

Ärendenr: Svk 2016/1688

Slutrapport pilotprojekt Flexibla hushåll

DATUM
2017-06-28

Innehåll

Sammanfattning	5
1 Introduktion.....	6
2 Syfte	7
3 Bakgrund	8
3.1 <i>Reglerresurser</i>	8
3.1.1 <i>Primärreglering</i>	8
3.1.2 <i>Sekundärreglering</i>	8
3.1.3 <i>Tertiärreglering</i>	8
3.2 <i>Regelverk för FCR-N</i>	9
4 Beskrivning av projektet.....	11
4.1 <i>Styrning av varmvattenberedarna</i>	12
5 Utvärdering	15
5.1 <i>Rekrytering av testkunder</i>	15
5.2 <i>Installation av styrutrustning</i>	16
5.3 <i>Prekvalificering av reglerresurs</i>	17
5.4 <i>Budgivning och aktivering av bud</i>	18
5.4.1 <i>Leverans</i>	18
5.4.2 <i>Mätvärdesrapportering</i>	19
5.4.3 <i>Datakvalitet</i>	21
5.4.4 <i>Säkerhet</i>	23
5.4.5 <i>Prissättning</i>	23
5.4.6 <i>Påverkan på kunderna</i>	24
6 Slutsatser	25
Bilaga 1. Styrschema för varmvattenberedarna	27
Bilaga 2. Testrapport prekvalificering FCR-N.....	28

Sammanfattning

Denna rapport beskriver och utvärderar pilotprojektet Flexibla hushåll som Svenska kraftnät genomfört tillsammans med Fortum. Svenska kraftnäts syfte med projektet var att undersöka på vilket sätt hushåll genom en flexibel elförbrukning, så kallad förbrukningsflexibilitet, skulle kunna fungera som en reserv för att reglera balansen i elsystemet.

Projektets testperiod genomfördes under mars och april 2017, då Fortum levererade cirka 0,1 MW frekvensstyrd normaldriftsreserv (FCR-N) till Svenska kraftnät genom att styra tillförseln av el till varmvattenberedare i cirka 100 hushåll i Stockholmsområdet. Resultaten visar att varmvattenberedarna skulle kunna bidra till att balansera elsystemet. Styrningen av varmvattenberedarna följde variationerna i frekvensen¹ väl och förbrukningsflexibiliteten aktiverades tillräckligt snabbt för att uppfylla de tekniska kraven för FCR-N.

För att förbrukningsflexibiliteten ska kunna fungera som en reserv för att reglera balansen i elsystemet krävs dock att alla de krav som Svenska kraftnät ställer på reserven uppfylls. Rapportering av mätvärden i realtid till Svenska kraftnäts driftövervakningssystem var inte av tillräckligt god kvalitet under pilotprojektet för att uppfylla Svenska kraftnäts krav. Dessutom skulle ett större antal varmvattenberedare än de som deltog i testet behövs för att ha tillräckligt stora marginaler och uppfylla Svenska kraftnäts krav på minsta budstorlek för handel med FCR-N.

Utan styrning är varmvattenberedarna normalt sett påslagna mindre än hälften av tiden under ett dygn. För att ha möjlighet att öka och minska elförbrukningen lika mycket behövde strömtillförseln till varmvattenberedarna först slås på för ett stort antal varmvattenberedare under den timme som styrningen utfördes. Detta orsakade en obalans som behövde tas med i planen för hur mycket el hushållen skulle förbruka den timmen.

För att förbrukningsflexibilitet ska kunna leverera FCR-N på den existerande marknaden krävs vissa förändringar i Svenska kraftnäts IT-system för drift, handel och avräkning samt en anpassning av Svenska kraftnäts regelverk för att leverera denna typ av reserv.

¹ Frekvensen fungerar som ett mått på balansen mellan produktion och förbrukning av el. När det är balans i elsystemet är frekvensen kring 50 Hz.

1 Introduktion

Elsystemet förändras och i framtiden ser vi ett elsystem med en allt större andel elproduktion från till exempel vind- och solkraft som inte är planerbar och en allt mindre andel planerbar elproduktion. Möjligheten att tillföra flexibla resurser till elsystemet kommer att vara avgörande för att kunna hantera de utmaningar som omställningen av elsystemet medför.

Svenska kraftnät har systemansvar för el i Sverige, vilket innebär att vi ska se till att det alltid råder momentan balans mellan produktion och förbrukning av el i hela landet. När det är balans i elsystemet är frekvensen kring 50 Hz. För att hålla frekvensen finns olika typer av reserver med olika krav på bland annat uthållighet och snabbhet.

Idag utgörs reserverna till största delen av vattenkraft. En introduktion av nya typer av resurser som exempelvis förbrukningsflexibilitet skulle öka konkurrensen på reservmarknaderna och möjliggöra tillgång till automatiska reserver i fler elområden². Om förbrukningsflexibilitet skulle delta på marknaderna för reserver i en större utsträckning än idag skulle kapacitet från vattenkraften kunna frigöras. Den sammanlagda reglerförmågan i elsystemet skulle också öka.

Genom pilotprojekt inom förbrukningsflexibilitet är det möjligt att testa resurserna småskaligt och under kontrollerade former. Svenska kraftnät behöver erfarenhet av att använda förbrukningsflexibilitet som reserv för att se i vilken grad resursen lämpar sig som reglerresurs och vad som behövs för att det ska bli effektivt.

I dagsläget är det inte möjligt för förbrukningsflexibilitet att delta på alla marknader för reserver. Idag kan förbrukningsflexibilitet hanteras på reglerkraftmarknaden och i effektreserven. Det som främst begränsar möjligheten för förbrukningsflexibilitet att delta är att regelverket inte är anpassat för förbrukning och att Svenska kraftnäts IT-system för drift, handel och avräkning inte kan hantera förbrukningsflexibilitet på ett korrekt sätt för alla reglerresurser.

² Fördefinierat område för uppdelning av handel på elmarknaden. En geografisk definition finns på www.natomraden.se.

2 Syfte

Svenska kraftnät bedriver forskning och utvecklingsaktiviteter inom flera strategiska områden. Inom området ”framtidens elsystem” finns ett särskilt fokus på förbrukningsflexibilitet med mål att utreda hur förbrukningsflexibilitet kan delta i balanseringen av elsystemet, genom att leverera olika typer av reserver.

Syftet med detta pilotprojekt var att undersöka på vilket sätt förbrukningsflexibilitet kan fungera som en reglerresurs i den automatiska frekvensstyrda normaldriftsreserven FCR-N.

Svenska kraftnäts mål med projektet var att:

- a) utvärdera hur väl förbrukningsflexibiliteten svarade mot Svenska kraftnäts krav på reserver,
- b) ge förslag på hur prekvalificeringsprocessen kan utföras och utvärdera hur prekvalificeringen fungerade, och
- c) bidra till underlag när det gäller hur regelverket för primärregleringen skulle kunna anpassas så att det även omfattar förbrukning.

Fortums syfte med projektet var att testa och utvärdera marknadslösningen, den tekniska lösningen och förutsättningarna för en attraktiv kommersiell produkt.

