



SAMMANFATTNING av NEPP:s halvtidsrapport, mars 2019

Energisystemet i en ny tid

— resultat och slutsatser i halvtid

nepp

Inledning

Du håller nu i din hand en sammanfattning av NEPP:s halvtidsrapport, *Energisystemet i en ny tid*.

NEPP:s huvuduppgift är att visa hur balanserade och hållbara utvecklingsvägar för vårt omfattande energisystem kan åstadkommas. NEPP ska också visa på energisystemets roll för samhälls- och välbefindagsutvecklingen i stort.

De resultat och slutsatser som presenteras i denna halvtidsrapport gör tydligt att svensk el och fjärrvärme både idag och i framtiden har rollen av att vara två centrala möjliggörare i omställningsarbetet för en hållbar samhällsutveckling. Samtidigt lyfter rapporten fram en rad utmaningar som måste hanteras för att el och fjärrvärme fortsättningsvis ska kunna bidra i omställningen:

- Energipolitiken måste – även i praktiken – medverka till att leveranssäkerheten värnas fullt ut.
- Vattenkraften skall både ges en ökad roll i elsystemet och samtidigt ges nya moderna miljövillkor.
- Fjärrvärmens roll som nav i det kommunala infrastrukturkomplexet måste tydliggöras politiskt, samtidigt som flera olika hållbarhetsaspekter hanteras och frågan om plasten i avfallet måste lösas.
- Effekt- och flexibilitetsutmaningen ökar i elsystemet. Samtidigt ser vi en spännande utveckling av nya åtgärder för att hantera flexibilitet.
- Trängseln i elnäten ökar i våra storstäder, vilket kan begränsa städernas utveckling.

Flera förändringar och trender i dagens samhällsutveckling kan dessutom komma att påverka energisystemet och dess aktörer högst påtagligt i framtiden. NEPP hanterar alla dessa möjligheter och utmaningar för energisystemets utveckling, såväl i det löpande forsknings- och analysarbetet som i det arbete som formar synteser, helhetsbilder och övergripande slutsatser. I denna skrift hittar du ett åttiototal kortfattade resultat och slutsatser. I vår mer omfattande halvtidsrapport kan du läsa utförligare beskrivningar och på hemsidan hittar du en hel del fördjupningsrapporter.

nepp (*North European Energy Perspectives Project*) är ett multidisciplinärt forskningsprojekt om utvecklingen av energisystemen och energimarknaderna i Sverige, Norden och Europa i tidsperspektiven 2020, 2030 och 2050. NEPP samlar de allra flesta av energisystemets centrala aktörer. Över 100 beslutsfattare och experter från myndigheter, departement, branscher, industrier, energiföretag och kunder deltar – tillsammans med forskarna – i projektets olika forskar- och expertgrupper, seminarier och workshops.

NEPP:s forskargrupp består av följande forskningsföretag, institut, högskolor och universitet:

- Profu
- Energiforsk
- Sweco
- KTH
- Chalmers
- IVL Svenska Miljöinstitutet
- Handelshögskolan vid Göteborgs Universitet

Tillsammans genomför vi forsknings- och syntesarbetet i projektet och vi har alla bidragit till halvtidsrapporten.

På NEPP:s hemsida (www.nepp.se) hittar du både denna halvtidsrapport och en kortare sammanfattning. Du hittar också resultatblad, PM och rapporter, som alla ger fördjupning till de resultat och slutsatser du hittar i denna skrift. På hemsidan kan du ladda ner alla dokument som pdf-filer.

Vi har klimatneutral svensk el- och fjärrvärme-försörjning sedan flera år

SVENSK EL- OCH FJÄRRVÄRMEFÖRSÖRJNING BIDRAR MED STOR KLIMATNYTTA SEDAN FLERA ÅR.

Det svenska elsystemet är en integrerad del av det europeiska elsystemet. När vi utvärderar den svenska elförsörjningens klimatpåverkan bör vi därför ha ett europeiskt perspektiv. Då kan vi konstatera att vår svenska elförsörjning sedan 2011 har bidragit med stor klimatnytta genom att minska växthusgasutsläppen i Europa. På vår svenska uppvärmningsmarknad är fjärrvärmens central. Svensk fjärrvärme-sektor är idag också en del av såväl det europeiska elsystemet som det europeiska avfallssystemet. När vi utvärderar den svenska fjärrvärmeförsörjningens klimatpåverkan bör vi därför, på samma sätt som för elen, ha ett europeiskt energi- och avfallsperspektiv. Då kan vi konstatera att även vår fjärrvärmeförsörjning har bidragit med stor klimatnytta i Europa sedan 2013. Att den svenska el- och fjärrvärmeförsörjningen är klimatneutral är dock inte detsamma som att klimatarbetet inom dessa sektorer kan upphöra. Vi har fortfarande produktionsanläggningar inom landet som ger växthusgasutsläpp, och här pågår ett fortlöpande och ambitiöst arbete med att successivt minska dessa utsläpp.

Samtidigt innebär varje ökning eller minskning av den svenska el- och fjärrvärmearvändningen en påverkan på växthusgasutsläppen i det europeiska energi- och/eller avfallssystemet; en förändring som måste beaktas när vi analyserar den framtida utvecklingen. En övergång från bensen- och dieslbilar till elfordon kräver exempelvis en ökad produktion av el i det europeiska elsystemet; en elproduktion som till viss del är koldioxidfri och till viss del ger koldioxidutsläpp. Samtidigt ersätter denna el de fossila bränslena bensen och diesel, varför nettoeffekten leder till en minskning av växthusgasutsläppen. Detsamma gäller flera av de processåtgärder inom industrin som nu diskuteras, där man ersätter fossila bränslen med el. Även dessa visar på positiva nettoeffekter för växthusgasutsläppen. På samma sätt skall en minskning av elanvändningen vid en energieffektivisering värderas utifrån dess påverkan på utsläppen i det europeiska elsystemet, och då blir varje effektiviseringsåtgärd för el också en klimat-

åtgärd som minskar koldioxidutsläppen. Detsamma gäller konvertering från elvärme till värmepump. Varje beslutstillfälle som får konsekvenser på energisystemet bör utvärderas utifrån denna helhetssyn.

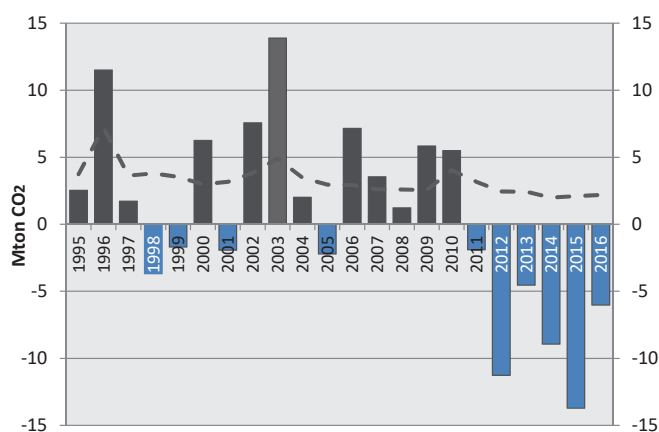


Slutsatser:

Nettokoldioxidutsläpp från svensk elsektor negativa sedan 2011.

Svensk elproduktion har alltid haft mycket låga koldioxidutsläpp, jämfört med de allra flesta länder i Europa. Det har samtidigt inneburit att, när vår elanvändning överstigit vår egen elproduktion, har vi ofta måst importera el som till viss del producerats med fossilbränsleeldade kraftverk på kontinenten. Då har vår elanvändning även orsakat koldioxidutsläpp från dessa kraftverk. När vi bedömer vår svenska elförsörjning utifrån ett europeiskt klimatperspektiv, inkluderar vi därför både de utsläpp som vår egen produktion ger upphov till och utsläppen från de kraftverk som vi importerar el ifrån. Samtidigt måste vi då också inkludera den utsläppsminskning som vår egen export av koldioxidsnål el från förnybart och kärnkraft ger upphov till i våra grannländer. Vår export leder ju till att grannländerna kan minska sin produktion, bland annat i sina fossilbränsleeldade kraftverk. Denna utsläppsminskning skall då tillgodoräknas svensk elförsörjning i den nettobedömning vi gör här.

I figuren nedan redovisas de samlade nettoutsläppen av koldioxid som svensk elförsörjningen varit upphov till under de senaste cirka 20 åren. Figuren visar en LCA-bedömning, där



Figur: Netto koldioxidutsläpp från svensk elförsörjning (i staplarna), då både utsläppen från vår egen produktion (den streckade linjen) och utsläppseffekterna av vår elimport och elexport inkluderats.

vi inte bara inkluderat skorstensutsläppen utan även utsläppen från bränslehanteringen. Figuren visar ett tydligt skifte år 2011, då svensk elförsörjning på allvar blev klimatneutral, och därefter haft negativa utsläpp på i genomsnitt 5-10 Mton per år sedan dess.

Även utsläppen från vår egen produktion är på en låg nivå.

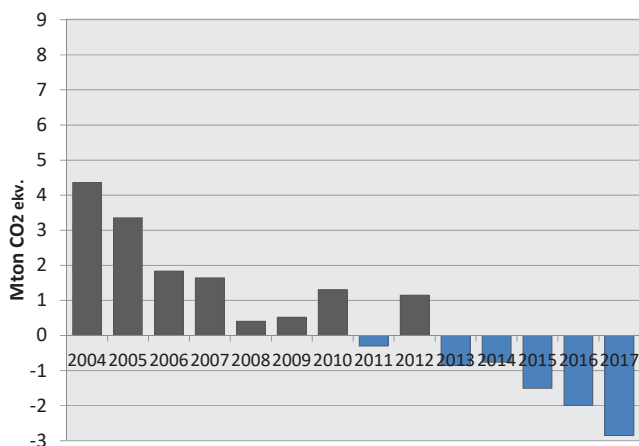
I figuren på förra sidan har de koldioxidutsläpp (beräknade som LCA-värden) som vår egen elproduktion ger upphov till ritats in som en streckad linje. Vi kan konstatera att även de har minskat sedan 1995 och är idag på en mycket låg nivå sett i en internationell jämförelse. De ligger på cirka 15 kg/MWh.

Nettoutsläppen av växthusgaser från svensk fjärrvärmeförsörjning negativa sedan 2013.

Svensk fjärrvärmeproduktion har sedan början av 1980-talet successivt minskat sin användning av fossila bränslen och sedan 1990-talet haft en avsevärt lägre fossilbränsleandel i sin produktion än övriga europeiska länder. Från en fossilbränsleandel på över 90% år 1980, nästan halverade man den på tio år till 50% år 1990, för att sedan åstadkomma ytterligare en halvering under den kommande 10-årsperioden till en fossilbränsleandel på 25% år 2000. Samtidigt övergick man från att under 1980-talet vara en nettokonsumēt av el (dvs. att elanvändningen i elpannor och värmepumpar översteg elproduktionen i kraftvärmeverken) till att sedan mitten av 1990-talet bli en nettoproducent av el.

Sedan 1980-talet har energiåtervinningen från avfall ökat i svensk fjärrvärmeproduktion och därigenom bidragit till att deponeringen av avfall minskat kraftigt. Härigenom har stora mängder växthusgasutsläpp från deponering kunnat undvikas; en miljövinster som krediteras fjärrvärmens i en vidgad miljöbedömning.

I figuren nedan redovisar vi de samlade nettoutsläppen av växthusgaser som den svenska fjärrvärmeförsörjningen varit upphov till under de senaste 10-15 åren. Figuren



Figur: Netto växthusgasutsläpp från svensk fjärrvärmeförsörjning (i staplarna), då både utsläppen från vår egen produktion (den streckade linjen) och utsläppseffekterna i det europeiska el- och avfallssystemet inkluderats.

visar en LCA-bedömning, där vi inte bara inkluderat skorstensutsläppen utan även utsläppen från bränslehanteringen, samt utsläppseffekterna i det europeiska el- och avfallssystemet. Figuren visar ett tydligt skifte år 2013, då svensk fjärrvärmeförsörjning på allvar blev klimatneutral, och dessutom haft negativa utsläpp sedan dess.

I NEPP har vi gjort en omfattande genomlysning av metoder för miljöbedömningar, och tagit fram ett antal rekommendationer. I detta arbete betonas även att grundläggande kriterier för metodval i miljöbedömningar är att metoden ska spegla de faktiska konsekvenserna av ett agerande och att miljöbedömningen ska bidra till att människans negativa miljö- och klimatpåverkan minskar. Den metod som vi utnyttjar i NEPP för bedömningen av el- och fjärrvärmeförsörjningens klimatpåverkan uppfyller dessa grundläggande kriterier. Metoden beskrivs kortfattat i avsnitten ovan och vi tydliggör där också det europeiska perspektiv vi baserar den på. Vi hänvisar också till NEPP-rapporten "*Miljöbedömning av energibärare*" (www.nepp.se) och metodbeskrivningarna för exempelvis Klimatbokslut (Profu) för fördjupningar.

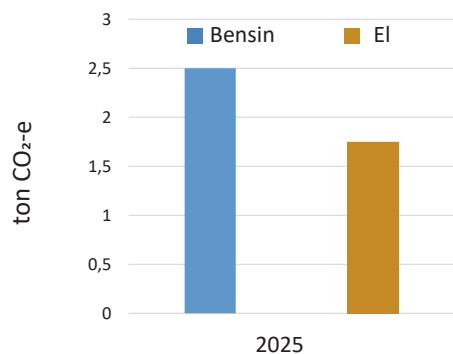
I avsnitten ovan redovisar vi ett bakåtblickande perspektiv, och har dessutom gjort en beräkning av växthusgasutsläppen från el- och fjärrvärmeförsörjningen som inte inkluderar de miljövinster som uppnåtts när man historiskt konverterat exempelvis uppvärmning med fossila bränslen till fjärrvärme och el. Hade vi inkluderat dessa miljövinster hade bilden för el- och fjärrvärmesektorerna sett ännu bättre ut.

Varje framtida åtgärd i el- och fjärrvärmeförsörjningen ska miljöbedömas i ett besluts- och konsekvensperspektiv.

När vi miljöbedömer framtida åtgärder är det däremot viktigt att redovisa konsekvenserna av både den aktuella åtgärden och det den ersätter. Det kan exempelvis gälla ett byte från en bensinbil till en elbil. Vi måste då också beakta att den åtgärden har en livslängd, och miljöbedömningen måste därför omfatta hela denna livslängd. För el är detta särskilt viktigt, eftersom europeisk el förväntas bli allt bättre ur klimatsynpunkt under de närmaste decennierna.

Exempel på framtida åtgärder i elsystemet där el kan bidra i omställningen.

Här lyfter vi fram några av de åtgärder som ingår i NEPPs analyser av ett möjligt "högelscenario", med en kraftigt ökad elanvändning. Åtgärderna leder alla till minskade utsläpp av växthusgaser, sett i ett besluts- och konsekvensperspektiv. **Elbil jämfört med bensinbil:** I figuren överst på nästa sida, anges de årliga växthusgasutsläppen för en personbil, med inköpsår 2025, utifrån vår miljöbedömning i ett europeiskt perspektiv. Jämförelsen visar att elbilen ger mindre växthusgasutsläpp än bensinbilen. I de redovisade växthusgasutsläppen ingår, förutom utsläpp och energianvändningen för drift av fordonen, även utsläpp för produktion och skrotning av fordonen.



Figur: Årligt klimatgasutsläpp för en personbil med inköpsår 2025

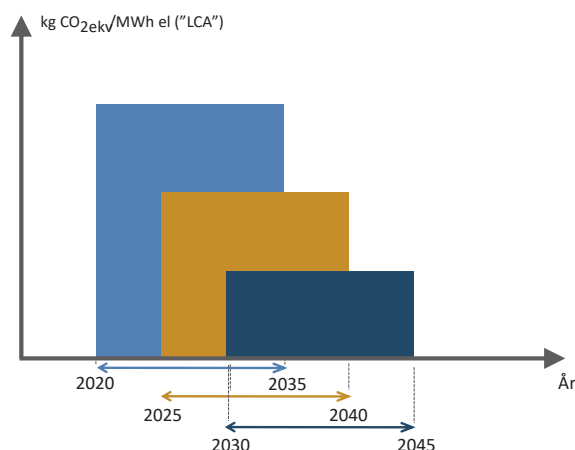
Serverhall – kylning, värmeåtervinning och lokalisering påverkar. Ett annat exempel på en tillkommande elanvändning i vårt "högelscenario" är datahallar. Vilka konsekvenserna av en sådan användning blir påverkas av bl.a. hur kylning sker, eventuell värmeåtervinning och elförsörjningen i det land där datahallarna lokaliseras. En lokalisering i Sverige ger exempelvis mindre utsläpp än en lokalisering i Tyskland.

Vätgasbaserad ståltilverknig. Här jämförs den koksbaseade processen för reduktion av järnmalm vi har idag med en process som utnyttjar vätgas, framställd genom elinsats. Om man gör antagandet att startåret för åtgärden är först efter 2030, eftersom den elbaserade tekniken ännu inte är kommersiellt tillgänglig, så är den elbaserade processen markant bättre än den koksbaseade med avseende på klimatgasutsläpp.

