



Fem vägval för Sverige

Syntesrapport

IVA-projektet *Vägval el*



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), 2016
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 471
ISSN: 1102-8254
ISBN: 978-91-7082-930-7

Författare: Karin Byman, IVA
Projektledare: Jan Nordling, 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

Förord

IVA har drivit projektet Vägval el under åren 2014 till 2016. Projektet har gjort en analys av det nordiska elsystemet för perioden 2030 till 2050 med fokus på Sverige för att visa på konsekvenserna av olika vägval i energipolitiken ur de fyra perspektiven konkurrenskraft, försörjningstrygghet, ekologisk hållbarhet och investeringsklimat. Visionen är ett hållbart elsystem som ger en trygg elförsörjning till konkurrenskraftiga kostnader.

Under de två år som projektet har pågått har förutsättningarna på elmarknaden förändrats. Som exempel kan nämnas att Vattenfall och E.ON har beslutat att stänga fyra reaktorer, två i Ringhals och två i Oskarshamn. De har även aviserat att de sex återstående reaktorerna kan komma att stängas före 2020, som en följd av dålig lönsamhet. Tillsammans motsvarar reaktorerna cirka 40 procent av den svenska elproduktionen.

Strax efter att projektet startade tillsatte regeringen en energikommission. Vägval el har haft en nära dialog med politikerna inom energikommissionen under hela projektet och har löpande delgivit resultat och slutsatser från projektet, både till Energikommissionens kansli och till medlemmar i kommissionen.

Arbetet inom Vägval el har bedrivits inom fem arbetsgrupper som belyser elmarknaden ur olika perspektiv, samt en styrgrupp. Dessa är:

- Arbetsgruppen för elanvändning
- Arbetsgruppen för elproduktion
- Arbetsgruppen för transmission och distribution
- Arbetsgruppen för klimat och miljö
- Arbetsgruppen för samhällsekonomi och elmarknad
- Styrgrupp för hela arbetet, samt för syntesrapporten

De olika arbetsgrupperna har tagit fram en delrapport inom respektive område som ger en fördjupad analys och sammanfattar de viktigaste observationerna inom området. Förutom delrapporterna har en rad specialstudier tagits fram. De olika delrapporterna och specialstudierna listas i Bilaga 2. Som ett komplement till arbetet har en särskild analys genomförts av forskarnätverket NEPP (North European Power Perspectives), med hjälp av olika modellsimuleringar av elmarknaden.

Syntesrapporten bygger på de olika delrapporterna, men innehåller även fristående underlag och analyser med slutsatser och rekommendationer. För dessa svarar Vägval els styrgrupp. Alla i styrgruppen står bakom slutsatserna och rekommendationerna i sin helhet, men inte nödvändigtvis enstaka formuleringar.

Styrgruppen

Bo Normark, IVAS avd II (Ordförande)

Peter Nygårds, IVAS avd III (Vice ordförande)

Lina Bertling Tjernberg, KTH

Magnus Breidne, IVA

Runar Brännlund, Umeå universitet, IVAS avd IX

Mikael Dahlgren, ABB

Anders Ferbe, IF Metall

Håkan Feuk, E.ON

Mats Gustavsson, Boliden

Kjell Jansson, Svensk Energi

Johan Kuylenstierna, SEI

Ulf Moberg, SVK

Birgitta Resvik, Fortum, IVAS avd II

Andreas Regnell, Vattenfall

Gunilla Saltin, Södra AB

Maria Sandqvist, Teknikföretagen

Maria Sunér Fleming, Svenskt Näringsliv

Ulf Troedsson, Siemens

Adjungerade till styrgruppen

Pernilla Winnhed, Svensk Energi

Alf Larsen, E.ON

Ellika Olsson Aas, IF Metall

Projektkansli

Jan Nordling, IVA (Huvudprojektledare)

Karin Byman, IVA (Delprojektledare)

Camilla Koebe, IVA (Kommunikationsansvarig)

Caroline Linden, IVA (Projektkoordinator)

Metodiken för genomförande av projektet beskrivs i Bilaga 1.

Innehåll

Inledning	7
Vägval el – slutsatser från projektet	9
Ekologisk hållbarhet	10
Konkurrenskraft	11
Investeringsklimat.....	11
Försörjningstrygghet	11
Rekommendationer från Vägval el.....	13
Omvärldsfaktorer som påverkar elsystemets utveckling	17
Utmaningar i det svenska elsystemet.....	25
Politisk styrning av dagens elmarknad.....	27
Fördjupad analys av produktionssystem	29
Egenskaper hos ett elsystem med hög andel icke planerbar kraft.....	29
Vad krävs för att Sverige ska klara effektbalansen?	35
Vad händer om alla svenska reaktorer stängs i förtid?.....	38
Observationer och slutsatser från arbetsgrupperna.....	41
Vad påverkar framtidens elanvändning?	41
Hur kan elproduktionssystemet se ut i framtiden?.....	43
Vilken roll får elnätet i framtidens elsystem?	45
Investeringar i elnätet.....	46
Vilka är de viktigaste klimat- och miljöfrågorna?	47
Samhällsekonomi och elmarknad	49
Appendix	53
Bilaga 1: Metodik och förutsättningar	53
Bilaga 2: Rapporter som tagits fram inom Vägval el	55
Bilaga 3: Arbetsgrupper inom Vägval el	55
Bilaga 4: Litteraturlista	56

ORDLISTA

Balansansvar – Balansansvariga är företag som har avtal med Svenska kraftnät (SvK) och ett ekonomiskt ansvar att tillförd och uttagen mängd el alltid är i balans inom företagets åtagande. SvK har det slutliga fysiska balansansvaret.

Effektbalans – För att upprätthålla en stabil frekvens på 50 Hz måste det vara balans mellan produktion och förbrukning av el. Vid en obalans kommer frekvensen i systemet att öka eller minska.

Effektreserv – Den svenska effektreserven består i nuläget av 660 MW produktionskapacitet och 340 MW förbrukningsreduktion. Effektreserven tas i anspråk om det med andra medel inte är möjligt att få utbud och efterfrågan att möta varandra, men ingår inte i marknaden under normala förhållanden.

Elcertifikat – Ett certifikat tilldelas producenter av förnybar el i relation till deras produktion. Dessa certifikat kan säljas och överföras. I och med att elleverantörer och vissa elanvändare har en skyldighet att inneha elcertifikat i förhållande till sin försäljning respektive användning av el (se kvotplikt) så skapas en marknad för dessa.

Energy only-marknad – En typ av elmarknad där endast energi prissätts.

EU ETS – EU Emissions Trading System är sedan 2005 EUs system för handel med utsläppsrätter för växthusgaser. Handelssystemet omfattar alla EUs medlemsländer, samt Norge, Liechtenstein och Island. Inom EU berörs cirka 13 000 anläggningar, som sammantaget svarar för cirka 40 procent av de samlade utsläppen av koldioxid inom EU.

Icke planerbar kraft – Elproduktionstekniker som inte kan planeras utan vars produktion styrs av rådande väderförhållanden, till exempel vindkraft och solkraft. Brukar även kallas väderberoende kraft, variabel, volatil eller intermittent kraft.

Kapacitetsmekanism – Ett regelverk som säkerställer en viss tillgänglighet av effekt. Innebär att tillgänglig kapacitet i systemet över tid är större än vad den skulle varit i en energy only-marknad, eftersom det kan antas att ett politiskt mål rörande leveranssäkerhet är högre än det rena marknadsutfallet.

Kvotplikt – En komponent av systemet för elcertifikat som innebär att vissa elleverantörer och elanvändare är skyldiga att inneha elcertifikat i förhållande till sin försäljning respektive användning av el.

Nord Pool – Den nordiska elbörsen. Medlemsländer är Sverige, Norge, Danmark, Finland och Estland.

Planerbar kraft – Elproduktionstekniker vars produktion kan planeras oberoende av väderförutsättningar, till exempel kärnkraft, gasturbiner, kraftvärme, vattenkraft.

Spotpris – Det rörliga elpris som sätts dagligen på Nord Pool.

Inledning

Tillgång till el är en förutsättning för all utveckling. Genom att utveckla ett hållbart elsystem kan Sverige koppla samman minskad miljö- och klimatpåverkan med stärkt konkurrenskraft.

Förändringarna inom energisektorn är omfattande, vilket skapar en stor osäkerhet för energimarknadens aktörer och därmed även för energipolitiken. Därför startade IVA projektet Vägval el med avsikten att vara en samlingspunkt för idéer om hur Sverige skulle kunna utforma en politik för en omställning av energisystemet med fokus på el. Ett tillförlitligt elsystem är en förutsättning för dagens digitaliserade samhälle. Ett konkurrenskraftigt elsystem bidrar också till att attrahera investeringar till Sverige. Det minskar miljöpåverkan samtidigt som det gynnar svensk ekonomi.

Energipolitiken har hittills fokuserat på ett relativt stabilt energisystem. I detta nya läge med snabba förändringar och svårigheter att se vilka krafter och utvecklingstrender som kommer att bli bestående bör staten verka för att minimera de politiska riskerna för aktörerna på elmarknaden. Samtidigt bör staten avstå från att snedvrída konkurrensen mellan olika kraftslag. Det krävs helhetssyn och flexibilitet där hela energisystemet löpande analyseras i ett övergripande ramverk. Många politikområden är i hög grad beroende av en väl fungerande energisektor och en osäkerhet om vägvalen för elsystemet kommer att ge återverkningar inom andra områden.

Projektet Vägval el har varit en process där de förslag som presenteras i denna rapport vuxit fram ur en dialog mellan ett stort antal aktörer. Utgångspunkten har varit att Sveriges elsystem

bör utformas i enlighet med riktlinjerna för den svenska energipolitiken, det vill säga ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet.



Vägval el – slutsatser från projektet

Det svenska energisystemet har i en internationell jämförelse utvecklats mycket väl. Sverige har sedan 1970 en oförändrad total energianvändning, halverade koldioxidutsläpp samtidigt som BNP har fördubblats och folkmängden har ökat med 15 procent. Det har i huvudsak skett genom effektivare energianvändning samt en medveten satsning på biobränslen och fossilfri elproduktion.

Kärnkraften och vattenkraften har dominerat elproduktionen, och infrastrukturen har varit anpassad efter produktionsapparaten samt hur efterfrågan på el ser ut i olika delar av landet. Sverige har haft ett elsamarbete med de nordiska länderna sedan 1950-talet men har ändå haft stor frihet och möjlighet att driva en nationell energipolitik.

Nu sker stora förändringar på elmarknaden, vilket också i grunden förändrar förutsättningarna för energipolitiken.

Sverige blir allt mer beroende av omvärlden i takt med att elsystemen kopplas ihop. Det gör att energipolitiska beslut i våra grannländer i allt större utsträckning även påverkar förutsättningarna för produktion och användning i Sverige. Teknikutvecklingen går allt snabbare, och priserna faller på nya tekniska lösningar för produktion och lagring av el. Nya aktörer kommer in på elmarknaden och allt fler elanvändare väljer att producera sin egen el.

Det är idag mycket svårt att överblicka och förutse vart utvecklingen är på väg, och därför går det inte heller att fastställa en enkel väg framåt. Energipolitiken måste kunna hantera de förändringar som sker utan att äventyra ett väl fungerande elsystem i Sverige. Det ställer höga krav på politiken att vara flexibel och kunna

anpassa sig till ständigt nya förutsättningar utan att det skapar osäkerhet för marknadens aktörer.

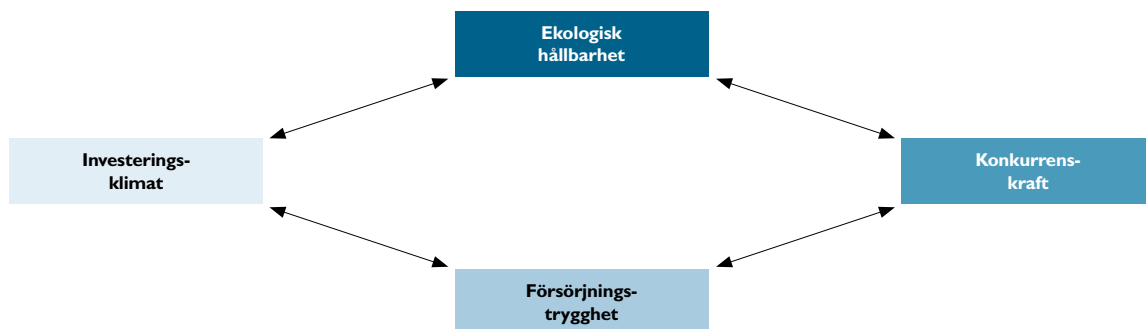
Ett tillförlitligt elsystem är en grundförutsättning för ett modernt och väl fungerande samhällssystem. Detta accentueras i en digitaliserad värld där allt fler områden blir beroende av väl fungerande elförsörjning. Energipolitiken lägger därmed grunden för många andra politikområden. Misslyckas energipolitiken leder det till konsekvenser för fler områden och basala samhällsfunktioner, arbetstillfällen och exportintäkter till landet, vilket också påverkar sysselsättning inom andra näringar, skatteintäkter, offentligt finansierad välfärd, skola, vård och omsorg etcetera, samt kan leda till negativa konsekvenser för klimat och miljö.

Sveriges elsystem bör utformas i enlighet med riktlinjerna för den svenska energipolitiken, det vill säga ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. På senare år har även investeringsklimat börjat lyftas fram som en egen fråga, främst beroende på den stora osäkerheten och det stora framtida investeringsbehovet.

Dessa riktlinjer innebär att negativ miljöpåverkan bör minimeras och att det inte bör ske några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. Det innebär också att elsystemet måste uppfattas som tillförlitligt och att kostnaden för elsystemet ska vara konkurrenskraftigt. Elsystemet bör inte betraktas separat utan som en del av energisystemet och samhället, i Sverige och även i relation till andra länder.

En utgångspunkt är att elsystemet ska uppfylla minst följande grundläggande förutsättningar:

Figur 1: Riktlinjerna inom den svenska energipolitiken är ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjnings-trygghet. Inom Vägval el lyfter vi även fram investeringsklimat. Dessa riktlinjer hänger ihop och förstärker varandra.



1. Elsystemet ska hålla minst samma leveranssäkerhet i framtiden som det har idag.
2. Elproduktionen ska vara fossilfri.
3. Elsystemet ska vara samhällsekonomiskt kostnadseffektivt.

Nedan diskuteras slutsatserna inom respektive område. Alla aspekter som diskuteras hänger ihop och är nödvändiga för ett långsiktigt hållbart och konkurrenskraftigt energisystem.

EKOLOGISK HÅLLBARHET

Det svenska elsystemet har en relativt sett liten klimatpåverkan. Kunskapen om den totala miljöpåverkan är däremot begränsad. Påverkan på till exempel biologisk mångfald är ibland betydande, men samtidigt svår att värdera, och det saknas kunskap inom området. Frågan är kanske främst aktuell för vattenkraft och bio-bränslebaserad elproduktion, men också för vindkraft. Även kunskapen om miljöpåverkan från nya och snabbt växande tekniker, såsom solceller och batterier, är begränsad. Inte minst eftersom miljöpåverkan till stora delar ligger utanför Sveriges gränser.

Vid bedömningar av lönsamheten i olika kraftslag bör hänsyn även tas till externa miljö-kostnader, i Sverige såväl som i andra länder genom import. Det kan till exempel förändra kalkylen mellan landbaserad och havsbaserad vindkraft, eller mellan dagens kärnkraftsteknik och nya generationer kärnkraftverk. En metod

är till exempel att genomföra livscykelanalyser för olika produktionsslag där hela värdekedjan från råvaruproduktion och användning till avfall ingår. Miljöområdet är komplext, så det finns inte en enskild metod för att väga in alla miljöaspekter. Därför måste kunskapen om miljöfrågorna öka generellt och ur fler perspektiv.

Ur ett hållbarhetsperspektiv bör hela energisystemet beaktas, där elsystemet bara är en del. En totalt sett effektivare resurs- och energi-användning kan i förlängningen leda till ett ökat elbehov, till exempel vid en elektrifiering av transportsektorn. Dessutom bör ett internationellt perspektiv anläggas, så att inte åtgärder för minskad miljöpåverkan i Sverige leder till ökade utsläpp eller annan miljöpåverkan i vår omvärld.

Ekologisk hållbarhet kan också vara en konkurrensfördel för Sverige, om det är ett kriterium som gör att företag väljer att investera här i stället för i andra länder.

KONKURRENSKRAFT

Konkurrenskraftiga elkostnader är av största vikt för Sveriges industri. Elkostnader inkluderar inte bara själva elpriset utan även nätavgifter, skatter och övriga styrmedel. Ett konkurrenskraftigt energisystem inkluderar emellertid mer än bara låga elkostnader. Det måste även uppfattas vara långsiktigt tillförlitligt och hållbart, både ur ett ekologiskt och ur ett ekonomiskt perspektiv. Det innebär också att det måste finnas ekonomiska incitament och finansiella resurser för nödvändiga investeringar i elsystemet.

I debatten hörs ofta att Sverige bör bygga ut förnybar el i syfte att exportera el till andra länder. Denna strategi har vissa svagheter. Om Sverige bygger ut en stor andel icke planerbar kraft utan att vi har möjligheter att ta tillvara på överskotten på ett kostnadseffektivt sätt, kom-

mer det att leda till vi exporterar el under perioder då elpriserna är låga, samtidigt som vi kommer att behöva importera el i bristsituationer när elpriserna är höga (Rydén, 2016). Ett elutbyte med omvärlden kommer vi att ha under alla omständigheter, men ur ett nationalekonomiskt perspektiv är det bättre att ha som målsättning att energipolitiken ska främja investeringar och tillverkning i Sverige, än att skapa ett överskott av el för att exportera elenergi.

Energipolitiken bör därför sträva efter att Sverige ska vara ett attraktivt land för investeringar i utveckling och produktion av produkter med ett högt förädlingsvärde. Ju större värdeökning som sker i Sverige, desto bättre är det för vår ekonomiska utveckling. Ett effektivt energisystem bidrar till denna utveckling.

INVESTERINGSKLIMAT

En marknadsmodell som både bidrar till en effektiv prisbildning på kort sikt och till att nödvändiga investeringar sker när de behövs, är en viktig del av den ekonomiska hållbarheten. Det är även viktigt utifrån ett miljöperspektiv, eftersom det ger Sverige möjlighet att ligga i framkant. Elmarknadens aktörer och dess kunder måste kunna känna tillit till elmarknaden för att våga ta investeringsbeslut. Här ligger ett stort ansvar på politikerna att fatta beslut som är långsiktigt stabila.

Elproducenter brottas idag med dålig lönsamhet. Det beror både på omvärldsfaktorer och på

nationella styrmedel som snedvrider konkurrensen mellan olika kraftslag. Investeringar i nya produktionsanläggningar har de senaste åren endast skett med stöd av subventioner. Det som byggs är främst icke planerbar kraft med låga rörliga kostnader. Det driver på utvecklingen mot ännu lägre elpriser, men sänker inte den totala kostnaden i elsystemet. Sammantaget kan det leda till att fler kärnkraftverk läggs ned i framtiden. Situationen drabbar alla kraftslag. Incitamenten minskar för moderniseringar av vattenkraftverk, och äldre vindkraftverk tas ur drift på grund av bristande lönsamhet.

FÖRSÖRJNINGSTRYGGHET

Sverige har idag en stark elenergilans och har varit nettoexportör av el de senaste åren. Det beror delvis på en snabb tillväxt i vindkraft, men också på hög tillgänglighet i andra kraftslag.

Inom de närmaste åren kommer utbudet att minska då fyra kärnkraftverk stängs, men bedömningen från Svenska kraftnät är att energi- och effektbalans kommer kunna hanteras.

Stängs däremot ytterligare reaktorer i en nära framtid försvagas kraftbalansen markant, både vad gäller energi och effekt, och därmed även robustheten i systemet. Sverige kommer i stället bli beroende av importerad el, främst från fossilbaserad elproduktion. Det leder både till ökade kostnader och ökad klimatpåverkan, samt försämrad leveranssäkerhet (Se avsnitt Fördjupad analys av produktionssystem).

Ur ett elproduktionsperspektiv har Sverige flera möjligheter att kunna ersätta dagens reaktorer med ny fossilfri elproduktion, baserad på vattenkraft, biokraft, sol och vind, eller ny kärnkraft. Beroende på hur produktionssystemet utvecklas krävs även anpassningar av elnätet, både inom landet och för utbyte av el mellan länder. Sannolikt kommer de lokala distributionssystemen att spela en allt mer avgörande roll i takt med att fler producerar sin egen el, och behoven av att kunna lagra el och styra förbrukningen kommer att öka. Här kan också en ökad samverkan behöva ske med andra energislag. Elenergi kan lagras i batterier, men även som värme i ett fjärrvärmesystem eller kemiskt

som gas i ett gasnät. Det ökar flexibiliteten och minskar sårbarheten i hela energisystemet.

Det sker en snabb teknikutveckling och kostnaderna faller inom många energirelaterade områden. Idag är det svårt att förutse hur utvecklingen kan påverka förutsättningarna och därmed även utmaningarna på elmarknaden, kanske redan inom 10–15 år. Därför är det viktigt att vi inte binder upp oss vid en given lösning, utan att vi har en beredskap och en flexibilitet för att denna utveckling ska kunna tas tillvara på bästa sätt med kostnadseffektivitet i fokus.

