



## Norsk støttedokument for FCR kravene

Versjon v2024-01-05

Gjeldende fra 01.01.2024

# Innhold

Innhold .....	1
Hensikten med dokumentet.....	4
Dokument / endringslogg.....	5
Ordliste .....	6
1. Innledning.....	7
1.1. Hvem må følge de tekniske kravene til FCR i Norden? .....	7
1.2. Kort om FCR-N .....	7
1.3. Kort om FCR-D Opp .....	8
1.4. Kort om FCR-D Ned.....	9
1.5. FCR-enhet og FCR-gruppe .....	9
1.5.1 FCR-enhet .....	9
1.5.2 FCR-gruppe .....	10
2. Underlag for teknisk krav .....	11
2.1. Frekvensstabilitet i kraftsystem .....	11
2.2. Reguleringsobjektets evne til å dempe små frekvensvariasjoner.....	13
2.3. Identifisering av reguleringsobjektet sin transferfunksjon i frekvensdomenet.....	14
3. Implementering av FCR-I .....	16
4. Tekniske krav til FCR-N .....	17
4.1. Stasjonær respons .....	17
4.2. Varighet .....	18
4.3. Dynamisk linearitet.....	18
4.4. Stabilitet .....	19
4.5. Evne til å dempe små frekvensvariasjoner.....	19
4.6. Reduksjonsfaktor for FCR-N .....	19
4.7. Linearitetskrav til diskret FCR-N .....	20
5. Tekniske krav til FCR-D .....	20
5.1. Tekniske krav til dynamisk FCR-D.....	21
5.1.1. Stasjonær respons .....	21
5.1.2. Varighet .....	22
5.1.3. Aktiveringshastighet.....	22
5.1.4. Overlevering .....	23
5.1.5. Samlevering av FCD-N og FCR-D.....	24

5.1.6.	Stabilitet .....	25
5.1.7.	Evne til å dempe små frekvensvariasjoner.....	25
5.1.8.	Reduksjonsfaktor for dynamisk FCR-D .....	25
5.2.	Tekniske krav til statisk FCR-D .....	26
5.2.1.	Stasjonær respons.....	26
5.2.2.	Varighet .....	26
5.2.3.	Dynamisk respons.....	27
5.2.4.	Reduksjonsfaktor for statisk FCR-D .....	27
5.2.5.	Overlevering .....	27
5.2.6.	Tidsforsinkelse ved aktivering .....	27
5.2.7.	Deaktivering .....	27
5.2.8.	Deaktiveringshastighet.....	27
5.2.9.	Hvileperiode av aktivert kapasitet.....	28
5.2.10.	Aktivering av ikke-aktivert kapasitet .....	28
5.2.11.	Linearitet .....	28
6.	LER – Reguleringsobjekter med begrenset energilager .....	29
6.1.	Krav om dimensjonering av bud.....	29
6.2.	Krav om energistyring .....	30
6.2.1.	Energistyring i normal tilstand (NEM – Normal state Energy Management).....	30
6.2.2.	Energistyring i alarmert tilstand (AEM – Alert state Energy Management).....	31
6.3.	Krav om rapportering av ladetilstand (SOC – State of Charge).....	31
7.	Baseline .....	32
8.	Sentralstyring .....	32
9.	Leveranse fra FCR-enheter eller FCR-grupper som består av reguleringsobjekter med mindre volum.....	33
9.1.	Dynamisk prekvalifisering.....	34
9.1.1.	"Stand alone" – Enkeltstående ressurser som oppfyller tekniske krav.....	34
9.1.2.	Typekvalifisering.....	34
9.1.3.	Forenklet utvidelse av grupper som leverer statisk FCR-D .....	34
9.2.	Dynamisk drift .....	35
9.2.1.	Generelt.....	35
9.2.2.	"Stand alone" – Enkeltstående reguleringsobjekt som oppfyller tekniske krav .....	35
9.2.3.	Typekvalifisering.....	35
9.3.	Fjerning av reguleringsobjekter.....	35

10. Kravene til målesystem .....	36
10.1. Målenøyaktighet .....	36
10.2. Oppløsning.....	36
10.3. Samplingsfrekvens.....	36
10.4. Plassering av måleutstyr.....	37
11. Datalogging.....	39
11.1. Oversikt over data som skal logges .....	39
11.2. Data fra FCR-grupper og aggregerte FCR-enheter .....	41
12. Teknisk dokumentasjon av utstyr.....	41

## Hensikten med dokumentet

Dette støttedokumentet har som hensikt å presisere de tekniske kravene for deltagelse i markedet for frekvensbevaringsreserve, FCR (Frequency Containment Reserve) som følger av [Technical Requirements for Frequency Containment Reserve Provision in the Nordic Synchronous Area](#) (I dokumentet referert til som "Tekniske krav til FCR i Norden"). Dokumentet har som formål å tydeliggjøre hvordan kravene blir implementert i Norge, samt å beskrive kravene på en mer tilgjengelig og forståelig måte.

Dokumentet er ment som en støtte i forståelsen av vilkårene for deltagelse i FCR markedet og de tekniske kravene til FCR i Norden. Dette dokumentet vil ta for seg de tekniske kravene som stilles til deltagelse, øvrige krav for deltagelse i FCR markedet er beskrevet i vilkårene. Dokumentet vil ikke ta for seg alle krav som følger av det tekniske dokumentet. For en helhetlig forståelse av kravene og deres formål oppfordres det derfor til å lese dokumentet med [tekniske krav til FCR i Norden](#) og vilkår for deltagelse i FCR markedet. Relevante dokumenter er tilgjengelige på siden [Primærreserver - FCR | Statnett](#)<sup>1</sup>.

Statnett vil kontinuerlig oppdatere innhold og forklaringer i dokumentet. Det vil være noen områder hvor dokumentet ikke tilstrekkelig forklarer alle kravene, her vil det være en foreløpig henvisning til de nordiske tekniske kravene. Vurderingene i dokumentet vil være Statnett sin forståelse av kravene og implementeringen i Norge. Vi vil fortsette å oppdatere dokumentet og oppdateringene vil skje parallelt med høringen om nye vilkår for deltagelse i FCR markedet. Det oppfordres til å sende tilbakemeldinger på støttedokumentet ved spørsmål eller ved uklarheter. (Se eget avsnitt om innspill).

Dokumentet er satt opp med følgende form. Kapittel 1 er en kort beskrivelse av hvordan FCR fungerer, her beskrives de forskjellige produktene innenfor FCR. Kapittel 2 om teknisk underlag er en bakgrunn for å gi en forklaring av kraftsystembehovene og inneholder ingen krav til reguleringsobjektene. Fra kapittel 3 og utover beskrives krav for de forskjellige produktene i FCR. Kravene er beskrevet for hvert enkelt produkt og kapitlene kan leses individuelt uavhengig av hverandre.

Denne versjonen av støttedokumentet forklarer ikke testprogram og beskrivelse av prekvalifisering- og kvalifiseringsprosessen for FCR, testprogrammet er tilgjengelig på [Statnett sine nettsider](#).

### Innsending av innspill til støttedokumentet

Støttedokumentet vil stadig oppdateres og det er åpent for å gi tilbakemeldinger og innspill på innholdet. Dersom det er ønske om å gi innspill, kan dette sendes til Statnett fortløpende på [FCR@Statnett.no](mailto:FCR@Statnett.no), og merkes med emne "Støttedokument" samt versjonen av støttedokumentet det gis tilbakemeldinger på.

---

<sup>1</sup> <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/primarreserver/>

## Dokument / endringslogg

	Versjon	Revisjon	Dato	Ansvarlig
1	v2023-12-11	Første versjon	11.12.23	NAG
2	v2024-01-05	Revidert versjon <ul style="list-style-type: none"><li>Basert på innspill har vi endret Figur 2 for å tydeliggjøre at det er en : Illustrasjon på hovedforskjell mellom dynamisk og statisk FCR-D.</li></ul>	05.12.23	NAG

## Ordliste

Begrep	Forklaring
AEM	Alert state Energy Management mode. (Energihåndteringsmodus i alarmtilstand)
aFRR	Automatic Frequency Restoration Reserve, frekvensgjenoppretingsreserver med automatisk aktivering.
Aktivert kapasitet	Delen av aktiv effekt som mates inn/trekkes ut av nettet som følge av aktivert FCR
Backlash	Mekanisk dødbånd
Baseline	Delen av aktiv effekt som mates inn/trekkes ut av nettet som ikke inkluderer aktivert FCR
FCR	Frequency Containment Reserve. Primærreserve som aktiveres for å begrense frekvensavvik fra nominell frekvens på 50,0 Hz
FCR-D	Frequency Containment Reserve for Disturbances. Primærreserve som automatisk aktiveres når frekvensen avviker fra normalfrekvensbåndet (49,9 – 50,1 Hz). Denne reserven er delt inn i to separate produkter for opp- og nedregulering.
FCR-enhet	En enkel eller samling av reguleringsobjekt for produksjon, forbruk eller energilagring i et tilknytningspunkt
FCR-gruppe	En aggregering av produksjon, forbruk eller energilagring på tvers av flere tilknytningspunkt
FCR-I	Frequency Containment Reserve – Isolated (isolert). Funksjonalitet for deteksjon av separatdrift og aktivering av parametersett tilpasset separatdrift.
FCR-N	Frequency Containment Reserve for Normal operation. Primærreserve som automatisk aktiveres når frekvensen er innenfor normalfrekvensbåndet (49,9 – 50,1 Hz). Dette er et symmetrisk produkt, og en reguleringsenhet som leverer FCR-N må ha muligheten både å minske og øke mengden produksjon/forbruk basert på retningen av frekvensavviket.
Kapasitet	Aktiv effekt i MW som reguleringsobjektet leverer ved full aktivering
NEM	Normal state Energy Management mode. Energihåndteringsmodus i normaltilstand
Reguleringsobjekt	En enhet for produksjon, forbruk eller energilagring som kan reguleres opp og/eller ned.
SOC	State Of Charge. (Ladetilstand)
Tilknytningspunkt	Punkt i overføringsnettet der det foregår innmating eller uttak av kraft

# 1. Innledning

For å delta i FCR markedet, stilles det flere krav til leveranse og til reguleringsobjektet. Statnett har utarbeidet dette støttedokumentet for presisere de tekniske krav for deltagelse i FCR markedet og gi en utvidet forklaring av vilkår for deltagelse i FCR-markedet.

Dokumentet er basert på krav som følger av dokumentet "[Technical Requirements for Frequency Containment Reserve Provision in the Nordic Synchronous Area](#)"<sup>2</sup> (Heretter "Tekniske krav til FCR i Norden).

Det finnes tre FCR-produkter: FCR-N, FCR-D Opp og FCR-D Ned. FCR-N er delt i kontinuerlig og stegvis (diskret). FCR-D Opp er delt i to distinkte undertyper, dynamisk og statisk. Det samme gjelder FCR-D Ned. Hvert produkt har sine egne krav.

Reguleringsobjekt som ikke kontinuerlig kan levere full prekvalifisert kapasitet i en retning i mer enn to timer, defineres som LER (Limited Energy Reservoir). Da må reguleringsobjektet følge krav til LER i tillegg til produktkravene for FCR-N, FCR-D Opp eller FCR-D Ned. Hvis en leverandør ønsker å tilby kapasitet som kategoriseres som LER, henvises det til kapittel 3.5 "*Endurance and limited energy reservoirs, LER*" i [Tekniske krav til FCR i Norden](#). Vi skriver også om temaet i kapittel 6 i dette dokumentet.

## 1.1. Hvem må følge de tekniske kravene til FCR i Norden?

Generelt skal alle tilbudte reguleringsobjekter som deltar i FCR-markedet fra og med 1. januar 2024 oppfylle de felles nordiske tekniske krav til FCR i Norden. I vilkårene for deltagelse i FCR markedet står det at respons fra de enkelte reguleringsobjekt skal være i tråd med de til enhver tid gjeldende funksjonskravene beskrevet i [tekniske krav til FCR i Norden](#). Eventuelle unntak skal spesifiseres i søknad om prekvalifisering til Statnett.

Det er gitt et generelt unntak fra å følge de tekniske kravene til FCR i Norden for reguleringsobjekter som er pålagt å levere frekvensregulering i henhold til vedtak fra systemansvarlig.<sup>3</sup> Disse reguleringsobjektene kan fortsette sin leveranse frem til prekvalifisering etter de nye kravene er gjennomført, dette skal skje senest innen 21. desember 2027.

## 1.2. Kort om FCR-N

Primærreserven FCR-N (Frequency Containment Reserve for Normal operation) aktiveres lineært i normalfrekvensbåndet mellom 49,9 og 50,1 Hz, som indikert i **Figur 1**. Reserven aktiveres kontinuerlig når frekvensen har normale svingninger rundt 50,0 Hz på grunn av små tilfeldige variasjoner i produksjon og forbruk som oppstår under normal drift. Produktet er symmetrisk, som betyr at et reguleringsobjekt må ha mulighet til å justere produksjon eller forbruk både opp og ned,

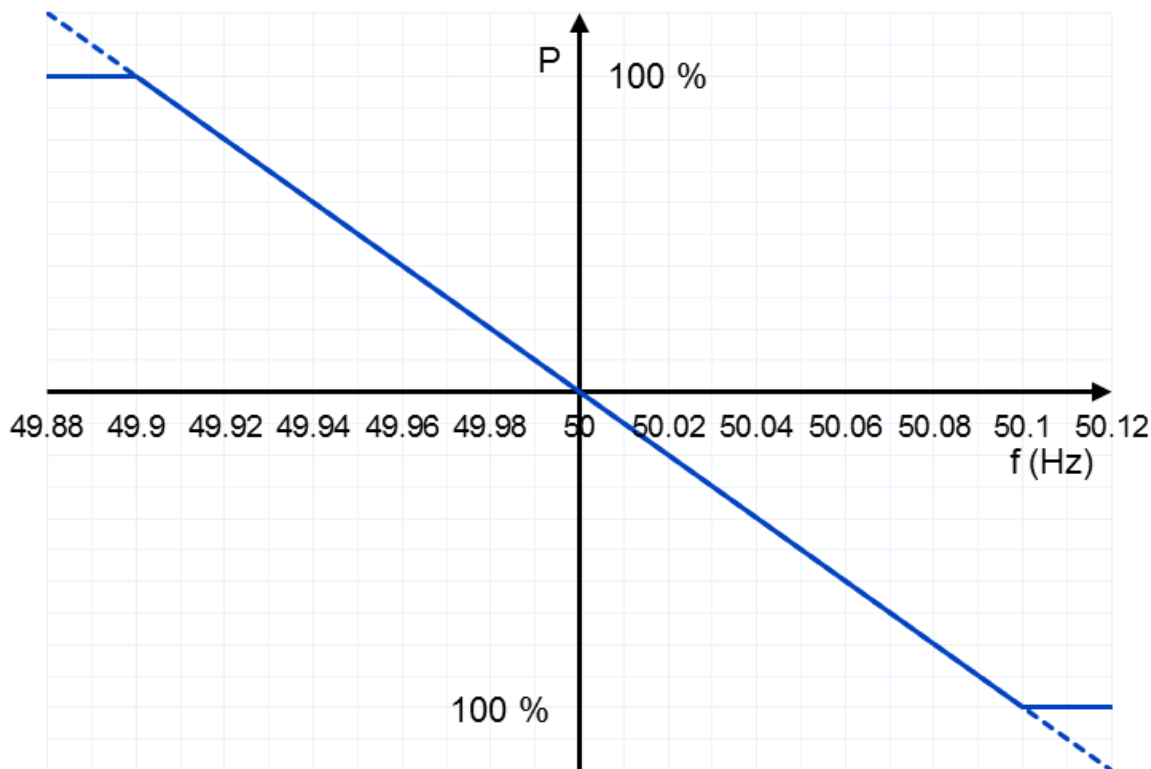
<sup>2</sup> Dokumentet er tilgjengelig på <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/kraftmarkedet/reservemarkeder/primarreserver/>.