Effektivisering av elanvändningen. Klimatnyttan av energieffektivisering kommer alltid att finnas men i takt med att elproduktionen får allt mindre inslag av fossila bränslen så avtar den direkta klimatnyttan av energieffektiviseringen. Samtidigt består den resurshushållning som energieffektiviseringen möjliggör.

För många energibärare är egenskaperna för växthusgasutsläpp oförändrade över tid. För elsystemet sker dock en utveckling av den europeiska elproduktionens samman-

sättning, som innebär att elens egenskaper påverkas både av den studerade åtgärdens livslängd och av dess startår. Detta illustreras i figuren nedan:

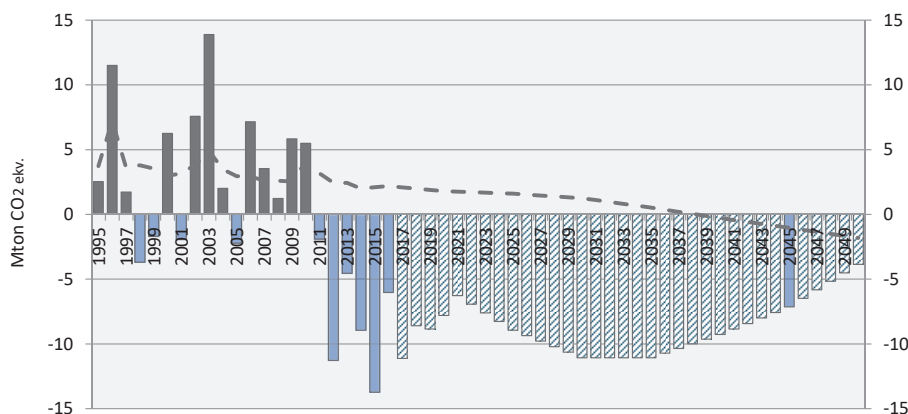


Figur: Schematisk bild av de växthusgasutsläpp som en elbil med 15 års livslängd orsakar i det europeiska elsystemet, om den introduceras vid tre olika startår.

Att elalternativet ofta faller ut bättre vid ett senare startår (till följd av att elsystemet löpande utvecklas mot minskande fossil produktion) ska däremot inte tolkas som att det är bra att vänta med ett byte. I en sådan betraktelse måste man naturligtvis också ta hänsyn till att de alternativ som man i så fall behåller längre kommer att ge utsläppskonsekvenser under tiden tills elalternativet införs.

Vår elförsörjning kan fortsätta att vara klimatneutral, trots kraftigt ökad elanvändning i framtiden – en första preliminär analys av ett "högelscenario".

Flera branscher har tagit fram färdplaner för fossilfri konkurrenskraft inom ramen för regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige. Ett antal av dessa branscher lyfter då fram elektrifiering som en viktig del för att bli fossilfria. Det pågår dess-



Figur: Netto koldioxidutsläpp från svensk elförsörjning (i staplarna), då både utsläppen från vår egen produktion (den streckade linjen) och utsläppseffekterna av vår elimport och elexport inkluderats. Den framtida utvecklingen från idag och 30 år framåt bygger på en första preliminär analys av elsystemets utveckling med TIMES NORDIC-modellen, där storleken på både svensk elanvändning och elproduktion ökar med omkring 40-45 TWh till år 2045, samtidigt som elproduktionen i övriga Europa ställs om till en produktion med allt mindre koldioxidutsläpp.

utom en elektrifiering av fordonsflottan och en etablering av nya elintensiva verksamheter, exempelvis datacenter. Allt detta sammantaget skulle kunna leda till att elanvändningen kommer att öka kraftigt i framtiden. I NEPP har vi inlett en analys av en sådan utveckling för elsystemet, och samtidigt ställt frågan om den svenska elförsörjningen kan fortsätta att vara klimatneutral trots denna kraftiga ökning av elanvändningen. Svaret är positivt. Våra analyser tyder

på att den svenska elförsörjningen kan fortsätta att vara klimatneutral, och även samtidigt fortsätta att bistå i arbetet med att minska utsläppen i det europeiska elsystemet ända fram tills europeisk el också är klimatneutral. Därtill visar våra analyser att vi kan fortsätta att minska våra egna, redan låga, koldioxidutsläpp, för att – bl.a. med hjälp av CCS på våra stora biobränslekraftvärmeverk – t.o.m. kunna nå negativa utsläpp inom några decennier.

Energipolitikens tre grundpelare

– alla tre måste få sin plats i politiken

SÅVÄL INOM EU SOM I SVERIGE OCH ÖVRIGA MEDLEMSSTATER pågår en fortlöpande översyn och vidareutveckling av energi- och klimatpolitiken. Gemensamt för EU och medlemsstaterna är att politiken skall vila på tre "grundpelare": klimat/miljö, leveranssäkerhet och konkurrenskraft. ("The Energy Union will help to provide secure, affordable and clean energy for EU citizens and businesses.") Vår egen Energiöverenskommelse är också tydlig på att även den har alla dessa tre grundpelare som bas för överenskomsten; det är det allra första som står i den.

Eftersom energipolitiken har tre måldimensioner så är det viktigt att alla tre beaktas och att det inte blir så att ett av målen får en så stor tyngd så att övriga mål äventyras. Om ett ensidigt fokus läggs på exempelvis klimat/miljö så kan leveranssäkerhet och konkurrenskraft äventyras.

NEPP:s utgångspunkt i analyserna är därför också att man från politiskt håll vill värna alla dessa tre grundpelare samtidigt. En första forskningsfråga är därför hur rådande politik – i praktiken – förmår balansera dessa tre grundpelares ambitioner och hur den framtida politiken i EU, Sverige och övriga medlemsstater sätts upp för att klara det.

I detta avsnitt redovisar vi ett antal delresultat som har koppling till energipolitiken i Sverige och EU och, i flera fall, även direkt koppling till dess tre "grundpelare". Hela NEPP-arbetet kring "den stora" flexibilitets- och effektutmaningen handlar

ju dessutom om att lägga en grund för att visa på behovet av att värna leveranssäkerhet och reglerförmåga i elsystemet. Och – som vi skriver i den första punktsatsen nedan – handlar det då väldigt lite om klimatpolitik när vi skall lösa just den uppgiften. Det är ju istället åtgärder som motiverats av klimat- och förnybarpolitiken som bidragit till att öka effektutmaningen, exempelvis den kraftiga utbyggnaden av variabel elenergiproduktion i form av vind- och solkraft.



Slutsatser

När fokus flyttar från energi till effekt, flyttar också fokus från utsläpp och klimatpåverkan till leveranssäkerhet och försörjningstrygghet.

Under lång tid har vi haft fokus på energiutmaningen i det nordiska elsystemet, och många av de åtgärder som är planerade för framtiden är också energirelaterade. Valet av de energirelaterade åtgärderna har då i stor utsträckning också tydliga kopplingar till utsläppsminskning, klimatpåverkan och resurshushållning. Ny förnybar elproduktion blir då central. Denna har samtidigt oftast ett stort inslag av variabilitet, vilket ställer krav på ökad tillgång till planerbar elproduktion och flexibel elanvändning i elsystemet. Dessa krav leder i sin tur till ett ökat fokus på effekt, och även på systemtjänster. Då blir leveranssäkerhetskrav och kostnadseffektivitet avgörande för de val som görs, istället för utsläppsminskning och resurshushållning.

Investerings i planerbar termisk produktion – en möjlig indikator på aktiv leverans-säkerhetspolitik.

NEPP:s analyser av vilka investeringar i elproduktion som genomförts under de senaste 15 – 20 åren visar på skillnader i sammansättningen. I många länder sker både investering i variabel förnybar elproduktion och i planerbar termisk produktion. I vissa av länderna, t.ex. Danmark och Sverige, sker dock nästan uteslutande investeringar i variabel elproduktion. Detta kan förklaras på olika sätt. En tolkning är att det funnits ett överskott på planerbar kraft och att det därför inte lagts fokus på investeringar i sådan produktion. En annan tolkning är att man har större tillit till "alternativa flexibilitetsresurser", t.ex. efterfrågeanpassning, lagring och import från omvärlden, och att ytterligare planerbar kraft inte anses behövas.

Vattenkraften står idag i skärningspunkten mellan politikens tre grundpelare.

Idag befinner sig vattenkraften i en ny tid med tydliga målkonflikter. Krav på moderna miljövillkor för vattenkraftsanläggningar i syfte att minska vattenkraftens nuvarande och historiska påverkan på ekosystemen står mot en ökad efterfrågan av vattenkraftens reglerförmåga. Som en följd av Sveriges ambitiösa klimatpolitik, med målet om ett nettonollutsläpp av växthusgaser 2045, och ett energisystem som går mot en allt högre grad av icke-styrbar elproduktion, ökar vattenkraftens betydelse för det framtida energisystemet. Vår energiöverenskommelse från 2016 anger också tydligt att vattenkraften spelar en central roll för att Sverige ska uppnå målet om 100 % förnybar elproduktion till år 2040. Det finns dock samtidigt en politisk enighet om att vattenkraftverken ska styras av moderna miljövillkor, vilket kan motverka vattenkraftens möjligheter.

Plasten i avfallet, en internationell "Svarte Petter" som ingen vill ha – och samtidigt ett exempel på dilemmat i balansen mellan politikens tre grundpelare.

Användningen av plast och mängden plast som sätts på marknaden ökar stadigt, liksom mängden plastavfall. Flera fraktioner plastavfall får inte återvinnas på grund av innehåll av vissa kemikalier. Andra fraktioner efterfrågas inte som sekundär råvara på grund av högt ställda krav på kvalitet och spårbarhet. Plastavfall går därför till stor del i restavfallet till energiåtervinning eller som bränsle till cementindustrin. Samtidigt anges att förbränning av plast skall minimeras, för att begränsa utsläpp av koldioxid. Efterfrågan på fossilfritt producerad fjärrvärme ökar och energiföretagen har en utmaning med fossilandelen i bränslet, som idag nästan enbart kommer från plast. Plastavfall blir därmed "Svarte Petter" som ingen vill ha, och samtidigt är energiåtervinningen av avfall den största och kostnadseffektivaste avfallsbehandlingsformen i det kommunala avfallshanteringssystemet idag.

Ansvar för plasten i avfallet delas mellan många aktörer.

Energiföretagen som återvinner energi från avfall har del i ansvaret för att undvika att plast förbränns och därmed leder till växthusgasutsläpp. Ansvar delar de med aktörer i tidigare led i avfallshanteringen, samt med producenter av ursprungsprodukterna. Där finns oftast större påverkansmöjligheter genom återanvändning och materialåtervinning, respektive materialval i produktionsleden.

Hållbarhetskriterierna för biobränslen kan ha stor påverkan på energisystemen i EU, men risken för påverkan i Sverige är störst på längre sikt.

I Sverige är biobränsleeldade kraftvärme- och värmeverk generellt sett effektiva. Detta beror på att vi har avsättning för värmen i våra fjärrvärmesystem. I övriga Europa finns en ökad andel sameldning av biomassa i kolkondenskraftverk och man diskuterar även kondensbaserade biobränsleeldade kraftverk. I förslaget för förnybarhetsdirektiv för 2020-2030 lyfts frågan om effektivitet i processerna – generellt önskar man sträva mot så effektiva processer som möjligt. Därför är det mycket troligt att direktivet, när det fastställs, kommer att innehålla krav på fasta biobränslen – trots att de slutliga förhandlade texterna ännu inte existerar. Det finns ingen indikation på att man helt skulle vilja stryka denna bränslekategori från direktivet. Krav på energi baserat på förbränning av fasta biobränslen innebär så småningom tvingande krav för vissa anläggningar och användningsområden vilket självklart kommer bli styrande. Dock pekar det mesta på att kraven på kort sikt inte kommer att exkludera bränslen som vi idag finner på den svenska marknaden, dvs. *vi kan i stort fortsätta på redan invant mönster.*

EU på väg att klara alla tre 2020-målen - utvecklingen under den senaste femårsperioden gynnsam för måluppfyllelsen.

EU formulerade år 2008 de tre 2020-målen, med inriktning på att nå en reduktion av växthusgaser med 20%, öka andelen förnybart till 20% och reducera energianvändningen med 20%. Med fyra år kvar till 2020, visade den senaste statistiken (från 2016) att växthusgasutsläppen minskat med 24%, den förnybara andelen är 17% och energianvändningen har minskat med 15%. Det betyder att EU redan nått växthusgasmålet med råge, och att man – då utvecklingen under den senaste femårsperioden varit gynnsam för 2020-målen – även har stora möjligheter att nå de två andra målen, eller åtminstone komma väldigt nära.

Kraftfulla CO₂-åtgärder reducerar nu växthusgasutsläppen i EU; Storbritannien är det stora föregångslandet.

Utsläppen av växthusgaser har minskat med cirka 1350 Mton CO₂ekv/år (motsvarande 24%) i EU 28 under åren 1990-2016. Hela 250 Mton av denna minskning har skett

under fyraårsperioden 2013-2016, och det är i stor utsträckning kraftfulla CO₂-åtgärder som nu reducerar växthusgas-utsläppen i EU. Storbritannien är det stora föregångslandet, och svarar för hela 100 Mton av minskningen.

Kärnkraften en viktig del i ett koldioxidfritt europeiskt elsystem 2050, enligt EU-kommissionen.

EU:s strategiska långsiktvision lyfter betydelsen av kärnkraft för ett fossilfritt EU år 2050. I sin långsiktvision anger EU-kommissionen att förnybar energi, tillsammans med kärnkraft och CCS, kommer att utgöra ryggraden i det koldioxidfria europeiska elsystemet år 2050. I scenarierna står kärnkraften för omkring 15% av elproduktionen, förnybart för 55-70% och fossila bränslen, företrädesvis med CCS, för 10-20%. Kärnkraftsandelen är i linje med vad både IEA och IPCC lyfter kring vad som krävs för att tackla klimatförändringarna i perspektivet av 1,5-gradersmålet.

Vårt nya svenska energiintensitetsmål på 50 % till 2030 kan nås med nuvarande styrmedel för energieffektivisering.

Den 10 juni 2016 slöts en ramöverenskommelse om energipolitiken. Den 28 november 2016 presenterade man även ett förslag till mål för energieffektivisering för Sverige till 2030, som lyder: Sverige ska år 2030 ha 50 procent effektivare energianvändning jämfört med 2005. Målet uttrycks i termer av tillförd energi i relation till BNP. Effektiviseringsmålet är därmed ett energiintensitetsmål och har fokus på att minska insatsen energi i vår ekonomi, räknat som energi per BNP-krona.

Enligt NEPP:s konsekvensanalyser kommer intensitetsmålet att kunna nås, nästan helt utan att några (nämnavar-

da) extra styrmedel eller åtgärder behöver sättas in – utöver de existerande styrmedlen. Energimyndighetens analyser visar på samma slutsats. BNP-utvecklingen är dock avgörande för måluppfyllelsen och en svag BNP-utveckling fram till 2030 gör målet mycket svårare att uppfylla, och vice versa.

Energiintensitetsmålet – ett politiskt mål som kan leda helt rätt, eller helt fel.

Ett energiintensitetsmål ger större möjligheter till måluppfyllelse än ett mer traditionellt energiminskningsmål, eftersom man (för att nå målet) både kan utnyttja åtgärder som stimulerar ekonomin och åtgärder som minskar energianvändningen. Men som målet idag är formulerat (dvs. såsom vi uppfattar att det är formulerat) finns dock en uppenbar risk att det styr fel, eftersom det även kan ge incitament till åtgärder som inte ökar energi- och resurseffektiviteten.

Tre exempel på åtgärder som gynnas av intensitetsmålet, men inte leder till lägre energianvändning, är:

- Stängning av (alla) våra termiska kraftverk, och ersätta dem med ökad import eller med vind- och solkraft. För den importerade kraften exkluderas nämligen förlusterna i elproduktionen, medan förlusterna inkluderas om verken är placerade i Sverige.
- Val av värmepumpar för uppvärmning, istället för fjärrvärme eller ved-/pelletseldning etc.
- Intensitetsmålet ger också incitament till en (oönskad?) strukturförändring i industrin, där energiintensiv industri ersätts med mindre energiintensiv industri och verksamhet, exempelvis tillverkningsindustri eller verksamheter inom servicesektorn. Vår energiintensiva industri riskerar då istället att flyttas till andra länder med energi- och klimat-/miljömässigt sämre förutsättningar.

Den lokala energisystemet

– fokus på fjärrvärme och avfall

MÅNGA DELAR I NEPP hanterar den övergripande nationella och internationella nivån med utgångspunkt i bl.a. politikens tre grundpelare, nationella utmaningar inom flexibilitet/effekt och de målkonflikter mellan utveckling och miljökrav som berör bland annat vattenkraften. I det här kapitlet närmar vi oss den lokala dimensionen av energisystemet.

