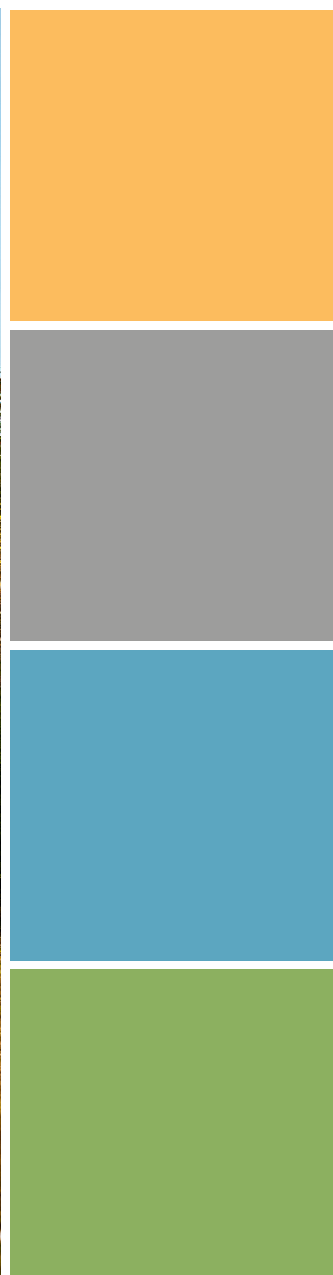


STÖDTJÄNSTER PÅ ELMARKNADEN – I DAG OCH I FRAMTIDEN

En kort introduktion



STÖDTJÄNSTER PÅ ELMARKNADEN – I DAG OCH I FRAMTIDEN

BO DICZFALUSY, Bodiz Consulting AB

ISBN978-91-89919-00-6 © Energiforsk mars 2024
Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30
E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

FÖRORD

Ökande väderberoende elproduktion skapar utmaningar för att bibehålla ett robust elsystem utan elavbrott. Här kan marknader för stödtjänster bidra och ett tydligt tecken är att omsättningen för stödtjänster har ökat mer än tio gånger på bara några år. Men ska Sverige klara energiomställningen behövs mer kunskap om marknaden för stödtjänster.

Världen går mot en temperaturökning på 2,5–3 grader till sekelskiftet, vilket har lett till ett akut behov av att minska koldioxidutsläppen. Ett viktigt led i detta är att elektrifiera industrin och transporter, vilket i sin tur kräver att elproduktionen ökar. Det är en stor utmaning att genomföra omställningen i den takt som krävs.

Den väderberoende elproduktionen, framför allt vind- och solkraft, ökar nu snabbt i hela Europa, eftersom dessa kraftslag kan byggas ut till ett konkurrenskraftigt pris.

Men en större andel väderberoende elproduktion innebär nya utmaningar. Om inte elproduktionen varje sekund motsvarar förbrukningen kan det skapa störningar och leda till elavbrott.

För att undvika den typen av störningar upphandlar Svenska kraftnät olika stödtjänster. Det handlar om att betala företag eller elproducenter för att varje sekund kunna öka eller minska sin förbrukning eller produktion av el inom mycket korta tidsintervall.

Marknaden för stödtjänster i Sverige har vuxit snabbt, från 500 miljoner kronor för några år sedan till över 6 miljarder kronor år 2022. Även antalet aktörer som säljer stödtjänster har ökat kraftigt, och bland annat elnätsföretag, elproducenter, industrier och ägare av batterilager är aktiva.

Den här rapporten beskriver de olika stödtjänsterna, varför de behövs, hur de produceras, av vem samt hur omställningen av elsystemet påverkar utbud och efterfrågan av stödtjänster.

För att Sverige ska genomföra elektrifieringen i den takt som behövs behöver näringslivet, politiken och myndigheter mer kunskap om hur marknaden för stödtjänster fungerar och kan utvecklas. Syftet med den här rapporten är att bidra till det.

Stefan Montin

Programansvarig energisystem och marknad, Energiforsk

1. BAKGRUND OCH SYFTE

El- och energiförsörjningen genomgår för närvarande en snabb förändring, såväl globalt som i Sverige och Norden. Industrier och transporter elektrifieras i rask takt, vilket ger upphov till en snabbt ökande elanvändning. Andelen elproduktion från sol och vind ökar, liksom användningen av batterier för lagring av energi. Drivkrafterna är i första hand en önskan att begränsa användningen av fossila bränslen, både för att minska de klimatstörande utsläppen och för att öka försörjningstryggheten.

Sammantaget väntas utvecklingen leda till nya och mer varierande flöden av el, såväl när det gäller elproduktionen som när det gäller överföringen och användningen av el. Detta ger upphov till nya utmaningar vad avser elsystemets drift. När dagens kraftverk successivt fasas ut från marknaden förloras vissa egenskaper som har gett elsystemet sin stabilitet. Samtidigt har de nya resurser som introduceras – till exempel batterier, vindkraft, solkraft och smart styrning av elanvändningen – potential att bidra till elsystemets stabilitet.

Hittills har debatten om vår framtida elförsörjning i hög grad kretsat kring frågor om dels behovet av elektrisk effekt för att möta efterfrågan, dels valet av elproduktions-teknik. Men i takt med att elsystemet ställs om uppstår nya problemställningar. Ett område som av allt att döma kommer att kräva allt mer uppmärksamhet är det som brukar kallas stödtjänster, dvs. olika tekniska tjänster och resurser som krävs för att elsystemet ska fungera på ett effektivt och stabilt sätt.

Syftet med denna rapport är att beskriva vilka stödtjänsterna är, varför de behövs, hur och av vem de produceras samt hur den pågående omställningen av elsystemet påverkar utbud och efterfrågan på stödtjänster.¹

2. VAD ÄR STÖDTJÄNSTER OCH VARFÖR BEHÖVS DE?

El är en färskvara. Grundläggande för att elsystemet ska vara stabilt är att det i varje sekund produceras exakt lika mycket el som kunderna samtidigt använder. Men det räcker inte med det. Den levererade elenergin måste också uppfylla vissa kvalitetskrav. Framför allt måste den ha rätt frekvens. Elsystemet behöver dessutom ha rätt spänning och vara robust nog att klara alla driftsituationer.

Frekvensen i det nordiska elsystemet ska normalt vara 50 hertz (Hz). Om elförbrukningen är högre än produktionen minskar frekvensen, medan motsatsen gäller vid ett produktionsöverskott. För att elöverföringen ska vara säker, tillförlitlig, effektiv och hålla god kvalitet behöver också spänningen i systemet hållas inom vissa gränser.

¹ Författaren vill rikta ett speciellt tack till Prof. emeritus Lars Bergman; Cecilia Hellner (Hellner Energy AB); Prof. Lennart Söder och Henrik Nordström (KTH Elkraftteknik); Magnus Olofsson (Svenska energiinstitutet); Per Larsson (Vattenfall) samt Maja Isaksson, Jorunn Cardell och Henrik Ekestam (Svenska kraftnät).



Olika typer av utrustning som är ansluten till elnätet fungerar bara när spänningen håller sig inom vissa nivåer.

Kortsiktiga avvikelser mellan tillförd och använd el (obalanser) kan uppstå av många olika skäl, såsom väderomslag, fel i elektrisk utrustning med mera. För att återställa frekvensen till sitt nominella värde efter en störning (en obalans) och se till att den inte avviker utanför ett smalt intervall krävs speciella åtgärder. Detta kallas för *balansering*.

En uppkommen obalans hanteras initialt av kraftsystemets tröghet, vilket innebär att rotationsenergin hos synkrongeneratorer (som finns i till exempel vattenkraftverk och kärnkraftverk) ökas eller minskas för att ändra den levererade eller förbrukade



Vattenkraft kan snabbt dämpa effekterna av störningar i elsystemet.

elen. Denna förändring i rotationsenergi leder till en förändring i kraftsystemets frekvens.

En frekvensförändring leder i sin tur till försämrade elkvalitet och kan i värsta fall leda till ofrivillig belastningsfrånkoppling, eftersom vissa komponenter i kraftsystemet är konstruerade för att drivas vid en viss frekvens.

För att hantera sådana frekvensavvikelser har den systemansvarige för överförings-systemen (i Sverige Svenska kraftnät, SVK) tillgång till en uppsättning resurser som under själva driftögonblicket kan ändra sin inmatning eller sitt uttag från elnätet när de får en viss aktiveringssignal eller själva kan känna av ändringar i frekvensen. Dessa olika funktioner kallas med ett samlingsnamn *stödtjänster* (eller i vissa fall *avhjälpan-de åtgärder*) och kan aktiveras på både automatiskt och manuell väg. En stödtjänst bidrar alltså med en viss förmåga som kraftsystemet behöver, såsom en upp- eller nedreglering av produktion eller förbrukning av el.

I figur 1 illustreras principiellt hur olika stödtjänster och avhjälpan-de åtgärder sam-verkar. SVK har som mål att klara av att hantera en störning och vara tillbaka i normal frekvens inom 15 minuter.

