

Ärende nr: Svk 2022/215

Datum: 2023-10-31

---

# Slutrappport från Pilotstudien: Leverans av stödtjänster från resurser med variabel produktion eller förbrukning

---

# Svenska kraftnät

---

Svenska kraftnät är systemansvarig myndighet, med uppgift att på ett affärsmässigt sätt förvalta, driva och utveckla ett kostnadseffektivt, driftsäkert och miljöanpassat kraftöverföringssystem. Det omfattar ledningar för 400 kV och 220 kV med stationer och utlandsförbindelser. Svenska kraftnät utvecklar transmissionsnätet och elmarknaden för att möta samhällets behov av en säker, hållbar och ekonomisk elförsörjning. Därmed har Svenska kraftnät också en viktig roll i klimatpolitiken.

## **Version 1**

Org. Nr 202 100-4284

Svenska kraftnät  
Box 1200  
172 24 Sundbyberg  
Sturegatan 1

Tel: 010-475 80 00  
Fax: 010-475 89 50  
[www.svk.se](http://www.svk.se)

# Innehåll

1	Termer och förkortningar.....	4
2	Mål och omfattning .....	5
2.1	Bakgrund .....	5
2.2	Effektmål .....	6
2.3	Projektmål .....	6
2.4	Avgränsningar .....	6
3	Övergripande upplägg .....	7
4	Deltagande i pilotstudien .....	8
5	Dataanalys .....	9
5.1	Utvärdering av referensvärde .....	9
5.2	Utvärdering av prognostiserad effekt och prognostiserad budkapacitet .....	13
6	Förbättringsförslag och principer .....	16
	Förslag 1: Styrning av produktion mot referensvärde .....	16
	Förslag 2: Kalibrering av referensvärde .....	17
	Förslag 3: Frysmetod.....	18
7	Kompletterande krav och utvärdering för variabla resurser .....	20
7.1	Krav på datainsamling inför förkvalificering.....	20
7.2	Krav på referensvärde.....	21
7.2.1	Reduktionsfaktor.....	22
7.2.2	Frysmetoden.....	23
7.3	Krav på tillgänglighet.....	23
7.4	Under och efter förkvalificering .....	24
8	Sammanfattning.....	25
	Referenser.....	25

# 1 Termer och förkortningar

Här förklaras vanligt förekommande förkortningar och begrepp.

<b>Förkortning/begrepp</b>	<b>Förklaring</b>
aFRR	automatic Frequency Restoration Reserve, automatisk Frekvensåterställningsreserv på svenska.
Curtailment	Innebär en reduktion i effekten under vad som hade kunnat produceras. Alltså att produktionen spillas.
Fiktiva bud	Fiktiva eller tänkta bud är den budkapacitet som skulle budats in om resurser deltagit på marknaden.
FCR-N	Frequency Containment Reserve Normal, Frekvenshållningsreserv Normal drift på svenska.
FCR-D	Frequency Containment Reserve Disturbance, Frekvenshållningsreserv stördrift på svenska.
FFR	Fast Frequency Reserve, Snabb frekvensreserv på svenska.
Frysmetoden	Metod som kan användas för att förbättra referensvärdet. Frysmetoden justerar referensvärdet vid aktiveringstillfället vilket minimerar initiala avvikelser och säkerställer därmed korrekt initial leverans.
Medelvärde (Medel)	Summan av alla värden dividerat med antalet värdena.
Median	Det mittersta värdet i en dataserie som sorterats i stigande ordning. Median motsvarar den 50 Percentilen (Perc 50).
mFRR	manual Frequency Restoration Reserve, manuell Frekvensåterställningsreserv på svenska.
Percentil (Perc)	Det värde vilken en viss procent av värdena hamnar ovanför.
Referensvärde	Även kallad Referenseffekt eller engelska Baseline. Ett referensvärde beräknas och ska visa vad produktionen/förbrukningen hade varit om stödtjänst inte hade varit aktiverad. I denna rapport avses tekniskt referensvärde och inte ett ekonomiskt referensvärde.

## 2 Mål och omfattning

### 2.1 Bakgrund

I syfte att stabilisera och balansera kraftsystemet upphandlar Svenska kraftnät frekvensreglerande stödtjänster och avhjälpande åtgärder. I dessa kategorier ingår FFR, FCR-D, FCR-N, aFRR och mFRR. Dessa används både vid störningar och kontinuerlig balansering. Kostnaderna för frekvensreglerande stödtjänster och avhjälpande åtgärder har ökat kraftigt senaste åren. Dessutom kommer behovet och därmed volymerna att öka kommande år för vissa stödtjänster vilket bland annat beror på nya principer för balansering, ökad andel variabel kraftproduktion samt minskad andel synkront ansluten produktion. Svenska kraftnät ser därför ett behov av att utöka antalet leverantörer av stödtjänster och att ta tillvara på potentialen hos teknisklag som idag endast deltar i mycket begränsad omfattning. En viktig källa för detta ändamål är resurser med underliggande effektvariationer, t.ex. vindkraft, solkraft eller variabla förbrukningsanläggningar. Det finns ett intresse både från leverantörerna och Svenska kraftnät att möjliggöra för dessa resurser att kunna leverera stödtjänster. Detta kräver dock en förkvalificeringsprocess som är anpassad för dessa resurser vilket inte funnits hittills.

Historiskt har stödtjänster levererats av resurser vars aktiva effekt varit mer eller mindre fullt styrbar (främst från vattenkraft). Det har medfört att såväl startvärde innan reglering som slutvärde efter reglering har varit väldefinierade, och stödtjänstleveransen har således varit tydlig och definierbar. För att variabla resurser ska kunna leverera stödtjänster krävs en metod som hanterar de naturliga effektvariationerna där det kan säkerställas att den kapacitet som sålts till Svenska kraftnät levereras. Det finns alltså en ny form av problematik som Svenska kraftnät i stödtjänstsammanhang inte handskats med tidigare och som kräver både tydliga och konkreta krav, samt lämpliga metoder för att verifiera kravuppfyllnad för variabla resurser.

Kortfattat kan de nya utmaningarna delas in i två kategorier. Mer detaljerad information finns att läsa i *Vägledning för variabla resurser för att leverera stödtjänster och avhjälpande åtgärder* [1]:

- > **Referensvärde för reglering.** För att en resurs med bakomliggande variationer levererar en stödtjänst krävs ett referensvärde som den reglerar utifrån, både för att leveransen blir rätt men även för att Svenska kraftnät kan särskilja leverans från bakomliggande effektvariationer. Hos många variabla resurser så som sol- och vindkraftparker kan dessa referensvärden beräknas. En fråga blir då hur noggrann denna beräkning måste vara för att resursen ska kunna leverera de olika stödtjänsterna tillförlitligt.

- > **Garanterat tillgänglig effekt.** Hos de flesta variabla resurser finns osäkerhet kring vilken effekt som kommer finnas tillgänglig vid drifttimmen då stödtjänsterna handlas upp i förväg. En nyckelfråga här är vilken säkerhet som krävs i prognoserna vid budgivning.

## 2.2 Effektmål

Pilotstudien syftar till att ta fram förkvalificeringskrav och utvärderingsmetoder för kravverifiering för variabla resurser som vill leverera stödtjänster och/eller avhjälpande åtgärder.

