



NEPP:S SLUTRAPPORT, DECEMBER, 2020

Insikter och vägval i energiomställningen

nepp

Insikter och vägval i energiomställningen

— Slutrapport från NEPP:s andra etapp

December 2020

Redaktörer för denna skrift:

Jenny Gode, Profu och Markus Wråke, Energiforsk

Följande forskare har också bidragit med texter och underlag:

Peter Blomqvist, Johan Holm, Kjerstin Ludvig, Ebba Löfblad, Bo Rydén, Jenny Sahlin, Håkan Sköldberg, Thomas Unger, Profu; Stefan Montin, Mats Nilsson, Mattias Wondollek, Energiforsk; Johan Bruce, Linda Dyab, Frank Krönert, Magnus Lindén, Sweco; Lisa Göransson, Filip Johnsson, Mikael Odenberger, Maria Taljegård, Chalmers Tekniska Högskola; Mathias Gustavsson, Julia Hansson, Kenneth Möllersten, Lars Zetterberg, IVL; Anders Sandoff, Jon Williamsson, Handelshögskolan i Göteborg; Lennart Söder, KTH; Lars Bergman, Handelshögskolan i Stockholm; Johan Lindahl, Bequerel Sweden; Bo Diczfalusy, Bodiz Consulting; Gunilla Jalbin, Grounded Management; Roland Löfblad.

Förord

Under snart 25 år har NEPP och dess föregångare fungerat som energibranschens mötesarena kring aktuell energisystemforskning, där forskningen möter branschens företrädare och beslutsfattare. NEPP:s huvuduppgift har varit att visa hur balanserade och hållbara utvecklingsvägar för vårt energisystem kan åstadkommas samt hur energisystemet kan bidra till samhällets omställning i stort. Fyra år av forskning inom denna etapp av NEPP har tydliggjort den allt viktigare rollen för svensk el och fjärrvärme som cen-

trala möjliggörare för samhällsomställningen. Denna skrift är mer än en slutrapport från forskningen inom denna etapp av NEPP, den väger också in resultat från en mängd andra forskningsprojekt samt från politiken, olika samhällsaktörer och branschen. Med andra ord är den en syntes av aktuell forskning inom området, som med systemsyn och helhetsperspektiv beskriver insikter och vägval i energiomställningen.

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 har samlat de allra flesta av energisystemets centrala aktörer. Över 100 beslutsfattare och experter från myndigheter, departement, branscher, industrier, energiföretag och kunder har deltagit – tillsammans med forskarna – i projektets olika forskar- och expertgrupper, seminarier och workshops.

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

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

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	8
1. Energisystemet styrs av ambitiösa klimat- och energipolitiska mål	30
Sveriges ambitiösa klimatmål är utmanande och kräver nya politiska styrmedel	33
De andra nordiska länderna har liknande klimatmål, men de exakta definitionerna skiljer sig åt	34
EU:s gröna giv höjer ribban på europeisk nivå, vilket underlättar för Sverige att klara sina klimatmål	39
Negativa utsläpp behövs inom några årtionden för att klara målen i Parisavtalet	41
Utsläppshandeln behöver anpassas till EU:s ambitiösa klimatmål	42
EU:s gröna giv påverkas av pandemin, men kan också bli ett viktigt medel för EU:s återhämtning	43
2. Elanvändningen förväntas öka kraftigt, men osäkerheten är stor	50
Energianvändningsnivån oförändrad i Sverige	53
Elanvändningen förväntas öka kraftigt	54
Att prognosera framtida elanvändning är svårt	56
Teknikskiften är svåra att förutse och kan få stor påverkan	57
Vad ligger bakom den kraftigt ökade elanvändningen i NEPP:s färdplansscenario?	57
Energieffektivisering är den viktigaste parametern för att bedöma framtida elanvändning	61
Energieffektiviseringen viktigaste påverkansfaktorn	63
Digitalisering med enorm tillväxt men samtidigt stor energieffektivisering	64
Elanvändningens profil är avgörande för hur stora elsystemutmaningarna blir på sikt	65
Coronapandemin har medfört ändrade elanvändningsprofiler	66

3. Eltillförseln idag och i framtiden	70
Utvecklingen fram till dags dato: förnybar elproduktion växer	73
Elproduktionen i två huvudscenarier	74
Den viktiga effekten	81
Perspektiv på de olika kraftslagen	87
4. Eleffektfrågan – utmaningar och lösningar	102
Elanvändningen ökar – men hur mycket?	105
Mycket variabel produktion skapar flera typer av effektutmaningar	105
Toppeffektbehovet kan mötas på flera olika sätt	106
Balanseringen av elsystemet blir alltmer komplex	108
Många sätt att möta effekt- och flexibilitetsutmaningarna – avvägningen allt viktigare	110
Hur stor tillit har marknadens aktörer till olika åtgärder?	110
Vem kommer att investera i produktion i framtiden?	111
Det tar lång tid att bygga elnät	111
Elanvändningens sammansättning, olika effektprofiler för olika användarkategorier	113
Efterfrågesidan kan bidra till flexibilitet	114
Stödtjänster behövs för elsystembalanseringen	114
Lokala kapacitetsbegränsningar i elnäten – en utmaning redan på kort sikt	116
Elsektorn klarar av att möta en stor ökning av elanvändningen	117
5. Investeringar i förnybar elproduktion – teknikutveckling och status	118
Läget för investeringar i ny elproduktion – en introduktion	121
Vindkraft	121
Solkraften växer snabbt, om än från låga nivåer	129
6. Investeringar i förnybar elproduktion – affärsmässiga drivkrafter och samhällsligt ansvar	142
En sektor i omdaning	145

7. Möjligheter och utmaningar för ett hållbart energisystem	158
Klimatfrågan ännu i fokus när finanssektorn ställer om för en hållbar tillväxt	161
Samverkan över sektorer och länder ger snabbare och billigare elektrifiering	162
Nytt tänk behövs kring livscykelperspektiv för att främja lösningar med lägst klimatpåverkan	165
Vad är hållbarhet för energisystemet?	169
Plastavfall till energiåtervinning är snart den enda källan till fossila utsläpp från el- och fjärrvärmesektorn	173
Nya hållbarhetskriterier för fasta biobränslen ger begränsad påverkan på den svenska biobränslemarknaden på kort sikt	175
Moderna miljövillkor för vattenkraften måste avvägas mot ökad efterfrågan av vattenkraftens produktions- och reglerbidrag	177
Delad syn bland forskare kring kärnkraftens roll i ett hållbart energisystem	178
8. Fjärrvärmens långsiktiga roll i det svenska energisystemet	181
Fjärrvärmebehovet – den långsiktiga utvecklingen	183
Fjärrvärmeproduktionen	187
Fjärrvärmens nyckelroll i omställningen mot, och bortom, nollutsläpp	191
9. Energilandskapet är i snabb förändring	200
Inledning	203
Omställningen av samhället har potential att förändra energilandskapet i grunden	203
Acceptans, tillit och ansvar blir avgörande för hur väl vi lyckas med omställningen inom energisystemet	206
Dialogen mellan energisystemets aktörer och betydelsen av systemperspektivet blir allt viktigare när komplexiteten och målkonflikterna ökar	210
Omställningen drivs i hög grad på lokal nivå av nya aktörer och i nya konstellationer	213
Digitaliseringen och dess möjligheter och utmaningar är nyckelfrågor för energibranschen	217
Kundernas och konsumenternas behov och förväntningar på energibolag och energisystem förändras	219
Referenser	225

Sammanfattning



● ● ● Omställningen måste gå fort, i sektorer som hittills förändrats långsamt

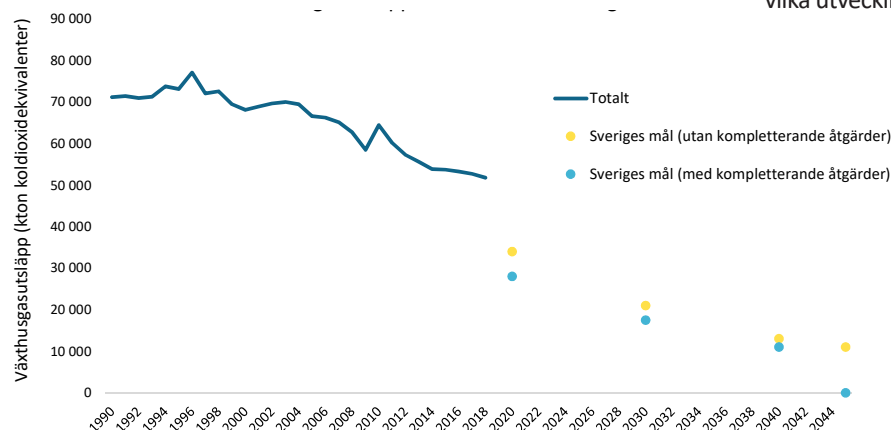
SVERIGES INDUSTRI, transportsystem och energisektor är på väg in i en mycket stor omvandling. Förändringen av energisystemet måste gå fortare och vara mer genomgripande än vad tidigare bedömningar har visat. Hela EU höjer sina klimatmål och i Sverige ska nettoutsläppen av växthusgaser vara helt borta 2045. Det innebär att de svenska utsläppen måste minska flera gånger snabbare¹ under perioden 2020–2045 jämfört med minskningen under det senaste decenniet. Övergripande mål håller nu på att omsättas i konkret politik och nya strategier i näringslivet.

Sverige har bättre förutsättningar än många andra länder att lyckas nå klimatmålen. El- och värmeproduktion med låg klimatpåverkan, kombinerat med en snabb utveckling av ny teknik, kan möjliggöra utsläppsminskningar i transportsektorn och industrin och till och med bidra med negativa utsläpp, på ett sätt som inte tycktes tänkbara för bara några år sedan.

Ändå är detta en formidabel utmaning, framförallt för den svenska industrin som i många delar har långa investeringscykler vilket gör att förändringar tar tid. Även transportsektorn behöver förändras på ett sätt och i en takt som saknar historiskt motstycke. De åtgärder som nu vidtas kommer inte att räcka.

Hastigheten i omställningen behöver alltså öka radikalt och kräver i olika avseenden teknik- och systemskiften. Det ställer stora tekniska krav och utmanar samhällets förmåga att hantera de målkonflikter som ofrånkomligen uppstår. En utmaning i sig är att klimatförändringarna fortgår under lång tid även om vi lyckas nå klimatmålen. Det kommer på olika sätt att påverka vårt samhälle, inte minst energianvändningen och kanske också förutsättningarna för el- och värmeproduktionen.

Investeringarna som behövs inom energisektorn är stora men inte unika i ett historiskt perspektiv. Både teknikutveckling och politik, i Sverige och andra länder, kommer att påverka vilka investeringar som görs och vilka utvecklingsvägar som blir mest attraktiva.



Figur S.1. Utsläpp av växthusgaser historiskt och Sveriges mål för sektorerna som inte ingår i EU:s utsläppshandelssystem. För dessa visas mål både med och utan så kallade kompletterande åtgärder, dvs åtgärder för minusutsläpp² samt investeringar i andra länder.

- 1) De svenska växthusgasutsläppen behöver minska med i genomsnitt 15% per år under perioden 2020–2045, under antagandet att det 2045 fortfarande släpps ut ett ton växthusgaser till atmosfären. För att det nationella målet om netto-noll utsläpp då ska nås krävs minst ett ton negativa utsläpp. Under perioden 2010–2019 minskade de svenska växthusgasutsläppen med i genomsnitt ca 2,5% per år.
- 2) Dessa åtgärder avser till exempel avskiljning och lagring av biogen koldioxid och ökat upptag i skog och mark.



Fyra centrala faktorer för energisystemets utveckling

DEN LÅNGSIKTIGA UTVECKLINGEN av energisystemet kommer inte att avgöras av något enskilt politiskt beslut eller teknikgenombrott. Istället är det många olika tekniska, miljömässiga, politiska och sociala drivkrafter som tillsammans formar utvecklingen. Vissa av dessa kan vara svåra att förutse på förhand och är helt eller delvis bortom vår kontroll. Tydliga vägval och tekniskiften är lättare att se i efterhand än att identifiera i förväg.

Men det finns faktorer som går att påverka genom bland annat politik, strategiska beslut i företagen och beteendeförändringar. Vissa faktorer har avgörande betydelse för vilken utvecklingslinje det svenska energisystemet kommer att följa, och vi lyfter här upp fyra som bedöms särskilt viktiga.

1. Graden av elektrifiering. Under de senaste åren har elektrifiering vuxit fram som en central strategi för att nå klimatmålen. Både direkt elektrifiering som till exempel elbilar, och indirekt elektrifiering som produktion av grön vätgas till råvara och bränsle inom industrin. Men elektrifiering ensamt räcker inte och hur långt den kan och bör drivas påverkas av hur andra tänkbara lösningar utvecklas. Effektiva system och tekniker för värme, gas och bioenergi behövs också. Till exempel påverkar industrins och transportsektorns framtida användning av vätgas och bioråvaror även graden av elektrifiering. Effektivisering i alla former underlättar för både Sverige och övriga Europa att ställa om.

Graden av elektrifiering påverkas också starkt av vilka *förutsättningar* vi skapar för en sådan utveckling. Ett villkor är en snabb utbyggnad av infrastruktur för distribution av el, och på längre sikt behövs även mer elproduktionskapacitet. Lika viktigt är på vilket sätt vi säkerställer att energisystemet som helhet fungerar väl. Mycket talar för att elbehovet kommer att öka kraftigt de kommande decennierna, efter 30 år av relativt konstant användning. Det kommer att ställa stora krav på hela energisystemet. Leveranssäkerheten kommer att behöva säkerställas

i hela landet, även under perioder då hög efterfrågan och liten elproduktion från väderberoende produktionskällor sammanfaller. Framförallt i städer spelar fjärrvärmens en viktig roll både för resurseffektiv uppvärmning och för lokal elproduktion genom kraftvärme. Energisystemet behöver också kunna hantera fler och längre perioder med överskott av el.

2. Graden av systemintegrering. De flesta scenarier pekar på en större variation och mindre förutsägbarhet i den framtida elproduktionen, i synnerhet vid en hög grad av elektrifiering. Det väcker nya frågor kring leveranssäkerhet, robusthet och hur det svenska energisystemet ska integreras både inom landet och med övriga EU. Vissa av dessa frågor är tekniska medan andra är politiska till sin karaktär. Det går till exempel att tekniskt modellera vilket bidrag elhandel över nationsgränserna kan ge för att hantera variationer i det svenska energisystemet, men hur beroende av omvärlden Sverige är redo att vara och vilken inställning man har i andra länder är ytterst politiska beslut. I grunden handlar det om geopolitiska frågeställningar och om tillit, säkerhet och sårbarhet.