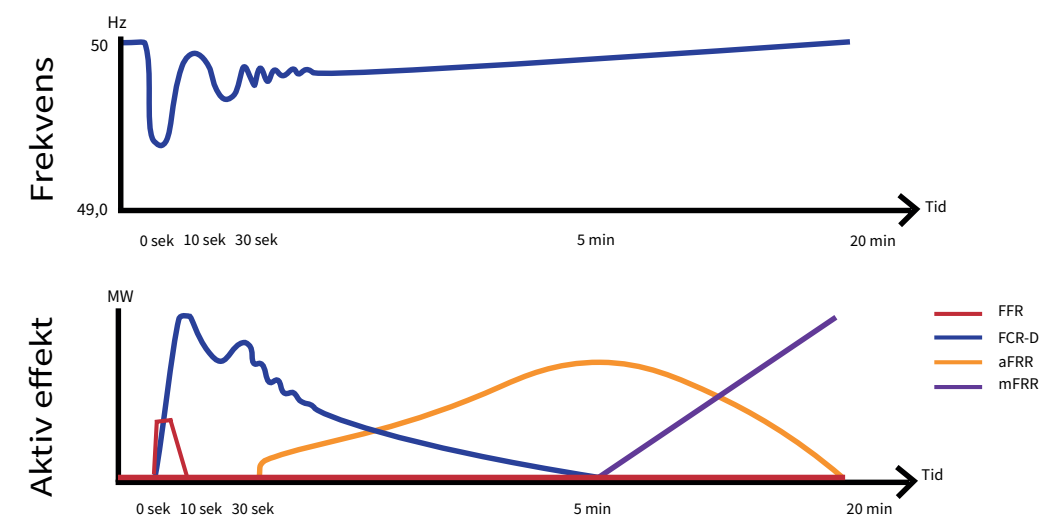
I diagrammets övre del illustreras hur frekvensen i kraftsystemet (uttryckt i Hz) påverkas av en störning under en viss tidsperiod (i exemplet totalt 20 minuter). Den undre delen illustrerar vilket effektbehov (så kallad aktiv effekt) som krävs för att åstadkomma en återgång till normal frekvens.

Om en kraftproduktionsanläggning eller likströmsförbindelse av något skäl går ner



uppstår en fysikalisk obalans och frekvensen går ner. Tidsförloppen illustreras i dia-grammets övre del. Då vidtar den systemansvarige åtgärder för att avhjälpa situatio-nen, genom att aktivera olika typer av reserver hos aktörerna på elmarknaden. Vilka reserver som aktiveras beror på störningens art.

I dag bidrar vattenkraften och kärnkraften med egenskaper (felströmsinmatning/ kortslutningsström) som bidrar till att mycket snabbt (inom en sekund) dämpa effek-ten av en störning. I takt med att rotationsenergiens andel i elsystemet har minskat har det uppstått behov av kompletterande åtgärder eftersom frekvensavvikelsen blir större vid en lägre andel rotationsenergi.



Figur 1 Principiell utveckling av frekvens och aktiv effekt vid återställning av en obalans i elsystemet. Källa: SVK

Den så kallade *snabba frekvensreserven* (Fast Frequency Reserve, FFR) skapar förut-sättningar för att hantera de inledningsvis snabba och djupa (transienta) frekvens-förändringar som kan uppstå vid fel i det nordiska kraftsystemet vid en låg nivå av rotationsenergi i systemet. FFR kan betraktas som ett komplement till mekanisk rotationsenergi.²

De så kallade *frekvenshållningsreserverna* (frequency containment reserves, FCR) har till uppgift att stabilisera frekvensen vid frekvensavvikelser och är grundläggande för att kunna hålla balansen. De aktiveras automatiskt om frekvensen ändras inom det frekvensområde de ska stötta.

När frekvensfallet har bromsats träder frekvensåterställningsreserverna in (frequency restoration reserve, FRR) in. Dessa syftar till driva tillbaka frekvensen till 50 Hz och återställa de automatiska reserverna så att de är redo för en ny aktivering om en sådan skulle krävas.

De olika stödtjänsterna ställer olika krav på till exempel aktiveringstid och uthållig-het. Under senare år har det utvecklats särskilda marknader för stödtjänster. Nuva-rande marknader för stödtjänster beskrivs närmare i avsnitt 7.

3. OM ELMARKNADEN OCH DESS ELMARKNADER

Den svenska elmarknaden omreglerades 1996 (prop 1993/94:162). Den viktigaste förändringen innebar att handel med el och överföring av el skildes åt. Handeln med el sker numera i fri konkurrens och med fri prissättning, medan överföringsnäten drivs som reglerade monopol. Ansvarsförhållanden regleras genom detaljerade be-stämmelser som i hög utsträckning utgår från EU-lagstiftningen (EU 2019).

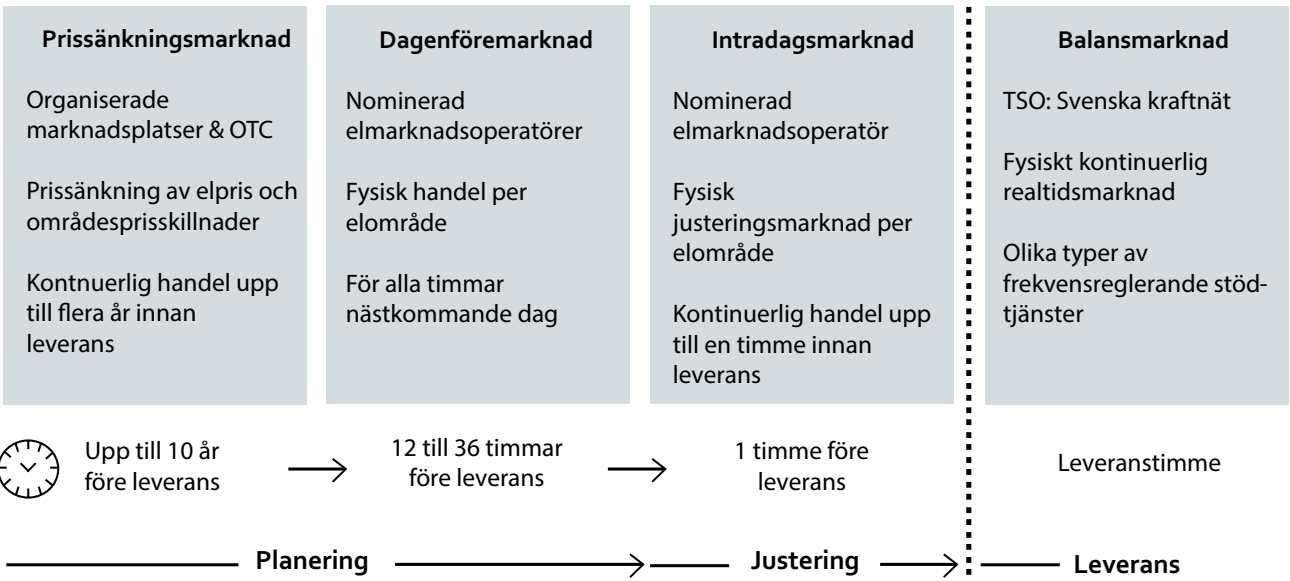
Sedan mitten av 1990-talet kan el kan alltså handlas på en marknad. Men i själva ver-ke är elmarknaden inte en homogen marknad utan består av flera delmarknader:

- En marknad för prissäkring (finansiell handel)
- En dagen före-marknad
- En intradag-marknad
- En balansmarknad

Kännetecknande för de olika delmarknaderna är att handel sker i skilda tidsintervall. De olika delmarknaderna och tidsintervallen för handeln illustreras i figur 2.

Den *finansiella handeln* på den nordiska elmarknaden sker huvudsakligen på råvaru-börsen Nasdaq Commodities. Där handlas långsiktiga kontrakt och prissäkringsmög-ligheter för dagar, veckor, månader, kvartal och år.

2 Formellt sett är FFR inte en stödtjänst utan en så kallad avhjälpande åtgärd. Mer om detta i avsnitt 7.



Figur 2. Elmarknadens delmarknader Källa: Ei (www.ei.se)

På *dagen föremarknaderna* fastställs ett gemensamt referenspris för el - det så kallade systempriset - liksom timpriserna (spotpriserna, beräknas aggregerat för samtliga börser) i de individuella elområdena ett dygn i förväg för varje timme det kommande dygnet. Systempriset motsvarar det pris vi skulle fått om det inte fanns några överföringsbegränsningar i systemet.

På *intradagsmarknaden* handlar aktörer som har behov att justera de kontrakt som de ingått på dagen före-marknaden efter hur produktions- eller användningssituationen förändras under leveransdagen. Exempelvis kan temperaturen ha avvikit från den prognostiserade, vilket påverkar uppvärmningsbehovet och därmed förbrukningen. Men den ger också möjligheter att köpa och sälja kraft för att utnyttja uppkomna prisskillnader mellan olika tidpunkter. Intradagsmarknaden öppnar klockan 14 da-gen före leverans, och handel är möjlig upp till en timme före leverans. Inom kort kommer handel med 15-minutersprodukter att införas på intradagsmarknaden och kommer senare att introduceras även på dagen före-marknaden.³

Med *balansansvarig* menas den som har affärsmässigt och planeringsmässigt ansvar för att det råder balans mellan tillförsel och uttag av el i kraftsystemet för de kunder man har balansansvar för. I efterhand får den som orsakat en obalans betala vad det kostar att återupprätta balansen genom så kallad balansavräkning. På den svenska marknaden finns i dag ett 40-tal balansansvariga. Vissa av dem är kraftproducenter, medan andra är renodlade elhandelsföretag. Om prognoserna förändras efter att dagen-före-marknaden stängt kan den balansansvarige justera sin balans genom att köpa och sälja el på intradagsmarknaden eller öka eller minska sin elanvändning.