Pilotprojekt inom förbrukningsflexibilitet kan även bidra till en snabbare kommersialisering av tjänsten genom kunskapsspridning till aktörer som är intresserade av att erbjuda liknande tjänster. Dessa aktörer är rapportens främsta målgrupp.

3 Bakgrund

I detta avsnitt ges bakgrundsinformation om reglerresurser och regelverk för primärreglering. Läsare som har kännedom om detta kan hoppa över avsnitt 3.

3.1 Reglerresurser

Nedan beskrivs kort vilka olika typer av reglerresurser som finns. Den reglerresurs som utvärderas i detta projekt är FCR-N (Frequency Containment Reserve - Normal) som ingår i primärregleringen.

3.1.1 Primärreglering

Vid en frekvensavvikelse utnyttjas i första hand den automatiska primärregleringen. I ett antal kraftstationer – främst vattenkraft – ökar produktionen automatiskt när frekvensen sjunker och minskar när frekvensen stiger. Om förbrukning bidrar med frekvensreglering sker det omvända, förbrukningen minskar när frekvensen sjunker och ökar när frekvensen stiger. Primärregleringen är grundläggande för att kunna hålla balansen och stabilisera frekvensen när den förändras. Här finns reserver som har handlats upp i förväg och som känner av frekvensen i varje ögonblick under dygnet. Det innebär att de aktiveras automatiskt inom tidsspannet sekunder till minuter om frekvensen skulle ändras inom det frekvensområde de ska stötta. Till primärregleringen räknas:

- FCR-N (Frequency Containment Reserve – Normal) - Stabiliserar frekvensen vid små förändringar i produktion och förbrukning. Aktiveras inom det tillåtna frekvensspannet 49,9 – 50,1 Hz.
- FCR-D (Frequency Containment Reserve – Disturbance) - Stabiliserar frekvensen vid driftstörningar som innebär att frekvensen understiger 49,9 Hz.

3.1.2 Sekundärreglering

Sekundärregleringen, aFRR, aktiveras efter primärregleringen inom tidsspannet sekunder till minuter. Sekundärregleringen används för att avlasta primärregleringen. Sekundärregleringen aktiveras också automatiskt, skillnaden från primärregleringen är att sekundärregleringen *återställer* frekvensen till 50 Hz istället för att endast stabilisera frekvensen.

- aFRR (Automatic Frequency Restoration Reserve) – Återställer frekvensen till 50,00 Hz när den avviker från 50,00 Hz.

3.1.3 Tertiärreglering

För tertiärreglering som aktiveras inom några minuter upp till timmar finns en reglerkraftmarknad för den manuella reserven mFRR (Manual Frequency Resto-

ration Reserve). Reglerkraftmarknaden drivs av Svenska kraftnäts balanstjänst, tillsammans med de andra nordiska systemoperatörerna. Där köps och säljs effekt varje timme för att frekvensen i det nordiska elsystemet i normalläget ska hållas inom gränserna 49,9 – 50,1 Hz.

För oförutsedda störningar i elsystemet finns störningsreserven, en reserv som upphandlas långsiktigt och som består av ett antal gasturbiner som går in och stöttar under korta perioder.

För att säkerställa effektbalans även under timmar då den svenska elförbrukningen är mycket hög finns effektreserven som är en strategisk reserv som handlas upp i förväg.

3.2 Regelverk för FCR-N

Upphandlingsförfarandet för primärregleringen går ut på att den balansansvarige³ lämnar bud på frekvensstyrd normaldriftreserv (FCR-N) respektive frekvensstyrd störningsreserv (FCR-D). Det görs dels för morgondagen och dels för dagen efter morgondagen. Det innebär att buden lämnas in D-1 respektive D-2 i förhållande till driftdygnet D och att Svenska kraftnät handlar upp reglerresurserna vid dessa tillfällen.

Totalt upphandlas 600 MW FCR-N i Norden, varav drygt 200 MW upphandlas i Sverige. Den minsta tillåtna budstorleken för FCR-N är 0,1 MW. Produkten är symmetrisk, vilket innebär att resursen ska kunna bidra med lika mycket upp- och nedreglering. För att delta med primärreglering behöver resursen prekvalificeras av Svenska kraftnät. Under prekvalificeringen görs ett test för att verifiera att de krav som ställs på resursen uppfylls.

Aktivering av FCR-N ska ske vid en frekvensförändring inom intervallet 49,9 Hz till 50,1 Hz. FCR-N ska, vid en stegvis förändring av frekvensen från 50,00 till 49,90 Hz, vara aktiverad till 63 % inom 60 sekunder och 100 % inom 3 minuter.

Varje företag som levererar FCR-N ska sammanställa och rapportera realtidsmätvärden till Svenska kraftnät i enlighet med regeldokument "Regler för upphandling och rapportering av FCR" vilket finns att läsa på www.svk.se.

För FCR-N består ersättningen av två delar, effektersättning för avropade bud och energiersättning vid aktivering av resursen. Effektersättning för avropade bud ges enligt pay-as-bid. Energiersättningen prissätts per elområde enligt upp- eller nedregleringspris och ges för nettoenergin under timmen. Energivolymen beräknas

³ En elleverantör måste leverera lika mycket el som dess kunder förbrukar. Det kallas balansansvar. Elleverantören kan antingen själv ta det ansvaret eller anlita ett företag som ansvarar i dess ställe.

utifrån rapporterad FCR-N och tidsavvikelseförändringen⁴ under timmen. Aktören kompenseras också för den obalans som den automatiska reglerkraften förorsakar i produktionsbalanskraften⁵. Prisberäkning av bud till FCR-upphandlingen beskrivs i regeldokumentet ”Regler för prisberäkning av budpris för FCR”. Dokumentet finns att läsa på www.svk.se. Medelpris/MW per timme för primärregleringen publiceras på <https://mimer.svk.se/>.

⁴ Differensen mellan tiden på ett synkronur drivet av frekvensen i kraftsystemet och astronomisk tid fastställd av ett atomur.

⁵ Produktionsbalanskraft är skillnaden mellan balansansvarigs uppmätta produktion och balansansvarigs bindande plan för produktion per elområde, med hänsyn till eventuella uppgjorda affärer om reglerkraft (produktion) med Svenska kraftnät. Balanskraften beräknas och prissätts per elområde.

4 Beskrivning av projektet

För att studera hur aggregerad förbrukning kan fungera som reglerresurs inleddes pilotprojektet ”Flexibla hushåll” under 2016. Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Fortum och Svenska kraftnät där Fortum levererade 0,1 MW frekvensstyrd normaldriftsreserv (FCR-N) genom att styra eltillförseln till varmvattenberedare i hushåll.

Projektet inleddes med att rekrytera testkunder med varmvattenberedare till pilotprojektet. Kundernas geografiska placering avgränsades till Stockholmsområdet för att hålla nere avståndet till kunderna vid installation av den styrutrustning som användes. I projektet deltog drygt 90 hushåll och ungefär tre fjärdedelar av kunderna fanns i nätområde Stockholm, Täby eller Ekerö. Varmvattenberedarna var av storleken 2–3 kW och fjärrstyrdes av Fortum genom en egenutvecklad teknisk lösning för styrning och mätning.