## 2.3 Projekt mål

Pilotstudien riktade sig till resurser med bakomliggande effektvariationer. Vid pilotstudiens början saknades konkret kravställning och förkvalificeringsprocess för dessa resurser. Målet med detta projekt var att ta fram tydliga krav och metoder för kravverifiering för att möjliggöra för variabla resurser att förkvalificeras och leverera stödtjänster. Målet med denna pilotstudie var också att hitta en lämplig kravnivå som säkerhetsställer en bra balans mellan av likviditet, risk för otillgänglighet och kvalitén på stödtjänstleveranserna, i dialog med leverantörerna.

## 2.4 Avgränsningar

Förkvalificeringskraven som tagits fram i denna pilotstudie ersätter inte existerande krav som ställs i förkvalificeringen utan fungerar som ett komplement för resurser med bakomliggande variationer. Krav på responstid, uthållighet, mätnoggrannhet etc. är därför oförändrade. Notera att denna pilotstudie endast berörde resurser med bakomliggande effektvariationer. Resurser med konstant effekt eller planerbar produktion/förbrukning beaktades inte i denna pilotstudie.

### 3 Övergripande upplägg

Svenska kraftnät bjöd in leverantörer med variabla resurser att delta i pilotstudien och lät dem testa principer för leverans av stödtjänster i praktiken, det vill säga under drift. Efter en godkänd initial förkvalificering gavs leverantören möjlighet att delta på stödtjänstmarknaderna under pilotens gång. Under pilotstudien utvärderade Svenska kraftnät data från resursen och diskuterade svårigheter och förbättringar avseende leverans av stödtjänst med leverantören. På så sätt blev tröskeln för att delta på stödtjänstmarknaderna lägre, samt att både leverantörer och Svenska kraftnät gavs möjlighet att testa nya principer och bygga kompetens inom området. Leverantören loggade kontinuerligt mätvärden och skickade månadsvis loggad data till Svenska kraftnät för granskning. Insamlad data låg till grund för utvärdering och framtagning av krav och utvärderingsmetoder för förkvalificering av dess typer av resurser. Pilotstudien avslutades med att deltagarna i pilotstudien genomgår en fullständiga förkvalificering och att befintliga förkvalificeringsdokument uppdateras och anpassas för att passa variabel produktion och förbrukning bättre. Pilotstudien pågick från januari 2022 till och med oktober 2023.

Denna rapport är strukturerad enligt följande: i nästa kapitel presenteras en sammanställning av deltagandet i pilotstudien. Därefter ges en beskrivning av dataanalysen som utfördes. I de sista kapitlen presenteras de förkvalificeringskrav och utvärderingstestmetoder som fastställts i pilotstudien för att hantera referensvärde och budgivning.

## 4 Deltagande i pilotstudien

Intresset för att delta i pilotstudien var stort, totalt inkom 33 stycken intresseanmälningar. Av dessa var det till slut 10 stycken som skickade in en initial förenklad förkvalificeringsansökan. Majoriteten av ansökningarna kom från vindkraft men även solkraft och variabel förbrukning fanns bland de godkända ansökningarna. I Tabell 1 presenteras en översikt över hur deltagandet i pilotstudien var fördelat per kraftslag och stödtjänst.

**Tabell 1.** Översikt över deltagandet i pilotstudien fördelat per kraftslag och stödtjänst.

<b>Kraftslag</b>	<b>Stödtjänst</b>	<b>Förkvalificerad kapacitet (MW)</b>
Förbrukning	FCR-N	0,2
Solkraft	FCR-D ned	10
Vindkraft	FCR-N	150
	FCR-D upp	167
	FCR-D ned	324
	aFRR upp	150
	aFRR ned	200
	mFRR upp	150
	mFRR ned	150



## 5 Dataanalys

Under pilotstudien samlades data in månadsvis från de godkända resurserna och användes som underlag för dataanalys. Syftet med dataanalysen var att utvärdera kvaliteten på referensvärdet, d.v.s. hur bra referensvärde speglar faktiskt produktion eller förbrukning, samt att utvärdera precisionen i prognostiserad budkapacitet vid budgivningstillfället för varje resurs.

Resultatet från dataanalysen diskuterades med respektive leverantör i bilaterala möten för att hitta potentiella lösningar för att ytterligare förbättra resultaten. Analysen låg också till grund för att hitta en lämplig kravnivå som gälla för variabla resurser.

Dataanalysen delas här upp i två olika kategorier:

- > Utvärdering av referensvärde
- > Utvärdering av prognostiserad effekt och prognostiserad budkapacitet

### 5.1 Utvärdering av referensvärde

Referensvärdet ska visa produktion/förbrukning om ingen stödtjänst aktiverats. Hur bra referensvärdet representerar produktionen/förbrukningen utvärderas genom differensen mellan resursens referensvärde och uppmätta effekt ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) vilket i denna rapport benämns som *avvikelse*. Ett bra referensvärde anses vara det som leder till försumbara avvikelser under perioder då resursen inte varit aktiverad, d.v.s.  $p_{referens} - p_{uppmätt} \cong 0$ . Att avvikelserna är försumbara är ett bevis på att referensvärdet visar produktions-/förbrukningsprofilen noggrant och därmed kan garantera rätt leverans vid aktivering.

Variabla resurser kan antingen använda ett dynamiskt eller ett statiskt referensvärde. Mer detaljerad information om de olika metoderna finns att läsa i *Vägledning för variabla resurser för att leverera stödtjänster och avhjälpande åtgärder* [1].

Ett dynamiskt referensvärde, vilket majoriteten av leverantörerna i pilotstudien använde, följer kontinuerligt resursens naturliga effektvariationer. Då detta är en beräkning kommer den inte stämma till hundra procent med verklig uppmätt aktiv effekt. Avvikelsena kan variera över tid och vara både positiva och negativa. Storleken på dessa avvikelser beror på precisionen i beräkningen av referensvärdet.

Ett statiskt referensvärde innebär att resursen låser sin effekt på ett statiskt värde under kortare eller längre tidsintervall, d.v.s. regulatorn tvingar uppmätt aktiv effekt att följa referensvärdet. Referensvärdet och därmed stödtjänstleveransen blir då

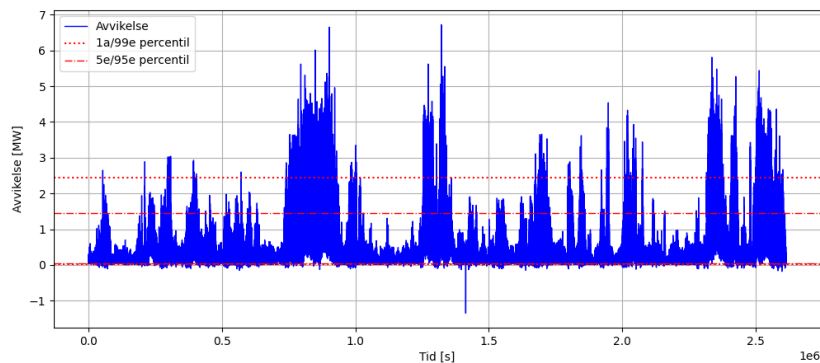
tydligt definierbar vid en aktivering. Oavsett vald metod är det viktigt att göra en kvantitativ utvärdering av avvikelserna.