En starkare koppling mellan sektorer, regioner och länder än idag skulle rent tekniskt underlätta energiomställningen. Men vilken tilltro vi sätter till teknikutveckling, nya marknadslösningar och till omvärlden påverkar vilka utvecklingsvägar som ter sig mest attraktiva och vilka beslut som behöver fattas.

3. Balansen mellan marknadsdriven och politiskt styrd utveckling. Det är inte givet att de metoder, marknadsregler och planeringsprocesser som tidigare har fungerat svarar upp mot de krav som nu ställs på energisystemets utveckling. Den svenska energidebatten har också förändrats under det senaste decenniet, från fokus på avreglering och integration till att ökad statlig intervention kan vara nödvändig för att uppnå den hastighet som krävs i omställningen.

Nätinfrastruktur tar till exempel idag så lång tid att bygga att omställningen hindras. Det finns här en tydlig spänning mellan å ena sidan ambitioner att inte överinvestera och att ge berörda aktörer inflytande, och å andra sidan viljan att få infrastruktur på plats i tid. Här finns också frågeställningar huruvida marknaden förmår att driva fram investeringar i teknik som säkerställer balansen i ett starkt väderberoende elsystem. Det kopplar i sin tur till frågeställningar om flexibilitet, prissignaler och vad de som använder el är villiga att acceptera, det vill säga ytterst om elmarknadens funktion.

Liknande målkonflikter finns i statens roll att få genomslag för nya, mer omogna tekniker som avskiljning och lagring av biogen koldioxid. Dessa tekniker har stor potential, och kommer enligt NEPP:s analyser att krävas för att nå klimatmålen. Höga investeringsrisker bromsar introduktionen på marknaden, och statligt engagemang – som den nu planerade auktionen för köp av negativa utsläpp – kan spela en viktig roll för att sänka dessa risker. Samtidigt är det inte uppenbart hur långt statens engagemang ska sträcka sig, och en satsning på en viss teknik kan ske på bekostnad av en annan.

- 4. Förändrad syn på hållbarhet.** Det är svårt att optimera uppfyllelse av många olika miljömål samtidigt, och klimatfrågan har länge varit i centrum för diskussionen kring energisystemets hållbarhet. Ändå är det andra miljökrav än minskad klimatpåverkan som just nu gör läget osäkert kring flera av Sveriges viktigaste energislag – vattenkraft, bioenergi och kärnkraft. Det finns motstridiga svenska miljömål, och även EU-krav kan spela en stor roll. Vattenkraftens möjligheter till effekttreglering påverkas av avvägningen mot lokala miljömål, EU-kraven på bioenergi från skogsråvara ser ut att bli striktare än de hållbarhetskriterier för fasta biobränslen som införs från 2021, och EU:s taxonomi för hållbara investeringar kan komma att exkludera bland annat kärnkraft. Detta är exempel på konflikter mellan olika miljömål – än svårare blir det om även ekonomisk och social hållbarhet ska beaktas.

Synen på hållbarhet är inte alls given eller konstant, och påverkar alltså starkt energisystemets utveckling. Kundkrav, politiska mål och den breda samhällsdebatten skiljer sig idag mellan Sverige och andra länder. Fokus kommer sannolikt att riktas på nya aspekter i framtiden, både i Sverige och i våra grannländer. Det gäller därför att vara framsynt i planeringen av energisystemet och ha ett brett helhetsperspektiv på hållbarhet idag för att säkerställa att dagens investeringar är rätt även för framtiden.

• • •

Vissa faktorer har avgörande betydelse för vilken utvecklingslinje det svenska energisystemet kommer att följa. Vi lyfter här upp fyra som bedöms särskilt viktiga:

- 1. Graden av elektrifiering**
- 2. Graden av systemintegrering**
- 3. Balansen mellan marknadsdriven och politiskt styrd utveckling**
- 4. Förändrad syn på hållbarhet**



• **EU:s gröna giv höjer ribban och gör det lättare för Sverige att nå klimatmålen**

EU:S "GRÖNA GIV" kan snabba på utvecklingen av teknik som minskar kostnaderna för Sverige att nå klimatmålen, och kan även minska risken för koldioxidläckage inom EU eftersom skillnaderna i klimatmål minskar mellan länderna. EU-gemensamma styrmedel kan också minska Sveriges omställningskostnader. Den gröna given innehåller väsentligt skärpta europeiska klimatmål för 2030 och ett antal politiska satsningar på infrastruktur, forskning och ny industri. Dessa kan få stor betydelse för integrationen av den europeiska energimarknaden, och för utveckling och kommersialisering av nya

teknikområden som till exempel vätgas och avskiljning och lagring av koldioxid (CCS). Detta kan snabba på en positiv utveckling även i Sverige.

De höjda målen innebär också att EU:s utsläppshandel, som är grundpelaren i EU:s klimatpolitik, kommer att behöva förändras. Det finns flera möjliga vägar, men gemensamt är att utsläppstaket måste sänkas snabbare än vad som idag är fallet.

• **Energiomställningen är ett redskap för EU:s ekonomiska återhämtning i spåren av Covid 19-pandemin**

EU:S LÅNGSIKTIGA MÅL om nettonollutsläpp av växthusgaser ligger tillsammans med digitalisering till grund för utformningen av kommissionens förslag till europeiska återhämtningsstimulanser i spåren av Covid 19-pandemin. Kommissionens krav är att stimulera den ekonomiska återhämtningen (och skydda EU:s sammanhållning) och pekar ut den gröna given som ett av medlen. Både kommissionen och olika medlemsstater har upprepat vikten av

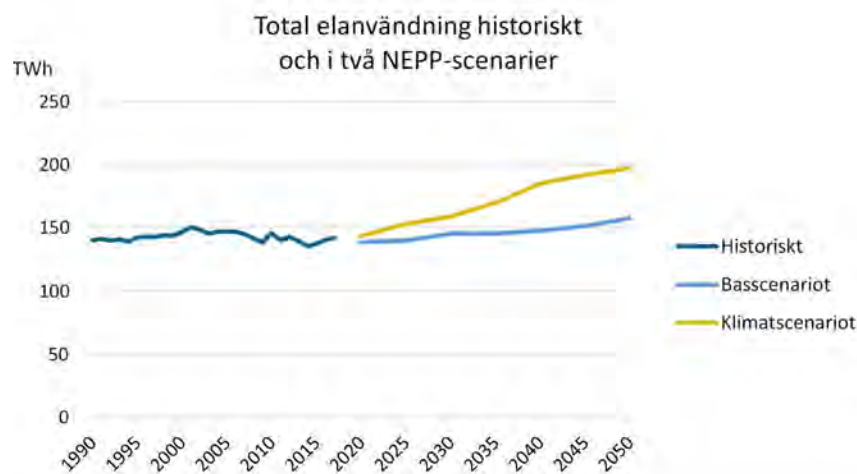
den gröna given och investeringar i klimatomställning i EU:s finansieringsförslag för återhämtning. Om detta omsätts till konkret handling och stimulansen av ekonomin inriktas på innovation och nya industrier snarare än på att enbart återskapa de arbetstillfällen som gått förlorade, kan det få stor betydelse för möjligheterna att nå de klimat- och energipolitiska målen.

• **Efterfrågan på ren el ökar kraftigt, drivet av elektrifiering för att nå klimatmålen**

SVERIGES ELANVÄNDNING ÖKAR mellan 12-42% till 2045 i NEPPs scenarier, jämfört med 2017. Det ska ses mot bakgrund av att den svenska elanvändningen varit i stort sett oförändrad under 30 år.

Förklaringen till detta förväntade trendbrott är att direkt och indirekt elektrifiering har vuxit fram som en central strategi för att

minska utsläppen av klimatgaser inom i princip alla sektorer. För bara tio år sedan bedömde många att möjligheterna att eliminera utsläppen i svensk basindustri och transportsektor var dyra och komplicerade. I till exempel stålindustri var koldioxidavskiljning (CCS) huvudspåret, och för tunga transporter sågs biodrivmedel av



Figur S.2. Elanvändning historiskt³ och i NEPP-scenarier.

många som den enda realistiska vägen framåt. Både CCS och bio-drivmedel är fortfarande relevanta och kommer med stor sannolikhet att behövas. Men tack vare en snabb teknikutveckling inom både elproduktion och -distribution, och av elektrifierade tekniker inom industri och transporter har bilden ändrats. Det finns idag en större palett av möjliga lösningar tillgängliga.

Kostnaderna för lovande tekniker har också fallit, med batterier som det kanske främsta exemplet. Kostnadsminskningar kombinerat med bättre kunskaper om vinsterna med systemintegrering och sektorkoppling ger idag möjligheter till förändringar som tills helt nyligen inte tycktes tänkbara. Eftersom många av dessa nya möjligheter utgår från el som energibärare är det naturligt att även elanvändningen kommer att öka i scenarier med höga klimatmål. Förutom att ren el är en nödvändig möjliggörare inom i industri och transporter, kommer efterfrågan från nyare användningsområden som till exempel serverhallar troligen också att öka. Efterfrågan på ren el kommer sannolikt att öka även från andra länder.

Inte minst Tyskland har stora behov när de ska avveckla sin kolkraft och kärnkraft, och mer allmänt är elektrifiering en central del av EU:s strategi för att minska utsläppen av växthusgaser.

Sammantaget bör man vara ödmjuk i bedömningar av framtida efterfrågan på el. Graden av energieffektivisering i ekonomin har stor betydelse för efterfrågan på el, men är svår att förutse och har tidigare ofta underskattats. Trots nödvändig försiktighet i bedömningen finns det starka skäl till att anta att efterfrågan på el i Sverige kan komma att öka som ett led i lösningen på klimatutmaningen.

Det ökade elbehovet är viktigt att ta hänsyn till både när utformningen av hela energisystemet diskuterats, och i debatten om kärnkraftens framtid. Med stor säkerhet finns det både utrymme och behov av en mix av kraftslag, och det är viktigt att energisystemet och elmarknaden utformas så att helheten blir så leveranssäker och kostnadseffektiv som möjligt.

3) Energimyndigheten (2020a). Energiläget 2020 samt Energiläget i siffror 2020. Energimyndigheten rapport ET 2020:1.

• **Energieffektivisering, bioenergi och systemlösningar** • **är kritiska även i elektrifieringens tidevarv**

ELEKTRIFIERING ENSAMT RÄCKER INTE för att nå klimatmålen. För det krävs också stora mängder bioenergi, beteendeförändringar och ökad systemeffektivitet. Fjärrvärme har redan idag stora systemfördelar och en tätare integration av värme-, gas- och elsystemen kan ytterligare förbättra den totala systemeffektiviteten.

Energieffektivisering är en viktig möjliggörare för positiv förändring och underlättar både för Sverige och övriga Europa att nå klimatmålen. *Detta gäller även då man sparar koldioxidfri el.* Även

i de av NEPP:s scenarier med högst elanvändning antas energieffektiviseringen vara 3-4% per år, jämfört med de 2-3% per år som den har varit under de senaste decennierna. En hög energieffektivisering frigör resurser och minskar investeringsbehoven i alla delar av energisystemet. När minskad elanvändning i Sverige möjliggör ökad elexport till länder med fossilbaserad elproduktion så kan de totala utsläppsminskningarna vara betydande, trots att Sveriges elproduktion har mycket låga utsläpp.

• **Mer vindkraft, starkare koppling till omvärlden och ökat behov av flexibilitet – robusta resultat från NEPP**

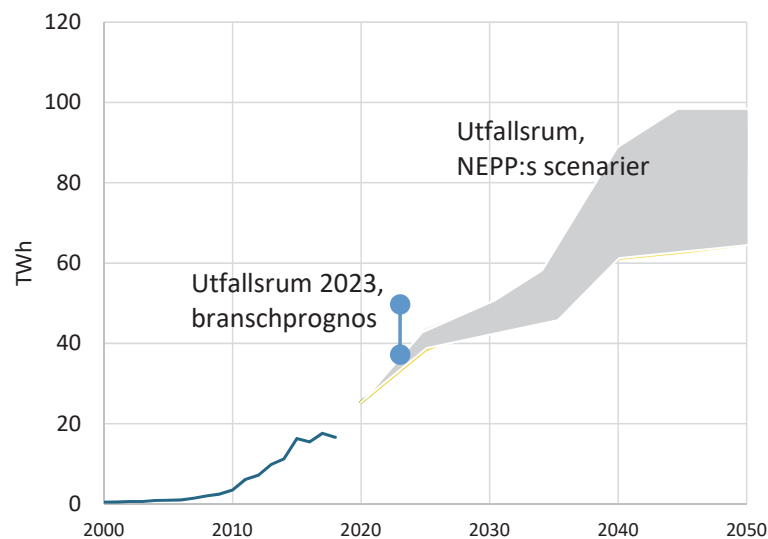
VINDKRAFTEN VÄXER SNABBT i Sverige. 2019 fanns totalt 8,7 GW installerad vindkraft och i slutet av 2020 förväntas vindkraftens installerade normalårsproduktion uppgå till 30 TWh, vilket motsvarar ungefär en femtedel av den totala elanvändningen i Sverige.

Vindkraftens betydelse ökar också starkt i alla NEPP:s scenarier. Det gäller även i scenarier där nya investeringar gör att det finns kärnkraft kvar efter 2045. Kapaciteten av planerbar produktion minskar i alla NEPP:s scenarier. Parallellt med detta ökar elanvändningen totalt i samhället, delvis också med nya mönster i användningen, samtidigt som andra länders elsystem sannolikt också kommer innehålla högre andelar väderberoende elproduktion.

Den ökade elanvändningen och högre andelen väderberoende elproduktion i energimixen gör att kraven på elsystemet att hantera variationer kommer att öka starkt. Ett mått som kan ge en känsla för hur stor förändringen kan bli är hur mycket behovet av

planerbar elproduktion, det så kallade nettoelproduktionsbehovet, ändras under en viss tid. Fram till 2040 fördubblas variationen av nettoelproduktionsbehovet under en timma, från ca 2 500 MW 2018 till 4 400 MW 2040. Samma mönster syns i förändringen under en vecka.

