

Ohje sääriippuvalle tuotannolle automaattisissa reserveissa

1 Johdanto

Tämä dokumentti on täydentävä ohjeistus automaattisiin reserveihin (FFR, FCR, aFRR) osallistuvalla sääriippuvalle tuotannolle kuten tuuli- ja aurinkovoimalle. Dokumentti ohjeistaa, kuinka tuotteiden vaatimuksia sovelletaan sääriippuvalle tuotannolle huomioiden niiden tuotannon vaihtelevuus. Dokumentti käsittelee referenssitehoon ja ylläpidetyn reservin raportointiin liittyviä asioita.

Yleiset tekniset vaatimukset ja tarvittavat säätökokeet, jotka koskevat kaikkia teknologioita, on määritelty seuraavissa dokumenteissa:

- Taajuuden vakautusreservien (FCR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämisen prosessi
- Nopean taajuusreservin (FFR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämisen prosessi
- Automaattisen taajuuden palautusreservin (aFRR) teknisten vaatimusten todentaminen ja hyväksyttämisen prosessi

Dokumentit ovat saatavilla [Fingridin internetsivuilla](#), ks. liitteet tuotekohtaisilla sivuilla.

2 Määritelmät

Saatavilla oleva pätöteho ($P_{\text{available}}$) on suurin pätöteho, joka olisi mahdollista tuottaa sen hetkisissä sääolosuhteissa. Tuulivoiman tuotantokykyyn vaikuttavat mm. tuulennopeus ja ilman tiheys, ja aurinkovoiman tuotantokykyyn vaikuttavat mm. säteily määrä ja paneelien lämpötila. Saatavilla oleva pätöteho on laskennallinen arvo. Voimalaitos voi tuottaa sitä pienemmän tehon, jos tehoa on rajoitettu (markkinaehtoisesti tai verkonhaltijan toimesta).

Tehorajoitus (P_{limit}) on pätötehon arvo, johon voimalaitoksen teho on sillä hetkellä rajoitettu.

Referenssiteho (P_{baseline}) on teho, jonka voimalaitos tuottaisi, mikäli reservejä ei ole aktivoituneena.

Minimiteho (P_{min}) on pienin teho, jolla voimalaitos voi toimia.

Maksimiteho (P_{max}) on suurin teho, jolla voimalaitos voi sillä hetkellä toimia. Se vastaa saatavilla olevaa pätötehoa, ellei verkonhaltija ole antanut tehorajoitusta. Rajoitustilanteessa maksimiteho on tehorajoitus.

Hetkellinen pätöteho on mitattu teho verkkoon. Positiivinen arvo on tehon syöttöä verkkoon ja negatiivinen tehon ottoa verkosta.

Aktivoitunut reservi on reservin aktivoitumisesta aiheutunut tehomuutos. Se lasketaan mitatun hetkellistehon ja referenssitehon erotuksena.

Ylläpidetty reservikapasiteetti on tehokapasiteetti, joka voimalaitoksella on käytössä reservin aktivoitumiseen, enintään säätökokeessa todennettu määrä. Reservin aktivoituminen ei pienennä ylläpidettyä reservikapasiteettia.

3 Referenssiteho

3.1 Yleiset ohjeet

Riittävän tarkka referenssiteho tarvitaan

- säädön toteuttamiseen,
- reservin aktivoitumisen todentamiseen jälkikäteen ja
- ylläpidettyjen reservikapasiteettien laskentaan reaaliaikaista seuranta ja reservikauppojen laskutusta varten.

Reservit aktivoidaan tehomuutoksena referenssitehoon nähden. Referenssiteho kytkeytyy aina todelliseen tuotantotehoon, koska reservien aktivointitarve perustuu sähköjärjestelmän fyysiseen epätasapainoon tuotannon ja kulutuksen välillä. Tuotantoennustetta tai kaupallisia lukuja ei voi käyttää referenssitehona automaattisten reservien aktivoinnissa, koska ne voivat poiketa todellisesta tuotannosta eivätkä siten edusta sähköjärjestelmän tilaa.