3 www.svk.se



Hittills har vattenkraftverk i huvudsak svarat för tillgången till stödtjänster i det svenska kraftsystemet.

De balansansvariga har hittills framför allt handlat på dagen-föremarknaden och intradagmarknaden, men i takt med att behovet av stödtjänster ökar är många balansansvariga aktiva även på balansmarknaderna. Balansavräkningen sker numera med 15 minuters tidsupplösning.

Genom de tre nämnda marknaderna sker alltså en grov driftplanering av elsystemet för varje timme under det kommande dygnet. Men behovet av elektrisk effekt varierar inte bara mellan varje timme, utan mellan varje sekund. På grund av prognosfel i driftplaneringen för kraftsystemet, fluktuationer inom tidsperioden eller andra oförutsedda händelser uppstår därför momentana obalanser mellan kraftproduktion och efterfrågan även under själva drifttimmen, dvs. efter att alla köp- och säljbud har lagts. Den systemansvarige (SVK) har ansvaret för balansering under själva driftperioden och utgår då från frekvensen i nätet⁴ för att se till att det råder balans mellan produktion och förbrukning av el. Handeln med stödtjänster sker på balansmarknaderna (längst till höger i figur 2). Nuvarande marknader för stödtjänster beskrivs i avsnitt 7.

4. Vilken teknik används för att stabilisera frekvensen?

I dag är tillgången på stödtjänster av naturliga skäl anpassad efter de behov som elsystemet haft historiskt samt de resurser som hittills deltagit på balansmarknaderna. Det innebär bland annat att det huvudsakligen är vattenkraftverk som hittills har svarat för tillgången till stödtjänster i det svenska kraftsystemet. Skälet till detta är att det är möjligt att snabbt reglera vattenflödet genom vattenkraftverkets turbin. Men också andra kraftverk med roterande axlar, turbiner och i förekommande fall



Vind- och solenergi kommer att spela en allt viktigare roll för stödtjänster, nya resurser som vätgasproduktion kan få allt större betydelse.

svänghjul (till exempel kärnkraftverk och kraftvärmeverk) har spelat en viktig roll genom att de har inneboende energilager i form av rotationsenergi och därmed kunnat tillföra tröghet och motståndskraft mot ändringar i elsystemet.

Som tidigare nämnts väntas emellertid elproduktion som baseras på förnybara energikällor – framför allt vind- och solenergi – komma att spela en allt viktigare roll i framtiden. Samtidigt kan nya resurser i form av efterfrågefleksibilitet, energilager, vätgasproduktion och annan teknik få större betydelse. Likströmsförbindelser med andra synkronområden⁵ bidrar i dag till att hantera frekvensreglering vid nöddrifttillstånd. Ju mer dessa resurser kan bidra till frekvenshållning, desto mindre marginaler behöver hållas av vattenkraftverken, vilket i sin tur skapar möjligheter till att förbättra balansering mellan timmar och dagar. De olika resurserna har som nämnts olika egenskaper, bland annat när det gäller att tillhandahålla aktiv effekt och frekvens i olika tidsintervall.

Kraftverk med direktanslutna generatorer, såsom vattenkraftverk, kärnkraftverk och bioeldade kraftverk, kan alltså bidra med tröghet mot frekvensförändringar. Vattenkraftverk kan också bidra med balanseringsförmågor inom såväl dygnet som inom drifttimmen. För till exempel kärnkraftverk finns det tekniska förutsättningar att leverera sådana tjänster, men det sker inte i dag.



⁴ När SVK går över till de Europeiska marknadsplattformarna MARI och PICASSO kommer man att utgå ifrån obalanser i varje elområde för aFRR och mFRR. Se <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/systemansvar--elmarknad/ny-nordisk-balanseringsmodell-nbm/>

Vindkraft har potential att bidra med flexibilitet och stödtjänster till kraftsystemet, särskilt till nedreglering i situationer med produktionsöverskott. Detta kan till exempel vara fallet under perioder under sommaren då förbrukningen i Norden är låg samtidigt som produktionen av vindenergi är högre än förväntat. Då uppstår ett behov av nedreglering för att få ett balanserat system. Vind- och solenergi kan också, genom sina snabba reaktionstider, komma att spela en viktig roll till exempel vid bortfall av en stor exporterande likströmsförbindelse. Som tidigare nämnts har vattenkraften historiskt sett svarat för merparten av balanstjänsterna, men i takt med att andelen vindkraft har vuxit har också producenter av vindkraftproducerad el blivit allt mera aktiva på marknaderna. I första hand har man handlat med nedreglering, men i vissa situationer (till exempel när det blåser mycket och priserna på elbörsen är låga) kan det också bli aktuellt för dem att erbjuda uppregleringstjänster.

Energilager och användarflexibilitet kan också spela viktiga roller när det gäller att balansera elsystemet, liksom likströmsförbindelser (HVDC) till våra grannländer.

Genom utnyttjande av kraftelektronik skapas möjligheter för till exempel solceller och vindkraftverk att bidra med systemtjänster. Med kraftelektronik menas framför allt elektriska omriktare (electric converters) som kan ändra växelströmmens frekvens och andra egenskaper. Även om de inte har fullt ut samma förmågor som synkrongeneratorer så är det tekniskt fullt möjligt att påverka egenskaperna hos kraftelektronikomriktare så att dessa efterliknar beteendet hos roterande maskiner, och därmed bidrar med liknande eller förbättrade förmågor. Vindkraft, solkraft och batterier är anslutna till elnäten via kraftelektronik.

5. Elbehovet i dag och i framtiden

Elsystemen i Sverige, Europa och världen kommer enligt de flesta bedömare under de kommande årtiondena att genomgå en betydande omställning, såväl när det gäller användningen som när det gäller produktionen. El förväntas i hög grad ersätta bränslen i tung industri och inom transportsektorn, en utveckling som redan har påbörjats, men som väntas accelerera.

Globalt domineras elproduktionen i dag av kraftverk som använder fossila bränslen (olja, kol och naturgas). Sådana kraftverk kännetecknas också av att de har synkrongeneratorer och turbiner och därmed kan bidra med rotationsenergi. Men enligt till exempel IEA (IEA 2022 a) och många andra bedömare kommer förnybara energikällor och till viss del kärnenergi att dominera tillväxten i den globala elförsörjningen under de kommande åren. Tillsammans väntas dessa kraftslag möta i genomsnitt mer än 90 % av den tillkommande efterfrågan fram till 2025. Den globala elproduktionen från naturgas och kol förväntas däremot förbli i stort sett oförändrad. Även på

⁵ Ett synkronområde är ett område där ländernas elnät är i fas med varandra. Sverige ingår i det nordiska synkronområdet och har växelströmsförbindelser med Finland, Norge och Danmark.



längre sikt förutser IEA att förnybar elproduktion (vind och sol) kommer att dominera effektökningen och svara för 75-80 procent av all ny elproduktionskapacitet (IEA 2022 b).

I Europa förutses en liknande utveckling med en snabb ökning av elanvändningen. År 2030 väntas mer än hälften av EU-ländernas elproduktion enligt scenarier från EU-kommissionen komma från förnybara källor, i första hand vindenergi (EU-kommissionen 2020).

Elsystemen i Sverige, Europa och världen kommer enligt de flesta bedömare under de kommande årtiondena att genomgå en betydande omställning, såväl när det gäller användningen som när det gäller produktionen. El förväntas i hög grad ersät-



ta bränslen i tung industri och inom transportsektorn, en utveckling som redan har påbörjats, men som väntas accelerera.

Globalt domineras elproduktionen i dag av kraftverk som använder fossila bränslen (olja, kol och naturgas). Sådana kraftverk kännetecknas också av att de har synkron-generatorer och turbiner och därmed kan bidra med rotationsenergi. Men enligt till exempel IEA (IEA 2022 a) och många andra bedömare kommer förnybara energikällor och till viss del kärnenergi att dominera tillväxten i den globala elförsörjningen under de kommande åren. Tillsammans väntas dessa kraftslag möta i genomsnitt mer än 90 % av den tillkommande efterfrågan fram till 2025. Den globala elproduktionen från naturgas och kol förväntas däremot förbli i stort sett oförändrad. Även på längre sikt förutser IEA att förnybar elproduktion (vind och sol) kommer att dominera effektökningen och svara för 75-80 procent av all ny elproduktionskapacitet (IEA 2022 b).

