



Leveranssäkerhet inom elförsörjningen

En delrapport

IVA-projektet Vägval el



Förord

IVA har under åren 2014–2017 bedrivit projektet Vägval el. Sommaren 2016 presenterades fem viktiga vägval som projektet resulterat i. Ett av vägvalen är: Slå fast ett mål för leveranssäkerhet. Detta arbete är en fristående fortsättning inom Vägval el med fokus på leveranssäkerhet.

Leveranssäkerhet kan vid en första anblick te sig som ett relativt väldefinierat begrepp. Men frågeställningen är komplex och leveranssäkerheten i elsystemet påverkas av en mängd olika faktorer som sinsemellan är beroende av varandra. Styrgruppen i Vägval el ansåg därför¹ att det är angeläget att tydliggöra och problematisera olika aspekter på leveranssäkerhet i elsystemet.

Projektet har genomförts i samverkan med nedanstående arbetsgrupp. Totalt har vi haft sex arbetsgruppsmöten i form av workshops på olika teman. Vi har även genomfört en fristående skriftlig enkätundersökning med arbetsgruppen, externa intervjuer med olika aktörer elmarknaden (med representanter för Svenska kraftnät, Energimarknadsinspektionen, HSB, LRF, Villaägarna och Fastighetsägarna) samt litteraturstudier. Även tidigare rapporter och underlag som tagits fram inom Vägval el har använts, se www.iva.se.

Projektet har genomförts i samverkan med en arbetsgrupp bestående av:

Bo Normark, ordförande i styrgruppen Vägval el, IVA

Karin Byman, projektledare IVA

Jan Nordling, huvudprojektledare Vägval el, IVA

Alf Larsen, E.ON

Henrik Bergström, Ellevio

Magnus Thorstensson, Energiföretagen

Birgitta Resvik, Fortum

Göran Hult, Fortum

Maria Sandqvist, Forum för smarta elnät

Patrik Carlén, Jernkontoret

Lennart Söder, KTH

Lina Bertling, KTH

Maria Hagberg, Ramberg Advokater

Anders Järvelä, Skellefteå Kraft

Mats Gustavsson, SKGS/Boliden

Maria Sunér Fleming, Svenskt Näringsliv

Pär Hermerén, Teknikföretagen

Runar Brännlund, Umeå universitet

Lina Palm, Uniper

Andreas Regnell, Vattenfall

Lars Joelsson, Vattenfall

Tomas Björnsson, Vattenfall

Deltagare i arbetsgruppen är med som individer, i kraft av sin kompetens och erfarenhet, och representerar inte primärt någon organisation. Arbetsgruppen har gemensamt bidragit till projektet, och står bakom arbetet i sin helhet, men inte nödvändigtvis alla enstaka formuleringar.



Innehåll

Sammanfattning	6
Mål och syfte	10
Värdet av leveranssäkerhet.....	11
Detta ingår i leveranssäkerhet.....	12
Den nordiska elmarknadsmodellen.....	14
EU och energiunionen.....	17
Så hanteras effektbalansen på andra elmarknader	19
Omställning av elsystemet i Sverige.....	21
Energitillräcklighet	23
Tillräcklig effekt.....	25
Sveriges effektbalans	26
Vattenkraften är den viktigaste reglerresursen	28
Tillgänglig effekt och utveckling framåt	28
Ökad risk för effektbrist	29
Tillgång till inbyggda systemtjänster minskar.....	33
Frekvensavvikelser	34
Alternativa lösningar för svängmassa	34
Tillräcklig och säker tillgång till elnät	35
Utmaningar för lokal- och regionalnät.....	36
Tillståndsprocesser är en flaskhals.....	36
Växande städer utmanar leveranssäkerheten	37
Efterfrågefleksibilitet och effektivt utnyttjande av elnätet	38
Vem ska betala för leveranssäkerheten i glesbygden?.....	38
Transmissionsnätet påverkas av förändrad elproduktion.....	39
Regelverk och aktörer på elmarknaden.....	41
Energitillräcklighet	41
Effektillräcklighet.....	41
Nåttillräcklighet och nätsäkerhet.....	42
Balanssäkerhet	43
Analys och observationer	44
Utgångspunkter – mål för leveranssäkerhet.....	44
Observationer avseende det tekniska systemet och regelverket	44
Slutsatser och rekommendationer	47
Bilaga 1: Egenskaper hos ett kraftsystem	49
Bilaga 2: Fotnoter och referenser	51

Sammanfattning

”Sverige ska ha ett robust elsystem med hög leveranssäkerhet, en låg miljöpåverkan och el till konkurrenskraftiga priser. Det skapar långsiktighet och tydlighet för marknadens aktörer och bidrar till nya jobb och investeringar i Sverige.”
(Energikommissionen, 2016)

Ett tillförlitligt elsystem är en förutsättning för en modern välfärdsnation. Sverige har ett robust elsystem och hög nivå på leveranssäkerheten, men nu sker förändringar i elsystemet som kan påverka leveranssäkerheten negativt om vi inte uppmärksammar och hanterar ut-

maningarna i tid. Kärnkraften som under lång tid har stått för närmare hälften av Sveriges elproduktion stängs successivt av lönsamhets- och åldersskäl, och den nya kraft som byggs är i stor utsträckning icke planerbar vindkraft. Det förändrar förutsättningarna i det tekniska systemet, både vad gäller möjligheterna att upprätthålla energi- och effektbalansen samt stabiliteten i elnäten. Bortom 2030 bör nya lösningar finnas på plats men omställningen kommer att ta tid. Därför bör vi redan nu vidta åtgärder.

DETTA PÅVERKAR LEVERANSSÄKERHETEN

Leveranssäkerheten påverkas av ett samspel mellan det tekniska systemet och den marknadsmodell och de regelverk som är utformade för att styra systemet på kort och lång sikt.

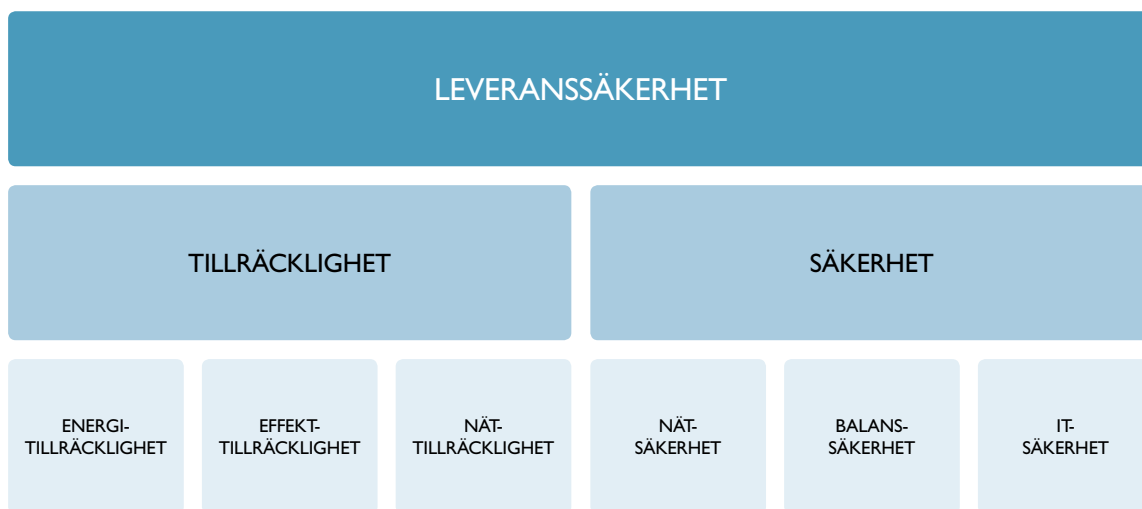
Det tekniska systemet

I dagsläget är det avbrott på elnäten som har den största påverkan på leveranssäkerheten. Det har genomförts åtgärder för att vädersäkra elnäten på senare år, vilket har förbättrat situationen. Utmaningar på några års sikt är åldrande elnät och att det kommer krävas stora reinvesteringar under stor osäkerhet om var den nya elproduktionen kommer att byggas. Även urbaniseringen påverkar leveranssäkerheten. Förtätning av staden innebär att effektbehovet ökar lokalt vilket kan leda till kapacitetsbrist i området. I glesbygden uppstår ett motsatt problem när allt färre ska betala för näten, vilket gör det dyrare per hushåll.

På lite längre sikt påverkar omställningen av elsystemet med en ökande andel icke-planerbar kraft både förutsättningarna att upprätthålla effektbalansen i elsystemet och störningståligheten. Fyra reaktorer kommer att stängas senast 2020, samtidigt som elcertifikatsystemet är förlängt och förväntas bidra med ytterligare 18 TWh vindkraft fram till 2030.² Dessa levererar energi men jämfört med kärnkraften så minskar effektvärdet i systemet. Kärnkraften levererar också viktiga systemtjänster som krävs för att upprätthålla stabiliteten i elsystemet. När dessa försvinner måste de ersättas med andra lösningar för att elsystemet fortsatt ska vara robust.

Den utveckling vi ser i Sverige återfinns också i flera av våra grannländer. När man ser på leveranssäkerheten måste man därför se till det totala elsystemet, inklusive grannländer, och beakta vad som händer med dessa system.

Figur 1: Illustration av leveranssäkerhet. Systemet måste både vara tillräckligt under normala driftsförhållanden och ha en förmåga att klara störningar.



Regelverk och marknadsmodell

Det finns idag ingen entydig definition av vad leveranssäkerhet är och därmed inte heller något mål för leveranssäkerheten i elsystemet. Det innebär att vi inte kan avgöra om det behövs politiska åtgärder för att vidmakthålla eller uppnå en viss nivå på leveranssäkerhet.

Överföring av el (elnät) är reglerad verksamhet och enligt ellagen får ett avbrott som huvudregel inte överstiga 24 timmar. Ellagen är därför tydlig när det gäller nätägarens ansvar för överföring av el.

Svenska kraftnät är ansvarig myndighet för att elsystemet är driftsäkert och i momentan balans. För detta syfte får Svenska kraftnät upphandla och använda tillgängliga produktionsresurser eller nedreglering. Finns risk för effektbrist kan myndigheten i yttersta fall koppla bort kunder. Svenska kraftnät har inte ansvar för att hantera effektbrister som kan uppstå om produktionen inte motsvarar konsumtionsbehovet. (Sveriges Riksdag (a), 1997)

Norden har en ”energy only-marknad”, vilket innebär att energipriset sätts på spotmarknaden. Det finns för närvarande inga starka ekonomiska incitament för att tillhandahålla effekt. Priselasticiteten är generellt sett låg på elmarknaden. Efterfrågefleksibiliteten finns främst hos vissa typer av elintensiva industrier som kan producera mot lager.

På längre sikt förväntas marknaden säkerställa att effektbalansen är tillräcklig. Nuvarande marknadsmodell har ännu inte provats under en hel investeringscykel samtidigt som elsystemet står inför omfattande ersättningsinvesteringar. Idag är elpriset lågt, pressat av låga marginalkostnader i elproduktionen, vilket hämmar investeringar både i ny elproduktion och i effekt, det vill säga reglerbar kraft. Det ökar på sikt risken för effektbrist i elsystemet.

I nu rådande investeringsklimat och med de ambitionsnivåer som diskuteras avseende investeringar i icke planerbar kraft, ökar även risken för energibrist.

FEM FÖRSLAG FÖR FRAMTIDENS LEVERANSSÄKERHET

1 SÄKERSTÄLL ENERGIBALANSEN LÅNGSIKTIGT

Energibalansen är inget akut problem idag, men möjligheterna att kunna säkerställa energileveranserna under ett torrår bör fortsatt vara i fokus givet den förändring som sker mot en ökad andel icke planerbar kraft i elsystemet.

Rekommendationen är:

- Gör en långsiktig analys av risken för energibrist i elsystemet och ta fram möjliga åtgärder för att säkerställa energibalansen.

2 SÄKERSTÄLL EFFEKTBALANSEN MED MARKNADSLÖSNINGAR

Så långt det är möjligt bör marknadslösningar tillämpas. För ett effektivt utnyttjande av tillgängliga produktionsresurser bör även samarbetet utökas och fördjupas med de nordiska grannländerna och inom EU. Den ökade prisvolatiliteten måste följas av en ökad möjlighet för fler kunder att kunna reagera på de prissignaler som kommer. Nya tekniska lösningar finns men kan behöva utvecklas och standardiseras. Beakta att det kan krävas en övergångsperiod innan tekniken är implementerad och tillgänglig för det stora flertalet, det vill säga innan önskad efterfrågeflexibilitet kan uppnås.

Rekommendationen är:

- Prissignalen bör få ett tydligare genomslag då knapphet råder.
Se över utformningen av styrmedel så att dessa bättre stödjer marknadens funktion långsiktigt, inklusive prissättning på reglerkraft och övriga systemtjänster. I takt med att priselasticiteten ökar i elsystemet, genom ökad förbrukningsflexibilitet och reglerkapacitet, förbättras leveranssäkerheten.

- Marknaden bör avgöra när ny kraft behöver byggas.

Se över stödsystemen så att de i minsta möjliga mån inverkar på marknadens funktion. Se även över tillståndprocesserna så att de inte i onödan hämmar utvecklingen av förnybar el.

- Utöka det internationella samarbetet.

Utöka samarbetet med omkringliggande länder för att gemensamt säkerställa effektbalansen.

3 SATSA PÅ TEKNIKUTVECKLING FÖR FLEXIBLA NÄT

Lokalnäten påverkas i stor utsträckning av urbaniseringen och växande städer, medan det blir allt dyrare att upprätthålla leveranssäkerheten i glesbygd. Transmissionsnäten utmanas framför allt av förändrad produktionsmix och på sikt även av förändrade förbrukningsmönster. Ser man långsiktigt på utvecklingen kommer nät, produktion och användning att bli allt mer integrerade.

Lokala nät med egen försörjning kommer att utvecklas med begränsat utbyte till resten av elsystemet. Samtidigt ser vi en utveckling med ökat regionalt samarbete över nationsgränser, vilket är nödvändigt för att kunna hantera stora mängder icke planerbar kraft på ett effektivt sätt. Kapaciteten i elnäten kommer stundtals vara begränsande, vilket även det bör återspeglas i rådande elpris.

Rekommendationen är:

- De underliggande elnäten (region- och lokalnäten) bör få en utvidgad roll för att hantera effektbalansen lokalt.

Det kan ske genom att skapa incitament för samverkan med fjärrvärmesystem med tillgänglig kraftvärme, och styrmekanismer som gör det möjligt att använda förbrukningsflexibilitet, lager och produktionsanläggningar för att kunna använda näten mer effektivt och undvika kapacitetsbrist.

- Prissignalen bör få ett tydligare genomslag då knapphet råder även för överföringskapacitet. På kort sikt kan effekttariffer införas, men på längre sikt skulle även nätavgiften kunna avspegla knapphet i överföringskapacitet.
- Förenkla tillståndsprocesser för att underlätta en utbyggnad av nödvändig överföringskapacitet på alla nivåer.
- Beakta utvecklingstrender i samhället och nya tekniska lösningar för flexibilitet och lagringsteknik som ger nya möjligheter.

4 SKAPA NYA LÖSNINGAR FÖR FRAMTIDENS ROBUSTA ELSYSTEM

Svenska kraftnät har det övergripande ansvaret för att elsystemet ska vara driftsäkert och i balans. Svenska kraftnät har formella befogenheter att genom föreskrifter ställa krav, att upphandla systemtjänster samt att driftmässigt beordra användning av tillgängliga systemnödvändiga resurser. Utmaningen är att identifiera omfattningen och egenskaperna av de fysiska anläggningar som kan komma att behövas, och vilka parter som kan svara för uppbyggnad och drift av dessa. Samtidigt måste de ekonomiska konsekvenserna och en ändamålsenlig kostnadsfördelning klargöras.

Rekommendationen är:

- Utred hur tillgången på svängmassa och andra nödvändiga systemtjänster bäst tillgodoses i elsystemet, samt hur dessa lämpligen finansieras.

5 GE SVENSKA KRAFTNÄT ANSVAR FÖR UPPFÖLJNING AV LEVERANSSÄKERHETEN

Vägval el har redan i syntesrapporten *Fem vägval för Sverige* (Byman (b), 2016) rekommenderat att det behövs ett mål för leveranssäkerhet och att Svenska kraftnät bör vara ansvarig myndighet för att målet nås. Svenska kraftnät har ansvar och befogenheter för leveranssäkerheten men det kan behöva specificeras och utvecklas för att anpassas till nya omständigheter.

Rekommendationen är:

- Ge Svenska kraftnät huvudansvaret för uppföljning av leveranssäkerheten på elmarknaden. Svenska kraftnät bör få ett utökat uppdrag att ta fram övergripande prognoser för den långsiktiga energi- och effektbalansen, behov av systemtjänster och för överföringskapacitet även på regional- och lokal nivå, samt att föreslå nödvändiga åtgärder.

Mål och syfte

Syftet med det här projektet är att ge en helhetsbild av vilka faktorer det är som påverkar leveranssäkerheten, från ”nät till systemtjänster” och ge rekommendationer för hur leveranssäkerheten kan upprätthållas.

Ur kundens perspektiv har det ingen betydelse vad en eventuell störning beror på. Ur det tekniska systemets perspektiv kan störningar och avbrott uppstå av olika skäl och i olika delar av systemet. Detta tekniska, mycket komplexa system styrs av lagar och regelverk, olika typer av styrmedel samt delvis av marknadens aktörer. Vi är också i stor utsträckning beroende av vår omvärld, inte minst våra närmaste grannländer som vi är ihopkopplade med rent fysiskt. Vi är också beroende av vår gemensamma lagstiftning

inom EU men påverkas även av geopolitiska beslut som fattas på andra kontinenter.