I en lokal kontext finns energisystemet för att tillgodose behov hos lokala aktörer, givet lokala miljömål och hänsyn. Tekniska, ekonomiska och sociala faktorer blir konkreta på en lokal nivå, och måste beaktas av energisystemets aktörer. Det tekniska och ekonomiska systemet ger förutsättningar t.ex. om avfall och biobränsle finns med i bränslmixen för fjärrvärme och hur hänsyn tas till hållbarhetskriterier och strävan mot resurseffektivitet och minskade utsläpp från plast i restavfall. Sociala strukturer ändras med energieffektivisering och hänsyn vid hållbarhetsarbete till exempelvis stadsutveckling och leveranssäkerhet.



Slutsatser

Övergången till en cirkulär ekonomi, där avfall i princip inte uppstår, kräver en djupgående omställning av hela samhällsstrukturen:

från beteende och normer till ändrade resursuttag och ekonomiska mätetal. Under 2018 tog EU stora kliv framåt, genom godkännandet av förändringar i avfallsdirektivet och paketet för en cirkulär ekonomi, men det krävs mer, bland annat eftersom vår produktbaserade konsumtion ökar och med den resursuttagen liksom avfallsmängderna. I NEPP följer vi hur det kan mötas.

Energiåtervinning från avfall genererar en betydande del av Sveriges fjärrvärmeproduktion.

Framtidens högeffektiva energiåtervinning i en *cirkulär ekonomi* nyttjar enbart bortsorterat rejekt som inte kan eller får materialåtervinnas eller förebyggas. Förbättringar och åtstramningar inom policy, styrmedel, avfallsinsamling, sortering och återvinning ger dock inte effekt om efterfrågan på återvunna material saknas. Därför är det av stor betydelse att öka efterfrågan på återvunna fraktioner och de faktiska mängderna som går tillbaka till tillverkning av nya produkter. Här kan aktörer med kunskap inom avfallsbehandling och energiåtervinning ta en aktiv roll för att identifiera och kommunicera vad som borde hanteras uppströms i värdekedjorna.

Plastutmaningen löses med design och förändrad efterfrågan. Förbättrad avfallsbehandling är ett steg på vägen.

Plast är ett mycket användbart material och mängden plast som sätts på marknaden ökar. Samtidigt är det en särskild utmaning och kunskap och medvetenhet om plastens miljöpåverkan ökar. För energiåtervinning är utmaningen att mängden fossil plast i restavfall måste minska, för att reducera utsläpp av fossil koldioxid. Fjärrvärmekunder efterfrågar i större utsträckning fjärrvärme som är fossilfritt producerad, vilket genererar drivkraft att minska energiåtervinning av plast. En stor del av de fossila utsläppen från fjärrvärme kommer idag från fossil plast i restavfallet.

Det pågår flera branschinitiativ för mindre plastavfall till energiåtervinning.

En delstudie adresserar bland annat utmaningen att det finns återvinningsbara avfallsfraktioner i restavfall, fraktioner som i större utsträckning än idag bör cirkuleras i samhället för ökad resurshushållning. Först därefter bör energin

i dem återvinnas. Studien frågar hur kan olika aktören inom energisystemet och i omkringliggande system agera för att påverkas avfallsströmmarna och bland annat minska plast i restavfall?

Vid sju av de 29 anläggningarna för energiåtervinning från avfall som deltog i studien, arbetar man idag aktivt med utsortering av plast från avfallsbränslet innan energiåtervinning.

Vid åtta anläggningar planerar man att sätta igång eller är under uppstart. De sju plus åtta utgör tillsammans 52 %, där man alltså planlagt eller är i gång med arbete för att påverka restavfall mot en mer cirkulär ekonomi. Vid 14 anläggningar har arbetet inte påbörjats ännu.

Den första januari 2020 införs en skatt på energiåtervinning från avfall, enligt utkastet till sakpolitisk överenskommelse mellan S, Mp, L och C daterat 2019-01-11. När detta skrivs framgår inga detaljer i överenskommelsen, och dessa kommer att förhandlas under år 2019. Ett förslag är en skatt på 100 kronor per ton för allt avfall till förbränning, även på importerat avfall, och ett avdrag för metallåtervinning från bottenaska.

Den statliga utredningen "*Brännheta skatter! Bör avfallsförbränning och utsläpp av kväveoxider från energiproduktion beskattas?*" (SOU (2016:34) med tillägg (2017:49)) bedömde att "en skatt på förbränning av avfall inte är ett ändamålsenligt styrmedel enligt de kriterier som anges i utredningens direktiv och därför inte bör införas".

Även forskarnas bedömning är att skatten inte får den effekt som önskas, bland annat eftersom skattekostnaderna inte kommer att kunna överföras på avfallslämnarna.

Skälet är att den svenska marknaden är del av en internationell marknad, där priset på avfallsbehandling sätts i samverkan mellan utbud och efterfrågan, som involverar ett stort antal aktörer i flera länder. Därmed kan en enskild svensk aktör inte sätta priset för avfallsbehandling. Överför man skatten på avfallslämnarna och därmed sätter en högre mottagningsavgift, så flyter avfallet sannolikt någon annanstans. Det kan man inte riskera.

Det är sannolikt inte heller möjligt att överföra kostnaden för skatten på värmekunderna, eftersom det även på värmemarknaden råder konkurrens.

Ett högre fjärrvärmepreis riskerar leda till att kunderna byter till andra uppvärmningsalternativ. Därmed leder avfallsförbränningsskatten främst till försämrad ekonomi för de företag som bedriver avfallsförbränning. På lång sikt, efter 2030, medför en skatt sannolikt att kapaciteten för avfallsförbränning minskar, så att ingen import "behövs". Då kan merkostnaden som skatten innebär i Sverige tas ut av avfallslämnaren och skatten kan då leda till viss styrning.

EUs förslag till nytt förnybarhetsdirektiv (RED II) ger inga stora konsekvenser för svensk bioenergi på kort sikt, men mer osäkert på längre sikt.

Ytterligare styrmedelsändringar som på sikt kan påverka den svenska energimarknaden är bland annat EUs förslag till nytt förnybarhetsdirektiv (RED II). Där ingår hållbarhetskrav på fasta biobränslen för el, värme och kyla, som kommer att slutligt publiceras under år 2019. Direktivet kommer vid implementering innebära tvingande krav, och därigenom påverka utvecklingen inom området.

För svensk del ser de nya hållbarhetskrakterna för fasta biobränslen inte ut att innebära några stora konsekvenser på kort sikt. Det beror på att Sverige har en omfattande skogsvårdslagstiftning sedan länge. En analys av NEPPs forskare visar att utsläppsreduktionen i typiska svenska kraftvärmeverk kommer att vara högre än kravet i direktivet. För importerad pellets kan utsläppsreduktionen hamna närmare gränsnivåerna, främst på grund av längre transportavstånd.

I ett längre perspektiv är det mer oklart hur marknaden för fasta biobränslen kommer att utvecklas.

I och med den ökning i efterfrågan på fasta biobränslen som det nya förnybarhetsdirektivet förväntas leda till kan *marknaden för biobränsle* komma att ändras. Det är troligt att importen av biobränslen till Europa kommer att öka och även efterfrågan på svensk biomassa från övriga Europa kan öka. Då kan transport av biobränslena i vissa fall bli en utmaning för att uppnå kraven på utsläppsminskning. Nu när hållbarhetskrav på fasta biobränslen väl införts i EU-direktivet är det förstås också möjligt att dessa kommer att skärpas längre fram och kompletteras med andra krav för att säkerställa en hållbar bioenergianvändning.

Social hållbarhet handlar om att den sociala dimensionen i hållbar utveckling säkerställs. Här lyfts sex exempel som belyser social hållbarhet ur ett energiaktörsperspektiv.

Som begrepp kan social hållbarhet antingen ses som en integrerad del av hållbar utveckling tillsammans med ekologisk och ekonomisk hållbarhet eller som ett enskilt fokus. Energi har många kopplingar till social hållbarhet, exempelvis genom att mycket av den sociala tryggheten bygger på säker energiförsörjning.

Energiaktörer har en viktig roll för att upprätthålla och bygga social hållbarhet. Mycket som kan inkluderas i det sociala hållbarhetsarbetet görs som fokuserade aktiviteter under andra namn. Att föra in fokuserade aktiviteter under paraplyet av social hållbarhet torde dock innebära att aktörerna kan behöva öka graden av inkludering och påverkansanalys, i och med att begreppet omfamnar ett större antal aspekter. Kommunikation och dialog är centrala ansatser.

NEPP:s forskare har analyserat social hållbarhet ur energiperspektiv genom att lyfta upp några exempel på hur energiaktörer kan påverka social hållbarhet, hur de kan arbeta med det och vilket ansvar de kan ha i att bevara eller utveckla social hållbarhet. De sex exempel, som beskrivs i halvtidsrapporten är: införande av fjärrvärme, samhällsplanering och energisystemets roll, varumärkesbyggande, energisäkerhet, energieffektivisering och påverkan på boendet samt möjlighet att bidra till sin egen energiförsörjning.

Exemplen visar att energiaktörer kan påverka den sociala hållbarheten på många olika sätt. I vissa fall kan påverkan vara indirekt, men många gånger är det en direkt koppling till en kvalitet på en energitjänst, eller vilka typer av tekniska lösningar som erbjuds. Energiaktörer kan vara aktiva i detta där planering och åtgärder för att maximera nyttor, och hantera risker görs. Det är även tydligt att de kan hamna i situationer där de, även om de kanske inte upplever att det är deras ansvar, har en direkt påverkan på den sociala hållbarheten. Kunskap kring påverkan skapar möjlighet att ta initierade beslut, men energiaktören måste ta hänsyn till vilken rådighet de har över frågan. Här kommer dialoger med övriga aktörer i förändringen att fylla viktiga roller.

Fyra framtidsscenarioer för uppvärmningssektorns utveckling.

Inom projektet Värmemarknad Sverige, som NEPP samverkar med, har fyra framtidsscenarioer formulerats för uppvärmningssektorns utveckling (se www.varmemarknad.se). Scenarierna ger uttryck för olika möjliga utvecklingsvägar, varför inget av scenarierna skall betraktas som det mest sannolika eller som det mest önskvärda. Istället är syftet att de fyra scenarierna ska spänna upp ett möjligt "utfallsrum". Inom detta återfinns sannolikt den verkliga utvecklingen. Resultaten från scenarierna ger en bred bild av uppvärmningssektorns framtida utveckling och ger information om det sammanhang där fossilfrihetssträvandena ska förverkligas.

I de tre punkterna nedan ges några samlade intryck från de senaste 20 årens utveckling och den genomförda scenarioanalysen för den framtida uppvärmningsmarknaden:

Nettoenergibehovet för uppvärmning (och tappvarmvattenberedning) är något större 2016 än 1995.

De uppvärmda ytorna har dock ökat betydligt mer och de specifika uppvärmningsbehoven har alltså minskat, mest för flerbostadshus och lokaler och minst för småhus. Det framtida nettoenergibehovet varierar i scenarierna mellan svagt ökande och kraftigt minskande.

Mängden levererad energi till bebyggelsens uppvärmning (och tappvarmvattenberedning) har minskat och fortsätter att göra det i framtiden.

Denna minskning har uppnåtts trots att behovet av nettoenergi (nyttig energi) har ökat något. Effektiviteten i energi-

omvandlingen har alltså ökat. På sikt uppvisar alla scenarierna fortsatt minskning av energileveranserna, i vissa fall kraftiga minskningar.

För de enskilda energibärarna är den mest framträdande förändringen från 1995 till 2016 den nästan fullständiga utfasningen av olja och gas.

För den dominerande energibäraren fjärrvärme så antyder scenarierna en framtida leverans i intervallet svagt ökande till rejält minskande. Samtliga scenarier pekar på minskande elanvändning för uppvärmning, även i scenarier där värmepumpar tar marknadsandelar. Orsaken är att elvärme ersätts av värmepump och att nya värmepumpar är effektivare än gamla. I ett par av scenarierna minskar dessutom bebyggelsens uppvärmningsbehov.

Fjärrvärmens utveckling i Sverige – en modellansats utifrån de fyra värmemarknads-scenarierna.

Några av de modellverktyg som utnyttjas i NEPP-projektet omfattar både el och fjärrvärme, bl.a. Timesmodellen. Med utgångspunkt i olikheterna i de fyra värmemarknads-scenarier som tagits fram i samverkan med Värmemarknad Sverige (se ovan) har vi gjort en första modellansats med Times-modellen, i en beräkning baserad på samhällsekonomisk kostnadseffektivitet. Resultatet visar då en utveckling för fjärrvärmens som innehåller inslag från alla fyra värmemarknadsscenarierna. Timesanalysen visar en relativt konstant användningsnivå för fjärrvärmens under de närmaste decennierna, där nedgången genom fortsatt effektivisering och viss konvertering till värmepumpar balanseras av ökningen genom nyanslutningar. När det gäller fjärrvärme-produktionens sammansättning så sker heller inga dramatiska förändringar enligt Timesmodellens resultat.

Fjärrvärmeföretagen är vid ett vägskäl i sina kundrelationer – menar fastighetsbolagen i en intervjuundersökning.

I samverkan med projektet Värmemarknad Sverige har NEPP deltagit i en undersökning där ett tiotal stora fastighetsägare intervjuats om hur de ser på den framtida utvecklingen inom energiområdet i allmänhet och om sin relation till sina fjärrvärmeleverantörer i synnerhet. Undersökningen understryker att detta är viktiga frågor för fastighetsbolagen idag i dess strävan mot en hållbar energiförsörjning, och de kommer att driva på i utvecklingen. De frågar sig samtidigt vilken väg fjärrvärmeföretagen kommer att ta – eller få – och formulerar två vägval: 1. Energibolagen blir en utvecklande och professionell samarbetspartner till fastighetsbolagen. 2. Energibolagen blir mer renodlade leverantörer av energi, och då kommer fastighetsägarna ta eget ansvar med hjälp av flera olika energileverantörer.

Vårt tekniska elsystem är vid ett vägshål

– det handlar om tilltron till det nya

VÅRT TEKNISKA ENERGISYSTEMS UTVECKLING I SVERIGE, både el- och värmeförsörjningen, har under ett par decennier nu präglats av en allt tydligare och allt kraftfullare politik för att öka andelen av de förnybara energislagen och minska de fossila, motiverat av i första hand av klimatpolitiska skäl. Ambitioner som *100% förnybart* och *helt fossilfritt* formar idag politiken i vårt land.

Detta har – för det tekniska elsystemet i Sverige – i praktiken lett till en utveckling med ett allt ensidigare fokus på *elenergi*, och ett minskat fokus på *effekt* och flexibilitet. Vi ser en motsvarande utveckling i ytterligare några länder i (Nord)europa, exempelvis i Danmark, medan andra länder inte haft en lika ensidig satsning på *elenergin* utan även sett till en utveckling av det tekniska elsystemet som haft en mer jämn balans mellan de tre grundpelarna i energipolitiken (klimat/miljö, leveranssäkerhet och konkurrenskraft).

Samtidigt har denna utveckling av elsystemet, med en växande framtida effekt- och flexibilitetsutmaning, givit ökat fokus till – och påskyndat – *en spännande teknikutveckling för nya åtgärder som kan hjälpa till att hantera flexibiliteten och möta effektbehovet*. Det handlar om alltifrån efterfrågerelaterade åtgärder till batterilager och syntetisk svängmassa för vindkraften. Om dessa åtgärder blir kostnadseffektiva och energisystemets aktörer får tillit till dem, kommer de att medverka till att möjligheterna att möta de framtida effekt- och flexibilitetsutmaningarna i det tekniska

elsystemet ökar väsentligt. I NEPP studerar vi alla dessa nya möjligheter – i såväl produktions- som användarledet – och analyserar hur de kan komma att påverka det tekniska elsystemets utveckling på kort och lång sikt. Ett exempel är den framtida variationshanteringen i elsystemet, som beskrivs i senare avsnitt. Ett annat är hur nya aktörer, t.ex. ett parkeringsbolag, med ny teknik kan agera aggregator för effekthanering genom elfordon som laddas på bolagets parkeringsytor. Ett tredje exempel illustreras av våra arbeten nedan om vind- och solkraften, hur tekniken utvecklas och hur den kan integreras i elsystemet på bästa sätt.

I våra scenarioanalyser i NEPP tar vi nytta av såväl denna nya kunskap som den etablerade. Vi har analyserat två huvudscenarier med projektets modellverktyg och kompletterat dessa scenarier med en omfattande känslighetsanalys (som vi också kommer att jobba vidare med i projektets andra halva). Båda huvudscenarierna är mycket aktuella för dagens utveckling av det europeiska energisystemet.

Vi kan se två tydliga tidsperioder i våra analyser, nämligen perioden 2018-2030/35, som styrs av lagd politik och tagna beslut, och perioden 2030/35-2050 där nya och skilda omvärldsförutsättningar påverkar i mycket högre grad. I våra olika scenario- och känslighetsanalyser ser vi oftast ett liknande resultat för den första perioden men sedan olika resultat för den andra perioden.