I Europa förutses en liknande utveckling med en snabb ökning av elanvändningen. År 2030 väntas mer än hälften av EU-ländernas elproduktion enligt scenarier från EU-kommissionen komma från förnybara källor, i första hand vindenergi (EU-kommissionen 2020).

Mellan 1990 och tills helt nyligen låg den årliga användningen av el i Sverige på en mer eller mindre oförändrad årlig nivå om 130-140 TWh. Samtidigt ökade elproduktionen kraftigt. År 2022 producerades sammanlagt 170 TWh el i Sverige (SCB 2023).

Det medförde att Sverige exporterade en stor del av produktionen. Den svenska elproduktionen skiljer sig från produktionen i de flesta andra länder genom att den till dominerande del baseras på icke-fossila källor (vattenkraft, kärnkraft, bioenergi och vindkraft) och därmed inte ger upphov till betydande utsläpp av koldioxid. År 2022 kom 69 procent av Sveriges elproduktion av el från förnybara källor. Vattenkraft utgjorde 41 procent av den samlade elproduktionen, medan kärnkraft och vindkraft stod för 29 procent respektive 19 procent. Solkraft stod enbart för någon procent av elproduktionen.

Sverige står, liksom stora delar av vår omvärld, inför en omfattande elektrifiering. Den berör de flesta sektorer med större energianvändning. Stål- och järnmalms-industrin elektrifierar sina processer, gods- och persontransporter blir fossilfria genom eldrift, tillverknings- och kemiföretag ökar sin elanvändning och uppvärmning av bostäder sker i allt större utsträckning med eldrivna värmepumpar. Även nya verksamheter som serverhallar och batterifabriker tillkommer, vilka redan från början är baserade på el som energibärare.

I sin rapport *Långsiktig marknadsanalys 2022* redovisar Svenska kraftnät fyra olika scenarier för Sveriges framtida elanvändning (Svk 2021 a). I dessa varierar den årliga elproduktionen år 2045 mellan knappt 200 TWh och över 300 TWh, beroende på vilka antaganden som görs. Branschorganisationen Energiföretagen Sverige bedömer för sin del att Sveriges elbehov år 2045 kan uppgå till 330 TWh, dvs dubbelt så mycket som den nuvarande inhemska elproduktionen (Energiföretagen 2022).

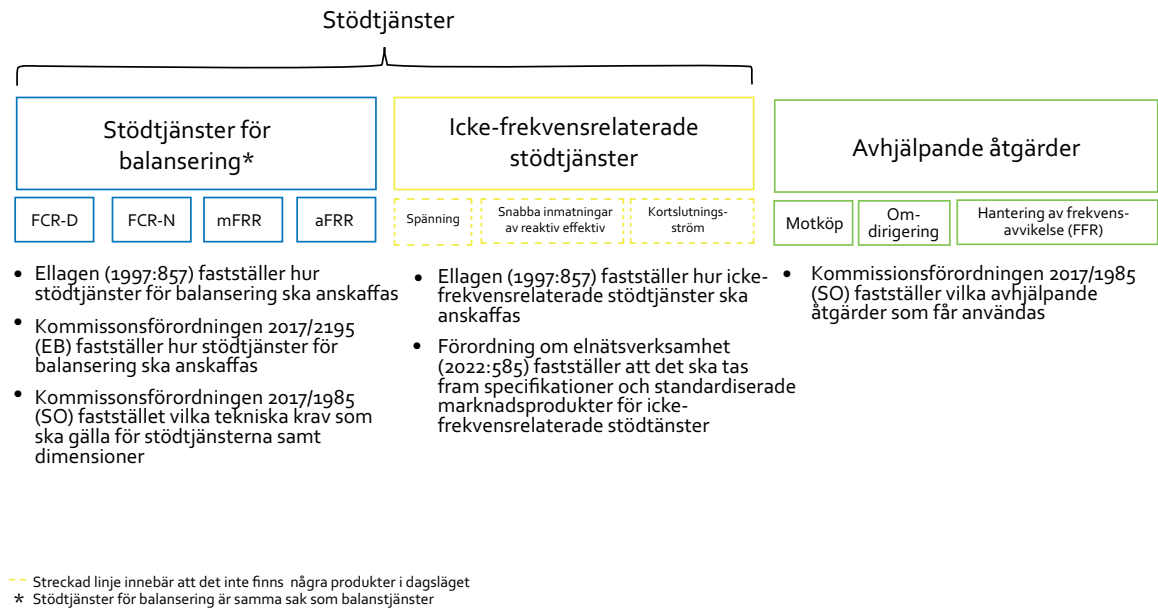
Värden i TWh	2025	2045			
<div></div> Vattenkraft	68	68	67	68	66
<div></div> Kärnkraft	51	0	14	55	0
<div></div> Övrig termisk	11	9	8	10	9
<div></div> Vindkraft land	48	76	88	85	98
<div></div> Vindkraft hav	1	6	29	39	113
<div></div> Solkraft	3	28	8	11	18
Total produktion	182	187	215	269	304

Figur 3. Fyra scenarier för den framtida elanvändningen enligt Svk Källa: Svk (2021)

Enligt flertalet studier (NEPP 2023, Energimyndigheten 2021, Svk 2021) kommer den ökade efterfrågan under de kommande årtiondena framför allt att mötas av en kraftfull utbyggnad av vindkraft. Så småningom väntas också andelen solkraft öka. I den nämnda systemutvecklingsplanen bedömer Svk att vindenergi – i synnerhet havsbaserad vindkraft – om ett par årtionden kommer att vara det kraftslag som har störst andel av Sveriges elproduktion. Det illustreras i figur 3, där diagrammets högra del visar utfallen för fyra olika scenarier för 2045.

För att scenarierna ska bli verklighet krävs stora investeringar i alla delar av elsystemet – produktion, överföring, användning och lagring av energi. Som framgått tidigare sker också stora förändringar både när det gäller elproduktionens sammansättning och egenskaper, och när det gäller användningens tidsprofil. Utmaningen på tillförselsidan förstärks av det faktum att en stor del av den befintliga elproduktionskapaciteten kan ha fallit för åldersstrecket efter 2040. Energimyndigheten uppskattar exempelvis att drygt 100 TWh av den i dag befintliga elproduktionen förväntas nå sin tekniska livslängd före år 2045 (Energimyndigheten 2021). Viktigt att notera i sammanhanget är att alla analyser av den här typen präglas av stor osäkerhet.

Men de nya förhållandena rymmer inte bara problem. Ny lagrings- och nätteknik, kraftelektronik och digitalisering skapar förutsättningar för bättre övervakning och drift av elsystemet. Förbättrad tillgång till prisinformation gör det möjligt för elkunderna att påverka förläggningen av sin elanvändning tidsmässigt. Nya aktörer (till exempel så kallade aggregatorer) och ägare på elmarknaden skapar en ny dynamik.



Figur 4: Tillämplig lagstiftning avseende stödtjänster och avhjälpande åtgärder. Källa: Svk 2021 b

6. Nuvarande marknader för stödtjänster

I detta avsnitt beskrivs vilka stödtjänster som i dag handlas med på SVK:s balansmarknader.

Frågor om ansvaret för stödtjänster regleras i första hand i EU:s elmarknadsdirektiv (EU 2019) och i motsvarande svensk lagstiftning, i första hand ellagen. Av särskild betydelse i detta sammanhang är två kommissionsförordningar som mer i detalj reglerar ansvaret för anskaffning av och tekniska krav på stödtjänster och avhjälpande åtgärder. I figur 4 anges tillämplig lagstiftning för stödtjänster och avhjälpande åtgärder. De förkortningar som anges i figuren har översiktligt beskrivits i föregående avsnitt.

SVK är ansvarigt för driften och utvecklingen av transmissionsnätet i Sverige, och ser till att det ständigt råder balans mellan elanvändning (inklusive överföringsförluster) och elproduktion. För att hålla systemet inom driftsäkerhetsgränserna ansvarar Svk för att ha tillräckliga reserver av aktiv och reaktiv effekt. Aktiv effekt är den effekt som förbrukas (utför arbete), det som vi vanligen kallar el. Den kan ökas eller minskas för att uppnå balans. Reaktiv effekt är en biprodukt vid produktion av el med växelström, som inte används för något användbart arbete. Den uppstår när spänning och ström är ur fas. Den kan användas för att öka eller minska spänningen i elnätet.

De olika tjänsterna och åtgärderna som en systemansvarig för överföringssystem kan använda sig av har olika grad av frivillighet, marknadsbaserad ersättning.

Elmarknadsdirektivet fastslår att stödtjänster ska anskaffas utifrån ett marknadsbaserat förfarande.

För de tillfällen tillgängliga stödtjänster i form av reserver av aktiv och reaktiv effekt inte räcker till så är den systemansvarige (i Sverige Svk) skyldig att utforma, förbereda och aktivera avhjälpande åtgärder. Sådana åtgärder behöver enligt lagstiftningen bara "så långt det är möjligt" anskaffas utifrån marknadsbaserade principer. Vad avser stödtjänster så handlas för närvarande på den nordiska marknaden endast stödtjänster för balansering på marknader, medan icke-frekvensrelaterade stödtjänster (till exempel spänningshållning) anskaffas på annat sätt.