Allt kan inte täckas och utredas inom detta arbete, men inom projektet har vi diskuterat och lyft fram en rad faktorer som är av betydelse för det svenska elsystemet. Utgångspunkten är kundens perspektiv och därför diskuteras särskilt vilka faktorer som bör beaktas när ett mål för leveranssäkerhet formuleras. För att kunna hantera omställningen på elmarknaden krävs både nya tekniska lösningar och en översyn av regelverket och elmarknadens funktion.

Målgruppen för arbetet är politiker, övriga beslutsfattare inom energiområdet samt alla andra som är intresserade av frågan.

Värdet av leveranssäkerhet

→ Ett väl fungerande elsystem med hög leveranssäkerhet är en förutsättning för ett modernt välfärdssamhälle.

Det är svårt, om inte näst intill omöjligt, att definiera ett ekonomiskt värde av leveranssäkerhet på elmarknaden. Det involverar hela samhället, både på kort och på lång sikt. Historiskt har ett väl fungerande elsystem varit en av Sveriges viktigaste konkurrensfördelar, vilket starkt har bidragit till den industriella utvecklingen i landet.

Ett tillförlitligt elsystem är viktigt för hela samhället och blir allt viktigare genom den snabba teknikutvecklingen och digitaliseringen som sker inom i princip alla områden. Exempel på områden är datacenter och molntjänster, betalningsströmmar, telekommunikation, styrsystem och processer, vård och omsorg, transportsystemen men också jord- och skogsbruket.

Utvecklingen skapar många nya möjligheter men ökar också sårbarheten för störningar i elförsörjningen.

All infrastruktur och samhällsservice är beroende av ett väl fungerande elsystem, och även alla pumpar och fläktar som driver system för fjärrvärme, vattenförsörjning och ventilation i trafiktunnlar, förutom synlig elanvändning i gatubelysning, tågtrafik och elsystemet i sig. I hushållen blir det mörkt och kallt, och mat kan förstöras om elförsörjningen inte fungerar.

Redan små störningar kan bli mycket kostsamma för tunga processindustrier om utrustning skadas och material förstörs. Tyngre elintensiva industrier kan inte ha egna back-up system på grund av mycket höga effektbehov. Se faktaruta nedan.

Se även IVA Vägval els rapport *Framtidens elanvändning* som går att ladda ned på www.iva.se

EXEMPEL PÅ STÖRNING I INDUSTRIEN

Skogsindustrin

Skogsindustrin har produktionsanläggningar med kontinuerliga processer, som körs 24 timmar per dygn sju dagar i veckan. Vid en frekvensändring på inkommande elnät ändras varvtalen på alla pumpar som inte är särskilt reglerade. Tryck och flöde från dessa pumpar förändras då med 5–10 procent. En sådan tryck- eller flödesändring innebär bland annat att kylvatten och processvatten hamnar utanför de gränser som tillåts i processen. Inträffar detta stoppar hela processen och därmed hela anläggningen. Eftersom skogsindustrins processer är kontinuerliga innebär även en mycket kortvarig störning produktionsstopp som i värsta fall kan vara i flera dygn.

Järn- och stålindustrin

En av de känsligaste processerna i stålproduktionen är masugnen där blåsmaskinen, en mycket stor fläkt, är en kritisk komponent. Blåsmaskinen drivs av en synkronmotor, vars varvtal är direkt beroende av elnätets frekvens. Varvtalet styr i sin tur hur stor luftvolymen genom fläkten blir. Sjunker frekvensen till 49 Hz minskar luftflödet med cirka 10 procent. Ett minskat eller upphört luftflöde ger störningar i masugnens process. Detta riskerar att i bästa fall ge minskad produktivitet och i värsta fall så kallad kallgång, vilket innebär att stålmältningsprocessen upphör, stålet stelnar och en återstart kan ta allt från ett dygn till flera veckor. Kostnaden för en sådan störning kan uppgå till flera hundra miljoner kronor.

Källa: Svenskt Näringsliv

Detta ingår i leveranssäkerhet

- Ur kundens perspektiv spelar det ingen roll vad som orsakar eventuella störningar i elleveransen.
- Leveranssäkerheten påverkas av hela elsystemet, det vill säga energi- och effektbalans, säker överföring av el och en stabil elförsörjning med hög kvalitet.

Ur kundens perspektiv innebär leveranssäkerhet säker leverans av el med tillräckligt hög kvalitet för att eldrivna enheter och system ska fungera tillfredsställande och att förekomsten av oplanerade elavbrott är minimal. Ur kundens perspektiv har det ingen betydelse vad störningen beror på.

Ur det tekniska systemets perspektiv kan störningar och avbrott uppstå av olika skäl och i olika delar i systemet. Bilden nedan ger en illustration av leveranssäkerhetsbegreppet som bygger på dualiteten mellan begreppen Tillräcklighet och Säkerhet (Adequacy and Security). Tillräckligheten är systemets förmåga att upprätthålla leveranser under normala driftförhållanden med nödvändiga säkerhetsmarginaler. Säkerheten avser förmågan att klara av avvikelser och störningar, och påverkas av hur stora säkerhetsmarginaler som krävs samt vilka konsekvenser som kan accepteras.

Leveranssäkerhetsbedömningar måste bygga på analyser av elsystemens fysiska egenskaper och prestanda, inte på vilket sätt som de handhas driftadministrativt eller marknadsmässigt.

Energitillräcklighet

Energitillräcklighet handlar om hur resurserna ska räcka till över längre tid. I system med en stor andel vattenkraft där elproduktionen kan variera kraftigt mellan olika år beroende på nederbörd är energitillräcklighet en viktig fråga. Vid torrår måste elförsörjningen kunna täckas med andra kraftslag inom landet eller genom import. Historiskt har fossil kraft använts som säkerhet inför torrår i Sverige.

Effektillräcklighet

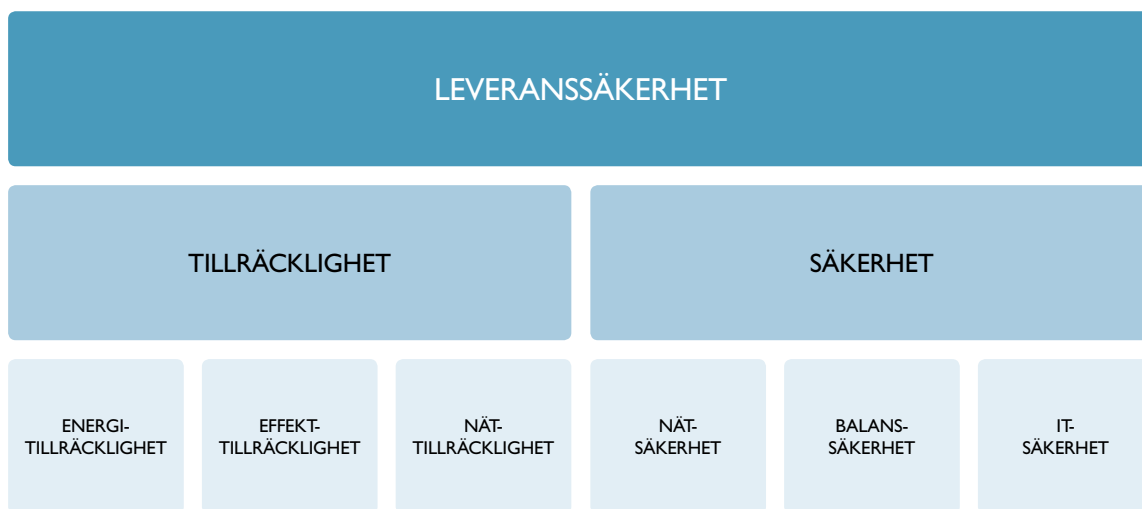
För att elsystemet ska vara i balans måste tillförseln av el motsvara förbrukningen i varje ögonblick. Det måste finnas tillräckligt med effekt i systemet. Tillförseln kan ske genom elproduktion i kraftverk inom landet, import via kablar från omkringliggande länder eller via lager.

För att effektbalansen ska kunna upprätthållas på kort sikt behövs anläggningar som kan följa efterfrågans variation ända ned på sekundnivå eller att efterfrågan anpassas till utbudet. På längre sikt krävs investeringar så att effektbalansen kan upprätthållas.

Nättillräcklighet

För att elen ska nå ut till kunderna krävs både att det finns ledningar och att ledningsnätet har tillräcklig kapacitet. Investeringar måste ske fortlöpande så att näten kan anpassas till de förändringar som sker avseende befolkningsutveckling, teknisk utveckling och den omställning som sker till mer distribuerad och icke

Figur 2: Illustration av leveranssäkerhet. Systemet måste både vara tillräckligt under normala driftsförhållanden och ha en förmåga att klara störningar.



planerbar elproduktion. Ett effektivt elnät är en förutsättning för att kunna använda produktionsresurser på ett kostnadseffektivt sätt.

Nätsäkerhet

Nätsäkerhet handlar om förmågan att klara störningar, såsom stormar, åska, sabotage eller att komponenter går sönder. Nätsäkerheten avspeglas i hur många och hur långa avbrott det blir, och hur snabbt felet kan avhjälpas. En viktig faktor är förmågan att bygga upp nätet igen efter ett avbrott.

Balanssäkerhet

Elsystemet kan bara befinna sig i två lägen, i balans eller så har det kollapsat. Elsystemet kan inte befinna sig i ”obalans”, det är en fysikalisk omöjlighet.

Balanssäkerhet handlar om motståndskraft mot händelser som stör balansen, till exempel fel i någon kraftstation som måste kopplas ifrån. Eftersom systemet inte får kollapsa måste reserver sättas in. Den första reserven är ”sväng-

massa”. Därefter följer en automatisk regleringsförmåga, vanligen används vattenkraft som accelererar upp systemet igen. Hela förloppet tar 20–30 sekunder. Hela tiden är systemet i balans. I Tabell 1 (sidan 26) finns en översikt över olika mekanismer för att hålla elsystemet i balans.

IT-säkerhet

Det sker en digitalisering i hela samhället där allt fler uppgifter automatiseras och information digitaliseras. Det skapar möjligheter för en ökad effektivisering och nya affärsmodeller, vilket inte minst genererar nya möjligheter även för elsystemen. Men det ökar också sårbarheten både för oavsiktliga störningar och medvetna attacker. Som exempel kan nämnas att Ukrainas elsystem, delvis slogs ut till följd av en hackerattack i december 2015, trots omfattande brandväggar och säkerhetssystem.

Frågan om IT-säkerhet är omfattande och komplex, och ryms därför inte inom detta projekt. Däremot avser IVA att under 2017 starta ett nytt projekt om digitalisering och säkerhet.

Den nordiska elmarknadsmodellen

- I samband med den svenska elmarknadsreformen 1996 avskaffades tidigare krav på elproducenterna att upprätthålla en viss leveranssäkerhet gällande tillräcklig produktionskapacitet. Det finns idag inget definierat mål för leveranssäkerhet i elsystemet.
- Marknaden prissätter energi per timme, men efterfrågar inte explicit effekt eller efterfrågefleksibilitet.
- Variationer i sol och vind, samt förbrukning av el, sker kontinuerligt vilket gör att timvis handel är för stort tidsintervall för en effektiv anpassning av effektbalansen.
- Dagens marknadsmodell har ännu inte genomlevt en hel investeringscykel. Det finns därför en osäkerhet om den förmår leverera nödvändiga investeringar för att upprätthålla leveranssäkerheten i elsystemet vid den omställning som nu sker.
- Dagens marknadsmodell i kombination med elcertifikatsystemet ökar andelen icke-planerbar kraft och tränger ut planerbar kraft.

Den svenska elmarknaden reformerades 1996. Syftet var att skapa ramar för en elmarknad där konkurrens i produktion och elhandel skulle leda till ökad effektivitet och konkurrenskraft för det svenska samhället. En viktig grundsten i elmarknadsreformen var att verksamhet för elöverföring inte fick bedrivas i samma bolag som

elproduktion och elhandel. Elnäten skulle vara tillgängliga för alla producenter och elkunder på lika villkor. Elproduktion och handel med el skulle ske i konkurrens, och kunderna var fria att själva välja elleverantör. Ambitionen var att elmarknaden skulle behandlas som all annan näringsverksamhet och regleras med generell näringslagstiftning. Elmarknadsreformen gav ett ramverk inom vilket företagen kunde agera ganska fritt. Företagen förväntades agera så att målen om en effektiv elförsörjning till nytta för konsumenterna skulle nås. Det ansågs inte behövas några regler för hur företagen skulle agera för att nå målen (Hagman & Heden, 2012).

Vid avregleringen var uppfattningen att elmarknaden var färdigutbyggd och därför infördes en elmarknadsmodell som effektivt sätter ett pris på en mogen marknad. Det ledde till en ”energy only-marknad” och det är marknadens aktörer som sätter priset genom bud på spotmarknaden Nord Pool. Nord Pool Spot omfattar numera de nordiska länderna och Baltikum. El handlas även över gränserna med länder som hänger samman med Nord Pool-området, till exempel Tyskland, Polen och Ryssland. Även kapaciteten på kablarna nomineras till Nord Pool Spot varje dag och flöden bestäms av de timvisa bud som aktörerna lägger, vilket resulterar i att kraften går från lågpris- till högprisområden. Finns det kapacitet över efter Day ahead-handeln så nomineras den till Intra day-marknaden, se faktaruta på nästa sida.

Innan avregleringen fanns det ett system där elproducenter/elleverantörer förband sig att upprätthålla en tillräckligt hög leveranssäkerhet. I och med avregleringen togs detta system bort, vilket innebär att det nu inte längre finns några formella krav på någon organisation att upprätthålla en viss leveranssäkerhet gällande tillräckligt

Handel med el

Fysisk handel med el sker i tre tidsperspektiv enligt:

- Dagen före marknad ("Day ahead") på Elspot.
- Inom dygnet marknad ("Intra day") på Elbas.
- Inom drifttimmen på Reglerkraftmarknaden.

Elspot och Elbas hanteras båda inom Nordpool Spot, medan Svenska kraftnät ansvarar för Reglerkraftmarknaden. Handel med el sker även direkt genom bilaterala kontrakt, men har då oftast spotmarknaden som prispreferens.

Elspot

En råvarubörs där producenter av el och elhandlare eller större industrier, lägger sälj- och köpbud för kommande dygn. Handeln sker i megawattimmar per timme. Elspot stänger 12 – 36 timmar före leveranstimmen.

Elbas

Elbas är en fysisk justeringsmarknad för kontinuerlig handel med timkontrakt. Handel kan ske fram till en timme före leverans under dygnets alla timmar.

Balansansvar

En elleverantör måste leverera lika mycket el som dess kunder förbrukar och en producent måste producera så mycket som den nominerat. Det kallas balansansvar. Den balansansvarige måste ha ett avtal med Svenska kraftnät. Om det uppstår obalanser måste den som är ansvarig betala Svenska kraftnät vad det kostar att upprätthålla balansen. Elleverantören och producenten är således ekonomiskt ansvarig för eventuella obalanser gentemot Svenska kraftnät, men inte fysiskt ansvarig.

Reglerkraftmarknaden

Inom leveranstimmen har Svenska kraftnät (systemoperatören) ett fysiskt ansvar för att elsystemet är i balans. De balansansvariga företagen lägger bud på upp- eller nedreglering av elproduktion och systemoperatören avropar buden efter behov. Reglerresurserna utgörs till största delen av vattenkraft. Reglerkraftmarknaden hanterar reglerbehov ned till någon eller några minuter. På sekundnivå används andra lösningar för att säkerställa att elsystemet är i balans, se faktaruta 1.

Terminshandel

För att hantera risk och säkra variationerna i elpris går det även att handla i finansiella kontrakt upp till tio år framåt i tiden. Den finansiella handeln, även kallad terminshandel sker huvudsakligen via Nasdaq Commodities.

med produktionskapacitet. För distributionsnätet har det dock hela tiden funnits specifika krav.

Den nuvarande marknadsmodellen har ännu inte genomlevt en hel investeringscykel och dagens diskussion handlar i stor utsträckning om marknadsmodellen är tillfyllest för att hantera de utmaningar elsystemet står inför. Marknaden prissätter energi per timme, men efterfrågar inte explicit effekt eller efterfrågeflexibilitet. I en marknad med en stor andel sol och vind, krävs incitament för att även leverera effekt och

flexibilitet för att leveranssäkerheten ska kunna upprätthållas i elsystemet.

Prissättning av distribution av el

I samband med avregleringen av elmarknaden fastställdes att elnäten ska drivas i reglerade monopol, vilket även omfattar en skyldighet att ansluta alla kunder inom respektive nätområde. Verksamheten och de avgifter som nätägarna tar ut från kunderna övervakas av Energimarknadsinspektionen (Ei). Det sker bland annat

genom att Ei bestämmer en övre gräns; en ”intäktsram”, för hur mycket ett elnätsföretag sammanlagt får ta ut i avgifter från kunderna. Intäktsramen bestäms i förväg och gäller för fyra år i taget.

När Ei fastställer intäktsramarna utgår de ifrån ellagens bestämmelser om att elnätavgifterna ska vara skäliga och inte diskriminerande. Ei tittar också på elnätsföretagets kostnader och behov av investeringar. För att efterlikna konkurrens har Ei även satt ett effektiviseringskrav samt ett krav om god leveranssäkerhet. (Energimarknadsinspektionen (a), 2016)

Styrmedel på elmarknaden

Styrmedel såsom elcertifikatsystemet, skatter och avgifter påverkar också incitamentsstrukturen på elmarknaden. Slutkunden betalar förutom själva elkostnaden, energiskatt på elen, elcertifikatavgift, nätavgift på överföringen av el, samt moms på hela beloppet.