Om de resterande sex kärnkraftverken kan vara i drift sin planerade livslängd ut, har vi bättre förutsättningar att på ett kostnadseffektivt sätt ta tillvara på Sveriges komparativa fördelar och den positiva teknikutveckling som sker. Det minskar belastningen på klimatet och miljön, samt stärker försörjningstryggheten och leveranssäkerheten i systemet.

Rekommendationer från Vägval el

Baserat på slutsatserna ovan ges följande rekommendationer:

VÄGVAL 1:

Se el som en möjliggörare för industriell utveckling och minskad klimatbelastning

Elanvändningen har legat relativt konstant de senaste 25 åren, trots befolkningstillväxt och ekonomiskt tillväxt, tack vare strukturförändringar inom industrin, effektivare elanvändning i byggnader samt effektivare apparater och systemlösningar. Fortsatt fokus på energieffektivisering är viktigt ur ett systemperspektiv, men kan också leda till en ökad elanvändning.

Flera faktorer har identifierats inom projektet som kan bryta trenden med en stabil, eller till och med minskande, elanvändning som vi har sett på senare år (Liljeblad, 2016). En snabbare befolkningstillväxt är en faktor som både är svår att prognostisera och att styra över. Mer aktiva åtgärder som kan leda till en ökad elanvändning och samtidigt minskad klimatpåverkan är till exempel elektrifiering av transportsektorn och järn- och stålindustrin, fortsatt digitalisering och etablering av serverhallar.

Ett konkurrenskraftigt elsystem bidrar till att investeringar förläggs i Sverige och inte i länder med mer miljöstörande elproduktion. Det minskar miljöpåverkan samtidigt som det gynnar svensk ekonomi.

Vägval el rekommenderar

- Skapa ett konkurrenskraftigt elsystem för att attrahera industriella investeringar till Sverige.

- Betrakta elsystemet ur ett större energisystemperspektiv, där en effektiv samverkan kan ske mellan el-, värme- och gassystemen; då el kan lagras som hetvatten eller kemiskt i form av gas. Se möjligheterna till ett totalt sett effektivare resursutnyttjande med hjälp av el som en effektiv energibärare.

- Utnyttja den klimatneutrala elen i klimatpolitiken, exempelvis genom att satsa på en snabbare elektrifiering av transportsektorn, samt forskning och utveckling för att ersätta fossila insatsvaror med el inom industrin.

- Satsa på forskning, innovation, demonstration och affärsutveckling inom strategiska områden för Sverige, som både stödjer industriell utveckling och ett hållbart elsystem.

VÄGVAL 2:

Skapa handlingsutrymme för en kostnads-effektiv utveckling av elsystemet

Det sker en snabb teknikutveckling och vi kan inte förutse vilka möjligheter som kan finnas tillgängliga kanske så snart som inom 10–15 år. För att vi inte idag ska låsa fast oss i ett system är det viktigt att vi skapar ett handlingsutrymme i tiden, för att ta till vara på denna utveckling.

En aktuell fråga är en eventuell förtida nedläggning av de återstående sex kärnkraftverken. Kan de vara i drift hela sin planerade livslängd, har vi tid på oss för de reinvesteringar i ny produktionskapacitet och den infrastruktur som krävs, samtidigt som vi kan vara flexibla inför den teknikutveckling som sker. En snabb

nedläggning kommer dessutom att göra det dyrare att nå klimatmålen på europeisk nivå. Beräkningar inom Vägval el visar att en stängning av alla reaktorer till år 2020 kostar drygt 200 miljarder kronor och orsakar ökade koldioxidutsläpp på i storleksordningen 500 miljoner ton i de kraftverk som ersätter de svenska reaktorerna.

Vägval el rekommenderar

- Energipolitiken bör utgöra ett tydligt ramverk som ger långsiktiga förutsättningar för elmarknadens aktörer. Utgångspunkten bör vara att politiken styr när det är samhällsekonomiskt motiverat, i övrigt bör marknadslösningar tillämpas.
- Se över snedvridande skatter och subventioner på elmarknaden och skapa likartade villkor för de olika kraftslagen. Som exempel på snedvridande skatter kan nämnas effektskatten på kärnkraft och den högre nivån på fastighetsskatt för vattenkraft.
- Se över stödsystemen så att de inte ger stöd till elproduktion när den inte behövs. Det bör även vara möjligt att styra när nya produktionsanläggningar tas i drift och kommer in i elsystemet.
- Utred behoven och förutsättningarna för en utvidgad marknad för olika typer av systemtjänster, så som tillgänglig effekt och frekvenshållning.
- Skatter som har ett fiskalt syfte bör ligga så nära slutlig konsumtion som möjligt. Skatter och andra pålagor som har ett styrande syfte, till exempel en miljöskatt, ska påföras den produkt eller aktivitet man vill styra i en viss riktning.
- Satsa på utveckling av nya lösningar för ett mer flexibelt elsystem som möjliggör en ökad integration av sol- och vindkraft.

VÄGVAL 3:

Beakta fler miljöfrågor än klimatet

All elproduktion påverkar miljön i olika omfattning vid både uppförande och drift, samt vid avveckling av anläggningar. Miljöfrågorna är komplexa och svåra att värdera mot varandra. Debatten kring energisystemet fokuserar ofta med rätta på klimatfrågan. Men det är viktigt att även fler miljöaspekter vägs in vid en miljövärdering av olika kraftslag. Idag är kunskapen begränsad om exempelvis påverkan på biologisk mångfald och miljöpåverkan från nya material och tekniker.

Vägval el rekommenderar

- Öka kunskapen om miljöpåverkan i flera led, med målet att till exempel kunna genomföra fullständiga livscykelanalyser eller andra typer av miljövärderingar för olika kraftslag. Det ger bättre underlag för att kunna sätta ett pris på negativa externa effekter och ta hänsyn till detta vid utformning av styrmedel och vid investeringsbeslut.
- Systematisk uppföljning och fördjupad dialog behövs, vilket ger ökad kunskap hos olika parter om hur olika kraftslag, specifikt vatten- och biokraft, påverkar den biologiska mångfalden. Detta är en förutsättning för en snabbare och mer förutsägbar tillståndsbedömning.
- Ökat fokus och analys om hur nya material och tekniker påverkar miljön, till exempel batterier och solceller. Frågan inkluderar både råvaruutvinning, framställning, användning och möjligheter till återvinning av materialen och vad som krävs för att så ska ske.

VÄGVAL 4:

Slå fast ett mål för leveranssäkerhet för att bibehålla dagens höga nivå

Leveranssäkerheten är generellt sett mycket hög i det svenska elsystemet. Det har historiskt varit en viktig konkurrensfördel för industrin

och även gynnat samhället i stort. Nu sker det förändringar i det tekniska systemet som kan minska leveranssäkerheten om inte olika åtgärder vidtas. För att kunna utvärdera och fastställa vilka åtgärder som krävs i ett föränderligt elsystem måste ett mål fastställas för leveranssäkerhet i systemet.

Vägval el rekommenderar

- Ta fram ett mätbart mål för leveranssäkerhet i elsystemet som säkerställer att minst dagens nivå kan upprätthållas. Detta bör göras i samverkan med grannländerna.
- Tydliggör vem som är ansvarig för att målet nås och att leveranssäkerheten upprätthålls. Vägval el föreslår att Svenska kraftnät får det ansvaret.
- Om styrmedel för att upprätthålla leveranssäkerheten införs, bör de vara teknikneutrala för att säkerställa att de mest konkurrenskraftiga lösningarna väljs.

VÄGVAL 5:

Förstärk samarbetet med omvärlden

Sverige har historiskt haft ett väl fungerande el-samarbete med våra nordiska grannländer. Nu sker förändringar som gör att vi får en alltmer sammankopplad elmarknad. EU har till exempel lagt fram förslag på en energiunion, med syfte att säkerställa en effektiv, trygg och hållbar energiförsörjning. Sverige bör därför se över möjligheterna att utöka energisamarbetet.

Ökad samverkan ger större möjligheter att utnyttja resurser effektivt och skapar nya affärs-möjligheter. Sverige och många länder i vår omvärld går mot en utveckling med mer förnybar, men också till stor del icke planerbar, kraft i elsystemet. Utvecklingen är på många sätt positiv, men leder också till utmaningar. Det behövs nya lösningar för att upprätthålla balansen i systemet och för att säkerställa leveranssäkerheten. Sverige skulle kunna vara självförsörjande på effekt och ha en utökad kapacitet för de dagar det inte blå-

ser, men att löpa linan hela vägen ut kan bli orimligt dyrt. Om alla länder skulle välja den vägen leder det till en onödig överkapacitet i elsystemet som sällan eller aldrig kommer till användning. Ju bättre överföringskapaciteten är mellan länder inom ett större elområde, desto effektivare kan de gemensamma resurserna utnyttjas.

Vägval el rekommenderar

- Fördjupa det regionala samarbetet kring leveranssäkerhet med omkringliggande länder för ett gemensamt effektivare resursutnyttjande.
- Se över behovet av investeringar i ny överföringskapacitet på längre sikt i samverkan med närliggande länder.
- För att garantera leveranssäkerheten och kunna upprätthålla balansen i systemet även under extrema situationer, behöver det göras gemensamma regionala studier och överenskommelser som fastlägger hur mycket kapacitet som kan tillgodoräknas i knapphetssituationer.

Energiewende



Omvärldsfaktorer som påverkar elsystemets utveckling

Inom projektet Vägval el diskuterar vi förutsättningar på den svenska elmarknaden, och ger rekommendationer om hur den kan utvecklas. Sverige är i väldigt stor utsträckning beroende av utvecklingen i omvärlden, och vilka åtgärder andra länder vidtar i sina energisystem. Det finns även andra faktorer som har en stor påverkan på vårt elsystem, såsom befolkningstillväxt och teknisk utveckling. Nedan ges en övergripande bild av olika omvärldsfaktorer som påverkar det svenska elsystemet.

FÖRÄNDRADE BEHOV AV EL I FRAMTIDEN

Elanvändningen har legat relativt konstant de senaste 25 åren, trots befolkningstillväxt och ekonomiskt tillväxt, genom strukturförändringar inom industrin, effektivare elanvändning i byggnader samt effektivare apparater och systemlösningar.

Efterfrågan på el kan ändå komma att öka, på grund av en ännu snabbare befolkningstillväxt och en elektrifiering inom industrin och transportsektorn, där el ersätter fossila bränslen. Det bör finnas en beredskap för att kunna möta denna efterfrågan på el på ett hållbart sätt (Liljeblad, 2016). Hur framtidens elanvändning kan komma att utvecklas diskuteras närmare i avsnittet *Vad påverkar framtidens elanvändning?* samt i tillhörande delrapport och en specialrapport *Scenarier för den framtida elanvändningen*.

TEKNIKUTVECKLING SKAPAR NYA FÖRUTSÄTTNINGAR I ELSYSTEMET

Solceller och vindkraft producerade globalt cirka fyra procent av all elenergi 2013, och det

har hänt mycket sedan dess. Kostnaderna för dessa produktionsslag faller snabbt och på flera platser i världen är sol och vind de billigaste nybyggda elproduktionskällorna (IEA, 2015).

Den mest kostnadseffektiva nya elproduktionen i Sverige idag är nybyggnation av vindkraft. Då teknikutvecklingen fortsätter kommer sannolikt den relativa kostnadsfördelen att öka. Vindkraften har också en årsvariation som passar elkonsumenterna i Sverige, eftersom den levererar som mest under årets kallaste delar. Sammantaget talar det för en fortsatt utbyggnad av vindkraftsproduktion i Sverige.

Intresset för solkraft ökar stadigt, både från privatpersoner och fastighetsbolag, med det gemensamt att de primärt är användare av el och inte kommersiella energibolag. Kostnaderna faller och teknikutvecklingen skapar nya möjligheter att till exempel integrera solelproduktion i fasad och takbeklädnad på byggnader, vilket kan öka utbudet av solkraft i Sverige.

På grund av sin väder- och säsongsberoende natur ställer sol- och vindenergi nya krav på elsystemet och flera länder, till exempel Kina, Tyskland och USA, ökar nu sin transmissionskapacitet för att hantera variationerna. En ökad andel väderberoende produktion i Sverige tillför utmaningar för det framtida elsystemet då den producerade effekten varierar. Det sker även en teknikutveckling för att hantera dessa utmaningar.

Lösningarna kan grovt delas in i tre olika områden, lagring, förbättrad överföring mellan områden med överskott respektive underskott av el, samt tekniker för att hantera variationen i de väderberoende produktionsslagen.

Exempel på lagringstekniker är batterier, termisk lagring där energin lagras som värme i hetvatten, eller kemisk lagring av el som vätgas eller

i förlängningen metan. Dessa tekniker beskrivs närmare i rapporten *Energilagring – teknik för lagring av el* som Vägval el presenterade i september 2015.

Det sker en teknikutveckling inom alla områden, men i Figur 2 nedan visas som exempel batterier som har en mycket snabb utveckling, samtidigt som priserna faller.

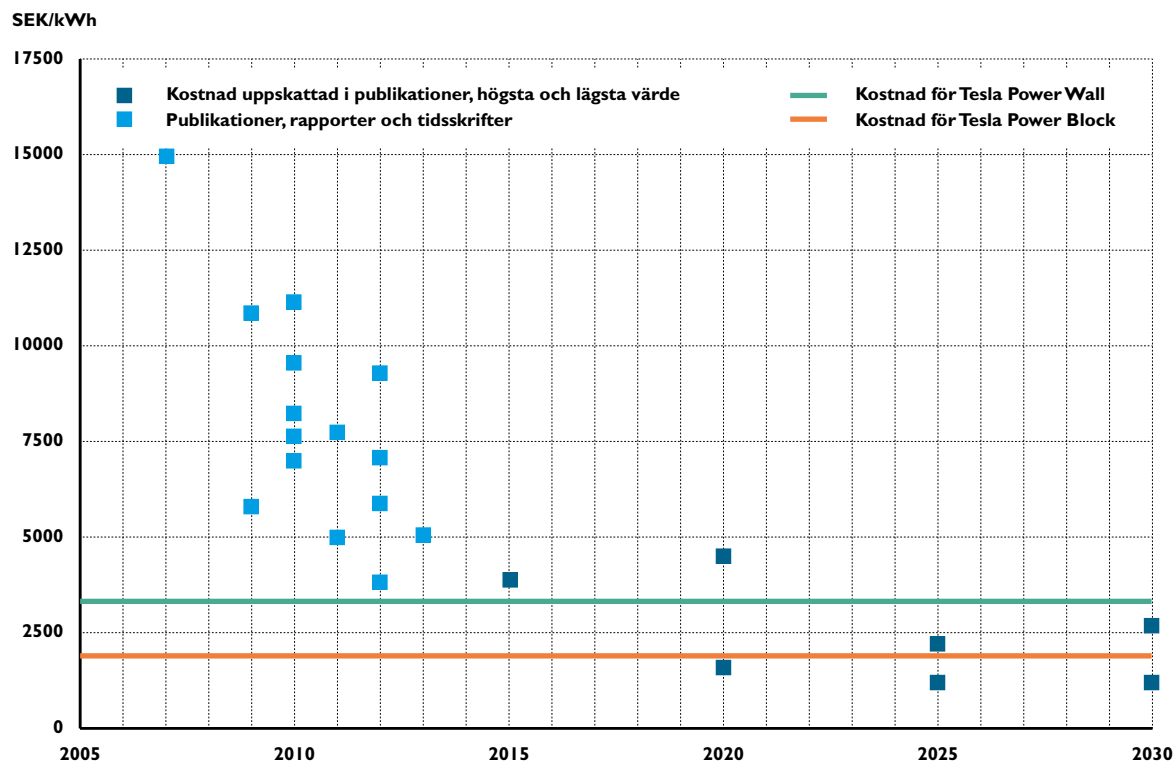
Det sker även en snabb teknikutveckling och ett tekniksifte för effektivare överföring av el över stora avstånd. Den förhärskande tekniken i elnäten har de senaste 100 åren varit växelström. Nu utvecklas och installeras högspänd likström (HVDC) i snabb takt, särskilt i Europa. HVDC kräver mindre plats och ger större möjligheter att styra effektlöden. Tekniken används med fördel över längre sträckor och kan därmed frigöra kapacitet i det befint-

liga transmissionsnätet för att bättre hantera lokala variationer i sol och vindkraftsproduktion (Nordling, 2016).

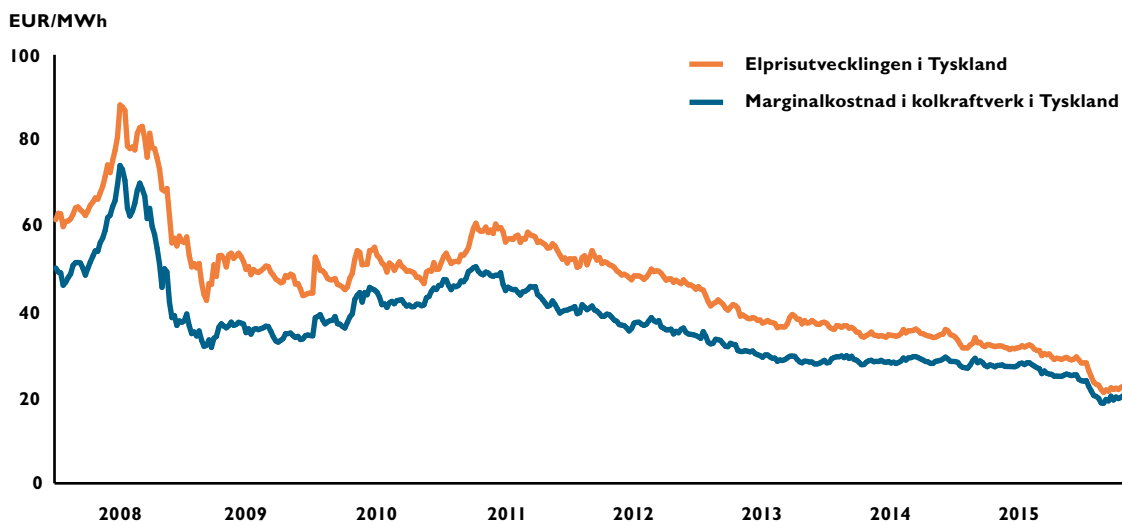
Sol och vind är till sin natur inte planerbara, vilket kräver olika tekniska åtgärder för att upprätthålla stabiliteten i elnätet och säkerställa tillförseln av el. Det behövs såväl alternativ produktion eller import för att täcka behoven då det inte blåser, som teknik för att upprätthålla stabiliteten i elnätet. Med modern strömriktarteknik kan vindkraftverk och solesystem konstrueras så att de bidrar till spännings- och frekvenshållning i elnätet.

Även industriell digitalisering bidrar till integration av mer sol- och vindkraftsproduktion. Sensorer i näten ökar överföringsförmågan temporärt, bättre väderprognoser och nya handelssystem jämnar ut obalanser och digi-

Figur 2: Kostnadsutveckling för litium-jonbatterier. Källa: Tekniker för lagring av el, Vägval el, 2015.



Figur 3: Fallande priser på kol påverkar elpriserna, veckogenomsnitt under olika år, EUR/MWh. Källa: Vattenfall



taliseringen ger även möjlighet att styra behovet efter utbud utan att nämnvärt inverka på komforten.

Digitaliseringen påverkar också hur elsystemet drivs. ”Big data”, sensorer och riskanalyser förändrar till exempel underhållet där man nu kan fokusera på de mest kritiska komponenterna och därmed sänka driftskostnaderna.

Kontinuerlig energieffektivisering driver hela tiden ner energibehovet och minskar energiintensiteten. Elmotorer och belysning är de största förbrukningskategorierna. Elmotorer står för 40 procent av elanvändningen i samhället och 65 procent av elanvändningen inom industrin. (Energimyndigheten, 2014). Med nya mer effektiva elmotorer och styrning av dessa kan förbrukningen minska med upp till 60 procent (Siemens, 2016). På motsvarande sätt kan ny effektiv LED-teknik halvera elanvändningen för belysning.

Energieffektiviseringen i kombination med egenproducerad sol ser ut att sänka energitransporten i elnäten även om effektvariationerna sannolikt kommer att öka med sol och vind.

SKIFFERGASREVOLUTIONEN

Ett teknikgenombrott för utvinning av naturgas och olja ur skiffer i USA och Kanada har helt ritat om den geopolitiska kartan. Från ett läge för några år sedan där man förberedde sig på att bli importberoende av olja och gas, har USA i stället blivit självförsörjande och kan exportera fossila bränslen. Samtidigt har tillväxten i Kina bromsats in. Det har bland annat lett till ett globalt överskott på kol med fallande priser som följd. Det billiga kolet har haft en stor inverkan på de europeiska elmarknaderna. Produktionskostnaderna i kolkraftverk är delvis prissättande på marginalen även för den nordiska och därmed den svenska elmarknaden, genom elutbytet med bland annat Tyskland och Polen. Sjunkande kolpriser har därför bidragit till låga priser på den svenska elmarknaden. I diagrammet i Figur 3 visas hur kol- och elpriser har följts åt i Tyskland 2008–2015.