Det finns här anledning att skilja på tre typer av åtgärder:

- Åtgärder utan konkurrens och ersättning: Åtgärder som ingår som en del av kraven för att vara ansluten till kraftsystemet, exempelvis krav på utrustning för förbrukningsfrånkoppling.
- Åtgärder genom direkt beordring av Svenska kraftnät (oplanerad beordring): Leverantören har rätt till ekonomisk ersättning. Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve, FFR) är ett exempel, som klassificeras som "avhjälpande åtgärd".
- Åtgärder som upphandlas i konkurrens: Hit hör de olika stödtjänsterna som handlas på Svk:s balansmarknader.

Balansmarknaderna

Som tidigare nämnts syftar SVK:s balansmarknader till att upprätthålla den momentana balansen mellan elproduktion och konsumtion under själva drifttimmen. Volymen kraft som säljs på dessa marknader utgör bara omkring två procent av den kraft som säljs årligen. Den större delen av balanseringen sker som tidigare nämnts på elbörsen Nord Pools marknader av de balansansvariga företagen. Svk:s balansmarknader innefattar både automatiska reserver och manuella åtgärder, som tillsammans bidrar till att återställa frekvensen. Handeln sker med ett antal standardiserade produkter som beskrivs närmare nedan

Dessa skiljer sig åt i olika avseenden, bland annat när det gäller uthållighet och snabbhet. Några är automatiska och andra manuella, vissa stöttar kraftsystemet under normaldrift medan andra används vid större störningar. Stödtjänsterna är helt marknadsbaserade vilket innebär att de upphandlas öppet i konkurrens med hjälp av budgivning på respektive marknad. Ekonomisk ersättning och villkor av olika slag sker i enlighet med de principer som gäller för respektive marknad. Deltagande på marknaderna för stödtjänster är frivilligt.

För att få tillåtelse att leverera stödtjänster måste en potentiell leverantör visa att de tekniska kraven för stödtjänsten är uppfyllda genom att genomföra en så kallad förkvalificering med godkänt resultat. Man måste också uppfylla krav på realtidsmätning och elektronisk kommunikation.



För balanstjänsterna finns två huvudtyper av marknader:

- En kapacitetsmarknad, där en aktör (till exempel en kraftproducent eller större industri) får betalt för att vara tillgänglig ifall aktivering behövs. Dessa får ekonomisk ersättning även om ingen aktivering sker.
- En energiaktiveringsmarknad. Här aktiveras resurser på grundval av bud under drifttimmen. På denna marknad får aktörerna ekonomisk ersättning endast för aktiverade och avropade bud.

Marknaderna har skilda och specifika regler exempelvis när det gäller när bud får lämnas. Den snabbaste stödtjänsten som i dag handlas på balansmarknaderna heter frekvenshållningsreserv, FCR (Frequency Containment Reserve) och har till uppgift att förhindra obalanser genom att automatiskt styra ner effekten om frekvensen ökar

eller automatiskt styra upp den om frekvensen sjunker, tills systemet hittat ett nytt stabilt frekvensläge.

Det finns två olika typer av FCR. FCR-N (där N står för normaldrift) utnyttjas för frekvensreglering för ”normala” variationer, till exempel förändringar i elkonsumention och variationer i elproduktionen från vindkraft och solkraft. Men den kan också användas för att hantera förändrad produktion i till exempel vattenkraftverk. I praktiken hantearas det som ger frekvensändringar inom intervallet 50 ± 0.1 Hz.

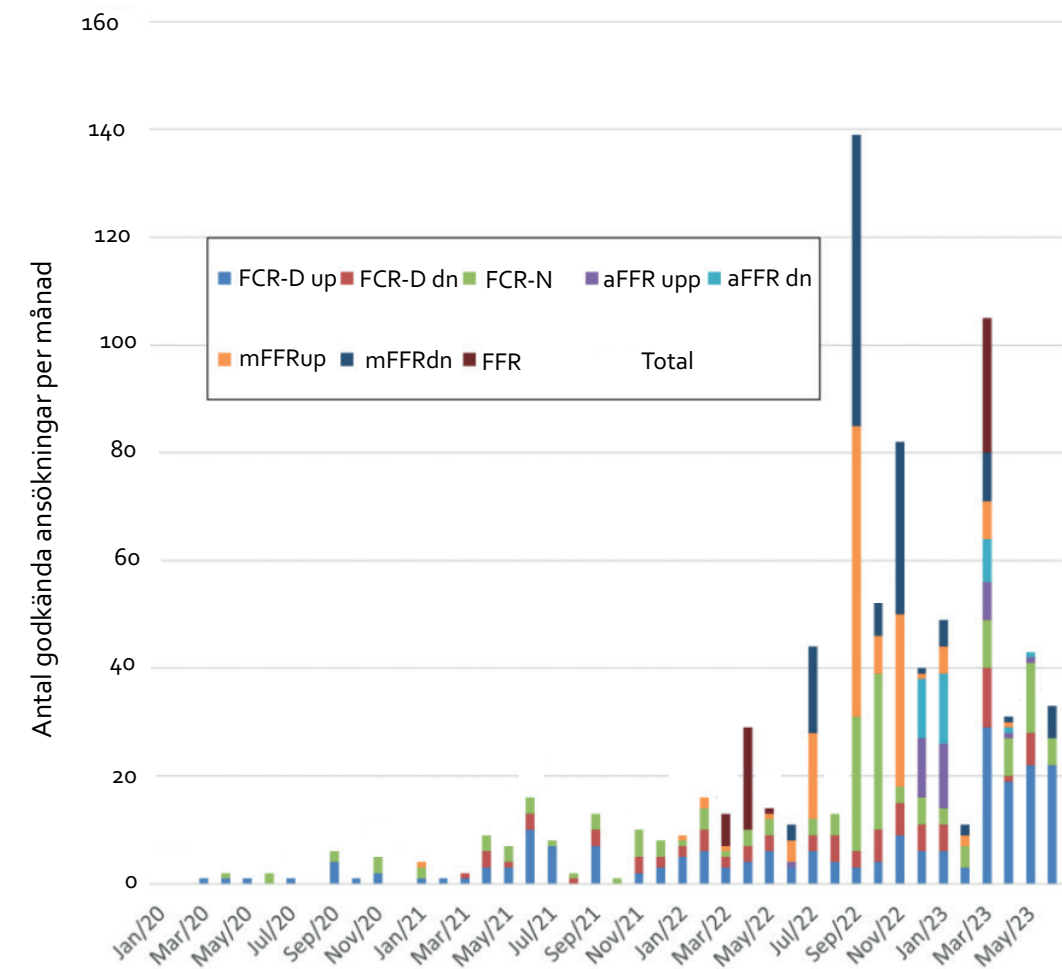
FCR-D (där D står för disturbance, störning) har till uppgift att bidra till att frekvensen inte faller för djupt. Den ska kunna aktiveras inom cirka 10 sekunder så fort frekvensen går under 49,9 Hz. De resurser som är del av frekvenshållningsreserven för normal drift ska kunna aktiveras inom 60 sekunder.

För FCR-D finns två olika produkter som kan handlas med: En för uppreglering (FCR-D Upp) och en för nedreglering (FCR-D Ned). Dessa frekvensregleringsreserver måste finnas tillgängliga vid störd drift till följd av ett bortfall av en större anläggning eller en stor likströmskabel (import- eller exportkabel). Produkten FCR-D ned infördes den 1 januari 2022 och har främst tillkommit till följd av risken för bortfall på en utlandsförbindelse (likströmskabel). Reserverna inom FCR-D aktiveras i genomsnitt någon gång per vecka vid störningar som överstiger 0,1 Hz. På dessa marknader handlas det till exempel med vattenkraft, minskad förbrukning, nedreglering av vindkraft och batteritjänster.

När FCR-N och/eller FCR-D är fullt aktiverade och frekvensfallet har bromsats träder så småningom frekvensåterställningsreserverna (FRR, frequency restoration reserve) in. Dessa reserver ska tillföra eller dra bort energi från systemet för att frekvensen och FCR-kapaciteten ska kunna återställas, så att den är redo när nästa störning kommer. Den automatiska reserven (aFRR) har till uppgift att återställa frekvensen till 50 Hz och aktiveras automatiskt via signal från den systemansvarige. Den manuella reserven (mFRR) ska vara fullt aktiverad inom 15 minuter, medan tidsintervallet för aFRR är maximalt 5 minuter. Uthålligheten för dessa reserver ska vara minst en timme.

Reserverna på mFRR handlas på en egen marknad som kallas reglerkraftsmarknaden (RKM) där bud kan läggas in fram till 45 minuter innan driftperioden börjar. mFRR aktiverades tidigare manuellt (via telefonsamtal från Svk) men är på väg att bli mer och mer automatiserad, med elektroniska avrop. De anropade buden ska vara fullt aktiverade inom 15 minuter. Här tillåts både upp- och nedregleringsbud men av större storlek än för övriga balansprodukter.

I bilaga 1 återfinns en översiktlig beskrivning av vilka krav som ställs på olika stödtjänster och avhjälpande åtgärder.