Genom elcertifikaten erhåller producenter av ny förnybar el³, såsom biokraft, vindkraft och småskalig vattenkraft, ersättning per energienhet oberoende av rådande elpris. För den icke planerbara kraften där marginalkostnaden är mycket låg, finns därför incitament att fortsätta producera el även om elpriset är mycket lågt eller till och med negativt. Mer om styrmedel på elmarknaden går att läsa i Vägval els delrapport: Framtidens elmarknad. (Bondesson & Brännlund, 2016)

Dagens marknadsmodell och leveranssäkerhet

Enligt rådande marknadsmodell styrs leveranssäkerheten både på kort och på lång sikt av förutsättningarna på marknaden. Elpriset som sätts på Nord Pool ska både generera tillräcklig produktion i driftstimmen, och ligga till grund för och investeringsbeslut i befintliga och nya anläggningar för att säkerställa tillförseln av el på längre sikt. Det finns idag inget mål för vilken leveranssäkerhet marknaden förväntas leverera.⁴

På medellång sikt ska marknaden hantera variationer i väderlek, såsom torrår/våtår, respektive kalla/milda vintrar. I praktiken har det fungerat, men för att säkerställa elsystemets

funktion även årets kallaste timmar kompletterades elmarknaden år 2003 med en effektreserv. Det innebär produktionsanläggningar som står tillgängliga, eller stora elförbrukare som är redo att dra ned sin elanvändning, om situationen blir ansträngd. Effektreserven upphandlas av Svenska kraftnät. I det nordiska systemet upphandlar även Fingrid⁵ en effektreserv i Finland. Resurserna i effektreserven får aktiveras i spotmarknaden först när alla kommersiella bud är lagda och inte förmår ge balans mellan utbud och efterfrågan. Priset på effektreserven uppgår till 0,1 EUR/MWh över det högsta kommersiella budet.

I det längre perspektivet handlar det om hur marknaden i en situation med en större andel icke planerbar kraft ska bidra till att det sker investeringar i planerbar elproduktion. Utvecklingen av ny produktionskapacitet drivs idag nästan uteslutande av elcertifikatsystemet och det som bedöms mest lönsamt att bygga är vindkraft. Det påverkar prissättningen på spotmarknaden eftersom vindkraften i princip inte har några marginalkostnader. Det leder i förlängningen till en förändring av dagens priskurva mot en situation med både betydligt fler högpristimmar, men även fler lågpristimmar. Analysen återges i syntesrapporten *Fem vägval för Sverige*, (Byman (b), 2016). Det minskar lönsamheten i befintliga anläggningar, och stimulerar inte till investeringar i ny planerbar kraftproduktion vilket krävs för att upprätthålla leveranssäkerheten när det inte blåser. Antalet högpristimmar bedöms vara för få, respektive för osäkra för att de ska kunna ligga till grund för investeringsbeslut i till exempel ett biobränsleldat kraftvärmeverk.

Hittills har marknaden främst haft att hantera variationer i användning av el, men i takt med att andelen icke planerbar kraft ökar, ökar också behovet av att kunna hantera variationer på produktionssidan. Medan elförbrukningen följer relativt förutsägbara mönster, är framför allt vindkraftsproduktionen svårare att förutsäga. Effektvariationerna kan också bli större. Förutom kompletterande reservkraft ökar det behovet av en mer flexibel elförbrukning och att kunna lagra större mängder el vid överskott. Dessa frågeställningar utvecklas vidare i kommande avsnitt.

EU och energiunionen

- EU betonar att kunden ska vara i centrum vid utvecklingen av elsystemet.
- Eftersom EU-länder blir alltmer integrerade och beroende av varandra för överföring av el, är det nödvändigt att hitta gemensamma lösningar för att upprätthålla leveranssäkerheten i systemet.
- EU är avvaktande till kapacitetsmekanismer.
- Den svenska effektreserven påverkas av förslaget om begränsade koldioxidutsläpp från anläggningar som deltar i en kapacitetsreserv.

Det nordiska elsystemet hänger samman med det europeiska elsystemet och styrs av EU-lagstiftning. EUs så kallade vinterpaket kom den 30 november 2016 och består av ett stort antal förslag på ny lagstiftning inom energiområdet med fokus på energieffektivisering, förnybar energi och minskad klimatpåverkan. Energikunderna får en central roll i förslaget, avseende möjligheten att jämföra priser, välja energileverantör och producera sin egen energi. (EU-Kommissionen (b), 2016)

Vinterpaketet innehåller totalt elva rättsakter, varav en handlar om elmarknaden. (EU-Kommissionen (a), 2016) EU-kommissionen konstaterar att elmarknaden är under förändring och att andelen variabel elproduktion kommer att öka, samtidigt som medlemsländerna blir alltmer integrerade och beroende av varandra. Marknadsmodellerna måste därför utvecklas och anpassas till de förändringar som sker, så att det skapas en större flexibilitet i marknaden

och att nödvändiga investeringar kommer till stånd oberoende av nationsgränser. Ny teknik och nya marknadslösningar ska göra det möjligt för kunderna att vara mer aktiva på elmarknaden och ha större möjligheter att påverka sina energikostnader.

Nödvändigheten av en hög leveranssäkerhet på elmarknaden kommenteras särskilt i förslaget. Redan idag är enskilda länder beroende av överföringskapacitet i sina grannländer för sin elförsörjning, och bristområden binds samman med överskottsområden på regional nivå. För att öka leveranssäkerheten föreslås en EU-gemensam bedömning av leveranssäkerheten i elsystemet ("adequacy assessment") och en gemensam metodik för att bedöma nödvändiga åtgärder. Eventuella kapacitetsmekanismer är en sista nödgärd och bör tillämpas med försiktighet. Om kapacitetsmekanismer bedöms nödvändiga i något land eller region, bör de utformas så att de inte stör marknads funktion och flödet av el över nationsgränser. Anläggningar som har större koldioxidutsläpp än 550 gram CO₂/kWh får inte omfattas av kapacitetsmekanismer. Befintliga anläggningar med större utsläpp än 550 gram CO₂/kWh får delta i max fem år efter det att regelverket trätt i kraft. (EU-Kommissionen (a), 2016)

Huvuddelen av den variabla elproduktionen ansluts på distributionsnäten och inte på transmissionsnäten. För att lösa kapacitetsbegränsningar lokalt föreslås att lokal- och regionalnäten (Distribution System Operators; DSO) få en utökad roll att hantera flexibla resurser. (EU-Kommissionen (a), 2016)

Sverige har kommit långt med slutkundmarknaden och många av förslagen är redan genomförda här. Förslaget om att begränsa koldioxidutsläppen från anläggningar som omfattas en

kapacitetsmekanism skulle påverka den svenska effektreserven och några av de äldre oljeeldade anläggningar som har upphandlats. (Kellberg, 2016)

Samarbete mellan systemoperatörer i Norden

Det pågår ett arbete för att utöka samarbetet mellan de nordiska systemoperatörerna. Svenska kraftnät har tillsammans med Statnett i Norge, Fingrid i Finland och Energinet.dk i Danmark tagit fram underlag om utmaningarna bortom 2025 för det nordiska elsystemet och konstaterar att samarbetet måste fördjupas för att kunna utveckla och implementera de lösningar som krävs. Det behövs både tekniska åtgärder i systemet, regulatoriska justeringar samt forskning och utveckling eftersom nya förutsättningar och nya tekniska koncept innehåller stora osäkerheter. (Svenska kraftnät (e), 2016)

Nätkoder – Grid Codes

På europeisk nivå pågår en omfattande verksamhet för att kodifiera väsentliga leverans- och driftssäkerhetsrelaterade prestandakrav. Det sker i samverkan mellan EU-kommissionen, reglermyndighetsorganisationen ACER och ENTSO-E som är samarbetsorganisationen för de systemansvariga företagen. Syftet är att skapa ett bindande regelverk för att säkerställa en tillräcklig och harmoniserad leveranssäkerhet inom Europa. För svensk del så handlar det främst om regelverk som sedan länge byggts upp inom Sverige och inom det nordiska samarbetet.

Coreso (COordination of Electricity System Operators)

Coreso är ett exempel på ett initiativ för regionalt samarbete mellan systemoperatörer i Europa. Syftet är att säkerställa leveranssäkerheten i elsystemen på regional nivå. Coreso bildades efter det stora strömavbrottet 2006 då 15 miljoner européer drabbades delvis på grund av bristande samarbete mellan systemoperatörer i Västeuropa. Verksamheten har vuxit sedan dess och inkluderar nu sju systemoperatörer från lika många länder. Sätet är i Bryssel och förutom den ordinarie personalen bemannas Coreso också av medarbetare från de olika systemoperatörerna enligt ett rullande schema. Detta för att så effektivt som möjligt stödja och utveckla samarbetet mellan länderna. (Coresco, 2017)

Så hanteras effektbalansen på andra elmarknader

- ⇨ Leveranssäkerheten påverkas av avregleringen av elmarknader, integration av tidigare isolerade elmarknader och kraftig tillväxt av förnybar elproduktion.
- ⇨ Det leder till minskat intresse för att investera i, eller vidmakthålla, planerbar kraft. Det i sin tur ökar risken för effektbrist i systemet.
- ⇨ Många länder har tagit fram konkreta mål för leveranssäkerhet och arbetar med åtgärder för att nå målen. Alla elmarknader är unika och har sina speciella utmaningar.

Inom projektet har vi låtit göra en översikt över hur leveranssäkerhet med fokus på effektbalans, hanteras i några olika länder respektive elmarknader i vår omvärld. Totalt omfattar studien åtta länder. (Badano, 2016) Inom studien används begreppet *resurstillräcklighet* och avser kraftsystemets förmåga att i varje given tidpunkt leverera den mängd el som kunderna efterfrågar. För att det ska ske krävs både att det finns tillräckligt med produktionskapacitet och tillräckligt med överföringskapacitet för att transportera el från kraftverk till kunder. Rapporten fokuserar på den första aspekten; att det finns tillräckligt med produktionskapacitet för att möta efterfrågan, det vill säga effektbalans.

Leveranssäkerheten på elmarknaden har fått stor uppmärksamhet de senaste åren i många länder. Det är främst kombinationen av tre olika utvecklingstrender som satt fokus på området:

avregleringen av elmarknader på 1990-talet, integration av tidigare relativt isolerade nationella elmarknader samt den kraftiga tillväxten av förnybar elproduktion.

Utvecklingen har lett till en situation där det blivit riskabelt för kraftbolag att investera i planerbara kraftverk. Osäkerhet om eventuella pristak samt ökande konkurrens från integrerade grannmarknader och billig vindkraft gör investeringskalkylerna mycket osäkra. Det leder till att många existerande reservkraftverk läggs i malpåse samt att nya kraftverk inte byggs i tillräckligt stor omfattning. Det ökar risken för att det inte skall finnas tillräckligt med kapacitet för att hantera extrema toppar i effektuttaget i framtiden.

Många länder har därför beslutat att studera vilka åtgärder som kan sättas in för att minska dessa risker. I många fall har detta redan lett till konkreta åtgärder.

De slutsatser som kan dras från studien kan sammanfattas enligt:

- Konkreta åtgärder kräver konkreta mål. Många länder har därför börjat med att ta fram mål för den nivå på leveranssäkerhet (resurstillräcklighet) man vill uppnå.
- De länder som gått vidare med konkreta åtgärder har använt de uppställda målen för att styra hur åtgärderna genomförs.
- De flesta länder har tagit fram konkreta numeriska mål medan några få har nöjt sig med kvalitativa mål.

- De flesta länder har även tagit fram ett ramverk för kontinuerlig utvärdering av mål och åtgärder.
- Det finns ett stort intresse för och behov av, regional harmonisering av mål och åtgärder för elmarknader som är sammankopplade med andra elmarknader. Detta gäller främst för länder i Europa.
- Några länder har valt att satsa på så kallade kapacitetsmarknader där ägare till kapacitet erhåller ersättning för att göra kapacitet tillgänglig vilket minskar riskerna förknippade med investeringar i planerbar kraft.
- Ett mindre antal länder har istället valt att försöka minska investerarnas risk genom att garantera att man inte kommer att använda sig av artificiellt låga pristak.
- *Resurstillräcklighetsmål* används oavsett om man har infört eller har för avsikt att införa en kapacitetsmarknad, men alla länder som infört en kapacitetsmekanism har även satt upp resurstillräcklighetsmål som används för att bestämma hur mycket kapacitet som upphandlas.
- I energy only-marknader betraktas prognoser på reservmarginaler som en indikator på *när* ny kapacitet kommer att behövas.
- Det finns ett stort intresse för efterfrågeflexibilitet. Flexibla elkonsumenter erbjuds delta i kapacitetsmarknader eller de marknader som systemoperatörer använder för att upphandla tjänster för systemsäkerhet. Efterfrågeflexibilitet har fått mer spridning på marknader som har infört kapacitetsmekanismer.

Frågeställningarna är likartade, men samtidigt visar studien att alla elmarknader är unika och har sina speciella utmaningar. De mått som används för att formulera mål för leveranssäkerhet (resurstillräcklighet) inom respektive marknad kan uppfattas vara likartade, men kan också ha olika innebörd. Vi bör lära och låta oss inspireras av andra länder, men måste också förstå de speciella utmaningar vi står inför vid formuleringar av hur vi ska säkerställa leveranssäkerheten i Sverige och det nordiska elsystemet. Det är också viktigt att förstå utmaningarna i grannländerna eftersom elmarknaderna blir alltmer integrerade i varandra och beroendet mellan länderna ökar.

Omställning av elsystemet i Sverige

→ **Andelen icke planerbar kraft, främst vindkraft, ökar i det svenska elsystemet, samtidigt som tyngre produktion i form av kärnkraftverk stängs. Det påverkar förutsättningarna för att upprätthålla leveranssäkerheten med de regelverk vi har idag.**

Både nuvarande och tidigare regeringar har drivit på utvecklingen för en omställning av elsystemet mot mer förnybar elproduktion. Det främsta styrmedlet har varit elcertifikatsystemet som infördes 2003. Elcertifikaten innebär en extra intäktskälla för de som investerar i förnybar elproduktion. När systemet var nytt installerades det främst turbiner för biobränslebaserad elproduktion, men på senare år har elcertifikaten främst drivit utvecklingen mot mer vindkraft i Sverige. 2015 producerades ungefär lika mycket el med vindkraft som med kraftvärme. Trenden är likartad i våra grannländer. Danmark och Tyskland är stora vindkraftsländer, men även Polen satsar stort på vindkraft.

Att andelen förnybar elproduktion ökar är positivt, men en stor andel vindkraft i kombination med en stängning av kärnkraftverk påverkar också förutsättningarna för leveranssäkerheten i elsystemet. I syntesrapporten inom Vägval el (Byman (b), 2016) görs en fördjupad analys av ett produktionssystem i Sverige med 100 procent förnybar el utifrån ett nordeuropeiskt perspektiv, baserat på modellsimuleringar till 2050. Simuleringarna visar att det ur ett europeiskt perspektiv är lönsamt att använda de komparativa fördelarna för förnybar elproduktion

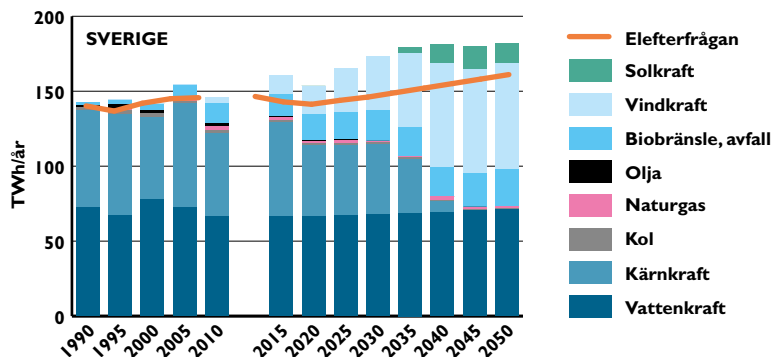
som finns i Sverige och i Norge för att uppnå klimatmålen. (Se diagrammen i figur 3 och 4 på nästa sida.) Men det sker inte helt utan konsekvenser för den svenska elmarknaden. För att kunna producera tillräckligt mycket energi, krävs en mycket stor installerad effekt i framför allt vindkraft. Det kan leda till en mycket volatil elmarknad, med stora svängningar mellan överskott och bristsituationer. Över året är Sverige fortfarande en nettoexportör av elenergi men problem med leveranssäkerheten uppstår i betydligt kortare tidsintervall.

För att kunna hantera en situation med stor andel icke planerbar kraft behövs alternativ tillförsel via import eller reservkraft när vinden inte producerar, en mer flexibel förbrukning och möjligheten att kunna lagra el vid överskottssituationer. Det ställer också stora krav på en anpassning av elnäten inom landet.

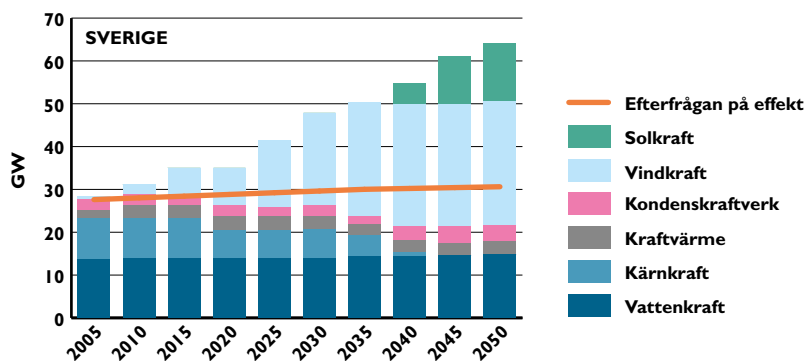
Omställningen mot en betydligt större andel icke planerbar kraft i elsystemet i kombination med stängning av kärnkraftverk påverkar:

- Energibalansen genom sämre möjlighet att klara torrår.
- Effektbalansen genom en ökad och snabbare volatilitet.
- Tillgången till inbyggda systemtjänster, såsom svängmassa och reaktiv effekt, minskar.
- Elnäten genom osäkerhet om var och hur flödena kommer att förändras.
- Förutsättningarna på marknaden eftersom en ökad volatilitet förändrar priskurvan på spotmarknaden.