Jos voimalaitoksella on aseteltava referenssiteho, referenssiteho on sama kuin asetusarvo (tuotannon asetusarvo ilman aktivoituneita reservejä). Sääriippuvalle tuotannolle referenssiteho on

a) $P_{\text{available}}$, jos voimalaitoksen tehoa ei ole rajoitettu

b) $\min(P_{\text{available}}, P_{\text{limit}})$ jos käytössä on tehorajoitus

Jos tehoa rajoitetaan ylössäädön tarjoamiseksi, rajoituksen on oltava riittävä varmistamaan, että ylössäätökapasiteettia on käytettävissä aina vähintään tarjottua reserviä (sis. kapasiteettikaupat ja vapaaehtoiset energiatarjoukset) vastaava määrä. Rajoitus voidaan asettaa joko suhteessa saatavilla olevaan pätötehoon tai absoluuttisena tehorajana, jolloin siihen on sisällytettävä riittävästi marginaalia saatavilla olevan pätötehon vaihteluun nähden. Jos verkonhaltija on rajoittanut tehoa, ylössäätö ei saa aiheuttaa tehorajoituksen ylitystä. Tässä tapauksessa ylössäätöä voi tarjota rajoittamalla tehoa enemmän kuin verkonhaltija edellyttää, niin että kaikki tarjottu ylössäätö voidaan toteuttaa ylittämättä rajoitusta.

FCR-D:ssä ja FFR:ssä referenssitehona on sallittua käyttää vaihtoehtoisesti hetkellistä tehoa juuri ennen reservin aktivoitumista. Referenssitehon oletetaan pysyvän samana koko aktivoitumisen ajan. FCR-D ja FFR aktivoituvat taajuushäiriöissä, ja aktivointien kesto on lyhyt. Siksi referenssitehon vaihtelu aktivoinnin aikana voidaan jättää huomioimatta. Hetkellistehoon perustuvalla menetelmällä FCR-D alassäätötuotteen markkinalle osallistuminen ei edellytä laskennallisen saatavilla olevan pätötehon käyttöä. Reservitoimittaja voi muodostaa referenssitehon tehomittauksesta siten, että aktivoinnin ajaksi referenssitehon arvo jäädytetään. Saatavilla olevaa pätötehoa ei tarvita myöskään

11.4.2024

Julkinen dokumentti

raportointiin. FCR-D ylössäätötuotteessa ja FFR:ssä saatavilla oleva pätöteho tarvitaan ylläpidetyn reservikapasiteetin laskentaan ja raportointiin, vaikka fyysinen säätö perustuisi hetkellistehosta saatavaan referenssiin.

3.2 Laatuksiteerit saatavilla olevan pätötehon laskennalle

Jos saatavilla olevaa pätötehoa käytetään referenssitehona ja/tai ylläpidetyn reservikapasiteetin laskennassa, sen laatu todennetaan reservikohteen hyväksyttämisprosessissa. Huonolaatuinen laskenta voi aiheuttaa vajausta tai ylitystä reservin aktivointiin, vääristää järjestelmän reservimäärien seuranta ja johtaa reservilaskutukseen virheellisillä tiedoilla.

Todennusta varten reservitoimittaja toimittaa alla listatut tiedot. Tiedot toimitetaan reservikohteittain. aFRR:ssä tiedot voi toimittaa portfoliotasolla, jos portfolion reservikohteiden nimellistehot ovat enintään 10 MW.

- Kuvaus saatavilla olevan pätötehon laskennasta
 - Käytettävät mittaukset, oletukset, mallit jne.
 - Onko käytössä tekoälyä tai muita vastaavia menetelmiä?
 - Miten laskenta huomioi poikkeukselliset tilanteet kuten jäätyminen tai yksittäisten turbiinien huollon?
- Yhden kuukauden jakso dataa vähintään 10 s resoluutiolla:
 - Aikaleima
 - Laskettu saatavilla oleva pätöteho [MW]
 - Mitattu hetkellinen pätöteho [MW]
 - Tiedostomuoto .csv, .xlsx tai .xls
- Tarkastelujaksolla ei saa olla reservin aktivointia tai tehorojoituksia
 - Tarvittaessa datan voi kerätä useilta erillisiltä tarkastelujaksoilta, joiden yhteenlaskettu pituus on yksi kuukausi
- Datan tulee olla edustava näyte olosuhteista, joissa reservikohde osallistuisi reservin ylläpitoon
- Huom. laskentasykli voi olla pidempi kuin 10 s, jos laatuvaatimus täyttyy, mutta data tulee toimittaa 10 s resoluutiolla

Saatavilla olevan pätötehon laskennan laatu arvioidaan alla esitetyn mukaisesti.

1. Saatavilla olevan pätötehon poikkeama lasketaan jokaiselle aikaleimalle:

$$P_{deviation}(t) = P_{available}(t) - P_{measured}(t)$$

11.4.2024

Julkinen dokumentti

2. Saatavilla olevan pätötehon keskiarvoista lasketaan normalisointiteho:

$$P_{normal} = \frac{\sum P_{available}}{N}$$

jossa N on aikaleimojen lukumäärä datassa.