Slutsatser:

Två huvudscenarier, som också väl speglar elsystemets vägval:

I NEPP har vi analyserat elsystemets utveckling i Sverige och Nordeuropa utifrån två huvudscenarier. I det ena (Green Policy) ligger tyngdpunkten i politiken och styrmedlen på att (ensidigt) öka förnybar energi medan det andra scenariot (Climate Market) byggs upp kring en mer allmän klimatpolitik, där alla åtgärder som leder till minskade växthusgasutsläpp premieras. I sig illustrerar dessa båda scenarier ett av de vägsäl som dagens energi- och klimatpolitik står vid, där Storbritannien idag är mer inriktade på "Climate Market-vägen" och bl.a. Sverige och Tyskland mer på "Green Policy-vägen".

Samtidigt speglar dessa båda scenarier – såsom deras resultat utfallit – ett annat viktigt vägsäl, nämligen hur vi ser på – och hanterar – frågan om leveranssäkerhet (och konkurrenskraft); dvs. frågan om effekt- och flexibilitetsutmaningen i det framtida elsystemet. Båda scenarierna visar på ett behov av nya åtgärder och resurser för att kunna möta det framtida effekt- och flexibilitetsbehovet, utöver de befintliga/traditionella åtgärder vi förlitar oss till idag (i form av reglerbar kraftproduktion, ett elnät med tillräcklig kapacitet och viss möjlighet till efterfrågerespons inom storskalig industri).

NEPP:S TVÅ HUVUDSCENARIER ÄR:

- **Climate Policy Mix** — med fokus på reduktion av växthusgasutsläpp. Bygger på EU:s och Sveriges energi- och klimatpolitiska mål till 2020, 2030 och 2050, det vill säga en mix av mål för växthusgasutsläpp, förnybart och effektiviseringar. Efter 2030 antar vi att tyngden förskjuts mot målet att minska växthusgasutsläppen. Vid sidan om förnybart och effektiviseringar är även bland annat kärnkraft och CCS möjliga optioner.
- **Green Policy Plus** – med fokus på ökning av förnybar energi. Ett mer entydigt fokus på förnybart inom samtliga delar av energisystemet där utvecklingen går snabbast inom el- och fjärrvärmesektorn. Fortsatt ambitiösa stöd till förnybart i kombination med snabb teknikutveckling är viktiga drivkrafter.

NEPP har tillgång till en omfattande "verktygslåda" av datormodeller för analys av energisystemets utveckling. Gemensamt för modellerna är att de i sin analys (optimering eller simulering) hanterar de tekniska energisystemen och deras utveckling. Modellerna omfattar elsystemet, men vissa av dem även värmeförsörjningen och industrin. De omfattar även hela det Nordeuropeiska energisystemet.

Behovet av nya åtgärder för flexibilitet och effekt blir mycket större i vårt Green Policy-scenario än i vårt Climate Market-scenario.

I vårt Climate Market-scenario visar modellanalyserna på en investering i åtgärder som minskar växthusgasutsläppen samtidigt som de bidrar (stort) till att öka effekt- och flexibilitetsresurserna i elsystemet. I vårt Green Policy-scenario finns inte denna samordningsvinst i samma utsträckning, vilket kan innebära att vi måste investera i, och lita till, andra – och nya – flexibilitetsresurser än de traditionella i större utsträckning. Det är en utmaning. I kapitlet om flexibiliteten och effektutmaningen nedan illustrerar vi denna utmaning, samt visar på olika sätt att möta den.

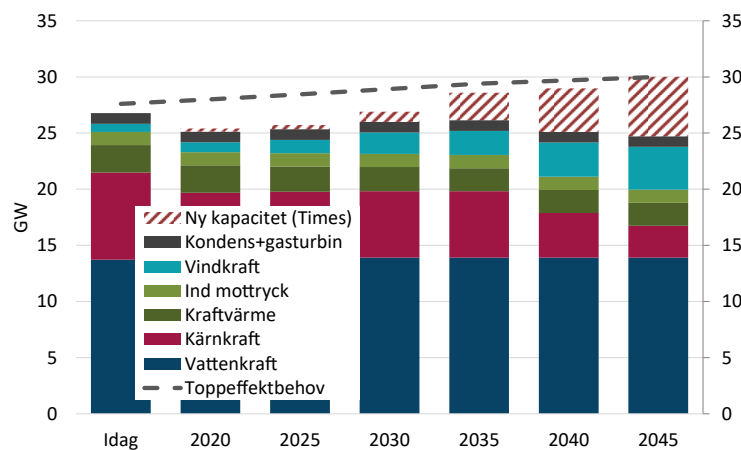
Tyskland och Storbritannien exemplifierar utvecklingen i NEPP:s huvudscenarier.

Jämför vi den rådande energipolitiken i Tyskland, som valt förnybarvägen och Storbritannien, som satsar på CO₂-reduktion i första hand (genom ett "golpris" på koldioxidutsläpp), kan vi säga att dessa båda länder också väl representerar var sitt av våra två huvudscenarier, Green Policy respektive Climate Market. Vi kan dock konstatera att båda länderna har valt att investera stort i termiska kraftverk för att säkra upp effekten och flexibiliteten i elproduktionen, samtidigt som man satsat på vind- och solkraft. Här skiljer sig därmed Tyskland från Sverige.

Elenergiproduktionen i Sverige i de båda huvudscenarierna.

Utvecklingen av elproduktionen i Sverige fram till 2035 styrs i hög grad av Energiöverenskommelsens beslut om det utökade elcertifikatsystemet med 18 TWh ny förnybar elproduktion mellan 2020 och 2030. Vindkraft kommer att svara för en övervägande del av denna nya förnybara elproduktion. Tillsammans med elproduktionen i de sex kärnkraftsreaktorer som drivs vidare efter 2020 – och övrig kraftproduktion, främst vattenkraft och biobränsleeldad kraft – kommer vår elproduktion fram till 2035 att ge ett allt större produktionsöverskott.

Efter år 2035 avstannar ökningen i vår svenska elproduktion, med lite olika takt i de båda scenarierna, som en följd av avveckling av kärnkraftsreaktorer (kopplat till livslängden). Samtidigt visar våra modellanalyser på ett successivt högre elpris under perioden 2030-2045, främst i Climate Market, vilket då motiverar att vi fortsätter att investera i ny produktion och därmed också fortsätter att producera ett årligt elöverskott även (långt) efter 2035. I scenariot "Green Policy" kommer den svenska elproduktionen att vara helt förnybar år 2045. I scenariot "Climate Policy", där elprisökningen blir större som en följd av snabbt stigande CO₂-priser, görs även reinvesteringar i en del av kärnkraften och denna drivs vidare även år 2045 och därefter.



Figur: Tillgänglig planerbar och reglerbar elproduktionseffekt i Sverige i scenariot "Green Policy", både den nya effekt som TIMES NORDIC-modellen investerar i (röd streckad), och den existerande och kvarvarande. Effektunderskottet under perioden 2020-2035 täcks av import, enligt Times-resultatet. Toppeffektbehovet enligt "tioårsvinterkriteriet" är angivet som en streckad linje.

Elproduktionskapaciteten i Sverige i de båda huvudscenarierna.

Som framgår ovan ger den svenska elproduktionen ett överskott av elenergi under hela den studerade perioden, och vi har en nettoexport av elenergi till våra grannländer under alla år i båda våra huvudscenarierna. Däremot visar båda huvudscenarierna på ett underskott av el-effekt i Sverige under de närmaste 10-15 åren. Detta underskott kan komma att uppträda under relativt många av årets timmar, och då främst under vintern, men även till viss del under andra årstider. Vid en topplastsituation (enligt "tioårsvinterkriteriet") kommer vi då att få lita till import, eller till andra (och nya) åtgärder, i båda våra huvudscenarierna på upp till 3 GW för modellåren 2020-2025, räknat på timbasis. Orsaken är att vi stänger de äldre kärnkraftverken senast 2020/2021 (och har då endast de sex yngre reaktorerna kvar) och nyinvesteringar i ny produktionskapacitet (bl.a. gasturbiner) görs inte – enligt modellresultaten – förrän med början under modellåret 2025.

Systempriset på el ökar i båda scenarierna.

Våra analyser visar att systempriserna på el stiger mer i Climate Market än i Green Policy, som en följd av de antaganden vi gjort om allt högre CO₂-priser i det scenariot. Elpriserna stiger även i Green Policy, men i långsammare takt. TIMES NORDIC-modellens resultat visar på systempriser för perioden 2030/35-2050 på mellan 400-600 SEK/MWh i Nordeuropa, medan priserna i Climate Market hamnar på 600-800 SEK/MWh, med högst prisnivåer i länderna på Kontinenten.

Sveriges elhandel med omvärlden.

I bägge scenarierna förblir Sverige en stor nettoexportör fram till 2035, i storleksordning 15-40 TWh beroende på år. Utvecklingen därefter skiljer sig mer markant mellan scenarierna. De höga elpriserna samt de mycket höga produktionskostnaderna för den fossilbränslebaserade

de elproduktionen som finns kvar på Kontinenten gör att exportöverskottet för Sveriges del kvarstår även efter 2035 i "Climate Market". När det gäller "Green Policy" så medför de väsentligt lägre CO₂-priserna även efter 2035 att fossilbränslebaserad elproduktion från Kontinenten kommer att importeras till Sverige under vissa tidsperioder när kärnkraften fasas ut. Trots det förblir vi en nettoexportör, men med en mindre volym.

Kraftvärmekapaciteten minskar i Sverige visar nyligen genomförd enkät.

Många betonar den ökade betydelsen av kraftvärmens planerbara effekt i ett elsystem med växande inslag av variabel elproduktion. Det finns därför förhoppningar om att kraftvärmens kommer att växa snabbt, men mycket i omvärldsförutsättningarna talar idag emot en sådan expansion. Den enkätundersökning som Energiforsk och NEPP genomfört under 2018 bekräftar också denna bild. Sammantaget indikerar enkäten att den tillgängliga eleffekten i kraftvärmeverken till och med kommer att gå ner från dagens nivå på cirka 3000 MW till cirka 2900 MW år 2030, trots viss nybyggnation av kraftvärme under perioden.

Preliminära analyser av ett "höghetsscenario" visar hur en kraftigt ökad elanvändning kan mötas.

Såväl i Sverige som i flera andra europeiska länder anges elektrifiering som en väg att klara klimatmålet. Det skulle då leda till att elanvändningen ökar kraftigt i framtiden. I NEPP har vi inlett en analys av en sådan utveckling för elsystemet, och vi har då antagit en ökad elektrifiering inom industri- och företagssektorn samt inom transportsektorn, där den övervägande delen av trafikarbetet antas vara elbaserat till 2050. Scenarioförutsättningarna har, i denna inledande analys, till stor del hämtats från Energimyndighetens pågående arbete med långsiktiga scenarier för det svenska energisystemet till 2050 (slutförs våren 2019).

Vi har gjort analyserna med utgångspunkt i våra två huvudscenarier, och i figurerna ser vi utfallet för den svenska elproduktionen för såväl Green Policy som Climate Market. Elanvändningen antas hamna på en nivå som år 2050 ligger 40-45 TWh över den elanvändning som antas för huvudscenarierna i grundkörningarna, som redovisas ovan. (Vi antar också att elanvändningen ökar på motsvarande sätt i våra grannländer.)

I Climate Market leder denna stora elanvändningsökning till att både förnybar kraft och kärnkraft byggs ut ytterligare jämfört med grundkörningarna. Vi får då en kärnkraftsproduktion på upp emot 60 TWh år 2050 och en vind- och solkraftsproduktion på cirka 70 TWh, och vi förblir stor nettoexportör till övriga Nordeuropa. I Green Policy är kärnkraften avvecklad år 2050, och trots en vind- och solkraftsproduktion på upp emot 80-90 TWh, kan vi behöva nettoimportera elenergi år 2045.

När det gäller elproduktionskapaciteten, krävs en succesivt allt större förstärkning, särskilt i Green Policy där det krävs upp till ytterligare 5-10 GW av reglerbara resurser år 2050, utöver grundkörningarnas nivåer (se figuren på föregående sida). Om den tillkommande elanvändningen har en jämn

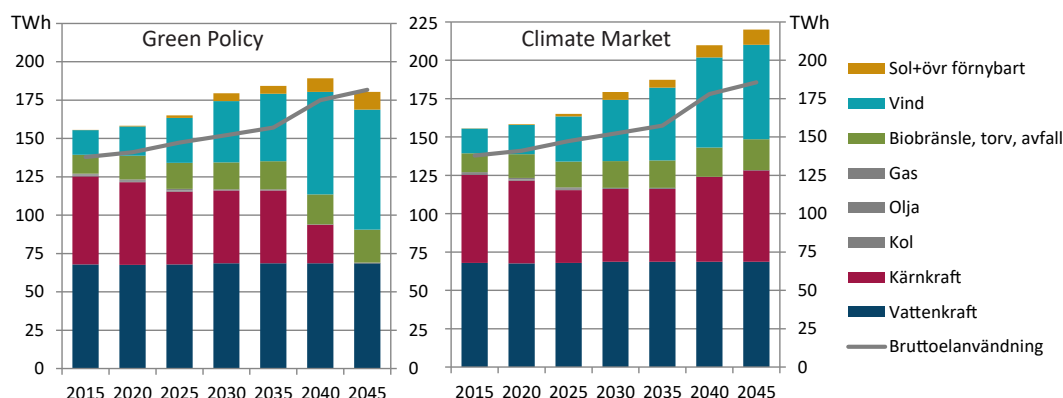
FÄRDPLANER FÖR FOSSILFRIHET

– flera branscher anger ökad elektrifiering för att bli fossilfria

Inom ramen för regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige har ett tiotal branscher tagit fram färdplaner för hur de kan bidra till fossilfrihet och hur det kan skapa konkurrensfördelar för det svenska näringslivet på en internationell marknad. Ytterligare ett antal färdplaner är på gång. Ett antal av dessa branscher lyfter fram ökad elektrifiering som en viktig del för att bli fossilfria.

Förutom att man i färdplanerna gör åtaganden om egna åtgärder, så ger man också uppmaningar till andra, exempelvis riksdag och regering, om vad som behövs för att möjliggöra de åtgärder man själva vill genomföra. På detta sätt kan man vara proaktiv och driva utvecklingen och inte endast reagera på politiska mål och styrmedel.

profil över året räcker det med 5-6 GW, men en spetsigare last kan istället kräva 10 GW.



Figur: Elproduktion i Norden i våra två huvudscenarier, "Green Policy" (till vänster) och "Climate Market" (till höger). Figuren visar resultat från TIMES NORDIC-modellen.

Vindkraftens effektivitet kan komma att fördubblas.

Teknikutvecklingen för vindturbiner har gått från att fokusera på större generatoreffekt, till att istället fokusera på högre tornhöjd och större rotordiameter. Den högre tornhöjden förbättrar vindutbytet eftersom det blåser mer ju högre upp man kommer, medan den större rotordiametern i förhållande till generatoreffekt leder till att elproduktionen, vid lägre vindhastigheter för en given generatoreffekt, kan förbättras avsevärt.

NEPP-analyser visar att redan vid en utveckling av vindkraftsflotta från dagens flotta (2017) till en helt ny flotta år 2040 motsvarande dagens bästa teknik leder till ett väsentligt högre antal fullasttimmar för vindkraftsproduktionen. Ökningen uppgår till mellan 50 och 61% baserat på de verkliga vindåren 2013-2016. Förutsätter man istället fortsatt kraftig teknikutveckling så blir ökningen av antalet fullasttimmar ännu högre, 92-112% då hela dagens

flotta är utbytt år 2040 (jämfört med läget 2017). Tack vare teknikutveckling med stadigt ökande utnyttjningstider för moderna vindkraftverk kan man därmed förvänta sig att flera av de utmaningar som förknippas med ökande variabilitet på elmarknaden till följd av vindkraftutbyggnaden kommer att kunna dämpas och hanteras bättre.

Stor potential för solceller, men kalkylförutsättningar och stödsystem påverkar den faktiska utbyggnaden.

Solcellernas kostnadseffektivitet har förbättrats kraftigt under de senaste 10 åren. Solcellsinstallationer har gått från att vara en angelägenhet för ett fåtal entusiaster till något som i allt större utsträckning bedöms som intressant att placera på en stor andel av takytorna runt om i landet. Potentialen är stor men det är många faktorer som påverkar lönsamheten för investeringar i solceller. Vi kan också konstatera att det är betydligt mer kostnadseffektivt att

bygga stora solcellsparkar jämfört med att göra installationer på tak, om kalkylförutsättningarna är desamma.

Men även om kostnaden för att investera i solceller har sjunkit kraftigt är det i dagsläget fortfarande svårt att få en tillräcklig lönsamhet på kommersiella grunder (trots stör). Det finns naturligtvis enstaka fall där det är möjligt,

i synnerhet om man har ett gynnsamt läge, relativt låg investeringskostnad (på grund av t.ex. takets beskaffenhet och anläggningens storlek), samt har förhållandevis låga avkastningskrav och är berättigad till stöd. I de flesta fall är det dock så att de som investerar i solceller även har andra motiv för sin investering såsom miljömässiga motiv eller en strävan efter ökad självförsörjning på energiområdet.