Alla kunder som deltog hade en årlig elförbrukning som översteg 15 000 kWh. Kunderna hade olika system för uppvärmning, de flesta hade någon form av eluppvärmning och en stor del av kunderna hade direktverkande el. De deltagande kunderna var inom åldersspannet 30 år och uppåt och åldersgruppen 50–54 år hade flest antal deltagare.

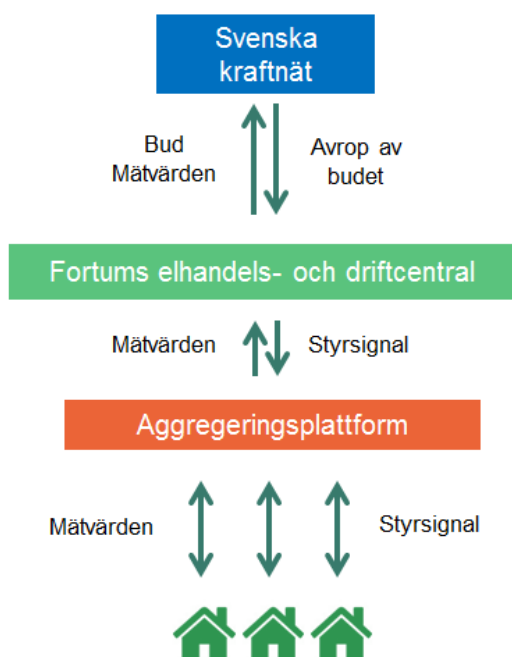
I projektet fanns det inga ekonomiska incitament för de hushåll som deltog. Som kompensation för sitt deltagande fick kunderna tillgång till en ny mobilapplikation som visualiserade energianvändningen i realtid. Kunderna fick även den styrutrustning som installerades och som skulle kunna användas för andra ändamål än pilotprojektet, så som att styra elförbrukningen efter elpriset.

Så här gick det till:

- Styrenheter installerades vid elcentralen (säkringsskåpet) hos hushållskunderna. Installationerna utfördes av Fortums samarbetspartner Relacom.
- Styrenheterna uppmätte hushållens totala elförbrukning och skickade informationen till Fortums servrar.
- Fortum behandlade data och skickade kommandon till kundernas styrenheter, där en brytare var kopplad till varmvattenberedarens säkring. Uppvärmningen av vattnet avbröts eller sattes på.
- Utifrån den effekt som frigjordes lade Fortum ett bud på marknaden för FCR-N. Svenska kraftnät avropade effekten vid behov och Fortum fick då betalt av Svenska kraftnät.

- Under perioden 4 mars–12 april lämnades bud för en timme nattetid, den 13–20 april lämnades bud för en timme dagtid och den 21–30 april lämnades bud både för en timme dagtid och för en timme nattetid, se styrschema i bilaga 1.

En schematisk beskrivning av pilotprojektet visas i figur 1.



Figur 1. Schematisk beskrivning av pilotprojektet.

Projektets olika faser listas nedan och beskrivs närmare i avsnitt 5.

- Rekrytering av testkunder (september 2016 – mars 2017)
- Installation av styrutrustning (november 2016 – mars 2017)
- Prekvalificering av reglerresurs (27 februari 2017)
- Budgivning och aktivering av bud (2 mars – 30 april 2017)
- Utvärdering

4.1 Styrning av varmvattenberedarna

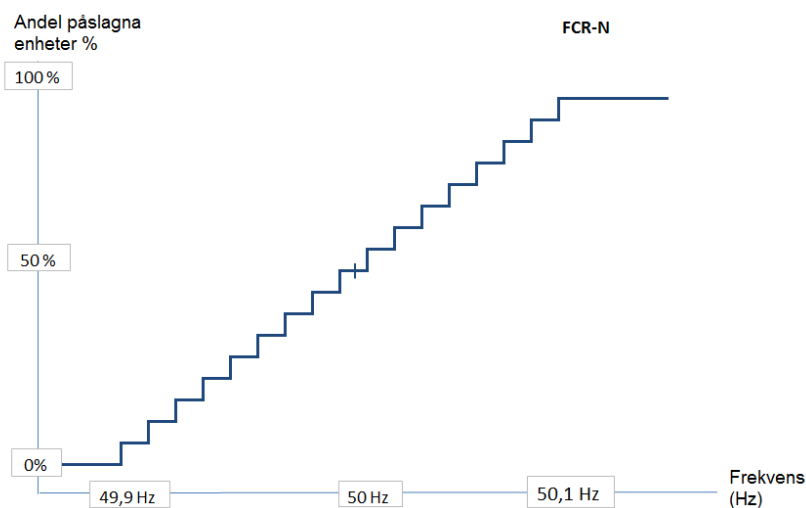
I varje hushåll installerades styrenheter för att sända mätvärden och ta emot styrsignaler. Den utrustning som användes för att styra varmvattenberedarna bestod av ett fjärrstyrt relä, en kontaktor, effektmätning och kommunikationsutrustning. Med hjälp av kommunikationsutrustningen kunde enheten skicka mätvärden och

ta emot en styrsignal. Reläet och kontaktorn styrde tillförseln av el till varmvattenberedaren utifrån styrsignalen.

Realtidsmätvärden skickades från hushållen till Fortums driftövervakningssystem och sedan vidare till Svenska kraftnäts driftövervakningssystem. Budgivning och kommunikation med Svenska kraftnät skedde via Fortums handelsenhet.

Fortum kontrollerade förbrukningen med hjälp av en centraliserad kontrollalgoritm där frekvens, kontrollkurva och information om förbrukningen var ingående parametrar. Frekvensen uppmättes varje sekund och uppdaterades om frekvensförändringen var större än 0,02 Hz. Med hjälp av frekvensen beräknade algoritmen hur många enheter som behövde slås på eller av. Sedan beräknade algoritmen vilka enheter som skulle styras genom att ta hänsyn till effekt, deras status (på/av) och vilka enheter som styrdes sist. De olika hushållens varmvattenberedare styrdes ungefär lika ofta. Temperaturen i varmvattenberedarna övervakades inte men ambitionen var att minska förbrukningen utan att kunderna upplevde minskad bekvämlighet. Efter att ett visst antal enheter styrts beräknade algoritmen hur stor kapacitet som kunde styras fortsättningsvis (tillgänglig kapacitet).

Uppvärmningen av vattnet är antingen på- eller avslagen. Det innebär att styrningen sker digitalt (1 eller 0) i steg. Trots det blir responsen teoretiskt sett nära nog linjär eftersom många mindre enheter styrs aggregerat, se figur 2. Principen är att ju högre frekvensen är, desto fler enheter styrs för att förbruka el och tvärt om.



Figur 2. Styrning av många mindre enheter leder i teorin till en respons som är nästintill linjär.

Utän styrning är varmvattenberedarna normalt avslagna mer än hälften av tiden och påslagna mindre än hälften av tiden under dygnet. När styrningen påbörjades slogs strömtillförseln till hälften av varmvattenberedarna på för att säkerställa att de kunde reglera både upp och ned under leveranstimmen.