Vid utvärderingen av referensvärde gjordes följande antaganden:

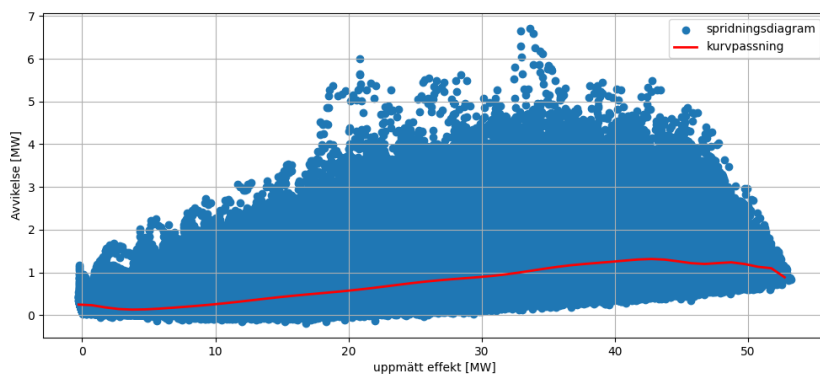
- > Perioder då resursen varit aktiverad uteslöts från analysen. Till exempel, för FCR-D ned resurser uteslöts de perioder då frekvensen översteg 50,1 Hz.
- > Timmar utan produktion eller förbrukning, d.v.s. när både referensvärde och uppmätt aktiv effekt var noll, uteslöts från analysen. Här var avvikelserna noll men det var inte en indikation på ett noggrant referensvärde.
- > Det antogs att loggat referensvärde var det som användes av regulatorn för styrning av aktiv effekt vid aktivering av stödtjänsten.
- > Det antogs att loggat referensvärde inte påverkas av stödtjänstaktivering eller uppmätt effekt. Detta är nödvändigt för att referensvärdet ska vara användbart och att leveransen ska vara definierbar.

Figur 1 visar ett exempel på den momentana avvikelserna under en månad för en leverantör i pilotstudien som var förkvalificerad för FCR-D ned. Avvikelseerna varierade över tid men var i princip uteslutande positiva, vilket här innebär underleveranser vid aktivering. Ibland var avvikelserna och därmed underleveranserna mycket stora, t.ex. var percentil 1 ca 2,4 MW vilket betyder att 1 % av avvikelserna under månaden var större än 2,4 MW. Ett högt värde på percentilerna kan vara särskilt problematiskt för snabba stödtjänster som FCR-D där korrekt momentan leverans är viktig.

Figur 2 visar avvikelserna vs den faktiska uppmätta effekten samt en kurvanpassning. Grafen visar att referensvärdet hade högre avvikelser vid högre produktionsnivåer. Under majoriteten av timmarna då leverantören lämnade bud låg resursen på höga produktionsnivåer, av denna anledning utfördes samma analys men endast under budtimmar och resultatet sammanfattas i Tabell 2. Från tabellen framgår det att avvikelserna var högre under budtimmar än om analysen utfördes under samtliga timmar. Från tabellen kan också konstateras att medelvärdet för avvikelserna var positivt vilket här är en indikation på att det mestadels fanns positiva avvikelser, d.v.s. en genomsnittlig underleverans. Liknande observationer gjordes för flera leverantörer i pilotstudien.



**Figur 1.** Exempel på momentana avvikelser mellan uppmätt effekt och referensvärde [MW] samt percentil 1/99 och 5/95



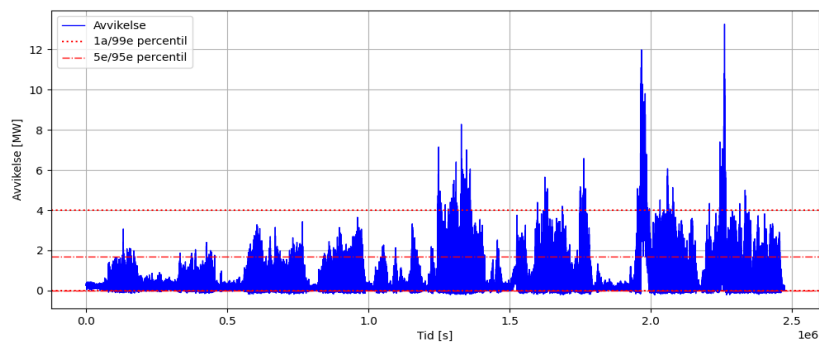
**Figur 2.** Uppmätt effekt vs motsvarande avvikelse med kurvpasning. Den röda kurvan visar att avvikelsernas storlek varierar vid olika produktionsnivåer (större avvikelser vid högre produktionsnivåer).

**Tabell 2.** Kvantitativ sammanfattning av de momentana avvikelserna ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) för en leverantör i pilotstudien under en månad, både under samliga timmar och enbart under budtimmar.

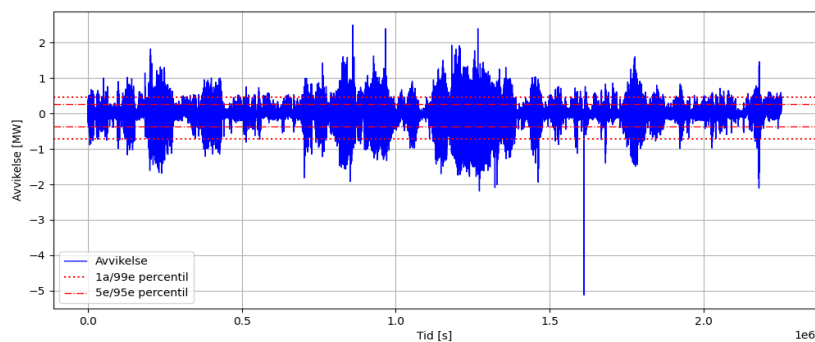
	Samtliga timmar [MW]	Endast budtimmar [MW]
Medelvärde	0,4	0,8
Percentil 1	2,4	3,2
Percentil 99	0,0	0,0
Percentil 5	1,5	2,3
Percentil 95	0,0	0,1
Max	6,7	6,7
Min	-0,2	-0,2

Eftersom avvikelserna var större vid högre produktionsnivåer och under budtimmar kunde det också observeras vissa säsongsvariationer i avvikelserna. Där t.ex. solparkerna visade högre avvikelser under sommaren än under vintern både under budade och icke budade timmar.

Förutom de normala avvikelser som har visats hittills, fanns det en annan utmaning som påverkade de väderberoende resurserna vilket var isbildning på vindkraftverkens rotorblad eller täckande snöskikt på solcellsytor. Under kalla vinterdagar minskades elproduktion kraftigt på grund av snö och is. Referensvärdet speglade dock inte detta utan visade produktionen som om det inte funnits snö och is, vilket resulterade i stora avvikelser under vissa timmar/dagar. Figur 3 visar avvikelserna ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) för en vindkraftspark under december som påverkades av isbildning på turbinbladen. 0 visar samma park under juli. Från figurerna konstateras att normala avvikelser är mellan  $\pm 1$  MW under juli medan de uppgår till mer än 10 MW under vissa perioder i december. För att leverera stödtjänster från vind- eller solkraft vid sådana väderförhållanden bör referensvärdet vara anpassat för att kunna ge en korrekt representation av effekten under dessa förutsättningar. Om detta ej är möjligt kan resursen inte leverera stödtjänster vid isbildning och leverantören ansvarar för att detta inte sker, exempelvis genom att försöka prognosticera isbildning och/eller inte buda när det finns risk för isbildning.