<sup>3</sup> I 2024 gjelder dette vedtaket alle produksjonsanlegg over 10 MVA, unntatt kraftparker og varmekraftverk, som har teknisk evne til frekvensregulering. Vedtaket finner man på statnett.no på siden <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/systemtjenester/>.



avhengig av retningen på frekvensavviket.

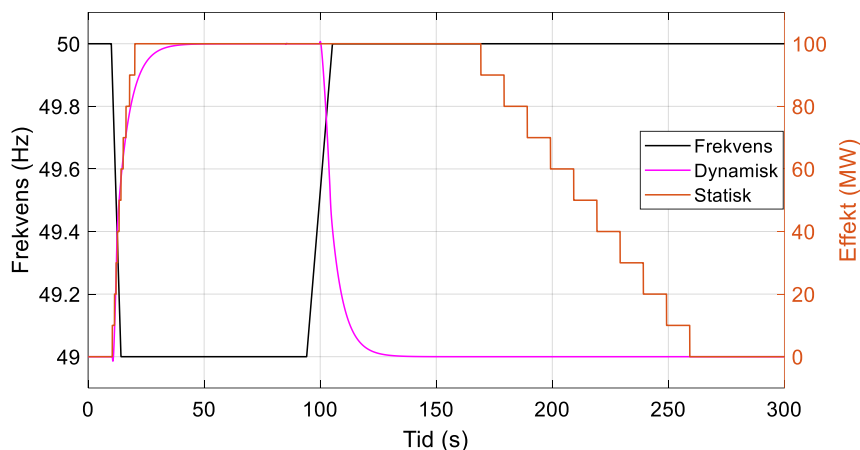
Hvis aktivering av et reguleringsobjekt ikke kan kontrolleres dynamisk (for eksempel dersom det er snakk om en gruppe mindre ressurser som aktiveres stegvis med reléer), defineres reguleringsobjektet som diskret aktivert.



*Figur 1* Illustrasjon av aktiveringsprofil for FCR-N.

### 1.3. Kort om FCR-D Opp

Primærreserven FCR-D Opp (Frequency Containment Reserve for Disturbances in Upwards direction) aktiveres lineært når frekvensen er i intervallet 49,90 – 49,50 Hz. Ved 49,90 Hz skal 0 % av FCR-D Opp kapasiteten være aktivert, og ved 49,50 Hz skal 100 % av FCR-D Opp kapasiteten være aktivert. Et reguleringsobjekt som leverer FCR-D Opp ved å mate inn effekt på nettet, må kunne justere opp produksjonen basert på frekvens. Forbruk kan levere FCR-D Opp ved å redusere sitt effektuttak. Statisk FCR-D Opp har stegvis aktivering og deaktivering. Aktivering av statisk FCR-D har samme krav som dynamisk FCR-D, men deaktiveringen er annerledes. Statisk FCR-D Opp skal forbli aktivert til frekvensen har ligget stabilt høyere enn 49,9 Hz i 60 sekunder. **Figur 2** illustrerer forskjellen mellom dynamisk og statisk FCR-D.



**Figur 2:** Illustrasjon på hovedforskjell mellom dynamisk og statisk FCR-D. Sort linje er frekvens. Rosa og oransje linjer er aktivert effekt av dynamisk og statisk FCR-D henholdsvis.

#### 1.4. Kort om FCR-D Ned

Primærreserven FCR-D Ned (Frequency Containment Reserve for Disturbances in Downwards direction) aktiveres lineært når frekvensen er i intervallet 50,10 – 50,50 Hz. Ved 50,10 Hz skal 0 % av FCR-D Ned kapasiteten være aktivert, og ved 50,50 Hz skal 100 % av FCR-D Ned kapasiteten være aktivert. Et reguleringsobjekt som leverer FCR-D Ned ved å mate inn effekt på nettet, må kunne justere ned produksjonen basert på frekvens. Forbruk kan levere FCR-D Ned ved å øke sitt effektuttak.

Statisk FCR-D Ned har stegvis aktivering og deaktivering. Aktivering av statisk FCR-D har samme krav som dynamisk FCR-D, men deaktiveringen er annerledes. Statisk FCR-D Ned skal forbli aktivert til frekvensen har ligget stabilt lavere enn 50,1 Hz i 60 sekunder.

#### 1.5. FCR-enhet og FCR-gruppe

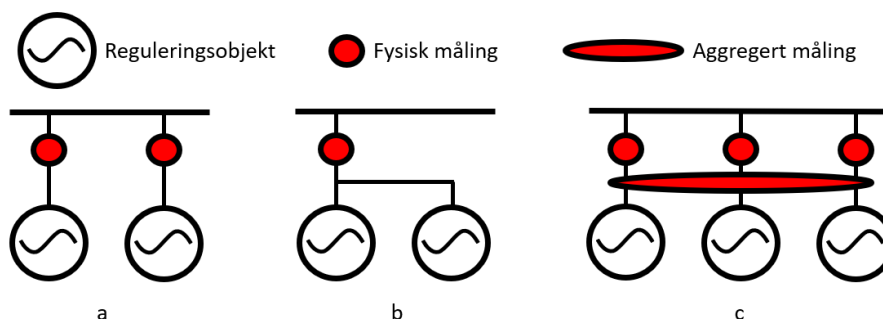
Reguleringsobjekter som deltar i FCR deles inn i to forskjellige kategorier avhengig av plasseringen i forhold til tilknytningspunktet. I de tilfeller der det er en enkel eller en samling av reguleringsobjekter bak et tilknytningspunkt, defineres det som en FCR-enhet. I tilfeller hvor det er flere reguleringsobjekter som aggregeres på tvers av tilknytningspunkt, defineres det som en FCR-gruppe.

##### 1.5.1 FCR-enhet

Per definisjon kan en FCR-enhet bestå av ett eller flere fysiske objekter tilkoblet ett tilknytningspunkt i nettet. Det er flere måter man kan danne en FCR-enhet, men med hensyn til testing, verifisering og forvaltning krever Statnett at FCR-enhet etableres på følgende prinsipp:

- Reguleringsobjekt som har evne til å levere FCR alene, må registreres som en FCR-enhet som vist i Bilde a i Figur 3.
- Reguleringsobjekt som ikke kan levere FCR alene, kan aggregeres til å forme en FCR-enhet (aggregert FCR-enhet som vist i Bilde b og c i **Figur 3** etter godkjenning fra Statnett. Leverandør må ha tilstrekkelig tekniske begrunnelse for dette.

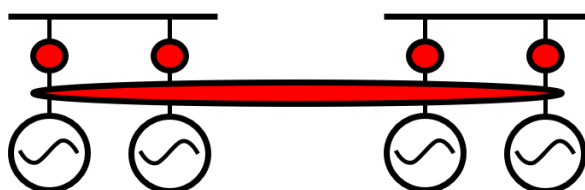
- Antall reguleringsobjekter og kapasiteten til en aggregert FCR-enhet bør begrenses så lenge tekniske begrunnelse tillater. For eksempel: Dersom et reguleringsobjekt ikke oppfyller kravene for leveranse av FCR, men en samling av 2 objekter kan det så kan disse aggregeres. Da skal ikke flere objekter aggregeres enn det som er nødvendig.



**Figur 3:** Eksempler av FCR-enhet. a) hvert reguleringsobjekt er en FCR-enhet; b) aggregert FCR-enhet med felles måling; c) aggregert FCR-enhet med aggregert måling.

### 1.5.2 FCR-gruppe

En FCR-gruppe består av flere reguleringsobjekter med flere tilknytningspunkt som samlet leverer et FCR-produkt som vist i **Figur 4**. Antall reguleringsobjekter og kapasitet som deltar i en FCR-gruppe skal være av begrenset omfang. Dette betyr at det ikke skal aggregeres flere enheter enn det som er nødvendig for å kunne tilfredsstille de tekniske kravene til deltagelse. Reguleringsobjekter fra forbruk og produksjon skal ikke inngå i samme FCR-gruppe. Leverandør skal beskrive hvordan reguleringsobjekter aggregeres.



**Figur 4:** Eksempel på FCR-gruppe.

## 2. Underlag for teknisk krav

Dette kapitlet er bakgrunn og forklaring av kraftsystembehovene, og inneholder ingen krav til reguleringsobjektene.

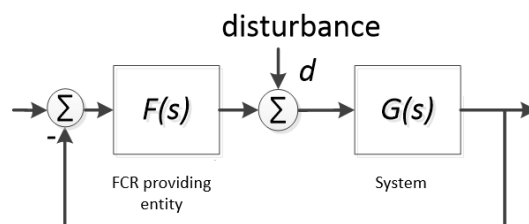
Frekvensen i kraftsystemet reguleres av mange reguleringsobjekter bredt distribuert i hele nettet. Når det er liten svingmasse og store ubalanser, kan frekvensen variere mye, noe som kan føre til utkobling av forbruk eller produksjon. For å dempe store frekvensavvik må reguleringsobjektene reagere raskt nok.

I tillegg er det alltid stokastiske lastvariasjoner i normal drift som også medfører små frekvensvariasjoner. I driften trengs tilstrekkelig bidrag fra reguleringsobjekter for å holde frekvensen så nær 50 Hz som mulig. Det stilles derfor tekniske krav til reguleringsobjekter. Noen av kravene er basert på modellering av kraftsystemet og reguleringsobjekter i frekvensdomenet. Dette kapitlet gir en kort beskrivelse av hvordan modellering og analyse i frekvensdomenet er utført.

### 2.1. Frekvensstabilitet i kraftsystem

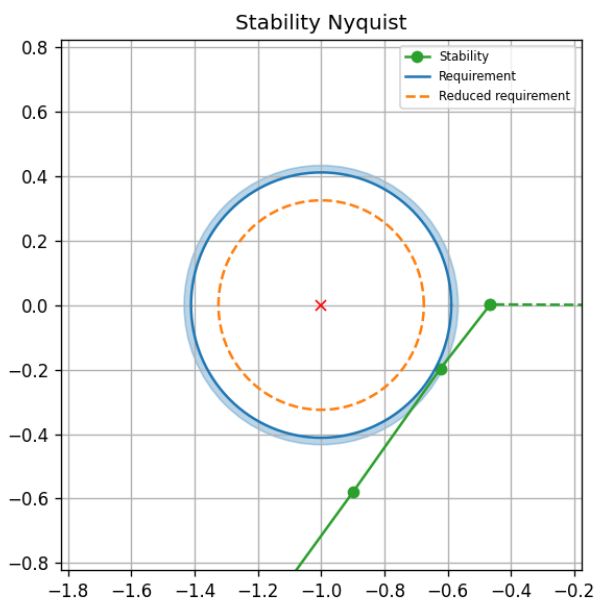
Når frekvensen endrer seg, skal reguleringsobjekter endre sin aktive effekt for å motvirke effektendringen. Hvor raskt reguleringsobjekter justerer sin effekt, vil derfor påvirke frekvensen i nettet. Dårlig respons fra reguleringsobjekter kan i verste fall føre til ustabil frekvens. Tekniske krav til dynamiske egenskaper av reguleringsobjekter er basert på behov fra det nordiske kraftsystemet, særlig kinetisk energi av roterende masse (inertia), for å sikre frekvensstabilitet i hele kraftsystemet.

For å sjekke om frekvensen i kraftsystemet er stabilt regulert, modelleres et reguleringsobjekt av en transferfunksjon  $F(s)$ , og det nordiske kraftnettet representeres av en transferfunksjon  $G(s)$ . De to transferfunksjonene former et system som vist i Figur 5. Dette er et tilbakekoplet reguleringsystem. For å sikre et stabilt reguleringsystem må Nyquistkurven<sup>4</sup> til et åpent system  $F(s) \cdot G(s)$  ha minimum avstand til punkt  $(-1,0)$  i det komplekse planet. Krav til denne avstanden er 0.43.



**Figur 5:** Modellering av et reguleringsobjekt og det nordiske kraftnettet.  $F(s)$  er transferfunksjon av reguleringsobjekt;  $G(s)$  er transferfunksjon av det nordiske kraftsystemet.

<sup>4</sup> Nyquistkurven av en transferfunksjon er et diagram i kompleks plan som er bestemt av transferfunksjon sin amplitude og vinkel når frekvens endrer seg fra  $-\infty$  til  $+\infty$ . Nyquistkurven viser hvordan et system reagerer på endringer i frekvens, og brukes til blant annet å vurdere stabiliteten til et lukket reguleringsystem. Mer informasjon kan finnes i kapittel 8.4 Nyquists stabilitetskriterium i Reguleringsteknikk av Jens G. Balchen Trond Andresen Bjarne A. Foss.



Figur 6: Illustrasjon av Nyquistkurven og avstand til instabilitet punkt (-1,0).

Selv om det nordiske kraftnettet er et komplekst system, kan man i forhold til frekvensanalyse modellere det som et første ordens system:

$$G(s) = \frac{\Delta P_{FCR-X}}{\Delta f_{FCR-X}} \frac{f_0}{S_n} \frac{1}{2HS + K_f \cdot f_0}$$

hvor

- $\Delta P_{FCR-X}$  er dimensjonert FCR reserve
- $\Delta f_{FCR-X}$  er en konstant for frekvensavvik
- $f_0$  er nominell frekvens (50 Hz)
- $S_n$  er nominell effekt av det nordiske kraftsystemet
- $H$  er inertia konstant
- $K_f$  er en konstant som representerer endring av forbruk som følge av frekvensendring

Blant disse parameterne kan  $S_n$  og  $H$  variere mye gjennom året. Det er to viktige aspekter å ta hensyn til knyttet til frekvenskontroll; ytelse og stabilitet. Ytelse er evnen til å reagere raskt på en stor forstyrrelse og holde frekvensen innenfor akseptable grenser og knytter seg til hvor rask responsen er. Stabilitet er evnen til å dempe svingninger i frekvensen for å holde systemet stabilt. Begge aspekter er viktige, og det er en balansegang. Hvis et reguleringsobjekt øker ytelsen (respons hurtigheten) er det en risiko for at objektet vil reagere for raskt og redusere stabilitetsmarginen. For hurtig respons kan føre til pendlinger og øke frekvenssvingningene i systemet. For å sikre stabiliteten må både ytelse og stabilitet hensyntas for å sikre at kraftsystemet er stabilt i normaltilstand. Tabell 1 viser de utvalgte parametre som er benyttet for å representere kraftsystemet. Kravene til ytelse er basert på "gjennomsnittssystemet", mens kravene til stabilitet er basert på et mer stresset system.