3. Lasketaan normalisoitu keskineliövirheen neliöjuuri:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum P_{deviation}(t)^2}{N}}{P_{normal}}$$

4. NRMSE ei saa olla yli 5 %.

Fingrid voi myöhemmin muuttaa laatukriteereitä, datavaatimuksia ja todennusprosessia käytännön kokemukset ja havaitut tarpeet huomioiden.

4

Ylläpidetyn reservikapasiteetin laskenta

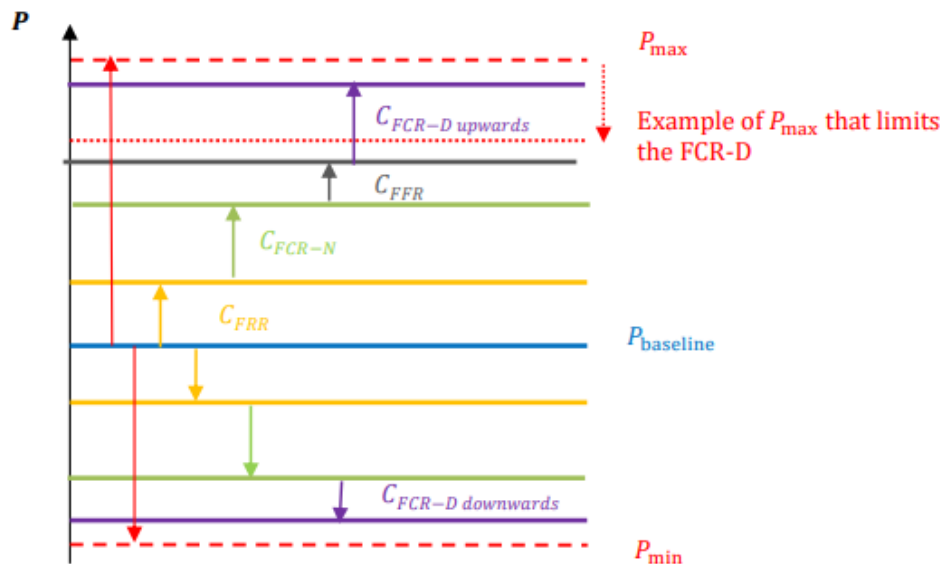
Ylläpidetty reservikapasiteetti on kapasiteetti, joka voimalaitoksella on käytettävissä reservin aktivointiin. Se lasketaan erikseen jokaiselle reservituotteelle. Reservin aktivoitumisen ei tule pienentää ylläpidettyä kapasiteettia.

Kuva 1 havainnollistaa, kuinka tuotekohtaiset kapasiteetit muodostuvat, jos voimalaitoksella ylläpidetään samanaikaisesti useita reservituotteita. Se ei kuvaa reservien prioriteettijärjestystä sähköjärjestelmän kannalta, vaan tyypillistä reservikohteen toimintaa tilanteessa, jossa kaikkien myytyjen reservien säätö on normaalisti päällä. Jos vapaa kapasiteetti ei riitä kaikkien myytyjen reservien aktivointiin, ensimmäisenä pienenee FCR-D:n kapasiteetti, sen jälkeen FFR, FCR-N ja viimeisenä FRR. FRR ja FCR-N voivat olla täysin aktivoituneita, kun tapahtuu taajuushäiriö, joka aktivoi FCR-D:n ja FFR:n. Häiriötilanteessa FFR aktivoituu nopeammin kuin FCR-D, joten FCR-D:n katsotaan jäävän vajaaksi ensin. FRR:n ja FCR-N:n aktivointijärjestys voi vaihdella. Tyypillisesti säätöketjussa FCR-N on FRR:n jälkeen (FCR aktivoidaan poikkeamana asetusarvosta, joka sisältää myös FRR:n osuuden), joten ensisijaisesti toteutuu FRR:n aktivoituminen.

Jos reservikohde ei toimi yllä olevan kuvauksen mukaisesti, ylläpidettyjen reservikapasiteettien laskentaa tulee muokata todellista toimintaa vastaavaksi. Tämä voi olla tarpeellista, jos säätimen toimintalogiikka on erilainen kuin yllä oletettu, tai jos reservitoimittaja ottaa ennakoivasti joidenkin reservituotteiden säädön pois käytöstä, mikäli vapaata kapasiteettia ei ole riittävästi. Reservitoimittajan tulee pyytää Fingridiä hyväksymään säätöratkaisu.

