilanteessa koko sähkövarasto olla markkinalla? Vastaus: Sähkövarasto voi osallistua markkinalle täydellä kapasiteetillaan ($P_{max,d} \dots P_{max,p}$) ilman rajoituksia. Tämä on huomioitu ohjeen Taulukon 1 mitoitussäännössä.
- Kysymys: GFM laite ja avojohdoista syntyvä jännite-epäsymmetria: Satunnaiset mittaukset tuntuvat näyttävän että BESS-sisäverkossa epäsymmetriavirtaa. Tämä ei tule suunnittelussa/mitoituksessa esiin. Onko perusteltua vaatia täydellisen verkon luomista, jos täydellistä verkkoa ei ole tarjolla? 50 MW BESS vs. 2500 MVA verkon oikosulkuteho - tuntuu mahdottomalta oikaista verkon jännite? Vastaus: Suuntaajavaltaisilla alueilla verkon epäsymmetriä voi kasvaa, koska suuntaajakytketyt voimalaitokset eivät luonnostaan balansoi verkon jännitettä toisin kuin tahtikoneet. Verkkoa luovan voimalaitoksen ei tarvitse luoda täydellistä verkkoa liityntäpisteeseen; tämä ei ole verkkoa luovan säädön idea. Verkkoa luovan säädön odotetaan toimivan jännitelähteenä ekvivalenttisen impedanssin takana (luovan oman sisäisen jännitevektorin). Verkkoa luova säätö vastaa mahdolliseen verkon epäsymmetriaan ekvivalenttisen impedanssinsa mukaisesti ja tukee omalta osaltaan verkon symmetriaa.
- Kysymys: Jos liittymissopimusta muutetaan (esim. pidennetään turbiinitilaussopimuksen määräaikaa) niin tulevatko nämä uudet vaatimukset sovellettavaksi tällaiseen liittymäsopimukseen vaikka sopimus olisi alunperin tehty ennen 9.10? Vastaus: Mikäli liittymän mitoitus ei muutu eli voimalaitoksen P_{max} säilyy samana, ei uusia erityistarkasteluvaatimuksia sovelleta. Jos kuitenkin liittymissopimus on tehty VJV2018:n voimassaoloaikana, eikä päälaitteita ole vielä hankittu, tulee päälaitteiden olla VJV2024:n vaatimusten mukaisia, vaikka lisälaittevaatimuksia ei sovelletakaan. Kulloinkin voimassa olevan VJV:n soveltaminen päälaittehankintaan ei tässä liity mitenkään lisälaittevaatimukseen vaan on jo pitkään käytössä ollut vallitseva käytäntö, joka on kirjattu myös VJV:een.
- Kysymys: Mites PLL hidastaminen, onko sillä ollut merkittävää apua näihin? Se kuitenkin aiheuttaa negatiivisen resistanssin q-komponenttiin. Vastaus: Olemme keskustelleet laitevalmistajien kanssa erilaisista vaihtoehtoista. PLL:n hidastaminen voi olla yksi mahdollinen toimenpide, joka saattaa vaikuttaa havaittuihin ilmiöihin. PLL:ään tehtävillä parametrimuutoksilla ei kuitenkaan kyetä muuttamaan webinaarissa käsiteltyä fundamentaalia ongelmaa, joka liittyy verkkoa seuraavien voimalaitosten toimintaan suuntaajavaltaisessa järjestelmässä.

QA 4/4

- Kysymys: Esimerkissä jossa verrattiin GFM sähkövaraston määrää ja mitä se vaikuttaa viasta toipumiseen - siellä oli 0-450?MW esimerkit - mikä oli tuulivoiman osuus esimerkissä? Vastaus: Tuulivoimatehon määrä näissä simuloinnissa oli koko Suomessa noin 12 GW, mutta kaikki uusista puistoista eivät kytkeydy tuulivoimavaltaiselle alueelle. Tässä simuloinnissa esimerkiksi sähkövarastojen määrän kasvatus 0 MW -> 450 MW auttoi pienentämään irtoavaa tuulivoimatehoa 1700 MW tasolta noin 500 MW tasolle. 450 MW GFM sähkövarastoja ei siis tässä tilanteessa ollut riittävä varmistamaan suuntaajavaltaisen alueen lähivikakyvykkyyttä, mutta sähkövarastoilla havaittiin selvästi positiivinen vaikutus vian aikaiseen kulmajäykkyteen ja sitä kautta irtoavaan tehoon.
- Kysymys: Tuleeko tallenne katseltavaksi myöhemmin? Vastaus: Kyllä, linkki tulee sivulle, josta ohjeetkin löytyvät.
- Kysymys: Kuinka paljon esim. Arkkukallioon suunniteltu synkronikompensaattori "poistaa kartalta punaista"? Eli vaikuttaako tällaiset vaatimuksiin mitenkään? Vastaus: Fingridin omistuksessa olevat stabiloivat laitteistot huomioidaan asiakkaille toimitettavissa ESCR arvoissa. Keskipitkää aikaväliä kuvaavassa esimerkikuvassa (v. 2029) suunnitteilla olevat synkronikompensaattorit eivät ole vielä käytössä pitkän toimitusajan vuoksi (arvioitu toteutus 2030-2031).
- Kysymys: Vaatimus koskee vain uusia liittyjiä. Eikö tämä kuitenkin edellytä myös rinnalla olevien vanhojen voimaloiden suuntaajien uudelleenparametointia? Vastaus: Fingrid tarkastelee tapauskohtaisesti mahdollisuutta parantaa vanhojen voimalaitosten suorituskykyä parametrimuutoksilla. Liitettävä voimalaitos tulee suunnitella niin että sen aiheuttama haitta olemassa oleville voimalaitoksille kompensoidaan lisälaitteella tai suuntaajakytkettyyn voimalaitokseen toteutetulla verkkoa luovalla säädöllä.
- Kysymys: For the continuous monitoring following FON, which GFM performance characteristics do you expect to be observable in operation, and should continued consistency with the validated simulation model be demonstrated? Vastaus: Fingrid will assess the GFM performance and validity of simulation models, along with grid compliance tests, in grid faults and other events. Capability to validate the GFM performance and models depend on possible fault causes and other events that occur in the grid.