Tabell 1: Parametere av kraftsystemet sin transferfunksjon

Parameter	Beskrivelse	FCR-N (krav til ytelse)	FCR-N (krav til stabilitet)	FCR-D (krav til ytelse)	FCR-D (krav til stabilitet)
$\Delta P_{FCR-X}$ [MW]	FCR-X volum	600 MW	600 MW	1450 MW	1450 MW
$\Delta f_{FCR-X}$ [Hz]	FCR-X ensidig frekvensbånd	0,1 Hz	0,1 Hz	0,4 Hz	0,4 Hz
$f_0$ [Hz]	Nominell frekvens	50 Hz	50 Hz	50 Hz	50 Hz
$S_n$ [MW]	Nominell effekt	42 000 MW	23 000 MW	42 000 MW	23 000 MW
$H$ [s]	Inertia konstant	190 000 MWs/ $S_n$ = 4,5238 s	120 000 MWs/ $S_n$ = 5,2174 s	190 000 MWs/ $S_n$ = 4,5238 s	120 000 MWs/ $S_n$ = 5,2174 s
$K_f$ [p.u]	Last frekvens avhengighet	0,01	0,01	0,01	0,01

## 2.2. Reguleringsobjektets evne til å dempe små frekvensvariasjoner

Frekvensen i kraftsystemet reflekterer den momentane balansen mellom produksjon og forbruk. Denne balansen endrer seg hele tiden i normal drift, noe som fører til små frekvensbevegelser. I tillegg er det større inn- og utkoblinger av last og produksjon, noe som også forårsaker frekvensvariasjoner. For å holde frekvensen rundt 50 Hz, har de Nordiske TSOene bestemt at reguleringsobjekter må ha evne til å dempe frekvensvariasjoner som har syklus rundt 70 sekunder eller lengre<sup>5</sup>. Dette kravet spesifiseres av følgende vilkår:

$$\text{Krav:} \quad G_c(s) = K_{margin} \frac{G_{FCR-Xperf}(s)}{1+F(s)_{FCR-Xperf}(s)} < \left| \frac{1}{D(s)} \right|$$

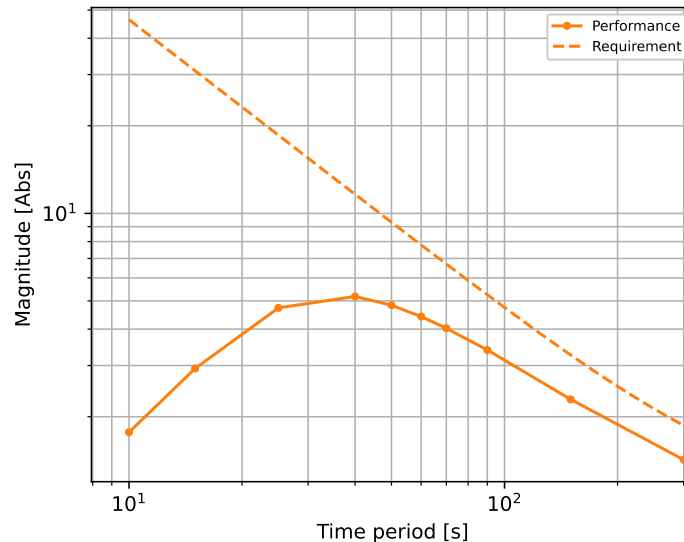
hvor:

$$- K_{margin} = 0,95$$

<sup>5</sup> Studerer man frekvensen til det nordiske kraftsystemet vil man se at frekvensen har en tendens til å svinge med en periodetid på mellom 40 til 90 sekunder. Det er ønskelig å begrense dette både for å begrense tiden utenfor normalfrekvensbåndet 49,9 – 50,1 Hz, og for å redusere mekanisk belastning på de fysiske komponentene i anlegg som utfører regulering.

- $D(s) = \frac{1}{70s+1}$
- $G_{FCR-Xperf}(s)$  er kraftsystemets transferfunksjon. For å sjekke evne til å dempe frekvenspendlinger, må scenario med høyt forbruk og inertia tas i bruk (FCR-N krav ytelse og FCR-D krav til ytelse som vist i Tabell 1).
- $F(s)$  er reguleringsobjektet sin transferfunksjon. Merk at de to begrepene  $F(s)$  og  $F(j\omega)$  brukt i dette dokumentet er de samme siden  $s = j\omega$ .

**Figur 7** illustrerer hvordan amplituden, venstre del av ulikheten (heltrukken linje) og høyre del av ulikheten (stiplede linje) endrer seg som funksjon av syklus.



**Figur 7:** Grafisk illustrasjon for kravet til demping av små frekvensvariasjoner

### 2.3. Identifisering av reguleringsobjektet sin transferfunksjon i frekvensdomenet

Analyse av frekvensstabilitet i kraftsystemet og reguleringsobjektet sin evne til å dempe frekvensvariasjoner, er utført i frekvensdomenet som beskrevet i delkapittel 2.1 og 2.2. Siden transferfunksjonen til kraftsystemet er kjent, er det nødvendig å finne respons i frekvensdomenet av transferfunksjonen ( $F(j\omega) = |F(j\omega)|\angle\varphi$ ) til reguleringsobjektet. Dette er utført ved bruk av sinustesting, noe som betyr at man påtrykker inngangen til reguleringsobjektet forskjellige sinuser ved forskjellige perioder ( $T$ ) som vist i Tabell 2, og måler utgangen. Disse periodene tilsvarer de frekvenser i frekvensdomenet som man ønsker å analysere. **Figur 8** viser et testsignal med testfrekvens  $\omega$  ( $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ ) og tilsvarende utgangen (effekt) av et reguleringsobjekt. Her kan man finne forsterkning av reguleringsobjektet sin normaliserte transferfunksjon  $F(j\omega)$  som

$$|F(j\omega)| = \frac{A_p(\omega)}{A_f(\omega)} \frac{|\Delta f_{FCR-X}|}{|\Delta P_{FCR-X,ss,theoretical}|}$$

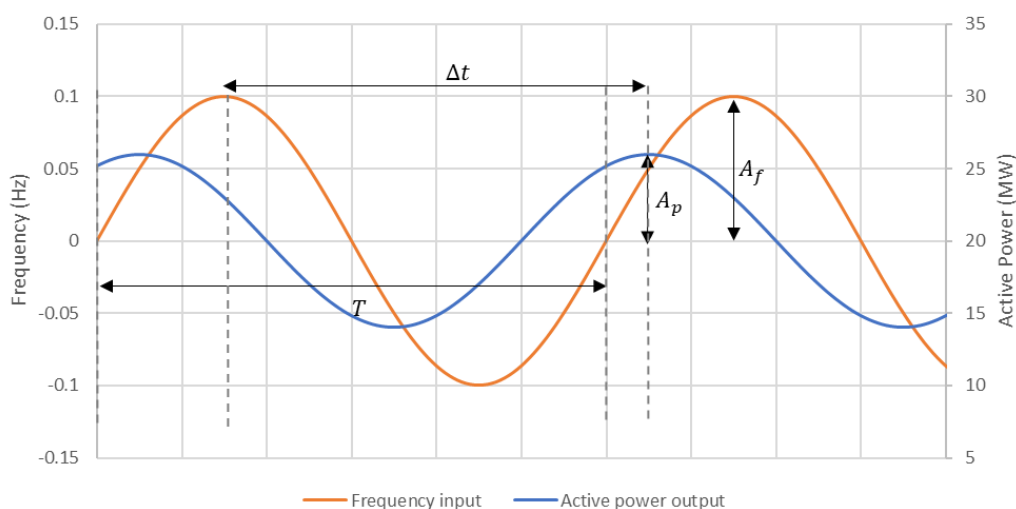
hvor

- $A_p(\omega)$  er amplituden til utgangen
- $A_f(\omega)$  er amplituden til inngangen
- $\Delta P_{FCR-X,ss,theoretical}$  er kapasiteten til reguleringsobjektet
- $\Delta f_{FCR-X}$  er en konstant.  $\Delta f_{FCR-X} = 0,1$  for FCR-N og  $\Delta f_{FCR-X} = 0,4$  for FCR-D

I tillegg er fase av  $F(j\omega)$  i grader beregnet som

$$\varphi = \text{Arg}(F(j\omega)) = -\Delta t(\omega) \frac{360^\circ}{T}$$

Da er transferfunksjonen  $F(j\omega)$  til reguleringsobjektet med et spesifikt testsignal identifisert.



Figur 8: Illustrasjon av inngang (frekvens) og utgang (effekt) ved en sinustest.

Periode T [s]	Antall stasjonære perioder (Anbefalt total antall perioder)	FCR-N Sentralfrekvens = 50 Hz Amplitude = $\pm 100$ mHz FCR-N aktiv. FCR-D inaktiv Mest krevende belastning Høy statikk	FCR-D opp* Sentralfrekvens = 49.7 Hz Amplitude = $\pm 100$ mHz FCR-N aktiv. FCR-D opp aktiv Mest krevende belastning Lav statikk	FCR-D ned* Sentralfrekvens = 50.3 Hz Amplitude = $\pm 100$ mHz FCR-N inaktiv. FCR-D ned aktiv Mest krevende belastning Lav statikk
10	5 (20)	x	x	x
15	5 (15)	x	x	x
25	5 (10)	x	x	x
40	5 (7)	x	x	x
50	5 (7)	x	x	x
60	3 (4)	x	x	x
70	2 (3)	x	x	x
90	5 (7)	x	(x)**	(x)**
150	5 (7)	x	(x)**	(x)**
300	5 (7)	x	(x)**	(x)**

Tabell 2: Testsignal for sinustesting.

\* hvis regulator av FCR-D Opp og Ned har samme parametere, er enten sinustester av FCR-D Opp eller Ned tilstrekkelig til å vurdere begge produktene.

\*\* gjelder for modus med høy stabilitet i FCR-enheter/grupper som har modusskifte mellom høy ytelse og høy stabilitet.



### 3. Implementering av FCR-I

Separatdrift er en tilstand der en del av nettet blir isolert fra hovednettet. Mange områder i Norge er i hele eller deler av året avhengig av kun én ledning eller transformator som forbindelse med transmisjonsnettet, og hvis denne komponenten faller ut vil frekvensen i området avvike fra nordisk systemfrekvens.

Resten av dette kapittelet retter seg mot eier av større vannkraftanlegg, med produksjonsenheter som er av type B, C, D i henhold til [Nasjonal veileder for funksjonskrav i kraftsystemet \(NVF\)](#)<sup>6</sup>. For slike enheter er ikke implementering av FCR-I et krav knyttet til markedsdeltagelse i FCR, men et behovsprøvd eller behovsvurdert krav som gjøres av Statnett som systemansvarlig gjennom vedtak gjort etter fos §14. Slike konsesjonærer har selv ansvar for å sende inn egen fos §14-søknad ved utskiftning av turbinregulator eller andre tiltak i anlegget som påvirker reguleringsløyfen.

FCR-I er funksjonalitet for deteksjon av separatdrift, og regulatorparametre tilpasset separatdrift.

Synkrone produksjonsenheter med krav om funksjonalitet for FCR-I-deteksjon iht. NVF kapittel 12.2.3 skal være i stand til å aktivere FCR-I parametre uavhengig av deltagelse/tilslag i FCR-markedene. Produksjonsenheten skal være i stand til å endre statikk og parameterinnstillinger som benyttes i FCR-N- eller FCR-D-modus dersom disse ikke er tilpasset stabil kjøring i separatdrift. Dersom det planlegges å benyttes dødbånd i forbindelse med deltagelse i FCR-markedene, skal disse stilles på en slik måte at de **ikke** blokkerer aktivering av FCR-I<sup>7</sup>. Standardinnstillinger for aktivering av FCR-I er 49,0 Hz for underfrekvens og 51,0 Hz for overfrekvens med mindre noe annet er besluttet av systemansvarlig..

---

<sup>6</sup> Gjeldende versjon "[NVF 2023](#)" er gjeldende fra 07.07.2023 og kan finnes som vedlegg til Statnetts retningslinjer for utøvelse av fos §14 Fastsettelse og oppfølging av funksjonalitet i anlegg i kraftsystemet. <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/retningslinjer-for-systemansvaret/>.

<sup>7</sup>Gjeldende vedtak om levering av systemtjenester, også omtalt i Kapittel **Error! Reference source not found.** i dette dokumentet tillater ikke bruk av dødbånd. Vedtaket finner man på statnett.no på siden <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/systemtjenester/>.

## 4. Tekniske krav til FCR-N

Produktet FCR-N er en lineær aktiveringsrespons basert på målt frekvens innenfor normalfrekvensbåndet, 49,9 Hz – 50,1 Hz. Leverandører som får tilslag i FCR-N, skal aktivere funksjonalitet i sine reguleringsressurser for å begrense frekvensavvik ved stokastiske små ubalanser mellom produksjon og forbruk i normaldrift. I følgende kapitler beskrives de tekniske krav som skal oppfylles i drift, og vises gjennom prekvalifisering. Disse kravene har som formål å sikre riktig respons og aktivering. I dette kapitlet beskrives de tekniske kravene til:

- Stasjonær respons
- Varighet
- Dynamisk linearitet
- Stabilitet
- Evnen til å dempe frekvensvariasjon
- Reduksjonsfaktor
- Linearitets-krav til diskret FCR-N

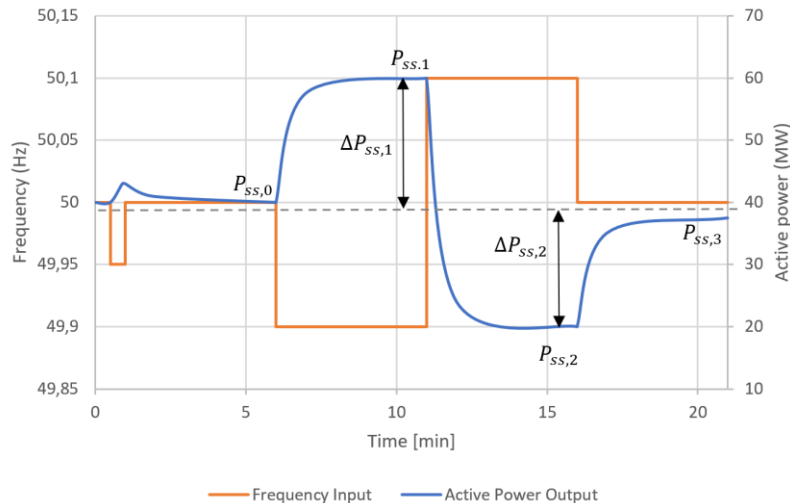
### 4.1. Stasjonær respons

Et frekvensavvik skal medføre at aktiv effekt fra reguleringsobjektet endrer seg tilsvarende og stabiliseres på en ny verdi. FCR-N skal være fullt aktivert når det er et stasjonært frekvensavvik på 0,1 Hz. Leverandør skal basert på design, struktur og innstilling av reguleringsobjektets regulator, være kjent med hvordan kapasiteten til reguleringsobjektet beregnes. For eksempler vises det til de tekniske kravene til FCR i Norden (Appendix 1: Examples of capacity calculation methods) for hvordan stasjonær kapasitet kan beregnes.