Den andel vindkraft Sverige idag har bedömdes i analyser för ett par decennier sedan som mycket problematisk att hantera för elsystemet som helhet. NEPP:s analyser visar att det blir svårare att få till ett väl fungerande elsystem ju mer variabelt och mindre planerbart systemet är, men indikerar inte någon absolut gräns för ytterligare integration av variabel kraft. Det går heller inte att urskilja tydliga "trösklar" när till exempel effektsituationen blir kraftigt sämre som en följd av ytterligare ökning av andelen icke-planerbar kraftproduktion.



Figur S.3. Elproduktion från vindkraft i Sverige, historiskt ⁴ och i våra scenarier. För referens även prognoser från branschorganisationen Svensk Vindenergi. ⁵



4) Energimyndigheten (2020a). Energiläget 2020 samt Energiläget i siffror 2020. Energimyndigheten rapport ET 2020:1

5) Källa: Svensk Vindenergi (2020). Statistics and forecast 2020-05-04, <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/05.Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-2020-05-04.pdf>

● Effektutmaningen har flera dimensioner och kräver en kombination av lösningar

PÅ KORT SIKT ÄR EFFEKTUTMANINGEN störst lokalt. Om den inte åtgärdas kan städers och regioners tillväxt försvåras. Diskussionen för att lösa den lokala effektutmaningen har ofta fokuserat på nätutbyggnad, men åtgärder i produktions- och användarleden kan också ha stor betydelse. Avvägningen mellan olika åtgärdsområden är inte självklar.

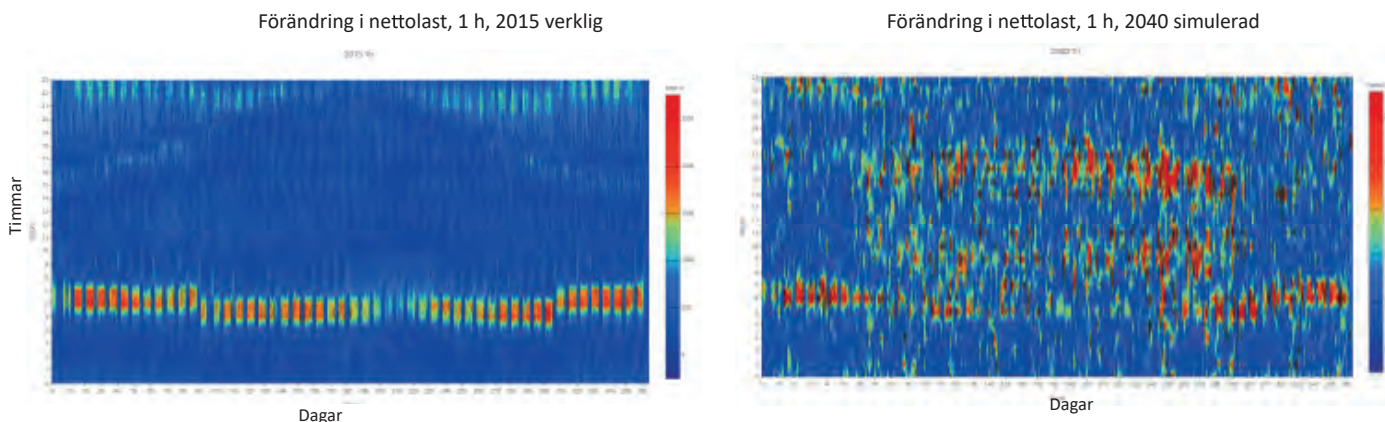
Fluktuationerna blir i framtiden inte bara större utan också mer svårprognoserade. I Figur S.5 visas förändringen i nettolasten ⁶

från en timme till nästa. Idag står ”morgonrampen”, alltså den snabba ökningen av elanvändningen på morgonen, för den stora förändringen i nettolasten från en timme till en annan. Det syns tydligt att förändringen är mindre på helger samt under semestern. Övriga tider är förändringen av nettolasten liten i jämförelse med morgonrampen.

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

Figur S.4: Schematisk, och delvis subjektiv, bedömning av olika åtgärders förmåga att möta olika flexibilitetsutmaningar.

6) Nettolasten är den totala efterfrågan på el minus elproduktionen av sol- och vindkraft, vid en given tidpunkt



Figur S.5. Förändring i nettolast från en timme till en annan. Blå färg motsvarar en liten förändring från en timme till nästa och röd färg motsvarar en stor förändring. 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.

NEPP:s analys visar att förändringar i nettolasten i framtiden kommer att vara mer slumpmässigt fördelade över dygnet och över året, främst på grund av vindkraftens variationer. Dessutom tillkommer en förmiddagsramp och en eftermiddagsramp under sommarhalvåret. Dessa beror på den ökade mängden solkraft. I en simulering av ett nära fossilfritt energisystem år 2040 är bilden inte alls lika tydlig som för år 2015. Det innebär att förändringar i nettolasten kommer att uppträda mindre förutsägbart och vid fler tidpunkter. Analysen här förutsätter också att den betydande mängd elfordon som används laddas "smart", annars skulle situationen förvärras ytterligare.

Det finns inget entydigt stöd i NEPP:s analyser för att någon enskild strategi för att motverka effektutmaningen skulle var överlägsen en annan. Det finns också vägvalseffekter: ska man till exempel investera i lokal kraftvärmeproduktion, stärka kopplingen till det nationella elnätet eller förlita sig på marknader för efter-

frågeflexibilitet för att lösa lokal effektbrist? Vilka antaganden som görs om "nya" metoder för flexibilitet, t.ex. efterfrågeflexibilitet och lagring, har stor påverkan på analysresultaten. Det gäller till exempel för frågan om vilken andel av vindkraft som kan integreras utan stor påverkan på andra delar av energisystemet.

NEPP:s analyser visar att det är viktigt att energimarknaderna utformas för morgondagens krav, i synnerhet vad gäller incitament för flexibilitet, men det är inte uppenbart vilka justeringar som är mest angelägna. Det behövs mer kunskap och utvärderingar av åtgärder som för närvarande testas.

Tilliten till nya metoder för flexibilitet varierar också mellan bedömare. Vissa tror på det beprövade, andra ser mer optimistiskt på framtida teknik- och marknadslösningar. Detta förklarar delvis skillnader i olika aktörers prioriteringar av åtgärder och kraftslag för att hantera den framtida eleffektbalansen.

- **Fjärrvärmens behövs för att lösa effekt- och kapacitetsutmaningar,** - **men efterfrågan stagnerar**

ÅR 2018 FANNS ca 3 GW_{el} installerat i svensk kraftvärme, vilket de senaste åren har givit en elproduktion om 8-9 TWh. Det är lite i relation till Sverige som helhet (ca 43 GW installerad eleffekt, 166 TWh elproduktion 2019), men ger ett betydande bidrag för att lösa problem med balansering av elsystemet och brist på nätkapacitet på lokal nivå.

Kraftvärmens har två stora fördelar: hög tillgänglighet även när det är kallt och vindstilla, och den bidrar med elproduktion i städer vilket minskar behovet av nätslutningar in till dessa städer. Dessutom minskar fjärrvärmens behovet av el, eftersom alternativ till fjärrvärme för uppvärmning i många fall skulle vara någon form av elbaserad värme. Fjärrvärmens minskar alltså pressen på elsystemet, både direkt genom lokal elproduktion i kraftvärme och indirekt genom att minska behovet av el.

NEPP:s analyser visar att utan fjärrvärme skulle den svenska elbalansen försämrats med upp till 10 GW, vilket kan jämföras med det maximala effektbehovet ett normalår på ca 27 GW. Dessutom skulle importbehovet av el öka betydligt.

Samtidigt visar NEPP:s scenarier att efterfrågan på fjärrvärme stagnerar. Det totala nettoenergiebehovet för uppvärmning av bostäder och lokaler varierar i scenarierna mellan en svag ökning och en tydlig minskning. Detta sker trots tydligt ökad folkmängd och därmed uppvärmd yta. Energieffektivisering i den existerande bebyggelsen tillsammans med lågt uppvärmningsbehov i ny bebyggelse är exempel på förklaringar till denna utveckling.

Konkurrens från värmepumpar och energieffektivisering bidrar till att de senaste årens stagnerande tillväxt för fjärrvärme förväntas hålla i sig åtminstone fram till 2030. Efter 2030 bedöms de billigaste effektiviseringsåtgärderna vara uttömda. Detta sker samtidigt som elpriserna stiger till följd av skärpt klimatpolitik och det totala

uppvärmningsbehovet ökar på grund av befolkningsökning och ekonomisk tillväxt. På lång sikt kan fjärrvärmebehovet därför återigen öka, men tillväxten är svag och osäkerheterna betydande.

Hur stor klimatförändringen kommer att bli påverkar också efterfrågan på uppvärmning. Preliminära resultat från pågående forskning indikerar att det svenska uppvärmningsbehovet minskar med i storleksordningen 5% till 2040 jämfört med idag, som en följd av att den globala medeltemperaturen omkring år 2040 beräknas öka med 1,5 grader jämfört med förindustriella nivåer.



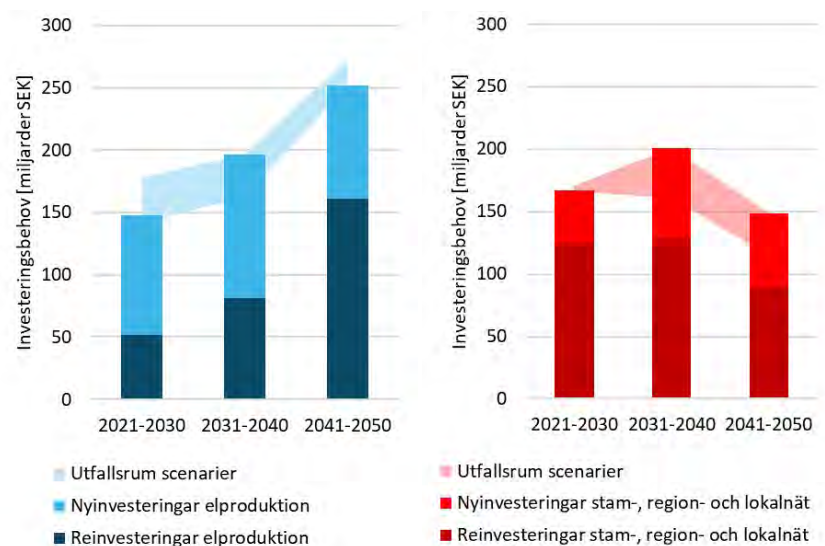
- Det krävs stora investeringar, men de är inte historiskt unika och - behoven skiljer sig inte dramatiskt mellan olika produktionsmixar

NEPP:S ANALYSER INDIKERAR att det totalt behöver investeras ca 1 000 till dryga 1 100 miljarder kr i elproduktion (560 - 640 miljarder kr) och nätinfrastuktur (440-520 miljarder kronor) under perioden 2021-2050.⁷ Det innebär att investeringsbehovet kommer att öka betydligt jämfört med idag.

Men samhället har mobiliserat liknande investeringsvolymen förut. Ett exempel är utbyggnaden av vattenkraften under 50-och 60-talet, ett annat kärnkraften då ca 350 miljarder kronor investades

under 70- och 80-talet, ett tredje de ca 90 miljarder kr⁸ som har investerats i ny vindkraft enbart under de senaste fyra åren.

Merparten av investeringsbeloppen för elproduktion är oberoende av mixen av kraftslag i scenarierna. En viktig och robust slutsats från NEPP:s analyser är att reinvesteringar i existerande infrastruktur står för ungefär hälften av det totala investeringsbehovet, oavsett produktionsscenario.



Figur S.6. Investeringsbehov inom elproduktion (till vänster) och elnät i Sverige (till höger) år 2021-2050. Skuggningarna indikerar spannet i utfall beroende på vilket specifikt produktionsscenario som studerats. Drygt hälften av investeringarna (560 - 640 miljarder kr) sker i elproduktion, knappt hälften (440-520 miljarder kronor) i nätinfrastuktur.

7) Detta inkluderar inte investeringar i ny lagringsteknik som till exempel batterier eller nya värmelager, och heller inte driftskostnader

8) Detta inkluderar nätanslutningar, alltså inte bara produktionskapacitet. Källa: Svensk Vindenergi (2020). Statistics and forecast 2020-05-04, <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/05/Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-2020-05-04.pdf>.

Sammantaget ger NEPP:s analyser svagt stöd för att förorda den ena produktionsmixen framför den andra på grund av investeringsbehoven. Det finns skillnader i total investeringskostnad mellan olika scenarier, men de är inte dramatiska och ska ställas i relation till de totala kostnaderna och till den osäkerhet som finns i analyserna. Resultaten är till exempel känsliga för antaganden om framtida kostnader för olika kraftslag, och vilket genomslag lagringstekniker och andra flexibilitetsåtgärder kan få. De totala investeringsbehoven för ett helt förnybart elsystem skiljer sig till exempel inte signifikant från ett fossilfritt system där även kärnkraft ingår i produktionsmixen.

Stödtjänster måste vara på plats för att garantera ett leveranssäkert elsystem, men kan bestå av andra åtgärder och lösningar än de som finns tillgängliga idag. Till exempel är det troligt att energianvändare involveras i betydligt större utsträckning än idag för att skapa flexibilitet. NEPP:s analyser indikerar att kostnaden för dessa stödtjänster är små i förhållande till den totala systemkostnaden, och sannolikt inte heller avgörande för hur den framtida produktionsmixen kan komma att se ut.

● **Vindkraft dominerar investeringar i svensk energisektor, drivet av** ● **teknikutveckling, låg politisk risk och nya former av kontrakt**

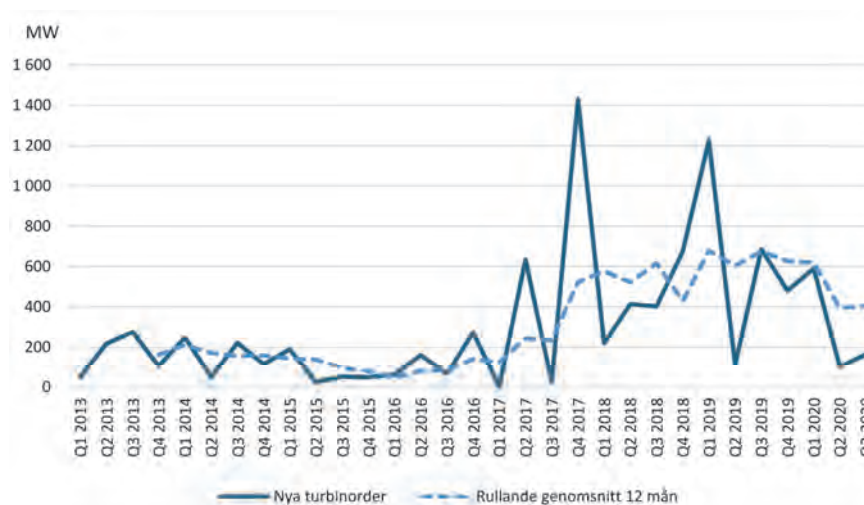
DET SKER STORA investeringar i ny svensk vindkraft, med beslut om investeringar värda ca 90 miljarder kronor under 2017-2020. Det motsvarar en ökad turbinkapacitet om ca 7 GW. Som konsekvens av tagna investeringsbeslut väntas vindkraftsproduktionen öka till ca 40 TWh år 2022. Då kommer Sverige totalt att ha 40 GW installerad effekt från vindkraft.