11.4.2024

Julkinen dokumentti



Kuva 1 Ylläpidetyt reservikapasiteetit

Ylläpidetty aFRR lasketaan seuraavasti:

$$C_{aFRR,upwards,maintained} = \max [\min(P_{max} - P_{baseline} - C_{mFRR}, C_{prequalified}), 0]$$

$$C_{aFRR,downwards,maintained} = \max [\min(P_{baseline} - C_{mFRR} - P_{min}, C_{prequalified}), 0]$$

Jos reservitoimittajalla on useita aFRR-reservikohteita, ylläpidetty reservi raportoidaan portfoliokohtaisesti.

Ylläpidetty FCR lasketaan seuraavasti:

$$C_{FCR-N,maintained} = \min (P_{max} - P_{baseline} - C_{FRR}, P_{baseline} - C_{FRR} - P_{min}, C_{prequalified})$$

$$C_{FCR-D,upwards,maintained} = \max [\min(P_{max} - P_{baseline} - C_{FRR+FFR} - |\Delta P_{ss,FCR-N,up}|, C_{prequalified}), 0]$$

$$C_{FCR-D,downwards,maintained} = \max [\min(P_{baseline} - C_{FRR} - |\Delta P_{ss,FCR-N,down}| - P_{min}, C_{prequalified}), 0]$$

Ylläpidetty FFR lasketaan seuraavasti:

$$C_{FFR,maintained} = \max [\min (P_{max} - P_{baseline} - |\Delta P_{ss,FCR-N,up}| - C_{FRR}, C_{prequalified}), 0]$$

Yllä olevissa kaavoissa

P_{max} on sen hetkinen maksimiteho ($P_{available}$ jos tehoa ei ole rajoitettu)

P_{min} on sen hetkinen minimiteho

$P_{baseline}$ on sen hetkinen referenssiteho

$|\Delta P_{ss,FCR-N,up}|$ on FCR-N:n aiheuttama pysyvä tehomuutos 49,9 Hz:ssä,

11.4.2024

Julkinen dokumentti

$|\Delta P_{SS,FCR-N,down}|$ on FCR-N:n aiheuttama pysyvä tehomuutos 50,1 Hz:ssä,

C_{mFRR} on myydyn mFRR:n määrä kyseessä olevaan säätösuuntaan,

C_{FRR} on myydyn mFRR:n ja aFRR:n määrä kyseessä olevaan säätösuuntaan,

$C_{FRR+FFR}$ on myydyn mFRR:n, aFRR:n ja FFR:n määrä kyseessä olevaan säätösuuntaan ja

$C_{prequalified}$ kyseisen reservituotteen säätökokeessa hyväksytty reservikapasiteetti.

mFRR:n määrässä tulee huomioida sekä myyty kapasiteetti että aktivoidut vapaaehtoiset energiatarjoukset.

Reservitoimittaja raportoi ylläpidetyt reservikapasiteetit Fingridille reaaliaikaisesti. Fingrid käyttää dataa reaaliaikaiseen reservien määrän valvontaan ja reservilaskutuksessa toimitetun reservimäärän tarkistukseen. Reservitoimittajan tulee tallentaa data myös itselleen laskutettavan reservikapasiteetin laskentaa varten.

5 Tiedonvaihdon vaatimukset

Automaattisiin reserveihin osallistuminen edellyttää reaaliaikatiedonvaihtoa ja historiatietojen tallennusta.

Tiedonvaihtoon sisältyvät signaalit on koottu Reservien tiedonvaihto -signaalilistaan, joka on saatavilla [Fingridin internetsivuilla](#).