Leverandør skal beregne stasjonær respons (FCR-kapasitet). Avviket mellom stasjonær respons og det som faktisk leveres via testing må være innenfor en grense, dvs. -5% og 20% for oppover retning og -20% og 5% for nedover retning.

$$\text{Krav for oppregulering:} \quad -0,05 \leq \frac{\Delta P_{ss,1} - |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,2$$

$$\text{Krav for nedregulering:} \quad -0,2 \leq \frac{\Delta P_{ss,2} + |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,05$$



Figur 9: Sprangrespons-test for FCR-N

Hvis dette kravet ikke er oppfylt, vil kapasiteten leverandør beregner være feil i forhold til det reguleringsobjektet faktisk leverer. I dette tilfellet må leverandør innføre en faktor  $K_{red,ss}$  ( $0,9 \leq K_{red,ss} \leq 1$ ) slik at FCR-enheten kan imøtekomme kravet til stasjonær respons. Bruk av  $K_{red,ss}$  skal føre til innføring av reduksjonsfaktor beskrevet i punkt 4.64.6.

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for oppregulering: } -0,05 \leq \frac{\Delta P_{ss,1} - K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|}{K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,2$$

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for nedregulering: } -0,2 \leq \frac{\Delta P_{ss,2} + K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|}{K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,05$$

## 4.2. Varighet

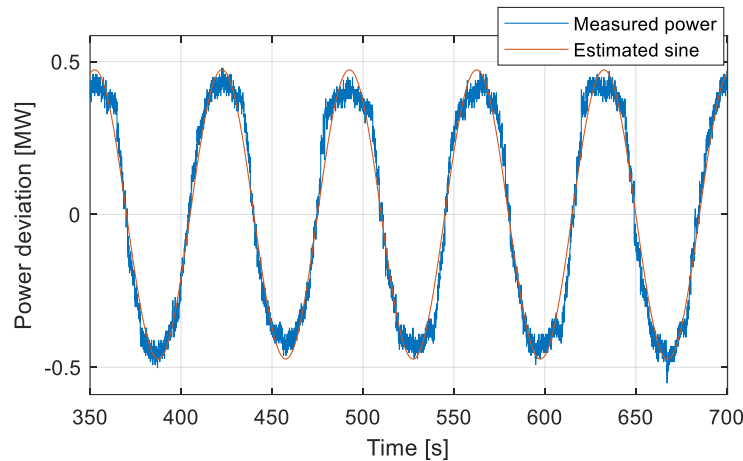
Når frekvensen avviker fra 50 Hz, skal FCR-N aktiveres for å motvirke dette frekvensavviket. Reguleringsobjekter som ikke har begrenset reserveenergi, skal være aktivert så lenge det er frekvensavvik i kraftnettet. For reguleringsobjekt som defineres som LER gjelder egne krav, les kapittel 6

## 4.3. Dynamisk linearitet

For å analysere stabilitet i hele systemet er det antatt at respons fra FCR-N-enheter er lineær. Det stilles derfor krav til dynamisk linearitet. Dette betyr at når enheten trigges av et sinussignal på inngang (frekvens), må effekt som utgang bli en sinus eller lik en sinus. Med dette kan man estimere den sinus som er nærmest til utgangen. Forskjellen mellom den estimerte sinusen og målt effekt I, skal være mindre enn 1. Forskjellen er beregnet med følgende formel:

$$\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^N |P_{mv}(t) - P_{est}(t)|^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^N \left| P_{est}(t) - \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N P_{est}(t) \right|^2}} < 1$$

hvor  $P_{mv}$  er utgangen (målt effekt) og  $P_{est}$  er den estimert sinusen.



Figur 10: Målt effekt og estimert sinus ved en sinus-test.

#### 4.4. Stabilitet

Som beskrevet i delkapittel 2.1, må punktet  $(-1, j_0)$  i kompleks plan ligge på venstre side av Nyquistkurven og minimum tillatt avstand fra Nyquistkurven til dette punktet er  $0,95 \cdot 0,43$ . Reguleringsobjekt som ikke oppfyller dette kravet, kan søke om unntak fra Statnett. Leverandører med unntak kan justere minimum tillatt avstand ned inntil  $0,75 \cdot 0,43$ . Leverandør skal i dette tilfellet via testing og/eller simulering bevise at alle tiltak er gjort uten å ha oppfylt kravet.

#### 4.5. Evne til å dempe små frekvensvariasjoner

Som beskrevet i delkapittel 2.2 må FCR-enheter ha evne til å dempe frekvensvariasjoner. Spesifikt krav til FCR-N er

$$G_c(s) = K_{margin} \frac{G_{FCR-Nperf}(s)}{1 + F(s)G_{FCR-Nperf}(s)} < \left| \frac{1}{D(s)} \right|$$

hvor:

- $K_{margin} = 0,95$
- $D(s) = \frac{1}{70s+1}$
- $G_{FCR-Nperf}(s) = \frac{600}{0,1} \frac{50}{42000} \frac{1}{2*4,5238s+0,01*50}$

Hvis FCR-enheten ikke kan oppfylle dette kravet, vil bidrag fra enheten ikke være tilstrekkelig til å dempe frekvensvariasjonene i nettet. I dette tilfelle er det mulig å bruke en faktor  $K_{red,dyn}$  ( $0,9 \leq K_{red,dyn} \leq 1$ ) for å få kravet oppfylt. Bruk av  $K_{red,dyn}$  skal føre til innføring av en reduksjonsfaktor, noe som reduserer kapasiteten til FCR-enheten som beskrevet i punkt 4.6.

#### 4.6. Reduksjonsfaktor for FCR-N

Når FCR-N enheten ikke imøtekommer krav som beskrevet i punkt 4.1 eller 4.5, må enheten bruke en reduksjonsfaktor. En reduksjonsfaktor skal gi riktig vurdering av kapasiteten til FCR-enheter som faktisk leveres med hensyn til stasjonær respons og evne til å dempe frekvensvariasjoner i normal drift. Enheter som imøtekommer kravene av delkapittel 4.1 og 4.5 skal ikke bruke reduksjonsfaktor.

Reduksjonsfaktor defineres som

$$C_{FCR-N} = \min(K_{red,ss}, K_{red,dyn}) \cdot \Delta P_{ss,theoretical}$$

hvor  $\Delta P_{ss,theoretical}$  er kapasitet til FCR-enhet som kommer fra leverandøren sin beregning før testing.

$C_{FCR-N}$  er godkjent kapasitet til FCR-enheten etter prekvalifisering.

$K_{red,ss}$  ( $0,9 \leq K_{red,ss} \leq 1$ ) og  $K_{red,dyn}$  ( $0,9 \leq K_{red,dyn} \leq 1$ ) er faktorene beskrevet i henholdsvis delkapittel 4.1 og 4.5.

### Eksempel:

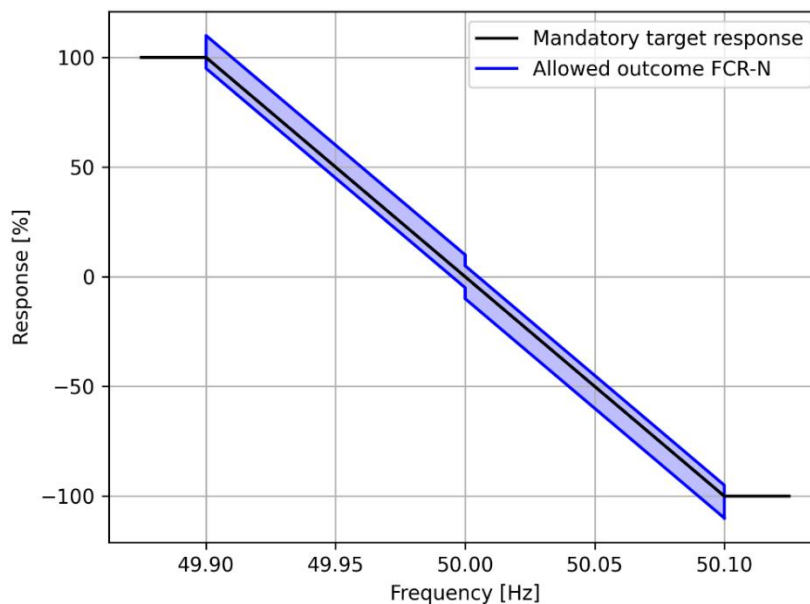
En leverandør beregner den stasjonære FCR kapasiteten fra et aggregat til å være 10 MW.

Sprangrespons test vist i Figur 9 viser at stasjonær respons faktisk er 9 MW ( $K_{red,ss} = \frac{9}{10} = 0,9$ ), og krav i punkt 4.5 er oppfylt ( $K_{red,dyn} = 1$ ). Da er 9 MW godkjent kapasitet.

## 4.7. Linearitetskrav til diskret FCR-N

Linearitetskravet gjelder kun reguleringsobjekter som leverer diskret FCR-N. Lineariteten for stasjonær aktivering av FCR-N er forholdet til frekvensavvik. Selv om diskret FCR-N endrer aktiv effekt trinnvis, må forskjell mellom aktivert effekt og den ideelle aktiveringslinjen ligge mellom -5% og 10% i opp reguleringsretning og -10% og 5% i ned reguleringsretning som vist i Figur 11.

- Minste antall steg er 14 steg (7 i oppreguleringsretning og 7 i nedreguleringsretning).



Figur 11: Krav til linearitet for diskret FCR-N. Blått område er tillat aktivering. Sort linje indikerer den ideelle aktiveringslinjen.

## 5. Tekniske krav til FCR-D

Ved store ubalanser i forbindelse med feilhendelser på produksjonsanlegg og/eller forbruksanlegg, kan frekvensen bevege seg over 50,1 Hz eller under 49,9 Hz. I slike tilfeller skal FCR-D aktiveres for å motvirke frekvensendringen. FCR-D er delt mellom FCR-D Opp for underfrekvens, aktivert under 49,9 Hz, og FCR-D Ned for overfrekvens, aktivert over 50,1 Hz.

## 5.1. Tekniske krav til dynamisk FCR-D

Dynamisk FCR-D har en respons som følger kontinuerlige variasjoner i frekvensen. Videre følger tekniske krav til dynamisk FCR-D.

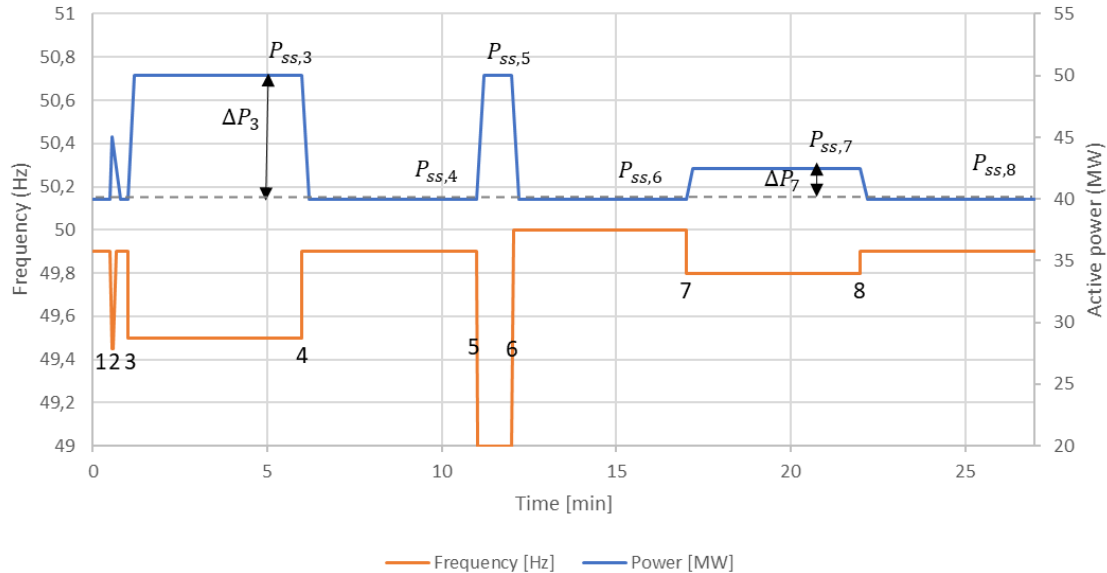
### 5.1.1. Stasjonær respons

Når frekvensen gjør en sprangendring, skal aktiv effekt fra reguleringsobjekt endre seg tilsvarende og bli uendret etter responstid. Dette skal gjøres ved at FCR-D Opp/Ned blir fullt aktivert når frekvensen blir stasjonær på 49,5/50,5 Hz. Leverandøren skal være kjent med hvordan kapasiteten til reguleringsobjektet beregnes basert på design, struktur og innstilling av reguleringsobjektet. For eksempler på dette vises det til de tekniske kravene til FCR i Norden (Appendix 1: Examples of capacity calculation methods) for hvordan stasjonær kapasitet kan beregnes.

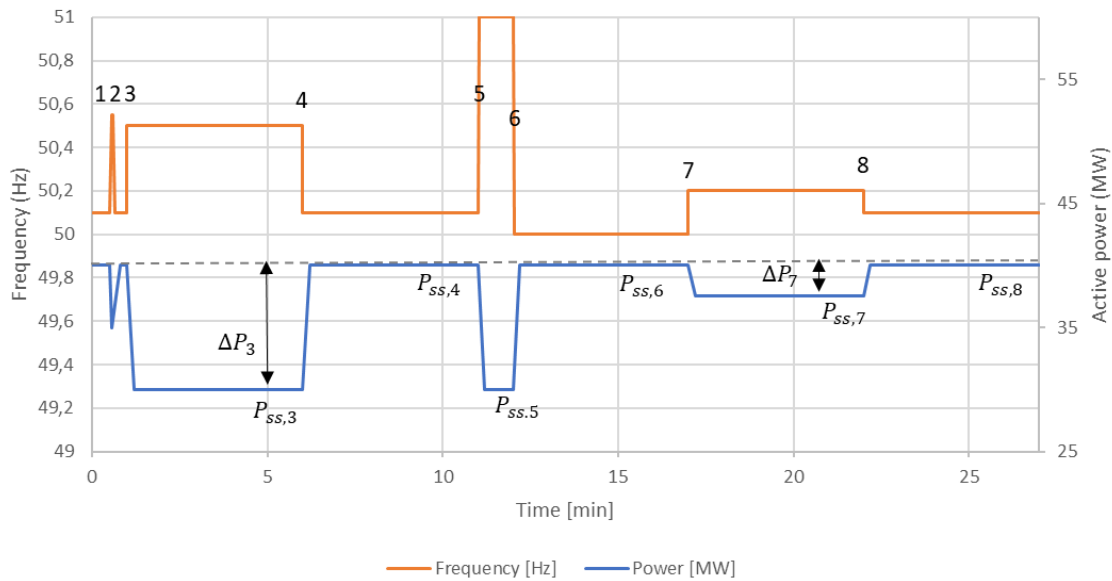
Statnett stiller krav til at stasjonær respons skal realiseres ved bruk av rampe 3 og 4 som vist i Figur 12 (FCR-D Opp) og Figur 13 (FCR-D Ned). I figuren er  $\Delta P_{ss,theoretical}$  den kapasiteten som leverandør beregner, og  $P_{ss,3}$  og  $P_{ss,4}$  er beregnet fra den faktiske effektmålingen. For FCR-D Opp er tillat avvik mellom -5% og 20%, og for FCR-D Ned er det tillatte avviket mellom -20% og 5%.

$$\text{Krav for FCR-D opp:} \quad -0,05 \leq \frac{\Delta P_{ss,3} - P_{ss,4} - |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,2$$

$$\text{Krav for FCR-D ned:} \quad -0,2 \leq \frac{\Delta P_{ss,3} - P_{ss,4} + |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,05$$



Figur 12: Rampetest for dynamisk FCR-D opp.