Figur 3: Elproduktion och elanvändning vid utveckling mot ett 100 procent förnybart elsystem. Källa NEPP/Vägval el syntesrapport 2016.



Figur 4: Installerad effekt och effektbehov i Sverige vid utveckling mot 100 procent förnybart elsystem. Källa: NEPP/Vägval el syntesrapport 2016.



Det finns ingen automatik i dessa konsekvenser, utan de beror helt på vilket regelverk som sätts upp. Med icke planerbar kraft avses både sol- och vindkraft, men under överskådlig tid är det främst vindkraft som kommer ha en inverkan på leveranssäkerheten i Sverige.

I de följande kapitlen diskuteras dessa faktorer och vilka konsekvenser de får för leveranssäkerheten.

Energitillräcklighet

- Sverige har idag en tillfredsställande energibalans, men den försämras i takt med att kärnkraftverk stängs.
- En uthållig tillgång till energi över året kan bli ett problem, om vi inte uppmärksammar frågan och har en beredskap för detta.

I Sverige, med en stor andel vattenkraft, har leveranssäkerheten för elenergi historiskt främst handlat om att klara elförsörjningen under torrår då vattenkraftens produktion är begränsad. Det regelverk som tillämpades före elmarknadsreformen var fokuserat på torrårssäkerhet. Norge som har 100 procent vattenkraft är starkt beroende av att kunna importera el under torrår, vilket är ett skäl till att bygga fler förbindelser till kontinenten och till Storbritannien.

Sverige har en god energibalans och har varit nettoexportör av el de senaste åren. 2015 uppgick nettoexporten till 23 TWh. Prognoser visar att energibalansen på årsbasis kommer vara tillfredsställande under normalår även på lång sikt. Energibalansen handlar emellertid inte om hur det ser ut i genomsnitt ett år, utan om hur uthållig elförsörjningen är över säsonger. De resurser som används för att klara effektbalansen kortsiktigt är inte tillräckligt uthålliga för att klara 100-tals till ett par tusen timmar per år, samtidigt som dessa tidsintervall är för korta för att motivera investeringar i ny kraft. Den största utmaningen uppstår under torrår,

då vattenkraftens produktionsförmåga är begränsad.

Inom de närmaste åren kommer fyra kärnkraftsblock att stängas, vilket kommer att påverka energibalansen negativt. I takt med att ytterligare block stängs, kan tillgången på energi bli ett problem. En klimatutveckling där vattentillrinningens årsfördelning och därmed förutsättningar för magasinering förändras kan även innebära att vattenkraftens leveransförmåga av energi minskar.

Vi vet inte när resterande kärnkraftverk kommer att stängas, eller vilken uthållighet de förnybara kraftslagen kommer att ha ur ett energiperspektiv. Därför är det viktigt att vi uppmärksammar frågan och inte slår oss till ro med att ”energi inte är något problem”, för det kan det mycket väl bli.



Tillräcklig effekt

- Sverige har idag en tillfredsställande effektbalans men med små marginaler.
- Effektbalansen utmanas idag av en snabb utbyggnad av vindkraft i Sverige och i omkringliggande länder, samtidigt som planerbara kraftslag i form av kärnkraft, tas ur bruk. Det ökar behovet av reglerbar kraft och flexibel elförbrukning.
- Det är inte överföringskapaciteten som begränsar möjligheterna till import, utan om det finns kraft att tillgå i angränsande länder.

Med tillräcklig effektbalans avses elsystemets förmåga att få utbud och efterfrågan att mötas. Om elproduktion och elförbrukning inte är i balans kan i värsta fall delar av eller hela systemet kollapsa, vilket kan bli mycket dyrbart. Svenska kraftnät har ansvar för att systemet ständigt är i balans och kan som möjlig nödgång tvingas koppla bort kunder. En sådan oannonserad och ofrivillig bortkoppling skulle inkräkta på leveranssäkerheten. Svenska kraftnät har dock hittills aldrig behövt beordra någon bortkoppling av kunder. (Svenska kraftnät (c), 2015)

Tabell 1 ger en översikt över vilka åtgärder som tillämpas för att hålla elsystemet i balans.

Eftersom elförbrukningen varierar måste det finnas produktionsresurser som kan följa den variationen. I takt med utbyggnaden av icke planerbara kraftslag såsom sol och vind, ökar behoven av reglerförmåga i elsystemet eftersom även delar av elproduktionen blir okontrollerat variabel. Variationerna i vindkraft är dessutom svårare att prognostisera än elanvändningen, som normalt följer likartade mönster.

De olika kraftslagen har olika förutsättningar att producera el med hänsyn till den installerade effekten i systemet. För att kunna producera den energimängd som krävs, vid övergång från kärnkraft till vindkraft, behöver den installerade effekten öka kraftigt. Det gör att vi stundtals kommer ha stora produktionsöverskott med mycket låga elpriser som följd, och stundtals bristsituationer då priset kan öka kraftigt. Det leder till en ökad volatilitet och osäkerhet i marknaden.

Utmaningen består inte i att upprätthålla balansen i sig, det är en fysikalisk grundlag. Är inte elsystemet i balans, kollapsar det. Utmaningen består i att upprätthålla balansen på ett sådant sätt att:

- Konsumenter inte behöver kopplas bort om de inte själva väljer det.
- Tillräckliga marginaler hålls så att plötsliga fel inte gör att konsumenter behöver kopplas bort.
- Balansen upprätthålls på ett ekonomiskt och miljömässigt acceptabelt sätt.

Tillförlitligheten i systemet kan inte vara 100 procent, därför är en relevant fråga vilken nivå som ska hållas. I det nordiska systemet tillåts frekvensen variera $50,0 \pm 0,1$ Hz. Avvikelse utanför dessa gränser måste åtgärdas inom 15 minuter. Faller frekvensen under 48,8 Hz måste elförbrukning kopplas bort för att undvika allvarigare störningar. Dessförinnan ska en automatiserad bortkoppling av elpannor och värmepumpar ha skett. (ENTSO-E, 2016)

Tabell 1: Olika metoder att reglera kraftsystemet inom olika tidsintervall, från svängmassa till elhandel.
Källa: NEPP Reglering av ett framtida kraftsystem, Svenska kraftnät.

Tidsintervall	Reglering	Initieras av	Avgörande för att det ska fungera
0–10 s	Mekanisk svängmassa (momentan störningsreserv). Rörelseenergi i systemet håller det stabilt.	De mekaniska och elektriska grundlagarna	Momentana energilagrar i systemet i form av rörelseenergi.
Sekunder till minuter	Primär- och sekundärreglering Automatisk reglering. I Sverige vanligen vattenkraft	Frekvensändringar på grund av att den upplagrade rörelseenergi i svängmassan ökar eller minskar.	Kraftverken måste vara igång, infasade på nätet och ha möjlighet till upp- eller nedreglering.
Minuter till timmar	Tertiär reglering. Återställer systemet till det normala frekvensspannet 49,9–50,1 Hz. Manuell reglering som inkluderar reglerkraftmarknaden, störningsreserven (gasturbiner) och effektreserven.	Frekvensavvikelse i normal drift, större effektbortfall eller tillfälligt hög förbrukning. Aktiveras manuellt av Svenska kraftnät.	Bud på reglermarknaden eller uppstart av den snabba störningsreserven. Vintertid ingår upphandlad effektreserv.
Inom drift-dygnet	Intra day-marknad Utbud och efterfrågan på den nordiska elbörsen, Nord Pool.	Efterfrågan och utbud sätter ett pris. Timbud på elbasmarknaden.	Aktörer som handlar sig i balans. Ekonomi
1–24 timmar dygnet innan	Spotmarknad Utbud och efterfrågan på den nordiska elbörsen, Nord Pool.	Efterfrågan och utbud sätter ett pris. Timvisa bud på spotmarknaden.	Prognossäkerhet avseende förbrukning och produktion. Ekonomi
Veckor	Tillgänglig styrbar produktion planeras så att den matchar behovet av balans. Sker fram till dygnet innan driftsdygnet. Vattenhushållning i älvarna måste hanteras i ett flerdygnsperspektiv.	Prognoser om förväntat behov samt väderförhållanden.	Tillgång till planerbar elproduktion. Ekonomi
År	Vattenmagasinen i Norden motsvarar cirka 120 TWh el för säsongslagring, varav cirka 30 TWh i Sverige.	Efterfrågan, tillgänglighet i övriga kraftverk, hydrologisk balans, etcetera.	Säsongslager i vattenmagasin. Ekonomi
Flera års sikt	Investeringar i ny kraftproduktion eller överföringskapacitet.	Balans mellan utbud och efterfrågan. Ekonomiska förutsättningar	Ekonomiska förutsättningar. Styrmedel.

SVERIGES EFFEKTBALANS

Sverige har en relativt god effektbalans, men för att säkerställa att utbudet motsvarar efterfrågan de kallaste vintertimmarna upphandlar Svenska kraftnät en effektreserv samt har en så kallad

störningsreserv att tillgå vid risk för effektbrist.⁶ Effektreserven uppgår till max 2000 MW men kommer successivt att trappas ned. Effektreserven består både av förbrukningsreduktioner och av produktionsresurser. (Sveriges Riksdag (b),

2016) En viktig faktor för den svenska effektbalansen är också överföringskapaciteten i stamnätet, eftersom en stor del av produktionen ligger i norra Sverige och förbrukningen finns i södra.

En normal vinter bedöms det högsta effektbehovet uppgå till 25 600 MWh/h, och en tioårsvinter 27 100 MWh/h. Vintern 2015/2016 noterades 26 883 MWh/h. Det högsta effektbehov som har uppmätts i Sverige är 27 000 MWh/h och inträffade 2001. Med vinter avses perioden 16 november till 15 mars. (Svenska kraftnät (d), 2016)

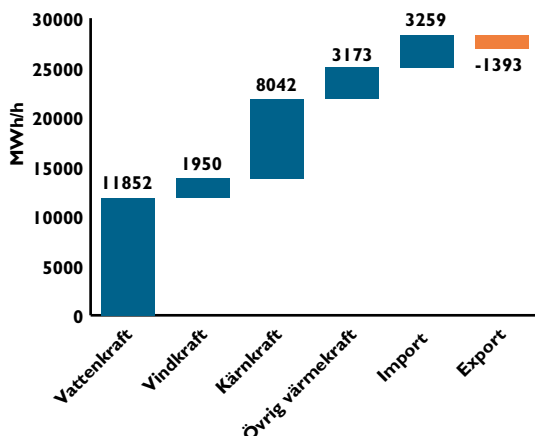
I diagrammet visas hur effektbehovet tillgodosågs den mest ansträngda timmen under vintern 2015/2016. Att Sverige importerade el behöver inte indikera att det inte fanns produktionsresurser inom landet, eftersom priset avgör vilken kapacitet som tas i anspråk. I den timmen fanns reserver att tillgå i Sverige (1 217 MW) och i den övriga Norden (1 201 MW), inklusive upphandlad effektreserv. Marginalerna bedömdes emellertid av Svenska kraftnät som små. (Svenska kraftnät (d), 2016)

Den totalt installerade effekten i Sverige uppgår till 40 600 MW⁷ (41 GW), medan den till-

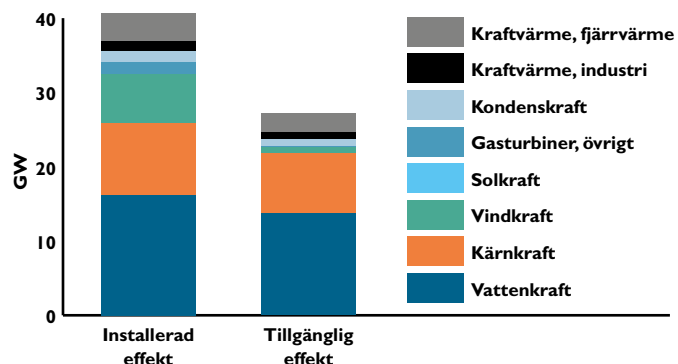
Tabell 2: Tillgänglighetsfaktorer för olika krafslag. Källa: Svenska kraftnät.

	Tillgänglighetsfaktor exkl. anläggningar som inte är i drift	Tillgänglighetsfaktor inkl. anläggningar som inte är i drift eller gasturbiner som ingår i störningsreserven
Vattenkraft	85 %	85 %
Kärnkraft	90 %	84 %
Övrig kondenskraft	90 %	58 %
Vindkraft	11 %	11 %
Kraftvärme	90 %	70 %
Gasturbiner	90 %	15 %
Solkraft	0 %	0 %

Figur 5: Tillförsel av effekt den högsta timmen, 15 januari, kl. 8–9, totalt 26 883 MW. Källa: Svenska kraftnät. (Svenska kraftnät (d), 2016).



Figur 6: Total installerad effekt och bedömd tillgänglig effekt under vintern. Källa: Svenska kraftnät.



gängliga effekten bedöms uppgå till 27 153 MW (27 GW). För att räkna om installerad effekt till tillgänglig effekt används en tillgänglighetsfaktor. Den tas fram baserat på hur mycket respektive kraftslag kan förväntas producera när behovet är som störst. Alla anläggningar är inte heller i drift, vilket sänker nivån ytterligare. I Tabell 2 på föregående sida redovisas vilka tillgänglighetsfaktorer Svenska kraftnät räknar med (Svenska kraftnät (d), 2016). Det kan tilläggas att detta är en form av genomsnittssiffra som kan variera mycket mellan olika situationer, både uppåt och nedåt.

Inför vintern 2016/2017 bedömdes tillgänglig importkapacitet uppgå till 10 335 MW (10,3 GW). Det är normalt inte överföringskapaciteten i sig som begränsar möjligheterna till import. Det som avgör är om det finns kraft att tillgå i angränsande länder. Om det är kallt och hög förbrukning i grannländerna, räknar Sverige med att kunna importera från Norge och Tyskland, men inte från Danmark, Finland, Polen eller Litauen. Det händer också att importen kan begränsas av nätskäl.

VATTENKRAFTEN ÄR DEN VIKTIGASTE REGLERRESURSEN

Förutom att vattenkraften står för närmare hälften av elproduktionen är det den viktigaste reglerresursen i elsystemet. Vattenkraften bidrar till alla typer av reglering, från säsongreglering över året, ned till sekundsnabb reglering för att upprätthålla frekvensen på 50 Hz i systemet. Det finns även flerårsmagasin i det nordiska systemet. Den största delen av vattenkraftens reglerförmåga tas i anspråk för dygnsregleringen, det vill säga för att anpassa produktionen efter förbrukningens normala variation över dygnet.

Vattenkraftens reglerbarhet varierar över året. Vid stor tillrinning i samband med vårfloden är regleringsmöjligheterna små. Störst reglerbarhet uppstår oftast vintertid när tillrinningen är lägre, vilket ger större möjligheter att bestämma tappningsnivå. Dock kan isproblem tidvis begränsa reglerförmågan. Vattenhushållning i älvarna måste hanteras ur ett flerdygnsperspektiv efter-

som produktionen i ett kraftverk påverkar tillflöden i nedströms liggande kraftverk med en tidsfördröjning på en till några timmar. Längs en hel älv kan tidsfördröjningen uppgå till ett par dygn.

Behovet av vattenkraft som reglerresurs ökar i takt med utbyggnaden av kraftproduktion som inte kan styras, såsom sol och vind, samt vid mer handel med länder som också har behov av dygnsreglering. Vilken reglerkapacitet för olika tidsspann som kommer att behövas är svårt att bedöma. Det beror på väldigt många olika parametrar, till exempel vindkraftens variation i amplitud och hastighet, vindkraftsoverskott i andra länder, elanvändningsnivå, tillrinningsnivå i vattendragen och överföringskapacitet mellan olika områden. (Byman (a), 2016) Vattenkraften är främst belägen i norra Sverige, medan behovet av reglerkapacitet ökar i södra Sverige.

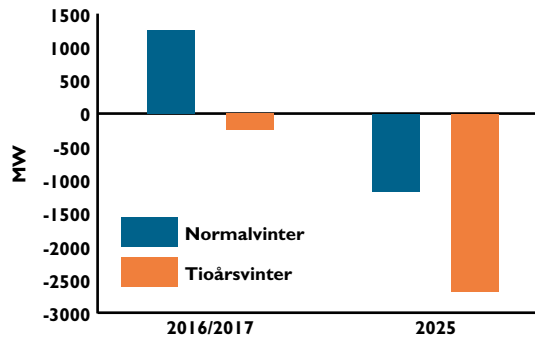
Läs mer om de tekniska egenskaperna hos ett kraftsystem i Bilaga 1.

TILLGÄNGLIG EFFEKT OCH UTVECKLING FRAMÅT

Idag har Sverige en tillräcklig effektbalans men med små marginaler. (Svenska kraftnät (d), 2016) Det beror på en hög andel planerbara kraftslag, totalt 80 procent, och en hög anslutningsgrad till omkringliggande länder, vilken motsvarar 26 procent av total installerad effekt i landet. Den effektreserv som upphandlas av Svenska kraftnät är en försäkring om att effektbalansen ska kunna upprätthållas även den kallaste timmen en tioårs vinter.

De närmaste åren kommer fyra av tio kärnkraftsreaktorer tas ur drift för gott. Ett verk står redan och det är Oskarshamn 2, därutöver kommer även Oskarshamn 1, Ringhals 1 och Ringhals 2 att stängas senast 2020. De fyra reaktorerna har en sammanlagd effekt på 2 855 MW (2,9 GW). Samtliga kärnkraftverk ligger i elområde 3 (SE3), i södra Sverige. Även om det finns energiresurser i form av vattenkraft i norra Sverige, kan begränsningar i stamnätet göra att den inte är tillgänglig. Det kan i sin tur bidra till obalanser och högre elpriser i södra Sverige.