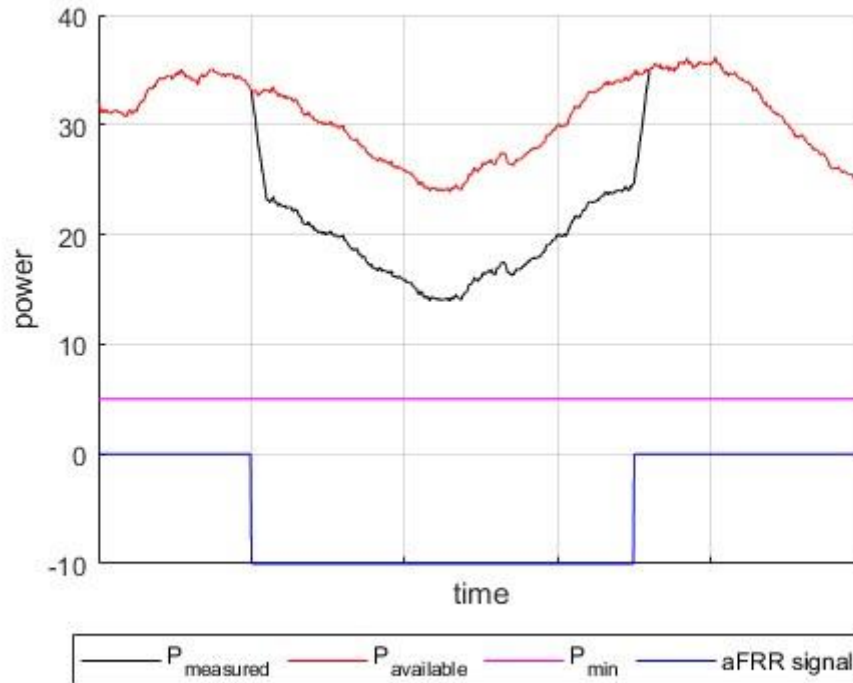
Fingrid suosittelee tallentamaan myös saatavilla olevaan pätötehoon vaikuttavat muuttujat (tuulennopeus, auringon säteily määrä jne.).

6 Esimerkkejä

6.1 aFRR alassäätö

Tuulipuistosta on myyty 10 MW aFRR alassäätöä. Puisto toimii ilman tehorajoituksia eli sen tuotanto vastaa saatavilla olevaa pätötehoa, jos aFRR ei ole aktivoituneena. Referenssiteho on saatavilla oleva pätöteho.

Kuva 2 havainnollistaa tuulipuiston ideaalista toimintaa. Kun aFRR:ää aktivoidaan 10 MW, mitattu pätöteho tulisi olla 10 MW referenssitehoa pienempi. Ylläpidetty reservikapasiteetti lasketaan saatavilla olevan pätötehon ja minimitehon erotuksena ($P_{available} - P_{min}$) riippumatta aktivoituneen aFRR:n määrästä.



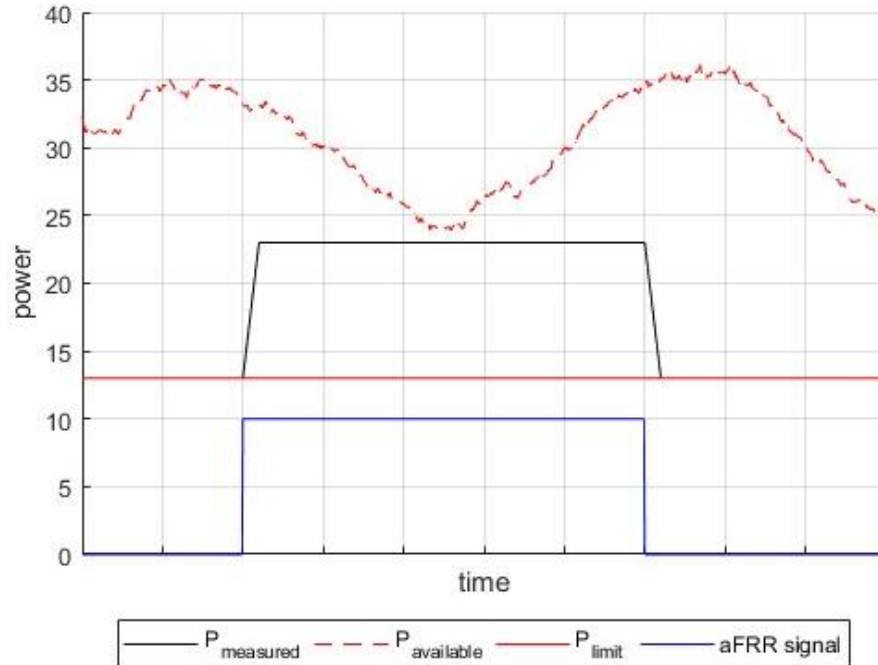
Kuva 2 aFRR alassäätö, esimerkki

6.2 aFRR ylösäätö

6.2.1 Vakiotehorajan käyttö

Tuulipuistosta on myyty 10 MW aFRR ylösäätöä. Reservitoimittaja on rajoittanut puiston tuotannon vakioteholle, jotta ylösäädölle on vapaata kapasiteettia. Referenssiteho on tehorojoitus.