Figur 13: Rampetest for dynamisk FCR-D ned.

Detaljer av alle ramper vist i Figur 12 og Figur 13 er beskrevet i de tekniske kravene til FCR i Norden (Table 4 FCR-D fast ramp test, side 16). Hvis kravet ikke er oppfylt, betyr det at kapasiteten som leverandøren har beregnet, ikke stemmer med det reguleringsobjektet faktisk leverer. I dette tilfelle skal det innføres en faktor  $K_{red,ss}$  ( $0,75 \leq K_{red,ss} \leq 1$ ) slik at reguleringsobjektet kan imøtekomme kravet til stasjonær respons. Ved bruk av  $K_{red,ss}$  skal det benyttes en reduksjonsfaktor slik som beskrevet i delkapittel 5.1.6.

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for FCR-D opp: } -0,05 \leq \frac{\Delta P_{ss,3} - P_{ss,4} - K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|}{K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,2$$

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for FCR-D ned: } -0,2 \leq \frac{\Delta P_{ss,3} - P_{ss,4} + K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|}{K_{red,ss} |\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,05$$

### 5.1.2. Varighet

Når frekvensen er lavere enn 49,9 Hz (FCR-D Opp) eller høyere enn 50,1 Hz (FCR-D Ned), skal FCR-D endre effekt tilsvarende for å motvirke frekvensavviket. FCR-D skal være aktivert så lenge dette frekvensavviket varer. Unntaket for dette kravet er LER-reguleringsobjekt som har sitt eget krav. LER er nærmere beskrevet i kapittel 6.

### 5.1.3. Aktiveringshastighet

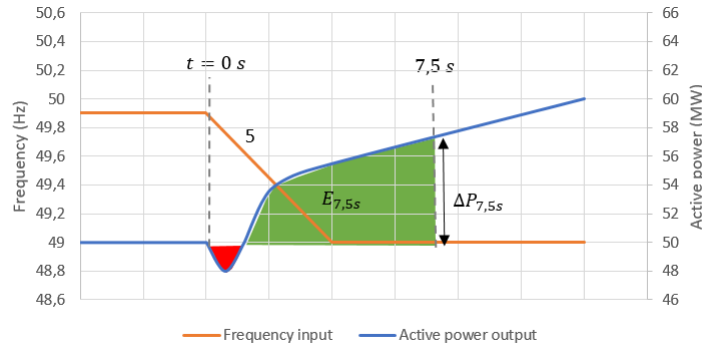
Når frekvensen endrer seg, må responsen fra FCR-D reguleringsobjekt reagere raskt nok til at frekvensen fortsatt ligger innenfor grenseverdiene på 49 Hz og 51 Hz. Det stilles derfor krav til aktiveringshastighet for reguleringsobjektet. Når frekvens ramper ned/opp som vist i Figur 14 og Figur 15, skal FCR-D endre effekt etter de to følgende kravene:

$$\text{Krav for effekt: } |\Delta P_{7,5s}| \geq 0,86 \cdot |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

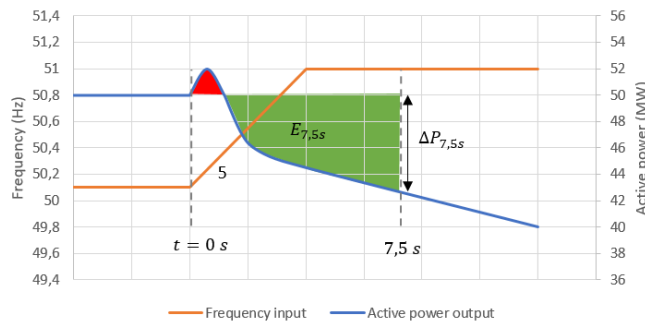
$$\text{Krav for energimengde: } |E_{7,5s}| \geq 3,2s \cdot |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

hvor

- $\Delta P_{7,5s}$  er aktivert effekt 7,5 sekunder etter begynnelsen av rampe
- $\Delta P_{ss,theoretical}$  er stasjonær kapasitet leverandør beregner fra sin modell
- $E_{7,5s}$  er aktivert energimengde 7,5 sekunder etter begynnelsen av rampe



Figur 14: Detalj av rampe 5 i Figur 12.



Figur 15: Detalj av rampe 5 i Figur 13.

Dersom reguleringsobjekter som leverer FCR-D ikke oppfyller dette kravet, kan det innføres en reduksjonsfaktor  $K_{red,dyn1}$  ( $0,75 \leq K_{red,dyn1} \leq 1$ ). Med en ny reduksjonsfaktor blir kravet

Krav med reduksjonsfaktor for effekt:

$$|\Delta P_{7,5s}| \geq 0,86 \cdot K_{red,dyn1} |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

Krav med reduksjonsfaktor for energimengde:

$$|E_{7,5s}| \geq 3,2s \cdot K_{red,dyn1} |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

Bruk av  $K_{red,dyn1}$  vil medføre endringer i den godkjente kapasiteten slik som beskrevet i delkapittel 5.1.6.

#### 5.1.4. Overlevering

Ved utkobling av produksjon vil frekvensen i kraftsystemet falle. Som følge av dette vil FCR-D opp øke sin aktive effekt for å motvirke ubalansen. Dette vil føre til at frekvensen går opp etter 5-10 sekunder som illustrert i Figur 16. Det er viktig at FCR-D reguleringsobjekter er raske til å gjøre tilpasninger i effekt etter frekvensendring, slik at det ikke blir en overleveranse av aktiv effekt i den kritiske



perioden. Hvis dette skjer, kan det føre til høy frekvens. Det samme gjelder ved utkobling av forbruk, i dette tilfellet kan overleveranse av FCR-D reguleringsobjekter føre til en unødvendig lav frekvens. For å unngå overleveranse stilles det følgende krav til dynamisk FCR-D opp og ned som illustrert i Figur 16 og Figur 17:

**Krav for FCR-D opp:**

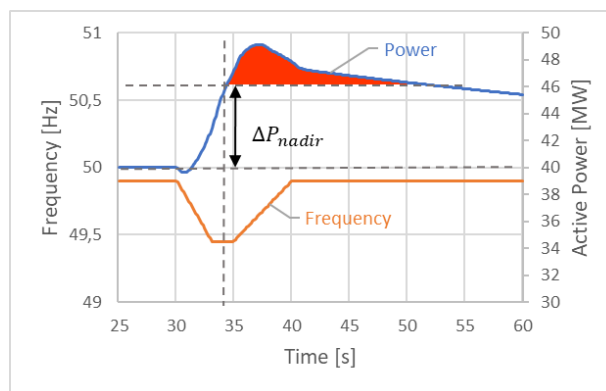
$$\max_{k=t_{nadir} \rightarrow t_{nadir+40}} \int_{t_{nadir}}^{t=k} (\Delta P(t) - \min(|\Delta P_{nadir}|, 0,5 \cdot |\Delta P_{ss,theo}|)) dt \leq 1,7 \cdot |\Delta P_{ss,theo}|$$

**Krav for FCR-D ned:**

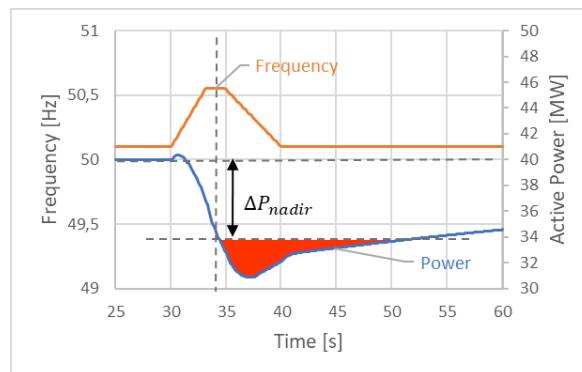
$$\max_{k=t_{nadir} \rightarrow t_{nadir+40}} \int_{t_{nadir}}^{t=k} (-\Delta P(t) - \min(|\Delta P_{nadir}|, 0,5 \cdot |\Delta P_{ss,theo}|)) dt \leq 1,7 \cdot |\Delta P_{ss,theo}|$$

hvor

- $\Delta P(t)$  er aktivert aktiv effekt
- $\Delta P_{nadir}$  er aktivert aktiv effekt 4,4 sekunder etter begynnelse av frekvensfall (FCR-D opp)/frekvensøkning (FCR-D ned)
- $\Delta P_{ss,theoretical}$  er stasjonær kapasitet Leverandør beregner fra sin modell



Figur 16: Detalj av ramper 1 og 2 i Figur 12.



Figur 17: Detalj av ramper 1 og 2 i Figur 13.

### 5.1.5. Samlevering av FCD-N og FCR-D

Reguleringsobjekter med FCR-D opp som leverer både FCR-N og FCR-D opp samtidig, skal testes med rampe 6, 7 og 8 i Figur 12 (FCR-D opp). Reguleringsobjekter med FCR-D ned som leverer både FCR-N og FCR-D ned samtidig, skal testes med rampe 6, 7 og 8 i Figur 13.

**Krav for kombinert FCR-D opp:**

$$-0,05 \leq \frac{(P_{ss,8} - P_{ss,6}) - |\Delta P_{FCR-N,ss,theoretical}| - \frac{0,01}{0,4} |\Delta P_{FCR-D,up,ss,theoretical}|}{|\Delta P_{FCR-N,ss,theoretical}|} \leq 0,2$$

**Krav for kombinert FCR-D ned:**

$$-0,2 \leq \frac{(P_{ss,8} - P_{ss,6}) + \left| \Delta P_{FCR-N,ss,theoretical} \right| + \frac{0,01}{0,4} \left| \Delta P_{FCR-D,down,ss,theoretical} \right|}{\left| \Delta P_{FCR-N,ss,theoretical} \right|} \leq 0,05$$

hvor

- $\Delta P_{FCR-N,ss,theoretical}$  er stasjonær FCR-N kapasitet leverandør beregner fra sin modell
- $\Delta P_{FCR-D,ss,theoretical}$  er stasjonær FCR-D kapasitet leverandør beregner fra sin modell

**5.1.6. Stabilitet**

Som beskrevet i delkapittel 2.1, må ustabilitetspunkt (-1,0) ligge på venstre side av Nyquistkurven og minimum tillatt avstand fra Nyquistkurven til dette punktet er  $0,95 \cdot 0,43$ .

Reguleringsobjekter som ikke kan oppfylle dette kravet, kan søke om fritak fra Statnett. Da kan minimum tillatt avstand justeres ned inntil  $0,75 \cdot 0,43$ . I dette tilfellet må leverandør via testing og/eller simulering bevise at de har prøvd alle tiltak, men ikke klart å oppfylle kravet.

**5.1.7. Evne til å dempe små frekvensvariasjoner**

Som beskrevet i delkapittel 2.2, må FCR-D ha evne til å dempe frekvensvariasjoner. Spesifikt krav til FCR-D (både opp og ned) er

$$G_c(s) = K_{margin} \frac{G_{FCR-Dperf}(s)}{1 + F(s)G_{FCR-Dperf}(s)} < \left| \frac{1}{D(s)} \right|$$

hvor:

- $K_{margin} = 0,95$
- $D(s) = \frac{1}{70s+1}$
- $G_{FCR-Dperf}(s) = \frac{1450}{0,4} \frac{50}{42000} \frac{1}{2 \cdot 4,5238 s + 0,01 \cdot 50}$

Hvis et FCR-D reguleringsobjekt ikke kan oppfylle dette kravet, betyr det at bidrag fra reguleringsobjektet ikke er tilstrekkelig til å dempe frekvensvariasjoner i kraftnettet. I dette tilfellet skal en faktor  $K_{red,dyn}$  ( $0,75 \leq K_{red,dyn2} \leq 1$ ) brukes for å oppfylle kravet. Ved bruk av  $K_{red,dyn2}$  må leverandør følge krav til reduksjonsfaktor som er beskrevet i punkt 5.1.8.

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor: } G_c(s) = K_{red,dyn2} \cdot K_{margin} \frac{G_{FCR-Xperf}(s)}{1 + F(s)G_{FCR-Xperf}(s)} < \left| \frac{1}{D(s)} \right|$$

**5.1.8. Reduksjonsfaktor for dynamisk FCR-D**

Hvis et FCR-D reguleringsobjekt ikke imøtekommer krav beskrevet i punkt 5.1.1, 5.1.3 og 5.1.7, kan reguleringsobjektet bruke en reduksjonsfaktor. En reduksjonsfaktor skal gi en riktig vurdering av kapasiteten som faktisk leveres med hensyn til stasjonær respons, aktiveringshastighet og evne til å dempe små frekvensvariasjoner. Reguleringsobjekter som imøtekommer kravene i punkt 5.1.1, 5.1.3 og 5.1.7, skal ikke bruke reduksjonsfaktor.

Reduksjonsfaktor defineres som

$$C_{FCR-D} = \min(K_{red,ss}, K_{red,dyn1}, K_{red,dyn2}) \cdot \Delta P_{ss,theoretical}$$

hvor  $\Delta P_{ss,theoretical}$  er FCR-D kapasitet som kommer fra leverandøren sin beregning før testing, og  $C_{FCR-D}$  er godkjent kapasitet for FCR-D reguleringsobjekt etter prekvalifisering. Husk at tillat verdi av  $K_{red,ss}$ ,  $K_{red,dyn1}$  og  $K_{red,dyn2}$  er mellom 0,75 og 1 som beskrevet i delkapittel 5.1.1, 5.1.3 og 5.1.7.

## 5.2. Tekniske krav til statisk FCR-D

En annen type FCR-D respons er statisk FCR-D. Forskjellen mellom statisk og dynamisk FCR-D er at den statiske effekten vil endre seg i steg. Statisk FCR-D vil også deaktiveres annerledes enn dynamisk FCR-D. I denne delen går det nærmere inn på de tekniske kravene til statisk FCR-D

### 5.2.1. Stasjonær respons

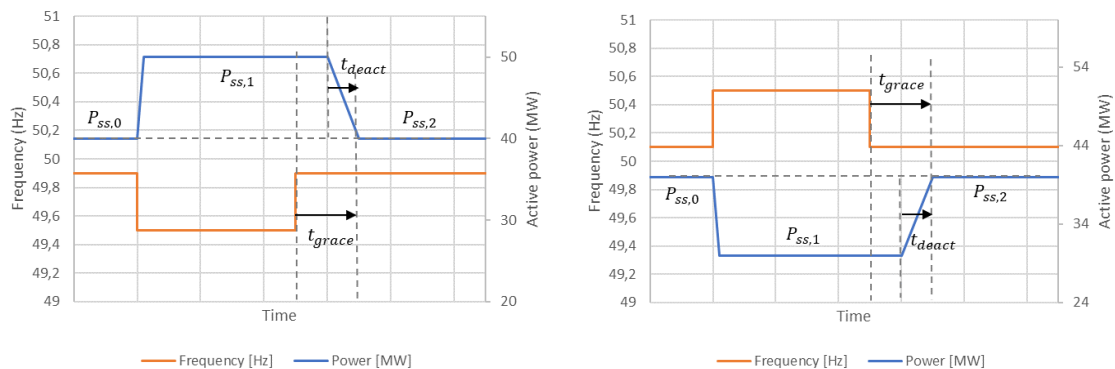
Når frekvensen gjør en sprangendring, må aktiv effekt fra reguleringsobjekt endre seg tilsvarende og bli stabil på en verdi. Dette skal gjøres ved at FCR-D Opp/Ned blir fullt aktivert når frekvensen blir stasjonær på 49,5/50,5 Hz. Leverandør skal være kjent med hvordan kapasiteten til reguleringsobjektet beregnes basert på design, struktur og innstilling av reguleringsobjektets regulator.