Figur 7: Svensk kraftnäts bedömning av effektbalansen nuvarande vinter samt hur effektbalansen kan förändras fram till 2025 efter att 4 kärnkraftsreaktorer har tagits ur drift. Källa: Svenska kraftnät.



Behovet av reglerkraft ökar eftersom både vi i Sverige och våra grannländer kommer att fortsätta att bygga ut vindkraft. Vattenkraften måste därför bli mer flexibel och kunna erbjuda mer effekt när det behövs. Kapaciteten kan behöva öka i befintliga vattenkraftverk.

Effektbalansen handlar både om att kunna tillgodose elbehovet den kallaste vintertimmen och att produktionsapparaten har förmågan att följa efterfrågans variation. Den utmaningen Sverige har nu är att andelen icke planerbar kraft ökar i systemet vilket gör att det måste finnas flexibla produktionsresurser som även kan balansera en variabel elproduktion, främst vindkraft. Skillnaden mellan en variabel efterfrågan och vindkraft är att det är svårare att prognostisera en variabel vindkraftsproduktion och effektvariationerna (amplituden i förändringen) kan bli större. Samtidigt ser vi en teknisk utveckling som möjliggör en ökad förbrukningsflexibilitet som kan bidra till att upprätthålla balansen.

En stor osäkerhet på lite längre sikt är den faktiska livslängden för de resterande sex 1980-tals-reaktorerna. Om de fungerar och är lönsamma i 60 år så kommer samtliga att kunna vara i drift fram till 2040. Om de istället stängs efter samma tid som de fyra 70-tals-reaktorerna som stängdes efter i genomsnitt 44 år, så kommer det inte finnas någon kärnkraft alls år 2030. Eventuellt hamnar vi någonstans däremellan. Detta är en stor och viktig osäkerhet för hur snabbt vi i Sverige kommer få behov av ny kraft.

Energikommissionens slutrapport innehåller ett förslag om att förlänga elcertifikatsystemet med 18 TWh ny produktion inom intervallet 2020–2030. Det kan förväntas att en stor del av denna produktion kommer utgöras av vindkraft eftersom vindkraft är det produktionsslag som har lägst totalkostnad per megawattimme vid nyinvestering.

I figur 7 visas Svenska kraftnäts bedömning av hur effektbalansen under den kallaste vintertimmen kan påverkas av nedläggningen av fyra reaktorer fram till 2025, jämfört med nuvarande vinter. Bedömningen inkluderar inte nya tekniska lösningar eller marknadslösningar för ökad efterfrågefleksibilitet.

ÖKAD RISK FÖR EFFEKTBRIST

Risken för effektbrist kan öka när andelen icke planerbar kraft ökar i systemet om vi inte uppmärksammar frågan och vidtar åtgärder. De *utmaningar* vi har att hantera är att:

- Elproduktionen blir volatil och är svår att prognostisera.
- Bristande lönsamhet att bygga ut planerbar kraft.
- Låg efterfrågefleksibilitet.
- Ökat behov av lagringskapacitet.
- Begränsade möjligheter att importera kraft.

Nedan diskuteras utmaningarna närmare.

Volatil elproduktion är svår att prognosticera

Vindkraften varierar stokastiskt över året och kan endast prognostiseras fram till något eller några dygn före leverans. I diagrammet i figur 8 visas hur vindkraftsproduktionen varierade per timme i Sverige under februari 2016. Vattenkraft är ett utmärkt komplement till vindkraft förutsatt att det finns tillräckligt med reglerkapacitet och överföringskapacitet mellan de aktuella områdena. För att vattenkraften ska kunna hantera en storskalig utbyggnad av vindkraft, inte bara i Sverige, utan inom hela den elmarknad vi är en integrerad del av, krävs en anpassning av produktionsförutsättningarna. Rent tekniskt kan kraftverken behöva byggas om vilket berör hela vattensystem då kraftverken ligger efter varandra. Vattenkraften står för 95 procent⁸ av hanteringen av obalanser på elmarknaden, men dessa resurser finns främst i norra Sverige medan behovet av reglerkraft är störst i södra Sverige. Därför behövs mer reglerkapacitet även i södra Sverige.

Bristande lönsamhet i att bygga ut planerbar kraft

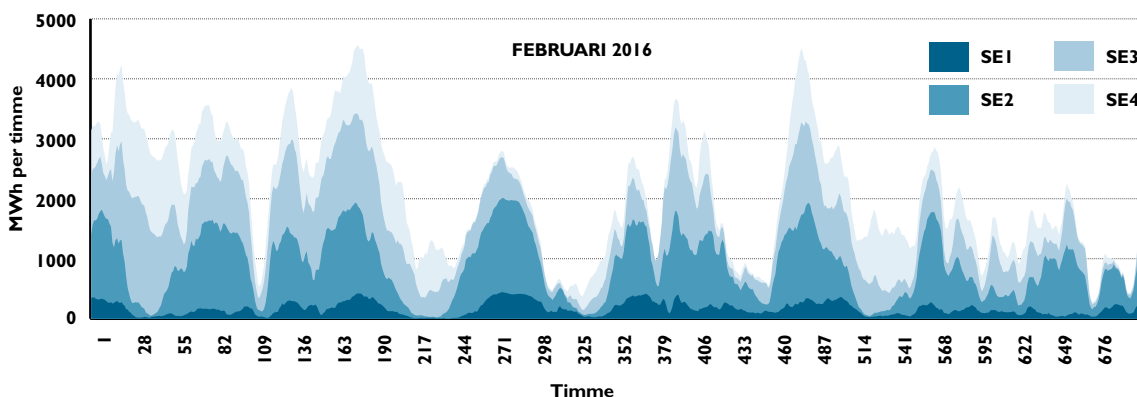
Elpriserna har fallit under senare år av flera orsaker. Elanvändningen mattades av efter finanskrisen 2008 och skiffergasrevolutionen i USA

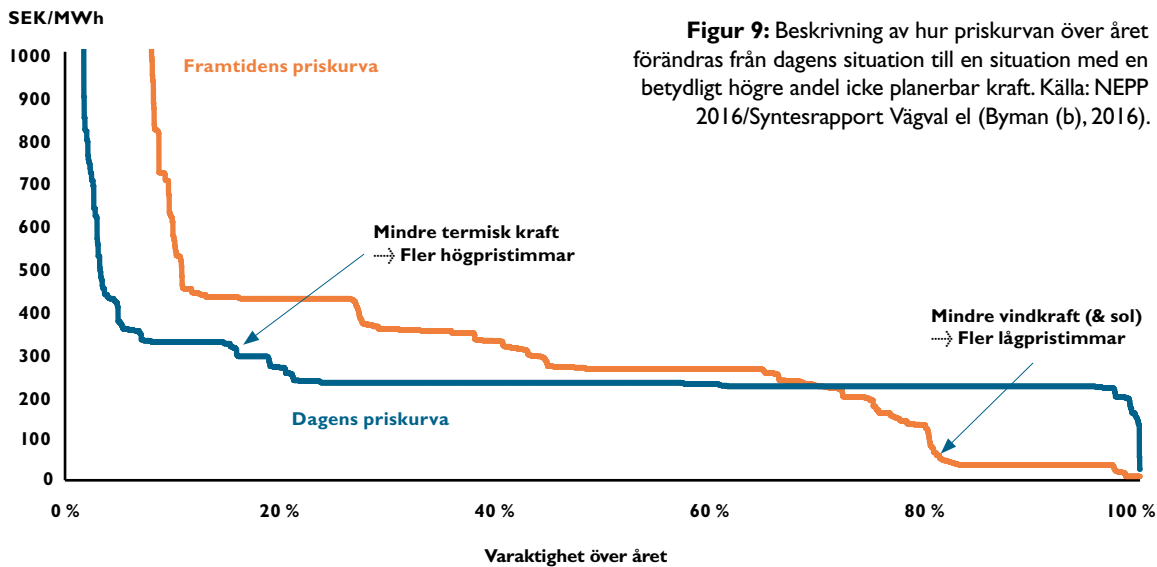
har bidragit till lägre kolpriser vilket har sänkt marginalkostnaden för elproduktion i Europa (Byman (b), 2016). Subventioner till förnybar el har ökat tillgången på sol- och vindkraft. Spotpriset på elmarknaden pressas därför också periodvis av god tillgång på sol- och vindkraft, inte minst i Tyskland. Det minskar utrymmet för konventionella kraftverk som stängs eller läggs i malpåse. I ett system med mer volatila priser kommer både antalet högkostnadstimmar och antalet lågkostnadstimmar att öka, vilket illustreras i Figur 9. För ”reservkraft” som ska användas vid högt behov och låg vindkraftsproduktion, till exempel gasturbiner, så är det framför allt priserna vid dessa situationer som är centrala.

Låg efterfrågeflexibilitet

Idag är priselasticiteten generellt sett väldigt låg på elmarknaden. Det beror främst på att det inte är lönsamt att göra förbrukningen flexibel men det finns tillgänglig teknik som skulle kunna implementeras då det blir lönsamt. Många kunder har fortfarande avtal med bundet elpris, men även rörliga elavtal justeras oftast per månad⁹ vilket inte ger incitament att anpassa elanvändningen, till exempel inom dygnet. Dessutom kan elnätsföretagen i dagsläget inte köpa flexibilitet.

Figur 8: Vindkraftsproduktionen i Sverige per timme under februari 2016. Diagrammet visar den ackumulerade vindkraftsproduktionen men fördelat per elområde. Källa: Svenska kraftnät, statistik www.svk.se





Den elintensiva industrin är det kundsegment som bäst svarar på förändringar i elpris. Industrin bidrar med efterfrågefleksibilitet genom deltagande i budgivningen på spotmarknaden och genom deltagande vid Svenska kraftnäts upphandling av effektreserven. Teoretiskt sett skulle industrin även kunna bidra med effektreglering på reglerkraftsmarknaden, men det är mer kostnadseffektivt att använda vattenkraft. Vid behov av mer reglerkapacitet i södra Sverige skulle industrins bidrag kunna vara ett alternativ.

Inom Vägval els arbete kring framtidens elanvändning gjordes en bedömning av potentialen för efterfrågefleksibilitet. Det finns olika typer av efterfrågefleksibilitet. Antingen kan elanvändningen flyttas i tid, vilket till exempel kan gälla elanvändning för uppvärmning, drift av hushållsapparater eller laddning av elbilar. Eller så kan elanvändningen reduceras permanent under en viss tidsperiod, vilket i vissa fall kan realiseras inom industrin. Effektstyrning är främst lämplig inom industrier som har värmetröga laster eller buffertkapacitet i produktionen. Flera industrier för mekanisk massproduktion är redan aktiva på elmarknaden idag.

Effektreduktioner inom industrin är tillgängliga endast några gånger per år. För att hushållen ska kunna bli mer aktiva på effektmarknaden krävs sannolikt en ökad grad av automatisering och andra incitament än vad som är tillgängliga i dagsläget. Det har gjorts flera studier inom området, och den framtida potentialen för effektreduktion uppskattas till mellan 3000 och 4500 MW, där ungefär hälften finns inom industrin och hälften inom bostadssektorn, framför allt småhus med eluppvärmning. (Liljeblad, 2016)

Ökat behov av lagring

Vattenkraft utgör idag den viktigaste lagringsmöjligheten för el, både över säsong och i det korta perspektivet. Behovet av att kunna lagra energi för att ta tillvara på el vid överskott, för att använda när tillgången är begränsad, kommer att öka. Behoven kan särskilt komma att öka lokalt, eftersom elnäten är en flaskhals och en stor del av den icke planerbara kraftproduktionen byggs decentraliserat. Det finns potential för att öka flexibiliteten och lagringsmöjligheterna i vattenkraften och eventuellt även komplettera den med pumpkraftverk. För-

utom vattenkraft finns det flera olika tekniker för att lagra el, vilka beskrivs i IVA-rapporten Energilagring, teknik för lagring av el (Nordling (a), 2015). På frammarsch är till exempel batterier där kostnaderna har fallit kraftigt på senare år. Batterier används främst för småskalig lagring och i det kortare perspektiv upp till något dygn. Större volymer energi kan lagras genom konceptet ”power to gas”. Att lagra el i form av gas är teknik man tittar mycket på ibland annat Tyskland och Danmark. Alternativa lagringstekniker är dock fortfarande dyra och det krävs också en utveckling av nödvändig infrastruktur.

Begränsade möjligheter att importera kraft från närliggande länder

Sverige har en god anslutningsgrad till andra länder. Oftast är det emellertid inte tillgången på överföringskapacitet som är den begränsande faktorn utan tillgången på produktionskapacitet på andra sidan gränsen. Flera av våra grannländer har samma ambitioner att bygga ut förnybar elproduktion, gärna vindkraft. Det kan begränsa möjligheterna ytterligare att importera effekt vid behov eftersom väderförhållandena kan vara likartade i närliggande länder. Hur förutsättningarna utvecklas beror på hur väl det regionala samarbetet kring leveranssäkerhet kan utvecklas.

Tillgång till inbyggda systemtjänster minskar

- Systemtjänster i form av svängmassa och reaktiv effekt är viktiga för att upprätthålla stabiliteten i elsystemet.
- Tillgången till dessa inbyggda systemtjänster minskar i elsystemet när tyngre anläggningar tas ur drift.
- Stabiliteten i elsystemet påverkas också av nuvarande marknadskonstruktion där handel sker per timme, medan variationerna i vindkraftsproduktion och elförbrukning är kontinuerliga.

Flera av de tekniska egenskaper eller ”systemtjänster” som elsystemet är beroende av för att vara driftsäkert har vi hittills kunnat ta för givna då de finns inbyggda i till exempel kärnkraftverk och vattenkraftverk. Vindkraft och solkraft har begränsade möjligheter att leverera dessa tjänster. I takt med att kärnkraften stängs och ersätts med vindkraft, minskar förutsättningarna att upprätthålla driftsäkerheten i systemet. Frågan behöver därför uppmärksammas så att systemtjänsterna i framtiden kan säkerställas på effektivt sätt.

Sveriges elproduktion domineras av kraftslag med stora, tunga turbiner och synkrongeneratorer, framför allt kärnkraft och vattenkraft. De roterar med en hastighet som är proportionell med den elektriska frekvensen, 50 Hz. Tillsammans utgör de en upplagrad rörelseenergi som fungerar som en snabb buffert om det uppstår obalanser mellan inmatad och uttagen effekt. Denna rörelseenergi brukar benämnas svängmassa. Svängmassan har en stor betydelse för

systemets störningstålighet och reglerbarhet. (Karlsson, 2016)

Förutom svängmassa tillhandahåller synkrongeneratorerna även reaktiv effekt. Reaktiv effekt behövs för att upprätthålla spänningen och därmed överföringsförmågan i transmissionsnätet. Det finns även alternativa tekniska lösningar för att tillhandahålla reaktiv effekt, till exempel kondensatorer och reaktorer. Spänningshållning är något som måste ske lokalt i nätet, vilket gör att det kan finnas geografiska begränsningar till var den kan placeras. (NEPP, 2016)

Det uppstår årligen ett stort antal fel i näten

Systemtjänster

Systemtjänster betecknar alla typer av ”tjänster” som systemoperatören kan behöva för att hålla systemet driftsäkert, men som den själv inte råder över. Systemtjänster kan ha olika fysikaliskt innehåll.

Exempel på systemtjänster är svängmassa, automatisk frekvensreglering och reaktiv effekt. Dessa finns i systemet av historiska skäl. Större delen av kraftsystemet byggdes före avregleringen och optimerades då avseende nät, svängmassa, aktiv och reaktiv effekt med mera. Förmågan är inbyggd i systemet. Även den upphandlade reglerkraftmarknaden är en form av systemtjänst, en tjänst för att elsystemet ska fungera. De som idag levererar systemtjänster har inte alltid någon egen vinning av det. Därför diskuteras idag prissättning och upphandling av systemtjänster.

men det är mycket sällan det leder till större störningar och strömavbrott för elkunder. Det beror just på att det finns marginaler i form av stor tillgång på systemtjänster i elnäten. (Svenska kraftnät (b), 2015)

När kärnkraftverk stängs och andelen vindkraft ökar i det svenska elsystemet, minskar tillgången på dessa inbyggda systemtjänster. Redan nu finns tecken på att robustheten i elsystemet har försämrats genom att frekvensavvikelserna har ökat.

FREKVENSAVVIKELSER

För normal drift tillåts frekvensen variera mellan 49,9 och 50,1 Hz. 0,1 Hz motsvarar en aktivering av frekvensreglerande produktion på cirka 600 MW. Vid 50,0 Hz är den aktiveringen lika med noll. Kvaliteten på frekvensen är ett mått på kraftsystemets förmåga att hantera störningar och upprätthålla stabil drift.

Svenska kraftnät har satt upp som driftssäkerhetsmål att avvikelser utanför intervallet 49,9 till 50,1 Hz inte får överstiga 10 000 minuter per år. (Svenska kraftnät (f), 2016) 2013 uppgick avvikelserna emellertid 11 428 minuter och 2014 till 10 365 minuter. Det nordiska kraftsystemets frekvenskvalitet har successivt försämrats under en följd av år vilket är en indikation på att risken för allvarliga driftsstörningar har ökat. Det är därför nödvändigt att vidta åtgärder för att komma till rätta med den bristande frekvenshållningen. (Svenska kraftnät (c), 2015)

Att frekvensavvikelserna utanför de tillåtna gränserna ökar är ett problem eftersom det även direkt minskar systemets förmåga att stå emot störningar. För att hantera sådana avvikelser används den automatiska störningsreserven som därmed inte är tillgänglig i samma omfattning för andra typer av störningar. Se översikt i Tabell 1.