Det finns en lokal termostat i varmvattenberedarna som begränsar värmen från att överstiga en viss temperatur och det var viktigt att vattnet i varmvattenberedarna inte hade uppnått maxtemperaturen när styrningen påbörjades. För att säkerställa möjligheten att slå på varmvattenberedarna under den timme de styrdes stängdes strömtillförseln till varmvattenberedarna av en viss tid innan styrningen. Under projektet styrdes varmvattenberedarna enligt tre olika scheman som framgår av bilaga 1.

5 Utvärdering

I detta avsnitt redovisas Svenska kraftnäts utvärdering av projektets olika faser som var rekrytering av testkunder, installation av styrutrustning, prekvalificering samt budgivning och aktivering. I avsnittet om budgivning och aktivering utvärderas bland annat om effektleverans (det vill säga själva regleringen), aktiveringstid, kvalitet på mätvärden och andra relevanta parametrar för resursen uppfyllde de krav som Svenska kraftnät ställer på reserven.

5.1 Rekrytering av testkunder

Rekryteringen startade genom telefonsamtal till Fortums befintliga kunder i Stockholmsområdet. Kunderna svarade dock inte i telefonen i den utsträckning som förväntades vilket ledde till att Fortum bytte strategi och istället kontaktade kunderna via e-post. Ungefär 10 000 kunder i Stockholmsområdet kontaktades via e-post. Information om pilotprojektet spreds även via Fortums webbplats och på sociala medier.

Fortum har genomfört ett liknande projekt i Finland och förutsättningarna för rekrytering av testkunder i Sverige skiljde sig från Fortums tidigare erfarenheter från projektet i Finland. Några skillnader listas nedan:

- Svansfrekvensen via telefon var lägre hos de svenska kunderna. Mail fungerade bättre.
- Flera kunder som anmält intresse för att delta i projektet kunde inte delta eftersom de hade ett renodlat värmepumpssystem, trots att de angivit att de hade en varmvattenberedare. Av de kunder som hade varmvattenberedare var det flera som inte kunde delta på grund av problem vid installationen av styrutrustningen, se avsnitt 5.2. Mer än hälften av de kunder som rekryterades kunde inte delta i projektet.

Rekrytering av testkunder var planerad att avslutas den 10 oktober 2016 och avslutades den 26 oktober 2016 när ett tillräckligt stort antal kunder anmält intresse. Rekryteringen fick dock återupptas när det visade sig att många av kunderna inte var kvalificerade att delta. Rekryteringen fortsatte även efter det att testperioden hade påbörjats.

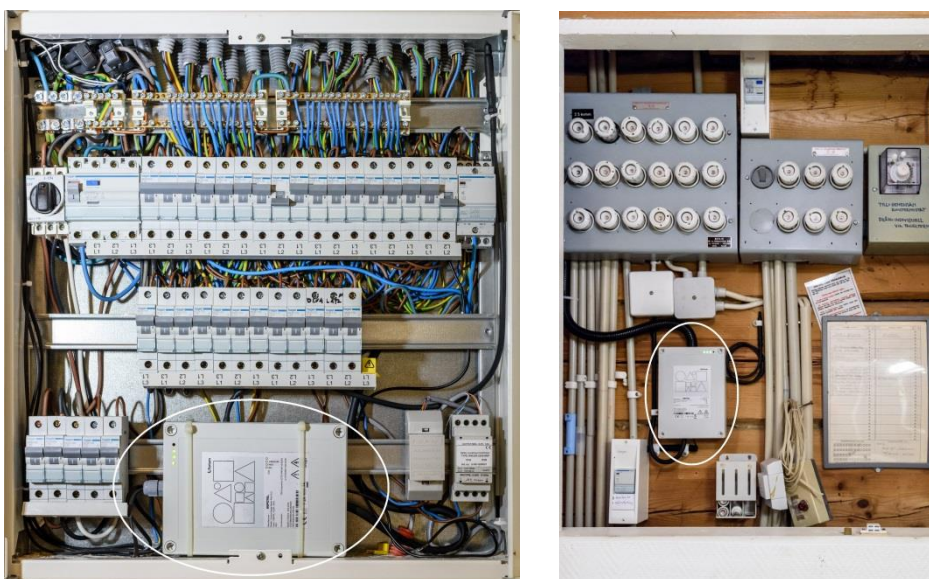
En workshop och en kundundersökning genomfördes med de kunder som deltog i testet efter att testperioden avslutats. Resultatet indikerade att ekonomiska incitament är den största drivkraften för att kunderna ska vilja leverera liknande tjänster framöver. Miljö, intresse, nyfikenhet och att få mer detaljerad information om elförbrukningen var andra drivkrafter som lyftes fram av Fortums kunder.

5.2 Installation av styrutrustning

Ett flertal problem uppstod när styrutrustningen skulle installeras. Styrutrustningen togs fram till ett liknande projekt som Fortum bedriver i Finland men förutsättningarna för att installera utrustningen såg olika ut i det finska och svenska projektet. Nedan listas några svårigheter:

- Flera av de svenska kunderna uppgav att de hade varmvattenberedaren på en separat säkring men i många fall hade de inte det. De kunde därmed inte delta i projektet.
- Boxarna för styrning och mätning var inte kompatibla med alla typer av säkringsskåp i Sverige.
- Säkringsskåpen i Sverige är oftast placerade inomhus medan de är placerade utomhus i Finland. Fortums samarbetspartner Relacom behövde därför boka en tid med varje kund för att genomföra installationerna.
- Omständigheterna ovan medförde att installationerna krävde aktiv kontakt med kunderna och tog längre tid än planerat vilket ledde till höga installationskostnader.

Installationsarbetet skulle ha avslutats den 11 november 2016 men på grund av de svårigheter som uppstod utfördes installationer löpande från november fram till mitten av testperioden. Figur 3 visar två olika typer av säkringsskåp där styrutrustningen installerades.



Figur 3. Två olika typer av säkringsskåp där den inringade fyrkantiga boxen som användes för styrning och mätning har installerats. Fotograf: Andreas Hellgren.

5.3 Prekvalificering av reglerresurs

Innan bud kan lämnas till handeln för FCR-N behöver resursen, i detta fall varmvattenberedarna och styrutrustningen, prekvalificeras. En prekvalificering görs alltid för de automatiska reglerresurserna för att säkerställa att resursen kan leverera på det sätt som överenskommits.

Prekvalificeringen var från början planerad att genomföras innan den 23 november 2016 men eftersom rekryteringen av testkunder och installationen av styrutrustning försenades kunde prekvalificeringen genomföras först den 27 februari 2017.

Svenska kraftnät hade inte prekvalificerat förbrukningsflexibilitet för leverans av FCR-N innan pilotprojektet genomfördes. Mallen för den testrapport som användes vid prekvalificeringen anpassades specifikt för pilotprojektet och är på engelska, se bilaga 2. Vilken typ av mall som kommer att användas vid framtida prekvalificeringar är ännu inte fastställt.