FUKUSHIMA

Tsunamin norr om Tokyo den 11 mars 2011 medförde en serie haverier vid kärnkraftverket

Fukushima, med radioaktiva utsläpp som följd. Olyckan bidrog till en förnyad debatt om kärnkraftens säkerhet i Europa, och i Tyskland beslöt att kärnkraften ska vara avvecklad senast 2022. Samtidigt ökades takten i ”Energiewende”. En konsekvens av Fukushimaolyckan var också att EU beslutade att samtliga kärnkraftsreaktorer ska förses med en oberoende härdkylning senast 2020. För de svenska kärnkraftverken innebär det omfattande investeringar. I kombination med låga elpriser och den extra kostnad som effektskatten innebär, kan det medföra att reaktorer stängs i förtid.

EU PÅVERKAR DEN NORDISKA ELMARKNADEN

EUS insatser på energiområdet ska vila på tre pelare: miljömässig hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet, vilket även har anammats av den svenska regeringen. EUS energi- och klimatpolitik har ett stort inflytande även över den svenska politiken, både direkt genom att EU-direktiv implementeras i svensk lagstiftning och indirekt genom att vi tillhör samma marknad.

Den europeiska elmarknaden är inne i en övergångsperiod, med en storskalig utbyggnad av förnybar elproduktion, minskad efterfrågan på el och låga priser på fossila bränslen, vilket pressar elpriserna på marginalen. Utvecklingen mot en ökad andel icke planerbar elproduktion och begränsade incitament för att upprätthålla produktion eller investera i ny planerbar kraft, har drivit på en diskussion om försörjningstryggheten i Europa (Europeiska kommissionen, 2016).

Det har medfört att flera medlemsländer infört så kallade kapacitetsmekanismer för att trygga sin elförsörjning. Det innebär kompletterande marknadslösningar för att upprätthålla effekten i systemet. Dessa åtgärder har kritiserats för att skapa handelshinder, gynna vissa sorters tekniker eller producenter och för att eventuellt strida mot EUS regler för statligt stöd. EU-kommissionen har därför tillsatt utredningar och samråd för att under år 2016 presentera hur och om kapacitetsmekanismer kan användas,

samt hur utformningen av elmarknaden ska se ut (Europeiska kommissionen, 2016).

För att minska utsläppen av klimatpåverkande gaser, infördes ett handelssystem för utsläppsrätter 2005 (EU-ETS). Systemet omfattar främst anläggningar inom energiintensiv industri och energiproduktionsanläggningar. För dessa anges en övre gräns för hur stora utsläppen får bli, ett ”utsläppstak”, vilket kommer att sänkas successivt. I samband med finanskrisen 2008 minskade koldioxidutsläppen kraftigt inom industrin, vilket också har inneburit mycket låga priser på utsläppsrätter. Det har minskat den styrande effekten av systemet vad gäller omställningen från fossil till förnybar elproduktion, vilket också indirekt har påverkat elpriserna i Sverige. EU-kommissionen lade 2015 fram ett förslag på en revidering av systemet inför den kommande handelsperioden 2021–2030, vilket kan driva fram högre elpriser.

Europeiska kommissionen presenterade i februari 2015 EUS energiunion, en övergripande och samlad strategi med syftet att säkerställa en överkomlig, trygg och hållbar energitillförsel inom EU. Energiunionen består av flera delar, bland annat Elsammanlänkningsmålet. Det innebär att varje medlemsstat ska ha en handelskapacitet på minst 10 procent av landets installerade elproduktion till omkringliggande länder senast 2020. Sverige har idag 26 procent, medan vissa länder knappt har någon. Några viktiga syften med Elsammanlänkningsmålet är att trygga elförsörjningen, öka konkurrensen på den inhemska marknaden och kunna bedriva en effektivare klimatpolitik. Effektivare elmarknader inom EU påverkar även Sverige positivt.

Trots ansträngningar att skapa en gemensam elmarknad fattar medlemsländerna själva de viktigaste besluten, som energimix, stöd till förnybart och kapacitetsmarknader. Medlemsländerna måste dock följa de riktlinjer som EUS konkurrensdirektorat lagt fast.

Europeiska kommissionen presenterade i juli 2015 en strategi för förändringar inom bland annat EUS utsläppshandelssystem, en översyn av energimärkningsdirektivet och en ny energimärknadsdesign (Europeiska kommissionen, 2015).

UTVECKLING I SVERIGES NÄROMRÅDE

Den svenska elmarknaden har aldrig varit isolerad och blir nu allt mer integrerad med omvärlden.

Tysklands ”Energiewende”

Tre månader efter olyckan i Fukushima beslutade den tyska regeringen att Tysklands elförsörjning ska vara fri från kärnkraft och till stor del komma från förnybara energikällor senast 2022. Stängning av kärnkraft, minskning av fossila bränslen och ökning av förnybar elproduktion går under begreppet ”Energiewende”. Det har bland annat inneburit en mycket stor satsning på vindkraft och solkraft, vilket även globalt bidragit till att pressa priset på dessa kraftslag. Den installerade effekten är nu så stor att Tyskland enstaka timmar teoretiskt sett kan täcka hela sin elförsörjning med sol och vind. I praktiken måste annan produktion vara i drift för att upprätthålla stabiliteten i systemet. Ökningen av andelen sol och vind innebär utmaningar, då variationerna i elproduktion kan bli stora. Det ställer höga krav på elnätet och på omkringliggande länder för att hjälpa till med att ta hand om elöverskott. För att klara utmaningarna införs tre olika kapacitetsmekanismer, och en auktion för nya anläggningar i södra Tyskland diskuteras.

Tysklands kraftfulla satsning på sol och vind påverkar även den svenska elmarknaden. Elpriserna i Tyskland blir mer volatila, och behovet av ett ökat utbyte med andra länder ökar, dels vid överskott, och dels under perioder med liten tillgång på sol och vind.

Norge satsar på export av eleffekt

Norges elproduktion är i det närmaste fossilfri genom att 96 procent kommer från vattenkraft. År 2012 satte Norge och Sverige gemensamt upp ett mål om att öka den förnybara elproduktionen i länderna med 28,4 TWh från år 2012 till år 2020. För att nå det målet har länderna ett gemensamt elcertifikatsystem till stöd för nyproduktion av förnybar el (Energimyndigheten. se – Elcertifikatsystemet).

Det har resulterat i en ökad vindkraftutbyggnad i Norge. 2015 uppgick vindkraftsproduktionen till 2,5 TWh. Norges energiminister har dock meddelat att Norge avser att stoppa allt ekonomiskt stöd till vindkraft och inte fortsätta med det norsk-svenska elcertifikatsystemet från och med 2021 (Olje- og energidepartementet, 2016). Norge som redan idag är en stor nettoexportör av el planerar en stor utbyggnad av landets exportkapacitet till bland annat England, Skottland och Tyskland, med kablar på vardera 1400 MW som planeras vara färdiga 2020–2021. Tillsammans med den fjärde kabeln mellan Norge och Danmark på 700 MW uppgår den planerade utbyggnaden till nästan 5000 MW i överföringskapacitet. För Norge är tanken att kunna exportera vattenkraft när det inte blåser och när priserna är höga i grannländerna, samt kunna importera billig kraft i den omvända situationen.

Norge har sedan tidigare större överföringskablar mot Sverige, Danmark och Nederländerna, samt mindre mot både Finland och Ryssland. Den ökande exportkapaciteten avsedd för övriga Europa kan innebära en minskad möjlighet för Sverige att få importera vattenkraftsel från Norge och skulle kunna innebära ökade priser på den svenska elmarknaden.

Norge har sedan tidigare större överföringskablar mot Sverige, Danmark och Nederländerna, samt mindre mot både Finland och Ryssland. Den ökande exportkapaciteten avsedd för övriga Europa kan innebära en minskad möjlighet för Sverige att få importera vattenkraftsel från Norge och skulle kunna innebära ökade priser på den svenska elmarknaden.

Finland investerar i ny kärnkraft för ökad självförsörjning

Den finska regeringens mål är ”Kolfri, ren och förnybar energi på ett kostnadseffektivt sätt”. Det innebär bland annat att användningen av kol ska försvinna och självförsörjningsgraden av el ska öka (Arbets- och näringsministeriet, 2015).

Finland importerar idag cirka 20 procent av sitt elbehov från Sverige, Norge och Ryssland. Trots att den finska regeringen anser att den nordiska elmarknaden fungerar bra så är ökad självförsörjningsgrad ett prioriterat område. Finland exporterar även el till framförallt Estland. Den finska elproduktionen baseras på ungefär en tredjedel vardera av vattenkraft, kärnkraft och kraftvärme. Vindkraft utgör cirka 3 procent av elproduktionen.

För att öka andelen förnybar energi har Finland infört ett så kallat ”feed-in” tariffsystem med definierade riktpriiser, där mellanskillna-

den betalas till producenten som stöd för produktion av el från skogsflis, biogas, träbränsle och vindkraft (Arbets- och näringsministeriet, 2015). Finland satsar även på ny kärnkraft, för att minska importberoendet och ersätta äldre anläggningar som tas ur drift. Kärnkraftverket som är under uppförande i Olkiluoto beräknas tas i drift 2018, och en planerad reaktor i Hanhikivi beräknas tas i drift år 2024 (World Nuclear Association, 2016). Att Finland stärker sin kraftbalans är till fördel för leveranssäkerheten i Norden.

Danmark fortsätter att bygga ut vindkraft

Danmark satsade tidigt på vindkraft. 2015 produceras 14,1 TWh eller 42 procent av Danmarks elbehov på totalt 33,4 TWh med vindkraft, vilket är högst andel i världen (Energinet.dk). Målet är att 50 procent av elproduktionen ska komma från vindkraft 2020, vilket man bedömer kommer att nås (Energipolitisk redogörelse 2015, Klima, energi- og bygningsministerens redogörelse til Folketinget om energipolitikken). Danmark är helt beroende av det starka elutbytet med Norge och Sverige för att vindkraftstrategin ska vara möjlig.

Idag svarar fossila bränslen (kol och gas), för en tredjedel av elproduktionen. Visionen är att det danska energisystemet ska vara helt fossilfritt 2050. Vindkraften kommer fortsatt spela en stor roll, och man ser framför sig en kraftig utbyggnad i Nordsjöområdet. De stora satsningarna på vindkraft ställer krav på en anpassning av det danska elsystemet. Även satsningarna i Tyskland påverkar Danmark. Om tio år bedöms den installerade vindkrafteffekten i Nordtyskland uppgå till cirka 34 GW, att jämföra med Danmarks nuvarande 5 GW (Energikoncept 2030 – Energinet.dk).

Den varierande elproduktionen från vindkraften ställer stora krav på överföringskapacitet inom landet och med övriga länder i regionen, men även på egen reglerbar elproduktion. För att nå klimatmålen planeras fossila bränslen för elproduktion att ersättas med biobränslen och avfall.

Danmark är väl sammanlänkat med överföringskablar till Sverige, Norge och Tyskland.

Dessutom planeras nya kablar till Nederländerna och England (Energinet.dk).

Baltikum sammanlänkas med EU

Den baltiska energimarknaden omfattar länderna Estland, Lettland och Litauen, och är idag en del av Nord Pool-området. Det innebär att priset på el sätts gemensamt på den nordiska elbörsen. För att integrera den baltiska energimarknaden med resten av EU, drivs EU-projektet Baltic Energy Market Interconnection Plan (BEMIP). Exempel på kablar som omfattas av projektet är NordBalt mellan Sverige och Litauen, LitPol Link mellan Litauen och Polen, samt Estlink 1 och 2 mellan Estland och Finland (European Commission, 2016).

Tillsammans är Baltikum idag en nettoimportör av el från framförallt Finland, Ryssland och Vitryssland (ENTSO-E, 2015). Genom idrifttagande av NordBalt och LitPol Link beräknas Sveriges och Polens andel av elimporten öka (European Commission, 2016).

Produktionsmixen i Baltikum utgörs framförallt av fossila bränslen. Lettland och Litauen har även vattenkraft och Litauen och Estland en del vindkraft.

Baltikum har inte haft egen kärnkraftsproduktion sedan avvecklingen av Litauens kärnkraftverk i Ignalina år 2009. Till dess var el en viktig exportinkomst, men kärnkraftverket stängdes efter påtryckningar från EU. För att minska sitt importbehov av el finns planer på att bygga ett nytt kärnkraftverk. Ryssland och Vitryssland har också startat byggnation av två reaktorer nära den litauiska gränsen (World Nuclear Association, 2016).

Polen har stort beroende av kolkraft

Den polska elproduktionen baseras i stor utsträckning på kol och landet har den största kolreserven inom den Europeiska unionen. Kolkraften motsvarar 76 procent av elproduktionen. El produceras även med naturgas, biobränslen, vindkraft och vattenkraft. En kraftig utbyggnad har skett av vindkraften under senare år och den svarar nu för knappt 10 procent av elproduktionen. Enligt den polska regeringens energi- och klimatpolicy ska kolkraftproduktionen minska genom utbyggnad av kärnkraft,

samt genom satsningar på förnybara energikällor och naturgas (Maciazek, 2015) (Polish Ministry of Energy, 2015). Polen har historiskt sett varit nettoexportör av el till framförallt till Tjeckien och Slovakien.

Polens överföringskapacitet gentemot grannländerna påverkas av Tysklands begränsade överföringskapacitet mellan norra Tyskland, där det byggs stora mängder vindkraft och södra Tyskland, där större delen av elförbrukningen sker. En stor del av Tysklands eltransport i nord-sydlig riktning sker genom Polen (ACER, 2014) (Svenska kraftnät, 2015).

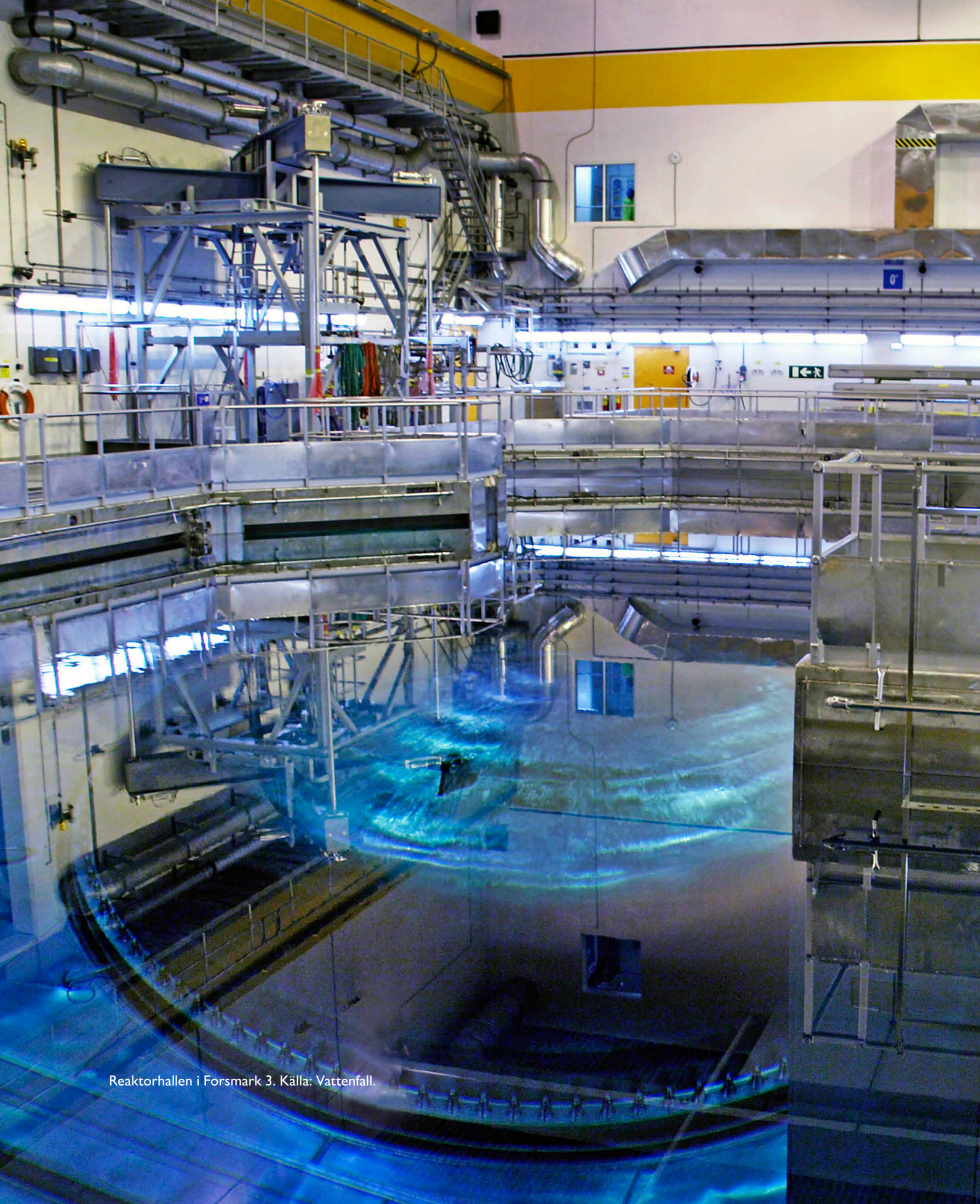
De svenska, polska och baltiska elmarknaderna har knutits allt närmare varandra genom kabelförbindelsen SwePol Link mellan Sverige och Polen, och den så kallade "Baltiska ringen" med LitPol och NordBalt (European Commission, 2015). Sammanlänkningen har emellertid inneburit att även Sverige och Baltikum kommit att påverkas av de driftplaneringsproblem, som de gränsöverskridande kraftströmmarna från Tyskland kan ge upphov till (Svenska kraftnät, 2015).

För att öka sin självförsörjningsgrad planerar nu Polen för egen kärnkraftsproduktion och en första byggstart beräknas ske under 2020-talet (World Nuclear Association, 2016). Utnyttjande av Polens stora fyndigheter av skiffergas har diskuterats, men för närvarande har landet inte någon särskild strategi på området (Maciazek, 2015).

Ryssland planerar för ny kärnkraft

Ryssland är sammankopplat med den nordiska och baltiska elmarknaden via Finland, Estland, Lettland och Litauen, men även via Norge. Sammantaget sker en nettoimport på cirka 5 TWh (2012). (Energy-charts.de, Datasource: ENTSO-E). Rysslands elproduktion är till över 60 procent baserad på fossila bränslen, gas och kol. Kärnkraft och vattenkraft svarar för knappt 20 procent vardera.

En kraftig ökning av kärnkraftsproduktionen planeras i Ryssland, dels för att ersätta äldre kärnkraftverk som behöver avvecklas och dels för att öka kapaciteten. Elutbytet med Ryssland kan komma att indirekt påverka Sveriges tillgänglighet och prisbild via Finland och Baltikum som i sin tur är direkt sammanlänkade med Ryssland.



Reaktorhallen i Forsmark 3. Källa: Vattenfall.

Utmaningar i det svenska elsystemet

I Sverige har vi idag ett av världens bästa elsystem med avseende på miljöpåverkan, försörjningstrygghet och konkurrenskraftiga elpriser. I Europa pågår en omställning från fossilbaserad elproduktion till kraftslag med låga koldioxidutsläpp, medan det svenska systemet redan idag är i det närmaste fossilfritt.

Sverige har en hög elanvändning relativt andra länder, men det har ändå bidragit till en lägre andel fossila bränslen och låga koldioxidutsläpp jämfört med andra industriländer. En säker tillgång på el till konkurrenskraftiga kostnader har bidragit till teknisk utveckling och en konkurrenskraftig exportindustri, vilket har gynnat samhällsutvecklingen i stort.

Det finns flera faktorer som pekar mot att elanvändningen kan komma att öka de kommande åren, inte minst genom befolkningstillväxten. En ökad elanvändning kan även vara en viktig del i klimatarbetet genom att el ersätter fossila bränslen i transportsektorn och i industrin. El bidrar även till ett totalt sett effektivare resursutnyttjande.

Sverige har en stark elenergibalans och har varit nettoexportör av el de senaste åren. Fyra kärnkraftverk kommer att tas ur drift före 2020, vilket kommer att innebära utmaningar, men elsystemet har förutsättningar för att kunna hantera det.

Ett orosmoln är att elproducenterna har dålig lönsamhet. Omvärldsfaktorer såsom låga kostnader för kol och gas, låga priser på utsläppsrätter samt ökad produktion främst från sol och vind, sänker marginalkostnaden i systemet och därmed ersättningen för all producerad el, medan olika skatter bidrar till att öka produktionskostnaderna för vissa kraftslag.

Kraftindustrin har aviserat att det finns en risk för att ytterligare kärnkraftverk kommer

att stängas inom den närmaste femårsperioden. Det skulle leda till mycket stora utmaningar för elsystemet, bland annat en kraftigt försämrad effektbalans och en ökad osäkerhet på elmarknaden. Det regelverk vi har på elmarknaden idag påskyndar den utvecklingen. Kraftslag som är planerbara och tillhandahåller effekt, såsom vattenkraft och kärnkraft, beskattas medan icke planerbara kraftslag, såsom sol- och vindkraft, får subventioner.

Sverige har i grunden goda förutsättningar för ett hållbart och konkurrenskraftigt elsystem även utan dagens kärnkraftverk, tack vare vattenkraft, stora skogar och en skogsindustri som levererar biobränslen, samt landområden och kuststräckor för utbyggnad av vindkraft. Solen kan komma att spela en större roll på våra breddgrader och även ny kärnkraft är ett alternativ.