NÅGRA RESULTAT FRÅN KÄNSLIGHETSANALYSER MED APOLLOMODELLEN

- Olika vägar att klara eleffektförsörjningen på sikt har studerats i denna känslighetsanalys. Vägarna ger olika fördelar och nackdelar

Med hjälp av den detaljerade elmarknadsmodellen (timupplösning) Apollo har vi inom NEPP studerat utmaningarna runt tillgången på effekt i elsystemet. I scenariot Green Policy ersätts kärnkraften efter år 2040 successivt med variabel förnybar elproduktion. Då kommer det att under den mest ansträngda timmen under en 10-årsvinter bli ett nationellt effektunderskott på minst 8 GW. I känslighetsanalysen har vi då studerat tre möjliga åtgärder att möta detta underskott: gasturbiner, höjd effekt i vattenkraften och förbrukningsflexibilitet.

Den enda åtgärden ensam, internt i Sverige, som kan möta denna effektutmaning är investeringar i gasturbiner. Den är skalbar och kan byggas ut till önskad nivå. Övriga åtgärder kan bidra, men inte ensamma lösa effektutmaningen vid högsta förbrukning utan att förlita sig på viss import. Detta då de har en begränsad potential, som för efterfrågeflexibilitet är antagen till 7 000 MW och för utbyggnad i vattenkraften till maximalt 5 000 MW. Gapet är som nämnts ovan över 8 000 MW. Dock måste inte hela gapet täckas med inhemsk produktion eftersom vi delvis kan förlita oss på import. Modellberäkningarna av de tre produktionsalternativen och de två driftfallen kan sammanfattas på följande sätt för ett modellår efter år 2040:

- **Gasturbiner** kan av egen kraft lösa effektproblematiken vid hög förbrukning. Nackdelen är att de i dagsläget drivs av fossila bränslen. Som visats i modellkörningarna kommer de dock inte att behövas i någon stor utsträckning utan körs endast mellan 80 – 90 timmar per år i SE4 respektive SE3 i fallet med 4 000 MW gasturbiner. För

problematiken kring överskott av effekt/energi som enligt modellkörningarna sker i ungefär 800 timmar per år kan inte gasturbiner själva bidra till en lösning.

- **Vattenkraftens** kapacitet är ökad med från 16 301 MW till 19 525 MW (3 224 MW) i kombination med att överföringskapaciteten är ökad från SE2-SE3 och SE3-SE4 med 1 000 MW. I de timmar då efterfrågan på el är som störst är sätts elpriset av förbrukningsreduktion (priskänslig last). Scenariot visar att en effekthöjning av vattenkraft i kombination med att flaskhalsar i de stora svenska älvarna byggs bort ökar möjligheten att producera mer vattenkraft de timmar då behovet är som störst. Samtidigt visar vattenkraften sommartid ökade möjligheter att regleras ner vid tidpunkter då förbrukningen är låg och vindkraft och solkraft ger mycket produktion.
- **I efterfrågeflexibilitetsscenario** fanns tillgång till 2 000 MW avkopplingsbar förbrukning på priser från 200 till 2 000 EUR/MWh. Dessutom fanns 960 MW flyttbar förbrukning vilken kunde flyttas mellan en och fem timmar. Dessa nivåer var tillräckliga för att klara topplastsituationen i Sverige. För en kall vintervecka aktiveras båda typer av flexibilitet ganska frekvent. Avkopplingsbar förbrukning som är prissatt kommer att spela en stor roll för prissättningen timmar med en ansträngd situation. Höjda priser vid dessa tidpunkter kommer då också att ge incitament till den flyttbara lasten då förtjänsten för detta ökar. Förbrukningsflexibilitet i överskottssituationer betyder att öka förbrukningen, eller främst att utjämna den genom förflyttning. Denna typ av förbrukningsflexibilitet är mycket lite utforskad och har inte studerats i detta arbete.

I anslutning till modellberäkningarna diskuteras också vad som krävs för att få respektive produktionsalternativ på plats samt olika aspekter på frågan om effektförsörjningen ska lösas land för land eller gemensamt.

Solel och elnät – med ökat fokus på den ekonomiska relationen.

När det gäller solel och det lokala elnätet brukar farhågan kring överföringsbegränsningar tas upp som den viktigaste faktorn för att hantera den framtida utbyggnaden. En annan fråga som också bör lyftas i sammanhanget är hur elnätsavgifterna relaterar till den allt större egenproduktion hos både privatpersoner och företag – en trend som

sannolikt kommer förstärkas under de kommande åren. Att i god tid skapa prismodeller som bättre speglar elnätsbolagens kostnader torde vara en prioriterad aktivitet eftersom man riskerar att skapa problem både för sig själv och för de som installerar solel då utbyggnaden kommit längre. Om utbyggnaden av solel blir stor och elnätsbolagen tappat intäkter på grund av detta risker det leda till att man måste höja elnätsavgifterna.

Flexibilitet

– i en ny tid

NEPP:S ANALYSER VISAR att vi är på väg in i en ny tid som kräver ökade resurser för effekt och flexibilitet i elsystemet; en tid som ställer nya krav och ger nya utmaningar för elsystemets aktörer. Svenska kraftnät anger i sin *”Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2018”* ett underskott på cirka 1500 MW för ”tioårsvintern”. Det är andra året i rad man anger underskottsvärden i GW-klassen och därmed tydligt indikerar utifrån sin analys att vi inte har tillräckligt med effektresurser i vårt land, utan måste lita till import (eller efterfrågefleksibilitet) om denna situation inträffar. Det är därför **en ny tid vi står inför**. Då blir behovet av ny planerbar

produktion, elnätsförstärkningar och flexibel användning allt viktigare, samtidigt som kostnaden för att uppnå olika nivåer av leveranssäkerhet blir avgörande för de val och de investeringar vi måste göra. I sig är detta skifte av fokus också en övergång till en **ny situation och ett nytt läge**. Och samtidigt planerar vi alltså att successivt stänga befintliga kraftverk, redan med start inom några år. Det accelererar behovet – och utmaningen – av att få nya resurser operativa för effekt och flexibilitet. Det kan exempelvis handla om produktion, efterfrågeanpassning, lagring eller import.



Slutsatser:

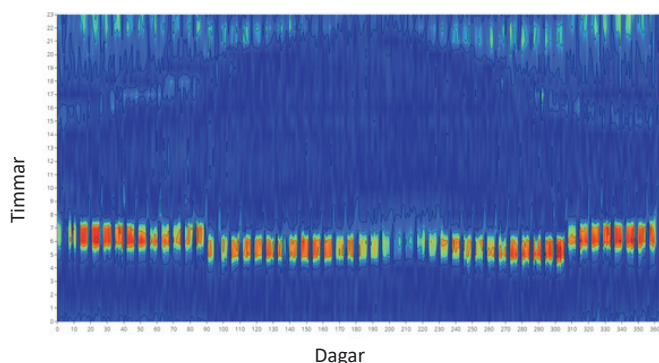
Reglerbehovet blir mycket mindre förutsägbart.

Ett sätt att kvantifiera behovet av flexibilitet är att se på hur nettolasten ändras över tid. Nettolasten definieras som efterfrågan minus produktion från vind- och solkraft och är den efterfrågan som det resterande kraftsystemet ska hantera. I figurerna på föregående sida visas förändringen i nettolasten från *en timme* till nästa. 2015 syns ett tydligt mönster där ”morgonrampen” står för den stora förändringen i nettolasten från en timme till en annan. Det syns tydligt att förändringen är mindre på helger samt på semestern. Övri-

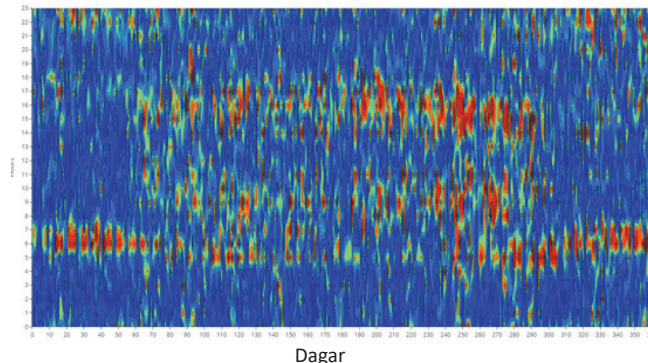
ga tider är förändringen liten. Omställningen mellan vinter och sommartid syns tydligt, då figuren visar all data i normaltids. Förutsägbarheten är alltså stor idag.

När samma sak plottas för modellår 2040 är mönstret med en morgonramp inte lika tydlig. Däremot tillkommer en förmiddagsramp och en eftermiddagsramp under sommarhalvåret. Denna beror på den ökade mängden solkraft. Modellåret 2040 är alltså bilden mer suddig. Det innebär att förändringar i nettolasten kommer att uppträda något mindre förutsägbart och vid fler tidpunkter.

Förändring i nettolast, 1 h, 2015 verklig



Förändring i nettolast, 1 h, 2040 simulerad



Figur: Förändring i nettolast från en timme till en annan. På y-axeln visas tid på dygnet från 0-24h. På x-axeln visas dagar på året från 1-365 dagar, dvs från 1 januari till 31 december.

Behovet av reglerkraft fördubblas.

Med behovet av reglerkraft på en timme avses hur mycket nettolasten varierar som mest från en timme till en annan. Den maximala fluktuationen från en timme till en annan som observeras under ett år förväntas öka från ca 2 500 MW/h till ca 4 400 MW/h, det vill säga nästan en fördubbling av behovet. Med balanseringsbehovet inom en vecka menas hur mycket nettolasten varierar inom en vecka. Nettolastens variation under veckan förväntas öka från ca 7 500 MW till ca 14 200 MW, det vill säga en fördubbling jämfört med idag.

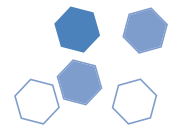
Överskottet är ingen stor utmaning, dvs. den producerade elen från vind- och solkraft som överstiger efterfrågan och exporten, förväntas uppgå till ca 3 TWh modellåret 2040. För att ta hand om denna produktion krävs antingen ett förstärkt stamnät, flexibel användning, energilager eller att produktionen regleras ner/spills.

Underskottet i den svenska effektbalansen kan komma att växa kraftigt.

Svenska kraftnät anger i sin prognos för effektbalansen i Sverige vintern 2017/2018 ett underskott på cirka 850 MW för "tioårsvintern". När vi om ett par år avvecklar ytterligare kärnkraft, ökar detta underskott till 3 GW. På lång sikt, dvs. när kärnkraften är helt avvecklad och ytterligare ett antal termiska verk stängts (kraftvärme/kondens) kommer det maximala underskottet av effekt en tioårsvinter, exklusive importkapacitet och andra åtgärder, vara omkring 8 GW.

FLEXIBILITET ÄR ETT SAMLINGSBEGREPP FÖR OLIKA BEHOV OCH ÅTGÄRDER FÖR REGLERING AV ELSYSTEMET

Flexibilitet, och behovet av flexibilitet i vårt elsystem, är ett allmänt och inte entydigt definierat samlingsbegrepp för en lång rad situationer, behov och åtgärder som krävs för att kunna reglera vårt elsystem. Flexibilitet är således inget entydigt definierat begrepp. Vi har heller inget exakt mått på hur mycket flexibilitet vi har i elsystemet idag. Vi kan därför inte säga exakt hur mycket flexibilitet vi behöver, dels för att vi då först måste bli överens om vad som ligger i begreppet, dels måste enas kring vilken leveranssäkerhet vi vill ha och vad det får kosta att klara av denna leverans. Icke desto mindre har vi ständigt ett behov av flexibilitet i vårt elsystem för att klara av att upprätthålla effektbalansen. Denna flexibilitet är av olika slag, varierar från en tidpunkt till en annan och varierar om vi ser till landet som helhet eller bara till försörjningen inom ett lokalnätsområde. Begreppet flexibilitet handlar dessutom inte bara om kraftbalansen utan också om att klara belastningen på elnäten.



		Balansreglering timme	Balansreglering Vecka	Överskott	Topplast 1h	Topplast 1 dygn
Storleksordning	2018	2 500 MWh	7 500 MW/v	0 TWh	- 850 MW	+ 1 650 MW
	ca 2025	2 700 MWh	9 400 MW/v	0 TWh	- 3 000 MW	- 500 MW
	ca 2035	3 600 MWh	12 700 MW/v	1 TWh	- 5 000 MW	- 2 500 MW
	2040	4 400 MWh	15 200 MW/v	3 TWh	- 8 000 MW	- 5 500 MW

Vi klarar utmaningen, men det är viktigt att uppmärksamma den nu.

Våra analyser visar på betydande utmaningar, både på kort och på lång sikt. Samtidigt vill vi framhålla att det finns många olika vägar, och många olika åtgärder, för att hantera den

framtida flexibilitetsutmaningen och effektbalansen. Två frågor blir avgörande: vilken typ av flexibilitet behöver vi och var ska den tillföras? Eller i andra ord; vilken kombination av resurser är det mest kostnadseffektiva och var ska dessa resurser finnas geografiskt?

		Balansreglering timme	Balansreglering vecka	Överskott	Topplast 1h	Topplast dygn	Årsreglering
Typ av flexibilitet	Energilager (batteri)	😊	😞	😊	😊	😞	😞
	Efterfrågeflexibilitet	😊	😞	😞	😊	😞	😞
	Utbyggnad av stamnät	😊	😊	😊	😊	😊	😊
	Utbyggd kraftvärme	😊	😊	😞	😊	😊	😊
	Gästurbin	😊	😊	😞	😊	😊	😊
	Ökad flexibilitet i vattenkraften	😊	😊	😊	😊	😊	😊

Schematisk, och delvis subjektiv, bedömning av olika åtgärders förmåga att möta olika flexibilitetsutmaningar

Efterfrågeflexibilitet är en del av lösningen.

Efterfrågeflexibilitet är naturligtvis en central åtgärd för att kunna reglera vårt elsystem. Redan idag utnyttjas efterfrågeflexibilitet i viss utsträckning som reglerresurs, dels som en följd av höga priser, dels genom direkta bud. I framtiden kommer efterfrågeflexibiliteten att bli en allt viktigare reglerresurs för vårt elsystem, inte minst för reglering under enstaka timmar. För regleringen över dygn, och längre perioder än så, har inte efterfrågeflexibiliteten samma möjligheter att bidra, om man inte helt enkelt kopplar bort last.

Olika stor tillit till de nya åtgärderna.

Olika åtgärder kan bidra med olika stor leveranssäkerhet, eller tillskrivas olika stor tillit om man så vill. Tilliten till en viss typ av flexibilitet kan variera beroende på både vilken typ av flexibilitet det är och vad det är som aktiverar flexibiliteten. Till exempel kan efterfrågeflexibilitet endast aktiveras om det finns en förbrukning. En gasturbin kan däremot vara tillgänglig med en mycket hög tillgänglighet. Man kan också dela in flexibilitet i implicit (prisstyrd) och explicit (manuellt styrd) flexibilitet. Flexibilitet som aktiveras baserat på prissignaler ska troligen tillskrivas en lägre sannolikhet att den aktiveras till fullo i en ansträngd situation jämfört med flexibilitet som kan styras centralt. Implicit flexibilitet kan växa fram så länge det finns tillräckliga prissignaler. Explicit flexibilitet kan däremot kräva en central upphandling, t.ex. inom effektreserven.

Investeringar i stor gasturbinkapacitet kräver nya incitament.

Förutom tillit måste det oftast finnas ekonomiska incitament för att få en enskild åtgärd på plats. Att ekonomiska drivkrafter krävs gäller i högsta grad för gasturbiner. I NEPP:s analyser visar vi att gasturbinerna endast körs i strax under 100 timmar per år. Det betyder att utnyttjningstiden är mycket låg och intäkterna sannolikt inte kommer att kunna täcka kapitalkostnaderna. Miljöaspekten kan kanske däremot lösas genom att bränslet i framtiden blir biobränslebaserat men att investera i många tusen MW gasturbiner ter sig svårt för en investerare utan någon form av tillkommande finansiella incitament. Exempel på finansiella incitament är kapacitetsmarknader där producenten får ersättning för att erbjuda kapacitet på marknaden och inte enbart för den energi som produceras.

Vattenkraftens bidrag till balanseringsarbetet kan komma att minska, import kommer då att spela en större roll.

Idag är det främst variationen i efterfrågan som är drivande för behovet av elsystemets balanseringsarbete på dygns- och säsongsskalen. I framtiden kommer den väderberoende vindkraften att stå för en ökande andel av balanseringsbehovet i alla tidsskalor. Den svenska vattenkraftens relativa bidrag till balanseringsarbetet i Sverige kommer då, enligt våra analyser, att minska till förmån för import. Det är inte troligt att vattenkraftens absoluta balanseringsbidrag minskar, utan det är snarare så att import och export får stå för en del av det ökade balanseringsbehovet. Utökade utlandsförbindelser kan också bidra till att den svenska vattenkraften körs baserat på balanseringsbehovet från ett större geografiskt område snarare än på balanseringsbehovet i Sverige.