Goda vindresurser, fallande teknikkostnader och de relativt låga politiska riskerna förknippade med vindkraft i Sverige är tre viktiga drivkrafter för de stora investeringarna. Utvecklingen mot allt större och effektivare vindkraftverk har fortsatt att driva ner kostnaderna. Ökningen i investeringar kom efter att Energiöverenskommelsen slöts 2016, och det är tänkbart att överenskommelsen hade en positiv effekt på investeringsklimatet. De tidigare så viktiga elcertifikaten saknar idag betydelse för de investeringar som görs eftersom deras nuvarande och förväntade värde är väldigt lågt.

Utländska institutionella investerare står för majoriteten av investeringarna i vindkraft Sverige. Vindkraft passar riskprofilen för dessa aktörer väl, och det låga ränteläget i världen gör att infrastrukturinvesteringar generellt är attraktiva.

Även om landbaserad vindkraft ännu dominerar stort i Sverige, så finns tecken på att havsbaserad vind kan växa mycket starkt det kommande decenniet. Idag finns endast 190 MW havsbaserad vindkraft installerad. Ytterligare knappt 4 GW var antingen tillståndsgivet eller under tillståndsprövning vid slutet av 2019.

Mängden projekt i ännu tidigare faser indikerar att tillväxten kommer att accelerera. Nya vindkraftsprojekt under utveckling behöver inkomma med en anslutningsförfrågan till Svenska Kraftnät, och under perioden 2018-2019 inkom förfrågningar motsvarande över 27 GW havsbaserad vindkraft.¹⁰ Det är osäkert hur stor del av dessa projekt som kommer att realiseras, men mängden visar på det mycket stora intresse som finns för tekniken.



Figur S.7. Investeringsbeslut i vindkraft i Sverige 2013-2020. Investeringsbesluten har ökat starkt sedan 2017.⁹

Även om kostnaderna för havsbaserad vindkraft har fallit dramatiskt under det senaste decenniet (ca 70 % sedan 2012) utgör de fortfarande en stor barriär för utbyggnadstakten. Andra stora hinder för investeringar i havsbaserad vindkraft i Sverige i nuläget är osäkerheten kring vem som ska stå för anslutningskostnaderna, fördröjning av projekt för elnätstärkning i södra Sverige och långa och komplicerade tillståndsprocesser.

Långa bilaterala kontrakt, så kallade *Power Purchase Agreements* (PPA), spelar en viktig roll genom att minska prisrisken i projekten. Det finns ingen heltäckande statistik men sannolikt är mer än hälften av de investeringar i svensk vindkraft som har gjorts sedan 2016 baserade på någon form av PPA.



Även om landbaserad vindkraft ännu dominerar stort i Sverige, så finns tecken på att havsbaserad vind kan växa mycket starkt det kommande decenniet.



9) Källa: Svensk Vindenergi (2020). Statistics and forecast 2020-05-04, <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/05/Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-2020-05-04.pdf>

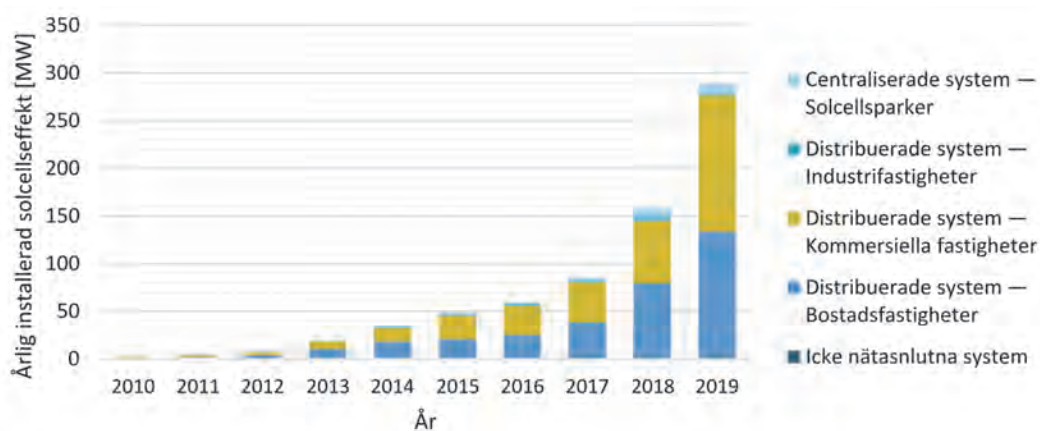
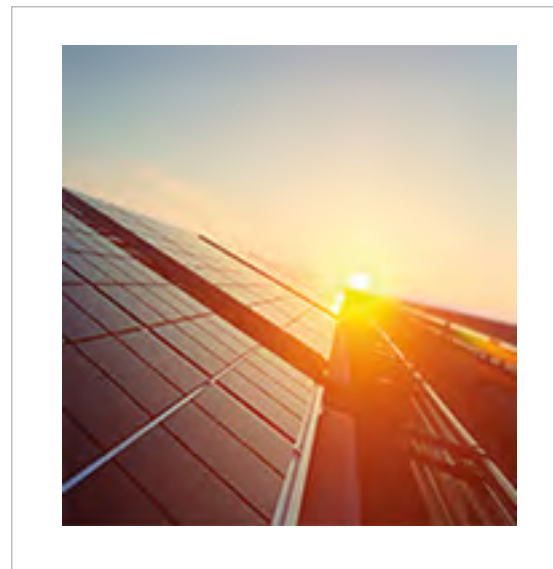
10) SvK, 2020

● Solkraften växer snabbt i Sverige, om än från låga nivåer

TOTALT FANNS DET i slutet av 2019 drygt 700 MW installerad effekt solkraft i Sverige, vilket är en ökning med 600 MW på fem år. Snabbt fallande kostnader, ekonomiska subventioner och stor acceptans bland allmänheten har drivit på utvecklingen.

Solcellsmarknaden har en annan sammansättning av aktörer än övrig kraftproduktion. Hittills har distribuerade installationer, främst på tak, dominerat i Sverige, men nu ökar andelen solcellsparker. I slutet av 2020 finns drygt 70 MW installerad effekt i solcellsparker i Sverige, med en storlek större än 0,5 MW, och mindre än hälften av denna effekt (17 MW) har tillkommit tack vare traditionella energibolag. Publicerade planer för nya solcellsparker omfattar ytterligare ca 800 MW under de kommande två till tre åren.

För solceller är självkonsumtion den dominerande drivkraften för investeringar. För solcellsparker dominerar två affärsmodeller, andelsägande och Power Purchase Agreements, där den senare har vuxit starkt på senare år och förväntas driva en ännu snabbare utbyggnad av solcellsparker de kommande åren.



Figur S.8. Solcellsmarknaden växer snabbt i Sverige.¹¹

11) Källa: Lindahl, J. m.fl. (2020). National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2019. Knivsta

● **Marknadsutformning behöver ta hänsyn till både affärsmässiga drivkrafter och olika ansvarsperspektiv**

DEN NUVARANDE KONKURRENSUTSATTA energy-only marknaden gynnar generellt modulära tekniker. De kan dra nytta av stordriftsfördelar vilka bidrar till en minskning av den långsiktiga genomsnittskostnaden per enhet och är lätta att storleksanpassa efter olika förhållanden utan specialanpassning för varje investering. Solceller är det tydligaste exemplet globalt, men även batterier och vindkraft har dessa karakteristika. I motsats till dessa kraftslag så kännetecknas kraftvärme och vattenkraft istället av stark platsbundenhet, specialutformning och mindre flexibilitet i skala. Modulära tekniker har också väsentligt lägre politisk risk än storskaliga tekniker som till exempel kärnkraft, vilket ytterligare ökar deras attraktionskraft ur ett investeringsperspektiv.

Symptomatiskt sker nu också, både i Sverige och globalt, de största investeringarna i just modulära tekniker. Bibehålls nuvarande marknadsutformning är det sannolikt att den utvecklingen kommer att fortsätta.

NEPP:s analys visar att det kan finnas skäl att särskilt stimulera investeringar i kraftvärme och vattenkraft. Anledningen är att de faktiska investeringsmöjligheterna i platsbundna verksamheter syftar till att utnyttja existerande produktionspotential, potentialer som består av outnyttjad värme- och vattendragsresurs. Dessa potentialer kan sägas ha karaktären av allmänningar, det kan då ligga i allmänhetens intresse att de förvaltas på bästa sätt. Att dessutom just platsbundna kraftslag är planerbara och har en etablerad plats i lokala och regionala energisystem kan också stärka argumenten för att hantera dessa på ett annat sätt än modulära, icke platsbundna tekniker.

Stimulering av investeringar i dessa kraftslag måste dock göras mot bakgrund av att det endast är ägaren som kan bedöma investeringen och att denna bedömning inte nödvändigtvis sker på

marknadsmässiga grunder. Om nuvarande ägare inte representerar samtliga investeringsintressen på marknaden så leder detta till underinvesteringar.

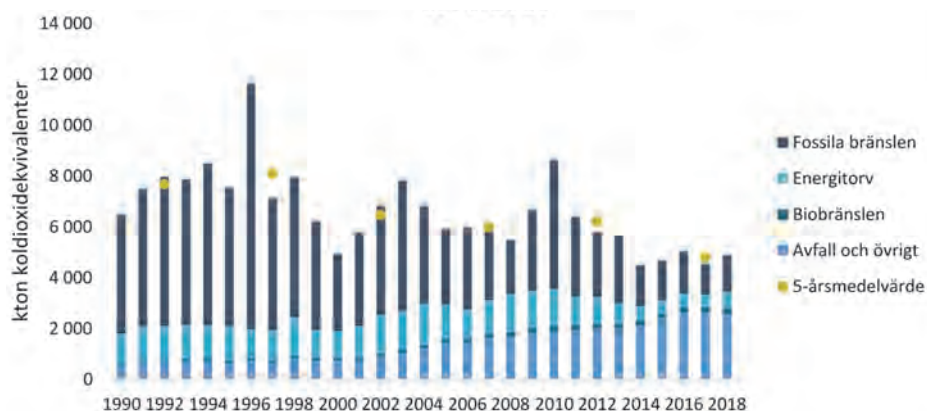
Om marknadsutformning ska förändras kan en tydlig målhierarki underlätta. Till exempel kan möjligheten för fria marknadskrafter att investera i kraftproduktion vara det överordnade målet, följt av ett mål att främja investeringar som utnyttjar existerande produktionspotential så effektivt som möjligt. Detta skulle i sin tur följas av ett mål att stötta ett organisatoriskt ansvarstagande genom investeringar för det egna bolagets elanvändning.



- **Plast i avfall och hyttgaser är snart de enda bidragen till fossila utsläpp från el- och värmeproduktion i Sverige**

DE DIREKTA FOSSILA UTSLÄPPEN från el- och värmeproduktion i Sverige har minskat med 40% sedan 1990-talet. Användningen av torv och fossila bränslen förväntas upphöra före 2030 enligt färdplanen för fossilfri uppvärmning. Efter det bidrar endast förbränning av hyttgaser (restprodukt från stålframställning) och plast i avfall till fossila utsläpp i svensk el- och värmeproduktion.

Plastavfall ska i första hand återanvändas och materialåtervinnas, men att bli av med plasten i avfallet är inte okomplicerat. En stor del av plasten i det avfall som idag används för fjärrvärme är av kvaliteter som är svåra att återvinna eller cirkulera. Det handlar om stora volymer avfall: 2019 stod avfall för ca 20%¹² av den totala bränsleanvändningen för fjärrvärmeproduktion i Sverige, och plast utgör ungefär 20% av det avfall som går till förbränning idag.¹³ Detta är därför en mycket viktig fråga att lösa i den svenska energiomställningen.

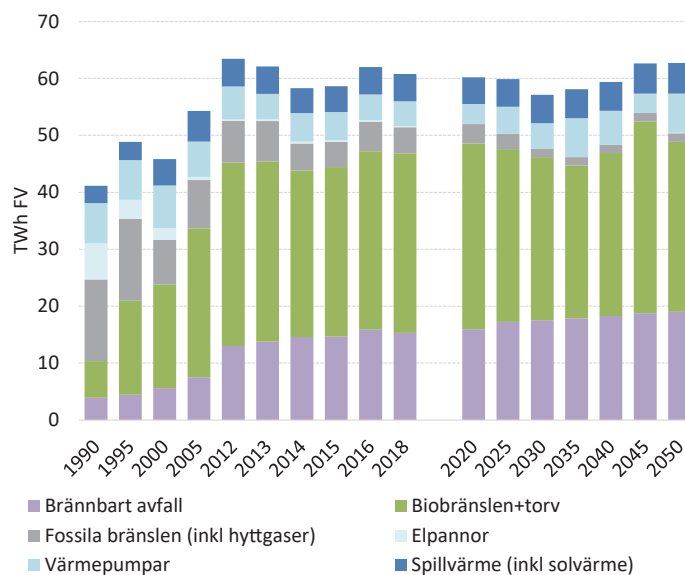


Figur S.9. Direkta utsläpp av växthusgaser från förbränning för el- och fjärrvärmeproduktion i Sverige 1990–2018.¹⁴ Utsläppen från biobränsle avser metan och dikväveoxid, inte koldioxid.

12) Räknat som andel av vikt.

13) Det avser ett medeltal i avfall till energiåtervinning från hushåll, verksamheter och importerat avfall.

14) Källa: Naturvårdsverket (2020). Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser 1990–2018. <http://www.naturvardsverket.se/klimatutslapp> (hämtad 2020-10-15)



Figur S.10. Fjärrvärmeproduktionens utveckling historiskt,^{15, 16} och i NEPP:s Basscenario. Senast år 2030 har användning av torv och fossila bränslen (förutom hyttgaser och plast i avfall) upphört.