Men det handlar inte bara om att ersätta fungerande kraftverk, hela infrastrukturen måste anpassas till nya förutsättningar. Idag sker en snabb teknikutveckling både vad gäller ny produktionsteknik och teknik för lagring och flexibel elanvändning, och samtidigt faller kostnaderna. Ju längre tid vi har på oss för en omställning, desto mindre kommer det att kosta.

Beräkningar inom Vägval el (Rydén, 2016) visar att en stängning av de sex återstående reaktorerna till 2020, jämfört med om de används hela sin planerade livslängd, kostar i storleksordningen 200 miljarder kronor. Den förlorade kraften ersätts främst av importerad fossilbaserad el från andra länder. Stängningen leder också till att de samlade koldioxidutsläppen ökar med närmare 500 miljoner ton från de kraftverk som ersätter de svenska reaktorerna. En snabb nedläggning kommer därför också att göra det dyrare att nå klimatmålen på europeisk nivå (se kapitel *Vad händer om alla svenska reaktorer stängs i förtid*).



Politisk styrning av dagens elmarknad

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. Den överkapacitet som hade funnits i marknaden minskade, då äldre anläggningar togs ur drift. Den nuvarande marknadsmodellen har ännu inte genomlevt en investeringscykel, så det är svårt att värdera hur robust den är.

Den nordiska elmarknaden kännetecknas av stora variationer i nederbörd mellan olika år vilket påverkar vattenkraftens produktion ("våtår" respektive "torrår"), och mellan kalla och mildare vintrar på förbruknings-

sidan. Före avregleringen säkerställdes leveranssäkerheten genom en långsiktig central planering, men efter elmarknadsreformen förutsattes att marknaden skulle hantera och lösa tillgången på effekt. Prissignalen skulle ge incitament för detta, men det visade sig inte vara tillräckligt. För att säkerställa försörjningstryggheten även under torra/kalla år, kompletterades elmarknaden år 2003 med en effektreserv, det vill säga produktionsanläggningar som står tillgängliga eller stora förbrukare av el som är redo att dra ned sin elanvändning om situationen blir ansträngd. Effektreserven upphandlas av Svenska kraftnät. När den infördes var den en tillfällig lösning. Målsättningen var att marknaden skulle utvecklas så att den även skulle kunna hantera leveranssäkerheten i systemet. Men effektreserven har förlängts successivt, nu senast till 2025. Idag diskuterar vi fortfarande vilken marknadslösning som krävs för att säkerställa leveranssäkerheten den kallaste vinterdagen. Dock kan konstateras att leveranssäkerheten inte har varit något problem sedan avregleringen.

2003 kompletterades elmarknaden med en marknad för elcertifikat för att stimulera en ökad andel förnybar elproduktion. Elcertifikaten innebär en extra intäktskälla för de som investerar i förnybar elproduktion. Till att börja med kompletterades biobränsleeldade värmepannor i industrin och i fjärrvärmeverk med turbiner för elproduktion, men på senare år har elcertifikaten främst drivit utvecklingen mot mer vindkraft i Sverige. Vindkraft har, till skillnad från värmebaserad kraft, låga rörliga kostnader. En stor andel vindkraft i systemet

påverkar därför prisstrukturen på elmarknaden.

2005 infördes EUs handelssystem för utsläppsrätter (EU-ETS). Idag är priserna på utsläppsrätter låga, men i den första handelsperioden (2005–2007) hade handeln en påverkan på elpriset. Eftersom fossilkraft, främst kolkraft, i Danmark, Tyskland och Polen vanligen ligger på marginalen på spotmarknaden, innebär högre kostnader för den fossilbaserade elen också ett högre elpris på spotmarknaden. Då befintlig kärnkraft och vattenkraft förväntades få en ökad intäkt på grund av EU-ETS, belades dessa kraftslag med en extra skatt. Vattenkraften fick en höjd fastighetsskatt och kärnkraften fick en höjd effektskatt.

När elmarknaden i Sverige reformerades var det med sikte på en gemensam regional elmarknad i Norden. I många andra länder har utvecklingen av elmarknaden drivits nationellt. Idag

drivs marknadsutvecklingen av EU-kommissionen. En fortsatt europeisk marknadsutveckling kommer ställa krav på en ökad harmonisering av metoder och regelverk. I mars 2015 godkände därför Europeiska rådet kommissionens förslag att skapa en energiunion. Energiunionen ska skapa förutsättningar för en tillförlitlig och ekonomiskt rimlig energiförsörjning för alla och ge EU förutsättningar att bli världsledande på förnybar energi. För att uppnå detta krävs en förändring av Europas energisystem och en omstrukturering av den europeiska elmarknaden (Moberg, 2015).

Politisk styrning och olika typer av marknadsmodeller diskuteras av Samhällsekonomi och elmarknadsgruppen, se avsnittet *Samhällsekonomi och elmarknad*. Styrmedel behandlas också mer ingående i specialrapporten *Skatter och subventioner vid elproduktion*.

Fördjupad analys av produktionssystem

De olika arbetsgrupperna inom Vägval el har presenterat möjlig utveckling för elanvändningen i Sverige, olika produktionsalternativ och vad dessa kan komma att få för konsekvenser för infrastruktur, klimat och miljö. Det förs även en diskussion om förutsättningarna på elmarknaden och vilka konsekvenser dagens marknadsmodell kan få på längre sikt. Arbetsgruppernas slutsatser har lett till följdfrågor om vad som krävs för att upprätthålla leveranssäkerheten på elmarknaden.

Inom Vägval el har en fördjupad analys genomförts, baserad på modellsimuleringar, av olika kraftslag ur ett ekonomiskt perspektiv, för att visa på konsekvenser för elsystemets tek-

niska funktion och för elmarknaden. Modellanalyserna omfattar hela Nordeuropa, med fokus på de nordiska länderna samt Tyskland och Polen.

Modellanalyserna är teoretiska simuleringar för ett tänkt framtida elsystem. Förutsättningarna beskrivs närmare i Bilaga 1. Det intressanta är inte primärt energimixen i sig, utan vilka egenskaper ett elsystem får med olika nivåer av icke planerbar kraft, det vill säga sol- och vindkraft, samt hur effektsituationen ser ut under olika delar av året. Analysen siktar på perioden bortom 2030, och inkluderar en fördjupad simulering för ett tänkbart elsystem på längre sikt, under ”Analysåret 2045”.

EGENSKAPER HOS ETT ELSYSTEM MED HÖG ANDEL ICKE PLANERBAR KRAFT

För modellberäkningarna antas en gemensam och politiskt kraftfull satsning på förnybar elproduktion i Nordeuropa, med målsättningen att det nordeuropeiska systemet når minst 75 procent förnybar el till 2050. Modellsimuleringarna tar inte specifik hänsyn till nationella politiska målsättningar i enskilda länder, som till exempel Tysklands mål att ha minst 80 procent förnybar elproduktion 2050. För att uppnå målet antas ett fortsatt och utvidgat EU-gemensamt stödsystem till förnybart. Antagandet leder till ett 100 procent förnybart elsystem i Sverige. Energimixen för analysåret 2045 enligt modellsimuleringarna visas i Tabell 1. Elbehovet mot-

svarar Produktionsgruppens medelsscenario på 160 TWh (Byman, 2016).

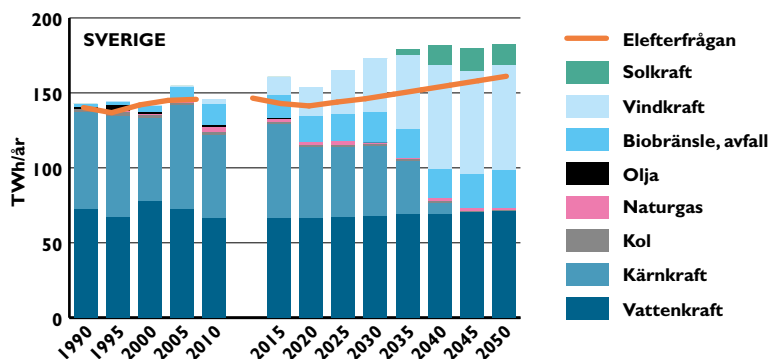
Det innebär att andelen icke planerbar kraft, i form av sol och vind, uppgår till närmare hälften av den totala elproduktionen. Utvecklingen mot 2050 visas i diagrammet i Figur 4. Produktionen av el uppgår till cirka 180 TWh, att jämföra med efterfrågan på 160 TWh.

Sverige och Norge blir fortsatt nettoexportörer av elenergi, eftersom det ur ett nordeuropeiskt perspektiv är lönsamt att utnyttja de förnybara energiresurserna i Sverige och Norge i större utsträckning. Enligt modellsimuleringarna når både Norge och Danmark 100 pro-

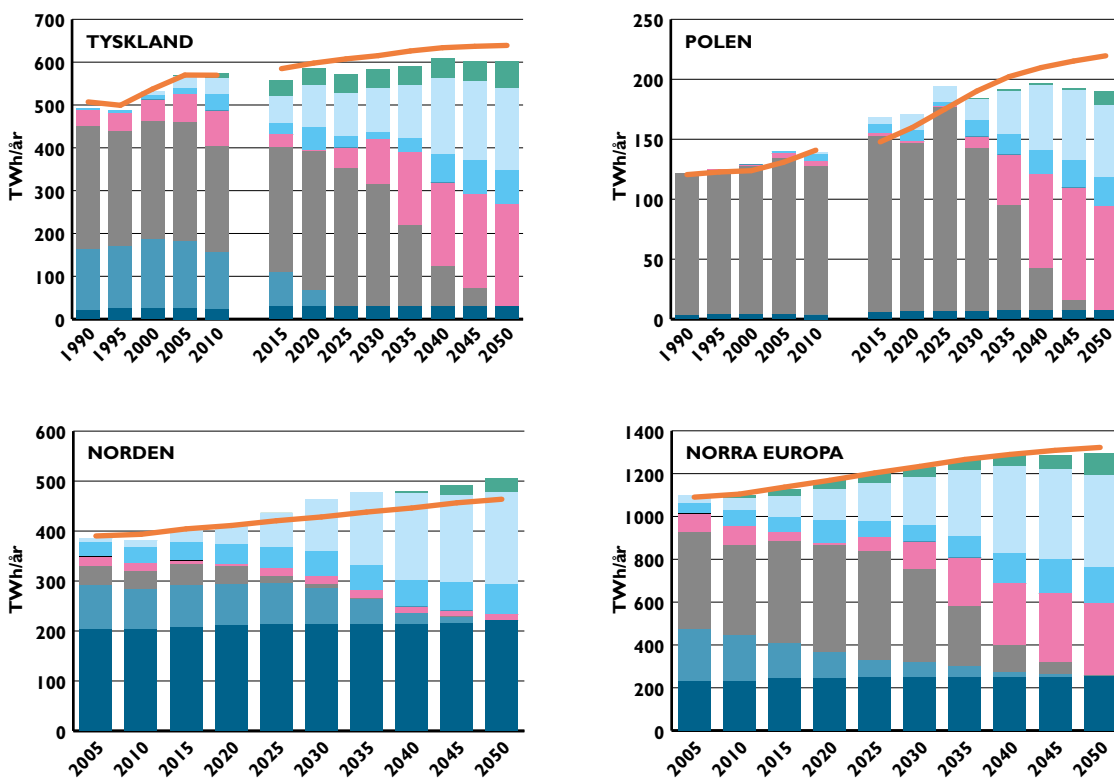
Tabell 1: Fördelning mellan olika kraftslag ”Analysåret 2045” i Sverige för att tillgodose ett energibehov på 160 TWh enligt modellberäkningar. Resultatet visar på en nettoexport av el från Sverige. Källa: NEPP (Rydén, 2016)

Vattenkraft	70 TWh
Biobränslekraftvärme	25–30 TWh
Vindkraft	70 TWh
Solkraft	10–15 TWh
Summa	175–185 TWh

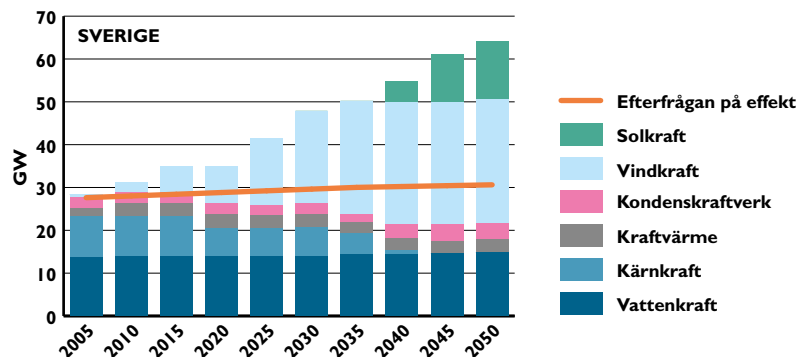
Figur 4: Elproduktion i utvecklingen mot ett 100 procent förnybart elsystem 2050. Historiska data anges för 1990–2010 och modellresultat för 2015–2050. Elanvändningen i Sverige antas öka i måttlig takt och nå 160 TWh (inklusive distributionsförluster) år 2050. Källa: NEPP 2016 (Rydén, 2016).



Figur 5: Diagrammen nedan visar hur elsystemen i norra Europa kan utvecklas vid en gemensam kraftfull satsning på förnybart. De nordiska länderna blir totalt sett nettoexportörer av el, medan Tyskland och Polen blir nettoimportörer av el. Källa: NEPP



Figur 6: Tillgänglig produktionskapacitet i det svenska elsystemet i det ovan beskrivna förnybara scenariot. Det maximala eleffektbehovet i Sverige antas öka i långsam takt och nå drygt 30 GW (inklusive distributionsförluster) år 2050.



Tabell 2: Installerad effekt i Sverige "Analysåret 2045" i ett system med 100 procent förnybar elproduktion som minst producerar 160 TWh. Källa: NEPP

Vattenkraft	14 GW
Kraftvärme och kondenskraft (inklusive eventuell ny kärnkraft)	8 GW
Vindkraft	28 GW
Solkraft	12 GW
Total installerad effekt	62 GW

cent förnybar el, medan andelen i exempelvis Finland, Tyskland och Polen är mindre. I dessa länder är det lönsamt att både investera i förnybar och icke förnybar produktion, eftersom den samlade nordeuropeiska ambitionen är 75 procent förnybar el och därmed medger andra alternativ.

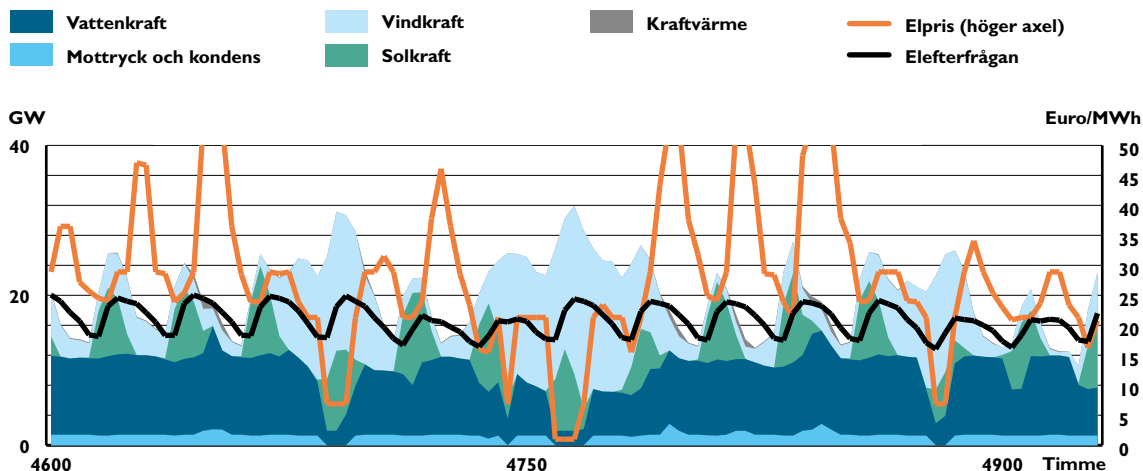
Den installerade eleffekten ökar mycket snabbt i samtliga länder, i takt med investeringarna i vind- och solkraft. Det ger också snabbt ett överskott på installerad effekt. För Sveriges del redovisar modellanalyserna en installerad effekt på över 60 GW, samtidigt som det maximala effektbehovet uppgår till 30 GW. Under sommartid är behovet betydligt lägre, mindre än 10 GW. Trots det kan underskott på effekt uppstå under de perioder då varken vindkraften eller solkraften förmår att producera.

DETALJERAD MODELLERING AV "ANALYSÅRET 2045"

För att bättre förstå hur det tekniska systemet kommer att fungera har modellsimuleringar utförts på timnivå för ett tänkt analysår i perioden 2040–2050: "Analysåret 2045". Modellen (EPOD- se Bilaga 1) simulerar ett kraftår, med optimering av anläggningarnas körordning och vattenkraftens optimala hantering av sina vattenmagasin. Skillnaderna mellan sommar och vinter är stora, dels genom att eleffektbehovet är större när det är kallt och mörkt vintertid, och dels genom att solen producerar mer under sommaren. Modellerna inkluderar inte någon priselasticitet, men visar på behovet av en mer flexibel elanvändning eller kompletterande effektreserv.

Modellanalyserna resulterar i en installerad produktionskapacitet i Sverige på totalt 62 GW, med en fördelning enligt Tabell 2 ovan. Den

Figur 7: Analys av två veckor i juni 2045, i ett elsystem baserat på 100 procent förnybart. Källa: NEPP



installerade effekten är dubbelt så stor som det maximala effektbehovet vintertid, och sex gånger så stort som behovet sommartid. Ändå kan effektbrist uppstå.

Modellering av två sommarveckor

I diagrammet i Figur 7 visas en detaljerad analys för två veckor i juni. Modellberäkningarna visar att Sverige blir nettoexportör av el under dessa båda veckor och att det förekommer timmar då endast sol- och vindkraft behövs för att täcka den svenska elförbrukningen. Det sistnämnda kan skapa stora utmaningar för reglerförmågan och stabiliteten i kraftsystemet. För att kunna hantera dessa utmaningar krävs en serie åtgärder, exempelvis ny teknik för möjlig och snabbare reglering i vindkraft, reglering via kabelförbindelser med utlandet och i befintliga anläggningar, samt mer flexibel användning där elförbrukningen anpassas till produktionen.

Figur 7 visar också hur den rörliga produktionskostnaden, som sätter priset på el, varierar. Vid överskottsproduktion av vind- och solkraft sjunker priset medan det är högre när dessa kraftslag inte producerar. Under vissa timmar är det lönsamt för Sverige att importera en viss mängd el, när andra länders elproduktion

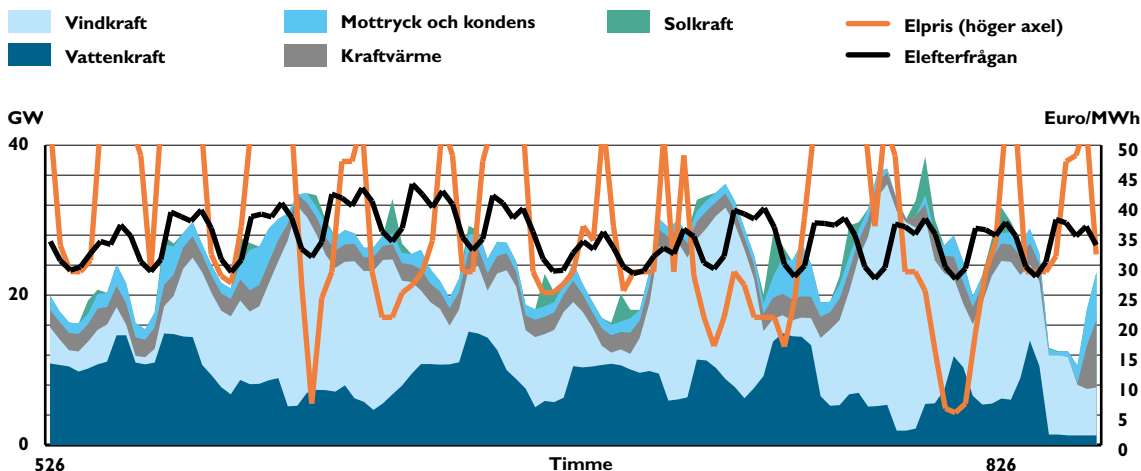
är billigare än vår. Av diagrammet framgår att detta företrädesvis gäller för timmar med relativt högt elpris. Import kan även förekomma under timmar när det råder ett överskott på vindkraftsel och priserna är låga i andra länder.

Modellering av två vinterveckor

I diagrammet i Figur 8 visas en detaljerad modellering för två veckor i januari/februari under "Analysåret 2045". Modellberäkningarna visar att Sverige blir nettoimportör under dessa båda veckor. Det betyder att det är mer lönsamt att importera elenergi från grannländerna än att bygga egen reservkapacitet och låta den täcka upp underskottet. Som mest uppgår importbehovet till 7–8 GW, vilket motsvarar en tredjedel av behovet den kallaste vinterdagen. Det förutsätter emellertid att den kapaciteten finns tillgänglig i praktiken, vilket inte är givet. Situationen kan vara likartad i närliggande länder. För att vara självförsörjande skulle det krävas investeringar i reservkraft motsvarande 7–8 GW.

För de båda vinterveckorna har Sverige ett importbehov under 75 procent av tiden. Den kraft som importeras under dessa timmar är till hälften förnybar, främst vind- och vattenkraft från Norge och Danmark, och till hälften icke

Figur 8: Analys av två veckor i januari/februari 2045, i ett elsystem baserat på 100 procent förnybart. Källa: NEPP



förnybar, kol- och gaskraft från Tyskland och Polen. Importen är alltså fördelad både på olika kraftslag och på olika länder, enligt modellen.