**Figur 3.** Avvikelse ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) för en vindpark under december. Under december kan nådde avvikelserna drygt 10MW vissa perioder p.g.a. isbildning på turbinbladen.

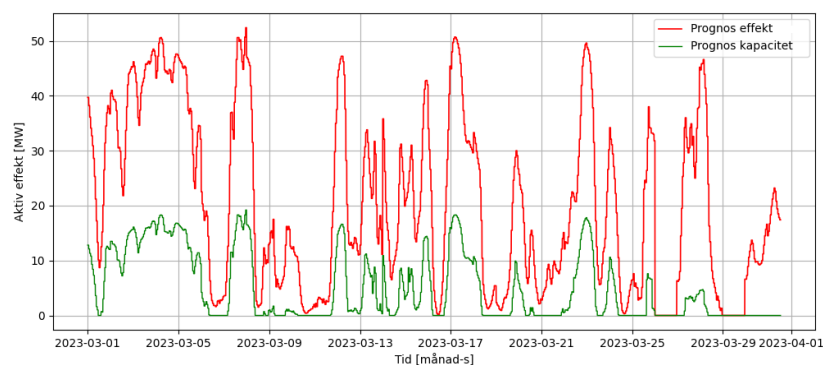


**Figur 4.** Avvikelse ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) för en vindpark under juli. Normala avvikelser är mellan  $\pm 1$  MW under juli.

## 5.2 Utvärdering av prognostiserad effekt och prognostiserad budkapacitet

En del av analysen fokuserade på prognosernas precision. Analysen utfördes både på prognostiserad effekt och på prognostiserad budkapacitet. I denna rapport ligger fokus på prognostiserad budkapacitet eftersom den prognostiserade budkapaciteten är den som kommer att säljas till Svenska kraftnät och den som måste vara tillgänglig vid drifttimmen.

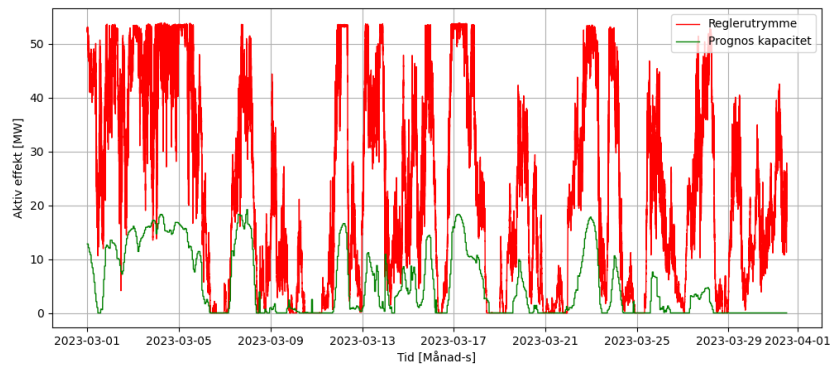
Prognostiserad effekt och prognostiserad budkapacitet är normalt inte desamma. Med prognostiserad effekt avses leverantörens förväntade effekt (producerad eller förbrukad) under drifttimmen. Prognostiserad budkapacitet avser den minsta kapacitet som leverantören garanterar ska finnas tillgänglig för leverans under hela den aktuella timmen. Detta utgör taket för hur mycket leverantören bedömer kan säljas, utifrån prognos och osäkerhetsmarginal. Utöver prognoser använde leverantörer olika metoder för att ytterligare öka marginalerna och minska risken för otillgänglighet, det kunde t.ex. vara marginalfaktorer och tröskelvärden. I Figur 5 visas prognostiserad effekt och prognostiserad budkapacitet från en leverantör som exempel på skillnaderna mellan dessa två. Det visar tydligt att prognostiserad budkapacitet är lägre än prognostiserad effekt.



**Figur 5.** Exempel på prognostiserad effekt och prognostiserade budkapacitet från mars 2023. Prognostiserad budkapacitet är lägre än prognostiserad effekt.

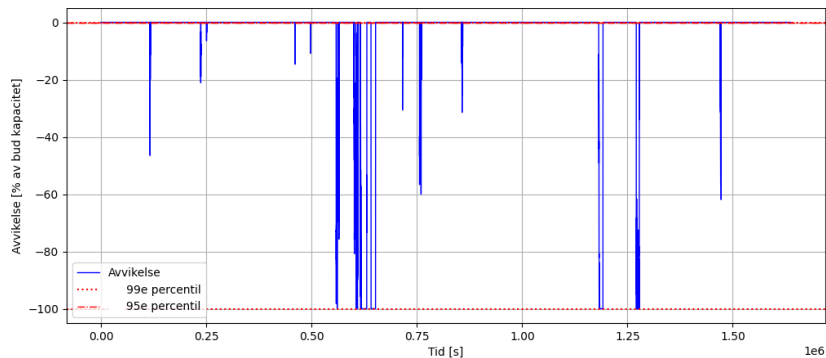
En ideal prognostiserad budkapacitet är den som garanterar tillgängligheten av hela budkapaciteten under drifttimmen men ingen prognos kan garantera hundra procent tillgänglighet hela tiden.

Metoden för att utvärdera prognostiserad budkapacitet var att beräkna tillgängligt reglerutrymme varje sekund och sedan att beräkna *Avvikelse [% av budkapacitet]* som differensen mellan tillgängligt reglerutrymme och prognostiserade budkapacitet. Utvärderingen utfördes för samtliga leverantörer varje månad under pilotstudien. En del av resultat visas i Figur 6 och Figur 7 från en leverantör i mars 2023 som exempel.



1

**Figur 6.** Tillgängligt reglerutrymme och prognostiserad budkapacitet från mars 2023. Reglerutrymmet ska som regel överstiga prognostiserad budkapaciteten, annars kan resursen inte leverera det som sålts.



**Figur 7.** Avvikelse mellan tillgänglig reglerutrymme och prognostiserad budkapacitet [% av budkapacitet] från mars 2023. Majoriteten av tiden då prognosen slog fel förlorade leverantören mer än 10% av budkapaciteten.

En kvantitativ sammanfattning av resultatet i Figur 6 och Figur 7 ges i Tabell 3. I tabellen presenteras det genomsnittliga prognosfelet beräknat under samtliga timmar, samt det genomsnittliga prognosfelet under de timmar då prognosticerad budkapacitet understeg verklig tillgänglig kapacitet. I det här fallet förlorade resursen i genomsnitt 3 % av den totala budvolymen under mars och när leverantören förlorade kapacitet förlorades i genomsnitt 73 % av budkapaciteten. Tabellen visar också hur stor del av tiden som det tillgängliga reglerutrymmet var lägre än den prognostiserade budkapacitet samt hur stor del av tiden som den reducerade budkapaciteten var mer än 10 % av budvolymen för resursen. Enligt Tabell 3 hade resursen full kapacitet tillgängligt 96 % av tiden. Under de 4 % då reglerutrymmet ej var fullt tillgängligt, förlorades nästan alltid mer än 10 % av budkapaciteten, vilket är i linje med det som observerades i Figur 7.

**Tabell 3.** Kvantitativ sammanfattning av prognostiserad budkapacitet från en leverantör under mars 2023. Analysen gjordes med sekundsupplösning.