● ● ● Målkonflikter i energiomställningen skapar osäkerhet

KOMPLEXITETEN I DEN OMSTÄLLNING vi är mitt uppe i ökar risken för uppkomst av olika typer av målkonflikter. Ett exempel på detta är de potentiella målkonflikterna som kan uppstå mellan energipolitikens tre grundpelare: försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet.

För att lyckas med omställningen måste vi skapa ett energisystem som uppfyller alla tre måldimensioner. Om ensidigt fokus läggs på ett enskilt mål, kan det leda till att de övriga målen äventyras.

Särskilt viktigt att beakta är också avvägningen mellan högt tempo och aktörsförankring vid till exempel tillståndsprocesser. Inte heller balansen mellan avreglerade marknader och offentlig intervention är självklar, liksom hur man sätter systemgränser för att bedöma måloppfyllelse.

Ett exempel är vattenkraftens produktions- och reglerbidrag som behöver vägas mot kraven på moderna miljövillkor för vattendragen. Samtidigt som Sverige har mål om 100 % förnybar elproduktion.

15) Energimyndigheten (2020a). Energiläget 2020 samt Energiläget i siffror 2020. Energimyndigheten rapport ET 2020:1

16) Avfall Sverige (2020). Aktuell avfallsstatistik, <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/avfallsstatistik/> (hämtad 2020-11-24)



• • •

Svårigheten att entydigt definiera hur vägen till ett hållbart energisystem bör se ut blir tydlig i och med EU:s kommande förordning om en grön taxonomi

tion till 2040 och nettonollutsläpp senast år 2045 ska även EU:s ramdirektiv för vatten genomföras.

Svårigheten att entydigt definiera hur vägen till ett hållbart energisystem bör se ut blir tydlig i och med EU:s kommande förordning om en grön taxonomi. Taxonomin ska användas för att vägleda investerare och finansmarknadsaktörer mot hållbara investeringar. Olika tekniker bedöms utifrån sex miljömålsättningar: minska klimatutsläpp, klimatanpassning, vatten och marina resurser, cirkulär ekonomi, föroreningar och skydd av ekosystem.

Bedömningen enligt taxonomin är binär: antingen anses en teknik hållbar eller också är den det inte. Det gör den enkel att tillämpa och behöver i sig inte vara ett problem, men den gömmer därmed också målkonflikter. Energiutvinning ur avfall för till ex-

empel fjärrvärmeproduktion anses ha en roll även i en cirkulär ekonomi eftersom inte allt avfall kan hanteras högre upp i avfallshierarkin, men har hittills inte bedömts möta taxonomins kriterier för hållbarhet. Ett annat exempel är att kärnkraft har tydliga klimatnyttor, men ändå inte anses uppfylla de sammanlagda kraven för att klassas som hållbar enligt förslaget till taxonomi. Liknande målkonflikter finns för vattenkraft och bioenergi. Det finns också en stark tonvikt på den ekologiska dimensionen av hållbarhet i taxonomin. Det visar på svårigheten att fånga en komplex målbild i en parameter, och att subjektiva bedömningar är svåra att undvika trots goda intentioner. Taxonomin ska vara slutligt definierad i slutet av 2021 och tillämpas från 2022, och kan få stor betydelse för kapitalkostnaden för investeringar i olika teknik.

- - - **EU:s hållbarhetskriterier för fasta biobränslen ger begränsad påverkan på den svenska biobränslemarknaden på kort sikt**

EU:s nya hållbarhetskriterier för fasta biobränslen ska införas 2021 och kommer möjligtvis att påverka biobränslemarknaden på längre sikt, men på kort sikt ser det för svensk del inte ut att innebära några stora konsekvenser. Biobränslen från svenska skogsarealer uppfyller redan hållbarhetskriterierna och endast en mindre mängd biobränslen importeras till den svenska energisektorn idag. Ett litet frågetecken finns kring pellets, som med dagens kunskap bara med liten marginal klarar de krav som kommer att ställas på minskad klimatpåverkan från år 2026.



- **Magnituden av omställningen kräver systemförståelse, acceptans och engagemang hos energisystemets alla aktörer**

DEN OMSTÄLLNING AV ENERGISYSTEMET som vi är inne i påverkas av ett flertal genomgripande omvärldstrender, så kallade megatrender, med klimatfrågan som en av de mest framträdande. Klimatfrågan skyndar på omställningen och ger upphov till nya drivkrafter som bland annat driver enskilda aktörer till att ta egna initiativ och göra investeringar i tekniker, på grunder som ofta skiljer sig från traditionell investeringslogik inom energisystemet.

Under de senaste två decennierna har forskningen om energisystemets utveckling och omställning rört sig alltmer från enbart teknoekonomiska studier till det område som på engelska kallas transition studies, ett område i gränslandet mellan innovationsstudier, ingenjörsvetenskaper, evolutionär ekonomi och vetenskapshistoria. Här studeras energisystemets utveckling och omställning utifrån ett socio-tekniskt perspektiv med fokus på skiftet från ett system till ett annat. Hur fort energiomställningen kan genomföras beror i hög utsträckning av dess inverkan på människors levnadsvillkor och välbefinnande, inte minst allmänhetens acceptans för till exempel nya vindkraftparker, energipriser och -skatter. Den upplevda risken med exempelvis kärnkraft, lagring av koldioxid och vätgas användning påverkar också energiomställningens hastighet. Även mer abstrakta faktorer, som tillit till energimarknadens aktörer, medbestämmande över utvecklingen och hur leveranssäkert energisystemet är, kan påverka människors vilja att bidra till energiomställningen.

Ny teknik, nya aktörer och förändrade behov utmanar dagens rådande strukturer i energisektorn. Idag ser vi möbelvaruhus som börjar sälja solceller och globala mjukvarujättar som intresserar sig för marknadslösningar kopplade till förnybar energi. Denna typ av nya aktörer ställer nya krav och ökar trycket på redan etablerade aktörer att ställa om och att anpassa sin verksamhet i takt med att energilandskapet förändras.

Många håller nog med om att det sker mer på energimarknaden nu än det gjorde för bara fem år sedan. Kundernas ökande krav på energibolagen och tillgången till alternativ gör att marknaden förändras och rör sig från en stabil och monopolliknande situation till en mer dynamisk och konkurrensutsatt. Viktiga frågor i omställningen är hur roller och relationer kommer att förändras framöver, liksom vilka faktorer som påverkar i vilken riktning utvecklingen går.

Även om klimatproblemet är globalt drivs omställningen i hög grad av delvis nya aktörskonstellationer på lokal nivå. Eftersom många tekniska lösningar, till exempel för ökad flexibilitet, har starka lokala aspekter, är också samverkan på lokal nivå viktigt. Energiomställningen måste också leda till positiv region- och stadsutveckling.



Digitaliseringen erbjuder också möjligheter för energisektorn genom hela värdekedjan, från energiomvandling till förbättring av kundrelationer



● ● ● Digitaliseringen av energisektorn har bara börjat

ENERGISEKTORNS GRAD AV DIGITALISERING går framåt och allteftersom elektrifieringen och sektorskopplingen ökar kommer också behovet av digitala teknologier att öka. Kanske ligger också digitaliseringens största transformationspotential för energisektorn i dess möjlighet att påskynda uppluckringen av energisystemets traditionella gränser mellan efterfrågan och tillförsel av energi.

Redan idag finns stora ekonomiska värden i till exempel bättre styrning av värmeproduktion för att minska dyr spetsproduktion. Andra tillämpningar, som att ge boende större kontroll över sin energianvändning, kan stärka förtroendet för energileverantörer hos allmänheten.

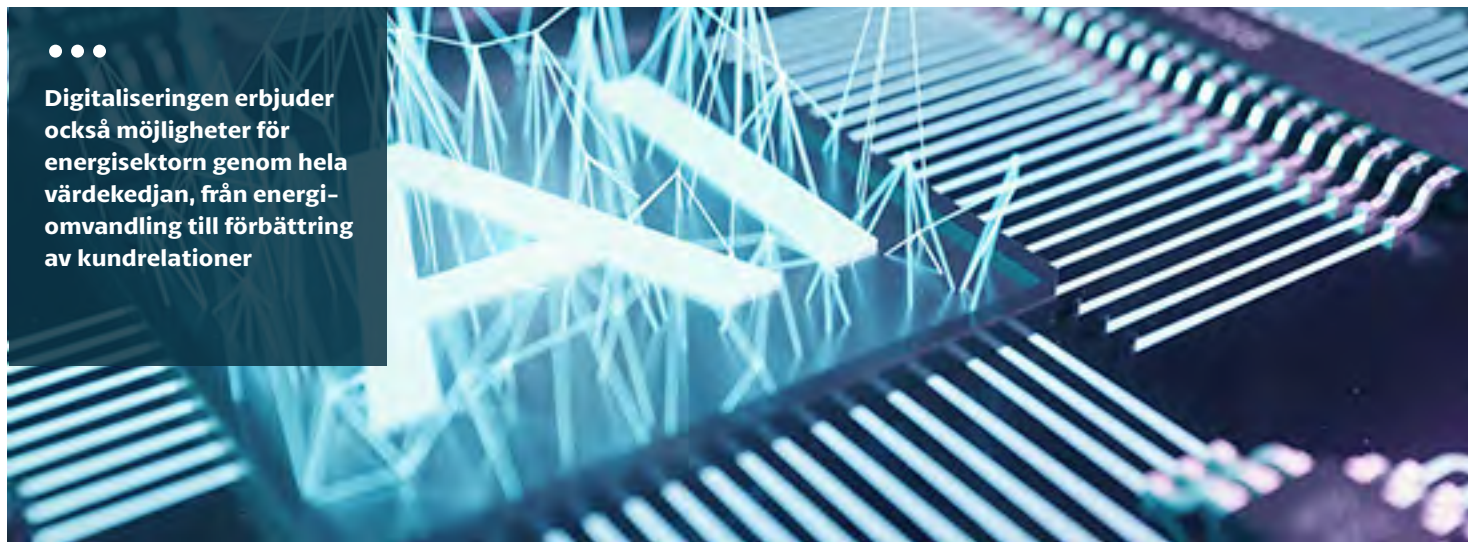
IT-säkerhet blir allt viktigare, och analyser indikerar att Sverige sannolikt varken är bättre eller sämre på IT-säkerhet jämfört med andra länder. En generellt bra nivå på digital kompetens gör att vi

har en bra grund att stå på. Men digitaliseringen handlar också om acceptans och tillit till den teknik som används. Integritetsfrågor och oro för hos vem ansvaret ligger när teknik havererar behöver tas på allvar för att nya lösningar ska kunna användas och skalas upp.

Utöver systemnyttan erbjuder digitaliseringen möjligheter till en minskad energianvändning i kombination med en ökad kundnytta. Det innebär att digitaliseringen också kan bli ett viktigt verktyg för att nå dagens högt ställda energi- och klimatomål inom energisektorn. Digitaliseringen erbjuder också möjligheter för energisektorn genom hela värdekedjan, från energitillförsel till förbättring av kundrelationer.



Digitaliseringen erbjuder också möjligheter för energisektorn genom hela värdekedjan, från energiomvandling till förbättring av kundrelationer



Kapitel 1



Energisystemet styrs av ambitiösa klimat- och energipolitiska mål

År 2045 ska Sverige uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser och därefter nettonegativa utsläpp. De övriga nordiska länderna har liknande mål även om definitionerna och målar skiljer sig något. Tidigare har Sverige haft mer ambitiösa klimatmål än övriga EU, men i och med EU:s nya gröna giv och nya klimatmål om nettonollutsläpp 2050 kommer Sverige sannolikt få draghjälp i klimatarbetet. Detta gäller inte minst kring de kraftfulla åtgärder som behövs för att åstadkomma minusutsläpp genom exempelvis avskiljning och lagring av biogen koldioxid. Det råder nu osäkerhet om och hur den pågående pandemin kommer att påverka klimatomställningen. Förhoppningarna är

stora på att förändrade och bestående värderingar leder till en snabb omställning till ett hållbart och resurseffektivt samhälle. Fallgroparna är dock många och det finns mycket som pekar på att kraven på en snabb återgång till det normala istället kan öka målkonflikterna i samhället och skapa nya utmaningar för omställningen. Samtidigt som utsläppen minskat i pandemins spår har EU-politiken skiftat fokus mot samordning av folkhälsopolitiken och ekonomisk återhämtning. Både kommissionen och många medlemsstater har betonat att den gröna given och klimatinvesteringar snarare är medel för EU:s återhämtning än hinder.



De viktigaste slutsatserna

1. Sveriges ambitiösa klimatmål är utmanande och kräver nya politiska styrmedel.
2. De andra nordiska länderna har liknande klimatmål, men mål och medel skiljer sig åt.
3. EU:s gröna giv höjer ribban på europeisk nivå, vilket underlättar för Sverige att klara sina mål.
4. Negativa utsläpp behövs inom några årtionden för att klara klimatmål – på global, europeisk och svensk nivå.
5. Negativa utsläpp kompenserar för framtida återstående utsläpp och för alltför höga historiska utsläpp.
6. Utsläppshandeln (EU ETS) behöver anpassas till EU:s ambitiösa klimatmål.
7. Utsläppshandeln går mot ett ”industry-only”-ETS, eller?
8. EU:s gröna giv påverkas av pandemin, men kan också bli ett viktigt medel för EU:s återhämtning.