Prekvalificeringen visade att den tillgängliga kapaciteten som Fortum kunde leverera som reserv från varmvattenberedarna var +/-0,085 MW, alltså något mindre än 0,1 MW som är den minsta budvolymen som tillåts för FCR-N. Svenska kraftnät godkände prekvalificeringen trots detta med villkor att en åtgärdsplan togs fram för att säkerställa att de aggregerade varmvattenberedarna skulle nå upp till +/-0,1 MW och att Fortum fram till dess ersatte den volym som saknades med vattenkraft.

Under testet användes en simulerad frekvenssignal för att styra den aggregerade förbrukningen. Ett stegsvarstest utfördes i två steg för att verifiera hastigheten i styrningen. Stabiliseringstid och levererad effekt visas i tabell 1.

Tabell 1. Resultatet av det stegsvarstest som utfördes vid prekvalificeringen.

Steg	Frekvens [Hz]	Starttid för steg	Stabiliseringstid [s]	Effekt, ΔP [MW]
Upp 1	50 → 50,1	T1 = 11:09:38	10 s	0,085 MW
Ner 1	50,1 → 50	T2 = 11:24:40	10 s	0,085 MW
Ner 2	50 → 49,9	T3 = 11:27:40	10 s	0,085 MW
Upp 2	49,9 → 50,0	T4 = 11:42:42	10 s	0,085 MW

Som tabell 1 visar var stabiliseringstiden cirka 10 sekunder. Det innebär att de krav som ställs på att reserven ska vara utreglerad till 63 % inom 60 sekunder och till 100 % inom 3 minuter, uppfylldes med god marginal.

Ett värde för ekvivalent tidskonstant, som är ett mått på tidsresponsen för FCR, beräknades under prekvalificeringen till: $10 \text{ s} + 5 \text{ s} = 15 \text{ s}$. Frekvensen uppmättes med en cykeltid på 10 sekunder och fördröjningen från det att styr signaler skickades till det att förbrukningen var utreglerad var enligt testet cirka 5 sekunder.

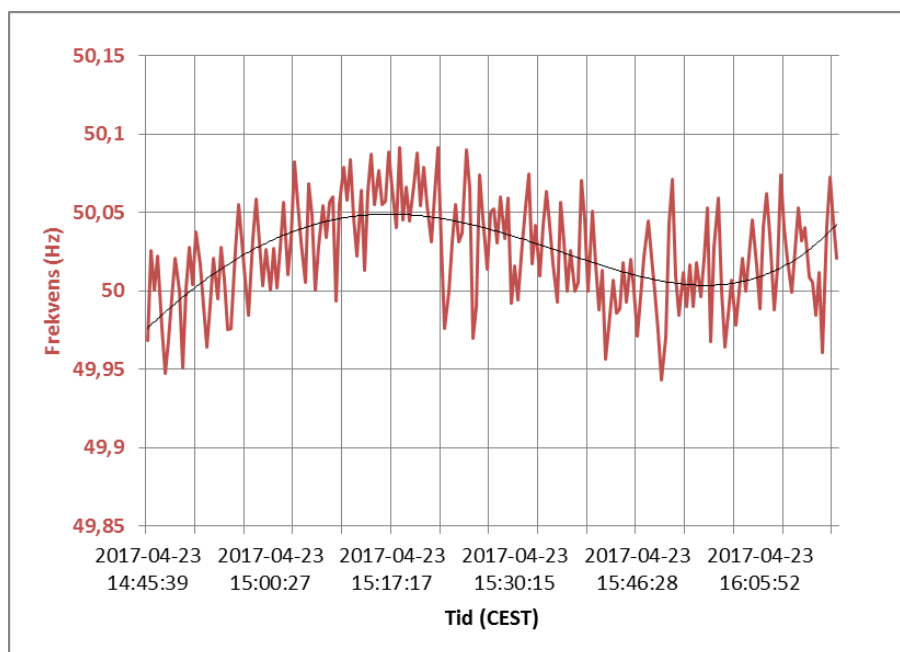
5.4 Budgivning och aktivering av bud

Testperioden för pilotprojektet, som omfattade budgivning och aktivering av budet, genomfördes under mars och april 2017. Enligt den ursprungliga planen skulle testperioden genomföras under december 2016–januari 2017 men den försköts på grund av att rekryteringen av testkunder och installation av styrutrustning försenades. Det första budet lämnades till D-2 handeln den 2 mars 2017 och aktiverades den 4 mars.

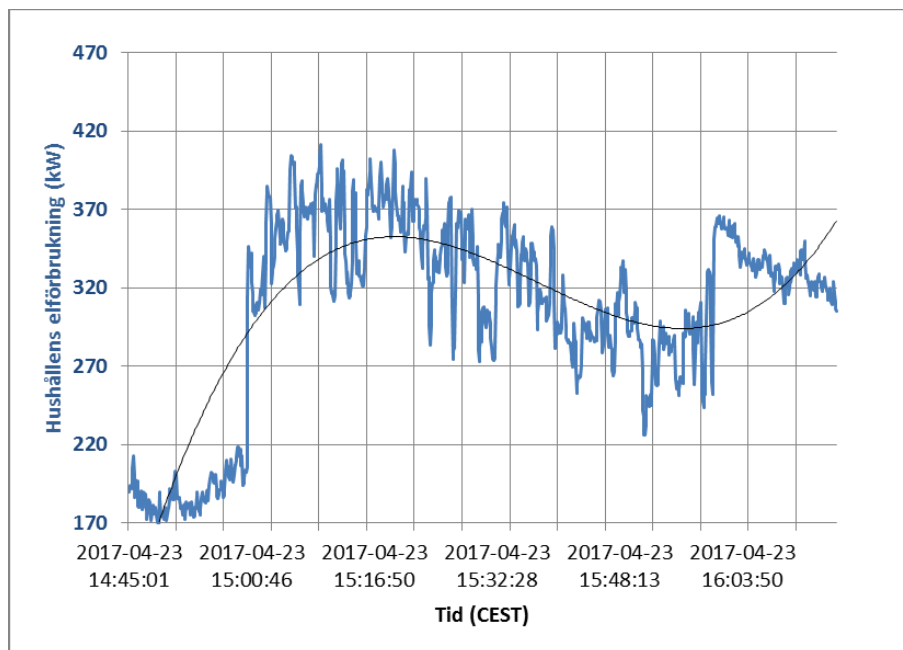
Reserven budades in och styrdes under alla timmar som anges i styrschemat i bilaga 1 med undantag för den 4 och 8 mars samt 29 april. Den 4 mars uppstod en icke schemalagd aktivering kl. 08–09 på grund av ett fel i styrschemat. Den 8 mars upptäcktes ett fel i kommunikationen vilket medförde att styrningen stoppades för säkerhets skull och den 29 april kl. 04–05 genomfördes inte styrningen på grund av en systemuppdatering.

5.4.1 Leverans

Figur 4 och 5 visar ett exempel på att hushållens effekt följde frekvensens variationer när reserven levererades den 23 april kl. 15–16. Eftersom det är hushållens totala förbrukning som visas i figur 5 syns även de förändringar i förbrukningen som inte orsakades av styrningen av varmvattenberedarna.



Figur 4. Frekvensvariationer den 23 april kl. 15–16.



Figur 5. Uppmått total elförbrukning för hushållen vid styrning den 23 april kl. 15–16.