Även ett ökat regionalt behov av flexibilitet och toppeffekt.

Eleffektutmaningen, och därmed behovet av flexibilitet, kan ses ur olika perspektiv vad gäller geografiska avgränsningar. Ett exempel på utmaningar på elområdesnivå är att effektunderskottet i södra Sverige (elområde SE3+4), enligt SvK, redan under de närmsta åren kommer att öka från 7 GW för något år sedan till upp emot 10 GW om några år. Det motsvarar ungefär den genomsnittliga tillgängliga importkapaciteten till dessa områden (inklusive överföring från norra Sverige). Det finns också ännu mindre regionala enheter där effektsituationen kan vara ansträngd. Ett exempel är elförsörjningen av Stockholm och andra större svenska städer/regioner. Redan idag är elförsörjningssituationen ansträngd i flera av dessa. Stockholm är en tillväxtregion med växande befolkning och potentiellt fortsatt ökande elbehov.

Vattenkraften i en ny tid

IDAG BEFINNER SIG VATTENKRAFTEN I EN NY TID med tydliga målkonflikter. Krav på moderna miljövillkor för vattenkraftsanläggningar i syfte att minska vattenkraftens nuvarande och historiska påverkan på ekosystemen står mot en ökad efterfrågan av vattenkraftens reglerförmåga. Som en följd av Sveriges ambitiösa klimatpolitik, med målet om ett nettonollutsläpp av växthusgaser 2045, och ett energisystem som går mot en allt högre grad av icke-styrbar elproduktion, ökar vattenkraftens betydelse för energisystemet.

På grund av detta är vattenkraftens förutsättningar i förändring. Den 1 januari 2019 trädde lagförändringar i kraft som innebär att vattenkraftverkens miljötillstånd ska omprövas enligt en nationell plan i syfte att just hantera målkonflikten mellan förbättrad vattenmiljö och tillgång till vattenkraftsel. Ändringarna bottenar i energiöverenskommelsen från 2016. Enligt den spelar vattenkraften en central roll för att Sverige ska kunna fortsätta att ha ett robust och leveranssäkert elsystem. Det finns dock samtidigt en enighet kring att vattenkraftverken ska styras av moderna miljövillkor, vilket kan motverka de möjligheter man nu från politikens sida öppnar för. Senast den 1 oktober 2019 ska ett förslag till den nationella plan enligt vilken vattenkraftverkens miljötillstånd ska omprövas läggas fram av Havs- och vattenmyndigheten tillsammans med Energimyndigheten och Svenska Kraftnät. Därefter ska planen beslutas av regeringen. Under våren kommer också beslut tas vad gäller Vattenmyndigheternas förslag till nya miljö kvalitetsnormer, ett beslut man har skjutit fram efter den kritik som riktats mot de förslag som lades fram under 2018.

Det är vid detta vägskäl vi nu står: en framtid där vattenkraften kommer ges möjlighet att spela en större roll och skapa incitament för branschen att våga investera i effekthöjningar eller en framtid där skärpta miljödomar minskar möjligheterna att använda vattenkraftens reglerförmåga genom de åtgärder som krävs för att kompensera för vattenkraftens påverkan på ekosystemen?



Slutsatser

Vad talar MOT en förbättrad situation för vattenkraften?

- Högt ställda krav på *moderna miljövillkor* och tillstånd enligt Miljöbalken
- Fokus på den storskaliga vattenkraften, *mindre vattenkraftverk riskerar få stryka på foten*
- Många vattenkraftverk inom *Klass 1* kommer dock till följd av myndigheternas förslag gällande fiskvägar och/eller reglerad minimitappning i torrfåror ändå att *förlora både produktions- och reglerförmåga*
- *Vattenmyndigheternas förslag till MKN avviker kraftigt från den Nationella strategin* kring vattenkraftens reglerbidrag (från 2016) som säger att högst 2,3 % av vattenkraftens normalårsproduktion får tas i anspråk, dvs. 1,5 TWh jämfört med nu uppskattade 6,8 TWh per år.

Vad talar FÖR en förbättrad situation för vattenkraften?

- Den *politiska enigheten* kring vattenkraften och dess betydelse är *stark*, varför det förefaller *mindre sannolikt att de storskaliga vattenkraftverken åläggs villkor som negativt påverkar produktions- och reglerförmågan*
- Den *nya lagstiftningen* innebär att man i prövningar ska ha ett *nationellt helhetsperspektiv med avvägningar mellan behovet av åtgärder som förbättrar vattenmiljön och behovet av en nationell tillgång till vattenkraftsel*
- De *möjligheter att ställa mindre stränga krav* som följer av EU-rätten till förmån för samhällsnyttiga verksamheter ska *utnyttjas fullt ut*
- Man inför även *möjligheten att kunna lyfta frågan om felaktiga klassningar* eller normer till vattenmyndigheterna vid en prövning. Vid oenighet kommer myndigheten genom den nya lagstiftningen ha en *skyldighet att lyfta frågan till regeringen för avgörande*. Regeringen kan då besluta att ändra miljö kvalitetsnormerna
- Det *finns förslag om riksintresseförklarande* av de verk som hör till den storskaliga vattenkraften
- *Flera tunga remissinstanser har motsatt sig* de nu liggande *MKN-förslagen* från Vattenmyndigheterna.

Simulering av vattenkraftutbyggnad i Skellefteälven visar värdet av effektökning i kraftverken.

Genom modellberäkningar har NEPP genom ett examensarbete vid KTH studerat konsekvenserna av en eventuell utbyggnad av vattenkraftverken i Skellefteälven. Utbyggnaden ger ökad elproduktion, bidrar till balanseringen av elsystemet och görs på sådant sätt att flaskhalsar i älvens vattenflöde elimineras. I arbetet analyseras även hur ett framtida ökat effektbehov kan bemötas. Resultaten bekräftar den principiella nyttan av en utbyggnad av vattenkraftverk, dels för att kunna möta ett ökat effektbehov och dels för att eliminerade flaskhalsar främjar en optimal körning. Rapporten innehåller dock inte de ekonomiska överväganden som behövs för att bedöma lönsamheten i utbyggnaden.

Stor potential för effekthöjning i svensk vattenkraft.

Idag och i framtiden kommer det sannolikt att behövas än mer flexibilitet och reglerbarhet i ett energisystem med en större andel förnybar, ej planerbar produktion. Det finns en god potential för utbyggnad av vattenkraftens effekt i Sverige. Sweco har på uppdrag av Skellefteå Kraft och Fortum genomfört en kvantitativ analys av potentialen för effekthöjande åtgärder i vattenkraftverken utmed de tio älvar som står för den största delen av vattenkraftsproduktionen i Sverige. Studien visar att det finns betydande potential för effektutbyggnad i vattenkraftverken utmed älvarna. Studien visar att effekten i de tio berörda älvarna kan byggas ut med 24 %. Om resultaten extrapoleras till övriga svenska älvar erhålls en möjlig ökning av vattenkraftens effekt på 3 900 MW. Detta överstiger kapaciteten för de fyra kärnkraftreaktorer som beräknas tas ur bruk till år 2020.

Effekthöjning i vattenkraften ökar flexibiliteten i elsystemet.

En utökad flexibilitet i vattenkraften hjälper till att parera fluktuationerna i den förnybara produktionen. En ökad mängd vindkraft leder till att vattenkraften körs betydligt mer oregelbundet och oförutsägbart. Ökad effekt och flexibilitet i vattenkraften kan hantera vindkraftens variationer effektivt. Det gäller både att kunna producera mer när det inte blåser och efterfrågan är stor och att producera mindre när efterfrågan är låg. En utbyggd effekt i befintliga vattendrag leder till ett ökat effektuttag under ett stort antal timmar, men kompenseras av ett minskat uttag under resterande timmar. För att möjliggöra effektökningen måste befintliga vattendomar omförhandlas och för att effekten ska kunna nyttiggöras så måste stam- och regionnät förstärkas. Dessutom måste elprisvariationerna bli tillräckligt stora för att ge lönsamhet till utbyggnad.

Miljörättsliga aspekter kring effektökning i vattenkraftverk inom klass 1.

Sveriges vattenkraftverk delas in i tre klasser, där klass 1 omfattar 255 kraftverk som tillsammans svarar för 98 % av totalt installerad effekt i vattenkraft och vilka står för 98,3 % av vattenkraftens reglerbidrag på årsbasis. Som angivits

ovan kan man, enligt den genomlysning som gjorts i NEPP, argumentera för att mycket talar för att flertalet av de storskaliga vattenkraftverken enligt Klass 1 kommer att klara omprövningen för moderna miljövillkor med rimliga åtgärder, som inte på ett avgörande sätt kommer att påverka möjligheten till effektökning.

Enligt genomlysningen borde det i flertalet fall avseende Klass 1-verk vara möjligt att få ändringstillstånd till effektökning enligt liknande principer och samma överväganden som gjordes inom tillståndsärendena för kraftverken Lasele och Långbjörn tidigare. Vattenmyndigheternas förslag om miljö kvalitetsnormer har inte förändrat denna uppfattning i det avseendet. Självfallet blir omständigheterna i de enskilda fallen avgörande för om tillstånd ges eller ej samt vilka eventuella åtgärder som krävs. Många vattenkraftverk inom klass 1 kommer ju dessutom att förlora produktionsförmåga och reglerkraft till följd av myndighetens förslag innebärande fiskvägar och/eller reglerad minimitappning i torrfårar. Det blir således än mer angeläget att effektökning kommer till stånd.

Vattenförvaltningen som den ser ut idag stoppar utvecklingen av vattenkraften – resultat från en intervjustudie.

Vattenkraften står för nära hälften av Sveriges elproduktion. I takt med utbyggnaden av variabel elproduktion så blir vattenkraftens roll för att tillhandahålla reglerkraft allt viktigare. Inom NEPP har en vattenkraftsgrupp etablerats. Intervjuer med deltagarna har genomförts och ur svaren har ett antal insikter tagits fram:

- *Effekthöjning i vattenkraften handlar egentligen om att nå en högre flexibilitet.* Det är inte maximal effekt som är målet, utan att möta effektbehov på någon tidsskala och att anpassa älvsträckor till ett nytt körmönster
- *Se till hela systemet och beakta att det är elprisvariationerna som ger lönsamheten.* Hela älvsträckor ger mest potential, så den hydrologiska kopplingen i älven viktig att beakta
- *Miljörättsliga aspekter och vattenförvaltning riskerar att stoppa utvecklingen av vattenkraften.* Ramvattendirektivet är viktigt att beakta så vi inte begränsar för mycket
- *Det finns andra begränsningar än vattendirektivet.* Optimera hela älvsträckor inom ramar, hänsyn till samhällsskador, problematik i tätbebyggda områden, ha goda kontakter med närboende, m.m.
- *Nätproblematik kan uppstå till följd av effekthöjningen.* Ur tillståndsperspektiv uppstår problem först om man ska ha nya ledningar
- *Det behövs tydlighet från politiker och myndigheter.* Vi behöver ha "en riktning", och idag finns det en stor skillnad mellan politiker och tillsynsmyndigheter
- *Kommunicera mera.* Det finns en tydlig politisk vilja att åstadkomma en utbyggnad, och man behöver ta hänsyn till och föra dialog med närboende.

Effektutmaningen

– fördjupad analys av vissa viktiga delar

I AVSNITTET "FLEXIBILITET – I EN NY TID"

OVAN diskuterades det ökade behov av effekt och flexibilitet som krävs i en situation då inslaget av variabel, väderberoende elproduktion ökar, samtidigt som planerbar termisk elproduktion delvis fasas ut. I detta avsnitt redovisas ett antal fördjupande analyser av de effektutmaningar elsystemet står inför. Här behandlas både det framtida elbehovets uppbyggnad och effektprofil samt elproduktionens variabilitet och hur denna kan hanteras. Regelverket på elmarknaden som delvis styr detta tas också upp. I punkterna nedan berörs både den generella, nationella effektutmaningen och de lokala eleffektproblem som orsakas av flaskhalsar i eldistributionen/-transmissionen. De utmaningar som lyfts fram ska inte ensidigt tolkas som problem utan snarare som konsekvenser av en önskad utveckling med allt mer förnybar elproduktion. Dessa konsekvenser måste hanteras. Utmaningarna kan samtidigt ses som incitament för teknikutveckling och för nya flexibilitetslösningar.



Slutsatser

Effektutmaningen – en helhetsbild

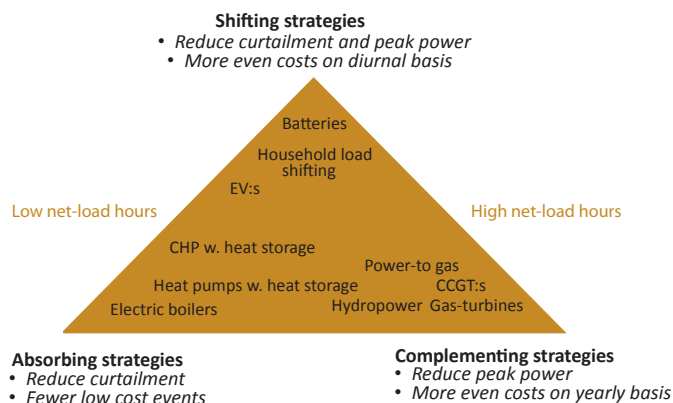
Som ett medel för att strukturera effektutmaningen och för att illustrera de berörda områdenas del i helheten har vi satt samman en bild över effektutmaningen. Vi har delat in områdena i "hårda" (tekniska) och "mjuka". Vi inser att områdena går i varandra, men har ändå kommit till slutsatsen att en bild av delarna av effektutmaningen ändå har ett värde. Dels kan bilden fungera som ett underlag för att diskutera hur olika områden/faktorer förhåller sig till varandra, dels kan bilden fungera som en checklista för att tillförsäkra att viktiga områden inte glöms bort i analysen.

Hårda (tekniska) områden	Produktion (variabel)	Distribution	Användning (effektbehov)
	Systemtjänster	Lagring	Efterfråge- flexibilitet
Mjuka områden	Politik	Marknad (inkl prismodeller)	Samverkan med andra infrastrukturer
	Ansvar	(Krav på) Leveranssäkerhet	Teknisk utveckling (inkl digitalisering)

Variationshantering – en nyckel till omställningen

Variationshantering, eller konsten att anpassa ökad variabilitet på elproduktionssidan till efterfrågan på el, och vice versa, är ett samlingsbegrepp för en rad olika åtgärder som sannolikt kommer spela en avgörande roll för en storskalig integration av förnybar och variabel elproduktion i framtidens elsystem. Variationshantering omfattar en lång rad strategier, inom såväl produktion, överföring och distribution som användning. Däremellan finns lagringstekniker som också erbjuder en rad lösningar på variabilitetsutmaningen i elsystemet. Syftet med variationshantering är att få en bättre matchning mellan elproduktion och elförbrukning. I figuren överst på nästa sida, görs ett försök att klassificera ett antal olika variationshanteringsåtgärder.

Variabiliteten i dagens elsystem hanteras framförallt på produktionssidan. Krav på låga eller inga koldioxidutsläpp från elsystemet innebär att produktionssidans flexibilitet kommer att begränsas. För det framtida elsystemet finns



Figur: Funktionsbaserad kategorisering av variationshanteringsstrategier

det därmed anledning att söka variationshantering från annat håll. Exempel på detta kan vara att för regioner med goda förutsättningar för solelproduktion så är batterier och strategiska kopplingar till transportsektorn lämpliga lösningar, medan regioner med goda förutsättningar för vindkraft finner variationshantering i strategiska kopplingar till industri- och värmesektorn.

Vindkraftens effektvariation ökar.

Utvecklingen av vindkraft har varit kraftig de senaste åren. Vindkraftturbiner har ökat andelen fullasttimmar då teknikutvecklingen fokuserats på högre tornhöjd och större rotordiameter. Den högre tornhöjden förbättrar vindutbytet eftersom det blåser mer ju högre upp man kommer, medan den större rotordiametern i förhållande till generatoreffekt leder till att elproduktionen, vid lägre vindhastigheter för en given generatoreffekt, förbättrats avsevärt. Vi kan konstatera att när man helt bytt ut den befintliga svenska vindkraftsflottan om cirka 20 år, till dagens bästa kommersiellt tillgängliga teknik, så ökar utnyttjningstiden för flottan rejält. Den går från ungefär 700 timmar som gäller för den svenska vindkraftsflottan idag till över 4 000 timmar då hela flottan är utbytt.

Effektvariationerna i vindkraftsproduktionen inom olika tidsintervall (1, 4 och 6 timmar) kommer på sikt att öka. Orsaken är både att det helt enkelt finns mer vindkraftseffekt i systemet, men också till följd av den ökade driften som sammanhänger med ökande utnyttjningstid.

EU ställer krav på regional samordning.