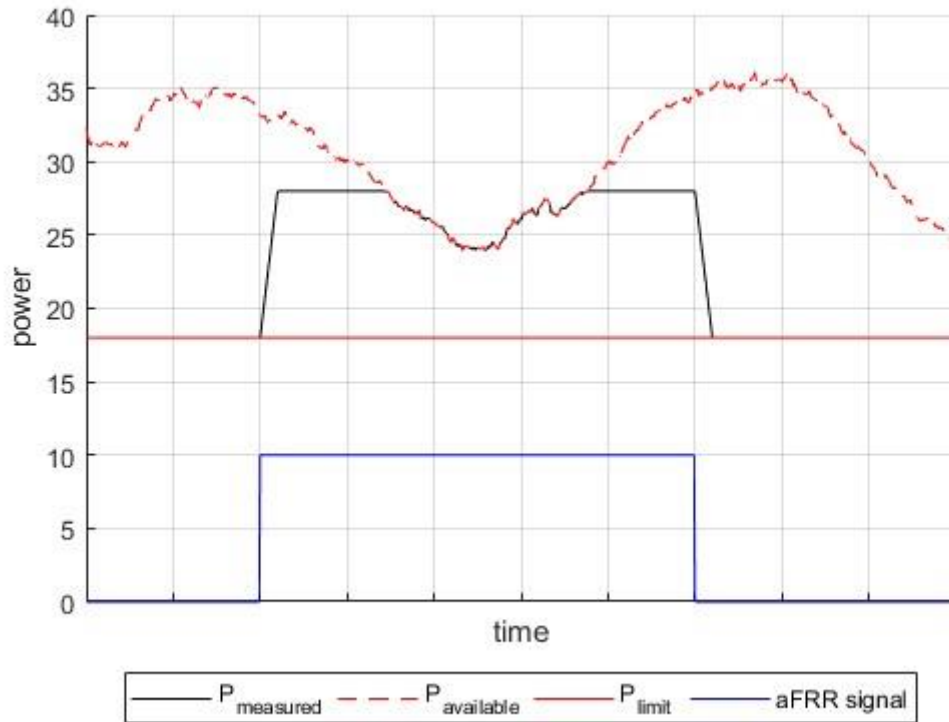
Kuva 3 havainnollistaa tuulipuiston ideaalista toimintaa. Tehorajan (P_{limit}) ja saatavilla olevan pätötehon ($P_{\text{available}}$) välissä on riittävästi marginaalia aFRR:n täysimääräiselle aktivoimiselle.



Kuva 3 aFRR ylössäätö, esimerkki 1

Kuva 4 havainnollistaa tuulipuiston toimintaa, jos marginaali P_{limit} ja $P_{\text{available}}$ välillä on liian pieni. Aktivoinnin aikana mitatun tehon tulisi pysyä 10 MW referenssitehon yläpuolella, mutta se ei toteudu saatavilla olevan pätötehon pienentyessä. Pyydetty aFRR aktivointi toteutuu vain osittain.

Ylläpidetty reservikapasiteetti lasketaan saatavilla olevan pätötehon ja tehorajoituksen erotuksena ($P_{\text{available}} - P_{\text{limit}}$) riippumatta aktivoituneen aFRR:n määrästä. Jälkimmäisessä esimerkissä, jossa marginaali on riittämätön, ylläpidetyn kapasiteetin määrä pienenee.