Leverandør skal beregne stasjonær respons (FCR-kapasitet). Avviket mellom stasjonær respons og det som faktisk leveres via testing må være innenfor en grense, dvs. -5% og 10% for oppover retning.

$$\text{Krav for statisk FCR-D opp:} \quad -0,05 \leq \frac{P_{ss,1} - P_{ss,0} |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,1$$

$$\text{Krav for statisk FCR-D ned:} \quad -0,1 \leq \frac{P_{ss,-1} - P_{ss,0} + |\Delta P_{ss,theoretical}|}{|\Delta P_{ss,theoretical}|} \leq 0,05$$

hvor  $\Delta P_{ss,theoretical}$  er FCR-D kapasiteten leverandør beregner fra sin modell. Detaljer av alle ramper er vist de tekniske kravene til FCR i Norden (Table 5. Ramp response test for Static FCR-D, side 22).



Figur 18: Sprangrespons test for statisk FCR-D Opp (venstre figur) og statisk FCR-D Ned (høyre figur).

### 5.2.2. Varighet

Når frekvensen er lavere enn 49,9 Hz (FCR-D Opp) eller høyere enn 50,1 Hz (FCR-D Ned), skal en FCR-enhet eller FCR-gruppe endre effekt tilsvarende for å motvirke frekvensavviket. FCR-D skal være aktivert så lenge dette frekvensavviket varer. Unntaket for dette kravet er LER-reguleringsobjekt som har sitt eget krav. LER er nærmere beskrevet i kapittel 6.

### 5.2.3. Dynamisk respons

Når frekvensen endrer seg, må responsen fra FCR-D reguleringsobjekt reagere raskt nok til at frekvensen fortsatt ligger innenfor grenseverdiene på 49 Hz og 51 Hz. Det stilles derfor krav til aktiveringshastighet for reguleringsobjekt. Når frekvens ramper ned/opp som vist i Figur 14 og Figur 15 skal FCR-D endre effekt etter de to følgende kravene:

$$\text{Krav for effekt:} \quad |\Delta P_{7.5s}| \geq 0,86 \cdot |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

$$\text{Krav for energimengde:} \quad |\Delta E_{7.5s}| \geq 3,2s \cdot |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

### 5.2.4. Reduksjonsfaktor for statisk FCR-D

Når reguleringsobjekt ikke oppfyller krav til dynamisk respons i punkt 5.2.3, betyr det at levert effekt og/eller energimengde er lavere enn forventet. Reguleringsobjekter som leverer statisk respons, vil i prekvalifiseringen få sin kapasitet redusert med en reduksjonsfaktor ( $K_{red,dyn}$ ). Denne reduksjonen skal være i intervallet:  $0,84 \leq K_{red,dyn} \leq 1$ . Dette betyr at reguleringsobjektet vil være prekvalifisert med en lavere kapasitet. Et eksempel på dette er reguleringsobjekt som har stasjonær kapasitet 1 MW og er pålagt en reduksjonsfaktor 0,85 etter prekvalifisering. Godkjent kapasitet til reguleringsobjektet vil bli 0,85 MW.

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for effekt:} \quad |\Delta P_{7.5s}| \geq 0,86 \cdot K_{red,dyn} |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

$$\text{Krav med reduksjonsfaktor for energimengde:} \quad |E_{7.5s}| \geq 3,2s \cdot K_{red,dyn} |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

### 5.2.5. Overlevering

Ved en test av sprangrespons som vist i **Error! Reference source not found.** skal maksimum aktivert effekt for reguleringsobjektet ikke overskride 20% av oppgitt kapasitet,

$$\text{Krav for overlevering:} \quad |P_{max}| \leq 1,2 \cdot |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

### 5.2.6. Tidsforsinkelse ved aktivering

Aktivering må starte senest 2,5 sekunder etter at frekvensen har krysset første triggertrinn (49,9 Hz for statisk FCR-D Opp og 50,1 Hz for statisk FCR-D ned). Tidsforsinkelse uten teknisk begrunnelse er ikke tillat.

### 5.2.7. Deaktivering

Etter at frekvensen har kommet tilbake i normalbåndet (mellom 49,9 Hz og 50,1 Hz) i 1 minutt skal reserven deaktiveres.

### 5.2.8. Deaktiveringshastighet

Maksimum tillat deaktiveringshastighet er 2,5% av kapasitet per sekund.

$$\text{Krav for deaktiveringshastighet:} \quad \frac{|P_{ss,1}| - |P_{ss,2}|}{t_{deact}} \leq 0,025 |\Delta P_{ss,theoretical}|$$

### 5.2.9. Hvileperiode av aktivert kapasitet

Hvileperiode er en periode etter aktivering av FCR-D der det ikke stilles krav til aktivering av FCR-D for den kapasiteten nylig aktivert, og er gjeldende for Statisk FCR-D. Hvileperioden starter etter at frekvensen kommer tilbake til normalbåndet (mellom 49,9 Hz og 50,1 Hz) og frem til tidspunktet når aktivert kapasitet er deaktivert og klar for neste aktivering, og gjelder kun for kapasiteten av en FCR-enhet eller FCR-gruppe som nylig har vært aktivert. Hvileperioden skal være kortest mulig og kun basert på teknisk behov for reguleringsobjekt. Den maksimale tillate hvileperioden er på 15 minutter.

### 5.2.10. Aktivering av ikke-aktivert kapasitet

I de tilfeller hvor det er en andel aktivert kapasitet som er i hvilemodus, må den ikke-aktiverede andelen være klar for aktivering når frekvens har krysset tilsvarende grenseverdi.

*Eksempel:*

*En FCR-enhet eller FCR-gruppe har 10 MW kapasitet og 6 MW er blitt aktivert og er i hvileperiode. De gjenværende 4 MW kapasitet må stå klar til aktivering hvis frekvensen blir lavere enn tilsvarende triggerverdier.*

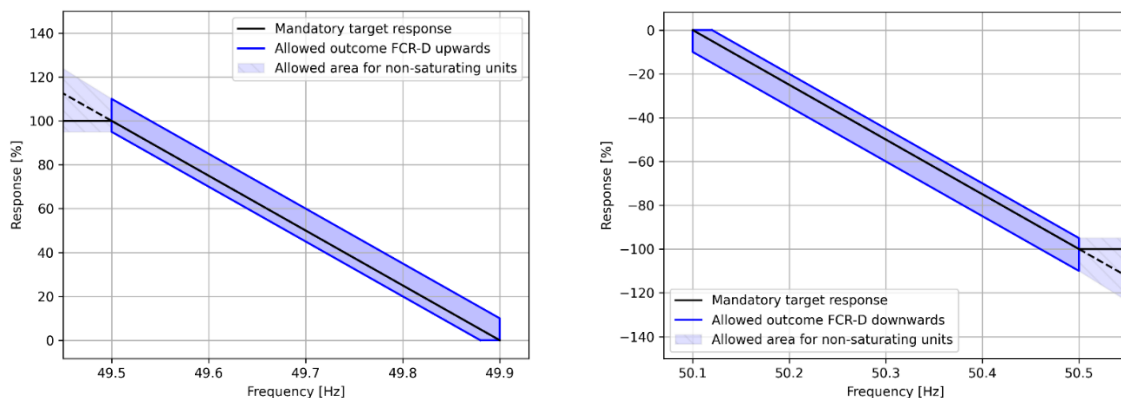
### 5.2.11. Linearitet

Statisk FCR-D aktiveres stegvis og lineært, dvs. aktivert effekt er proporsjonal med frekvensavvik. Første steg av statisk FCR-D Opp skal aktiveres når frekvensen blir lavere enn 49,9 Hz og full aktivering er oppnådd når frekvensen blir 49,5 Hz eller lavere.

Første steg av statisk FCR-D Ned skal aktiveres når frekvensen blir høyere enn 50,1 Hz og full aktivering er oppnådd når frekvensen blir 50,5 Hz eller høyere.

Antall steg må være tilstrekkelig, men ikke mindre enn 7 steg, for å sikre at forskjell mellom aktivert effekt og forventet lineær respons ligger mellom -5% og 10% (for FCR-D Opp) eller -10% og 5% (for FCR-D Ned) som illustrert av blått område i Figur 19.

**Krav:** 
$$0,95 \leq \frac{|\Delta P|}{\Delta P_{ss,theoretical}} \frac{0,4}{|\Delta f|} \leq 1,1$$



Figur 19: Krav til linearitet for statisk FCR-D Opp (venstre figur) og FCR-D ned (høyre figur).

## 6. LER – Reguleringsobjekter med begrenset energilager

Det er et generelt krav om at FCR-leveranser skal vedvare så lenge det er frekvensavvik i strømmettet. Reguleringsobjekter med begrenset energilager vil ikke alltid klare dette, da energilageret kan gå tomt før frekvensavviket er over. Det er derfor laget egne krav for å kunne inkludere slike ressurser i FCR-markedet. En reguleringsenhet kategoriseres som "LER" (Limited Energy Reservoir) dersom energilageret ikke er stort nok til å levere fullt prekvalifisert effekt kontinuerlig i to timer. Med "LER"-enhet er det mest naturlig å tenke på batterier, men det kan også inkludere annen teknologi, som for eksempel elkjeler.

FCR-enheter eller FCR-grupper som har blitt klassifisert som LER må tilfredsstille tre krav. Disse kravene har som formål å sikre at det er nok energi tilgjengelig for FCR aktivering.

- Krav om dimensjonering av bud
- Krav om implementering av energistyringssystem
- Krav om rapportering av "state of charge" (SOC - ladetilstand)

### 6.1. Krav om dimensjonering av bud

De nordiske kravene setter føring for hvor store bud som kan meldes inn basert på energivolum [MWh] og effekt [MW] gitt for reguleringsobjektet. For FCR-N settes det krav om at det i tillegg til tilbudt effekt må reserveres ytterligere 34 % effekt i hver retning. Reguleringsobjektet må ha energi nok til å levere budet i minst en time hver retning. For FCR-D må man reservere minst 20 % av budet i motsatt retning av budet. I budretning må reguleringsobjektet kunne levere i henhold til budstørrelsen i minst 20 minutter.

Tabell 3: Dimensjonering av maksimal budstørrelse for LER.

	FCR-N	FCR-D Opp	FCR-D Ned
Effekt tilgjengelig opp	$1,34 \times \text{Effekt}_{\text{FCR-N}}$	Effekt <sub>FCR-D opp</sub>	$0,2 \times \text{Effekt}_{\text{FCR-D ned}}$
Effekt tilgjengelig ned	$1,34 \times \text{Effekt}_{\text{FCR-N}}$	$0,2 \times \text{Effekt}_{\text{FCR-D opp}}$	Effekt <sub>FCR-D ned</sub>
Energi tilgjengelig opp	$1\text{h} \times \text{Effekt}_{\text{FCR-N}}$	$1/3 \text{ h} \times \text{Effekt}_{\text{FCR-D opp}}$	0
Energi tilgjengelig ned	$1\text{h} \times \text{Effekt}_{\text{FCR-N}}$	0	$1/3 \text{ h} \times \text{Effekt}_{\text{FCR-D ned}}$

Effekt<sub>FCR-N</sub> – Effekt som bys inn i FCR-N markedet

Effekt<sub>FCR-D opp</sub> – Effekt som bys inn i FCR-D opp markedet

Effekt<sub>FCR-D ned</sub> – Effekt som bys inn i FCR-D ned markedet

Effekt<sub>tilgjengelig opp</sub> - Minste effekt som må være tilgjengelig opp for å kunne by inn aktuell budstørrelse

Effekt<sub>tilgjengelig ned</sub> – Minste effekt som må være tilgjengelig ned for å kunne by inn aktuell budstørrelse

Energi<sub>tilgjengelig opp</sub> – Minste energikapasitet som må være tilgjengelig opp for å kunne by inn aktuell budstørrelse

Energi<sub>tilgjengelig ned</sub> – Minste energikapasitet som må være tilgjengelig ned for å kunne by inn aktuell budstørrelse

Den ekstra kapasiteten må holdes av for energistyringssystem. Energistyringssystemet skal sørge for at LER enheten har nok energi lagret for å aktivere FCR. Dette utdypes i neste delkapittel.

*Eksempel #1:*

*Dersom det ønskes å by 5 MW i FCR-N, må batteriet minst kunne levere 6,7 MW i hver retning. Batteriet måtte da hatt minst 5 MWh energi i hver retning. Hadde batteriet ikke hatt denne kapasiteten eller energivolumet tilgjengelig måtte budet reduseres for å tilfredsstille kravene.*

*Eksempel #2:*

*Et 10 MW batteri kan by inn 10 MW i en retning i FCR-D. Hvis budet er 10 MW i FCR-D opp må enheten kunne levere 10 MW ut på nettet. Samtidig må enheten kunne trekke 2 MW. Budet må kunne leveres i 20 minutter så reguleringsenheten må minst ha 3.33 MWh tilgjengelig.*

LER enheter kan levere både FCR-N, FCR-D opp, FCR-D ned og kombinasjoner av disse. En viktig ting å merke seg er at FCR-N er et symmetrisk produkt og aktivering vil variere i begge retninger, mens FCR-D Opp/Ned er asymmetriske fordi leveransen kun er i en bestemt reguleringsretning. Ved starten av en FCR-N leveranseperiode anbefales det at ladetilstanden (state-of-charge, SOC) er 50% for å ha tilstrekkelig energi i begge retninger. Ved leveranse av FCR-D Opp/Ned anbefales det at batterier ved oppstart av leveranse har en SOC på henholdsvis 100% og 0%.

*Eksempel #3: Et batteri kan tilby både FCR-D opp og ned. Eksempelvis kan man by inn 3 MW FCR-D opp, 3 MW FCR-D ned og 4 MW i FCR-N. Da må man ha en reguleringsenhet som har minst 9 MW tilgjengelig effekt i hver retning. I tillegg må enheten ha minst 10 MWh. Beregning følger.*

For krav om levert effekt:  $4 \text{ MW} * 1,34 + 3 \text{ MW} + 3 \text{ MW} * 0,2 = 8,97 \text{ MW}$

For krav om trukket effekt:  $4 \text{ MW} * 1,34 + 3 \text{ MW} + 3 \text{ MW} * 0,2 = 8,97 \text{ MW}$

For krav om tilgjengelig energi:  $(4 \text{ MW} * 1 \text{ h}) * 2 \text{ retninger} + (3 \text{ MW} * 0,3 \text{ h}) * 2 \text{ retninger} = 9,99 \text{ MWh}$

## 6.2. Krav om energistyring

Et reguleringsobjekt som defineres som LER må implementere en energistyringsløsning som skal hjelpe til med å sikre FCR leveransen.