I figur 5 illustreras utvecklingen av antalet godkända ansökningar för förkvalificering av stödtjänster. Källa: Träffa Balansmarknad, möte 16, 22 juni 2023 (svk.se)

7. Framtida marknader för stödtjänster

De systemmässiga förändringar som beskrevs ovan innebär sammantaget att de grundläggande förutsättningarna för att driva elsystemet förändras. Marginalerna i elsystemet kommer av allt att döma att minska och många egenskaper som traditionellt funnits inneboende i exempelvis produktionsanläggningar kommer i allt större utsträckning behöva säkerställas via explicit kravställning och/eller via olika former av ekonomiska incitament. Den ökande andelen variabel, väderberoende produktion kommer också att leda till större variationer i effektflödena i elsystemet.

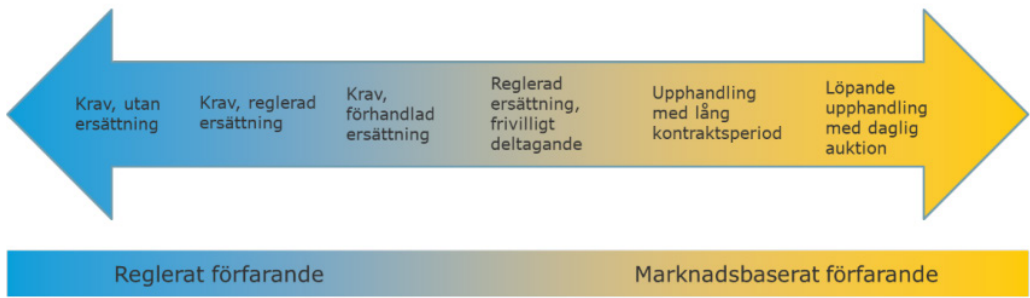
En konsekvens av utvecklingen är att efterfrågan på stödtjänster har ökat och förväntas öka ytterligare under kommande år. Bedömningar av efterfrågan på stödtjänster är förenade med stor osäkerhet, och SVK publicerar därför inga långsiktiga prognoser för dessa behov. Ett sätt att illustrera hur marknaden för stödtjänster utvecklas är emellertid att studera antalet förkvalificeringar.

Som framgår av figuren har det under de senaste åren skett en dramatisk ökning av antalet förkvalificerade leverantörer av stödtjänster.

SVK:s nettokostnader för stödtjänsterna har också ökat. De uppgick till ca 1,6 miljarder kronor år 2020, och ökade till 3,8 miljarder kronor under 2021 och till 6,5 miljarder kronor för 2022. De ökade nettokostnaderna berodde främst på högre kostnader för frekvenshållningsreserven och den frekvensåterställande reserven. Men också elpriset spelade in. Prisnivån och volatiliteten på elmarknaden var mycket högre under 2022 jämfört med 2021. När elpriserna på spotmarknaden steg ökade också värdet av stödtjänsterna, vilket återspeglades i prissättningen.

Kraftsystemet förändras alltså i mycket snabb takt och står inför stora utmaningar inom flera områden. Stora mängder vindkraft ansluts via kraftelektronikomriktare och till distributionssystemen. Havsbaserad vindkraft kommer att kräva kablar för anslutning från vindkraftparken in till land. Den väderberoende produktionen bidrar till ökande behov av balansering och hantering av varierande effektlöden vilka kan leda till utmaningar för leveranssäkerheten. Denna utveckling kommer i sin tur att ställa nya krav på balanseringen av elsystemet, inte minst när det gäller tillhandahållandet av stödtjänster.

För att öka incitamentet för vindkraft, men också för annan produktion och användning, att bidra med nyttiga förmågor överväger SVK kontinuerligt förutsättningarna för och behovet av att införa nya stödtjänster och fler ekonomiska incitament. Man arbetar också med att utveckla tydligare krav på vindkraftens styr- och reglerförmåga samt på förkvalificeringsprocessen så att vindkraften såväl som variabla förbrukningsresurser kan bidra med fler stödtjänster och stöttande förmågor (SVK 2121 b). I sammanhanget kan också nämnas Svensk Kraftreserv AB, som är ett helägt dotterbolag till SVK. Företaget äger för närvarande fem gasturbiner, och har som affärsidé att äga och förvalta anläggningar för att tillhandahålla stödtjänster för transmissionsnätet. Från och med 2025 kommer bolagets tjänster att marknadsutsättas.



Figur 6. Varianter av reglerade och marknadsbaserade förfaranden för att möjliggöra att nätanvändare kan bidra till att upprätthålla en kostnadseffektiv och ändamålsenlig driftsäkerhet. Källa: SvK (2021b)



Centrala frågor i det sammanhanget är dels vilka stödtjänster som behövs (och vilken kvantitet), dels hur dessa ska anskaffas. I figur 6 illustreras principiellt olika förfaranden för att få olika aktörer att bidra till elsystemets driftsäkerhet.

Utmaningen med anskaffning genom kravställning är enligt SvK att hitta en lämplig kravbild som inte är onödigt kostnadsdrivande, samtidigt som den inte diskriminerar mellan olika nätanvändare. Med de förändringar som sker i elsystemet och det förväntade behovet av stödtjänster bedömer SVK (SVK 2021 b) att det är fördelaktigt att i ökad grad införa ekonomiska incitament och marknadslösningar. Tanken är att man, genom att skapa konkurrens och incitament för att tillhandahålla stödtjänster, främjar effektivitet, innovation och tillgänglighet.

När det gäller stödtjänster för balansering finns, som beskrevs i det förra avsnittet, sedan flera år ett antal olika produkter som upphandlas på marknadsmässiga grunder. Inom detta område handlar därmed Svenska kraftnäts arbete i stor utsträckning om att vidareutveckla produkter och ersättningsmodeller för en säker och effektiv systemdrift. Exempelvis infördes en kapacitetsmarknad för manuell frekvensreglering (mFRR) i oktober 2023. Under 2026 kommer även en energiaktiveringsmarknad för automatisk frekvensreglering (aFRR) att introduceras.

I en rapport till SNS (Holmberg P. och Tangerås T. 2023) föreslår författarna att planerbar elproduktion bör få ersättning för den svängmassa (rotationsenergi) som den bidrar med. SVK har övervägt alternativet att på nationell nivå införa en ersättning för mekanisk rotationsenergi under de timmar som FFR upphandlas. I en rapport (SVK 2021 b) konstaterar SVK emellertid att nyttan av rotationsenergi är gemensam för

det nordiska synkrona systemet och att nationella lösningar riskerar att ge snedvridningar på marknaden. Mot den bakgrunden förefaller det enligt SVK mer ändamålsenligt att i första hand analysera möjligheten att utveckla FFR-produkten samt att komplettera denna med en ersättningsmodell för rotationsenergi inom ramen för det nordiska samarbetet.

År 2020 uppdrog regeringen åt SvK att beskriva affärsverkets pågående arbete med stödtjänster för upprätthållande av normal drift samt för avhjälpan- de åtgärder och skyddstjänster för skärpt drift och nöddrift. I sin redovisning (SVK 2021 b) föreslog SVK en rad åtgärder, bland annat införande av en icke frekvensrelaterad stödtjänst med administrativt fastställd ersättning för spänningsreglering.

En viktig fråga vid utformning av nya produkter och marknader är vilka aktörer som skulle kunna tillhandahålla stödtjänster av olika slag. I princip är det möjligt för alla aktörer som har möjlighet att vara flexibla med sin elproduktion eller elanvändning att sälja stödtjänster förutsatt att de förkvalificerar sig. Det kan röra sig om systemansvariga för distributionssystem (DSO), kraftproducenter, leverantörer av efterfrågeflexibilitet såsom större industrianläggningar, aktörer som tillhandahåller energilager (till exempel batterilager), aggregatorer med flera. I dag handlar ett 40-tal aktörer på SVK:s balansmarknader, men antalet ökar snabbt.

Ett par exempel kan illustrera nya leverantörer av stödtjänster:

- Aluminiumteknikbolaget Gränges avser att ansluta flera av sina ugnar till FCR. Detta innebär att bolaget mot ekonomisk ersättning är beredda att stänga av en eller flera ugnar tillfälligt när kraftbalansen kräver det. Denna reglering sker automatiskt via speciellt installerad hård- och mjukvara (Vattenfall 2023).
- Ellevio Energy Solutions (EES) är ett fristående bolag i Elleviokonvernen. Bland annat har man investerat i batteriparker, och kommer att handla på SVK:s stödtjänstmarknader, i första hand med produkterna FCR-D och FFR (Tidningen Energi 2023).

Under 2022 inledde Svenska kraftnät en pilotstudie om leverans av stödtjänster och avhjälpan- de åtgärder från resurser med variabel produktion eller förbrukning. Syftet är att i samverkan med branschen skapa en förståelse för förutsättningarna för variabla resurser att bidra med stödtjänster samt att utreda hur förkvalificeringsprocessen ska gå till för resurser med variabel produktion eller förbrukning. Projektet beräknas avslutas före utgången av 2023.