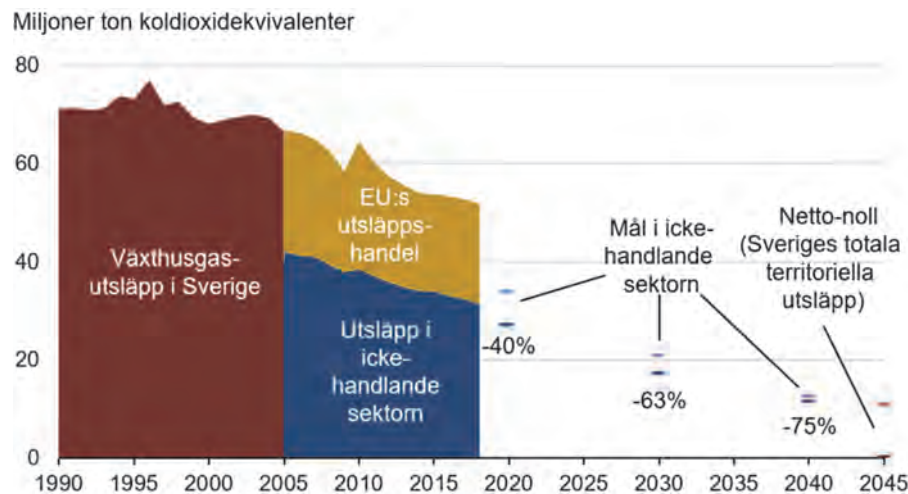
Sveriges ambitiösa klimatmål är utmanande och kräver nya politiska styrmedel

Sverige har antagit ett klimatpolitiskt ramverk (2017) som består av tre delar: nya riksdagsbundna klimatmål för klimatpolitiken, en klimatlag samt inrättandet av ett klimatpolitiskt råd. I det klimatpolitiska ramverket anges målet att Sverige, senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp. Det har även satts upp etappmål för 2020, 2030 och 2040, se Figur 1.1. Klimatlagen lagfäster att regeringens politik ska utgå från det långsiktiga, tidsatta utsläppsmål som riksdagen har fastställt. Det klimatpolitiska rådet har till uppgift att utvärdera regeringens samlade politik för att se hur förenlig den är med klimatmålen.

Innebörden av målet om nettonollutsläpp är att utsläppen av växthusgaser från svenskt territorium ska vara minst 85 procent lägre

år 2045 än utsläppen år 1990. De utsläpp som kvarstår när utsläppen minskats med 85 procent är främst metan- och lustgasutsläpp från en rad utspridda källor i samhället. Kompletterande åtgärder som kan "neutralisera" kvarstående utsläpp, behövs därför för att kunna uppnå nettonollutsläpp och därefter negativa utsläpp. Som kompletterande åtgärder räknas:

- en grupp av tekniker som har potential att ge upphov till så kallade "negativa utsläpp", främst avskiljning och lagring av biogen koldioxid, så kallad BECCS¹ (även kallat bio-CCS)
- upptag av koldioxid i skog och mark till följd av ytterligare åtgärder (som är additionella, alltså utöver de åtgärder som redan genomförs), samt
- utsläppsminskningar genomförda utanför Sveriges gränser som blir möjliga genom svenskt stöd.



Figur 1.1. Etappmålen för Sveriges klimatmål. Källa: Naturvårdsverket.

1) Bio-Energy with Carbon Capture and Storage

Av dessa är det framförallt BECCS som är relevant för energisektorn i Sverige. Den klimatpolitiska vägvalsutredningen² har tagit fram en strategi med förslag till mål för kompletterande åtgärder. Utredningens förslag är att Sverige år 2030 ska åstadkomma kompletterande åtgärder som motsvarar minst 3,7 miljoner ton koldioxid per år. År 2045 ska Sverige åstadkomma kompletterande åtgärder som motsvarar minst 10,7 miljoner ton koldioxid per år. Nivån ska kunna öka efter 2045. Vidare föreslår utredningen att omfattningen av kompletterande åtgärder ska öka kontinuerligt mellan 2021 och 2045. I strategin presenteras även åtgärder som staten behöver vidta för att få till stånd de kompletterande åtgärderna. För BECCS gäller detta exempelvis att skapa förutsättningar för transport och lagring, stödja forskning, utveckling och demonstration inom BECCS samt att tillämpa omvänd auktionering.

Sverige har mycket goda förutsättningar för BECCS genom den omfattande användningen av biobränslen inom framförallt massa- och pappersindustrin och fjärrvärmesektorn. Även åtgärder för ökad kolsänka i skog och mark har stor potential i Sverige. Mer om negativa utsläpp och framförallt BECCS finns att läsa senare i detta kapitel samt i kapitel 8 om fjärrvärme.

De andra nordiska länderna har liknande klimatmål, men de exakta definitionerna skiljer sig åt

De nordiska länderna har satt upp ambitiösa klimatmål, både individuellt genom olika nationella mål och nationell lagstiftning, och gemensamt genom en klimatdeklaration, "Declaration on Nordic Carbon Neutrality". Enligt deklarationen, som signerades 2019, ska de nordiska länderna förstärka sina klimatambitioner till 2020 och samarbeta för att uppnå växthusgasneutralitet. Målen uppfyllelse bygger på ökade insatser för utsläppsreduktioner (inklusive utveckling av CCS), skydd och förstärkning av koldioxidsänkor samt borttagning av koldioxid ur atmosfären (genom exempelvis BECCS). De olika ländernas klimatmål beskrivs nedan och sammanfattas i Tabell 1.1.

2) SOU (2020)

Danmark

2019 tog det danska parlamentet beslut om en ny klimatlag med ett åtagande om att reducera växthusgasutsläppen med 70 procent till 2030 relativt 1990 års nivå. Klimatlagen sätter ett mål om nettonollutsläpp till 2050 och inkluderar ett uppföljningssystem. 2050-målet tillåter inte att utsläppsminskningar utanför Danmark räknas in. Vart femte år kommer nya legalt bindande mål att fastställas avseende tio år framåt i tiden. Andra centrala inslag i lagen inkluderar två "energiöar" som ska leverera 4 GW el samt investeringar i ny teknik: så kallad "power-to-x" (energilagring), elektrifiering, biogas och CCS.

Finland

Finland ska sträva mot nettonollutsläpp av växthusgaser till 2035 enligt landets nuvarande regeringsprogram. Programmet innehåller förslag om kraftig ökning av vind- och solkraft, elektrifiering inom uppvärmning och transporter samt en ökning av bioenergi om tio procent. Målet inkluderar inte användning av internationella krediter.

Island

2018 presenterade Islands statsminister en ny klimatstrategi för ökade reduktioner av växthusgasutsläpp. Strategin som fortfarande förhandlas i landets parlament ska bidra till att Island når de utfästelser som ingår i landets nationellt fastställda bidrag till Parisavtalet (NDC, *Nationally Determined Contribution*) samt till att uppnå regeringens målsättning om att landet ska uppnå netto-nollutsläpp av växthusgaser före 2040. Viktiga inslag i strategin inkluderar utfasning av fossila bränslen i transportsektorn samt ökat upptag av koldioxid i skog och mark.

Norge

I början av 2020 uppdaterade Norge sitt nationellt fastställda bidrag till Parisavtalet och satte därmed målet att minska växthusgasutsläppen med minst 50-55% till 2030 relativt 1990 års nivå. Norges klimatlag ("klimatloven") från 2018 innehåller ett mål

om att Norge ska vara ett "lågutsläppssamhälle" 2050 genom att reducera utsläppen av växthusgaser med 80-95% jämfört med referensåret 1990. Regeringen har signalerat att ambitionsnivån kan komma att höjas till 90-95%. Det är oklart hur utsläppsreduktionerna skall fördelas mellan territoriella utsläppsreduktioner

och internationella klimatinsatser under Parisavtalets artikel 6. Tidigare, år 2016, fastställdes även ett klimatneutralitetsmål till 2030 förutsatt att andra länder vidtar liknande utsläppsmål. Detta mål är dock inte del av Norges nationella bidrag till Parisavtalet.

Tabell 1.1. Klimatmål i de nordiska länderna samt i EU:s gröna giv

Land	Reduktionsmål 2030 jfrt 1990	Reduktionsmål 2040	Nettonollutsläpp av växthusgaser	Särskilda villkor
Danmark	70%	-	2050	Utsläppsreduktioner måste ske på danskt territorium
Finland	55%	-	2035*	Ambition att nå neutralitetsmålet genom en balans mellan utsläpp och upptag i sankor och utan att använda internationella utsläppskrediter
Island	40% **	Nettonollutsläpp	2040*	
Norge	50-55%	-	80-95% reduktion till 2050	Norges mål från 2016 att nå nettonollutsläpp från 2030, bygger på att återstående utsläpp kompenseras med internationella utsläppskrediter och är inte del av Norges uppdaterade NDC
Sverige	63%	75% (1990)	2045	Utsläpp inom handlande sektorn ingår ej i etappmålen
EU:s gröna giv	50-60%		2050	

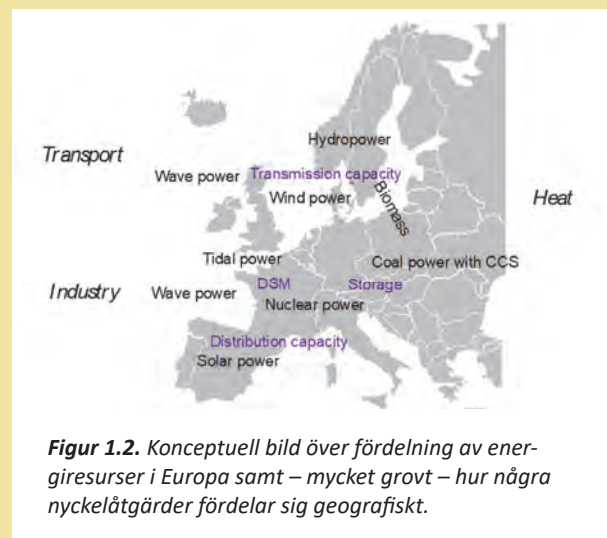
* Gällande mål

** Mål under utarbetning

OMSTÄLLNINGEN I EUROPA PÅVERKAR DET SVENSKA ENERGISYSTEMET

EU:s gemensamma inre marknad för energi ska bidra till konkurrenskraftiga priser samt hållbar och leveranssäker energiförsörjning. Den integrerade marknaden innebär exempelvis att elöverföringskapaciteten mellan medlemsländer successivt byggts ut. Satsningar inom energiområdet i ett område i EU påverkar således även omkringliggande regioner. Figur 1.2 visar en schematisk bild över typiska energiresurser som används eller finns tillgängliga i olika delar av Europa och som påverkar utvecklingen av energitillförselsystemen även framgent. Tidigare satsningar påverkar också. De nordiska länderna har till exempel hög andel el i slutlig energianvändning medan kontinentala Europa fortfarande använder mycket naturgas och fasta bränslen för uppvärmning av bostäder och lokaler.

Ett exempel på hur andra länders energipolitik även påverkar energisystem i Norden är utvecklingen i Tyskland. De använder idag ca 570 TWh fossil energi till uppvärmning av byggnader vilket på 30 års sikt ska ersättas med förnybar energi och effektiviseringar för att nå uppsatta mål. Tyskland har inte en inhemsk etablerad skogsindustri som kan frambringa denna mängd biomassa. Därför är det troligt att uppvärmning kommer ske till stor del med hjälp av värmepumpar, vilket skulle öka elefterfrågan med ca 150-200 TWh³. Detta motsvarar i storleksordningen hela Sveriges årliga elproduktion i ny efterfrågan eller en ökning av tysk elefterfrågan på 25-30% enbart för att lösa uppvärmning av byggnader. En sådan förändring skulle även ha stor påverkan på den tyska efterfrågeprofilen som till dags dato inte visar så stor temperaturkänslighet, men som skulle få större likhet med de efterfrågemönster vi ser i de nordiska länderna med högt effektbehov under vinterhalvåret.



Figur 1.2. Konceptuell bild över fördelning av energiresurser i Europa samt – mycket grovt – hur några nyckelåtgärder fördelar sig geografiskt.

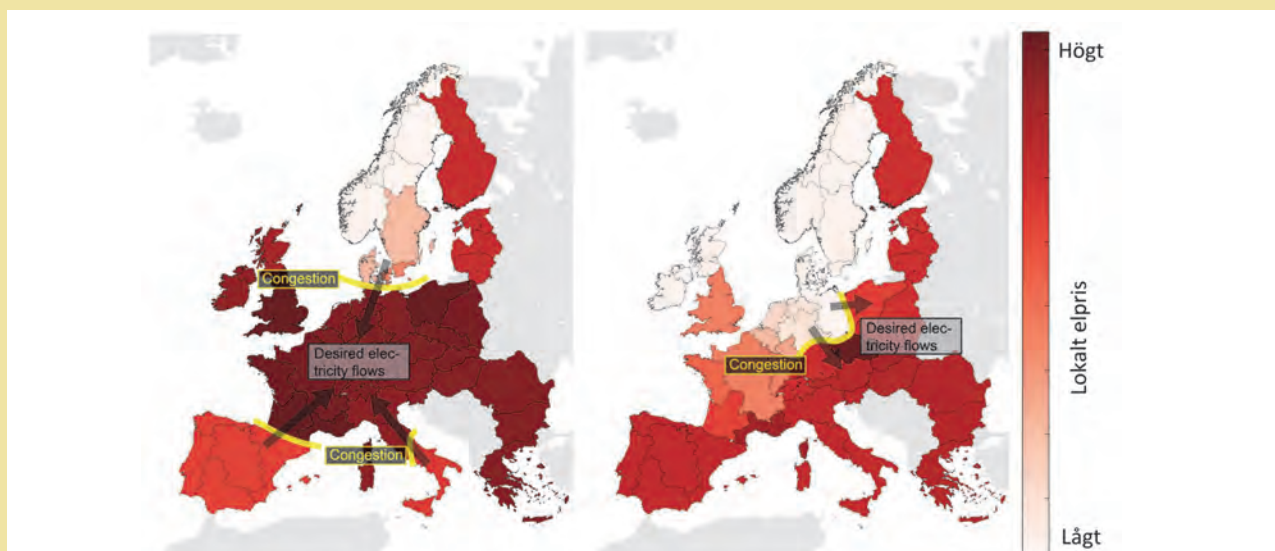
Utbyten mellan regioner och flöden i energisystem drivs i viss mån av fysiska förutsättningar, såsom tryckgradienter i sammanlänkade pipelinesystem eller jämvikt inom synkrona elsystem, men kanske i större utsträckning av de marknadskrafter som driver handel. Internationell elhandel har förekommit även före avregleringen, vilket möjliggör mer effektivt nyttjande av energiresurser. Exempelvis exporteras svårreglerad storskalig termisk kraft från Kontinentaleuropa till de nordiska länderna under nattetid medan nordisk vattenkraft sparas. Vattenkraft exporteras istället till kontinenten under dagtid.