Energistyringen inkluderer to funksjoner, en funksjon for energistyring normaltilstand (NEM) og en alarmert (AEM) tilstand. Disse to tilstandene fungerer uavhengig og parallelt av hverandre. Når NEM og AEM skal kobles inn og ut, er ulik for enheter som leverer FCR-N og FCR-D. Oppsett og krav til NEM og AEM er beskrevet i kapittel 3.5.1 og 3.5.2 i [Tekniske krav til FCR i Norden](#). Reguleringsenhetens evne til å koble inn og ut NEM og AEM skal testes i henhold til beskrivelsen i kapittel 3.5.3 i [Tekniske krav til FCR i Norden](#).

### 6.2.1. Energistyring i normal tilstand (NEM – Normal state Energy Management)

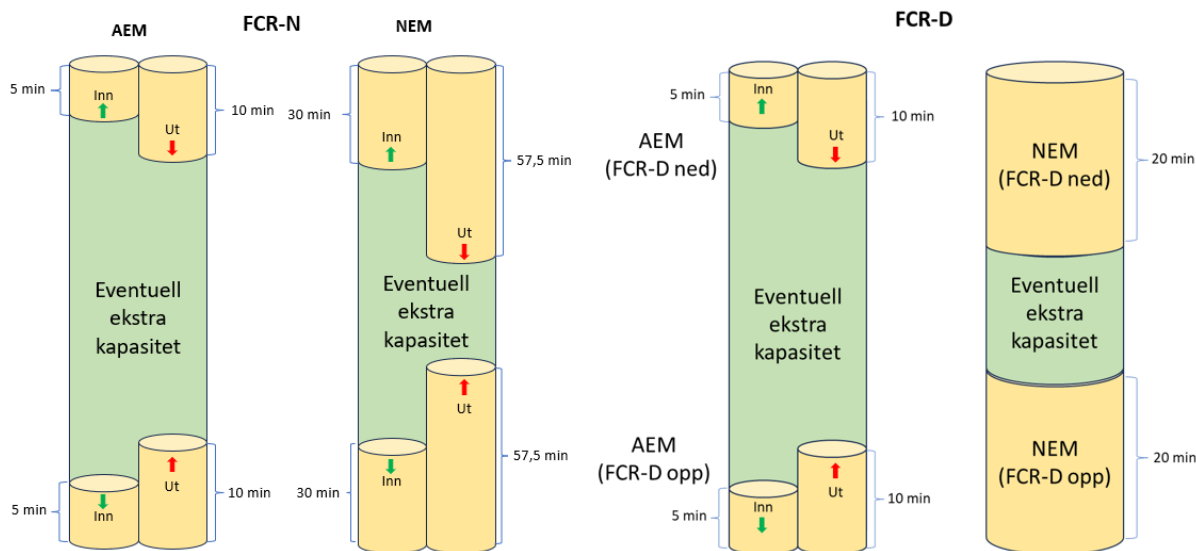
Energistyring i normaltilstand har som mål å justere utgangseffekten dersom reservoaret nærmer seg opp- eller utladet. Eksempelvis vil en reguleringsenhet som oppregulerer (mater effekt ut på nettet)

hvor det snart ikke er mer energi i reservoaret, justere ned effekten som går ut på nettet. Dette skal forhindre at SOC blir for lav.

NEM kobles inn dersom frekvensen er mellom 49,9 og 50,1 Hz og SOC er innenfor visse grenser som er spesifisert i tabell 11 i [Tekniske krav til FCR i Norden](#). Disse grensene er ulike for reguleringsenheter som leverer FCR-N og FCR-D.

### 6.2.2. Energistyring i alarmert tilstand (AEM – Alert state Energy Management)

AEM kobles inn når en LER-enhet er så nær yttergrensene av energilageret at den må gjøres utilgjengelig for videre aktivering. Dersom reguleringsenheten går inn i AEM skal dette meldes inn til TSOen<sup>8</sup>. AEM kobles inn når SOC er innenfor grensene beskrevet i tabell 11 i [Tekniske krav til FCR i Norden](#). Disse grensene er ulike for reguleringsenheter som leverer FCR-N og FCR-D.



**Figur 20:** Eksempel for energistyringstilstander for FCR-N og FCR-D. De gule områdene indikerer mellom hvilke SOC NEM og AEM skal være aktivert.

*Forklaring:* Dersom et energilager leverer FCR-D opp og kun har energi nok til å levere i 20 minutter, skal NEM aktiveres. Fortsetter energilageret å tømmes til det kun er energi nok for 5 minutter skal i tillegg AEM aktiveres. Dette vil gjøre at energilageret kan fylles. Kommer man forbi grensen med energi nok for 10 minutter leveranse kan AEM deaktiveres. Dersom energilageret øker forbi 20 minutter tilgjengelig energi kan NEM også deaktiveres.

### 6.3. Krav om rapportering av ladetilstand (SOC – State of Charge)

<sup>8</sup> I nærmeste fremtid er det ikke behov for å varsle Statnetts driftssentral om dette. Send en mail med en kort beskrivelse av hendelsen til [fcr@statnett.no](mailto:fcr@statnett.no).



Statnett krever at reguleringsenheter som er kategorisert som LER, skal logge gjenværende kapasitet slik at historikk er tilgjengelig dersom Statnett ønsker å gjøre verifisering. Ladetilstanden skal ikke overføres i sanntid. Ladetilstand skal beregnes i henhold til kapittel 3.5.4 likning 20 og 21 i [Tekniske krav til FCR i Norden](#).

## 7. Baseline

For å se resultatet fra en aktivering av FCR, brukes en referanse-effekt, referert til som baseline. Baseline verdien er lik den momentane aktive effekten som ville blitt målt for reguleringsobjektet dersom FCR ikke hadde vært aktivert. Baseline benyttes som grunnlag for å verifisere om mengden FCR ved en aktivering blir levert i henhold til kapasitet som fikk tilslag i markedet, og at aktiveringen skjer i henhold til kravene. I tillegg er baseline også relevant for at aktøren skal kunne verifisere at nok FCR kapasitet er tilgjengelig i hvert driftsøyeblikk. Som regel kan vannkraft bruke settpunktet for planlagt produksjon som baseline. For andre reguleringsobjekter som f.eks. aggregerte laster, trengs det en beskrivelse av hvordan baseline beregnes. Beskrivelsen av metode for baseline er en del av prekvalifiseringsunderlaget. For FCR-D godtar Statnett at målt aktiv effekt før aktivering av FCR-D kan benyttes som baseline. Det kreves ikke sanntidsdata for baseline, men verdien skal logges i forbindelse med prekvalifisering og drift, i henhold til kapittel 11.

Tidsseriene skal ha en høy samplingsfrekvens i prekvalifiseringen. Det vil være forskjell mellom FCR-N og FCR-D. FCR-N skal ha en samplingsfrekvens på minst 5 Hz og FCR-D skal ha minst 10 Hz. For verifisering kreves det en lavere samplingsfrekvens, med minst 1 Hz for både FCR-N og FCR-D.

## 8. Sentralstyring

På grunn av at FCR skal reagere svært raskt, gjelder krav om at FCR skal være lokalt aktivert (basert på lokal frekvensmåling). I 2023 publiserte nordiske TSOer tekniske krav som åpner opp for unntak, og Statnett har inkludert denne muligheten i senere vilkårsoppdateringer. Temaet er beskrevet i kapittel 3.12 "*Provision from centrally controlled FCR providing entities*" i [Tekniske krav til FCR i Norden](#).

En FCR-enhet eller FCR-gruppe er sentralstyrt/sentral-kontrollert dersom enheten eller gruppen i drift avhenger av en sentralisert funksjon. Dette kan for eksempel være en frekvensmåler som er plassert et annet sted i nettet, og/eller et sentralt kontrollsystem som ikke er plassert sammen med reguleringsobjektene, som sender aktiveringssignal til et eller flere reguleringsobjekter. Reguleringsobjekter som ikke er avhengige av sentrale styringssignaler kalles lokalt aktiverte. **NB: Reguleringsobjekter kan anses som lokalt aktiverte selv om de er avhengig av sentrale funksjoner før leveringstimen, for eksempel for planlegging.** Det er opp til leverandøren å ta kontakt med Statnett for å avklare sin tekniske løsning for aggregering, og det er Statnett som avgjør om konfigurasjonen er akseptabel og om FCR-enheten eller FCR-gruppen kan anses som lokal eller sentral.

Hvis en leverandør planlegger å levere FCR med sentralstyring gjelder følgende:

- En sentral frekvensmåling kan kun benyttes til å kontrollere ressurser i samme LFC (Load-Frequency Control) område. I enkelte nettområder i Norge vil Statnett kunne kreve flere frekvensmålere dersom det er sannsynlig at området kan gå i separatdrift<sup>9</sup>. Søknader om unntak fra lokalaktivering vil derfor ta hensyn til hvor de aktuelle reguleringsobjektene er lokalisert.
- Maksimal leveranse bak en "single-point-of-failure" er begrenset til 5 % av nominell referansehendelse i det nordiske kraftsystemet. Dette kan begrense sentral-kontrollere basert på hvordan de er implementert. I Norge og Norden tilsvarer dette 70 MW i retning opp, og 70 MW i retning ned.
- Den implementerte løsningen må designes slik at tilgjengeligheten til de sentrale funksjonene er minst 99,95 % under leveranseperioden. Det skal sikres at leveransen av FCR ikke blir avbrutt selv om den sentrale funksjonen blir utilgjengelig. For å sikre redundans må en leverandør implementere en av de følgende løsningene:
  - En redundant løsning for den sentrale funksjonen, som må godkjennes av Statnett
  - En lokal fall-back løsning. I en slik løsning kan Statnett godta at krav til måling og logging ikke følges nøyaktig.

Det anbefales at en leverandør som ønsker å levere FCR med sentralstyrte funksjoner, tar kontakt med Statnett tidlig i prosessen for å avklare den tekniske løsningen.

Når Statnett får mer erfaring med sentralstyrte FCR-enheter/FCR-grupper i systemdriften, kan det føre til at det generelle kravet om at FCR skal aktiveres basert på lokalt målt frekvens, faller bort.

## 9. Leveranse fra FCR-enheter eller FCR-grupper som består av reguleringsobjekter med mindre volum

Respons fra en FCR-gruppe må til enhver tid samlet møte de tekniske kravene, selv om hver enkelt ressurs i en slik gruppe ikke nødvendigvis må møte de tekniske kravene. I en prekvalifiseringssøknad for en FCR-gruppe må leverandør beskrive aggregeringskonseptet – spesielt med tanke på kommunikasjon og porteføljestyling. Beskrivelsen skal begrunne hvordan konseptet sørger for at tekniske krav overholdes.

For noen leverandører er det viktig å ha en viss fleksibilitet i en FCR-gruppe, da hver ressurs ikke nødvendigvis er tilgjengelig til enhver tid. Gjennom dynamisk prekvalifisering og dynamisk drift er det mulig å endre kombinasjonen av ressurser i en FCR-gruppe, så lenge hver kombinasjon oppfyller de tekniske kravene.

I en prekvalifiseringssøknad må leverandøren angi hvilken fleksibilitet som er ønsket: Dynamisk prekvalifisering og/eller dynamisk drift. Leverandøren skal beskrive hvordan de vil sikre at tekniske

---

<sup>9</sup> Separatdrift er en tilstand der en del av nettet blir isolert fra hovednettet. Mange områder i Norge er i hele eller deler av året avhengig av kun én ledning eller transformator som forbindelse med transmisjonsnettet, og hvis denne komponenten faller ut vil frekvensen i området avvike fra nordisk systemfrekvens.

krav møtes til enhver tid, selv om dynamisk prekvalifisering/dynamisk drift benyttes. Statnett har mulighet til å pålegge ekstra begrensninger for å sikre at de tekniske kravene oppfylles. Når søknaden er godkjent får leverandøren lov å tilføye reguleringsobjekter etter prekvalifiseringen (*dynamisk prekvalifisering*) eller endre kombinasjonen i drift (*dynamisk drift*) innenfor de godkjente begrensninger. Endringer som overstiger disse grensene vil kreve at FCR-enheten eller FCR-gruppen må gjennomføre en ny prekvalifisering.

## 9.1. Dynamisk prekvalifisering

Dynamisk prekvalifisering betyr at en prekvalifisert FCR-gruppe kan utvides med flere reguleringsobjekter uten å gjennomføre en ny test av hele FCR-gruppen. Dynamisk prekvalifisering kan gjennomføres på flere måter, eksemplene under er ikke uttømmende, men eksempler på hvordan leverandører kan gjennomføre en slik prekvalifisering.

### 9.1.1 "Stand alone" – Enkeltstående ressurser som oppfyller tekniske krav

*Stand-alone* reguleringsobjekter kan møte tekniske krav alene, men kan samles i en FCR-gruppe typisk fordi størrelsen på reguleringsobjektet er liten. Hvis et slikt reguleringsobjekt i seg selv kan oppfylle tekniske krav til linearitet og stabilitet, kan leverandøren ubegrenset øke kapasiteten og antall slike enheter i en FCR-gruppe uten restriksjoner<sup>10</sup>. **I slike tilfeller skal enheten som legges til en gruppe testes i henhold til tekniske krav, selv om gruppen den legges til ikke trenger å testes på nytt.**

### 9.1.2 Typekvalifisering

Når en FCR-gruppe eller FCR-enhet består av reguleringsobjekter som praktisk talt er identiske med hensyn på aktiv effekt, FCR kapasitet og aktivering-/deaktiveringsrespons, kan andre identiske reguleringsobjekter tilføyes uten en ny prekvalifisering. **Det går en grense på typekvalifisering på 100 kW.**

Den opprinnelige kapasiteten til en FCR-gruppe kan maksimalt utvides med 3 MW FCR-kapasitet på denne måten. Hvis utvidelsen av en FCR-gruppe overstiger dette må en ny prekvalifisering av hele reguleringsgruppen gjennomføres.

### 9.1.3 Forenklet utvidelse av grupper som leverer statisk FCR-D

Reguleringsgrupper som leverer statisk FCR-D, kan generelt utvides med inntil 25 % av opprinnelig prekvalifisert kapasitet. Hvis reguleringsgruppen er under 20 MW kan kapasiteten utvides med 5 MW eller 50% (begrenset av hva som er størst).

Tilføyde reguleringsressurser må prekvalifiseres etter de tekniske kravene for statisk FCR-D. Hvis en gruppe ønskes utvider utover dette, kreves en ny prekvalifiseringstest av hele gruppen.

---

<sup>10</sup> Gitt at volumet på FCR-gruppen begrenses til 70 MW, og alle reguleringsobjekter er tilknyttet samme budområde.