Inom NEPP har vi tagit på oss att se över vem som ansvarar för att det framtida elsystemet fungerar. Som en del i detta har vi studerat vilka krav, om några, som EU ställer och som sätter ramarna för vad medlemsländerna får eller måste göra. Idag använder de systemansvariga olika metoder för att bedöma behovet av resurstillräcklighet vilket försvårar jämförelser och anses öka risken för användning av icke-koordinerade och suboptimala nationella initiativ som exempelvis kapacitetsmekanismer. En av slutsatserna är att EU ställer krav på att resurstillräcklighet ska bedömas och hanteras på regional nivå, dvs. i samverkan mellan ett antal grannländer. De nordiska TSO:erna ökar sin samordning genom införandet av en nordisk säkerhets-samordnare samt utvecklingen av en ny gemensam nordisk balanseringsmodell.

Om en bedömning av resurstillräckligheten i en medlemsstat eller region, utförd enligt de nya reglerna för hur sådana bedömningar skall tas fram, påvisar resurstillräcklighetsproblem ska de berörda medlemsstaterna kartlägga och upprätta en tidplan för att åtgärda eventuella snedvridningar till följd av lagstiftning som orsakat eller bidragit till att problemen uppstått. Medlemsstaterna ska även överväga åtgärder som kan mildra problemen som exempelvis införande av bristprissättning, förstärkning av överföringsförbindelser mellan elområden, energilagring samt efterfrågefleksibilitet.

Lokal "trängsel i elnäten" kan begränsa stadens tillväxt.

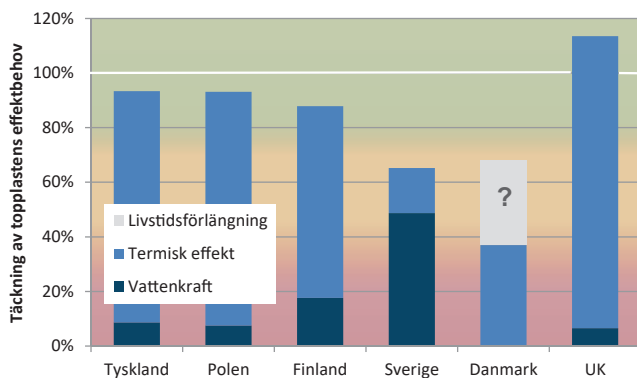
Eleffektsituationen är ansträngd i flera svenska storstäder och regioner. Utbyggnad av elnät tar mycket lång tid, främst till följd av utdragna tillståndsprocesser. Svårigheterna med eleffektforsörjningen förstärks av att elbehovet i storstäderna förväntas öka till följd av ökat antal invånare och nya elanvändningsområden (elbilar, datahallar, m.m.). Ytterligare en försvårande faktor är i vissa fall att existerande elproduktion i "bristområdena" kan komma att stängas av ekonomiska skäl, till följd av korta utnyttjningstider och ålder, samt som en följd av bränslepreferenser, m.m. Det finns många åtgärder som kan användas för att underlätta situationen, men det är osäkert vem som tar ansvar för att de genomförs. I värsta fall kan flaskhalsarna i elnätet begränsa stadens utveckling och hindra tillväxt.

Ett stort antal olika åtgärder står till buds för att minska utmaningarna med lokal "trängsel i elnäten". Åtgärderna kan fokusera på att anpassa elanvändningen, öka utbudet av elproduktion lokalt, överföra mer effekt i existerande ledningar samt tariffer och regelverk. Ett problem med åtgärder som genomförs för att lösa problemen med lokala flaskhalsar i elnäten är att de blir avsevärt mindre värdefulla om och när de aktuella nätbegränsningarna har byggts bort. Om åtgärderna är förknippade med (stora) investeringar är det alltså risk för att dessa endast kan ge ekonomisk avkastning under kort tid.

Hur mycket reglerbar kraft finns i Nord-europa om 20-30 år om nuvarande investeringstakt bibehålls?

I våra grannländer Tyskland, Storbritannien, Polen och Finland är investeringstakten i termiska kraftverk mycket högre än i Sverige, och – om nuvarande investeringstakt bibehålls i dessa länder – är det troligtvis fullt tillräckligt för att täcka det egna landets topplastbehov. Det enda undantaget av våra grannländer är Danmark, som kan komma att hamna i en liknande underskottssituation som vi i Sverige.

I figuren på nästa sida har vi schematiskt markerat ett rött, gult och grönt fält i bildbakgrunden, för att visa om den tillgängliga effekten är tillräcklig (grönt) eller om vi ser ett underskott (gult), såsom vi gör i Sverige och Danmark.



Figur: Andel av topplastens effektbehov som de termiska kraftverken och vattenkraften tillsammans täcker år 2045 om nuvarande investeringstakt bibehålls. (Livstidsförlängning till biobränsle har osäker livslängd.) Källa: Chalmers databas.

Elfordonens roll för effektbehovet i elsystemet – på sikt kan det handla om många tiotals GW.

I takt med att antalet elfordon ökar, ökar också effektbehovet i elsystemet. Vi har analyserat ett elfordonsscenario med 3,8 miljoner elfordon i Sverige. Beroende på hur stort genomslaget av smarta laddstrategier blir, kan effektbehovet då bli alltifrån en handfull GW upp till flera tiotals GW. Samtidigt kan vi konstatera att alla dessa elbilsbatterier har en stor inneboende potential att bidra till effekt-hållningen, om elsystemet får tillgång till fordonens batterikapacitet. Vårt elfordonsscenario visar att vi vid denna stora elfordons- introduktion bara i SE3 kan ha en batterikapacitet på över 50 GW under så mycket som hälften av dygnets timmar, och ytterligare några tiotals GW i övriga Sverige. I vilken utsträckning som denna kan göras tillgänglig för elsystemet är dock naturligtvis ännu en mycket öppen fråga.

Värmelager blir viktiga för att balansera variabel elproduktion.

Det finns även flera tekniker för att lagra värme (termisk energilagring) till en kostnad som är många gånger lägre än den för batterier. Utöver den vanligaste tekniken, varmvattentankar, finns det även lagringsgropar och borrhålls-lagring som båda idag finns demonstrerade i stor skala och har stor potential.

Resultat från en studie vid Chalmers visar att i en framtid med låga CO₂-utsläpp, och därmed stort behov av variabel förnyelsebar energi, kan värmelager en komponent i fjärrvärmesystemet med signifikant påverkan även på elsystemet. Studien inkluderade mer installerad vindkraft och mindre slösad energi i elsystemet vid hög vindkraftsproduktion samt mindre installerad topeffekt i både el- och fjärrvärmesystemen (gasturbiner och gaspannor). I fjärrvärmesystemen blev kraftvärmeverk, elpannor och värmepumpar dominerande, med en ökad förmåga att svara upp mot variationer i elsystemet.

Ansvar och roller inför effektutmaningen – oro för den långsiktiga försörjningen.

En serie intervjuer om energisystemets utveckling har genomförts med representanter för NEPP:s finansiärer. Fokus

har legat på ansvar, aktörernas roller och nya aktörer. En bakgrund för diskussionerna har varit de effektutmaningar vi står inför i elsystemet, både nationellt - till följd av alltmer variabel elproduktion och utfasning av planerbar kraft - och lokala nätbegränsningar som äventyrar elförsörjning i vissa storstäder. En oro som flera ger uttryck för är att "ingen har det långsiktiga ansvaret för att elförsörjningen går ihop".

Andra områden som diskuterades i intervjuerna var om det vore önskvärt att tydliggöra ansvaren och förväntningarna på elsystemet genom att *leveranssäkerhetsmål* sätts upp. Det konstaterades också att omställningen av elmarknaden med alltmer distribuerad elproduktion kan komma att skapa ett behov av lokalt systemansvar.

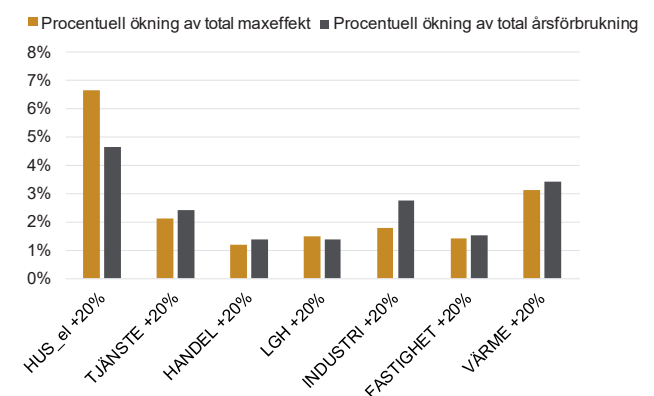
Ansvar för elnätutbyggnaden försvåras av de långa tillståndprocesserna.

I intervjuerna konstateras också att elnätutbyggnad tar tid vilket kan öka risken för elbrist i delar av landet, eller åtminstone till stora elprisskillnader mellan elområden. "Är den omfattande omställningen av energisystemet möjlig att genomföra med nuvarande tillståndprocesser?" var en oro som framfördes, särskilt med avseende på nätutbyggnad.

Ökad elanvändning bland bostadskunder påverkar nätets maxeffekt mer än en ökning hos andra kundkategorier.

För att göra realistiska scenarier över hur efterfrågan på el kommer att förändras i Sverige i framtiden så är det väsentligt att ha kunskap om hur efterfrågan idag ser ut på timnivå för olika användarkategorier i Sverige, och därmed vilka typer av förbrukare som driver nätets effektoppar. Denna information finns idag, i form av mätvärden, hos alla de nätbolag som samlar in timvärden av sina kunder. För att öka kunskapen om hur efterfrågan ser ut på timnivå i Sverige har en pilotstudie utförts på ett nätbolag i Mälardalsområdet.

För att närmare studera vilka kundkategorier som driver effektoppar i detta nät simulerades nätets profil vid en ökad användning med 20% i respektive kategori. Resultatet av simuleringarna återfinns i figuren nedan som visar den



Figur: Procentuell ökning av nätets maxeffekt och totala årsanvändning

procentuella ökningen av nätets maxeffekt och ökningen i den totala årsförbrukningen under året vid en ökning av energiförbrukningen med 20% i respektive kategori. För lågenhetskunder (LGH) och kunder med eluppvärmda villor (HUS_el) så påverkar en ökning i förbrukning maxeffekten i nätet mer än den totala årsanvändningen. Övriga kundkategorier uppvisar ett motsatt mönster: den totala årsanvändningen påverkas mer än maxeffekten i nätet.

Det personberoende eleffektbehovet orsakar dygnsvariationerna.

Nu när efterfråge- och förbrukarflexibilitet blir alltmer aktuellt, är det viktigt att få en bättre förståelse för hur vårt effektbehov är uppbyggt. Den traditionella uppdelningen på användarsektorer räcker då inte. Inom NEPP har vi funnit att en uppdelning av eleffektbehovet på en "personberoende" och en "apparat- och maskinberoende" del kan vara användbart. Vi har då, utifrån denna uppdelning, hittills dragit följande slutsatser för det vårt effektbehov:

- Den apparat- och maskinberoende delen av effektbehovet är större än den personberoende. Det är också

denna del av effektbehovet som är lättast att "styra" ner/upp vid behov.

- Det är den personberoende delen av effektbehovet som står för – i stort sett – hela dygnsvariationen av effektbehovet. Denna del är svårstyrd, eftersom den kräver förändringar av våra personliga vanor och beteenden.

Båda dessa slutsatser är mycket värdefulla insikter, när vi ska jobba vidare med analyserna av förbrukarflexibilitet och efterfrågerespons.

Den personberoende delen av eleffektbehovet ökar i framtiden.

I NEPP:s analyser av eleffektbehovet har vi alltså gjort en uppdelning i en personberoende och en apparat- och maskinberoende del. Idag utgör den personberoende delen som mest 45% av effektbehovet under de kallaste vinterveckorna. Denna andel kommer med all sannolikhet att öka i framtiden, och i ett läge efter 2040 kan den personberoende delen mycket väl vara över 50% av det totala effektbehovet.

Stora investeringar kommer att behövas

– hur får vi investeringarna på plats?

DEN STORA OMSTÄLLNINGEN av de svenska och europeiska elsystemen leder till mycket stora investeringsbehov, såväl för planerbar och icke-planerbar elproduktion som för elnät. Stora investeringar skulle behövas redan i ett "business as usual"-scenario, men förstärks av förväntningar på elektrifiering inom flera områden, med ökande behov som följd. Omställningen kan också leda till förtida utfasning av vissa produktionsresurser. Dessutom karaktäriseras den tillkommande elproduktionen, främst vind- och solkraft, av att de rörliga elproduktionskostnaderna är mycket låga, medan investeringskostnaderna istället är höga. För de nya elproduktionsalternativen är det också i stor utsträckning nya kategorier av ägare som står för investeringarna. Dessa har varierande avkastningskrav och mål för sina investeringar.

För vissa elproduktionsalternativ, exempelvis vindkraft och sol, finns stor investeringsvilja, delvis till följd av olika stödsystem men också till följd av teknikutveckling och resulterande kraftiga kostnadsminskningar. Dessa tekniker har fokus på

energiproduktion som kopplas till förhållanden som inte är styrbara (att det blåser eller att solen skiner). I det samlade elsystemet finns också behov av planerbar elproduktion som kan se till att efterfrågan alltid kan täckas. För sådan elproduktion är investeringsviljan inte lika självklar. I många fall är, eller blir i framtiden, drifttiderna för sådana produktionsresurser korta. Det är ur företagsekonomiskt perspektiv vanskligt att genomföra investeringar som bygger på förväntningar om höga elpriser under få timmar, med stora variationer mellan år med olika temperatur och tillrinning till vattenkraft.

Det finns samtidigt en förväntan om att variabilitetshanteringen till viss del kommer att kunna täckas av andra alternativ som efterfrågeanpassning och lagring av el (eller energibärare framställda med hjälp av el) och ökat elutbyte med grannländerna. Tilliten till sådana alternativa metoder för att möta variabilitet i produktion och användning påverkar hur man bygger upp elmarknadens regelverk och indirekt också hur orolig man är över den elförsörjningssituation som vi är på väg emot.



Slutsatser

Omställningen av det europeiska elsystemet kräver stora årliga investeringar ända fram till 2050, i nivå med, eller högre än, de historiska rekordåren.

Flertalet av analyserna från NEPP första etapp visar att elsystemet i Europa når årliga investeringar i elsystemet under de närmaste 10-20 åren, som är i nivå med de historiskt årshögsta, och efter 2035 är investeringarna ännu större. Varför blir då investeringarna i framtidens elproduktion så stora? Behovet att möta ökad elefterfrågan är måttligt och är bara en liten orsak. Den dominerande förklaringen är istället en stor omsvängning i vilken typ av elproduktion som byggs.

Det sker en stor omsvängning från termisk elproduktion, t.ex. kol- och gaskraftverk samt kärnkraftverk, till vind- och solkraft. De senare karaktäriseras av jämförelsevis låga utnyttjningstider. Det innebär att det måste byggas större kapacitet (effekt) för att producera motsvarande mängd elenergi. Miljöskäl gör också att den genomsnittliga elproduktionskostnaden blir högre än tidigare. Ny produktion karaktäriseras också av att de rörliga elproduktionskostnaderna är mycket låga, medan investeringskostnaderna istället är höga.

Ägandet i svensk elproduktion har förändrats till följd av vindkraftutbyggnaden.

Traditionellt sett har ägandet av elproduktion i Sverige utgjorts av ganska få företag. I och med vindkraftens intåg har det kommit nya aktörer på elmarknaden samtidigt som mängden intermittent elproduktion har ökat väsentligt. Figuren nedan visar elproduktionsinvesteringarna för olika tidsperioder, där det bl.a. framgår tydligt att vindkraft har stått för nästan 75 % av tillkommande effekt under de senaste 20 åren och idag utgör drygt 19% av totalt installerad effekt i Sverige.

Det traditionella kraftslagen kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme (inkl. mottryck) står idag för närmare 90 % av totalt elproduktion i Sverige. All installerad kärnkraft är utbyggd för mer än 30 år sedan och endast 4 bolag äger

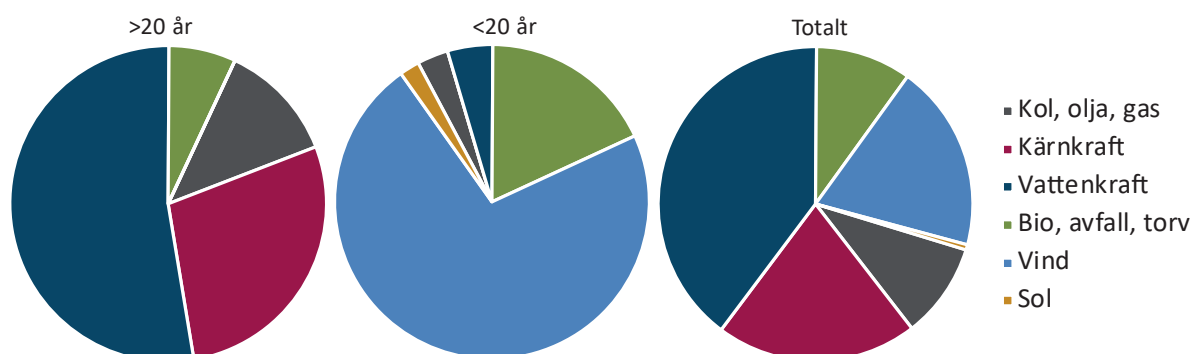
all kärnkraft i Sverige. Liknande förhållanden gäller för vattenkraft där ca 97% av den installerade effekten byggdes för mer än 20 år sedan och de 5 största vattenkraftägarna står för ungefär 93% av all vattenkraftproduktion. Kraftvärme kopplad till fjärrvärmesystem ägs i stor utsträckning av kommunala energibolag medan industriellt mottryck ägs av industriföretag. När det gäller installerad effekt så är ungefär hälften äldre än 20 år och hälften nyare än 20 år.