3) Baserat på antagande om genomsnittlig värmefaktor (COP) på 3-4

Historiskt sett har elutbytet mellan länder drivits av prisskillnader på tillgänglig elproduktionskapacitet i förhållande till lokaliseringen av efterfrågan. I varje given situation finns drivkraften att använda så mycket som möjligt av den billigaste kraften med hänsyn tagen till eventuella flaskhalsar i transmissions- och distributionssystem (se Figur 1.3 för illustration). Regioner med stort elbehov och hög betalningsvilja har på så sätt givit upphov till ett handelsflöde in till dessa höglasterregioner. Nu framträder allt oftare ett nytt mönster där drivkraften handlar om att bli av med produktion från regioner med momentan överproduktion, ofta från vindkraft, som annars skulle sänka det lokala elpriset markant eller till och med leda till att viss elproduktion får

spillas. Detta illustreras till höger i Figur 1.3. Gränsöverskridande elhandel innebär bättre möjligheter att tillvarata variabel energi såsom vind- och solkraft.

Sammanfattningsvis kan det sägas att medlemsstater inom EU redan är starkt energipolitiskt integrerade och att regioner kommer påverkas både direkt och indirekt av utvecklingen i kringliggande regioner samt utvecklingen av överföringskapacitet mellan länder. Alla medlemsstater kommer således i stor utsträckning att behöva förändra sitt nuvarande energisystem och även hantera de strategier som andra länder implementerar.



Figur 1.3. Schematisk representation av drivkrafter för handelsflöden där den vänstra kartan beskriver en situation då det efterfrågas kraft i ett område med hög last och betalningsvilja, och kartan till höger en situation då det finns ett produktionsöverskott som behöver exporteras eller spillas.

EU:S INRE MARKNAD FÖR ENERGI

Energipolitik har under lång tid varit en fråga för internationellt samarbete. Inom Europa finns grundläggande principer och överenskommelser främst genom EU-förordningar som har sin grund i liberaliseringsdirektiven för el som antogs 1996 och för gas 1998. Dessa direktiv föreskrev att medlemsstaterna skulle anpassa sina nationella rättssystem i enlighet med direktiven senast 1998 (el) och 2000 (gas). Målet var att garantera fullbordandet av EU:s inre marknad för energi, det vill säga en marknad utan handelshinder, med fritt marknadstillträde och ett starkt konsumentskydd inom hela EU. Ett andra energipaket antogs 2003 med full nationell implementering 2004 (förutom vissa undantag som trädde i kraft 2007). Sedan det andra energipaketet kan industriella och privata förbrukare fritt välja el- och gasleverantör bland samtliga aktörer inom den inre marknaden. Under 2009 utarbetades ett tredje energipaket som ytterligare stärker den inre energimarknaden. Under 2019 godkändes det fjärde och senaste energipaketet bestående av eldirektivet ⁴ samt elförordningen ⁵, förordningen om riskberedskap ⁶ och förordningen om byrån för samarbete mellan energitillsynsmyndigheter (Acer).⁷

4) EU (2019a)

5) EU (2019b)

6) EU (2019c)

7) EU (2019d)

8) EU (2016)

Det fjärde energipaketet innehåller regler som ska kunna garantera att behovet av förnybar energi kan tillgodoses, öppnar för incitament till konsument samt ger möjlighet till stöd till kraftverk inom ramen för en kapacitetsmekanism. Vidare kräver nu gällande direktiv och förordningar att medlemsstaterna utarbetar beredskapsplaner för potentiella elkriser samt ger energitillsynsmyndigheter ökade befogenheter vid gränsöverskridande tillsynssamarbete. Utöver gemensamma regelverk som ger förutsättningar för en integrerad energimarknad finns även gemensamma mål och uppföljning, exempelvis föreskriver förordningen Ren energi för alla ⁸ en gemensam målbild för EU år 2030 i termer av förnybar andel energi i energianvändningen (32%) och minskade utsläpp av växthusgaser (40% relativt 1990 års utsläpp). Det pågår nu förhandlingar inom EU om att öka ambitionerna i klimatmålet. Förordningen föreskriver även att medlemsstater ska lämna in en nationell handlingsplan inför varje nytt årtionde för hur målen kan nås samt långsiktig politisk vision om hur Parisavtalet kan nås till år 2050, inklusive medlemsstaternas nationellt fastställda bidrag till Parisavtalet (NDC, *Nationally Determined Contribution*). Således är energipolitiken inom EU starkt sammanlänkat regelmässigt såväl genom fysiska internationella marknader som infrastrukturella system. Ingen medlemsstat kan därför hävda total suveränitet med avseende på hur nationella energisystem regleras.

EU:s gröna giv höjer ribban på europeisk nivå, vilket underlättar för Sverige att klara sina klimatmål

Det övergripande syftet med EU:s klimatpolitik är att bidra till att hålla den globala temperaturökningen under 1,5 grader Celsius till år 2100.⁹ För att säkerställa Parismålen och klimatpolitiken fram till 2050 har EU-kommissionen tagit fram ett förslag på klimatlag som Europaparlamentet och ministerrådet ska behandla. I december 2019 ställde sig Europeiska rådet bakom ett klimatmål att EU år 2050 ska ha nettonollutsläpp av växthusgaser.¹⁰

EU:s gröna giv ("European Green Deal", se Figur 1.4) är EU-kommissionens strategi för tillväxt och omställning för Europa fram till 2024 och omfattar en mängd olika politiska delområden. Den gröna given innehåller ett femtiotal åtgärds punkter som ska möjliggöra för EU att uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser år 2050. EU:s gröna giv är ett sätt att utveckla EU:s tillväxtstrategi och att modernisera den europeiska ekonomin samt bidra till stärkt konkurrenskraft. Klimat och digitalisering ses som prioriterade områden för att driva denna ekonomiska modernisering. Den gröna given är den politiska efterträdaren till Juncker-kommissionernas "Energy Union" som övergripande politisk strategi för att säkerställa en koordinering av EU:s energi-, klimat- och industripolitik. Med den gröna given har den industriella dimensionen fått ökad betydelse, tillsammans med en mer uttalad social dimension för att hjälpa omställningsarbetet i regioner som står inför särskilda utmaningar när det gäller att fasa ut kolintensiva energisystem.

Ett antal specifika politiska initiativ beskrivs i en bilaga till den gröna given, varav några redan genomförs. I mars 2020 släppte Kommissionen ett förslag om en klimatlag för att skapa ett långsiktigt och övergripande ramverk för klimatomställningen inklusive målet om nettonollutsläpp av växthusgaser år 2050. I slutet av maj 2020 presenterades ett kompromissförslag om den nya klimatlagen. Under hösten 2020 har livliga diskussioner (och konsekvensanaly-

ser) pågått om att öka ambitionen i 2030-målet från dagens 40% utsläppsminskning jämfört med år 1990 till 50%, 55% eller till och med 60%. 6 oktober 2020 röstade så EU-parlamentet igenom att skärpa målet till 60% reduktion, alltså en kraftig ambitionsökning från nu gällande 2030-mål. Förslaget måste sedan passera EU:s lagstiftningsprocess, en process som i allmänhet tar ungefär två år. Vissa detaljer som kan lösas i denna process inkluderar den exakta formuleringen av EU:s 2050-mål, vilket kan skapa tydlighet i EU:s användning av negativa utsläpp, och därmed också om de framtida behoven för en BECCS- och CCS-strategi.

Det skärpta 2030-målet avseende minskning av växthusgasutsläpp innebär att även andra mål för förnybar energi och energieffektivitet kommer att behöva revideras. Dessutom ligger den känsliga frågan om energibeskattnings på bordet inom EU igen.

Utfasning av fossila bränslen inom industrin spelar en viktig roll i den gröna given. Utsläppen i den industriella delen av den handlande sektorn har legat relativt stabilt under ett antal år och har inte minskat som utsläppen har gjort i kraftsektorn. En ny konsensus har vuxit fram att fler typer av politisk styrning än enbart prissättning av växthusgasutsläpp krävs för att leverera långtgående reduktioner av industrins utsläpp. Denna diskussion är nära kopplad till industriell konkurrenskraft som kommer att bli ännu viktigare i samband med den ekonomiska återhämtningen efter coronapandemin. Den gröna given föreslår att en mekanism för gränsskattejusteringar införs så att importerade energiintensiva produkter kommer att debiteras avgifter som korresponderar till priset på utsläppsrätter inom EU:s utsläppshandel (EU ETS). Detta kan i teorin ta itu med läckageproblematik men är en både tekniskt och politiskt utmanande fråga.

Den gröna given inkluderar också ett betydande antal industripolitiska förslag, såsom sektors- eller tekniks specifika åtgärder samt bredare horisontella strategier. Offshore vind, vätgas som energi-

9) 2019/2582(RSP)

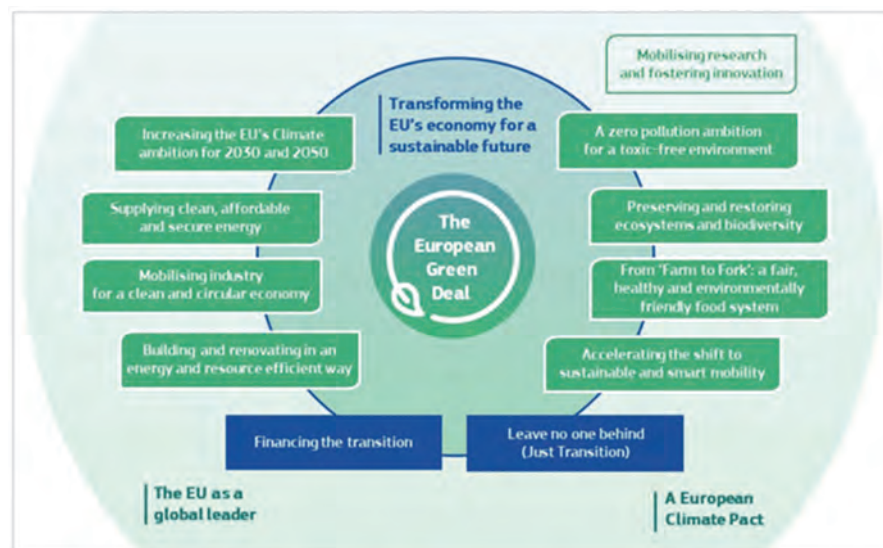
10) Dock med undantag för Polen som ska återkomma i frågan

bärare, koldioxidsnål ståltillverkning och renovering av byggnader är exempel på riktad politik. I mars 2020 släppte emellertid kommissionen också en uppdaterad industriell strategi och en ny handlingsplan för cirkulär ekonomi. Många av dessa framtidstekniker, liksom det framtida energisystemet mer generellt, kräver också investeringar i infrastruktur. Detta återspeglas i såväl den gröna given som i några av de ekonomiska återhämtningsförslagen.

Utöver klimatomställningen syftar den gröna given även till att koppla samman andra delar av miljöagendan, såsom strategier för biologisk mångfald, skogsbruk, jordbruk och livsmedelsproduktion samt luftföroreningar. För att genomföra en sådan bred agenda krävs att prioriteringarna i den gröna given återspeglas inom andra policyområden, vilket huvudsakligen återspeglas i ett antal förslag

angående en hållbar finanssektor, till exempel om icke-finansiell rapportering.

EU:s ambitiösa klimatmål för 2030 och 2050 underlättar för Sverige och de övriga nordiska länderna att klara sina klimatmål. Om Sverige (och andra nordiska länder) skulle ha väsentligt ambitiösare klimatmål än EU finns det risk för koldioxidläckage, d.v.s. att koldioxidintensiv produktion i Sverige flyttar ut. Det riskerar att skapa ett opinionstryck på svenska beslutsfattare vilket kan sakta ner klimatomställningen i Sverige. Med mer jämförbara klimatmål i EU blir det därför lättare för Sverige att driva sin klimatpolitik. Målen i den gröna given ligger väl i linje med de klimatpolitiska mål som redan har etablerats i de nordiska länderna (vilket illustreras i Tabell 1.1).



Figur 1.4. "European Green Deal". Källa: Europakommissionen.

Negativa utsläpp behövs inom några årtionden för att klara målen i Parisavtalet

Antropogen påverkan på klimatet har hittills bidragit till en uppvärmning om cirka 1 grad Celsius över förindustriella nivåer. Ökningen fortsätter i en takt om cirka 0,2 grader per årtionde. FN:s klimatpanel IPCC bedömer att de risker som den globala uppvärmningen utsätter ekosystem och samhällen för kan begränsas avsevärt om den globala uppvärmningen inte tillåts överstiga 2 grader och i ännu större utsträckning om uppvärmningen begränsas till 1,5 grader.¹¹ Parisavtalets parter åtog sig 2015 att agera för att begränsa den globala temperaturökningen detta århundrade till långt under 2 grader och att sträva efter att begränsa temperaturökningen till 1,5 grader. Parterna enades i avtalet även om att en balans ska uppnås mellan antropogena utsläpp från källor och upptag i sänkor under andra halvan av detta århundrade.

IPCC presenterar i sin specialrapport om 1,5 graders uppvärmning scenarier för 1,5 respektive 2 graders temperaturhöjning. De största skillnaderna mellan de två temperaturnivåerna rör främst koldioxid. De ytterligare utsläppsreduktioner som behövs för det ambitiösare målet åstadkoms huvudsakligen genom en snabbare minskning av utsläppen från användning av fossila bränslen. I elproduktionssektorn är mycket av reduktionspotentialen uttömd till 2050 redan i 2-gradersscenarierna. 1,5-gradersscenarierna utmärks dels av en ännu snabbare reduktionstakt i elsektorn under den första hälften av tiden fram till 2050, dels av mycket mer omfattande utsläppsminskningar i framförallt industri- och transportsektorerna, men även i byggnadssektorn.^{12 13}

Åtgärder på efterfrågesidan (ökad energi- och resurseffektivisering) samt åtgärder som möjliggör en hög integrering av variabel förnybar elproduktion är också bärande beståndsdelar i 1,5-gradersscenarierna. När det gäller andra växthusgaser än koldioxid uppvisar scenarier för 1,5 grader respektive 2 grader stora likheter.

1,5-gradersscenarierna karaktäriseras av en väldigt begränsad flexibilitet att välja var utsläppsminskningar ska ske. Styrning och styrmedel måste utformas för att skyndsamt åstadkomma utsläppsminskningar i alla sektorer världen över. Av särskild vikt är att vidta snabba åtgärder för att minska koldioxidutsläppen från global kraftproduktion under kommande årtionde.

Negativa utsläpp kompenserar för framtida återstående utsläpp och för alltför höga historiska utsläpp

IPCC:s 1,5-gradersscenarier är indelade i fyra huvudscenarier (se Figur 1.5 på nästa sida). Av figuren framgår att negativa utsläpp spelar en roll, men olika stor, i samtliga scenarier från ungefär 2040 och framåt. Behovet av negativa utsläpp avgörs i stor utsträckning av hur snabbt utsläppen av växthusgaser minskar. Med snabbare och mer omfattande utsläppsminskningar följer ett mindre behov av negativa utsläpp.