Av figur 5 framgår även att den totala elförbrukningen till en början ökade när styrningen initierades. Det beror på att varmvattenberedarna normalt förbrukar el under mindre än hälften av tiden på dygnet, men när styrning av förbrukningen skulle ske slogs fler varmvattenberedare på så att på-/av-kvoten var 50/50. Hälften av varmvattenberedarna var på så att förbrukningen kunde minskas och andra hälften var av så att förbrukningen kunde ökas. Att den totala elförbrukningen ökade när styrningen påbörjades gav upphov till en liten obalans. Detta behövde Fortum kompensera för i sin plan⁶ för hur mycket el hushållen skulle förbruka den timmen, efter att de fått information om att ett bud blivit avropat.

5.4.2 Mätvärdesrapportering

Vid aktivering av budet behövde Fortum överföra data till Svenska kraftnät som visade hur reglerresursen aktiverades. I detta avsnitt beskrivs vilka mätvärden som rapporterades och hur. Kvaliteten på mätvärdesrapporteringen analyseras i avsnitt 5.4.3.

Fortum rapporterade följande mätvärden till Svenska kraftnät i realtid:

- Aktiv effekt (total elförbrukning i hushållen).
- Tillgänglig kapacitet FCR-N.
- Ekvivalent tidskonstant.

⁶ Den balansansvarige lämnar in planer för förbrukning och produktion till Svenska kraftnät.

Aktiv effekt

Mätvärden för aktiv effekt skickades aggregerat för hushållen men skiljt från resten av Fortums FCR-N-portfölj. Effektmätningen gjordes för hushållens totala elförbrukning, och spänningen antogs vara konstant 230 Volt när effekten uppmättes. Eftersom elförbrukningen mättes totalt för hushållen och inte separat för varmvattenberedarna fanns variationer i hushållens elförbrukning som inte orsakades av styrningen. Eftersom en stor del av kunderna hade direktverkande el, hade uppvärmningen en betydande påverkan på den totala elförbrukningen. Svenska kraftnät behöver utreda om det istället är önskvärt att mäta varmvattenberedarnas förbrukning separat och hur verifiering av regleringen ska gå till.

Tillgänglig kapacitet

Mätvärden för tillgänglig FCR-N-kapacitet skickades aggregerat för hela Fortums FCR-N-portfölj. Ett separat värde för varmvattenberedarnas tillgänglighet sparades även i en Excel-fil i utvärderingssyfte.

Den formel som finns i regeldokumentet ”Regler för upphandling och rapportering av FCR” för att beräkna tillgänglig kapacitet för FCR-N var inte direkt tillämpbar i detta fall. Istället beräknades tillgänglig kapacitet som ett medelvärde av uppregeringskapacitet och nedregleringskapacitet, på följande sätt:

1. Nödvändigt antal enheter styrdes på/av.
2. Förväntad ändring i total effekt beräknades.
3. Utfallet verifierades med hjälp av mätvärden för hushållens totala elförbrukning.
 - a. Om värdet exempelvis uppgick till 90 procent av vad som förväntades uppdateras tillgänglig kapacitet på motsvarande sätt.
 - b. Den totala kapaciteten kunde inte överstiga teoretiskt maxvärde för varmvattenberedarnas bidrag.

Tabell 2 visar hur stor volym förbrukningsflexibilitet som i genomsnitt var tillgänglig för styrning under testperiodens olika veckor. Av tabellen framgår också hur reglerkraften från vattenkraftproduktionen, som ersatte den volym som saknades för att uppnå miniminivån 0,1 MW, kunde minskas i motsvarande grad. Vissa timmar var tillgänglig kapacitet betydligt lägre än genomsnittsvärdet motsvarande vecka.

Tabell 2. Genomsnittlig budad kapacitet, tillgänglig kapacitet från varmvattenberedarna och kapacitet som ersattes av vattenkraft för att uppnå budad kapacitet.

Vecka	Budad kapacitet för aktuella timmar (MW)	Tillgänglig kapacitet förbrukningsflexibilitet (MW)	Kapacitet som ersatts av vattenkraft (MW)
9	0,100	0,091	0,009
10	0,100	0,091	0,009
11	0,100	0,090	0,010
12	0,100	0,093	0,007
13	0,100	0,096	0,004
14	0,100	0,094	0,006
15	0,100	0,099	0,001
16	0,100	0,095	0,005
17	0,100	0,084	0,016

Tabellen visar att den tillgängliga kapaciteten från varmvattenberedarna ökade i takt med att fler testkunder inkluderades i projektet, med några undantag. Under vecka 17 var den tillgängliga kapaciteten betydligt lägre och en möjlig förklaring till minskningen är att den tillgängliga kapaciteten påverkades av att varmvattenberedarna styrdes dubbelt så många timmar den veckan.

Ekvivalent tidskonstant

Ett värde för ekvivalent tidskonstant skickades aggregerat för hela Fortums FCR-N-portfölj. Den formel som finns i regeldokumentet ”Regler för upphandling och rapportering av FCR” för beräkning av ekvivalent tidskonstant var inte direkt tillämpbar i detta fall. Ekvivalent tidskonstant för varmvattenberedarna beräknades istället utifrån testet vid prekvalificeringen till 15 sekunder, vilket innebär att det fanns stora marginaler till maxgränsen som är 60 sekunder.

Det var svårt att beräkna eventuella variationer i tidskonstanten från mätdata eftersom det sällan inträffade stora och långvariga frekvenstoppar eller dippar under testperioden, men analysen av de mätvärden som Fortum rapporterade indikerar att tidskonstanten för uppreglering var långsammare än tidskonstanten för nedreglering.

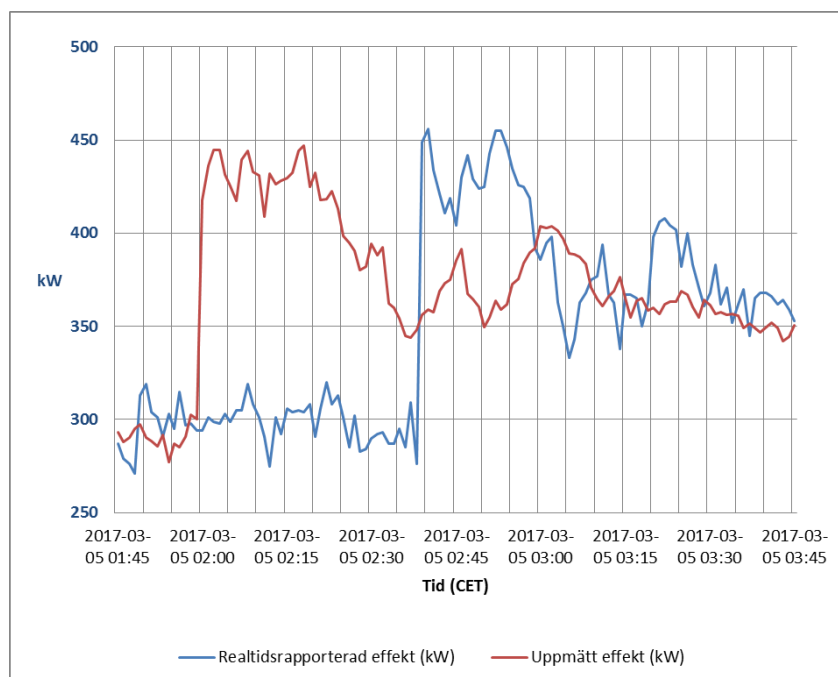
5.4.3 Datakvalitet

Rapporteringen av mätvärden i realtid från Fortum till Svenska kraftnäts driftövervakningssystem fungerade inte tillfredsställande i pilotprojektet. För mätvärdet aktiv effekt var det dels problem med en tidsfördröjning på upp till 45 minuter, dels

med låsta värden där samma minutvärde skickades i flera timmar även när styrning pågick.