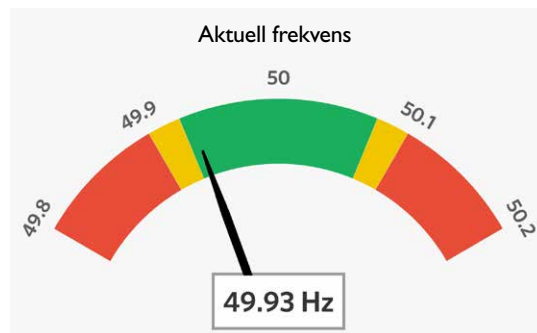
Orsakerna till frekvensavvikelserna är komplexa och beror inte enbart på att andelen icke planerbar kraft har ökat. En bidragande orsak är även nuvarande marknadskonstruktion där elpriset sätts per timme. Den planerbara elproduktionen genomför stora förändringar per timme, medan elförbrukningen och vindkraften förändras långsammare och oberoende av specifika klockslag. Motsvarande så kallade ”tim-

skiften” sker även vid import respektive export av el. Det får som följd att stora reglerbehov uppstår som måste hanteras för att upprätthålla balansen i systemet. (Svenska kraftnät (b), 2015)

ALTERNATIVA LÖSNINGAR FÖR SVÄNGMASSA

Det finns alternativa lösningar för att förse elsystemet med momentan energi när mängden svängmassa minskar. Så kallad syntetisk svängmassa kan skapas genom att förse vindkraftverk och HVDC-länkar med en särskild styrutrustning så att de snabbt kan leverera aktiv effekt när frekvensen faller i näten. Tekniken är under utveckling och förutspås bli kommersiell inom en nära framtid. (Svenska kraftnät (c), 2015) Även batterier kan användas för att kompensera för minskande svängmassa i systemet förutsatt att aktivering av den lagrade energin kan ske inom delar av en sekund. Andra lösningar är att skapa alternativa roterande massor genom till exempel synkronkompensatorer som i princip är en elmotor som går på tomgång. Ett annat alternativ är att låta fler produktionsanläggningar vara i drift på en lägre effekt. Det ökar mängden roterande massa i systemet men är inte kostnads effektivt. Problematiken med svängmassa är en gemensam nordisk fråga och kan inte lösas isolerat inom Sverige. (Svenska kraftnät (e), 2016)

Figur 10: På Svenska kraftnäts hemsida visas fortlöpande balansen i elsystemet. Källa: www.svk.se



Tillräcklig och säker tillgång till elnät

- > Ett effektivt elnät stöttar marknadens funktion och möjliggör en tillfredsställande effektbalans.
- > Leveranssäkerheten i elnäten påverkas av omställningen av energisystemet och utbyggnad av icke planerbar kraft i de lokala näten.
- > Föråldrade detaljplaner och omfattande tillståndsprocesser begränsar modernisering och utbyggnad av lokalnät i växande städer, vilket försämrar leveranssäkerheten i storstadsregioner.
- > Det finns ingen tydlig ansvarsfördelning mellan lokalnät och överliggande nät om vem som ska tillgodose kapacitetsbehovet för de lokala delsystem som städerna utgör.
- > Alla kunder har rätt till samma leveranssäkerhet men kostnaderna för detta varierar beroende på kundtäthet i näten och geografiska förutsättningar; skillnaderna i nätavgift kan vara mycket stora mellan tätort och glesbygd.

Med överföringskapacitet avses elsystemets förmåga att binda samman producenter och konsumenter av el och att därmed också bidra till en effektiv handel med el. Ett effektivt elnät stöttar därför också en fungerande elmarknad och möjligheterna att uppnå en tillfredsställande effektbalans. En hög leveranssäkerhet och tillgänglighet innebär att elnätet levererar el när

det behövs och med få avbrott. (Nordling (b), 2016)

Överföringskapacitet omfattar lokala och regionala nät och det nationella transmissionsnätet, samt kablar till omkringliggande länder. Tillgängligheten i det svenska elsystemet är 99,974 procent (2015) och då inkluderas alla typer av avbrott, såväl annonserade som oannonserade. (Energimarknadsinspektionen (b), 2016)

Sedan 2003 finns bestämmelser i ellagen om att överföring av el ska vara av god kvalitet. Dessa bestämmelser har bland annat kompletterats med regler om maximalt antal elavbrott som en elanvändare får drabbas av för att överföringen ändå ska anses vara av god kvalitet. Om en kund drabbas av fler än tre elavbrott anses överföringen inte vara av god kvalitet. Elnät på landsbygden drabbas i genomsnitt både av fler och längre avbrott än nät i tätorter. Det beror på att landsbygdsnäten är mer exponerade mot väderrelaterade störningar än nät i tätorter, och att de också ofta är utformade utan redundans vilket gör att enstaka fel får större konsekvenser.

De samhällsekonomiska kostnaderna för elavbrott under 2015 bedömdes till cirka en miljard kronor. Kundkategorin handel och tjänster drabbades av 60 procent av elavbrotten och industrin av 30 procent av den totala kostnaden. Resterande är hushåll, offentlig verksamhet och jordbruk. (Energimarknadsinspektionen (b), 2016)

I diagrammet nedan visas antalet oannonserade elavbrott i svenska lokalnät 2003 till 2015. Statistiken anger om felet beror på problem i det lokala nätet eller i överliggande nät. 2015 upp-

gick det genomsnittliga antalet till 1,2 avbrott per kund. Det finns ingen tydlig trend om avbrotten ökar eller minskar. Under vissa år har svåra stormar medfört långvariga avbrott; 2005 ”Gudrun”, 2007 ”Per” och 2011 ”Dagmar”. Under stormen Gudrun uppgick det genomsnittliga avbrottet per kund till 890 minuter. Normalt varierar den genomsnittliga avbrottstiden mellan 75 och 150 minuter.

UTMANINGAR FÖR LOKAL- OCH REGIONALNÄT

Leveranssäkerheten har förbättrats i flera av de lokala och regionala näten under senare år. Det störst hotet mot leveranssäkerheten i näten är stormar och nedfallande träd över ledningarna. Efter stormen ”Gudrun” 2005, infördes ett krav på att elavbrott som huvudregel inte får vara längre än 24 timmar. Det finns också krav på antalet oaviserade långa avbrott, trädsäkring av luftledningarna och spänningskvalitet. Nätbolagen har under de senaste 10–15 åren gjort stora investeringar för att höja leveranssäkerheten i näten genom att ersätta luftledningarna med nedgrävda kablar. Det har bidragit till att minska konsekvenserna när stormarna drar fram. (Energiföretagen Sverige, 2016) Leveranssäker-

heten i de svenska lokalnäten är dock totalt sett fortfarande mycket väderberoende.

Förutom olika väderförhållanden påverkas leveranssäkerheten i lokal- och regionalnät av investeringar i vindkraft och urbaniseringen. Båda faktorerna påverkar flöden och balans i elnäten.

Regionnäten har redan idag en kapacitetsmättad när det gäller anslutningar av vindkraft och står nu inför eller genomför, kapacitetsförstärkningar för att möjliggöra planerade vindkraftsprojekt. (Nordling (b), 2016)

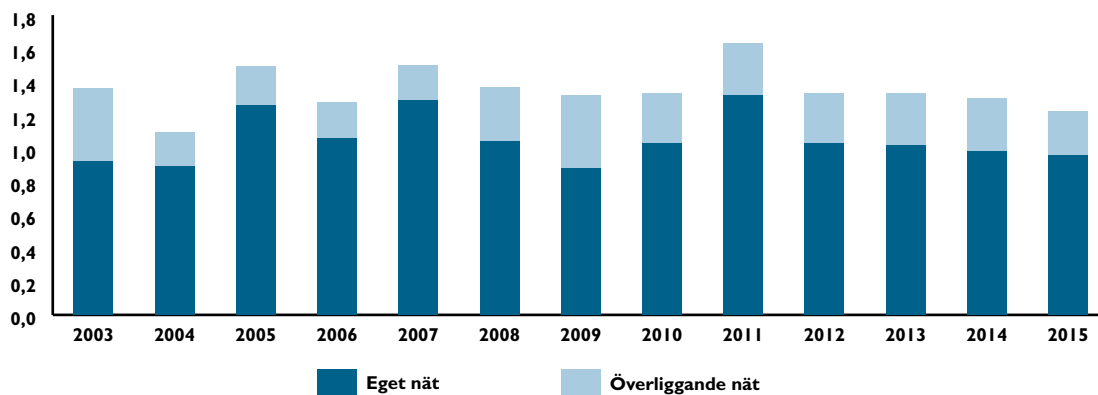
Förändrade förbrukningsmönster kan vara mycket positiva om det innebär en ökad flexibilitet med hänsyn till belastningen i näten. Ökad användning av elbilar kan både vara positivt eller negativt för det lokala nätet, beroende på hur och när bilarna laddas.

TILLSTÅNDSPROCESSER ÄR EN FLASKHALS

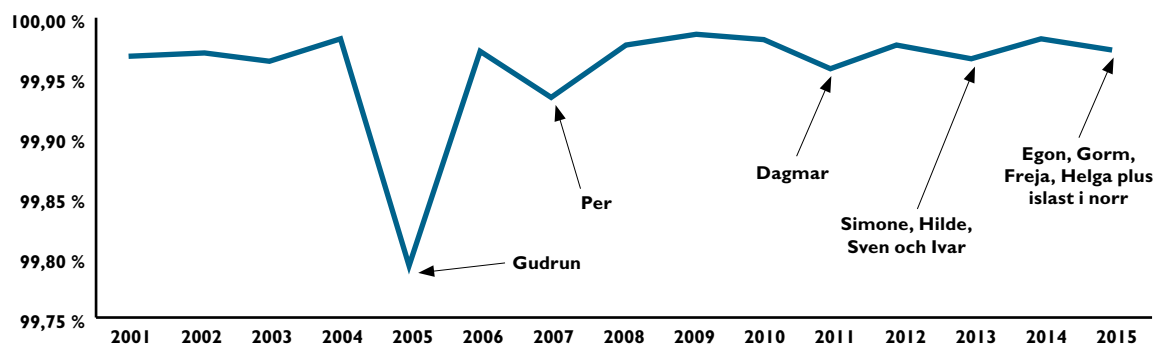
En stor utmaning för elnätsbolagen är att hantera tillväxten i städerna i kombination med ett åldrande elnät som behöver moderniseras för att möta stadens ökade krav på en avbrottsfri eller leverans. Modernisering och expansion av stadsnäten har en tydlig ”NIMBY”-problematik

Figur 11: Antal oannonserade elavbrott på över tre minuter per kund och år.

Källa: (Energimarknadsinspektionen (b), 2016)



Figur 12: Leveranssäkerhet i de svenska elnäten. Källa: Energiföretagen Sverige.



(”not in my back yard”) i kombination med konkurrens om markutnyttjande för byggnation, vilket kan försena och fördyra elnätsprojekt. Även tillståndsprocesserna är en stor flaskhals som är tidskrävande och kräver resurser från Energimarknadsinspektionen, lantmäteriet och elnätsbolagen. Städernas detaljplaner är i många fall väldigt gamla, vilket innebär att redan en ombyggnation av en nätanläggning kan driva fram en detaljplaneändring vilket är en omfattande tillstånds- och administrationsprocess. En möjlig väg framåt för att underlätta för elnätsbolagens moderniseringsarbete är att staden tidigt i planarbetet upplåter utrymmen i städerna för elnätsinfrastruktur, vilket skapar rimliga förutsättningar för en snabbare och säkrare process för moderniseringsarbetet av elnätet i framtiden. Det krävs även en snabbare hantering och flexibla samrådsprocesser på myndighetsnivå.

VÄXANDE STÄDER UTMANAR LEVERANSSÄKERHETEN

De samhällsprojekt som kommer med tillväxten i städerna är av sådan hastighet och storlek att det skapar svåröversägliga kapacitetsbehov för de underliggande elnäten. Det i sin tur skapar svårigheter för stam- och regionnätoperatören att bedöma behovet och hinna genomföra nödvändiga investeringar.

Om kapaciteten i överliggande elnät inte kan tillgodoses på kort sikt står städerna inför en problematik med ett behov av att ansluta mer bostäder, företag och infrastruktur utan möjlighet att med säkerhet tillgodose effektbehovet under vissa perioder med höglast, såsom vid köldknäppar eller under en extremsituation där extra behov av effekt uppstår. För elnätsägarna är det svårt att fullt ut förstå behovet vid extremt väder under längre tid (till exempel -25 grader i en vecka) på grund av den stora andelen värmepumpar där tillsatsvärmepumpen kopplas in först när det är en extrem köldperiod.

Det finns ingen klar ansvarsfördelning om vem som ansvarar för att tillgodose kapacitetsbehovet för de lokala delsystemen som städerna utgör. Utmaningen blir skarp för de underliggande elnäten som är den första infrastrukturen som måste vara på plats för att möjliggöra stadens tillväxtbehov via den anslutningsplikt som föreligger, och att därefter enligt gällande lagstiftning upprätthålla eller förbättra den leveranssäkerhet som samhället kräver. Om inte effektbehovet kan tillgodoses av överliggande elnät kan de underliggande elnäten (region- och lokalnäten) behöva utvidga sin roll för att säkra effektbehovet genom ökad samverkan och styrningsmekanismer lokalt i staden som exempelvis en ökad efterfrågeflexibilitet eller ökad integration med fjärrvärmesystem med tillgänglig kraftvärme.

Frågan om vem det är som bär ansvaret att säkerställa lokal effektproblematik för städer som växer är oklar på kort- och medellång sikt. Om underliggande elnät ska hantera lokal effektproblematik måste den samhällsekonomiska nyttan vara tydlig eller alternativet inte möjligt i kortare tidsperspektiv, det vill säga att öka nätkapaciteten från överliggande nät.

EFTERFRÅGEFLEXIBILITET OCH EFFEKTIVT UTNYTTJANDE AV ELNÄTET

En högre grad icke planerbar produktion i lokalnäten innebär nya förutsättningar för att bibehålla en hög leveranssäkerhet i berörda elnät. En ökad efterfrågefleksibilitet baserad på timavräkning och nya krav på elmätarna kan göra det möjligt för elnätsbolagen att erbjuda effekttariffer för att styra bort konsumtion när elnäten är ansträngda. Det är svårt att förutse potentialen i ökad efterfrågefleksibilitet. Det krävs en mer automatiserad styrning i hemmet för att tariffsignalerna ska slå igenom mot kunderna och kunna underlätta effektproblematiken de timmar under året den kan uppstå.

Tarifferna kan i ett första skede ge ”fasta ekonomiska incitament” till exempel genom att elnätseffekt är dyr morgon och kväll under vintern. Det kan även behövas extra incitament när det uppstår flaskhalsar för att skydda kunderna och samtidigt lösa en knapphet i elnätseffekt. Flaskhalsar kan uppstå vid oväntat hög eller låg förbrukning, variationer i förnybar elproduktion eller driftstörningar. Idag kan elnätsbolagen vädja till kunderna om återhållsamhet vilket har visat sig ha viss positiv inverkan. Lösningen borde dock snarare vara att elnätsbolagen ges möjlighet att köpa flexibilitet, såsom EU-kommissionen har föreslagit i vinterpaketet.

De direkta nyttorna för elnätsbolagen med användarflexibilitet är minskade nätförluster, sänkta kostnader för överliggande och angränsande nät samt möjligheten att undvika eller skjuta upp investeringar i elnäten.

Lokala energilager har potential att påverka effektuttag och inmatning mer än ren användarflexibilitet till följd av sin förutsägbarhet i fråga om kapacitet och tillgänglighet. Lokala energi-

lager blir därför ett viktigt komplement för en effektiv och säker dimensionering av elnäten vid ett mer flexibelt förbruknings- och produktionsmönster.

Fjärrvärmesystem med kraftvärme skulle kunna bidra med mer flexibilitet genom att höja temperaturen och lagra värme inför köldknäppar, och därmed kunna prioritera elproduktion när effektuttaget ökar. Ökad samverkan med fjärrvärmesystem kan övervägas i lokala energisystem om det är samhällsekonomiskt motiverat, det vill säga lösningar som idag ligger utanför den direkta elsektorn.

VEM SKA BETALA FÖR LEVERANS- SÄKERHETEN I GLESBYGDEN?

Enligt ellagstiftningen har i princip alla elkunder rätt till samma leveranssäkerhet, men i praktiken varierar den beroende på geografiska förutsättningar och nätets utformning. Även kostnaderna skiljer sig åt beroende på vilket elnätsområde kunden bor i. Förenklat varierar kostnaderna beroende på hur många kunder det är per kilometer ledning att fördela kostnaden på, och komplexiteten i geografin för att underhålla, modernisera och utveckla elnätet. Kundtätheten och geografin/topologin utgör de viktigaste faktorerna som påverkar kostnaden för kunderna.

Glesbygden minskar i invånarantal vilket skapar utmaningar för nätområden med stor glesbygd, komplex geografi och med ett minskande antal invånare att kollektivera kostnaden på. Frågan är vad som är rimligt och vad som är möjligt? Ska leveranssäkerheten kunna differentieras för olika geografiska områden? I till exempel Finland har man olika krav, beroende på om det är tätort eller ej. Eller bör kostnaden för leveranssäkerhet se likadan ut oavsett var man bor, det vill säga, ska det vara samma elnätspris i hela Sverige eller ska det som idag kollektiviseras per nätområde?

Mål om leveranssäkerhet för elnäten bör baseras på behoven och samhällsekonomiska behov. Hur robust elnät önskar samhället för att skapa marginaler för att elnätet som idag är under modernisering ska klara av behoven på 40-års

sikt? Utmaningen att bygga elnät leveranssäkert i glesbygden är att det kostar extremt mycket mer för färre kunder som ska dela på samma kostnad med samma leveranssäkerhetsmål som i tätorter. Detta leder till en diskussion om differentierade leveranssäkerhetsmål på elnätsdelen och/eller vem som ska betala för elnätet. Ska näten betalas på lokal-, regional-, bolags- eller på nationell nivå?