Sett över hela året är importen som störst under vinterhalvåret, då också effektbehovet är som störst. Sammanlagt behöver Sverige importera 8 TWh ”Analysåret 2045”. Det är en helt annan situation än den vi har idag, då vi främst importerar under låglastperioder och under sommarhalvåret, motsvarande cirka 2 TWh.

Intjäningsförmågan för olika kraftslag

Alla kraftslag är verksamma på samma marknad, ändå skiljer sig förutsättningarna åt vad gäller möjligheterna att tjäna pengar. Vindkraften har mycket låga rörliga kostnader. Ökar andelen vindkraft i systemet, leder det till att elpriserna pressas kraftigt när det blåser mycket. Det i sin tur gör att vindkraften underminerar sina egna möjligheter att gå med vinst. Motsvarande situation gäller även för solkraft, men marknadsförutsättningarna ser lite annorlunda ut. Solkraft produceras oftast av fastighetsägare för egen användning, så kallade ”prosumenter”, och ersätter då köpt el, vars pris inkluderar både nätkostnader, skatt och avgifter, vilket gör att

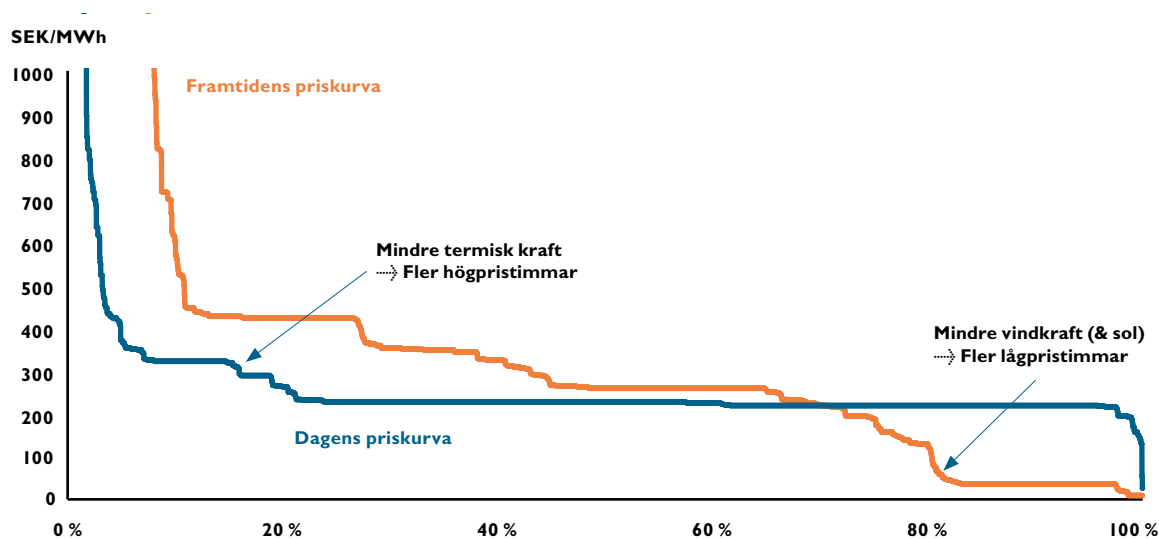
betalningsförmågan är högre. Under perioder när det inte blåser eller solen inte skiner, kan däremot elpriset stiga kraftigt. Då används istället den planerbara kraften, som därigenom kan dra nytta av de höga elpriserna. Intjäningsförmågan för olika kraftslag har analyserats för ”Analysåret 2045”, samt hur prisbilden på marknaden förändras med en högre andel icke planerbar kraft i systemet. Eftersom prisvolatiliteten ökar, så ökar såväl den totala mängden lågpristimmar, som mängden högpristimmar. Tabell 3 visar vad respektive kraftslag i genomsnitt får betalt under året samt en uppskattning av hur den totala produktionskostnaden kan se ut för respektive kraftslag på längre sikt, en uppskattning som gjordes av Arbetsgruppen för elproduktion (Byman, 2016).

Uppgifterna om intäkter respektive kostnader på lång sikt är mycket osäkra, men analysen indikerar att vindkraften och solkraften inte kan täcka sina kostnader fullt ut via systempriset utan kommer fortsatt att behöva stöd, medan kraftvärmen skulle kunna generera överskott. Produktionskostnaderna per kilowattimme blir också högre, om vindkraftsproducenterna tvingas att spilla bort el under perioder med stora överskott, eftersom det blir färre kilo-

Tabell 3: Intjäningsförmåga för olika kraftslag med 50 procent icke planerbar elproduktion, jämfört med uppskattad produktionskostnad. Källa: NEPP, Arbetsgruppen för elproduktion

	Årsmedelvärde, ersättning för producerad el via spotmarknaden.	Produktionskostnad, inkl. kapitalkostnader ("2045", dagens prisnivå)
Solkraft	ca 250–300 SEK/MWh	ca 770 SEK/MWh
Vindkraft	ca 250–300 SEK/MWh	ca 350 SEK/MWh
Kraftvärme	ca 1000 SEK/MWh	ca 570 SEK/MWh

Figur 9: Beskrivning av hur priskurvan över året förändras från dagens situation till en situation med en betydligt högre andel icke planerbar kraft enligt modellsimuleringarna ovan. Källa: NEPP 2016



wattimmar att fördela de totala kostnaderna på. För fastighetsägare som investerar i solkraft är den alternativa kostnaden för köpt el högre än bara elpriset, eftersom de även slipper kostnader för elnät, elskatt och moms, beroende på hur politikerna väljer att utforma regelverket.

Priskurvan i Figur 9 visar den kortsiktiga marginalkostnaden i elsystemet (det vill säga systempriset på Nord Pool) över årets 8760 timmar (100 procent), sorterade i storleksordning. Av diagrammet framgår att priskurvan blir brantare, än den vi har idag. Det genomsnittliga systempriset över hela året är cirka 300–350 SEK/MWh. Priset gäller för en "energy only" marknad, det vill säga en renodlad energi-marknad.

SLUTSATSER FRÅN MODELLSIMULERINGARNA ÖVER "ANALYSÅRET 2045"

Modellanalyserna visar att det givet ett gemensamt europeiskt mål på minst 75 procent förnybar el leder till ett elsystem som är 100 procent förnybart i Sverige och att Sverige och Norge är nettoexportörer av el till kontinenten. Men analysen visar också att Sverige i ett sådant system inte kommer vara självförsörjande på effekt, och att effektunderskottet kan uppgå till 7–8 GW under vintern när elbehovet är som störst. Modellsimuleringarna svarar inte på om denna effekt finns tillgänglig genom import.

Elpriserna kommer att bli betydligt mer volatila. När det blåser mycket och solen skiner,

närmar sig marginalkostnaden noll, medan elpriserna kommer bli mycket höga i en motsatt situation. Det finns en risk att vindkraften kommer underminera sina egna förutsättningar att tjäna pengar. Teknikutveckling och fallande produktionskostnader gör det svårt att idag säga om vindkraften i framtiden kommer vara

beroende av subventioner, eller om den kan bli lönsam på egna meriter.

Utmaningarna, såväl i Sverige som i Nord-europa som helhet, ökar på alla plan. Det gäller leveranssäkerhet, reglerförmågan, regelverken på marknaden samt möjligheten och kostnaden för att få investeringar och andra åtgärder på plats.

VAD KRÄVS FÖR ATT SVERIGE SKA KLARA EFFEKTBALANSEN?

Modellberäkningarna visar att det ur ett elsystemperspektiv är lönsamt att bygga ut stora mängder icke planerbar kraft i Sverige, givet ett nordeuropeiskt mål på minst 75 procent förnybart/klimatneutralt till 2050. För att uppnå målet antas ett fortsatt och utvidgat EU-gemensamt stödsystem till förnybar el. Beräkningarna inkluderar vattenkraft, biobränslebaserade kraftvärme, sol- och vindkraft samt kondenskraft, som utgörs av elproduktion baserad på förbränning eller kärnklyvning utan samtidig produktion av värme. Kondenskraften i Sverige prioriteras emellertid oftast ned av modellen, då den är dyrare än annan kraftproduktion i det nordeuropeiska elsystemet. Modellen prioriterar då import av el. Ur ett nordeuropeiskt och teoretiskt idealt marknadsperspektiv är det den mest kostnadseffektiva lösningen. I praktiken finns det begränsningar. Enligt bedömningar från experterna i styrgruppen för Vägval el är det osannolikt att det kommer finnas en tillgänglig kapacitet på uppemot 8 GW för import under kalla vinterdagar när elsystemet är som mest ansträngt. Därför är det nödvändigt att föra en diskussion om i vilken utsträckning Sverige ska vara beroende av import från andra länder, och vilken självförsörjningsgrad på effekt vi bör ha.

Övergripande finns nedanstående tre alternativ. En lämplig lösning är sannolikt en mix av åtgärder.

1. Installera reservkraft, till exempel gasturbiner, som står till förfogande och utgör en form av "försäkring" mot effektbrist inom landet.

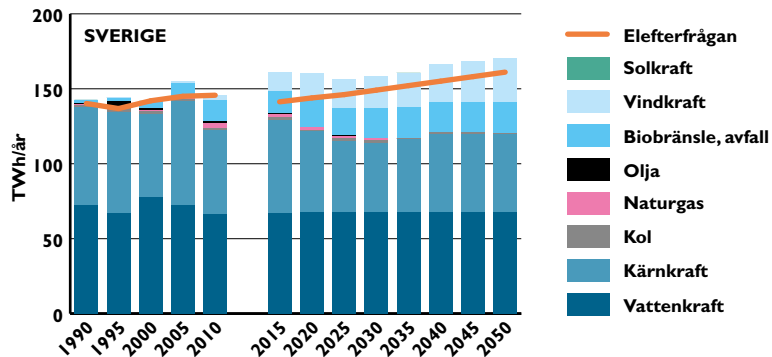
2. Utforma de politiska styrmedlen så att andelen planerbar kraft blir större.
3. Att inte vara självförsörjande på effekt, utan ha ett större regionalt samarbete med en ökad leveranssäkerhet som målsättning.

Inom Vägval el har vi som en grundförutsättning att leveranssäkerheten ska hålla minst samma nivå som idag. Idag kan vi konstatera att leveranssäkerheten är hög i det svenska systemet, men att det egentligen inte finns något mätbart mål för leveranssäkerheten som kan följas upp. Det finns inte heller någon utpekad ansvarig för att målet ska kunna nås. I en diskussion om i vilken utsträckning Sverige ska vara självförsörjande på effekt, måste ett sådant mål slås fast och ansvarig utses.

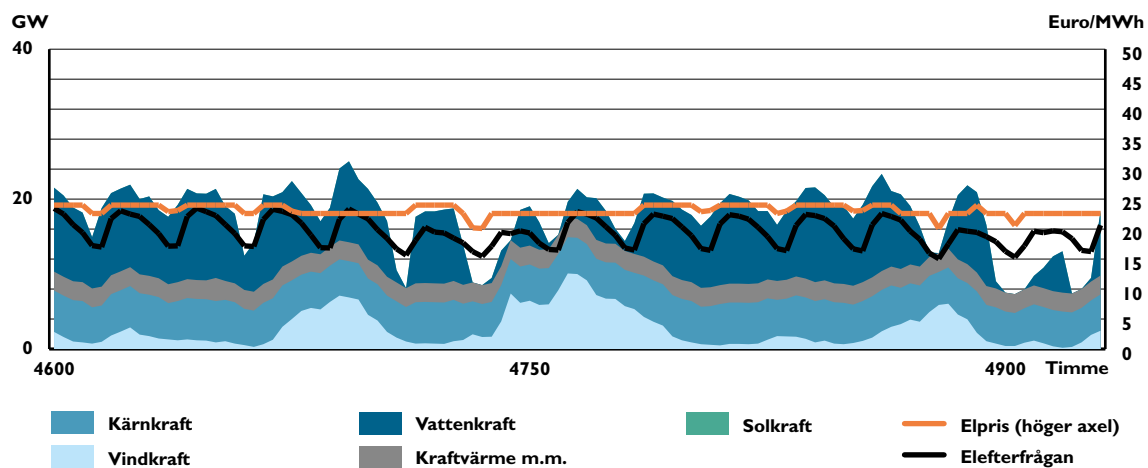
SJÄLVFÖRSÖRJANDE PÅ EFFEKT MED EN "FÖRSÄKRINGSLÖSNING"

För att vara på den säkra sidan skulle vi i Sverige kunna investera i gasturbiner som säkerställer erforderlig effekt inom landet. Dessa gasturbiner förutsätts då också drivas med ett förnybart bränsle, flytande eller gasformigt. Modellberäkningar har utförts för det fall att vi i Sverige installerar 8 GW gasturbiner i systemet. Modelleringarna för "Analysåret 2045" visar dock att dessa gasturbiner i princip aldrig kommer att användas, då modellberäkningen utgår ifrån lägsta produktionskostnad och att det finns kraft att importera. Gasturbiner har

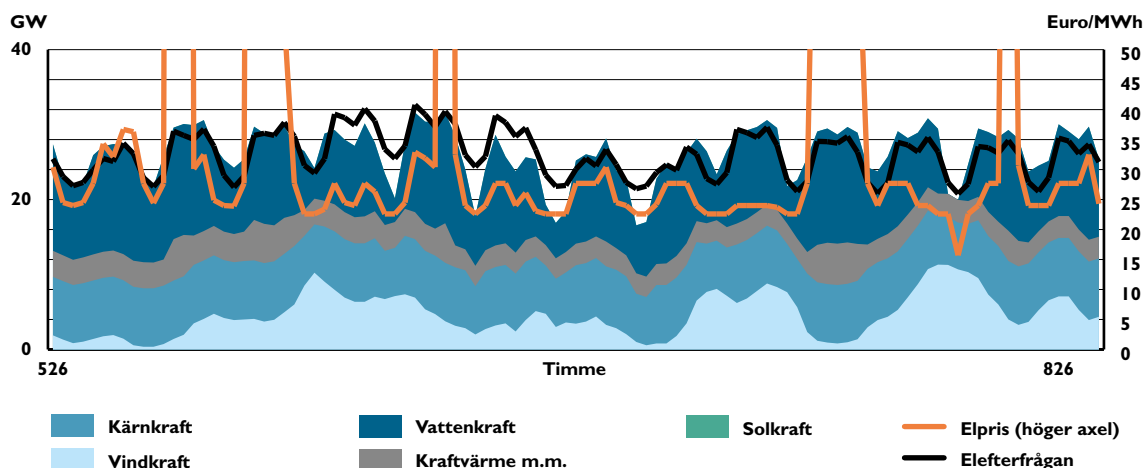
Figur 10: En utveckling av elsystemet i Sverige med en högre andel planerbar kraft, här exemplifierad som ny kärnkraft. Elproduktionen inkluderar även 20 procent icke planerbar kraft "Analysåret 2045". Källa: NEPP 2016



Figur 11: Analys av två sommarveckor med ett elsystem med stor andel termisk kraft, här exemplifierat som ny kärnkraft. Källa: NEPP 2016



Figur 12: Analys av två vinterveckor med ett elsystem med stor andel termisk kraft, här exemplifierat som ny kärnkraft. Källa: NEPP 2016



Tabell 4: En jämförelse mellan ett system med ”50 procent icke planerbar kraft” och ”20 procent icke planerbar kraft”.
Källa: NEPP 2016.

	”50 procent icke planerbart”	”20 procent icke planerbart”
Maxbehov av reglerbar kraft	25 GW	25 GW
Maximalt importerad eleffekt	7–8 GW	6–7 GW
Totalt importerad mängd elenergi	8 TWh	2 TWh
När sker importen	Under höglast, vintertid.	Under mellanlast, under sommarhalvåret.
Drivkraft för import	Det saknas reglerbar effekt inom landet, vi måste importera.	Det finns reglerbar effekt inom landet, men elpriserna är lägre i omvärlden.

relativt sett höga rörliga kostnader. Men det är den teoretiska analysen, i praktiken kan man inte räkna bort risken för effektbrist. Därför bör någon form av ”försäkringslösning” diskuteras, genom att vi investerar i gasturbiner.

SJÄLVFÖRSÖRJANDE PÅ EFFEKT GENOM EN ÖKAD ANDEL PLANERBAR KRAFT I SYSTEMET

Omvärldsförutsättningar och styrmedel skulle kunna innebära att det byggs en större andel planerbar kraft i form av biokraftvärme, kondenskraft baserad på biobränslen, eller ny kärnkraft. En omvärldsfaktor som kan tala för ny kärnkraft är ett betydligt högre pris på utsläppsrätter inom EUs handelssystem för klimatgaser i kombination med en ökad acceptans för ny kärnkraft i Sverige. Biokraftvärme och kondenskraft skulle kunna gynnas om styrmedel införs som främjar tillgången på effekt.

Fördjupade modellanalyser har genomförts för ett system ”Analysåret 2045” med en större andel termisk kraft, i det här fallet exemplifierat med ny kärnkraft.

Den fördjupade analysen för två sommarveckor, respektive två vinterveckor visas i diagrammen i Figurerna 11 och 12. Enligt analysen är Sverige självförsörjande på effekt. Vi producerar lika mycket el som vi förbrukar, det vill säga, vi har begränsad nettoexport av el. Det

sker en viss import under perioder då elpriset är lägre i våra grannländer än i Sverige.

En jämförelse mellan ett system med hög andel icke planerbar kraft (50 procent) och ett system med låg andel icke planerbar kraft (20 procent) sammanfattas i Tabell 4 ovan. Den import som sker i fallet med låg andel icke planerbar kraft, beror på att elpriserna är relativt sett lägre i grannländerna, sannolikt genom god tillgång på sol och vind under de timmarna. Importen sker även under perioder när elsystemet inte är ansträngt, under sommarhalvåret. I fallet med en hög andel (50 procent) icke planerbar kraft sker importen när kapaciteten inom landet inte räcker till. Effektmässigt är importen nästan lika stor, men energimässigt är skillnaden stor, 8 TWh i alternativet 50 procent icke planerbar kraft jämfört med 2 TWh i 20 procent icke planerbar kraft.

SÄKERSTÄLL LEVERANSSÄKERHET I SAMARBETE MED OMVÄRLDEN

Ur ett teoretiskt ekonomiskt perspektiv är den mest kostnadseffektiva lösningen att elsystemet optimeras över en större region än för ett enskilt land. Om varje land ska vara självförsörjande på effekt, leder det till en stor överkapacitet i systemet som dessutom sällan kommer till användning. Problem kommer att uppstå om alla länder förlitar sig på import eftersom även närliggande

länder har en mycket hög andel icke planerbar kraft och om den inte är tillgänglig samtidigt. Tekniskt sett kan det finnas flaskhalsar, men även om andelen installerad effekt i sol och vind är hög, så kan det finnas effekt i systemet någonstans i regionen.

För att öka förutsättningarna för ett större regionalt samarbete har EU, inom arbetet med Energiunionen fastlagt som målsättning att alla EU-länder ska ha en handelskapacitet på minst 10 procent av landets installerade effekt senast

2020. Sverige har idag 26 procent, medan vissa länder inte har någon.

De gemensamma ambitionerna inom EU i kombination med den teknikutveckling som sker för överföring av el med högspänd likström (HVDC) som möjliggör transport av större volymer el över större avstånd, talar för ett ökat regionalt samarbete där varje land inte behöver vara självförsörjande på effekt. Det är ett gemensamt politiskt projekt, där Sverige måste ta ställning till hur effektbalansen ska säkras i framtiden.

VAD HÄNDER OM ALLA SVENSKA REAKTORER STÄNGS I FÖRTID?

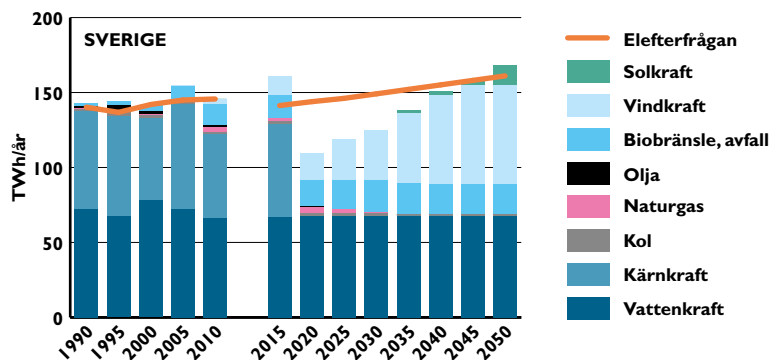
Den återstående planerade livslängden för de svenska kärnkraftverken har förändrats sedan projektet startade. Det innebär nya förutsättningar för en omställning av elsystemet. Även om projektet Vägval el har som mål att analysera perioden 2030 till 2050, går det inte att bortse från de nya förutsättningarna. Därför har vi inom projektet låtit göra en särskild analys av konsekvenserna av en snabbare stängning av alla reaktorer. (Se Bilaga 1 för beskrivning av metodik.)