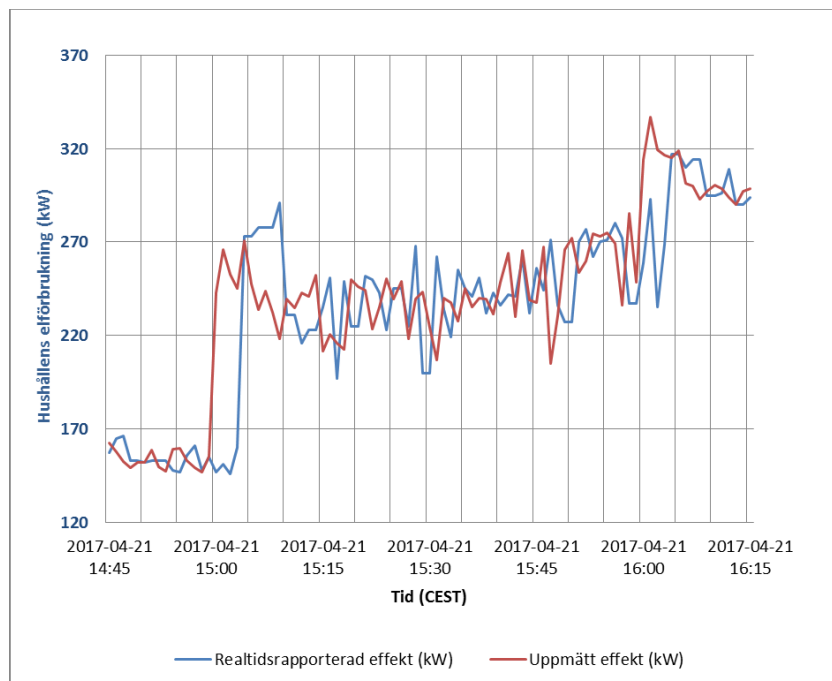
Enligt Fortum var en trolig orsak till fördröjningen täta avläsningar av mätdata. Två möjliga lösningar på problemet identifierades i slutet av projektet men hann inte implementeras under testperioden. Omfattningen av problemen med tidsfördröjning och låsta värden begränsades dock i den senare delen av piloten efter en ändring av hur ofta mätvärdet rapporterades.

Ett exempel på tidsfördröjningen för rapportering av aktiv effekt från den 5 mars kl.02–03 visas i figur 6.



Figur 6. Uppmätt effekt från hushållen utan fördröjning och realtidsrapporterad effekt med cirka 40 minuters fördröjning.

Mot slutet av piloten var tidsfördröjningen generellt mindre för realtidsrapportering av aktiv effekt, se exempel från den 21 april kl. 15–16 i figur 7 nedan.



Figur 7. Uppmätt effekt från hushållen utan fördröjning och realtidsrapporterad effekt med cirka 5 minuters fördröjning.

5.4.4 Säkerhet

Styrningen av den FCR-N som vattenkraften levererar är implementerad lokalt i kraftstationernas kontrollanläggningar i industriella miljöer med industriella kommunikationsprotokoll, oberoende av omvärlden. Central styrning kan medföra en ökad risk jämfört med decentraliserad styrning enligt ovan och det behöver därför utredas vidare om den centrala styrmetod som använts i projektet är tillräckligt säker om den används i större skala.

5.4.5 Prissättning

I pilotprojektet har Fortum fått ersättning enligt befintlig marknadsmodell. Det innebär att Svenska kraftnät betalar en fast kapacitetsersättning till Fortum för de timmar budet avropats samt energiersättning enligt upp- eller nedregleringspris för aktuella timmar. I vanliga fall kompenseras aktören för den obalans som reglerkraften förorsakar men i dagsläget kan detta inte hanteras på ett korrekt sätt för förbrukningsflexibilitet. För att förbrukningsflexibilitet ska kunna delta på marknaden för FCR-N krävs därmed förändringar i Svenska kraftnäts IT-system för drift, handel och avräkning.

Instruktionen ”Regler för prisberäkning av budpris för FCR” är framtagen utifrån vattenkraften som primär reglerresurs. Det är problematiskt om reglerresursen ska utgöras av något annat än vattenkraft. Buden ska vara kostnadsbaserade vilket innebär att de ska utgå från faktiska kostnader men det är tillåtet att lägga på ett visst riskpåslag. Enligt Fortum översteg kostnaderna för att tillhandahålla resursen

ersättningen i detta fall. Fortum prissatte buden på en nivå som gjorde att de blev avropade varje dygn under testperioden. Själva pilotprojektet var alltså inte ekonomiskt lönsamt. Det beror bland annat på de höga kostnaderna för att installera styrutrustningen samt att testperioden inte var tillräckligt lång för att kostnaderna för projektet skulle hinna tjänas in.

5.4.6 Påverkan på kunderna

Enligt den kundundersökning som Fortum genomförde efter att testperioden avslutats upplevde de flesta kunderna projektet som positivt. Påverkan på kunderna var liten men ett fåtal kunder upplevde problem med varmvattentillgången. En möjlig orsak till det är att varmvattenberedarna slogs av i flera timmar innan leveranstimmen för att senare kunna slås på.

Leverans av FCR-N leder till att styrutrustningen behöver slås på och av förhållandevis ofta eftersom reserven kontinuerligt hanterar små obalanser. Ett fåtal kunder framförde att styrutrustningen lät mycket i samband med detta.

6 Slutsatser

Pilotprojektet har varit mycket lärorikt och ökat kunskapen om vilka hinder och utmaningar som idag finns för att utnyttja förbrukningsflexibilitet som resurs för balanshållningen och specifikt för att leverera reserven FCR-N. Svenska kraftnät kommer fortsätta bedriva utvecklingsarbete inom detta område genom pilotprojekt.