## 9.2. Dynamisk drift

Dynamisk drift betyr at ikke alle ressurser i en prekvalifisert reguleringsgruppe må delta i leveransen til enhver tid, men at leveransen leveres av en undergruppe av ressurser. En slik undergruppe kalles en kombinasjon. Leverandøren kan velge hvilken kombinasjon skal levere FCR.

### 9.2.1. Generelt

- Det er lov å tilby kapasitet mellom et minste og største nivå for en spesifikk kombinasjon. Hver kombinasjon som brukes i drift må testes i prekvalifiseringen.
- En kombinasjon kan driftes på 80-100% av prekvalifisert volum, gjennom utelatelse av enkelte reguleringsobjekter. **Det vil si at volumet kan reduseres med opptil 20 %.** Kombinasjon kan ikke levere et mindre volum enn minimum godkjent kapasitet i den opprinnelige prekvalifiseringen.
- Reguleringsobjekter som er tilføyet gjennom ekstra prekvalifikasjon, kan utelates i drift uten begrensninger.

### 9.2.2. "Stand alone" – Enkeltstående reguleringsobjekt som oppfyller tekniske krav

- Reguleringsobjekt som er lagt til i en frittstående prekvalifisering kan når som helst utelates fra gruppen.
- Dersom en FCR-gruppe både inneholder "stand-alone" reguleringsobjekt og reguleringsobjekt testet som del av en gruppe, skal reguleringsobjekt som i etterkant er lagt til som stand-alone unntas fra 20% grensen.

### 9.2.3. Typekvalifisering

- Leverandør står fritt til å drifte en FCR-gruppe bestående av typekvalifiserte reguleringsobjekter mellom maksimal kapasitet (inkludert eventuelle tillagte objekter med dynamisk prekvalifisering) og minste kapasitet (gitt av initiell prekvalifisering).
- Hvis FCR-gruppen består både av typekvalifiserte reguleringsobjekter og andre generelle reguleringsobjekter kan de typekvalifiserte reguleringsobjektene ekskluderes fra grensen på 20% så lenge antall typekvalifiserte reguleringsobjekter i FCR-gruppen er lik eller overstiger antallet typekvalifiserte reguleringsobjekt i drift i den opprinnelige prekvalifiseringen.

## 9.3. Fjerning av reguleringsobjekter

Reguleringsobjekter som ikke lenger brukes i en FCR-gruppe, kan fjernes som følgende beskrevet.

- Dynamisk drift kan brukes for å fjerne en reguleringsgruppe, slik at man drifte en kombinasjon mellom 80-100%.
- Reguleringsobjekter som er tilføyet FCR-gruppen gjennom dynamisk prekvalifisering, kan fjernes uten begrensninger.

- FCR-grupper som består av typekvalifiserte reguleringsobjekter, kan fjerne slike reguleringsobjekt fra FCR-gruppen ned til minimumskapasiteten i henhold til opprinnelig prekvalifisering.

Statnett må varsles per epost (fcr@statnett.no) dersom fjerning av reguleringsobjekter fra en FCR-gruppe påvirker kapasiteten til gruppen.

## 10. Kravene til målesystem

Målesystemet er viktig for å gi FCR reguleringsobjekter nødvendig informasjon for å respondere korrekt på frekvensavvik eller for å lese parameterne for datalogging. Et FCR reguleringsobjekt skal respondere på relativ små variasjoner i de målte verdiene. Derfor må målesystemet som et minimum følge kravene som er beskrevet i dette kapitlet.

### 10.1. Målenøyaktighet

Målenøyaktighet til aktiv effekt og frekvens skal ha tilsvarende verdi som i følgende tabell eller bedre. Verdien skal inkludere total unøyaktighet i hele målesystemet.

Tabell 4: Krav til målesystem

Måleenhet	Merkeeffekt til reguleringsobjektet	Målenøyaktighet
Aktiv effekt	$P < 1,5 \text{ MW}$	$\pm 5\%$
	$1,5 \text{ MW} \leq P < 10 \text{ MW}$	$\pm 1\%$
	$P \geq 10 \text{ MW}$	$\pm 0,5\%$
Nettfrekvens	N/A	$\pm 10 \text{ mHz}$
Påtrykt frekvens	N/A	$\pm 10 \text{ mHz}$

### 10.2. Oppløsning

Oppløsning for aktiv effekt og frekvens skal ha tilsvarende verdi som i følgende tabell eller bedre. Det anbefales å bruke en 16-bit omformer som har en oppløsning på 0,0015%.

Tabell 5: Krav til oppløsning

Måleenhet	Oppløsning
Aktiv effekt	0,01 MW eller 0,025%
Nettfrekvens	5 mHz
Påtrykt frekvens	5 mHz

### 10.3. Samplingsfrekvens

Samplingsfrekvens skal være høy nok for å oppnå krav til målenøyaktighet, måleoppløsning og for å levere kontrolleren med et egnet oppdateringsintervall. Det gjelder forskjellige samplingsfrekvens for verifisering og prekvalifisering.

#### Prekvalifisering

- Samplingsfrekvens for FCR-D: minst 10 Hz
- Samplingsfrekvens for FCR-N: minst 5 Hz
- Aktiv effekt skal ha en loggingsgrense av 0,01 MW
- Frekvens skal ha en loggingsgrense av 5 mHz

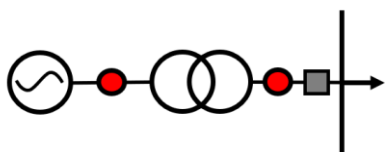
#### Verifisering (datalogging)

- All data som er beskrevet under kapittel 11 for verifisering, skal ha en samplingsfrekvens på 0,1 Hz.
- Unntak gjelder for målt aktiv effekt, målt frekvens og power baseline. Her gjelder en samplingsfrekvens på 1 Hz.

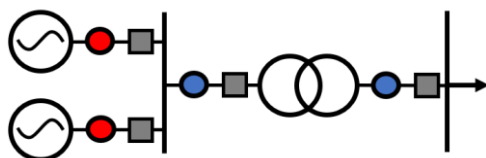
### 10.4. Plassering av måleutstyr

Plasseringen av måleutstyr for aktiv effekt skal sikre tilstrekkelig måling av hvert reguleringsobjekt. Frekvensmålerne skal lokaliseres et sted hvor måling av nettfrekvens alltid er sikret, f.eks. ved tilknytningspunkt (samleskinne). Frekvensmåling for sentralstyrte reguleringsobjekter er unntatt fra dette kravet. Mer om sentralstyring kan leses i kapittel 8.

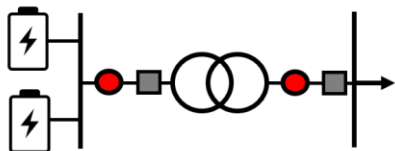
Figur 21, Figur 22 og Figur 23 nedenfor er eksempler på de mest vanlige målepunktene. De viser skjematisk hvor målepunktene kan ligge. Generelt skal målinger av aktiv effekt gjøres tett på reguleringsobjektet. Dersom det er andre typer tilkoblinger, kan leverandøren søke om unntak, men effektmåling per reguleringsobjekt må være sikret.



Figur 21: Mulige plasseringer av effekt- og frekvensmålerne (en av de røde prikker kan velges) for synkron reguleringsobjekter.



Figur 22: Plasseringer av effektmålerne (røde prikker) og frekvensmålerne (en av de blåe prikker kan velges) for synkron reguleringsobjekter, her illustrert ved to aggregater på felles generatortransformator. Hvert aggregat regnes her som en FCR-enhet.



Figur 23: Mulige plasseringer av effekt- og frekvensmålerne (en av de røde prikker kan velges) for en park med fleksibelt forbruk som danner en FCR-enhet, her illustrert med batterier. Målerne skal ligge tett mot batterier og før et felles tilknytningspunkt.

## 11. Datalogging

### 11.1. Oversikt over data som skal logges

For prekvalifisering og verifisering kreves det data med flere parametere. Tabell 6 gir oversikt over hvilke parametre Statnett krever logget.

Data som inngår i prekvalifiseringen, skal leveres samlet i prekvalifiseringsdokumentet som sendes til Statnett. For data som har merknaden "per test", er det ikke krav om logging i form av en tidsserie siden disse dataene kun skal brukes en gang for den enkelte testen. Disse dataene skal ikke sendes til Statnett. Data som brukes for verifisering, skal logges kontinuerlig og lagres minst 14 dager. Disse dataene skal sendes til Statnett når de blir etterspurt. Hensikten er at Statnett kan verifisere parametere ved FCR aktivering i post-analyser.

Tabell 6: Oversikt over parametre som skal logges for prekvalifisering og validering.

Signal (engelsk)	Signal (norsk)	Enhet	Type	Prekvalifisering	Verifisering
Instantaneous active power injection (negativ for absorbed power)	Momentan aktiv effekt (negativ for konsumert effekt)	MW	Double, f.eks. 120.532	X	X
Measured grid frequency	Målt nettfrekvens	Hz	Double, f.eks. 49.320	X	X
Applied frequency (during test)	Generert frekvens i testen	Hz	Double, f.eks. 49.320	X	
Control mode (parameter set) FCR-N		id	alphanumeric identifier, f.eks. FCRN4	X	X
Control mode (parameter set) FCR-D up		id	alphanumeric identifier, f.eks. FCRDUP4	X	X
Control mode (parameter set) FCR-D down		id	alphanumeric identifier, f.eks. FCRDDOWN4	X	X
Maintained capacity FCR-N	Tilgjengelig kapasitet FCR-N	MW	Double, f.eks. 20.100	per test	X
Maintained capacity FCR-D up	Tilgjengelig kapasitet FCR-D opp	MW	Double, f.eks. 20.100	per test	X
Maintained capacity FCR-D down	Tilgjengelig kapasitet FCR-D ned	MW	Double, f.eks. 20.100	per test	X
Status FCR-N	Status FCR-N	på/av	Binær, f.eks. 0	per test	X
Status FCR-D up	Status FCR-D opp	på/av	Binær, f.eks. 0	per test	X
Status FCR-D down	Status FCR-D ned	på/av	Binær, f.eks. 0	per test	X
Regulating strength FCR-N	Regulerstyrke FCR-N	MW/Hz	Double, f.eks. 20.000		X
Regulating strength FCR-D up	Regulerstyrke FCR-D opp	MW/Hz	Double, f.eks. 20.000		X
Regulating strength FCR-D down	Regulerstyrke FCR-D ned	MW/Hz	Double, f.eks. 20.000		X
Minimum power	Minimal effekt	MW	Double, f.eks. 10.000	per test	X
Maximum power	Maksimal effekt	MW	Double, f.eks. 120.532	per test	X
Power baseline	Setpunkt	MW	Double, f.eks. 80.029	X	X
Controller output signal		MW	Double, f.eks. 0.300	X	X



Setpoint before FCR		% eller MW	Double, f.eks. 67.500	per test	X
Activated FCR-N	Aktivert FCR-N	MW	Double, f.eks. 5.500		X
Activated FCR-D up	Aktivert FCR-D opp	MW	Double, f.eks. 5.500		X
Activated FCR-D down	Aktivert FCR-D ned	MW	Double, f.eks. 5.500		X

For LER-reguleringsobjekter skal parametrene som er listet opp i Tabell 7 logges i tillegg til de man finner i Tabell 6.

*Tabell 7 Oversikt over parametre som skal logges for spesifikt for LER-reguleringsobjekter under prekvalifisering og validering.*

Signal (engelsk)	Signal (norsk)	Enhet	Type	Prekvalifisering	Verifisering
Remaining endurance FCR-N	Gjenværende utholdenhet FCR-N	minutter	Double, f.eks. 55.000	X	X
Remaining endurance FCR-D up	Gjenværende utholdenhet FCR-D opp	minutter	Double, f.eks. 10.000	X	X
Remaining endurance FCR-D down	Gjenværende utholdenhet FCR-D ned	minutter	Double, f.eks. 10.000	X	X
Activated NEM power	Aktivert NEM effekt	MW	Double, f.eks. 10.325	X	X
AEM	AEM	på/av	Binær, f.eks. 1	X	X
<b>For batterier</b>					
State of charge	Ladetilstand	%	Double, f.eks. 48.090	X	X

For vindkraftverk skal også vindhastigheten logges, som indikert i Tabell 8.

*Tabell 8: Oversikt over parametre som skal logges spesifikt for vindkraftverk.*

Signal (engelsk)	Signal (norsk)	Enhet	Type	Prekvalifisering	Verifisering
Wind Speed	Vindhastighet	m/s	Double, f.eks. 5.365	X	X

For solkraftparker skal solinnstrålingen logges, som indikert i Tabell 9.

*Tabell 9: Oversikt over parametre som skal logges spesifikt for solkraftparker.*

Signal (engelsk)	Signal (norsk)	Enhet	Type	Prekvalifisering	Verifisering
Solar irradiation	Solinstråling	W/m <sup>2</sup>	Double, f.eks. 125.040	X	X

## 11.2. Data fra FCR-grupper og aggregerte FCR-enheter

Leverandøren må lagre data fra de enkelte reguleringsobjektene. Statnett kan gjennomføre stikkprøver for å verifisere FCR leveranse.

## 12. Teknisk dokumentasjon av utstyr

Det kreves dokumentasjonen til forskjellige utstyr og parametere. Dokumentasjonen er nødvendig for at Statnett kan sjekke om utstyr og parametere er i henhold til kravene. Dokumentasjonen skal sendes inn sammen med prekvalifiseringsunderlag.

### Dokumentasjon av egenskaper til frekvensmåler

- Målenøyaktighet i mHz
- Oppløsning i mHz
- Plassering av frekvensmåler (blokkdiagram)

### Dokumentasjon av egenskaper til effektmåler

- Målenøyaktighet i %
- Oppløsning i MW eller %
- Plassering av effektmåler (blokkdiagram)

### Dokumentasjon av egenskaper til spenningstransformator, strømtransformator og måleverdiomformer (hvis aktuell)

- Nøyaktighetsklasse
- Omsetning
- Plassering (blokkdiagram)

### Generelt for FCR-enheter/grupper

- Beskrivelse av begrensinger for FCR kapasitet

### Aggregat

- Maks og min aktiv effekt i MW
- Maks og min statikk i %
- Turbinregulator: Type, reguleringsløyfe som blokkdiagram
- For vannkraft: Vannveistidskonstant  $T_w$  fra brutto fallhøyde

### Forbruk

- Maks effektuttak i MW
- Type forbruk (el-kjele, smelteovn, etc.)
- Tekniske beskrivelse av kontrolleren, inkludert controller settings

### Energilagring

- Maks innmating og effektuttak i MW

- Energilagringsskapasitet maks og min i MWhType batteri (el-bil, fast installert batteri, etc.)
- Beskrivelse av energistyringsløsning
- Tekniske beskrivelse av kontrolleren, inkludert kontroller settings

**FCR-enheter eller FCR-grupper med sentralstyrte funksjoner**

- Beskrivelse hvordan redundans av sentralstyrte funksjoner sikres
- Beskrivelse av fall-back løsning hvis sentralstyrte funksjoner feiler
- Dokumentasjon av oppetid for sentralstyrte funksjoner
- Beskrivelse av hvilke typer reguleringsobjekter (el-biler, batterier, etc.) som inngår i FCR gruppen med tilsvarende egenskaper som er beskrevet under aggregat, forbruk eller energilagring