	<b>Mars</b>
Genomsnittligt prognosfel (alla timmar)	-3,0 %
Genomsnittligt prognosfel (enbart timmar med prognosfel)	-71,0 %
Andel tid med reducerad budkapacitet	4,0 %
Andel tid med över 10% reducerad budkapacitet	3,7 %

Prognostiserade budkapacitet för enskilda resurser i pilotstudien utvärderades per månad. Det observeras att en viss nivå av fel i prognostiserade budkapacitet var oundviklig. Denna nivå varierade dock mellan de olika leverantörerna. Vissa leverantörer hade mindre än 1 % timmar med reducerad budkapacitet per månad medan för andra leverantörer kunde andel uppgå till 13 %. En annan observation var att utav de timmar med reducerad budkapacitet utgjordes majoriteten av dessa, av timmar där den reducerade kapaciteten var mer än 10 %, d.v.s. när prognosen slog fel blev felen oftast stora. Detta var en generell trend bland alla leverantörer som deltog i pilotstudien. Den genomsnittliga tillgängligheten för alla vindparker som deltog på FCR-D för 2 månader presenteras i o. Observera att analysen som utfördes var baserad på prognostiserade budkapacitet. I verkligheten måste leverantörer göra återköp innan drifttimmen om prognoserna visar en risk för reducerad budkapacitet. På så sätt kan Svenska kraftnät köpa kapaciteten från andra tillgängliga resurser och minimera riskerna för obalans.

**Tabell 4.** Resultatet av tillgänglighet budkapacitet för februari och mars 2023 från alla vindkraftsparker som deltog på FCR-D ned.

	<b>Tillgänglighet</b>
Februari	95 %
Mars	95 %

## 6 Förbättringsförslag och principer

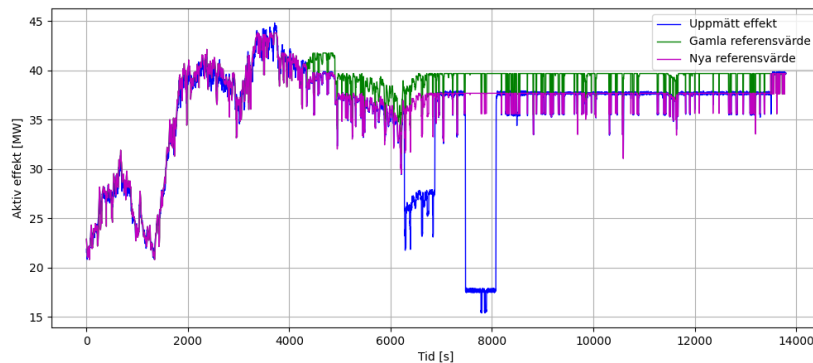
I detta avsnitt presenteras några förslag på metoder för att förbättra kvaliteten på referensvärdet som pilotstudien funnit. Observera att detta endast är förslag, det finns alltså inget krav på att använda någon av dessa metoder. Förslagen är skrivna på en övergripande nivå och måste, ifall de används, anpassas efter varje resurs. Det är upp till leverantören att avgöra om en lösning passar för resursen eller inte. Kombinationer av olika lösningar kan även övervägas för att uppnå bästa resultat. Observera att metoder för att förbättra referensvärdet inte begränsas till de metoder som nämns nedan utan en leverantör har möjlighet att använda egna metoder för att förbättra referensvärdet.

### Förslag 1: Styrning av produktion mot referensvärde

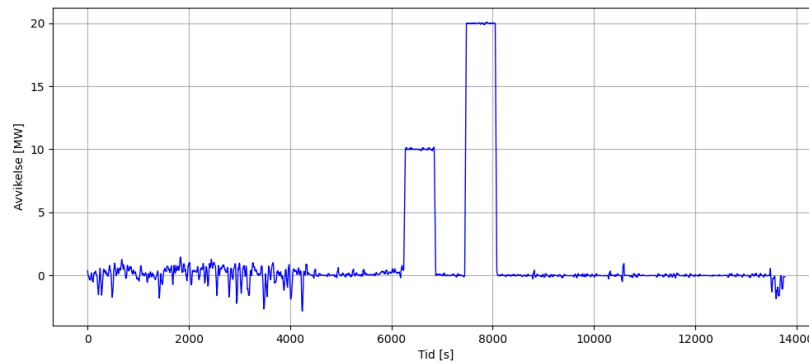
Förslaget innebär att produktionen/förbrukningen styrs mot ett lämpligt beräknat referensvärde för att kunna producera/förbruka precis enligt referensvärdet. För att kunna använda metoden läggs en marginal till på det referensvärdet vartefter produktionen/förbrukningen styrs mot det korrigerade referensvärdet. Denna marginal innebär en del produktionsspill.

För att demonstrera detta förslag presenteras här ett exempel från en leverantör i pilotstudien i Figur 8 och Figur 9. Stegsvarstestet är inte i fokus här utan snarare referensvärdet. Figur 8 visar referensvärdet och uppmätt effekt. Det ursprungliga referensvärdet är den gröna linjen som i figuren benämns *Gamla referensvärde*. Det uppdaterade referensvärdet när förslaget implementerats är den röda linjen som benämns *Nya referensvärde* i figuren och är *Gamla referensvärde* subtraherat med 2 MW. Fram till en bit efter 4000 sekunder är båda referensvärdena desamma. Därefter aktiveras *Nya referensvärde* och produktionen styrs mot det korrigerade referensvärdet. Stegsvarstestet använder *Nya referensvärde* och minskar produktionen därifrån. Det intressanta är dock avvikelser mellan referensvärdet och uppmätt effekt före och efter implementering av förslaget som visas i Figur 9. Det kan observeras att genom att bara spilla en liten del av produktionen försvinner avvikelser nästan helt.





**Figur 8.** Demonstrationsexempel med styrning av produktionen mot referensvärdet (Stegsvarstesterna från en ansökan i pilotstudien).



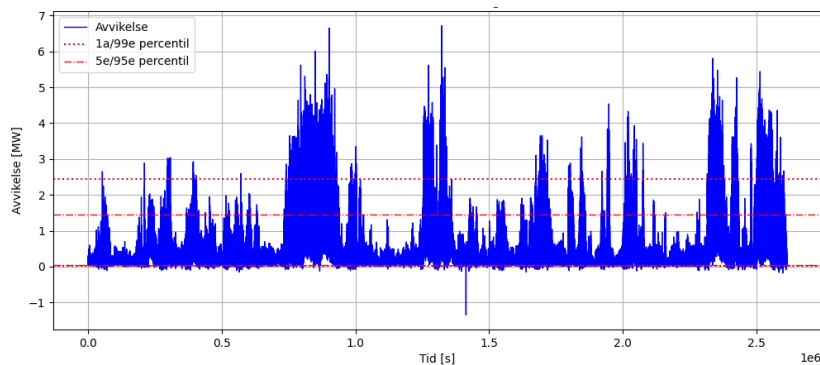
**Figur 9.** Demonstrationsexempel med styrning av produktionen mot referensvärdet (Stegsvarstesterna från en ansökan i pilotstudien). Det kan observeras att med genom att bara spilla en liten del av produktionen försvinner avvikelser nästan helt.