Idag pågår diskussioner om den befintliga kärnkraftens framtid i Sverige. Fyra av de tio reaktorerna kommer att stängas före 2020. Det kommer att påverka leveranssäkerheten negativt men effektbalansen bedöms kunna hanteras. Låga elpriser i kombination med skatter och be-

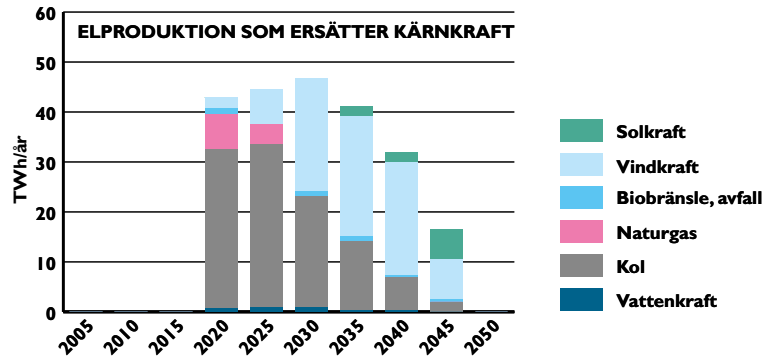
hov av stora investeringar i nya säkerhetssystem kan emellertid innebära att fler, kanske alla de återstående sex reaktorerna stängs i förtid. För att bedöma konsekvenserna av detta avseende kostnader och utsläpp av koldioxid, har känslighetsanalyser utförts med modellsimuleringar som genomförts av NEPP – North European Power Perspectives i maj 2016. Initialt analyseras konsekvenserna av att alla reaktorer stängs till 2020, därefter gör kompletterande analyser för 2025, 2030, 2035 och 2040. Leveranssäkerheten skulle hotas vid en snabb stängning, men det har inte studerats i modellsimuleringarna.

I Figur 13 visas utvecklingen för elproduktionen i Sverige i ett scenario när alla tio reaktorer är stängda 2020. Trots fortsatt utbyggnad av förnybar kraft, är importbehovet stort, av såväl

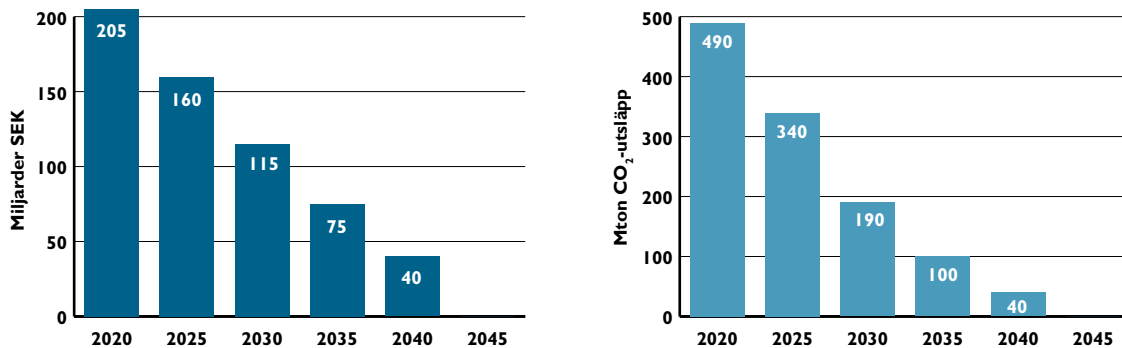
Figur 13: Elproduktionen i Sverige i det ovan beskrivna scenariot. Figuren anger historiska data för 1990–2010 och resultat från modellberäkningar för 2015–2050. Elbehovet i Sverige antas öka i måttlig takt och nå 160 TWh år 2050.



Figur 14: Diagrammet visar vilken elproduktion i det nordeuropeiska elsystemet inklusive Sverige som ersätter kärnkraften när de sex reaktorerna avvecklas till 2020.



Figur 15: Totala systemkostnader (vänster) och totala koldioxidutsläpp (höger) i det nordeuropeiska elsystemet vid en förtida stängning av de sex återstående svenska kärnkraftreaktorerna vid olika tidpunkter, jämfört med utfallet i ett fall där dessa reaktorer behålls hela sin tekniska livslängd ut.



elenergi som eleffekt under många år framöver. År 2020 behöver vi importera 40–50 TWh/år (vid normal vattenkraftproduktion) beroende på elanvändningens storlek. Diagrammet i Figur 14 visar den elenergi som ersätter den svenska kärnkraften genom annan/ny produktion i Sverige eller via import, enligt modellanalyserna. Under de närmaste tio åren (2020–2030) utgörs denna ersättningskraft till övervägande del (80–90 procent) av kol- och naturgaseldad kraftproduktion i våra grannländer, främst Tyskland och Polen.

I Figur 15 anges kostnader (till vänster) och de totala koldioxidutsläppen (till höger) som en förtida stängning av de sex återstående reaktorerna orsakar i det nordeuropeiska elsystemet. Den för-

sta stapeln i respektive diagram anger de totala kostnaderna respektive de totala koldioxidutsläppen om alla reaktorer stängs senast 2020, jämfört med ett fall där man låter alla sex reaktorerna köra sin planerade livslängd som är 60 år.

En stängning av alla reaktorer senast år 2020 kostar drygt 200 miljarder kronor och orsakar ökade koldioxidutsläpp på i storleksordningen 500 miljoner ton i de anläggningar som ersätter den svenska kärnkraften. En snabb nedläggning kommer därför även att göra det dyrare att nå klimatmålen på europeisk nivå. Stänger man 2035 istället kostar det 75 miljarder kronor och då orsakar den förtida stängningen utsläpp på 105 miljoner ton koldioxid, jämfört med det fall där man låter alla sex reaktorerna köra sin fulla livslängd.



Observationer och slutsatser från arbetsgrupperna

Nedan återges i sammandrag slutsatser och rekommendationer från de olika arbetsgrupperna.

För utförligare presentation hänvisas till respektive delrapport, se listan i Bilaga 2.

VAD PÅVERKAR FRAMTIDENS ELANVÄNDNING?

El är en effektiv energibärare som möjliggjort teknisk utveckling och ett effektivare resursutnyttjande. Med högre krav på minskade utsläpp av växthusgaser kan el spela en viktig roll för att ersätta fossila energibärare. Samtidigt digitaliseras samhället och IT-användandet ökar snabbt, vilket kräver mer el.

Inom Vägval el har Arbetsgruppen för elanvändning identifierat olika faktorer som påverkar hur elanvändningen kan utvecklas i Sverige bortom 2040. Bedömningen är att elanvändningen kan öka från dagens 128 TWh till 165 TWh, exklusive förluster. Även efterfrågan på effekt bedöms öka i motsvarande grad om inte elanvändningen för uppvärmning minskar. Inklusiva distributionsförluster motsvarar det ett elbehov på 140–180 TWh, med en uppskattad maxeffekt på mellan 26–30 GW, jämfört med dagens 27 GW.

Potentialen för efterfrågeflexibilitet i systemet bedöms vara 3,0–4,5 GW, men med olika karaktär vad gäller uthållighet och hur ofta den finns tillgänglig samt vilka incitament och prissignaler som krävs för att den ska realiseras.

Storleken på den framtida elanvändningen i Sverige beror på ett stort antal faktorer. De som bedöms ha störst betydelse kan grupperas enligt följande:

- Ekonomisk utveckling, inklusive näringslivets utveckling och strukturomvandling, kan både öka och minska elanvändningen. Om el används för att effektivisera användningen av andra resurser eller fossila bränslen, kan det leda till en ökad elanvändning. Som exempel kan nämnas möjligheten att ersätta kol i stålprocesser med vätgas som framställs med hjälp av fossilfri el.
- Befolkningsutvecklingen har stor betydelse för den framtida elanvändningen men osäkerheten är stor. Det skiljer 3–4 miljoner invånare mellan högsta och lägsta bedömning av antalet invånare i Sverige 2050. För varje miljon beräknas elanvändningen öka med 8–10 TWh.
- Teknikutveckling, i form av kontinuerliga förbättringar och teknikgenombrott leder till en effektivare elanvändning.
- Politiska beslut och styrmedel, kan direkt och indirekt påverka framtidens elanvändning.

Det finns några observationer som är viktiga att belysa:

- För att främja energieffektivisering tycks en fortsatt ekonomisk tillväxt vara viktig.



Läs mer i **Framtidens elanvändning – en delrapport** (IVA-M 461).

Det är genom investeringar av hushåll och industrier som tidigare effektiviseringar har skett. Dessa investeringar har historiskt främst skett under perioder av högre tillväxt. Det finns därför ett positivt samband mellan energieffektivisering och ekonomisk tillväxt.

- En elektrifiering av transportsektorn kan ha betydande klimat- och miljönytta och bidra till en stor energieffektivisering i samhället, då el direkt ersätter fossila bränslen och elmotorer har en betydligt högre verkningsgrad än förbränningsmotorer. Idag används cirka 70 TWh bensen och diesel för vägtransporter. Om det ersätts med 13 TWh el, ökar elanvändningen, men det blir totalt sett en effektivare energianvändning. Med smarta laddstrategier behöver inte effektbehovet öka i motsvarande grad.
- Inom järn- och stålindustrin kan koldioxidutsläppen minskas avsevärt om kolbaserade processer för järnframställning kan ersättas med ny teknik baserad på el.
- Hur Sveriges värmebehov möts i framtiden har påverkan på den framtida efterfrågan på el, inte minst på de stora säsongvariationerna och effekttopparna under vinterperioder. Det ska dock betonas att el, exempelvis genom att driva värmepumpar, kan fylla en viktig roll även i framtidens värmesystem.
- Det är behovet av maxeffekt som styr dimensioneringen av elsystemet. Det är därför av värde att uppmuntra beteenden som kan reducera maxeffektbehovet, och på så vis permanent reducera effekttoppar, särskilt som dessa effekttoppar endast uppstår ett fåtal timmar om året. Det leder i längden till en lägre kostnad för konsumenten.
- Det finns en stor teknisk potential för att utan påverkan på komfort, styra och flytta efterfrågan (efterfrågeflexibilitet) från timmar av höglast och därmed reducera de högsta effekttopparna. Således kan användningsmönster se annorlunda ut i framtiden än idag. Det kan ytterligare förstärkas av lagringstekniker som kostnadseffektivt kan jämna ut efterfrågeprofilen över dygnet.

Tabell 5: Olika företags påverkan på den framtida elanvändningen i Sverige.

Källa: Arbetsgruppen för elanvändning, Vägval el 2016.

Företeelse	Förändring 2030–2050
Ökad befolkning med en miljon personer	Ökar 8–11 TWh*
Fullständig elektrifiering av transportsektorn	Ökar cirka 13 TWh
Utfasning av all mekanisk massproduktion (~2 TWh per bruk)	Minskar cirka 10 TWh
Storskalig CCS	Ökar 2–5 TWh
Total elektrifiering av stålindustrin	Ökar 15–20 TWh
Storskalig etablering av datacenterverksamhet	Ökar 6–10** TWh

* I det högre intervallet ingår förutom den direkta påverkan av elanvändningen av "antalet invånare i Sverige" också den påverkan invånarantalet har på "antalet hushåll" och "lokalyta i servicesektorn". Baseras på uppgifter från specialrapporten *Scenarier för den framtida elanvändningen*, NEPP 2015.

** Erik Lundström, The Node Pole, bedömer att om datacenterverksamhet får samma elskatt som tillverkningsindustrin är det rimligt att anta en potential om 1000 MW år 2020 vilket motsvarar en ökad elanvändning kring 6–7 TWh från datacenter. Bedömning är därmed att upp mot 10 TWh kan vara rimligt i tidsperspektivet 2030–2050.

Tabell 6: Samlad bedömning av den framtida elanvändningen (exklusive distributionsförluster) bortom 2030 uppdelat per sektor. Källa: Arbetsgruppen för elanvändning, Vägval el 2016.

Sektor	Dagens elanvändning 2013 [TWh]	Bedömd elanvändning bortom 2030 [TWh]
Bostads- och service	71	65–85
Industri* (inklusive serverhallar)	51	50–60
Transporter	3	10–16
Övrig elanvändning**	4	3–4
Totalt, exklusive förluster	129	128–165
Totalt, inklusive förluster	140	140–180

* Inklusive den el som härrör till datacenterverksamhet, det vill säga delar av IT-sektorns elanvändning. Övrig elanvändning från IT-sektorn ingår i bostads- och servicesektorn.

** Innefattar elanvändningen inom fjärrvärmeproduktion och raffinaderi.

I Tabell 5 visas olika företeelser inom och vilken påverkan det kan ha på den framtida elanvändningen.

Bedömningen av framtidens elanvändning i

tidsperspektivet 2030 till 2050 uppskattas till totalt 128–165 TWh exklusive distributionsförluster, se Tabell 6.

HUR KAN ELPRODUKTIONSSYSTEMET SE UT I FRAMTIDEN?

Sveriges elsystem är idag näst intill fossilfritt och det finns goda möjligheter för ett fossilfritt elsystem även 2050, baserat på vattenkraft, biobränslen, sol- och vindkraft eller ny kärnkraft.

Inom Vägval el har Arbetsgruppen för elproduktion skissat på fyra tänkbara elproduktions-system för Sverige som kan tillgodose behovet på elenergi, men som i varierande grad kan behöva kompletteras med en utbyggnad av elnätet inom landet, kablar till andra länder, reservkapacitet och lager samt en flexibel elanvändning.

Teoretiskt sett finns en stor potential för flera kraftslag, men den faktiska potentialen begränsas av möjliga tekniska systemlösningar för att kunna upprätthålla balansen i elsystemet, miljöhänsyn och ekonomi.

Fyra olika ytterlighetsalternativ har tagits

fram för elsystemets utformning 2050. Alla består av minst 65 TWh vattenkraft, en fortsatt utbyggnad av vindkraft och solkraft, samt en ökad användning av biobränslebaserad kraftproduktion. Ett alternativ innehåller ny kärnkraft och ett annat en utbyggnad av vattenkraften. Alla alternativ innehåller en mix av olika kraftslag, men har olika huvudfokus. Dessa är:

1. "Mer sol och vind"
2. "Mer biokraft"
3. "Ny kärnkraft"
4. "Mer vattenkraft"

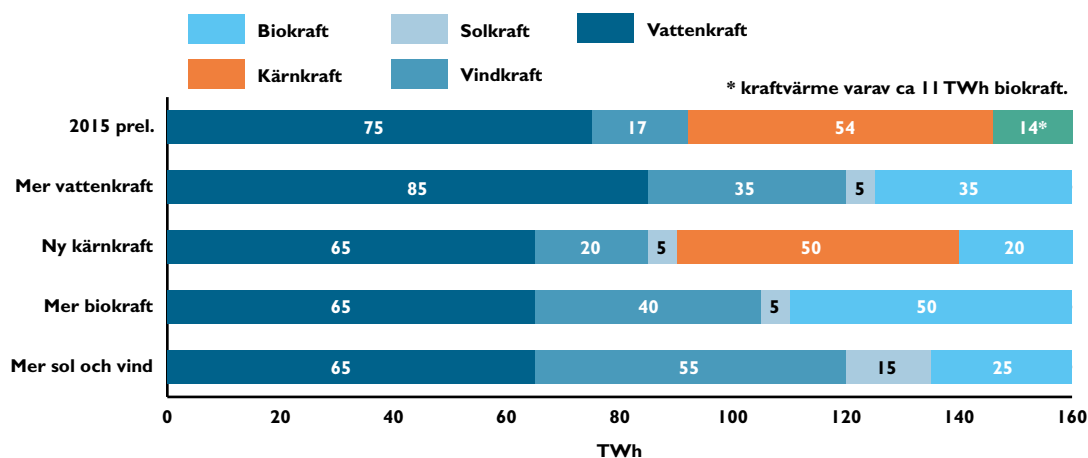
En tidig slutsats under arbetet är att Sverige kan välja flera vägar till ett fossilfritt kraftsystem. Ett antagande är att produktionen inom landet ska motsvara förbrukningen över året. Det



Läs mer i **Sveriges framtida elproduktion – en delrapport** (IVA-M 463).



Figur 17: Illustration av de fyra produktionsalternativ som Arbetsgruppen för produktion har tagit fram, TWh.



innebär att Sverige är självförsörjande på energi, men inte nödvändigtvis på effekt. I diagrammet i Figur 17 illustreras de olika produktionsalternativen.

Ett elsystem med en stor andel **sol och vind** förmår generera mycket energi, men möjligheten att säkerställa effekten är begränsad. Därför ställs högre krav på olika typer av tekniska tilläggsystem för att klara situationer med låg sol- och vindkraftsproduktion samtidigt med hög elförbrukning. Även en omvänd situation behöver kunna hanteras, det vill säga om det blir stora elöverskott.

Exempel på kompletterande tekniska åtgärder i ett system med mycket sol och vind är:

- Utbyggnad av överföringskapacitet, såväl inom landet som till omkringliggande länder. Det finns också ett behov av en övergripande plan för norra Europa för att hantera underskott och överskott på el mellan olika regioner.
- Det finns ett behov av att kunna lagra energi, gärna över en tidsperiod på minst några veckor, för att kunna spara energi från blåsiga till mindre blåsiga perioder. Säsongslager är inte nödvändigt för att jämna ut variationer i vindkraftsproduktion.

- Utöver vattenkraft och kraftvärme, behövs det ytterligare planerbar produktionskapacitet i form av gasturbiner eller liknande flexibel produktion som kan stå standby och användas vid förbrukningstoppar. En mer flexibel elförbrukning behövs också.

Ett elsystem med en stor andel **biokraft** har förutsättningar för att skapa ett system där Sverige är självförsörjande på energi och effekt. Det är i huvudsak baserat på inhemska bränslen och produktionen sker nära förbrukningen, vilket reducerar behovet av ny överföringskapacitet.

För att nå full potential behövs teknikutveckling och demonstrationsanläggningar för ny kraftvärmeteknik, både storskaliga anläggningar med betydligt högre elverkningsgrader än dagens anläggningar, och småskaliga kraftvärmeverk.

För att öka energiproduktionen från biobränslebaserad kraftvärme behöver elproduktionen göras oberoende av värmeunderlaget, genom installation av extra kylmöjligheter och/eller större värmeackumulatörer. Kondenskraftverk är en dyrare lösning och medger inte ett lika effektivt bränsleutnyttjande. En ökad satsning på biokraft i större skala, kan begränsas av att det kommer råda konkurrens om bioråvaran och att det har en påverkan på den biologiska mångfalden.

Ett alternativ med **ny kärnkraft** är mest likt

det system vi har idag. Systemet kommer inte kräva några större investeringar i nya tilläggs-system. Det pågår teknikutveckling av ett antal nya koncept. Sannolikt är det den teknik som betecknas generation 3+ som kan bli aktuell 2030–2040. Därefter kan nästa utvecklingssteg; generation 4 bli aktuell. För att ny kärnkraft ska vara möjlig bör Sverige följa den tekniska utvecklingen och de erfarenheter som görs internationellt, för att säkerställa nödvändig kompetens så att välgrundade beslut kan fattas när det blir aktuellt att välja teknik.

Ett alternativ där **vattenkraft** byggs ut ytterligare har förutsättningar för att skapa ett system där Sverige är självförsörjande på energi och effekt. Vattenkraft är det mest flexibla energislaget och är dessutom lagringsbart. Årsenergin är beroende av nederbörden, men påverkar inte den tillgängliga effekten kortsiktigt.

En betydande del av den nya vattenkraften finns i norra Sverige, vilket kommer att kräva investeringar i överföringskapacitet söderut. En ökad andel vattenkraft kommer ge större skillnader i inhemsk kraftproduktion mellan våtår och torrår, vilket också leder till ett ökat kraftutbyte med omkringliggande länder. För att kunna realisera en utbyggnad av vattenkraften krävs dock en ändrad lagstiftning.

VILKEN ROLL FÅR ELNÄTET I FRAMTIDENS ELSYSTEM?

Eftersom elnätet länkar produktion och användning av el kommer den framtida produktionsmixen och den framtida användningen att påverka utvecklingen av elnätet. Elnätet måste också anpassa till EUs riktlinjer såsom nätkoder och graden av export och import av el. Arbetsgruppen för transmission och distribution har analyserat vilka faktorer som påverkar elnätets utveckling.

Elnätets roll kommer att bli mer komplex i framtiden. Produktionen ändrar karaktär då fler decentraliserade anläggningar ersätter större anläggningar och elproduktion även kan komma att flöda i omvänd riktning, från användare och ut på näten igen, i takt med att allt fler producerar sin egen el. Det kan även ställas ökade krav på el-

näten då konsekvenserna för avbrott blir allt större i ett samhälle som är allt mer beroende av el.

På användarsidan sker förändringar som dels kan sänka effektuttaget (apparater, varvtalsstyrning, användarflexibilitet) och dels öka effektuttaget (elektrifiering av transporter, nya eller fler eldrivna apparater). Energilager kan också komma att påverka elnätets utformning. Det kan handla om att sänka effektuttaget genom laststyrning eller öka det för att ta emot överskottsel från variabel elproduktion.

Allt sammantaget ökar behovet av flexibla lösningar för elnäten. Nedan ges några observationer om vilka faktorer som har störst påverkan på elnätets utveckling.



Läs mer i **Sveriges framtida elnät – en delrapport** (IVA-M 464).

Urbaniseringen medför ett ökat tryck på elnät runt om och i städer. Avbefolkningen gör att näten i glesbygden försörjer färre människor och därmed blir dyrare för de som är kvar. På samma sätt kan en förändring i den industriella sammansättningen medföra stora geografiska förändringar och därmed stora förändringar för elnätet.