Hittills har endast balansansvariga haft rätt att handla med stödtjänster, men från och med 2024 kommer rollen som balansansvarig att delas upp i två skilda roller, leverantör av *balanstjänster* (BSP) och *balansansvarig part* (BRP). Avsikten med förändringen är att öppna marknaden för fler aktörer än i dag, till exempel aktörer som i dag agerar via samarbete med en balansansvarig, såsom aggregatorer.



SVK har också genomfört en pilotstudie för resurser med begränsad energireserv. Avsikten var att möjliggöra budgivning samtliga timmar på dygnet och avser FCR-D upp och ned. Syftet med pilotstudien var både att öka likviditeten på marknaden och att höja kunskapen om hur dessa resurser samspelar med kraftsystemet. Projektet avslutades i september 2022, i samband med att nya krav för FCR trädde i kraft. För att fler aktörer ska kunna delta på marknaderna för stödtjänster och avhjälpan- de åtgärder är det viktigt att det skapas tydliga och rättvisa regler för marknaden, inklusive villkor för deltagande, licenskrav och eventuella begränsningar. Dessutom måste det finnas tillräckliga ekonomiska incitament för aktörerna att tillhandahålla stödtjänster.



Solpark i Brasilien.



Kärnkraft i Belgien.



Vindkraft i Danmark.

Några exempel på kommande utveckling av marknaden är mindre budstorlek, nya krav på uthållighet och robusthet och handel närmare drifttimmen. Svenska kraftnät arbetar också med att underlätta för nya tekniker, som till exempel förbrukningsflexibilitet och energilager, att ta plats på marknaderna, bland annat genom tydligare kravspecifikationer och förbättrad vägledning.

Förmågor som bidrar till att upprätthålla en jämn och stabil spänning i överförings-systemet är generellt inte prissatta i dag. Detta är en konsekvens av att stora synkrona elproduktionsanläggningar anslutna på höga spänningsnivåer hittills har kunnat tillhandahålla dessa förmågor till låg marginalkostnad. Denna fråga diskuteras i SVK:s tidigare nämnda redovisning av sitt regeringsuppdrag om behovet av stödtjänster och avhjälpande åtgärder (SVK 2023 Stödtjänster).

SVK har också andra medel till sitt förfogande, exempelvis nättariffen. Inom ramen för en pågående tarifföversyn har man tagit fram ett förslag på hur reaktiv effektkompensering kan inkluderas i nättariffen. Bland annat avser man att införa en icke-frekvensrelaterad stödtjänst för spänningsreglering med två ersättningsnivåer; en nivå för temporär och en för varaktig spänningsreglering i anslutningspunkten.

Regionala flaskhalsar i elnätet har också skapat behov av att i större utsträckning än i dag upphandla resurser lokalt. Flera av de nya tekniker som har beskrivits ovan skulle också kunna bidra till att avhjälpa situationen regionalt och lokalt. För detta behövs nya marknadsplatser på lokal nivå, dvs. på lägre nätspänningar än transmissionsnätet. Ett exempel på en lokal flexibilitetsmarknad är det pågående projektet Coordinet (Vattenfall 2023).

8. Internationellt samarbete och utvecklingen i andra länder

Sveriges elsystem är sammankopplat med vår omvärld, och som framgått tidigare bedriver vi ett omfattande samarbete både med våra grannländer och med övriga EU-länder. Redan i dag handlas flera stödtjänster över nationsgränserna, och i takt med bland annat att andelen vind- och solenergi ökar i alla länder får det internationella samarbetet allt större betydelse. I detta avsnitt berörs kortfattat några internationella aspekter på utvecklingen av stödtjänster.

I en rapport till regeringen (SVK 2021 b) redovisar SVK bland annat en omvärldsanalys av metoder för att säkerställa reaktiva resurser i Finland, Danmark, Norge, Frankrike, England, Australien, Belgien, Irland och Brasilien. Den visar bland annat att anskaffning av stödtjänster med några få undantag sker med reglerade förfaranden, till exempel genom krav i anslutningsavtal eller lagkrav, och genom administrativt bestämda avgifter och ersättningar. Flera TSO:er anger till exempel att det är obligatoriskt för primärt producenter och DSO:er att leverera tjänsten, ibland utan ersättning. Andra TSO:er kombinerar krav med en ersättning för installerad kapacitet eller vid aktivering enligt en administrativt fastställd ersättning.

De systemansvariga för elöverföringssystem (TSO) i Europa arbetar för att införa gemensamma plattformar för handel med frekvensåterställningsreserver. Plattformen PICASSO ska användas för automatisk frekvensåterställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve, aFRR) och MARI för manuell frekvensåterställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve, mFRR).



Den europeiska samarbetsorganisationen för systemansvariga, ENTSO-E, har definierat sju förmågor, så kallade grid forming capabilities, som är viktiga för att säkerställa driftsäkerheten i ett kraftsystem med hög andel kraftelektronikansluten produktion. Syftet med att definiera dessa förmågor är att göra det möjligt för de systemansvariga att i högre grad än i dag kunna ställa krav på de anläggningar (till exempel vindkraftverk) som ansluts till överföringsnäten (ENTSO-E 2021).

9. Sammanfattande slutsatser

Kraftsystemet utvecklas i snabb takt både internationellt i Sverige. Utvecklingen innebär bland annat att elbehovet förväntas stiga snabbt, att vi får nya användningsområden och användningsmönster, att ny teknik tas i anspråk och att andelen förnybar elproduktion (i första hand vind- och solkraft) ökar snabbt.

En allt större andel väderberoende elproduktion och en mindre andel planerbar elproduktion medför nya utmaningar, till exempel när det gäller att upprätthålla den momentana balansen mellan produktion och förbrukning i elsystemet. För att upprätthålla balansen och säkerställa att störningar kan hanteras upphandlar SVK ett antal stödtjänster som bidrar till att stabilisera kraftsystemet växer. Marknaden för stödtjänster har vuxit snabbt, från 500 miljoner kronor för några år sedan till över 6 miljarder kronor år 2022. Tillgängliga prognoser pekar på en fortsatt hög nivå under de kommande åren.

Det sker en kontinuerlig utveckling av stödtjänsterna, och nya tjänster tillkommer. Antalet aktörer på marknaderna för stödtjänster ökar också kraftigt. Det kan röra sig om systemansvariga för distributionssystem (DSO), kraftproducenter, leverantörer av efterfrågefleksibilitet såsom större industrianläggningar, aktörer som tillhandahåller energilager (till exempel batterilager), aggregatorer med flera.

Tillhandahållande av stödtjänster kan utgöra en källa till intäkter för aktörerna, speciellt under perioder då elpriserna är höga. Genom att erbjuda stödtjänster bidrar aktörerna också till omställningen av energisystemet, eftersom större volymer av stödtjänster ger förutsättningar för att andelen väderberoende eller förnybar elproduktion kan växa. I princip är det möjligt för alla aktörer som har möjlighet att vara flexibla med sin elproduktion eller elanvändning att sälja stödtjänster förutsatt att de förkvalificerar sig hos SVK.

För närvarande sker en snabb utveckling av marknaden för stödtjänster, både genom att befintliga produkter utvecklas och genom att nya produkter tillkommer. SvK och andra berörda statliga myndigheter har en viktig roll i denna process, bland annat genom att stödja pilotprojekt och utvecklingsinsatser av olika slag. Det är också angeläget att SvK genom information och tydliga krav involverar en så bred krets av aktörer som möjligt i arbetet med att utveckla balansmarknaderna.

I takt med att marknaderna för stödtjänster växer och utvecklas är det också viktigt att det sker en tillsyn för att säkerställa marknadernas effektivitet och funktionssätt, bland annat i form av marknadsövervakning och genom att det ställs krav på transparens och undanröjande av inträdes hinder av olika slag.

Den svenska elmarknaden utgör en sammankopplad del av en större integrerad nordisk och europeisk elmarknad. Det är angeläget att Sverige även fortsättningsvis aktivt deltar i det internationella samarbetet, bland annat inom Norden, inom EU och i ENTSO-E, för att sprida och ta del av vunna erfarenheter.

Ordlista

aFRR – automatisk Frekvensåterställningsreserv
automatisk Frekvensåterställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve) är en automatiskt aktiverad stödtjänst som återställer frekvensen till 50 Hz

FCR-N – Frekvenshållningsreserv Normaldrift
Frekvenshållningsreserv Normaldrift (Frequency Containment Reserve - Normal) är en aotomatisk stödtjänst som stabiliserar frekvensen vid små förändringar i förbrukning eller produktion.

FCR-D upp – Frekvenshållningsreserv Störning uppreglering
Frekvenshållningsreserv Störning uppreglering (upwards Frequency Containment Reserve Disturbance) är en automatisk stödtjänst som stabiliserar frkvensen vid driftstörningar (uppreglering).

FCR-D ner – Frekvenshållningsreserv Störning nedreglering
Frekvenshållningsreserv Störning nedreglering (downwards Frequency Containment Reserve Disturbance) är en automatisk stödtjänst som stabiliserar frkvensen vid driftstörningar (nedreglering).