## Förslag 2: Kalibrering av referensvärde

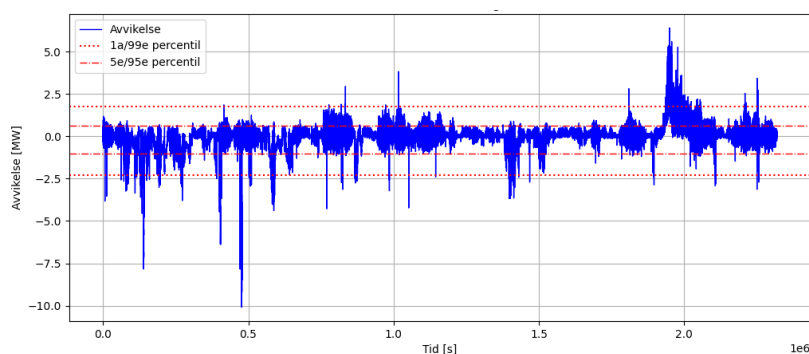
Förslaget innebär att kalibrera referensvärdet för att bli av med den konstanta förskjutningen mellan aktiv effekt och referensvärde, alltså för att justera så medelvärdet av avvikelserna blir noll.

Ett sätt att tillämpa kalibrering baseras på att analysera historisk data över produktion eller förbrukning och beräkna avvikelserna. Utifrån dessa data kan en kalibreringstabell för exempelvis olika produktions/förbrukningsintervall och/eller säsongbaserade variationer tas fram som visar hur referensvärdet bör kalibreras utifrån de faktorer som är mest avgörande för resursen i fråga.

För att demonstrera kalibrering presenteras här ett exempel från en leverantör i pilotstudien. Figur 10 visar de momentana avvikelser från juli 2022. Avvikelse varierade över tid men är i princip uteslutande positiva, vilket framgår av figuren. Efter dialog med leverantören utfördes uppgraderingar med huvudfokus på kalibrering för att reducera avvikelserna. Figur 11 visar resultatet efter kalibreringen. Medelvärdet är nu istället kring noll för alla produktionsnivåer och även percentilvärdena förbättrades, t.ex. reducerades percentil 99 från 2,4 MW till 1,8 MW.



Figur 10. Momentana avvikelser från juli 2022, före kalibrering.



Figur 11. Momentana avvikelser från april 2023, efter kalibrering.

## Förslag 3: Frysmetod

För en exakt leverans direkt vid aktiveringstillfället kan en metod som här benämns *frysmetoden* användas. Tanken med frysmetoden är att beräkna avvikelserna vid aktiveringstillfället och justera referensvärdet så att det matchar aktiv effekt. Justeringsvärdet kommer att frysas och adderas till ordinarie referensvärde under hela aktiveringen (d.v.s. fix offset). När aktiveringen är klar kommer justeringsvärdet att nollställas igen tills nästa aktivering. Notera att frysmetoden alltså inte fryser referensvärdet under aktiveringsperioden, utan justerar referensvärdet med ett fixt justeringsvärde baserat på avvikelserna vid aktiveringstillfället. Denna princip lämpar sig bäst för stödtjänster som vanligtvis aktiveras under kortare perioder, som FFR och FCR-D. Frysmetoden fungerar ej för FCR-D upp för vindkraft, solkraft eller andra resurser som behöver begränsa sin produktion för att kunna leverera FCR-D upp.

Eftersom frysmetoden korrigerar referensvärde vid aktivering behövs ett alternativ metod för att utvärdera referensvärdet hos resurser som använder denna princip. Detta görs genom att beräkna de fel som hade uppkommit om denna princip hade används av resursen. Huvudfokus i denna utvärdering blir att studera hur avvikelserna varierar över tiden. Eftersom frysmetoden kalibrerar utifrån den initiala avvikelserna, och därmed säkerställer korrekt initial respons, blir det istället

centralt att studera hur stora felen blir en bit in i aktiveringen. Om avvikelserna varierar kraftigt och snabbt blir frysmetoden mindre tillförlitlig än om avvikelserna varierar långsamt. För att kunna utvärdera frysmetoden undersöks därför två olika tidsintervall; 10 sekunder (för att representera korta aktiveringar) och 20 minuter (för att representera längre aktiveringar). För 10 sekunders tidsintervall väljs avvikelserna vid början av det första 10 sekunders tidsintervall och alla avvikelser inom det första 10 sekunders tidsintervall reduceras med den initiala avvikelserna. Processen upprepas under nästa 10 sekunders tidsintervaller tills alla avvikelser uppdateras. Beräkningen för 20 minuters tidsintervall görs på liknande sätt men med 20 minuters tidsintervaller istället.

För illustrera resultatet av frysmetoden, visas ett exempel i Tabell 5. *Avvikelsen* beräknades, enligt ovan, för både 10 sekunder och 20 minuter tidsintervall och presenteras i tabellen tillsammans med resultatet ifall ingen frysmetod användes. Tabellen visar tydligt att både medelvärdet och percentilerna för avvikelserna blir mindre genom att applicera frysmetoden.

**Tabell 5.** Exempel på när frysmetoden användes på data från en leverantör i pilotstudien.

		<b>Avvikelse (MW)</b>
Utan frysmetod	Medel	2,3
	Percentil 95	6,0
	Percentil 5	-0,1
10 sekunders frystid	Medel	0,0
	Percentil 5	0,9
	Percentil 95	-1,1
20 minuters frystid	Medel	0,0
	Percentil 5	1,7
	Percentil 95	-1,9

Frysmetoden som beskrivs här är tänkt som vägledning och inspiration till aktörer kring hur referensvärdet vid aktivering kan förbättras. Notera att frysmetoden inte är en strikt metod, utan aktören väljer fritt hur den exakta lösningen ser ut. Det finns många olika varianter på hur en metod som använder någon form av frysning/korrigerig kan se ut. Om leverantören väljer att använda frysmetoden ska lösningen tydligt anges i förkvalificeringsansökan.

## 7 Kompletterande krav och utvärdering för variabla resurser

Detta avsnitt innehåller en beskrivning av de krav på datainsamling, referensvärde och prognostiserad budkapacitet samt utvärderingsprocess av dessa för variabla resurser. Dataanalysen användes som underlag för dessa krav. Kraven som presenteras i följande avsnitt kommer att utvärderas i samband med förkvalificeringen.

### 7.1 Krav på datainsamling inför förkvalificering

För att kunna utvärdera om referensvärde och prognostiserad budkapacitet håller god kvalitet krävs loggad data historisk data. Minst två månaders data i rad (t.ex. mars och april) ska loggas och skickas in i samband med en förkvalificeringsansökan. Mer om loggning finns att läsa i *Rapportering av mätvärden för enheter och grupper med variabel produktion och förbrukning* [2]. Utvärderingar som beskrivs i detta avsnitt sker endast på prognostiserade budtimmar. Insamlad data måste därför innehålla minst 300 budtimmar för FCR och FFR och minst 150 budtimmar för aFRR och mFRR. Vidare gäller att:

- > Om två månader inte räcker för att täcka minsta antalet budtimmar måste leverantören förlänga tidperioden tills begärda antalet budtimmar uppnåtts. Tidperioden måste dock vara kontinuerlig, t.ex. mars, april och maj och inte mars, april och juli.
- > Leverantörer som är aktiva på någon av stödtjänstmarknaderna och vill genomgå en förkvalificering (t.ex. av en annan typ av stödtjänst eller förnya en förkvalificering) måste pausa sitt deltagande och inte leverera stödtjänster under tiden som insamlingen av data pågår<sup>1</sup>. Eftersom resursen inte deltar på marknaden kommer budtimmarna vara fiktiva och fiktiva buden ska motsvara den budkapacitet som skulle budats in om resurser deltagit på marknaden.
- > Leverantören ska tydligt beskriva sin budstrategi för att Svenska kraftnät ska kunna förstå varför bud lagt vissa timmar och inte andra. T.ex. genom att tydliga beskriva när budgivning görs samt vilka tröskelvärden och säkerhetsmarginaler som använts. Fiktiva eller tänkta bud är den budkapacitet som skulle budats in om resurser deltagit på marknaden.
- > Under budtimmar ska resurser som inte är förkvalificerade agera som om de har varit på marknaden på riktigt, d.v.s. om styrsystemet har en specifik

---

<sup>1</sup> Undantag kan ges till FCR-D ned.

regleringsalgoritm eller referensvärdesberäkning som endast används under avropade timmar, ska denna reglering aktiveras med noll avropad kapacitet under de fiktiva budtimmarna.