Utan styrning eller incitament kommer elektrifierade transporter troligen att innebära högre effekttoppar och utmaningen blir högst i lokal- och regionnätet. Men med styrning eller incitament kan elbilar istället minska belastningen på elnätet.

En kontinuerlig och garanterad användarflexibilitet kan bidra till att minska kapacitetsbehov och därmed minska kravet på överföringskapacitet. Lokala energilager kan däremot innebära en större påverkan på dimensioneringen av elnäten.

Utvecklingen av så kallade ”prosumenter”, det vill säga konsumenter som har egen elproduktion, skulle kunna innebära att självförsörjande enheter utvecklas. Det framtida elnätet kan i en sådan situation få en annan roll och endast fungera som backup.

Kostnaderna för att anpassa elnätet efter de olika produktionsalternativen är små jämfört med kostnaderna för de olika elproduktionsanläggningarna. Det betyder inte att utveckling av elnätet är enkelt, eftersom det ställer krav på framförhållning och effektiva planerings- och tillståndsprocesser. Värdet av ett väl utvecklat elnät är dock stort, eftersom det innebär att vid varje tidpunkt kunna ta tillvara de billigaste produktionsmöjligheterna i norra Europa.

Det svenska elsystemet kan idag hantera både plötsliga bortfall av stora produktionsanläggningar och produktionsanläggningar vars produktion varierar med sol- och vindtillgång. En viktig resurs för framtiden är tillgång på vattenkraft med vattenmagasin, som kan bidra till att utjämna variationer över de flesta tidsskalor, från sekunder och minuter upp till månader.

De flesta av de anläggningar som väsentligt bidrar till denna förmåga ligger i norra Sverige. Detta, i kombination med sannolikheten att stora vindkraftsanläggningar kommer att byggas i norra Sverige på grund av god tillgång till mark med goda vindförhållanden, innebär att behovet av överföringsförmåga från norra till mellersta Sverige ökar.

Sveriges självförsörjandegrad, beroende på om det avser effekt eller energi, får olika konsekvenser för elnätet, där självförsörjande på effekt påverkar elnätet i större utsträckning. Både hög och låg självförsörjandegrad innebär krav på mer överföringskapacitet mellan Sverige och andra länder.

INVESTERINGAR I ELNÄTET

Elnätet förnyas och förbättras kontinuerligt, dels på grund av utbyte av åldrad utrustning, men också på grund av nyanslutningar av produktion och andra förändringar i elanvändning och elproduktion. Luftledningarna i lokalnäten byts till exempel ut mot markkabel för att elnätet ska kunna klara av ett ökat antal stormar bättre.

De stora investeringsprogrammen kommer oavsett förändringar av energisystemet drivas med ett tydligt fokus mot de elnät som närmar sig 50 år. Investeringar kommer att drivas av en kombination av att bibehålla leveranssäkerhet och att öka kapaciteten i regioner med stark befolkningstillväxt eller tillväxt av ny elproduktion.

Elnätsbolagens beteende styrs av vilka incitament som återfinns i regleringen. Med tanke på att regleringen ändras vart fjärde år med olika incitament är det svårt att säga om elnäten utvecklas på rätt sätt. En tydlig övergripande politisk målbild med regleringen krävs för att elnäten ska kunna vara en möjliggörare och utveckla näten i rätt riktning.

Dagens tillståndsprocesser är en flaskhals i många nödvändiga förändringsprocesser. Förutsägbarheten för hur lång tid ett ärende kan ta bör öka.

Installation av mindre anläggningar, som sol-el och lokala energilager, kan ske snabbt jämfört med de fleråriga processer som bygget av ett stort, konventionellt kraftverk utgör. Den högre förändringstakten hos produktionen kortar nätoperatörens planeringshorisont, och kommer att öka kraven på snabb projektering och genomförande, men också på snabba tillståndsprocesser hos myndigheterna. En annan aspekt är livslängden på dessa typer av små anläggningar, är kortare än för elnät vilket också skapar en diskrepans i planeringshorisonten.

VILKA ÄR DE VIKTIGASTE KLIMAT- OCH MILJÖFRÅGORNA?

Arbetsgruppen för klimat & miljö har så långt som möjligt försökt att beakta klimat- och miljöaspekterna för det framtida svenska elsystemet ur ett livscykelperspektiv. Utgångspunkten för arbetet har varit att analysera klimat- och miljökonsekvenserna av de alternativ som har målats upp inom projektet Vägval el av produktions-, transmissions- och distributions-, samt användargrupperna. Ansatsen har varit att belysa de huvudsakliga utmaningarna för klimatet och miljön, vad som är stort och smått, samt vilka av Sveriges 16 nationella miljö kvalitetsmål som främst berörs av alternativen.

Arbetsgruppens observationer

- Biologisk mångfald, resursanvändning och klimatförändringar utgör viktiga framtida utmaningar inom klimat- och miljöområdet för elsystemet.
- Elsystemets påverkan på klimatet och miljön kan inte vara noll. Däremot kan och bör påverkan minimeras. Ur ett hållbarhetsperspektiv bör hela energisystemet beaktas i en internationell kontext.
- Temperaturökningen på norra hemisfären beräknas bli kraftigare än på global nivå och temperaturen förutspås öka med två till sex grader i Sverige till 2100 jämfört med förindustriell tid. Denna temperaturhöjning är potentiellt en av de viktigaste orsakerna till förluster av biologisk mångfald och förändringar av ekosystemet.
- Temperaturökning ger dels ett minskat uppvärmningsbehov, dels ökad nederbörd, vilket ger förutsättningar för ökad vattenkraftsproduktion samt en ökad tillväxt av biomassa.
- Utsläppen av fossila växthusgaser från elproduktionen inom Sveriges gränser är begränsad, men indirekta växthusgasutsläpp sker vid byggfas, transporter och produktion i länder med fossila bränslen.
- Flera miljöfrågor kommer kunna hanteras genom teknisk utveckling exempelvis merparten av utsläppen till luft.

- Biologisk mångfald har visat sig vara svårt att värdera. Det är ett område som behöver mer kunskap genom systematisk uppföljning och en fortsatt fördjupad dialog mellan olika parter.
- Synen på biologisk mångfald skiftar och påverkan av olika verksamheter kan vara svår att bedöma objektivt. Det är ett område där det behövs mer kunskap hos alla intressenter för att kunna ge mer förutsägbara bedömningar vid till exempel tillståndsprocesser.
- Biologisk mångfald, både vad gäller uttag av biomassa och effekter vid vattenkraftsproduktion, är ett område som kräver politisk avvägning.
- Med dagens teknik är det svårt att med enbart inhemska skogsrester på ett uthålligt sätt tillgodose en kraftfull ökning av el från biokraft. Annan biomassa kan komma ifråga, såsom andra skogsråvaror, rester från jordbruk och organiskt avfall samt import. I slutändan kommer det att vara en ekonomisk fråga hur skogens och jordbrukets resurser kommer användas.
- Den svenska synen på biomassans klimatneutralitet och hållbart skogsbruk inte är densamma som synes företrädas av vissa europeiska NGOs. EU-kommissionens arbete med hållbarhetskriterier för fasta biobränslen kan få en avgörande betydelse för utvecklingen av biomassa inom energisektorn.
- Energieffektivisering i olika sektorer är en viktig aspekt ur ett systemperspektiv och har bäring på resursfrågan, till exempel genom teknikutveckling av produkter och inom själva elsystemet samt transportsektorn med övergång från fossila bränslen till eldrift, då eldriften är avsevärt mer effektiv.
- För resursanvändningen av till exempel sällsynta jordartsmetaller; andra metaller och uran i samband med elsystemet är det viktigt ur miljösynpunkt att bedöma om omhändertagande kan ske genom återvinning eller om resursen förbrukas. Som i all annan verksamhet ser vi det som självklart att elsystemet är en del av den cirkulära ekonomin.



Läs mer i **Framtidens el – så påverkas klimat och miljö – en delrapport** (IVA-M 467).

- Osäkerheterna i miljöbedömningar för tids-horizonten 2030 till 2050 blir speciellt stora för tekniker som idag utvecklas snabbt, såsom solceller och batterier. Utvecklingen går fort och dagens litteraturdata kring miljöaspekter i ett livscykelperspektiv är högst osäkra. Ett större fokus på miljöaspekterna behövs dock generellt för nyutvecklade tekniker.

En observation är att miljöaspekter har olika karaktär i de fyra alternativen som Produktionsgruppen har definierat (Byman, 2016), allt från stor lokal påverkan på miljön till indirekta effekter av tillverkning i andra länder. Vi bedömer att de fyra "alternativen" har olika miljöpåverkan och att det är omöjligt att på ett enkelt sätt rangordna alternativen utifrån ett klimat- och miljöperspektiv

För alternativet "Mer vind och sol" är det av stor vikt att följa utveckling av tillverkningen av komponenter och system i andra länder för att få kunskap om miljöpåverkan från tillverkning av till exempel solceller och vindkraftkomponenter. I detta fall krävs även en stor andel lagringskapacitet, efterfrågeflexibilitet och reglerkraft.

Miljöpåverkan beror mycket på hur reglerkraften utformas. En större utbyggnad av transmissionsnätet erfordras också, vilket kan påverka den lokala miljön vid själva ledningsdragningen.

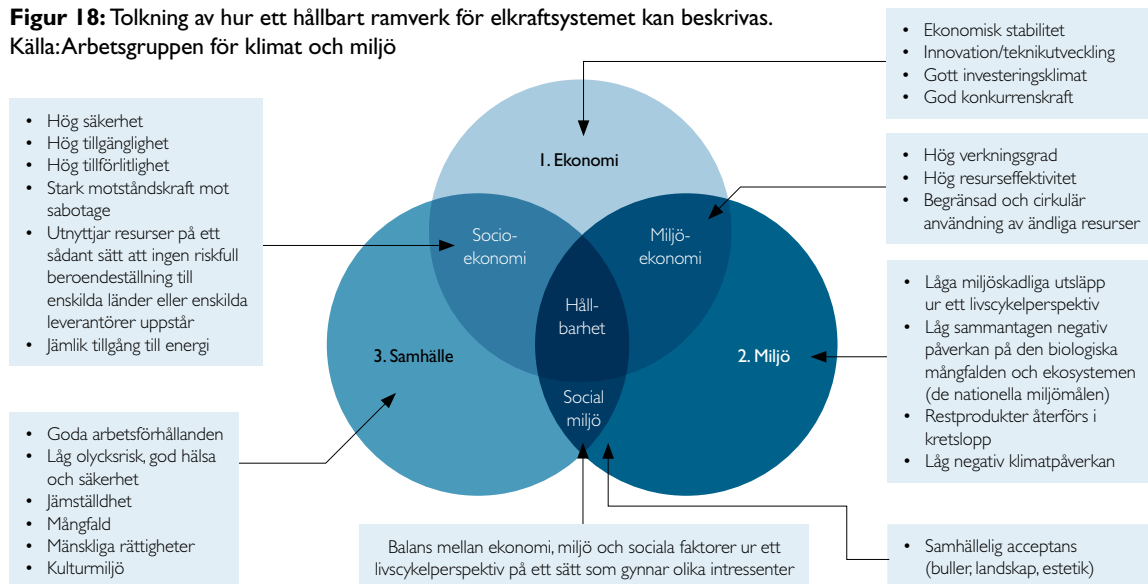
Alternativet "Mer biokraft" har antagit en mycket kraftfull användning av biomassa, vilken huvudsakligen ska komma från restprodukter från skogsbruket. Bedömningen är dock att det blir svårt att på ett uthålligt sätt leverera denna volym utifrån endast inhemska rester från skogen. Ett högre uttag ger en större miljöpåverkan på till exempel biologisk mångfald. Det ställer större krav på spårbarhet. Alternativet innebär också ökade transporter med miljöpåverkan.

I alternativet "Ny kärnkraft" ersätts i princip dagens system med motsvarande kärnkraftsproduktion med viss utveckling av dagens teknik. Ur miljösynpunkt ger detta alternativ upphov till utsläpp vid bränsleutvinning och -transport, vid byggnation av anläggningar samt till en ökad volym av kärnavfall som ska hanteras, jämfört med idag.

Alternativet "Mer vattenkraft" har kraftig påverkan på biologisk mångfald då några, alter-

Figur 18: Tolkning av hur ett hållbart ramverk för elkraftsystemet kan beskrivas.

Källa: Arbetsgruppen för klimat och miljö



nativt samtliga, orörda älvar i Sverige antas tas i anspråk. Att på ett acceptabelt sätt inverka på den biologiska mångfalden vid nybyggnation i en orörd natur, där vandringshinder skapas, är

i princip omöjligt. En utbyggnad av transmissionsnätet erfordras också vid detta alternativ, vilket kan påverka den lokala miljön vid själva ledningsdragningen.

SAMHÄLLSEKONOMI OCH ELMARKNAD

En energiförsörjning som är samhällsekonomiskt effektiv är grundläggande för såväl svenska hushåll som för det svenska näringslivets konkurrenskraft. Olika vägval kan få stor påverkan på svensk ekonomi som helhet. I det följande sammanfattas observationer och slutsatser avseende utmaningarna på elmarknaden från Arbetsgruppen för samhällsekonomi och elmarknad.

Elmarknaden står inför en utmanande men tekniskt genomförbar förändring till ett system med väsentligt förändrad produktionsstruktur. Omställningen måste ta hänsyn till att el produceras och konsumeras i samma stund i ett fysiskt sammankopplat system och att elsystemet karakteriseras av långa investeringscykler. Målet för omställningen måste vara att den ska leda till ett kostnadseffektivt energisystem med bibehållen leveranstrygghet och låg miljöpåverkan.

REGLERING, SKATTER OCH STYRMEDEL HAR EN AVGÖRANDE PÅVERKAN PÅ TEKNISKA LÖSNINGAR, ENERGISYSTEMETS EFFEKTIVITET OCH KOSTNAD

Dagens styrmedel, som i huvudsak motiveras av klimatskäl och mål om viss mängd förnybar el, har haft avgörande påverkan på hur systemets sammansättning utvecklats. Det finns tydliga produktionsmål för förnybar energi men inget mål för tillgänglig och planerbar effekt. Befintliga styrmedel har genererat investeringar i icke planerbara produktionslag, främst vindkraft. Det har lett till att el inte nödvändigtvis produceras när vi verkligen behöver den, vilket har lett till farhågor om att systemets långsiktiga leveranssäkerhet hotas av nuvarande stödsystem.

De icke planerbara energislagen kommer att

stå för en växande del av den framtida energiproduktionen. I nuläget investerar Sverige i produktion som leder till ett ökat överskott av energi, vilken kan komma att exporteras till ett pris väsentligt under den långsiktiga produktionskostnaden för den nytillkomna produktionen. Samtidigt står kärnkraften inför ett betydande reinvesteringsbehov. Den samlade bilden är att stödsystemet forcerar omställningen. Det medför högre samhällskostnad jämfört med om åldersstrukturen i det befintliga produktionsystemet hade beaktats. En marknadsmodell som ger långsiktiga och förutsägbara signaler till aktörerna kan möjliggöra betydande besparingar för samhället genom att överinvesteringar i produktion, transmissionsnät och reservkapacitet undviks.

NY STRUKTUR I TILLFÖRSEL OCH ANVÄNDNING STÄLLER NYA KRAV

I och med den pågående omställningen ändras strukturen på elmarknaden. Antalet aktörer på elmarknaden har ökat sedan omregleringen och genom att både tillförsel och användning karakteriseras av ett alltmer decentraliserat beslutsfattande så kommer antalet aktörer fortsätta öka. Detta ökar beroendet mellan systemets olika delar och behovet av koordinering dem emellan. Det råder stor enighet i sektorn om att efterfrågesidan måste få en mer aktiv roll på framtidens elmarknad. Nya tekniska lösningar kommer att underlätta detta.

För att behålla en struktur som styr mot kostnadseffektiva och teknikneutrala lösningar är det viktigt att ha ett väl definierat balansansvar och utveckla ett fungerande samarbete mellan de systemansvariga i Norden.



Läs mer i **Framtidens elmarknad – en delrapport** (IVA-M 470).

FRAMTIDENS SYSTEM KAN INTE UTVECKLAS MED DAGENS REGLERING

Dagens produktionsskatter och subventions-system styr bort från kostnadseffektiva lösningar och ökad flexibilitet. Skatter och avgiftsstrukturer som tagits fram i fiskala syften måste ses över i ljuset av dagens förutsättningar. Effektskatten på kärnkraft kan leda till att reaktorer som tillhandahåller baskraft stängs i förtid, vilket får konsekvenser för elförsörjningen. På liknande sätt bedöms fastighetskatten på vattenkraften i enskilda fall motverka nödvändiga förnyelseinvesteringar som behövs för att klara framtida utmaningar. Vidare innebär dagens subventionsstruktur en snedvridning i så måtto att den gör skillnad på olika tekniker och om produktionen sker i stor eller liten skala.

För en fungerande prisbildning är det en förutsättning att alla produkter och tjänster såsom systemtjänster och flexibilitet ersätts i relation till sitt värde. Det sker om marginalprissättning inte bara tillämpas på elenergin, utan även på de systemnyttiga funktioner som idag inte prissätts, såsom svängmassa och reaktiv effekt.

FLEXIBLA MÅL TILLSAMMANS MED INCITAMENT TILL ÖKAD TILLGÄNGLIG EFFEKT ÄR MÖJLIGA VÄGAR MOT ETT MER ÄNDAMÅLSENLIGT STÖDSYSTEM

Genom att omfattningen av samhällets mål för förnybart anpassas efter hur marknaden i övrigt utvecklas skulle systemet bli mer flexibelt. En viktig aspekt att ta hänsyn till är att eventuella stödssystem inte ska försämra leveranssäkerheten eller att andra åtgärder vidtas för att säkerställa leveranssäkerheten.

Tillkommande krav på miljöåtgärder som en följd av EUs ramdirektiv för vatten kommer att påverka vattenkraftens möjligheter att bidra till en effektiv omställning. Dagens vattenkraftssystem är resultatet av en avvägd planering för att hantera de behov som förutsågs vid tiden då vattenkraften byggdes. Idag är förutsättningarna annorlunda.

ETT TYDLIGT LEVERANS- SÄKERHETSMÅL KRÄVS

Ett tydligt leveranssäkerhetsmål skulle skapa transparens och förutsägbarhet på vilken grund eventuellt ingripande för att säkerställa leveranstryggheten görs. Det bör kompletteras med en etablerad metod för att utvärdera om systemet klarar kraven. En strategisk reserv fungerar väl i dagsläget, men framöver kan en alternativ kapacitetsmekanism behövas för att säkerställa leveranssäkerhet genom incitament till förbrukningsflexibilitet, energilager och planerbar produktion.

Om det är billig energi samhället eftersträvar så bör det överlåtas till marknaden att hitta den billigaste lösningen. Ju mer energimix och andra aspekter ska styras, desto mer behöver marknaden regleras och desto högre tenderar systemets totala kostnader att bli.

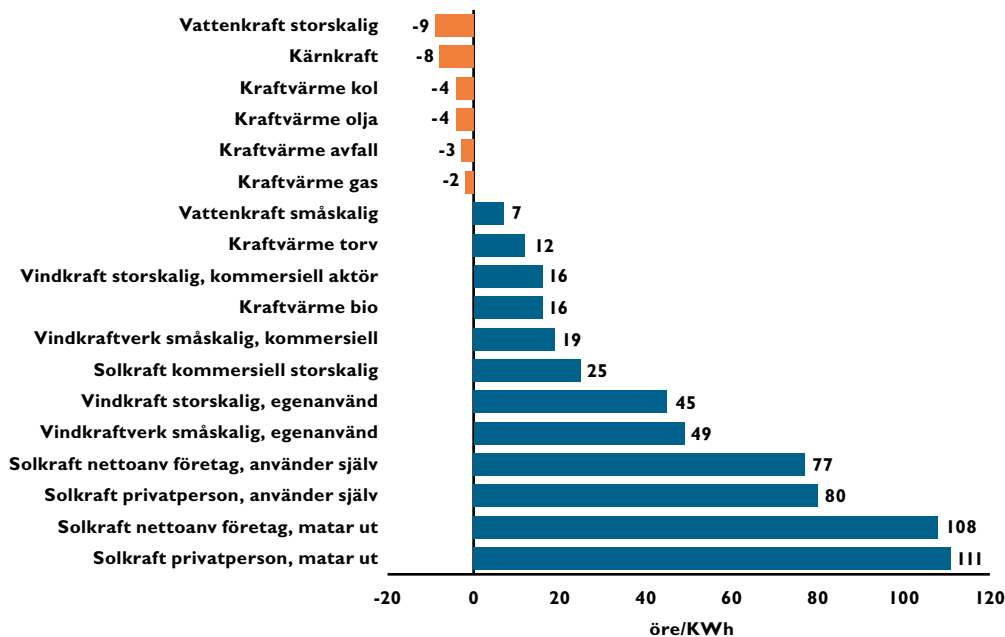
OBSERVATIONER/SLUTSATSER

Observationer och slutsatser kan sammanfattas i följande punkter:

1. Sverige har mycket hög elanvändning per capita och viktiga delar av näringslivet är för sin överlevnad beroende av elförsörjning till konkurrenskraftig kostnad.
2. Vi går från ett elproduktionssystem dominerat av stora och planerbara kraftverk till ett system med bortfallande kärnkraftblock och ökat inslag av intermittent, icke planerbar kraftproduktion och små kraftverk.
3. Elcertifikatsystemet har varit kostnadseffektivt och bidragit till en omfattande introduktion av främst landbaserad vindkraft. Den är nu en mogen teknik.
4. Fortsatta subventioner av förnybar kraft kommer att skapa inläsnings effekter och snedvrider marknaden till nackdel för planerbara kraftslag som kan bidra med tillgänglig effekt vintertid. Tillsammans med liknande stöd i andra medlemsländer kan det leda till att priset på utsläppsätter

- i EU ETS inte tillåts spegla den långsiktiga marginalkostnaden för att nå klimatmålet.
5. Fortsatt användning av subventioner ökar behovet av att komplettera energy only-marknaden med en kapacitetsmekanism. Det finns flera tänkbara modeller för utformningen av en sådan, vilka alla är förknippade med för- och nackdelar samt kommer att medföra en kostnad.
 6. Det är kraftslagets intjäningsförmåga och eventuella stödssystem som kommer att sätta en gräns för hur mycket sol- och vindkraft som kan produceras med lönsamhet. Den reduceras under perioder med mycket sol och vind, särskilt om utbudet fortsätter öka. Lagring kostar pengar men kan sannolikt i viss utsträckning användas för att överbrygga skillnader mellan dag och natt eller enstaka dygn.
 7. Det svenska systemet med skatter och subventioner ger generellt stöd till icke planerbar kraft och nettobeskattar planerbar.
 8. Effektskatten utgör en omotiverad belastning som tillkom när marginalerna var stora och priset på utsläppsrätter förväntades bli högt. Samma sak gäller fastighetsskatten på vattenkraft som är högre än för andra kraftslag.
 9. Om ett särskilt mål om förnybar kraftproduktion önskas bör det stöd som kan behövas för att uppnå detta mål utformas så att hög tillgänglighet premieras vid tider då effektbrist kan befaras. Det finns flera möjliga sätt att förändra eller ersätta det nuvarande elcertifikatsystemet i syfte att uppnå detta. Det skulle minska behovet av att införa en kapacitetsmekanism.
 10. Det krävs ett tydligt leveranssäkerhetsmål för att det ska finnas transparens och förutsägbarhet på vilken grund eventuella ingripanden för att säkerställa leveranstryggheten görs.