Kuva 4 aFRR ylössäätö, esimerkki 2

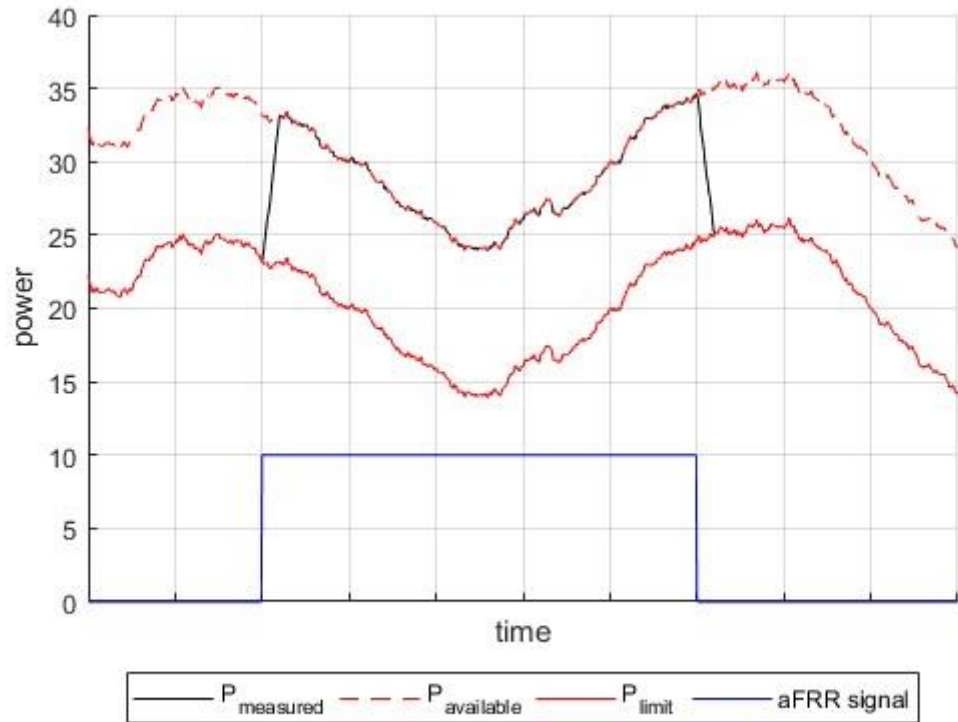
6.2.2 Suhteellisen tehorajan käyttö

Tuulipuistosta on myyty 10 MW aFRR ylössäätöä. Reservitoimittaja on rajoittanut tuotantoa suhteessa saatavilla olevaan pätötehoon siten, että marginaali näiden välillä on koko ajan 10 MW. Referenssiteho on tehorajoitus.

Kuva 5 havainnollistaa tuulipuiston ideaalista toimintaa. Kun aFRR ei ole aktivoituneena, mitattu teho on 10 MW pienempi kuin saatavilla oleva pätöteho. Kun aFRR on täysimääräisesti aktivoitunut, mitattu teho on yhtä suuri kuin saatavilla oleva pätöteho. Ylläpidetty reservikapasiteetti lasketaan saatavilla olevan pätötehon ja tehorajoituksen erotuksena ($P_{\text{available}} - P_{\text{limit}}$) riippumatta aktivoituneen aFRR:n määrästä.

11.4.2024

Julkinen dokumentti

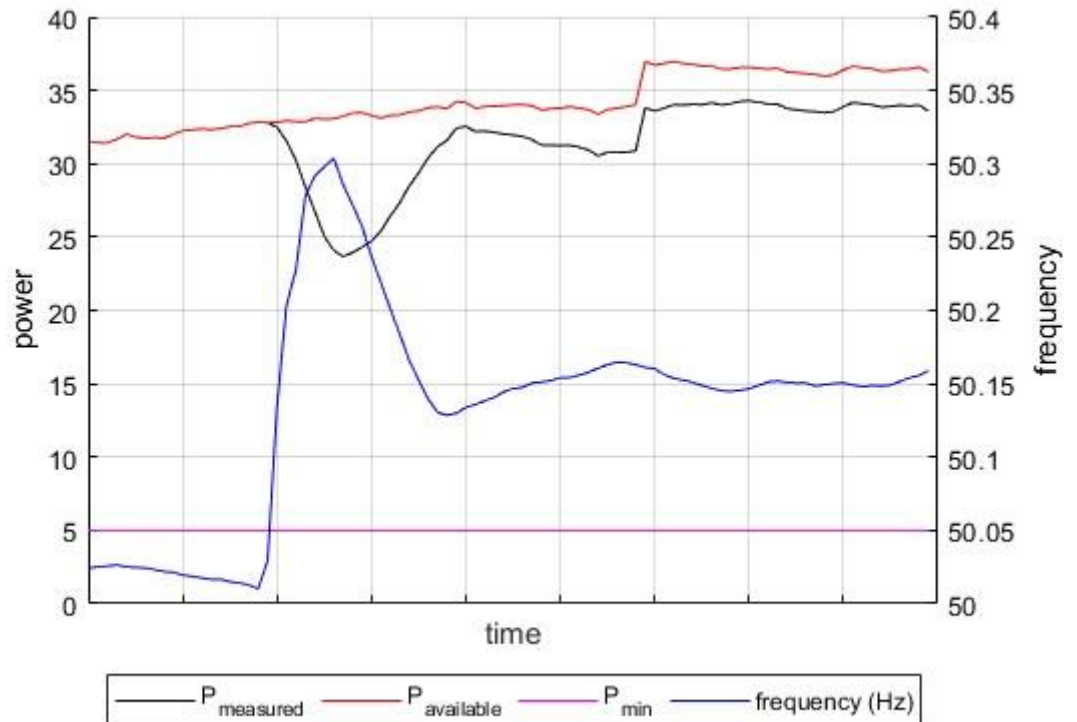


Kuva 5 aFRR ylössäätö, esimerkki 3

6.3 FCR-D alassäätö

Tuulipuistosta on myyty 20 MW FCR-D alassäätöä. Puisto toimii ilman tehorajoituksia eli sen tuotanto vastaa saatavilla olevaa pätötehoa, jos FCR-D ei ole aktivoituneena.