- > Referensvärdet ska inte påverkas av stödtjänstaktivering eller uppmätt effekt och ska vara som det används under aktiveringar . Detta är nödvändigt för att referensvärdet ska vara användbart och att leveransen ska vara definierbar.
- > Referensvärdesberäkning samt utvalda lösningar (t.ex. frysmetod) ska tydligt beskrivas i ansökan.

## 7.2 Krav på referensvärde

Referensvärdet ska för de olika stödtjänsterna utvärderas enligt de krav som specificerats i Tabell 6 genom att beräkna medelvärde/medelfel, Percentil 95 och Percentil 5 av de momentana avvikelserna ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ) under de fiktiva budtimmarna.

**Tabell 6.** Krav på referensvärde avvikelse ( $p_{referens} - p_{uppmätt}$ ).

Stödtjänst	Medelvärde/ medelfel	Percentil 95 (P95) och Percentil 5 (P5)	Filtrering <sup>2</sup>	$K_{red}$ <sup>3</sup>
FFR	Medelfel  < 5 % av FFR-Steady state svar <sup>4</sup> .	P95-P5 /2 < 20 % av FFR-Steady state svar	Ingen filtrering	-
FCR-D	Medelfel  < 5 % av FCR-D-Steady state svar <sup>4</sup>	P95-P5 /2 < 20 % av FCR-D-Steady state svar	Ingen filtrering	$0,75 \leq K_{red} \leq 1$
FCR-N	Medelfel  < 5 % av FCR-N-Steady state svar <sup>4</sup>	P95-P5 /2 < 20 % av FCR-N-Steady state svar	30 s	$0,9 \leq K_{red} \leq 1$
aFRR	Medelfel  < 10 % av aFRR-Steady state svar <sup>4</sup>	P95-P5 /2 < 20 % av aFRR-Steady state svar	1 min	$0,75 \leq K_{red} \leq 1$
mFRR	Medelfel  < 20 % av mFRR-Steady state svar <sup>4</sup>	P95-P5 /2 < 50 % av mFRR-Steady state svar	5 min	-

Ett referensvärde med låg kvalitet leder till att den minsta tillåtna budkapacitet ökar, vilket betyder att kapacitetsintervallet för budgivningen kommer att minska. Med en väldigt låg kvalitet på referensvärdet, blir den minsta tillåtna budkapaciteten lika med eller högre än resursens märkeffekt vilket innebär att en förkvalificering ej kan godkännas. Den minsta tillåtna budkapacitet beräknas enligt nedan:

$$\Delta P_{min} = \max\left(\frac{e_{faktisk}}{e_{tillåtet}}\right)$$

<sup>2</sup> Efter beräkning av avvikelser kommer det att filtreras med ett glidande medelvärde med filtreringstiden enligt tabellen. Filtrering tillåts inte för FFR och FCR-D.

<sup>3</sup> Reduktionsfaktor, läs mer om reduktionsfaktorn under 7.2.1

<sup>4</sup> Steady state svar motsvarar här kapaciteten dividerat med reduktionsfaktorn (dvs kapacitet exklusive reduktionsfaktor).

där  $\Delta P_{min}$  är den minsta budkapaciteten i MW,  $e_{faktisk}$  är faktisk avvikelse för referensvärdet (antingen medelfel eller intervallet för percentilerna) i MW och  $e_{tillåtet}$  är de givna tillåtna avvikelser i % i Tabell 6 ovan. Som exempel den minsta tillåtna budkapacitet för FCR enligt nedan:

$$\Delta P_{FCR,min} = \max\left(\frac{|Medelfel|}{0,05}, \frac{\frac{|P95 - P5|}{2}}{0,2}\right)$$

Exempelvis, för resursen i Tabell 2 blir den minsta tillåtna budkapaciteten:

$$\Delta P_{FCR,min} = \max\left(\frac{|Medelfel|}{0,05}, \frac{\frac{|P95 - P5|}{2}}{0,2}\right) = \max\left(\frac{|0,8|}{0,05}, \frac{\frac{|0,1 - 2,3|}{2}}{0,2}\right) = 16 \text{ MW}$$

### 7.2.1 Reduktionsfaktor

Den minsta tillåtna budkapaciteten kan reduceras i förhållande till steady state-svaret med hjälp av en reduktionsfaktor ( $K_{red}$ ). Idén är att addera lite extra kapacitet till den avropade kapaciteten för att kompensera för avvikelserna. D.v.s. om kapaciteten som ska levereras är  $\Delta P$ , är kapaciteten som budas och ersätts den reducerade kapaciteten  $K_{red} \cdot \Delta P$ . Reduktionsfaktorn är ett sätt att kompensera för de avvikelser som kan leda till underleverans.

Reduktionsfaktorn för kapacitet,  $\Delta P$ , i MW, beräknas enligt nedan:

$$K_{red} = \min\left(\frac{1 - e_{faktisk}}{\frac{\Delta P}{1 - e_{tillåtet}}}\right)$$

och för FCR som exempel:

$$K_{red,FCR} = \min\left(\frac{1 - \frac{|Medelfel|}{\Delta P}}{1 - 0,05}, \frac{1 - \frac{\frac{|P95 - P5|}{2}}{\Delta P}}{1 - 0,2}\right)$$

Reduktionsfaktorn får vara ett värde mellan 0,9 och 1 för FCR-N och mellan 0,75 och 1 för FCR-D och aFRR. Observera att reduktionsfaktor inte tillåts för FFR eller mFRR. Den minsta tillåtna budkapaciteten som kan levereras är den kapacitet som leder till den minsta tillåtna  $K_{red}$ .

De tidigare ekvationerna för den minsta tillåtna budkapacitet som kan levereras inklusive reduktionsfaktorn skrivs om enligt nedan:

$$\Delta P_{min,red} = \max\left(\frac{e_{faktisk}}{1 - K_{red,min} \cdot (1 - e_{tillåtet})}\right)$$

och för FCR som exempel:

$$\Delta P_{FCR,min,red} = \max\left(\frac{|Medelfel|}{1 - K_{red,min}(1 - 0,05)}, \frac{\frac{|P95 - P5|}{2}}{1 - K_{red,min}(1 - 0,2)}\right)$$

Lägre budkapacitet än  $\Delta P_{min,red}$  är inte tillåtna. Notera att om andra reduktionsfaktorer beaktas måste minimireduktionsfaktorn väljas.