Figur 19: Översikt ekonomiska styrmedel på elanvändning. Källa: Edfeldt & Damsgaard, 2015





Serverhallen i Luleå är Facebooks första datacenter i Europa. Foto: Gunnar Svedenbäck/NCC

Appendix

BILAGA I: METODIK OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

GRUNDFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄGVAL EL

Elsystemet analyseras ur olika perspektiv, men några grundläggande förutsättningar ska minst vara uppfyllda. Dessa är:

1. Elsystemet ska hålla minsta samma leveranssäkerhet i framtiden som det har idag.
2. Elproduktionen ska vara fossilfri.
3. Elsystemet ska vara samhällsekonomiskt kostnadseffektivt.

Minst dagens leveranssäkerhet

”Minst dagens leveranssäkerhet” innebär att elsystemet ska leverera minst den leveranssäkerhet som i medeltal råder i dagens elsystem. Leverans kvalitet inkluderar spänningskvalitet och leveranssäkerhet. Spänningskvalitet är mycket viktigt för industrin. Det pågår diskussioner inom EU om att sänka kraven (bland annat frekvensstabilitet) för att kunna få in mer volatil kraft. Det är inte förenligt med att upprätthålla dagens leveranssäkerhet.

Fossilfri elproduktion

Med ”fossilfri elproduktion” avses att det i Sverige produceras lika mycket fossilfri el under ett normalår, som det förbrukas. Det innebär att Sverige vid behov kan importera fossilbaserad kraft, eller kraft med ospecificerat ursprung, om motsvarande mängd fossilfri kraft exporteras.

Samhällsekonomiskt kostnadseffektivt elsystem

I varje vägval ska samhällsekonomisk kostnadseffektivitet analyseras och prioriteras. Elsystemet

ska bidra till största möjliga nytta för samhället, och vid bedömningar av kostnader av elsystemet bör ett helhetsperspektiv anläggas. Inte bara på elsystemet utan på hela energisystemet.

En säker och effektiv elförsörjning är avgörande för ett modernt, högteknologiskt välfärdssamhälle. Med största möjliga nytta för samhället avses konkurrenskraft för landet, arbetstillfällen, tillväxt och en bra levnadsstandard.

Ett helhetsperspektiv bör anläggas på vad de olika systemalternativen innebär och kan tänkas kosta. Det går inte att ensidigt fokusera på vad olika elproduktionsanläggningar kostar, utan även andra investeringar som behöver göras i infrastruktur, lagringsteknik, flexibel produktionskapacitet och användning, forskning, utveckling och demonstration måste beaktas.

NEPPS ANALYSER OCH MODELLER

För att genomföra fördjupade modellanalyser av ett elsystem på längre sikt, har Vägval el anlitat NEPP (North European Power Perspectives). Verksamheten inom NEPP är till stor del utformad för att genomföra synteser av forskning, resultat och slutsatser från ett omfattande kluster av forskning, projekt och utredningar, inklusive de resultat och slutsatser som kommer från NEPPS egna analyser. NEPP har därigenom tillgång till såväl seniora och erfarna analytiker som skräddarsydda analysverktyg. NEPP har engagerats att bistå IVA i syntesarbetet inom Vägval el, med både modellverktyg och erfarna analytiker.

TIMES/MARKAL är en dynamisk optimeringsmodell som är konstruerad för detaljerad energisystemanalys med hela energisystemet inkluderat i modellbeskrivningen. Modellen utvecklas av IEA ETSAP och har nått en mycket stor spridning och finns över hela världen i olika versioner och med olika detaljeringsgrad samt systemgränser avseende geografi och inkluderade sektorer. Bland användarna, och som även utvecklat anpassade versioner, kan nämnas Chalmers, LTU, IVL och Profu.

EPOD (European POver Dispatch) är en kraftproduktionsmodell som utgår från ett givet system och ett givet år och beskriver upp till 53 olika elprisområde inom EU-27, Norge och Schweiz separerade av större flaskhalsar i transmissionsnätet. Produktionsanläggningarna i modellen tas i anspråk efter stigande rörlig produktionskostnad med hänsyn till olika produktionsbegränsningar såsom reglermöjligheter och tillgänglighet. EPOD används tillsammans med ELIN-modellen i ett integrerat modellpaket för analys av det europeiska kraftsystemets utveckling mot 2050. EPOD-modellen handhas och utvecklas av Chalmers och Profu.

I en underlags-PM (Viktiga beräkningsförutsättningar, daterad maj 2016) har Profu gjort en sammanställning på cirka 15 sidor över ett antal utvalda och viktiga beräkningsförutsättningar för modellberäkningarna. Några av dessa förutsättningar har lagts fast i samarbete med Vägval el, medan andra har uppdaterats eller definierats i samband med andra beräkningsuppdrag, företrädesvis inom NEPP och inom Energimyndighetens prognosuppdrag.

KONSEKVENSER AV FÖRTIDA STÄNGNING AV KÄRNKRAFTVERK

Beräkningar som genomförts inom Vägval el visar att en stängning av de sex återstående reaktorerna till 2020 jämfört med om de skulle vara i drift sin planerade livslängd på 60 år per reaktor, innebär kostnader på motsvarande 200 miljarder kronor.

Beräkningarna har genomförts med hjälp av

modellsimuleringar som inkluderar data och underlag för hela det nordeuropeiska elsystemet. Data finns inlagda både för produktionsanläggningar och överföringskapacitet, och modellen ”investerar” i de kraftslag respektive ledningar som är mest kostnadseffektiva på kort, respektive lång sikt. Det innebär att ett bortfall av reaktorer i Sverige kan ersättas med import eller ny produktionskapacitet i Sverige.

Modellen innehåller data på bränslepriser, tillgängliga anläggningar, verkningsgrad för olika kraftslag, emissionsfaktorer för olika bränslen och kraftslag, prisutveckling på utsläppsrätter i EU, prognoser över efterfrågan på el i Sverige samt skatter och avgifter. Alla nyckeltal bygger på offentliga källor såsom IEA, EU och Energimyndigheten.

Modellen beräknar en ”systemkostnad” för vad det kostar att förse Sverige med el för perioden 2020 till 2050. Med systemkostnad menas den totala kostnaden för elförsörjningen och den inkluderar produktion i Sverige, import, export, investeringar i nya produktionsanläggningar och elnät. Två modelleringar har genomförts, en inklusive, och en exklusive, de sex reaktorerna. Allt annat är oförändrat. Skillnaden i systemkostnad är cirka 200 miljarder kronor.

Om de sex reaktorerna hade varit i drift sin planerade livslängd på 60 år, hade de under perioden 2020 till 2050 producerat 1100 TWh el. Om de stängs är det el som måste tillföras den svenska elmarknaden på annat sätt. Initialt sker det främst genom import eftersom det tar tid innan ny kraft hinner byggas ut i Sverige. Successivt väljer modellen att ersätta bortfallet av kärnkraft med ny kraft i Sverige (se diagram i Figur 14 som visar vilken elproduktion i det nordeuropeiska elsystemet som ersätter kärnkraften när de sex reaktorerna avvecklas redan 2020).

Av de kostnader som uppstår kan 80 procent härledas till ersättningskraft och 20 procent till anpassningar av elnät och reservkapacitet. För kostnaderna har en nuvärdesberäkning genomförts med en kalkylränta på 4 procent. De 200 miljarderna består av ökade produktionskostnader/importerad el på cirka 150 miljarder och nätutveckling och övriga anpassningar på cirka 50 miljarder kronor (Rydén 2015).

Vid stängning av kärnkraften i Sverige kommer vi att importera en avtagande mängd kraft från andra länder för att täcka bortfallet. Initialt kommer den kraften i stor utsträckning att vara fossilbaserad, se diagrammet i Figur 14. Figuren visar vilken elproduktion i det nordeuropeiska

elsystemet inklusive Sverige som ersätter kärnkraften när de sex reaktorerna avvecklas redan 2020. Ackumulerat över perioden kommer det innebära koldioxidutsläpp på närmare 500 miljoner ton.

BILAGA 2: RAPPORTER SOM TAGITS FRAM INOM VÄGVAL EL

2015

Specialstudier

Energilagring – teknik för lagring av el
Elproduktion – tekniker för produktion av el
Skatter och subventioner vid elproduktion
Scenarier för den framtida elanvändningen

2016

Specialstudier

Elmarknader – en internationell utblick
Svängmassans roll i framtida elsystem

Delrapporter

Framtidens elanvändning
Sveriges framtida elproduktion
Sveriges framtida elnät
Framtidens el – så påverkas klimat och miljö
Framtidens elmarknad

BILAGA 3: ARBETSGRUPPER INOM VÄGVAL EL

Elanvändning

Maria Sunér Fleming, Svenskt Näringsliv (Ordförande)
Charlotte Bergqvist, Power Circle
Thomas Björkman, Energimyndigheten
Tomas Björnsson, Vattenfall
Maria Brogren, Sveriges Byggindustrier
Bo Dahlbom, Sustainable Innovation
Tomas Hallén, IVA
Tomas Hirsch, SSAB
Anna Liljeblad, WSP (Delprojektledare)
Stefan Montin, Energiforsk
Lina Palm, SCA
Göran Persson, Siemens

Elproduktion

Andreas Regnell, Vattenfall (Ordförande)
Karin Byman, IVA (Delprojektledare)
Hans Carlsson, Siemens
Bengt Göran Dahlman, BG-Konsult
Lars Gustafsson, Swedegas
Göran Hult, Fortum
Lars Joelsson, Vattenfall
Johanna Lakso, Energimyndigheten
Lars-Gunnar Larsson, SIP Nuclear Consulting
Knut Omholt, Södra
Johan Paradis, Paradisenergi
Inge Pierre, Svensk Energi
Lars Strömberg, Chalmers
Lennart Söder, KTH
Erik Thornström, Svensk Fjärrvärme
Helena Wänlund, Svensk Energi

Eldistribution och transmission

Alf Larsen, E.ON (Ordförande)
Anna Nordling, WSP (Delprojektledare)
Karl Bergman, Vattenfall
Henrik Bergström, Ellevio
Pär Hermeren, Teknikföretagen
Tomas Kåberger, Chalmers
Mikael Möller, IKEM
Magnus Olofsson, Energiforsk
Anders Pettersson, Svensk Energi
Asoos Rasool, Mälarenergi
Ulla Sandborgh, Svenska kraftnät
Stefan Thorburn, ABB
Mats Ählberg, Siemens

Klimat och miljö

Birgitta Resvik, Fortum (Ordförande)
Rose-Marie Ågren, Sweco (Delprojektledare)
Helen Axelsson, Jernkontoret
Jenny Gode, IVL Svenska Miljöinstitutet
Dag Henning, Naturvårdsverket
Helle Herk-Hansen, Vattenfall
Karin Jönsson, E.ON
Cecilia Kellberg, Svensk Energi

Måns Nilsson, Stockholm Environment Institute, SEI
Hanna Paradis, Swedegas
Lennart Sorby, Havs- och vattenmyndigheten
Lena Westerholm, ABB
Anna Wolf, Naturskyddsföreningen

Samhällsekonomi och elmarknad

Runar Brännlund, Umeå universitet (Ordförande)
Tobias Bondesson, ÅF (Delprojektledare)
Niclas Damsgaard, Sweco
Håkan Feuk, E.ON
Klaus Hammes, Energimyndigheten
Anders Heldemar, Stora Enso
Per Kågeson, Nature Associates
Maria Malmkvist, Energigas Sverige
Magnus Thorstensson, Svensk Energi
Sebastian Waldenström, Vattenfall
Hans-Erik Wiborgh, Fortum

BILAGA 4: LITTERATURLISTA

ACER, 2014. *Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas markets in 2013*, Ljubljana: ACER.

Arbets- och näringsministeriet, 2015. *Energi- och klimatmålen bakom strategiarbetet; Arbets- och näringsministeriet*. Available at: https://www.tem.fi/sv/aktuellt/under_behandling/spetsprojekt_och_program/energi-_och_klimatstrategi_2016/energi-_och_klimatmal [Använd 27 April 2016].

Brandel, M., 2016. *Översiktlig sammanställning/analys av energipolitiska beslut mellan 1975 och 2009 i Sverige*, Stockholm: MBenergistrategi AB.

Brännlund, R. & Bondesson, T., 2016. *Samhällsekonomi och elmarknad*, Vägval el, Stockholm: IVA.

Byman, K., 2015. *Sveriges framtida elproduktion*, Stockholm: Vägval el, IVA.

Edfeldt, E. & Damsgaard, N., 2015. *Skatter och subventioner vid elproduktion*, Stockholm: IVA.

Energimyndigheten, 2014. *Statens energimyndighet*. Available at: <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2011/energieffektiva-elmotorer-sparar-ett-helt-sverige/> [Använd 2016].

Energimyndigheten, 2015. *Energiläget i siffror*, Eskilstuna: Energimyndigheten.

ENTSO, 2016. *Country Packages*. Available at: <https://www.entsoe.eu/db-query/country-packages/production-consumption-exchange-package> [Använd 29 April 2016].

ENTSO-E, 2015. *Electricity in Europe 2014*, Bryssel: ENTSO-E.

ENTSO-E, 2016. *ENTSO-E Scenario Outlook & Adequacy Forecast (SO&AF) 2015*. Available at: <https://www.entsoe.eu/publications/system-development-reports/adequacy-forecasts/Pages/default.aspx>

European Commission, 2015. *Country Factsheet Finland: State of the Energy Union*, Bryssel: European Commission.

European Commission, 2015. *New electricity connections between Lithuania, Poland and Sweden create "Baltic Ring"*. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/news/new-electricity-connections-between-lithuania-poland-and-sweden-create-baltic-ring> [Använd 27 April 2016].

European Commission, 2015. *State of the Energy Union – Sweden*, Bryssel: European Commission.

European Commission, 2016. *Baltic Energy Market Interconnection Plan: European Commission Energy*. Available at: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/infrastructure/baltic-energy-market-interconnection-plan> [Använd 27 April 2016].

Europeiska kommissionen, 2015. *Pressmeddelande – Omvandling av Europas energisystem: Europeiska Kommissionen*. Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-5358_sv.htm [Använd 27 April 2016].

Europeiska kommissionen, 2016. *Delrapport om branschutredningen om*

kapacitetsmekanismer, Bryssel: Europeiska Kommissionen.

Europeiska kommissionen, 2016. *Pressmeddelande: Statligt stöd: Kommissionen inleder sektorsutredning om mekanismer för att trygga elförsörjningen*. Available at: http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-4891_sv.htm

Europeiska rådet, 2016. *Energiunionen: Europeiska rådet*. Available at: <http://www.consilium.europa.eu/sv/policies/energy-union/> [Använd 27 April 2016].

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2015. *Making a success of the energy transition*, Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2015. *The Energy of the Future-4th "Energy Transition" Monitoring Report*, Berlin: Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

Federal Ministry for Economic Affairs and Energy, 2016. *EEG 2016*. Available at: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Erneuerbare-Energien/eeg-2016-wettbewerbliche-foerderung.html> [Använd 27 April 2016].

Finsk Energiindustri, 2016. *Energiåret 2015 EL: Finsk Energiindustri*. Available at: <http://energia.fi/sv/aktuellt/lehdistotiedotteet/energiaret-2015-el-rekordlaga-koldioxidutslapp-fran-elproduktionen> [Använd 27 April 2016].

Fraunhofer ISE, 2016. *Import and Export in Germany/Europe: Fraunhofer ISE*. Available at: <https://www.energy-charts.de/exchange.htm> [Använd 27 April 2016].

Hagman, B. & Heden, H., 2012. *Elmarknadsreformen – behöver den reformeras?*, Stockholm: Elforsk.

- IEA, 2015. *World Energy Outlook 2015*, Paris: International Energy Agency.
- Liljeblad, A., 2016. *Framtidens elanvändning*, Stockholm: IVA.
- Maciazek, P., 2015. *Polish Energy Policy Until 2050 – Nuclear Energy Replaces Coal; End Of The Shale Revolution*, u.o.: Defence24.
- Miljö- och energidepartementet, 2015. *Meddelande om sammanläkningsmål i elsektorn*. Available at: <https://data.riksdagen.se/fil/9C759050-6A7A-4BDC-9FF5-1933DD9E5847>
- Moberg, U., 1987. *Svensk Energipolitik, en studie i offentligt beslutsfattande*, Stockholm: Svensk Energiförsörjning.
- Moberg, U., 2015. *Anpassning av elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion*, Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Nordling, A., 2016. *Sveriges framtida elnät*, Stockholm: IVA Vägval el.
- Olje- og energidepartementet, 2016. <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/energimeldingen-elsertifikatsystemet-viderefores-ikke-etter-2021/id2484266/>.
- Polish Ministry of Energy, 2015. *Energy Policy, Polish Ministry of Energy*. Available at: <http://www.me.gov.pl/Energetyka/Polityka+energetyczna> [Använd 27 April 2016].
- Pöyry, 2015. *Suomen säbkötehon riittävyys ja kapasiteettirakenteen kehitys vuoteen 2030*, Vantaa: Pöyry.
- Regeringens proposition, 2008/09:163. *En sammanhållen klimat och energipolitik*, Stockholm: Regeringskansliet.
- Rydén, B., 2016. *En (ny) spelplan för ett robust, leveranssäkert och fossilbränslefritt elsystem i Sverige 2030 och 2050.*, Göteborg: North European Power Perspective.
- Rydén, B., 2016. *Kompletterande kort PM. Ett urval beräkningsförutsättningar och modellresultat för beräkning av systemkostnad vid en förtida avveckling av de sex yngsta kärnkraftreaktorerna i Sverige*, Göteborg: North European Power Perspective.
- Šefcovic, M., 2015. *Energiunionen* [Intervju] (25 Februari 2015).
- Siemens, 2016. *Expert inom projektet* [Intervju] 2016.
- Svenska kraftnät, 2015. *Anpassning av elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion*, Sundbyberg: Svenska Kraftnät.
- Tyska Ambassaden Stockholm, 2016. *Energiewende: Tyska Ambassaden Stockholm*. Available at: http://www.stockholm.diplo.de/Vertretung/stockholm/sv/05/Aktuelles_20Wirtschaft/seite__energiewende__12.html [Använd 27 April 2016].
- World Nuclear Association, 2016. *Nuclear Power in Finland: World Nuclear Association*. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-a-f/finland.aspx> [Använd 27 April 2016].
- World Nuclear Association, 2016. *Nuclear Power in Lithuania: World Nuclear Association*. Available at: <http://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/lithuania.aspx> [Använd 27 April 2016].
- World Nuclear Association, 2016. *Nuclear Power in Poland*. Available at: <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/poland.aspx> [Använd 27 April 2016].



KUNGL. INGENJÖRSVETENSKAPSAKADEMIEN

i samarbete med

ABB

e-on

 **Energimyndigheten**

 **Fortum**

 **IFMETALL**

 **INDUSTRIRÅDET**



SIEMENS

SKGS

SVENSKO energi

 **Svensk Fjärrvärme**

 **SVENSKA KRAFTNÄT**

 **SVENSKT NÄRINGSLIV**

 **Sveriges Ingenjörer**

swede gas

 **Teknikföretagen**

VATTENFALL 

 **TORSK**