TRANSMISSIONSNÄTET PÅVERKAS AV FÖRÄNDRAD ELPRODUKTION

Överföringskapaciteten i det svenska transmissionsnätet, inklusive kabelförbindelser med omvärlden, är relativt sett goda. År 2011 delades Sverige in i fyra prisområden för att tydliggöra

de flaskhalsar som finns i systemet för marknaden.

Överföringskapaciteten i transmissionsnätet utmanas av flaskhalsar i Sverige och i omkringliggande länder, och behov av reinvesteringar i ett åldrande nät, men framför allt av förändrade strukturer för elproduktion och på sikt även förändrade förbrukningsmönster av el.

Överföringsförmågan i stamnätet påverkas när kärnkraftsreaktorer stängs och andelen vindkraft ökar. De båda kraftslagen har helt olika tekniska egenskaper och kraftsystemet är historiskt anpassat till kärnkraftverken, både vad avser geografisk placering och de systemtjänster anläggningarna tillhandahåller. Det leder både till en försämrad leveranssäkerhet och till en ökad känslighet för störningar. (Svenska kraftnät (b), 2015)



Regelverk och aktörer på elmarknaden

- Effektbalansen hanteras per timme genom handel på elmarknaden.
- Svenska kraftnät har det momentana ansvaret för att elsystemet är i balans och använder härför tillgängliga produktionsresurser. Finns risk för effektbrist får myndigheten i yttersta fall koppla bort kunder.
- Balans- och nätsäkerhet för stamnätet upprätthålls idag genom Svenska kraftnät. Ägarna till region- och lokalnäten har ansvar för säkerheten i sina nät.
- Svenska kraftnät har inget långsiktigt ansvar för att upprätthålla resurser för att klara effektbalansen vid en omställning av elsystemet.
- Långsiktigt finns ingen ansvarig för att energi- och effektbalansen ska kunna säkerställas.

Definitionen av leveranssäkerhet definieras i kapitlet *Detta ingår i leveranssäkerhet?* och det är energitillräcklighet, effekttillräcklighet och nättillräcklighet samt balans- och nätsäkerhet. Vi har inte utvecklat frågan kring it-säkerhet inom detta arbete. IVA bedriver ett särskilt projekt kring it-säkerhet. Nedan ges en översikt över hur leveranssäkerheten hanteras genom dagens regelverk och vilka aktörer som är ansvariga.

ENERGITILLRÄCKLIGHET

Det finns ingen särskild reglering eller ansvarig myndighet för att säkerställa energitillräckligheten i systemet. Nödvändiga investeringar förväntas att komma till stånd genom de prissignaler som genereras på elmarknaden.

EFFEKTILLRÄCKLIGHET

Effektbalansen i elsystemet upprätthålls främst genom handel på elmarknaden, vilket sker per dygn ned till tidsintervallet en timme. Det är således prissignalerna på de olika marknaderna som ska ge incitament så att tillräckligt med kapacitet tillhandahålls för att möta kundernas behov. (Se faktaruta *Handel med el* på sidan 15). För kortare tidsintervall har systemoperatören Svenska kraftnät ansvar och effektbalansen upprätthålls genom handel på reglerkraftmarknaden och upphandling av en effektreserv samt användande av störningsreserv. Svenska kraftnät använder i huvudsak de produktionsresurser som finns tillgängliga på elmarknaden. Om anläggningar faller bort på grund av någon störning så är det inte myndighetens ansvar att återställa kapaciteten. Den åtgärd Svenska kraftnät kan vidta är att koppla bort kunder. Det är heller inte Svenska kraftnäts ansvar att åtgärda effektbrister som kan uppstå om produktionsresurserna inte motsvarar efterfrågan. (Sveriges Riksdag (a), 1997)

Utöver Svenska kraftnäts systemansvar, så har varje elleverantör ett ekonomiskt ansvar för att det tillförs lika mycket el som dess kunder

Olika myndigheters ansvar inom området leveranssäkerhet av el

Energimyndigheten

Energimyndigheten har ett övergripande ansvar för försörjningstryggheten i energisystemet, och att energisystemet ska vara hållbart och kostnadseffektivt. Energimyndigheten är också ansvarig för omvärldsbevakning och för att samordna samhällets krisberedskap inom energiområdet.

Energimarknadsinspektionen

Energimarknadsinspektionen (EI) är tillsynsmyndighet på elmarknaden och ska följa och analysera utvecklingen på elmarknaden och föreslå ändringar i regelverket som främjar marknadens funktion. I frågor kring leveranssäkerhet och överföringskvalitet ska EI särskilt samverka med Elsäkerhetsverket och Svenska kraftnät.

Svenska kraftnät

Svenska kraftnät är ansvarigt för att förvalta stamnätet så att det är hållbart, kostnadseffektivt och driftsäkert. Som systemansvarig myndighet har Svenska kraftnät det övergripande ansvaret för att kraftsystemets delar samverkar på ett driftsäkert sätt samt att systemet löpande är i balans. Myndigheten är även ansvarig för beredskapsplanering i händelse av kris eller krig.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) har ett brett ansvar för frågor kring skydd mot olyckor, krisberedskap och civilt försvar. MSB har ett särskilt ansvar tillsammans med Svenska kraftnät, Energimyndigheten och Elsäkerhetsverket för krisberedskap inom området teknisk infrastruktur, inom vilken elsystemet faller.

Elsäkerhetsverket

Elsäkerhetsverket har ansvar för tekniska säkerhetsfrågor på elområdet. Det inkluderar bland annat att förebygga skador av elektricitet på personer eller egendom, och att verka för en god säkerhetsnivå på elektriska anläggningar.

förbrukar, så kallat balansansvar. Den balansansvarige måste därför ha ett avtal med Svenska kraftnät.

Det finns ingen särskild reglering eller ansvarig myndighet för att säkerställa effektbalansen på längre sikt. Nödvändiga investeringar förväntas att komma till stånd genom de prissignaler som genereras på elmarknaden.

NÄTTILLRÄCKLIGHET OCH NÄTSÄKERHET

Elnätsverksamhet utgör naturliga monopol och regleras genom elmarknadslagstiftningen. Tillsynsmyndighet enligt ellagen är Energimarknadsinspektionen.

Svenska kraftnäts uppdrag är att verka för att överföring av el kan bedrivas med hög drift-

säkerhet och tillgänglighet, och att stamnätet byggs ut för att stödja detta. (Svenska kraftnät (c), 2015)

Som nämnts ovan ska överföringen av el vara av god kvalitet enligt ellagen, vilket bland annat innebär att avbrott inte ska överstiga 24 timmar, samt att antal avbrott och spänningskvalitet ska vara inom vissa angivna ramar. I förlängningen innebär det så kallade 24-timmarskravet att alla elanvändare, oavsett om de är hushåll eller företag, själva får anses ha ansvar för att kunna hantera ett avbrott som uppgår till 24 timmar.

Energimarknadsinspektionen har genom utfärdande av föreskrifter skärpt de krav som anges i ellagen vad avser god kvalitet på överföring och avbrottslängd samt antal avbrott. För nät med ett lastintervall mellan 2–5 MW gäller att avbrott får vara upp till max 12 timmar, och nät där överföringen överstiger 20 MW inte får ha

avbrott som är längre än 2 timmar, under normala förhållanden. Med normala förhållanden avses en situation där felsökning och återställande kan påbörjas omgående. För att överföringen ska anses vara av god kvalitet gäller dessutom att antalet avbrott hos lågspänningskunder inte får överstiga tre per år, medan i de fall antalet avbrott är fler än elva per år anses kravet på god kvalitet i överföring inte uppfyllt.

Vidare gäller att elanvändare enligt ellagen har rätt till avbrottsersättning vid frånkoppling av en eller flera faser, vid avbrott under en sammanhängande period på minst 12 timmar.

BALANSSÄKERHET

Balanssäkerheten regleras på en övergripande systemnivå genom det uppdrag Svenska kraftnät har fått från regeringen att vara systemansvarig myndighet och säkerställa att elsystemet alltid är i kortsiktig balans. Det sker genom upphandling av tillgängliga reglerresurser, främst vattenkraft.

Svenska kraftnät har ett övergripande ansvar för att delsystemen inom elsystemet, det vill säga samtliga nät och produktionsanläggningar samverkar på ett säkert sätt, men har inte ansvar för driften av region- och lokalnät.

Om tillgången till systemtjänster i elsystemet såsom svängmassa och reaktiv effekt minskar, kan det innebära att systemets leverans- och överföringsförmåga reduceras avsevärt. I dagsläget finns det inga krav formulerade rörande hur stor svängmassa som minst måste finnas i elsystemet. (Svenska kraftnät (a), 2013)

Regelverk avseende störningstålighet är anpassat för den sammansättning av produktionsresurser som finns tillgängliga idag. När kärnkraftverken stänger ned kommer också förutsättningarna att kunna upprätthålla stabiliteten i elnätet att minska. För att kompensera för detta bör regelverket avseende Svenska kraftnäts befogenheter uppdateras. (Svenska kraftnät (c), 2015)

Analys och observationer

UTGÅNGSPUNKTER – MÅL FÖR LEVERANSSÄKERHET

Syntesrapporten inom Vägval el fastställer fem vägval för Sveriges framtida elförsörjning. Ett vägval är; ”Slå fast ett mål för leveranssäkerhet för att bibehålla dagens höga nivå”. Det inkluderade även uppmaningen att ta fram ett mätbart mål, att tydliggöra vem som är ansvarig för att målet nås, och att om styrmedel införs för att nå målet bör dessa vara teknikneutrala. Vägval el har även föreslagit att Svenska kraftnät ska vara ansvarig myndighet för leveranssäkerheten på elmarknaden.

Elsystemet är ett mycket komplext system som är beroende av många olika aktörer, så väl i Sverige som i våra grannländer. Delar av systemet är reglerat medan andra delar styrs av marknaden. Det är därför viktigt att se till hela systemet vid formulering av ett mål för leveranssäkerhet. Utgångspunkten är kundperspektivet. På en övergripande nivå bör följande faktorer beaktas:

- Ett konkurrenskraftigt och stabilt elsystem har lagt grunden för Sveriges industriella och ekonomiska utveckling, och vår välfärd. Även framgent bör vårt elsystem bidra till att attrahera investeringar och utveckling i Sverige.
- Mål för leveranssäkerhet bör erbjuda minst samma nivå på leveranssäkerheten som idag. I takt med digitaliseringen ökar sårbarheten för störningar i elförsörjningen inom allt fler sektorer. Det snarare ökar, än sänker kraven på en hög leveranssäkerhet.
- Elsystemet ska vara långsiktigt kostnadseffektivt. Lösningar för att uppnå tillräcklig leveranssäkerhet ska vara marknadsnära för att säkerställa effektiva lösningar.
- Beakta utvecklingstrender i samhället och nya tekniska lösningar för flexibilitet och lagringsteknik som ger nya möjligheter.

OBSERVATIONER AVSEENDE DET TEKNISKA SYSTEMET OCH REGELVERKET

Leveranssäkerheten påverkas av ett samspel mellan förutsättningarna i det tekniska systemet och det regelverk som är utformat för att styra systemet på kort och lång sikt. För enkelhetens skull delas observationerna in i en teknisk del och en marknad och regulatorisk del. Följande kan konstateras avseende det tekniska systemet:

Tekniska faktorer

- I dagsläget är det avbrott på elnäten som har den dominerande betydelsen för leveranssäkerheten.
- Stora insatser har genomförts för att vädersäkra elnäten på senare år; vilket har förbättrat situationen.
- Utmaningar på några års sikt är åldrande elnät och att det kommer krävas stora reinvesteringar under stor osäkerhet om var den nya elproduktionen kommer att byggas. Det är också stora skillnader i ledtid mellan uppförande av till exempel vindkraft och elnät.

- Urbanisering är av ökande betydelse för leveranssäkerheten i städerna. Förtätning av staden innebär att effektbehovet ökar lokalt vilket kan leda till kapacitetsbrist i området. Detta, i kombination med svårigheter att få tillgång till mark för nya stationer och ledningar, kan skapa utmaningar för leveranssäkerheten utifrån ett kapacitetsbehov. I glesbygden uppstår ett motsatt problem när allt färre ska betala för näten, vilket gör det dyrare per hushåll.
- Störningstålgheten minskar i elsystemet i takt med stängningen av kärnkraftreaktorer som både levererar effekt och viktiga systemtjänster. Sannolikheten för större störningar som kan leda till ofrivillig bortkoppling av andra skäl än nätskäl kommer att öka om inte motåtgärder genomförs.
- På lite längre sikt påverkar omställningen av elsystemet med en ökande andel icke-planerbar kraft både förutsättningarna att upprätthålla effektbalansen i elsystemet och störningstålgheten. Fyra reaktorer kommer att stängas senast 2020, samtidigt som elcertifikatsystemet är förlängt och förväntas bidra med ytterligare 18 TWh vindkraft fram till 2030.² Dessa levererar energi men jämfört med kärnkraft så minskar effektvärdet i systemet.
- På lite längre sikt när fler kärnkraftverk stängs ökar även risken för energibrist, i synnerhet under torrår.
- Hur länge resterande kärnkraftverk kommer att vara i drift utgör en stor osäkerhet. De sex resterande reaktorerna bedöms ha en total teknisk livslängd på 60 år. Det innebär att sista reaktorn stängs bortom 2040. Förändrade förutsättningar kan leda till att de stängs tidigare.
- Den utveckling vi ser i Sverige återfinns också i flera av våra grannländer. När man ser på leveranssäkerheten måste man därför se till det totala elsystemet, inklusive grannländer, och beakta vad som händer med dessa system.

- Efterfrågeflexibilitet kommer vara en viktig del av lösningen, men den stora flexibiliteten i elsystemet kommer även fortsatt behöva hanteras på produktionsidan.

Regelverk och marknadsmodell

Det tekniska systemet levererar det marknaden efterfrågar i enlighet med gällande regelverk. Leveranssäkerheten upprätthålls genom produktionsresurser, flexibel användning, överföringskapacitet samt en momentan reglering av elbalansen. Tillgången på produktionsresurser och flexibel användning förutsätts vara hanterad av marknaden och med lagstiftning genom elcertifikatsystemet. Elnätverksamhet är reglerad både vad avser funktionskrav och tariffsättning, vilket i sin tur styr både val och omfattning av investeringar. Svenska kraftnät har statens uppdrag att ansvara för att den momentana effektbalansen upprätthålls. Följande kan konstateras gällande regelverket:

- Det finns idag ingen entydig definition av vad leveranssäkerhet är och därmed inte heller något mål för leveranssäkerheten i elsystemet. Det innebär att vi inte kan avgöra om det behövs politiska åtgärder för att vidmakthålla eller uppnå en viss nivå på leveranssäkerhet.
- Överföring av el (elnät) är reglerad verksamhet och enligt ellagen får ett avbrott som huvudregel inte överstiga 24 timmar. Därmed kan konstateras att ellagen är tydlig när det gäller nätägarens ansvar för överföring av el. I praktiken står näten dock inför stora utmaningar som kan ha en faktisk betydelse både för möjligheterna att klara effektbalansen och för marknadsens funktion. I växande städer finns svårigheter att få tillstånd tillräckligt med investeringar för att förse samhället med el, medan kostnaderna stiger för att upprätthålla leveranssäkerheten i glesbygd.
- Nätavgifterna speglar inte förbrukningsvariationer eller ansträngda situationer i elnätet. Om även prissignaler för kapacitet i näten kunde slå igenom mot kund, skulle det underlätta för leveranssäkerheten i lokalnät, i synnerhet i växande städer.

- Norden har en "energy only-marknad", vilket innebär att det sätts ett pris på energi på spotmarknaden. Det finns för närvarande inga starka ekonomiska incitament för att tillhandahålla effekt.
- Elpriset sätts per timme, medan efterfrågans- och vindkraftsproduktionens variation sker kontinuerligt. Tidskiften, när produktion eller tillförsel via utlandskablar förändras till följd av prissättning per timme på spotmarknaden, påverkar därför effektbalansen kortsiktigt i systemet.
- Idag är priselasticiteten generellt sett låg på elmarknaden. Efterfrågefleksibiliteten finns främst hos vissa typer av elintensiva industrier som kan producera mot lager.
- Svenska kraftnät har det momentana ansvaret för att elsystemet är i balans och kan härför använda tillgängliga produktionsresurser eller upphandlad nedreglering hos förbrukare. Finns risk för effektbrist kan myndigheten i yttersta fall koppla bort kunder. Svenska kraftnät har inte ansvar för att hantera effektbrister som kan uppstå om produktionen inte motsvarar konsumtionsbehovet. (Sveriges Riksdag (a), 1997)
- På längre sikt förväntas marknaden baserat på prissignaler säkerställa att effektbalansen är tillräcklig. Den marknadsmodell Sverige har idag i kombination med elcertifikatsystemet som förväntas öka andelen vindkraft och leda till mer volatila elpriser kan skapa en osäkerhet på marknaden. Det kan hämma investeringar både i nödvändig produktionskapacitet och i elintensiv industri. Samtidigt behövs prisvolatilitet för att skapa en dynamik och en mer flexibel efterfrågan på el. Långsiktigt finns ingen ansvarig för att effektbalansen kan säkerställas utan tvingande begränsningar av elanvändningen.
- Marknaden förväntas säkerställa att tillgången på energi kan upprätthållas baserat på prissignaler. I rådande investeringsklimat och med de ambitionsnivåer som diskuteras avseende investeringar i icke planerbar kraft, ökar risken för energibrist.
- Nuvarande marknadsmodell har ännu inte prövats under en hel investeringscykel samtidigt som elsystemet står inför omfattande ersättningsinvesteringar. Idag är elpriset lågt, pressat av låga marginalkostnader i elproduktionen, vilket hämmar investeringar både i ny elproduktion och i effekt, det vill säga reglerbar kraft.