FFR-Snabb frekvensreserv
Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve) är en automatisk reserv de inledningsvis snabba och djupa (transienta) frekvensförändringar som kan uppstå vid fel vid låg nivå av rotationsenergi i det nordiska kraftsystemet.

mFRR – manuell Frekvensåterställningsreserv
Manuell frekvensåterställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve) är en manuel stödtjänst som avlastar de automatiska stödtjänsterna och återställer frekvensen till 50 Hz.

Effektreserv
I de situationer där tillgängliga balanseringsresurser på elmarknaden inte räcker till har Svenska kraftnät möjlighet att aktivera den så kallade effektreserven. Effektreserven är en strategisk reserv upphandlad specifikt för effektbristsituationer. Effektoreserven är inte detsamma som störningsreserven.

Störningsreserven
I de situationer där tillgänliga balanseringsresurser på elmarkknaden inte räcker till för att åtgärda störningar kan Svenska kraftnäts störningsreserv användas för att få systemet i balans. Störningsreserven är inte detsamma som effektreserven. Svenska kraftnäts störningsreserv ska på 15 minuter kunna aktiveras för att hantera en störning och få systemet i balans igen.

Bilaga 1

Översiktlig kravbild för reserver

Uppdaterad 11 oktober 2023

Avhjäljande åtgärd		Frekvenshållningsreserver				Frekvensåterställningsreserver	
FFR	FCR-D upp	FCR-D ned	FCR-N	aFRR	mFRR		
Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve)	Frekvenshållningsreserv -Störning uppreglering (Upward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Störning nedreglering (Downward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Normaldrift (Frequency Containment Reserve - Normal)	Automatisk Frekvens-återställningsreserv (Automatic Frequency Restoration Reserve)	Manuell Frekvens-återställningsreserv (Manual Frequency Restoration Reserve)		
Uppreglering	Uppreglering	Nedreglering	Symmetrisk upp- och nedreglering	Upp- och/eller nedreglering	Upp- och/eller nedreglering		
Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 0,1 MW	Minsta budstorlek 1 MW	Minsta budstorlek Kapacitetsmarknad: 1 MW** Energiaktiveringsmarknad: 5 MW		
Aktivering Automatiskt vid frekvensförändringar vid låg nivå av rotationsenergi	Aktivering Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervallet 49,90-49,50 Hz	Aktivering Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervallet 50,10-50,5 Hz	Aktivering Automatisk linjär aktivering inom frekvensintervallet 49,90-50,10 Hz	Aktivering Automatiskt vid frekvensavvikelse från 50,00 Hz	Aktivering Manuellt på begäran av Svenska kraftnät		
Aktiveringstid Tre alternativ för 100 %: - 0,7 sek (vid 49,50 Hz) - 1,0 sek (vid 49,60 Hz) - 1,3 sek (vid 49,70 Hz)	Aktiveringstid Aktiveringstid för FCR-D upp redovisas i dokumentet med tekniska krav för frekvenshållningsreserver (FCR)	Aktiveringstid Aktiveringstid för FCR-D ned redovisas i dokumentet med tekniska krav för frekvenshållningsreserver (FCR)	Aktiveringstid Aktiveringstid för FCR-N redovisas i dokumentet med tekniska krav för frekvenshållningsreserver (FCR)	Aktiveringstid 100 % inom 5 minuter	Aktiveringstid 100 % inom 15 min		
Volymkrav för Sverige Upp till ca 100 MW	Volymkrav för Sverige Upp till 558 MW	Volymkrav för Sverige Upp till 538 MW*	Volymkrav för Sverige Upp till 538 MW	Volymkrav för Sverige Upp till 111 MW	Volymkrav för Sverige Kapacitetsmarknad: Upp till 200 MW Energiaktiveringsmarknad: Inga volymkrav		
Uthållighet - Uthållighet: 30 sek alternativt 5 sek - Repeterbarhet: Redo för aktivering inom 15 minuter	Uthållighet Uthållighet: Minst 20 min	Uthållighet Uthållighet: Minst 20 min	Uthållighet Uthållighet: 1 h	Uthållighet Uthållighet: 1 h	Uthållighet Uthållighet: 1 h		

32

STÖDTJÄNSTER PÅ ELMARKNADEN – I DAG OCH I FRAMTIDEN

* Aktuell upphandlingsplan är lägre än volymkravet då FCR-D ned är en ny produkt sedan januari 2022. Upphandlingsplanen uppdateras kvartalsvis. Mer information finns på Svenska kraftnäts webbplats: www.svk.se/aktorsportalen/bidra-med-reserver/behov-av-reserver-nu-och-i-framtiden/.

** Ett avropat bud på kapacitetsmarknaden innebär ett åtagande om att lämna bud på energiaktiveringsmarknaden. För mer utförlig information om kraven, se Balansansvarsavtal och tillhörande regeldokument. De finns för nedladdning på Svenska kraftnäts webbplats: www.svk.se/aktorsportalen/balansansvaravg/balansansvarsavtal/.

Översiktlig kravbild för reserver

Frekvensstabilitet

För att elöverföringssystemet ska fungera måste frekvensen hela tiden hållas inom snäva gränser. Det nordiska kraftsystemet balanseras mot en frekvens på 50 Hz. Frekvensstabilitet handlar om kraftsystemets förmåga att upprätthålla en stabil frekvens efter en störning i balansen mellan produktion och förbrukning.

Aktiv effekt

Det som vi vanligen benämner som el. Kan ökas eller minskas för att uppnå balans.

Reaktiv effekt

Biprodukt vid produktion av el med växelström. Kan användas för att öka eller minska spänningen i elnätet.

Rotationsenergi

Den upplagrade energi som finns i alla snurrande motorer och generatorer. Ger systemet en tröghet. (Ibland kallad svängmassa eller inertia).

Referenser

- EU (2019) Europaparlamentets och Rådets direktiv (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el
- Ei (2023) Elmarknadens delmarknader. www.ei.se
- Energiföretagen Sverige (2023). Sveriges elbehov 2045 - hur stänger vi gapet? Energiföretagen Sverige 2023.
- Energimyndigheten (2018), "Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem", ER 2018:16
- Energimyndigheten (2021), "Scenarier över Sveriges energisystem 2020", ER 2021:6
- ENTSO-E (2023). Grid-Forming Capabilities: Ensuring system stability with a high share of renewables, ENTSO-E, 1 April 2021
- EU-kommissionen (2020). Reference Scenario 2020 Energy, transport and GHG emissions – trends to 2050. European Commission 2020.
- Holmberg P. och Tangers T. (2023) En teknikneutral elmarknad – med en effektiv elmarknadsdesign och nättariffstruktur. SNS forskningsrapport 2023-09-27
- IEA 2022 a Electricity Market Report 2022. International Energy Agency 2022.
- IEA 2022 b World Energy Outlook 2022. International Energy Agency 2022.
- NEPP (2020): "Insikter och vägval i energiomställningen", slutrapport dec 2020
- Prop. 1993/94:162. Regeringens proposition 1993/94:162 Handel med el i konkurrens
- SCB (2023) Energistatistik
- SFS 1997:857 Ellagen
- SVK (2021 a). Långsiktig marknadsanalys 2021 - Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050. Svenska kraftnät, 2021
- SVK (2021 b). Stödtjänster och avhjälpande åtgärder i ett energisystem under förändring (Svk.se)
- SVK (2022): Systemutvecklingsplan 2022-2031.
- SVK (2023). www.svk.se/15minuter
- www.svk.se/siteassets/aktorsportalen/bidra-med-reserver/vagledning-for-att-leverera-reserver.pdf
- Leverans av stödtjänster från resurser med variabel produktion eller förbrukning. Ärendenr. Svk 2022/215
- Tidningen Energi (2023). Lönsamma energilager. Tidningen Energi nr 2 2023.
- Vattenfall (2023 a). Så blev FCR en hållbar inkomstkälla för Gränges. <https://>

El från vind och sol växer i Sverige och Europa och utgör en allt större andel av den totala elproduktionen. Det innebär större variationer i elproduktionen vilket skapar utmaningar. Om inte elproduktionen varje sekund motsvarar förbrukningen kan det skapa störningar och leda till elavbrott.

Det här har lett till att marknaden för stödtjänster i Sverige har mer än tiofaldigats till över 6 miljarder kronor på några år. Även antalet aktörer som säljer stödtjänster har ökat kraftigt och i dag är såväl elnätsföretag och elproducenter som industrier och ägare av batterilager aktiva på marknaden.

Men om Sverige ska klara av att genomföra elektrifieringen behöver näringslivet, politiken och myndigheter mer kunskap om hur marknaden för stödtjänster fungerar i dag och kan utvecklas i morgon. Den här rapporten beskriver just det.



Forskningsföretaget Energiforsk initierar, samordnar och bedriver forskning och analys inom energiområdet samt sprider kunskap för att bidra till ett robust och hållbart energisystem. Energiforsk är ett politiskt neutralt och icke vinstutdelande aktiebolag som ägs av branschorganisationerna Energiföretagen Sverige och Energigas Sverige, det statliga affärsverket Svenska kraftnät, samt gas- och energiföretaget Nordion Energi. Läs mer på www.energiforsk.se.