Kuva 6 havainnollistaa puiston ideaalista toimintaa, kun referenssiteho on saatavilla oleva pätöteho. Kun taajuus poikkeaa normaalialueelta, FCR-D aktivoituu taajuuden mukaan. Aktivoinnin aikana mitattuun tehoon vaikuttavat sekä muutokset taajuudessa että saatavilla olevassa pätötehossa. Ylläpidetty reservikapasiteetti lasketaan saatavilla olevan pätötehon ja minimitehon erotuksena ($P_{\text{available}} - P_{\text{min}}$) riippumatta aktivoituneen FCR-D:n määrästä.

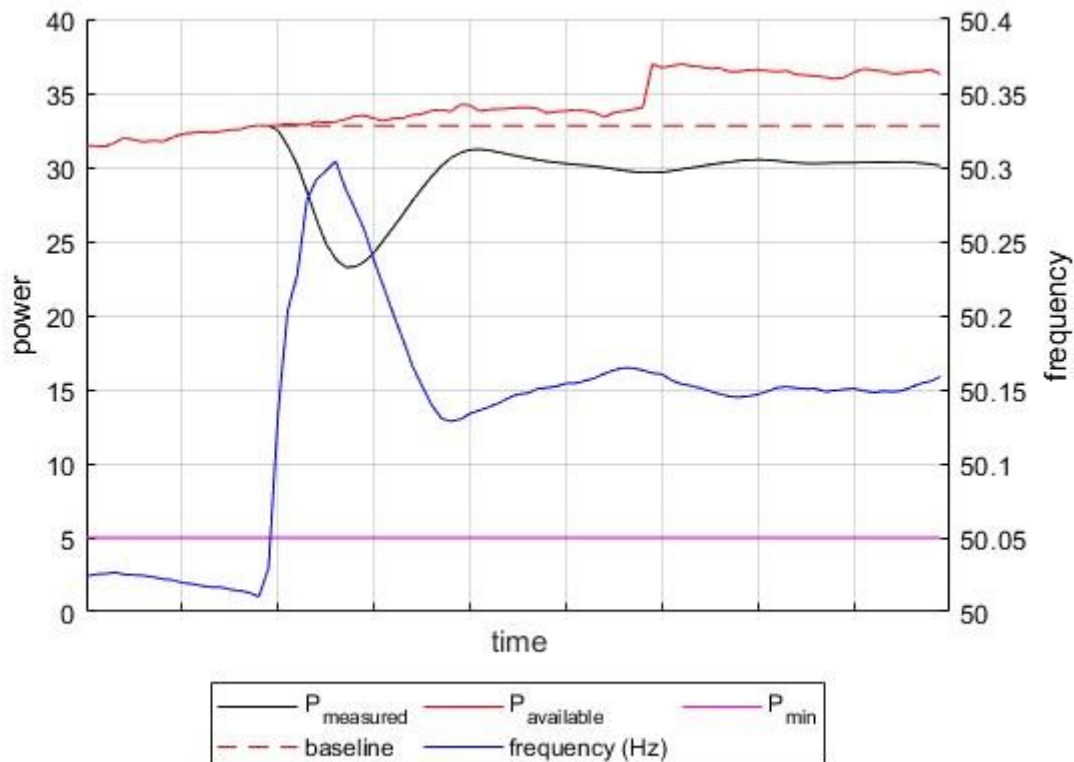


Kuva 6 FCR-D alassäätö, esimerkki 1

Kuva 7 havainnollistaa puiston ideaalista toimintaa, kun referenssiteho on hetkellinen pätöteho juuri ennen aktivoitumista. Kun taajuus poikkeaa normaalialueelta, FCR-D aktivoituu taajuuden mukaan. Aktivoinnin aikana referenssitehon arvo on jäädytetty ja vain taajuuden muutokset vaikuttavat mitattuun tehoon. Ylläpidetty reservikapasiteetti lasketaan referenssitehon ja minimitehon erotuksena ($P_{\text{baseline}} - P_{\text{min}}$) riippumatta aktivoituneen FCR-D:n määrästä.

11.4.2024

Julkinen dokumentti



Kuva 7 FCR-D alassäätö, esimerkki 2