Slutsatser och rekommendationer

Den första slutsatsen, som också är en utgångspunkt för detta arbete, är att ett tillförlitligt elsystem är en förutsättning för en modern välfärdsnation. Det bör vi inte kompromissa med. Nedan förs en diskussion om hur leveranssäkerheten ska kunna upprätthållas i elsystemet, i termer av tillräckligt med energi, effekt och nät, samt säkerhet mot störningar.

1 SÄKERSTÄLL ENERGI-BALANSEN LÅNGSIKTIGT

Energibalansen är inget akut problem idag, men möjligheterna att kunna säkerställa energileveranserna under ett torrår bör fortsatt vara i fokus givet den förändring som sker mot en ökad andel icke planerbar kraft i elsystemet.

Rekommendationen är:

- Gör en långsiktig analys av risken för energibrist i elsystemet och ta fram möjliga åtgärder för att säkerställa energibalansen.

2 SÄKERSTÄLL EFFEKTBALANSEN MED MARKNADSLÖSNINGAR

Så långt det är möjligt bör marknadslösningar tillämpas. För ett effektivt utnyttjande av tillgängliga produktionsresurser bör även samarbetet utökas och fördjupas med de nordiska grannländerna och inom EU avseende effektbalansen. Den ökade prisvolatilitet måste följas av en ökad möjlighet för fler kunder att kunna reagera på de prissignaler som kommer. Nya tekniska

lösningar finns men kan behöva utvecklas och standardiseras. Beakta att det kan krävas en övergångsperiod innan tekniken är implementerad och tillgänglig för det stora flertalet, det vill säga innan önskad efterfrågefleksibilitet kan uppnås.

Rekommendationerna är:

1. Prissignalen bör få ett tydligare genomslag då knapphet råder.

Se över utformningen av styrmedel så att dessa bättre stödjer marknadens funktion långsiktigt, inklusive prissättning på reglerkraft och övriga systemtjänster. I takt med att priselasticiteten ökar i elsystemet genom ökad förbrukningsfleksibilitet och reglerkapacitet, förbättras leveranssäkerheten.

2. Marknaden bör avgöra när ny kraft behöver byggas.

Se över stödsystemen så att de i minsta möjliga mån inverkar på marknadens funktion. Se även över tillståndsprocesserna så att de inte i onödan hämmar utvecklingen av förnybar el.

3. Utöka det internationella samarbetet.

Utöka samarbetet med omkringliggande länder för att gemensamt säkerställa effektbalansen.

3 SATSA PÅ TEKNIKUTVECKLING FÖR FLEXIBLA NÄT

Sverige har utmaningar både i transmissionsnäten och lokala och regionala nät, men av olika karaktär. Lokalnäten påverkas i stor utsträckning av urbaniseringen och växande städer, medan det blir allt dyrare att upprätt-

hålla leveranssäkerheten i glesbygd. Transmissionsnäten utmanas framför allt av förändrad produktionsmix och på sikt även av förändrade förbrukningsmönster. Ser man långsiktigt på utvecklingen kommer nät, produktion och användning att bli allt mer integrerade.

Lokala nät med egen försörjning kommer att utvecklas med begränsat utbyte till resten av elsystemet. Samtidigt ser vi en utveckling med ökat regionalt samarbete över nationsgränser, vilket är nödvändigt för att kunna hantera stora mängder icke planerbar kraft på ett effektivt sätt. Kapaciteten i elnäten kommer stundtals vara begränsande, vilket även det bör återspeglas i rådande elpris.

Rekommendationerna är:

1. De underliggande elnäten (region- och lokalnäten) bör få en utvidgad roll för att hantera effektbalansen lokalt.
Det kan ske genom att skapa incitament för samverkan med fjärrvärmesystem med tillgänglig kraftvärme, och styrmekanismer som gör det möjligt att använda förbrukningsflexibilitet, lager och produktionsanläggningar för att kunna använda näten mer effektivt och undvika kapacitetsbrist.
2. Prissignalen bör få ett tydligare genomslag då knapphet råder även för överföringskapacitet. På kort sikt kan effekttariffer införas, men på längre sikt skulle även nätavgiften kunna avspegla knapphet i överföringskapacitet.
3. Förenkla tillståndprocesser för att underlätta en utbyggnad av nödvändig överföringskapacitet på alla nivåer.
4. Beakta utvecklingstrender i samhället och nya tekniska lösningar för flexibilitet och lagringsteknik som ger nya möjligheter.

4 SKAPA NYA LÖSNINGAR FÖR FRAMTIDENS ROBUSTA ELSYSTEM

Svenska kraftnät har det övergripande ansvaret för att elsystemet ska vara driftsäkert och i balans. Svenska kraftnät har formella befogenheter att genom föreskrifter ställa krav, att upphandla systemtjänster samt att driftmässigt beordra användning av tillgängliga systemnöd-

vändiga resurser. Utmaningen är att identifiera omfattningen och egenskaperna av de fysiska anläggningar som kan komma att behövas, och vilka parter som kan svara för uppbyggnad och drift av dessa. Samtidigt måste de ekonomiska konsekvenserna och en ändamålsenlig kostnadsfördelning klarläggas.

Rekommendationerna är:

- Utred hur tillgången på svängmassa och andra nödvändiga systemtjänster bäst tillgodoses i elsystemet, samt hur dessa lämpligen finansieras.

5 GE SVENSKA KRAFTNÄT ANSVAR FÖR UPPFÖLJNING AV LEVERANSSÄKERHETEN

Vägval el har redan i syntesrapporten *Fem vägval för Sverige* (Byman (b), 2016) rekommenderat att det behövs ett mål för leveranssäkerhet och att Svenska kraftnät bör vara ansvarig för att målet nås. Svenska kraftnät har ansvar och befogenheter för leveranssäkerheten men det kan behöva specificeras och utvecklas för att anpassas till nya omständigheter.

Rekommendationen är:

- Ge Svenska kraftnät huvudansvaret för uppföljning av leveranssäkerheten på elmarknaden.
Svenska kraftnät bör få ett utökat uppdrag att ta fram övergripande prognoser för den långsiktiga energi- och effektbalansen, behov av systemtjänster och för överföringskapacitet även på regional- och lokal nivå, samt att föreslå nödvändiga åtgärder.

Bilaga I: Egenskaper hos ett kraftsystem

Ett optimalt fungerande kraftsystem levererar lika mycket elenergi som efterfrågas vid varje tidpunkt. Systemet är robust och kan hantera olika typer av störningar utan att det får några konsekvenser för elanvändarna. I takt med att industriprocesser och apparater blir alltmer sofistikerade och tekniskt avancerade, ökar kvalitetskraven på den el som levereras. ELSystem i olika länder kan se olika ut, och de systemtjänster som är nödvändiga kan tillhandahållas

på olika sätt. Sammansättningen av olika typer av produktionsanläggningar, överföringskapacitet inom landet, och integrering med omkringliggande länder är av stor betydelse för hur väl systemet fungerar.

De kraftslag som finns i den svenska produktionsmixen har olika roller på elmarknaden, vilka sammanfattas i bilden nedan.

Vattenkraften svarar för 40 procent av elproduktionen, men är också den viktigaste regler-

Egenskaper hos ett kraftsystem som är viktiga

Elenergi

Tillräckligt med elenergi tillförs marknaden över året. Det kan ske genom nationellt lokaliserade produktionsanläggningar, eller genom import från andra länder. Alla typer av elproduktionsanläggningar levererar energi, men all produktion kan inte planeras.

Effekt

För att elbehovet ska tillgodoses vid varje tidpunkt, måste effektbalansen kunna upprätthållas, det vill säga tillförseln av el måste motsvara förbrukningen i varje ögonblick. Det kräver tillgång till planerbara produktionsresurser, såsom kraftvärme, vattenkraft och gasturbiner, eller import från andra länder. För att säkerställa effektbalansen, kan även flexibel elförbrukning bidra. Potentialen för ett kraftslag att minska risken för effektbrist motsvarar dess "effektvärde".

Spänning

För att konsumenters och producenters anläggningar ska fungera måste spänningen i elsystemet hållas kontinuerligt stabil. En stabil spänning är också en förutsättning för att överföringen av energi ska fungera.

Balans (frekvens)

Ett ovillkorligt krav i elsystemet är att det måste råda balans mellan produktion och förbrukning av el. Ett kvalitetsmått på regleringen av balansen är att frekvensen i systemet hålls stabil. Frekvensen tillåts variera mellan 49,9 och 50,1 Hz.

Balansen upprätthålls initialt, i 5–10 sekunder (Karlsson & Lindahl, 2015), genom trögheten i systemet (svängmassa), och därefter startar vid behov olika typer av reglerresurser, primärt i form av vattenkraft.

resursen. Den används i allt från säsongreglering till sekundsnabb reglering för att hålla frekvensen i systemet. Vatten lagras i magasin när tillrinningen är hög för att användas för elproduktion när efterfrågan ökar. Vattenkraften kan alltid tillhandahålla en hög effekt, även om årsenergiproduktionen varierar mellan våtår och torrår.

Kraftvärmeverk producerar el vid samtidig produktion av värme, och levererar därför främst under vintertid när efterfrågan på värme är hög. Finns ett värmeunderlag är också den tillgängliga effekten hög. Verken kan också förses med alternativ kylning, vilket förlänger drifttiden och tillgång till effekt. Kraftvärme används idag inte för reglering, men det är tekniskt möjligt.

Kärnkraften har ett högt effektvärde, men används normalt inte för reglering. De svenska kärnkraftverken kan användas för en långsam reglering inom intervallet 100 till 65 procent

av installerad effekt, med en justering av effekten på 3–5 procent per minut. Dock innebär en reglering en risk för störningar som kan leda till oönskade driftstopp. (Persson, et al., 2011) Vindkraftverk producerar när det blåser och har därför ett relativt lågt effektvärde relativt installerad effekt. Däremot är det inte några problem att reglera ned elproduktionen vid behov.

De övriga kraftslagen har en mekanisk svängmassa genom den upplagrade rörelseenergin i synkront roterande turbiner och generatorrotorer. Även vindkraft har en svängmassa, men eftersom varvtalen inte är synkrona med frekvensen i systemet behöver den förses med en särskild styrutrustning för att kunna bidra med svängmassa till elsystemet.

Bilagan är hämtad från rapporten *Sveriges framtida elsystem*, en delrapport inom Vägval el från januari 2016, framtagen av Produktionsgruppen.

Bilaga 2: Fotnoter och referenser

FOTNOTER

1. Beslutades vid ett styrgruppsmöte, 25 augusti 2016.
2. Samtidigt stängs äldre anläggningar vilket gör att det totala tillskottet kan bli lägre.
3. Elcertifikatsystemet infördes 2003. Förnybara kraftslag, till exempel merparten av vattenkraften, som byggdes innan dess erhåller inte elcertifikat.
4. Det finns ett avsnitt som beskriver hur leveranssäkerheten hanterades i Sverige innan avregleringen 1996 i IVA-rapporten *Översikt över hur leveranssäkerhet på elmarknaden hanteras i några olika länder*, 2016. Se www.iva.se.
5. Systemoperatören (TSO) i Finland.
6. Idag är det Svenska kraftnät i Sverige och Fingrid i Finland, som upphandlar effektreserver inför kalla vintrar i Norden. I samarbete mellan Fingrid och Svenska kraftnät baseras prissättningen av effektreserven på det högsta kommersiella budet. Ett bud för effektreserven läggs in med 0,1 EUR/MWh mer än det sista kommersiella budet.
7. Prognos för vintern 2016/2017 (Svenska kraftnät (d), 2016)
8. Mellan 2007 och 2013 stod vattenkraften för 95 procent av den svenska andelen av omsättningen på reglerkraftsmarknaden. (Svenska kraftnät (b), 2015)
9. Det går även att välja timavtal men det är ovanligt att kunder väljer den typen av avtal.

REFERENSER

Badano, A., 2016. *Översikt över hur leveranssäkerheten på elmarknaden hanteras i några olika länder.*, Stockholm: IVA.

Bondesson, T. & Brännlund, R., 2016. *Framtidens elmarknad*, Stockholm: IVA.

Byman (a), K., 2016. *Elproduktion. Tekniker för produktion av el.*, Stockholm: IVA Vägval el.

Byman (b), K., 2016. *Fem vägval för Sverige, Syntesrapport*, Stockholm: IVA Vägval el.

Coresco, 2017. www.coresco.eu.

Ellagen 1997:857. 3 kap. 9 b.

Energiföretagen Sverige, 2016. *Pressmeddelande: Stora investeringar ger utdelning när stormen drar fram.*, www.energiforetagen.se: Energiföretagen Sverige.

- Energikommisionen, 2016. *Kraftsamling för framtidens energi*, Stockholm: Statens offentliga utredningar, SOU 2017:2.
- Energimarknadsinspektionen (a), 2016. *Sveriges el- och naturgasmarknad 2015*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- Energimarknadsinspektionen (b), 2016. *Leveranssäkerhet i Sveriges elnät 2015*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.
- ENTSO-E, 2016. *Appendix 5 of System Operation Agreement 2.*: ENTSO-E.
- EU-Kommissionen (a), 2016. *Regulation of the European Parliament and of the council on the internal market for electricity*, 2016/0379 (COD).
- EU-Kommissionen (b), 2016. *Commission proposes new rules for consumer centred clean energy transition*, <https://ec.europa.eu/energy/en/news/commission-proposes-new-rules-consumer-centred-clean-energy-transition>: EU Kommissionen.
- Hagberg, M., 2016. *Det legala ramverket för leveranssäkerhet av el*, Stockholm: IVA Vägval el.
- Hagman, B. & Heden, H., 2012. *Elmarknadsreformen – behöver den reformeras?*, Stockholm: Elforsk.
- Karlsson, D., 2016. *Svängmassa i elsystemet*, Stockholm: IVA.
- Karlsson, D. & Lindahl, S., 2015. *Svängmassans roll i framtida elsystem*. Göteborg: Gothia Power.
- Kellberg, C., 2016. <http://www.energiforetagen.se/nyheter/mycket-omfattande-lagstiftningspaket-fran-eu-kommis>. [Online] Available at: www.energiforetagen.se
- Liljeblad, A., 2016. *Framtidens elanvändning*, Stockholm : IVA Vägval el.
- NEPP, 2016. *Reglering av kraftsystemet med ett stort inslag av variabel produktion*, Göteborg: NEPP.
- Nordling (a), A., 2015. *Energilagring. Teknik för lagring av el*, Stockholm: IVA Vägval el.
- Nordling (b), A., 2016. *Sveriges framtida elnät*, Stockholm: IVA Vägval el.
- Persson, J., 2011. *Lastföljning i kärnkraftverk*. 12:08 red. Stockholm: Elforsk.
- Svensk Energi, 2016. *Elåret Verksamheten 2015*, Stockholm: Svensk Energi.
- Svenska kraftnät (a), 2013. *Integrering av vindkraft*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (b), 2015. *Anpassning av elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (c), 2015. *Delrapport: Anpassning av elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (d), 2016. *Kraftbalansen på den svenska elmarknaden vintrarna 2015/2016 och 2016/2017*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (e), 2016. *Challenges and Opportunities for the Nordic Power System*, Norden: Svenska kraftnät, Statnett, Fingrid, Energinet.dk.
- Svenska kraftnät (f), 2016. *Årsredovisning 2016*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.

Sveriges Riksdag (a), 1997. *Proposition*
1996/97:136 *Ny ellag*, Stockholm: Sveriges
Riksdag.

Sveriges Riksdag (b), 2016. *Lag*
(2003:436) *om effektreserv*, Stockholm:
Sveriges Riksdag.

KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN (IVA) är en fristående akademi med uppgift att främja tekniska och ekonomiska vetenskaper samt näringslivets utveckling. I samarbete med näringsliv och högskola initierar och föreslår IVA åtgärder som stärker Sveriges industriella kompetens och konkurrenskraft. För mer information om IVA och IVAS projekt, se IVAS webbplats: www.iva.se.

Utgivare: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA), 2017
Box 5073, SE-102 42 Stockholm
Tfn: 08-791 29 00

IVAS RAPPORTER: Inom ramen för IVAS verksamhet publiceras rapporter av olika slag. Alla rapporter sakgranskas av sakkunniga och godkänns därefter för publicering av IVAS vd.

PROJEKTRAPPORT (IVA-M): En projektrapport summerar en betydande del av ett projekt. Projektrapporter kan vara en delrapport eller en slutrapport. En slutrapport kan bygga på flera delrapporter. Projektrapporter innehåller en faktabaserad analys, observationer och diskuterar konsekvenser. Slutrapporter innehåller tydliga slutsatser och prioriterade policyrekommendationer. En delrapport är ofta resultatet från en arbetsgrupps insats. Delrapporter innehåller endast begränsade slutsatser och policyrekommendationer. Projektets styrgrupp godkänner alla projektrapporter för publicering och dessa sakgranskas av IVA för att garantera vetenskaplighet och kvalitet.

IVA-M 481
ISSN: 1102-8254
ISBN: 978-91-7082-955-0

Projektledare: Karin Byman, IVA
Författare: Karin Byman, IVA
Redaktör: Camilla Koebe, IVA
Layout: Anna Lindberg & Pelle Isaksson, IVA

Denna rapport finns att ladda ned som pdf-fil
via IVAS hemsida www.iva.se



KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

i samarbete med

ABB

e-on

 **Energimyndigheten**

 **Fortum**

 **IFMETALL**

 **INDUSTRIRÅDET**

 **PAPPERS**

SIEMENS

 **Skellefteå Kraft**

SKGS

SVENSKI energi

 **Svensk Fjärrvärme**

 **SVENSKA KRAFTNÄT**

 **SVENSKT NÄRINGSLIV**

 **Sveriges Ingenjörer**

swede gas

 **Teknikföretagen**

uni per

VATTENFALL 

 **AFORSK**