Det är främst vindkraftens intåg som gett möjlighet för nya aktörer att komma in på elmarknaden, jämsides med de traditionella. Vindkraft innebar att det kom ett nytt kraftslag som dels var skalbart och dels gav en frihet till placering som inte funnits tidigare. Vindkraftens ägande är avsevärt mer spridd och fördelas på en mängd olika ägarkategorier där de dominerande är kraftbolag, utvecklingsbolag, kommuner och kapitalförvaltare.

Stor variation i avkastningskrav på investeringar för olika typer av kraftaktörer.

Den vanligast förekommande (reala) kalkylräntan i studier av investeringar i kraftproduktion är idag 6 procent. I en omfattande studie över investeringar i förnybar kraftproduktion i Europa beräknades ett avkastningskrav på 6,7 procent för Sverige utifrån den modell som togs fram i studien. Aktörerna som investerar i kraftproduktion har förändrats från att tidigare framförallt bestå av de stora kraftbolagen till att idag bestå av en blandning av aktörer.

Kraftbolagen kan antas ha ett avkastningskrav på mellan 6 till 8 procent. Det kan dock skilja mellan olika kraftslag och mellan ny- och reinvesteringar, där de senare typiskt har lägre avkastningskrav. *Institutionella investerare* gör främst investeringar i branscher där risken anses vara låg, varför även avkastningskraven kan vara relativt låga. *Oberoende producenter* finns främst inom vindkraftbranschen. Dessa kommunicerar relativt höga avkastningskrav på investeringar till sina investerare, på mellan 7 till 10 procent. *Kommunala bolag* har generellt sett lägre avkastningskrav än privata bolag. *Industriföretag*: Det finns en stor spridning mellan olika industriföretag, med olika avkastningskrav på åtminstone mellan 4 och 8 procent. Det förekommer även andra investerare i kraftproduktion såsom jordbruk, enskilda firmor, ekonomiska föreningar och ideella organisationer. Avkastningskraven för dessa varierar stort.



Figur: Installerade effekt för olika tidsperioder, (t.v.) elproduktion som investerats i för mer än 20 år sedan, (mitten) elproduktion som tillkommit för mindre än 20 år sedan, och (t.h.) totalt installerad effekt i Sverige (Chalmers databas).

Tre fjärdedelar av all reglerbar kraftproduktion i Sverige är snart 35 år eller äldre.

Sedan avregleringen av elmarknaden i mitten av 1990-talet har vi haft ett tillskott på ny reglerbar kraftproduktion på mindre än 100 MW per år. Samtidigt har vi under de senaste tio åren byggt nästan 600 MW väderberoende och icke reglerbar kraftproduktion per år, en kraftproduktion som endast bidrar med drygt 10 procent till kapaciteten vid den mest ansträngda timmen under en tioårsvinter. Å andra sidan har ökningen av topeffektbehovet i användarledet varit högst 100 MW per år under de senaste 30 åren. Utmaningen ligger istället i att vi redan inom några år skall avveckla ytterligare reglerbar kapacitet – genom stängningen av ytterligare kärnkraft – samtidigt som våra återstående reglerbara kraftverk blir allt äldre.

Hur mycket reglerbar kraft finns i Nord-europa om 20-30 år om nuvarande investeringsstakt bibehålls?

Under de senaste 20 åren har vi i Sverige alltså haft en relativt låg investeringsstakt när det gäller termiska kraft- och kraftvärmeverk. I våra grannländer Tyskland, Storbritannien, Polen och Finland är investerings takten i termiska kraftverk betydligt högre än i Sverige, och – om nuvarande investeringsstakt bibehålls i dessa länder – är det troligtvis fullt tillräckligt för att täcka det egna landets topplastbehov. Det enda undantaget av våra grannländer är Danmark, som kan komma att hamna i en liknande underskottssituation som vi i Sverige.

Samhällsförändringar motiverar ökad samverkan mellan energiaktörerna

ENERGISYSTEMET MÅSTE FORTLÖPANDE MÖTA KRAV på såväl hållbarhet och effektivitet som långsiktig anpassning till samhällets förändrade värderingar och behov. Flera förändringar och trender i dagens samhällsutveckling kan komma att påverka energisystemet och dess aktörer på ett högst påtagligt sätt, och är därför även intressanta för NEPP:s analyser. Det handlar bl.a. om:

- Att fler aktörer idag vill ta en aktiv del i energiförsörjningen och i energisystemets utveckling, inte minst nya kundnära aktörer som ökar sitt engagemang i elsystemet, men även aktörer som är nya inom energiområdet går nu in och investerar eller engagerar sig på annat sätt.
- Utvecklingen inom transport- och mobilitetsområdet, och då inte minst den utveckling av eldrivna fordon som vi nu ser ta fart.
- Digitaliseringen, dvs. utvecklingen inom Internet of Things, blockkedjetekniken, artificiell intelligens och avancerad automation och robotisering.

I NEPP har vi i flera delstudier uppmärksammat denna utveckling, såväl i allmänhet som mer specifikt på det kommunala och regionala planet. Vi ser den då inom elområdet, där vi redan har många nya aktörer på plats. Vi ser den även på

värmeområdet där värmekunderna, bl.a. större fastighetsägare, tar ett allt större engagemang i sin värmeförsörjning, bl.a. motiverat av oberoende och hållbarhet. Vi ser den också inom transportområdet, där insikten är att en storskalig omställning kommer att påverka många delar i staden, inte bara fordonen och elförsörjningen, utan även staden självt och samverkan mellan dess aktörer. Och inom dessa områden går utveckling i väldigt olika takt, vilket gör omställningen mycket mer komplicerad.

För de etablerade energiaktörerna innebär dessa utvecklingar i samhället en stor och relativt ny utmaning, samtidigt som de är positiva till att fler aktörer nu engagerar sig i att möta de förändringar som måste till i omställningen. Det pågår också en tjänstifiering inom energiföretagen, med tydligt syfte att ge kunderna ett större värdeerbjudande.

Komplexiteten inom alla de tre områden som anges i punkterna ovan, och även komplexiteten i flera delar av energiområdet som sådant, kan beskrivas med vad forskningen kallar **”wicked problems”** eller ”komplexa och sammansatta utmaningar”. Vi hittar wicked problems på många håll, både lokalt, nationellt och globalt. Gemen-

samt för dem är att de inte har en enkel lösning, och att man bäst hanterar dem genom ökad dialog och ökad samverkan mellan alla berörda aktörer och parter. Genom denna samverkan kan man komma fram till kompromisser som alla parter kan acceptera och leva med.

Det är alltså en rimlig utgångspunkt för våra analyser att dessa samhällsförändringar motiverar en ökad samverkan mellan energiaktörerna, såväl de etablerade som de nya. Vi har också konstaterat i tidigare forskningsarbeten att samarbetsvägen även är nödvändigt för att hantera det fortsatta hållbarhetsarbetet som sådant, såväl nationellt som lokalt.

CLASSIC EXAMPLES OF "WICKED PROBLEMS"

Classic examples of wicked problems include economic, environmental, and political issues. A problem whose solution requires a great number of people to change their mindsets and behavior is likely to be a wicked problem. Therefore, many standard examples of wicked problems come from the areas of public planning and policy. These include global climate change, natural hazards, healthcare, the AIDS epidemic, pandemic influenza, international drug trafficking, nuclear weapons, nuclear energy, waste and social injustice.



Slutsatser

Ökad samverkan och allt större resursbehov krävs för kommunernas fortsatta arbete som nav i hållbarhetsarbetet.

Vi kommer med all sannolikhet att få se mer av breda och samarbetsorienterade satsningar från kommunalt håll för att nå de nationella och lokala hållbarhetsmål som finns kopplade till de lokala energimarknaderna. Detta är dock en resursintensiv väg som då krävs och som därtill kan vara delvis ny och samtidigt utmanande både för den kommunala och för den privata självbilden. Det är därmed viktigt för kommunen att skapa legitimitet och tillit gentemot de intressenter som skall aktiveras.

Kundnära aktörer ökar sitt engagemang i elsystemet – positiv syn bland de etablerade aktörerna i intervjuserie.

Allt fler kund- och konsumentnära aktörer vill nu öka sitt engagemang i elsystemet. Genom en djupintervjuiserie vill vi skapa oss en förståelse för hur olika aktörer tänker kring detta ökade engagemang. Vi vill både fånga de etablerade energi- och nätföretagens syn och synen bland de kunder

och kundnära aktörer som nu ökar sitt engagemang. Vi har hittills genomfört intervjuer med etablerade aktörer från energi- och nätföretagen. Intervjupersonerna uttrycker genomgående en positiv syn på att fler och kund/konsumentnära aktörer ökar sitt engagemang i elsystemet. Utgångspunkten för denna uppfattning är att elsystemet står inför flera utmaningar som måste lösas och att energisektorn som helhet står inför mycket stora förändringar. Då kan ett ökat engagemang från kundnära aktörer bidra till de lösningar som krävs.

Tjänstefiering inom energibolag – en pågående omställning.

Tjänstefiering kan bidra till den pågående förändringen av energisektorn, och frågan idag är inte om utan snarare hur detta kommer att ske. Vilken roll kommer de traditionella energibolagen ta och vilka andra aktörer kommer att utveckla och erbjuda olika former av tjänster till energikunderna? Flera fastighetsföretag utvecklar och erbjuder redan energitjänster till sina kunder idag. Vi ser också att helt nya aktörer tar sig in på marknaden. Med hjälp av den digitala tekniken finns möjlighet att erbjuda nya lösningar inom drift, optimering, administration med mera. I den fortsatta forskningen finns många frågor som behöver belysas, t.ex. hur affärsmodeller och arbetsprocesser påverkas samt inom vilka delar av energisektorn/energiföretagen och hos deras kunder som ser man störst användningspotential.

"Fyra hjul som rullar i otakt" – elektrifiering av fordonsflottan ställer krav på ökad samverkan i staden.

En övergripande insikt är att utmaningarna och frågeställningarna för utvecklingen av elfordonsintroduktionen i staden i princip rör fyra områden. För att kunna förstå och analysera utvecklingen måste man inkludera alla dessa områden i en helhetsbedömning; alltför många studier har hittills gjorts områdesvis. Dessa fyra områden är: elsystemet, elfordonen samt staden och dess aktörer. Vi konstaterar även att utvecklingen inom dessa fyra områden – för att möta/hantera elfordonsintroduktionen – går i otakt och delvis även i motsatta riktningar. I flera fall ligger utvecklingen inom de olika områdena till och med i vägen för varandra, likt fyra hjul som rullar i otakt.

Många faktorer påverkar hushållens självförsörjningsgrad vid innehav av både elbil och solceller.

Chalmers har inom NEPP undersökt den tekniska potentialen i användning av en elbil som lagring för hushåll med lokal solexproduktion, samt i vissa fall även stationärt batteri, och hur detta kan påverka hushållens behov av el från nätet. Resultaten visar att många faktorer påverkar hur fördelaktig introduktionen av en elbil till hushållet är med avseende på hushållets självkonsumtion och självförsörjningsgrad, och flera av dessa faktorer är tankeväckande. Exempelvis ökar värdet av elbilen och dess roll för att lagra den egenproducerade elen först om elbilen står hemma under dygnets soliga timmar, vilket inte är en självklarhet.

Parkeringsbolag som möjliga aggregatorer i elsystemet.

Framtidens parkeringsanläggning har möjlighet att vara en nod i staden inte enbart för mobilitet i sig utan även för de aktiviteter och tjänster som är kopplade till denna mobilitet. Sedan 2016 erbjuder därför exempelvis Göteborgs Stads Parkering en el-laddningsmöjlighet till sina parkeringskunder. De tar därmed också en aktiv roll i elsystemet, som på sikt kan bli en viktig aggregatorroll för bl.a. effekthanteringen i både det lokala och nationella elsystemet.

Göteborgs Stads Parkering har valt att ha ett erbjudande som innebär laddning under hela, eller delar av, den tid man parkerar. Laddningstjänsten är därmed en del av parkeringen och ingår i bolagets parkeringserbjudande. Man erbjuder därför inte snabbaddning, då man inte vill vara en "tankstation", utan fortsätta att vara en mobilitets- och parkeringsaktör.

Den svenska energisektorn befinner sig i en startfas vad gäller digitalisering.

Energiforsk har i sitt projekt *Digitalisering i energisektorn*, som NEPP samverkar med, tagit initiativ till en fördjupad genomgång av den pågående digitaliseringen för att öka den allmänna kunskapsbasen hos de svenska energiföretagen. Mycket har hänt bara under det senaste året men ännu är digitaliseringen av de svenska energiföretagen endast i sin linda.

Utmärkande för de företag som har kommit längst i sitt digitaliseringsarbete och är mer aktiva och testat tekniken verkar vara att de framförallt ser värdet av att dela data och samverka med andra aktörer. Många lyfter också fram vikten av och viljan till att skapa gemensamma initiativ och att gå ihop i samverkansprojekt, inte bara mellan energiföretag, leverantörer och kunder, utan även mellan konkurrerande aktörer.

Digitaliseringen skapar nya möjligheter för energisektorn att hantera framtidens utmaningar.

Ny digital teknik i form av självlärande system och artificiell intelligens ökar möjligheterna till bättre styrning och optimering av energisystemet. Inte minst kan tekniken leda till betydligt bättre prognoser vad gäller t.ex. väder, energiförbrukning hos slutanvändare liksom prisutveckling. Allt fler uppkopplade apparater och maskiner som möjliggörs genom billig digital teknik ökar samtidigt möjligheterna till att komma åt efterfrågefleksibiliteten. Detta sker dels som en följd av en ökad intelligens i såväl anläggningar, apparater och komponenter, dels som en följd av mer "aktiva" ageranden för exempelvis effektstyrning i industrin, smart laddning av elfordon och smart hantering av elanvändningen för uppvärmning med hjälp av olika aggregatorer. Digitaliseringen erbjuder också möjligheter att effektivare utnyttja befintlig infrastruktur, inte minst elnätet, vilket kan minska investeringsbehovet i ny kapacitet där ledtiderna ofta kan vara avsevärda. Med hjälp av digitala tekniker möj-

liggörs dessutom en högre grad av integration av el- och värmesystemen liksom sammankopplingen av dessa till övriga sektorer som transportsektorn, bostadssektorn och industrisektorn.

Olika typer av maskininläringssystem och AI-teknik kan appliceras på alla delar i energisystemet: på elnät, elproduktion, värmeproduktion och fjärrvärmenät liksom energilagring. AI-system kan komma att användas för att ytterligare öka verkningsgraden i energiproduktionsanläggningar, jämma ut och flytta toppar i energiförbrukningen och för reglering av nätfrekvensen. På samma sätt kan tekniken användas för att öka den effektiva kapaciteten i elnätet och minska behovet av reinvesteringar i näten.

DIGITALISERINGENS TRANSFORMERANDE KRAFT — MYT ELLER VERKLIGHET?

Digitaliseringens så kallade andra våg anses nu lägga grunden för en omvälvande förändring av vårt samhälle. Om den första vågen, som handlade om att digitalisera information, metoder och processer samt att använda digitala kanaler som internet, bland annat ledde till större tillgänglighet av information, effektivare flöden, delningsekonomi och digitala plattformar, så anses den andra vågen komma att driva på ännu större förändringar för företag, individer och samhälle.

Den snabba utvecklingen inom Internet of Things, blockkedjetekniken, artificiell intelligens och avancerad automation och robotisering bedöms komma att påverka alla samhällssektorer, inklusive energisektorn, i grunden. Tillsammans accelererar de här fyra områdena effekten av digitaliseringen. De både möjliggör och kräver förändringar av arbetssätt, produkt- och tjänsterbjudanden, organisation, affärsmodeller och ledarskap. Liksom vid alla andra större tekniksiften sägs de företag som inte anpassar sig till de nya förutsättningarna riskera att hamna efter och tappa konkurrenskraft. Digitaliseringens avgörande utmaningar och möjligheter handlar därför inte främst om tekniken utan om dess konsekvenser. I dess andra våg förenar och suddar digitaliseringen ut såväl nationsgränser som gränserna mellan den fysiska och digitala världen. Denna omvandling beskrivs ofta i olika termer, alltifrån en digital storm, den fjärde industriella revolutionen eller som digital transformation.



North European Energy Perspectives Project

nepp

www.nepp.se