Några slutsatser från pilotprojektet:

- Prekvalificeringen visade att förbrukningsflexibiliteten aktiverades tillräckligt snabbt och uppfyllde de krav Svenska kraftnät ställer på snabbhet för reserven FCR-N med god marginal.
- Analysen av data från testperioden visar att hushållens elförbrukning följde variationerna i frekvensen väl. Det var dock svårt att verifiera att styrningen fungerade som planerat utifrån de mätvärden som rapporterades till Svenska kraftnäts driftövervakningssystem eftersom rapporteringen skedde med en tidsfördröjning som dessutom varierade. Rapporteringen av mätvärden i realtid till Svenska kraftnät var inte av tillräckligt god kvalitet under pilotprojektet för att uppfylla Svenska kraftnäts krav.
- Det var problematiskt att uppnå kravet på minsta budstorlek med det antal testkunder som deltog i pilotprojektet. För att kravet på minsta budvolym skulle uppfyllas behövde leveransen kompletteras med reglerkraft från vattenkraftproduktion. Ett större antal varmvattenberedare än de som deltog i testet skulle ha behövts för att leverera tillräckligt stor kapacitet, med tillräcklig uthållighet.
- Den tillgängliga kapaciteten ökade i takt med att fler hushåll deltog i pilotprojektet men minskade i slutet av testperioden. En möjlig förklaring till minskningen är att den tillgängliga kapaciteten påverkades av att varmvattenberedarna styrdes dubbelt så många timmar under testperiodens sista vecka.
- Utan styrning är varmvattenberedarna normalt sett påslagna mindre än hälften av tiden under ett dygn. För att ha möjlighet att öka och minska elförbrukningen lika mycket, behövde strömtillförseln till varmvattenberedarna först slås på för ett stort antal enheter under den timme som styrningen utfördes. Detta orsakade en obalans som behövde tas med i planen för hur mycket el hushållen skulle förbruka den timmen.
- Enligt den workshop och den enkätundersökning som genomfördes med kunderna som deltog i pilotprojektet är ekonomiska incitament den största

drivkraften för att kunderna ska vilja leverera liknande tjänster framöver. Miljö, intresse, nyfikenhet och att få mer detaljerad information om elförbrukningen var andra drivkrafter som lyftes fram av kunderna.

- Prekvalificeringen fungerade över lag bra. Något som kunde förbättrats var att rapportering av mätvärden i realtid till Svenska kraftnät borde ha påbörjats innan prekvalificeringen genomfördes. Då hade antagligen tidsfördröjningen för rapportering av varmvattenberedarnas elförbrukning upptäckts innan testperioden påbörjades.
- För att förbrukningsflexibilitet ska kunna delta på marknaden för FCR-N krävs vissa förändringar i Svenska kraftnäts IT-system för drift, handel och avräkning och att Svenska kraftnäts regelverk för att leverera denna typ av reserv anpassas så att det även gäller förbrukning.

Bilaga 1. Styrschema för varmvattenberedarna

FCR-N = leverans av reserven FCR-N

0 = strömtillförseln till varmvattenberedarna är avslagen hela timmen

1 = strömtillförseln till varmvattenberedarna är påslagen hela timmen

Timme (Svensk Normaltid)	4/3 -12/4	13/4-20/4	21/4-30/4
0-1	0	1	0
1-2	0	1	0
2-3	FCR-N	0	0
3-4	1	0	0
4-5	1	0	FCR-N
5-6	1	1	1
6-7	1	0	1
7-8	1	0	1
8-9	1	0	1
9-10	1	0	0
10-11	1	0	0
11-12	1	FCR-N	0
12-13	1	1	0
13-14	1	1	0
14-15	1	1	0
15-16	1	1	FCR-N
16-17	1	1	1
17-18	1	1	1
18-19	0	1	1
19-20	0	1	1
20-21	0	1	1
21-22	0	1	1
22-23	0	1	0
23-24	0	1	0

Bilaga 2. Testrapport prekvalificering FCR-N

Testrapporten för prekvalificeringen var i pilotprojektet på engelska.

General description of the providing group

Load type and additional information about the load.

Controller

Provide information about type of controller and how regulation is done.

Measurement and verification

Provide information about measurement and verification. For example: communication delay, reliability and accuracy.

Test report

Instructions

The purpose of physical testing is to ensure the quality of the provided product and verify that the resource (power plant or consumption unit) is suitable for frequency control.

Sections marked **X** are to be filled out with the relevant test results.

Test details

Time schedule and planning

Personnel involved in testing

Name	Function	Organisation
X	X	X

Description of the test method

The tested unit shall be connected and synchronized to the grid; the control signal is replaced by a synthetic/external signal.

Data to be logged

At least the following data is to be supplied to Svenska kraftnät along with the test-results. Calculated values are compared with test result values or measured values.

The sample rate during the tests shall be at least 10 Hz (100 ms).

Continuously logged during the tests:

- Instantaneous active power in MW (with an accuracy of $\pm 0,5\%$)
- Measured grid frequency in Hz
- Applied frequency signal
- Calculated equivalent time constant
- Available capacity

In addition, it is recommended that important states affecting the FCR response are also logged, such as

- Controller output signal

Results

Describe the results of data logging accuracy in this section.

Testing conditions

Test starting time	[YYYYMMDD hhmm]	X
Test ending time	[YYYYMMDD hhmm]	X
Load level	[MW]	X

Live frequency test

Loads are controlled with live frequency for fifteen minutes. Afterwards the frequency data can be verified by Svenska kraftnät to match the official values.

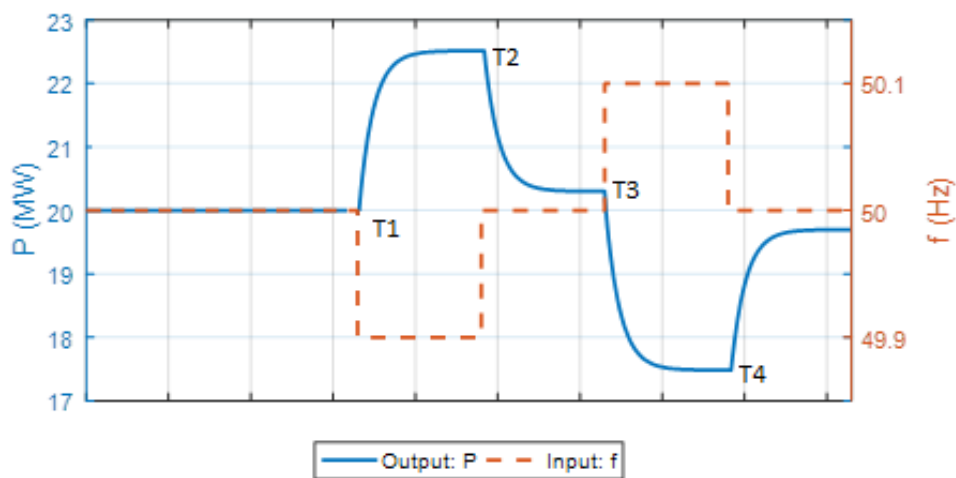
Results

Describe the results of live frequency test in this section.

2-step step-response test

A 2-step step response test is a test consisting of 2 consecutive step response tests, up and down. Tests are performed to show the possible effect of backlash and other nonlinearities.

50 Hz → 50.1 Hz → 50 Hz → 49.9 Hz → 50 Hz



Results

Describe the results of live frequency test in this section.

Step	Step initiation time	Stabilisation time [s]	ΔP [MW]
Up 1	T1= hhmmss.nnnn	XX	XX.XXX
Down 1	T2= hhmmss.nnnn	XX	XX.XXX
Down 2	T3= hhmmss.nnnn	XX	XX.XXX
Up 2	T4= hhmmss.nnnn	XX	XX.XXX