### 7.2.2 Frysmetoden

För resurser som använder frysmetoden kommer utvärderingen att utföras på 10 sekunders och 20 minuters frysningsintervall enligt de krav som anges i Tabell 7. Frysmetoden lämpar sig bäst för FFR och FCR-D utan curtailment. För FFR behövs ingen utvärdering efter 20 minuter eftersom FFR inte är aktiv mer än några sekunder.

Tabell 7. Krav på avvikelse ( $p_{ref} - p_{meas}$ ) med frysmetoden.

Stödtjänst	Frystid	Medelvärde/ medelfel	Percentil 95 (P95) och Percentil 5 (P5)	$K_{red}$
FFR	10 sekunder	$ Medelfel  < 5\%$ av FFR- Steady state svar	$ P95-P5 /2 < 20\%$ av FFR- Steady state svar	-
FCR-D	10 sekunder	$ Medelfel  < 5\%$ av FCR- Steady state svar	$ P95-P5 /2 < 20\%$ av FCR- Steady state svar	$0,75 \leq K_{red} \leq 1$
	20 minuter	$ Medelfel  < 20\%$ av FCR- Steady state svar	$ P95-P5 /2 < 50\%$ av FCR- Steady state svar	$0,75 \leq K_{red} \leq 1$

Den minsta tillåtna budkapacitet för FCR-D då frysmetoden används (utan reduktionsfaktor) beräknas enligt nedan:

$$\Delta P_{FCRD,min,frys} = \max\left(\frac{|Medelfel|_{10s}}{0,05}, \frac{|Medelfel|_{20m}}{0,2}, \frac{|P95 - P5|_{10s}}{0,2}, \frac{|P95 - P5|_{20m}}{0,5}\right)$$

Den minsta tillåtna budkapacitet för FCR-D då frysmetoden används (med reduktionsfaktor) beräknas enligt:

$$\Delta P_{FCRD,min,red,frys} = \max\left(\frac{|Medelfel|_{10s}}{1 - K_{red,min}(1 - 0,05)}, \frac{|Medelfel|_{20m}}{1 - K_{red,min}(1 - 0,2)}, \frac{|P95 - P5|_{10s}}{2(1 - K_{red,min}(1 - 0,2))}, \frac{|P95 - P5|_{20m}}{2(1 - K_{red,min}(1 - 0,5))}\right)$$

Lägre budkapacitet än  $\Delta P_{FCRD,min,red,frys}$  är inte tillåtna.

Den minsta tillåtna budkapacitet för FFR då frysmetod används beräknas enligt nedan:

$$\Delta P_{FFR,min,frys} = \max\left(\frac{|Medelfel|_{10s}}{0,05}, \frac{|P95 - P5|_{10s}}{0,2}\right)$$

## 7.3 Krav på tillgänglighet

Kraven på prognostiserad budkapacitet kommer att vara på tillgänglighet i procent. Prognostiserad budkapacitet från insamlad data jämförs med tillgängligt reglerutrymme. Alla sekunder där den tillgängliga reglerutrymme är mindre än den prognostiserade budkapaciteten summeras över samtliga budtimmar (totala tiden med reducerad budkapacitet). Den procentuella tillgängligheten beräknas enligt

ekvationen nedan. Det vill säga genom att subtrahera det totala antalet budtimmar med den totala tiden med reducerad budkapacitet och dividera med den totala budtiden. Kravet på tillgänglighet för respektive stödtjänst anges i Tabell 8.

$$\text{Tillgänglighet (\%)} = \frac{\text{total antal budtimmar} - \text{timmar med reducerad budkapacitet}}{\text{total antal budtimmar}}$$

**Tabell 8.** Krav på tillgänglighet för respektive stödtjänst.

<b>Stödtjänst</b>	<b>Krav på tillgänglighet</b>
FFR	95 %
FCR	95 %
aFRR	90 %
mFRR	90 %

## 7.4 Under och efter förkvalificering

Kraven som har presenterats i detta avsnitt ska utvärderas parallellt med andra krav, d.v.s. leverantören skickar in samtliga testresultat, ansökningsformulär och loggad historisk data samlat i förkvalificeringsansökan. Beroende av noggrannheten på referensvärdet kan minsta tillåtna budkapaciteten (minkapaciteten) komma att justeras vid utvärdering av förkvalificeringsansökan.

Referensvärde och tillgänglighet för prognoserna som redovisats i förkvalificeringen ska bibehållas på den godkända nivån även efter förkvalificeringen. Loggad data ska finnas tillgänglig och kunna levereras till Svenska kraftnät på begäran enligt ordinarie förkvalificeringskrav. Varje förändring i regulator, beräkning av referensvärde eller budgivningsstrategi efter förkvalificeringen som påverkar referensvärdet eller tillgängligheten kräver en ny förkvalificering. Leverantörerna är ansvariga för att i sådant fall informera Svenska kraftnät och inleda en ny förkvalificeringsansökan.



## 8 Sammanfattning

I detta avsnitt presenteras några av de viktigaste slutsatser från pilotstudien. Genomförande av pilotstudien möjliggjorde för leverantörer som tidigare bara deltagit på stödtjänstmarknaden i begränsad omfattning att komma in på marknaden och testa principer för leverans av stödtjänster i praktiken. Genom arbetet gavs Svenska kraftnät och leverantörer i branschen möjlighet att diskutera svårigheter och förbättringsförslag kopplat till leverans av stödtjänster kontinuerligt. Det var också ett bra tillfälle testa nya idéer i drift under kontrollerade former. Genom arbetet och den kontinuerliga dialogen under pilotstudien gjordes tydliga förbättringar hos de deltagande leverantörerna, bland annat i beräkning av till exempel referensvärde.

Pilotstudien mynnade ut i ett antal förkvalificeringskrav och utvärderingsmetoder för resurser med variabel produktion och förbrukning, d.v.s. en förkvalificeringsprocess som är anpassad för variabla resurser vilket inte funnits tidigare.

Ett av kraven som pilotstudien fastslog var ett krav på insamling av data inför förkvalificering. Dessa data används för att utvärdera referensvärdets noggrannhet och den strategi som kommer användas för budgivning. Från data som analyserades i pilotstudien konstateras att den prognostiserade budkapaciteten inte alltid fanns tillgänglig och upp till en viss nivå av fel i prognoserna var oundvikligt. När prognoser slog fel var felen oftast stora. Ett krav som pilotstudien fastslog var därför krav på tillgänglig budkapacitet i förkvalificeringen.

Vidare krävs att ett referensvärde tas fram som ska uppfylla definierade krav på avvikelse mellan referensvärde och uppmätt effekt. Särskilt viktig var att medelvärdet av avvikelserna på systemnivå är försumbara. Medan de stora avvikelserna (som mäts av de yttre percentilerna) oftast tillfälliga och verkade inte vara korrelerade mellan de olika leverantörerna. Pilotstudien fann också flera möjliga åtgärder som kan användas för att förbättra referensvärdet, i detta dokument nämns t.ex. styrning av produktion mot referensvärde, kalibrering och frysmetoden.

## Referenser

- [1] "Vägledning för variabla resurser för att leverera stödtjänster och avhjälpande åtgärder," Svenska kraftnät, 2023.
- [2] "Rapportering av mätvärden för enheter och grupper med variabel produktion och förbrukning," Svenska kraftnät, 2023.