Negativa utsläpp har två huvudsakliga funktioner, dels att snabbare nå nollutsläpp genom att kompensera för residuala utsläpp (återstående utsläpp som är mycket dyra att åtgärda), dels att i efterhand kompensera för en överskriden koldioxidbudget. Det sistnämnda kan till och med innebära att temperaturen toppar över målet och sedan går tillbaka genom kraftfulla klimatåtgärder. I samtliga scenarier spelar negativa utsläpp en avgörande roll för att begränsa temperaturökningen till 1,5°C. De åtgärds kategorier för negativa utsläpp som ingår i IPCC-scenarierna är bioenergi med avskiljning och lagring av koldioxid, varav merparten sker efter 2050, samt ökat upptag av koldioxid genom förstärkning av sänkor i skog och mark.¹⁴ Läs vidare om BECCS och möjligheterna för den svenska fjärrvärmesektorn i kapitlet om fjärrvärme.

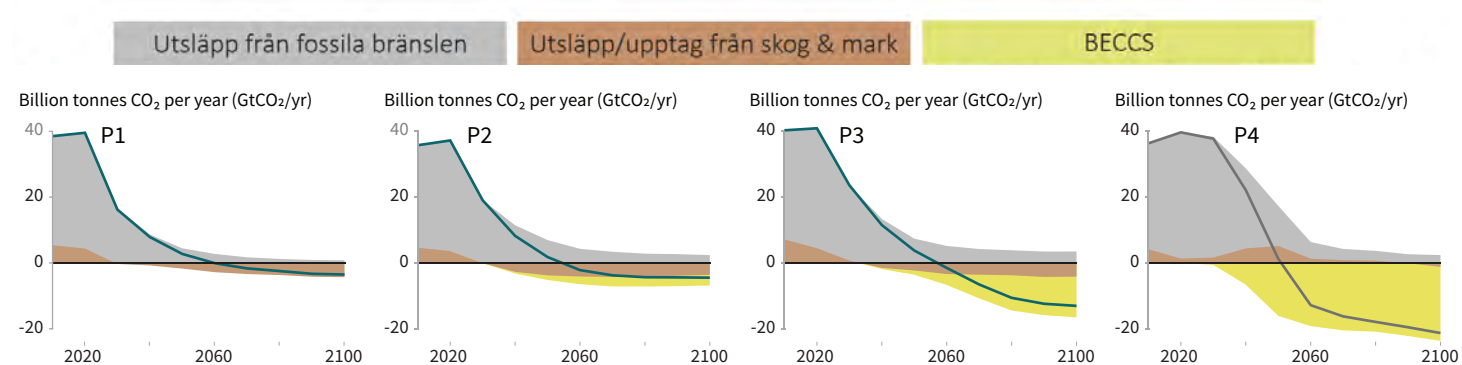
Med ett mål om nettonollutsläpp av växthusgaser till år 2045 (Sverige) respektive 2050 (EU), samt nettonegativa utsläpp därefter kommer det att behövas ökande volymer negativa utsläpp för att

11) IPCC (2018)

12) Rogelj, J., m.fl. (2015)

13) IPCC (2018)

14) Så kallade LULUCF-sektorn (LULUCF = Land use, land use-change and forestry)



Figur 1.5. Utsläpp av växthusgaser samt användning av åtgärder för negativa utsläpp i IPCC:s fyra huvudscenarier för att begränsa den globala uppvärmningen till 1,5°C. BECCS = avskiljning och lagring av biogen koldioxid. Källa: IPCC (2018).

klara klimatmålen, både på svensk, europeisk och global nivå. CCS kommer att behövas för att få ner utsläppen i stål- och cementproduktionen, men resulterar inte i negativa utsläpp. Därför behövs negativa utsläppstekniker, där BECCS troligen kommer bli ett viktigt inslag. Det innebär att värdet på (hållbara) biobränslen kommer att öka och att BECCS-anläggningar behöver byggas särskilt inom massa- och pappersindustrierna och i energisektorn. Användningen av restprodukter från skog kommer behöva effektiviseras eftersom värdet på dessa restprodukter ökar. En infrastruktur för transport och lagring av CO₂ behöver också utvecklas. Allt detta måste ske på ganska kort tid för att klara de uppsatta målen.

Utsläppshandeln behöver anpassas till EU:s ambitiösa klimatmål

EU:s utsläppshandel (EU ETS) behöver anpassas till EU:s långsiktiga klimatmål. Nu nås nollutsläpp i EU ETS år 2058 medan klimatmålet är nettonollutsläpp åtta år tidigare. Om EU ETS reformeras så att nollutsläpp nås år 2050 behöver den linjära reduktionsfaktorn (LRF), som nu är 2,2%, ändras. Om reformen träder i kraft exempelvis år 2030 kommer LRF behöva ändras till 3,0%.

Detta aktualiserar frågan om vad som kommer att bli slutstadiet för EU ETS. Man kan tänka sig tre möjligheter: 1) att utsläpp (och tilldelning av utsläppsrätter) går mot noll något visst år (till exempel år 2050) och stannar vid noll därefter; 2) att utsläppstrenden fortsätter nedåt och övergår till negativa utsläpp efter 2050; 3) att utsläppen når en lägsta nivå ett visst år och planar ut vid denna nivå.

EU ETS går mot ett "industry-only"-ETS, eller?

Den snabba utfasningen av kolkraft innebär att vi runt 2030 kommer ha ett utsläppshandelssystem som mestadels består av industrianläggningar och omfattar ca en tredjedel av EU:s totala utsläpp. Man kan då fråga sig om EU ETS verkligen är en hörnpelare i EU:s klimatomställning. Frågan uppmärksammades av Ursula von der Leyen som sommaren 2019 föreslog att transporter och bostadsuppvärmning skulle införas i EU ETS. I EU:s gröna giv hade frågan till viss del tonats ner, men konkret gick man vidare med att utreda möjligheten att införa sjöfarten som en del i EU ETS.

Skolboksversionen av utsläppshandel argumenterar för att ju fler sektorer som ingår desto högre blir kostnadseffektiviteten. Därför

är det inte konstigt att EU-kommissionen överväger att ansluta transport- och värmesektorn i ett krympande ETS. Det som dock talar emot införandet av vägtransporter är, förutom praktiska problem med var kvotplikten ska ligga, att vägtransporterna riskerar att köpa upp alla utsläppsrätter vilket skulle innebära en prisökning och ökade kostnader för industrin. Å andra sidan – i takt med att transporter blir allt mer elektrifierade blir transportsektorn mer länkad till elproduktionen och indirekt länkad till EU ETS ändå. I slutändan talar dock mycket för att man vill behålla kontrollen över utvecklingen av transportsektorns utsläpp och arbeta med transportspecifika styrmedel.

En av fördelarna med utsläppshandel är att det innebär en garanti för att ett utsläppsmål nås. På lång sikt kan man därför tänka sig en utveckling där man huvudsakligen har sektorsspecifika styrmedel inom transporter, industri och energisektorn och dessutom har ett utsläppshandelssystem som omsluter alltihop och som garanterar att utsläppsmålen nås. Då skulle EU ETS vara ett kompletterande styrmedel istället för tvärtom. En sådan lösning finns idag i Kalifornien.

Följderna av Covid-19 ger skäl att överväga förändringar i EU ETS

Den ekonomiska avmattningen i Covid-19-pandemins spår kan få konsekvenser för EU ETS. I samband med tidigare ekonomiska kriser har priset för utsläppsrätter inom EU ETS sjunkit till väldigt låga nivåer när efterfrågan har avtagit. Idag finns marknadsstabilitetsreserven (MSR, *Market Stability Reserve*) som ett skydd mot att stora överskott av utsläppsrätter ackumuleras och därmed förknippade prisras. En analys visar dock att det är osannolikt att den takt med vilken utsläppsrätter dras tillbaka räcker till för att hindra en ökning av överskottet av utsläppsrätter.¹⁵ Detta kan ge anledning att se över regelverket för handelssystemet.

Den planerade översynen av marknadsstabilitetsreserven år 2022 ger EU-kommissionen en möjlighet att förstärka handelssystemets effektivitet så att en tydlig prissignal kan säkras. Detta kan göras antingen genom att uppdatera parametrarna för MSR, genom att överväga alternativ såsom ett prisgolv eller en hybrid, till exempel genom att låta MSR ingripa baserat på en ”pris-trigger” snarare än en trigger baserad på kvantitet.

EU:s gröna giv påverkas av pandemin, men kan också bli ett viktigt medel för EU:s återhämtning

Med den pågående pandemin har samordning av folkhälsopolitiken i EU och ekonomisk återhämtning ersatt klimatomställningen och digitaliseringsstrategin (”the twin transition”) som EU-kommissionens främsta prioriteringar. Men både netto-nollmålet och digitalisering ligger till grund för utformningen av kommissionens återhämtningsförslag. Även om kommissionens krav utan tvekan är att öka den ekonomiska återhämtningen (och skydda EU:s sammanhållning) kommer den gröna given att vara ett av medlen. Både kommissionen och olika medlemsstater har upprepat vikten av den gröna given och investeringar i klimatomställning i EU:s finansieringsförslag för återhämtning.

Den sociala dimensionen av den gröna given var inledningsvis begränsad till rättvis omställning (mekanismen ”*Just Transition*”) och en investeringsplan för ett hållbart Europa. I samband med pandemin får dessa frågor ökad betydelse eftersom perioden av ekonomisk återhämtning potentiellt kan försvåra övergången till en mer klimatneutral ekonomi. ”Just transition”-elementen i den gröna given har en stor potentiell betydelse i sammanhanget. De kan bidra till att säkerställa sammanhållningen mellan EU:s medlemsländer, som skiljer sig åt mycket avseende fiskal kapacitet och hur påverkan av Covid-19 har gestaltat sig samt har olika utgångslägen när det gäller växthusgasintensitet i ekonomin liksom när det gäller energiintensitet och konkurrenskraft mer generellt.

15) Elkerbout och Zetterberg (2020)

I coronapandemins efterdyningar är förhoppningarna stora på att förändrade och bestående värderingar leder till en snabb omställning till ett hållbart och resurseffektivt samhälle. Fallgroparna är dock många och det finns mycket som pekar på att kraven på en snabb återgång till det normala istället kan öka målkonflikterna i samhället och skapa nya utmaningar för omställningen. Pandemin har i alla fall visat på hur snabbt utvecklingen kan gå från öppna gränser och samarbete till isolationism och fokus på nationella

behov. Den har också visat hur otroligt snabbt utsläppen kan förändras av en oväntad händelse. En artikel i *Dagens Nyheter* (2020-10-16) diskuterar även kring de enorma ekonomiska resurser som satsas globalt på att få igång ekonomin efter pandemin och att dessa är betydligt högre än vad som behövs för att klara klimatutmaningen. Vi står alltså i ett vägsål nu där det är osäkert om pandemin kommer att underlätta eller försvåra klimatomställningen.

”

EU:s gröna giv påverkas av pandemin, men kan också bli ett viktigt medel för EU:s återhämtning"



SVERIGES ENERGIPOLITIK UNDER 50 ÅR – EN ÅTERBLICK

Energipolitik, liksom all annan politik, är ett barn av sin tid. Starkt förenklat kan man säga att varje decennium sedan 1970-talet har präglats av en nyckelfråga. Politiken på 1970-talet handlade framför allt om oljeberedskap och oljeersättning. Decenniet därpå påverkades starkt av kärnkraftsolyckorna. På 1990-talet förespråkades i allt

högre grad avregleringar och marknadslösningar. Det nya millenniets första tio år gick i klimatets tecken, medan de senaste tio åren har satt starkt fokus på frågor om förnybar energi. Sambanden mellan trender i omvärlden och energipolitikens fokus kan illustreras på följande sätt.

TRENDER I OMVÄRLDEN



Den moderna energipolitiken sägs ofta ha inletts i början av **1970-TALET**. Bakgrunden var de två oljekriser som påverkade hela världen, först vintern 1973/74 i samband med det s.k. Oktoberkriget (Jom Kippurkriget) mellan ett antal arabländer och Israel, sedan 1979/80 i samband med den iranska revolutionen. Totalt ökade oljepriset under denna period nästan tiofalt, från tre dollar per fat i början av 1970-talet till över 30 dollar per fat i början av 1980-talet. Oron för ekonomin och för den fysiska tillgången på energi gav upphov till krav på statliga insatser.

1970-talets energipolitik präglades därför i hög grad av försörjningstrygghet. Västvärldens energiförsörjning dominerades vid denna tidpunkt av råolja och oljeprodukter, som till övervägande del importerades från Mellanöstern. Nära tre fjärdedelar av Sveriges energitillförsel utgjordes av råolja och oljeprodukter. I samband med de snabba prishöjningarna på olja genomfördes ransoneringar och beredskapslagring, internationella avtal och andra åtgärder för att begränsa effekterna. Också hushållning med energi liksom prospektering efter olja och andra energikällor präglade denna period. På 1970-talet bildades också Internatio-

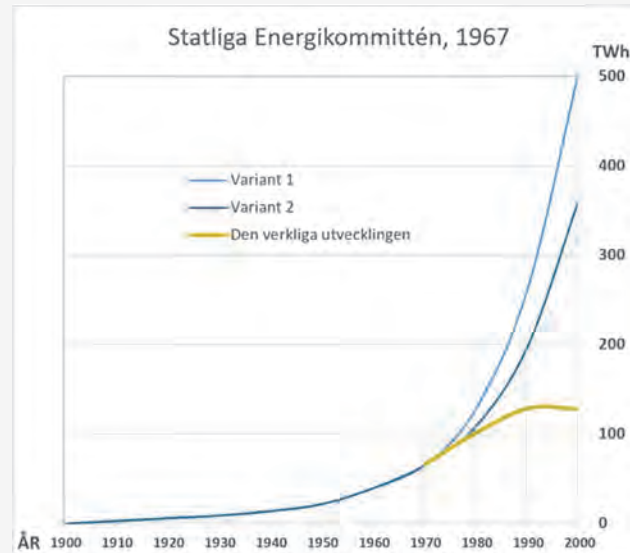
nal Energy Agency (IEA) delvis som motvikt till oljekartellen Opec (Organisation of Petroleum Exporting Countries) som hade bildats år 1970. I samband med oljekrisen 1973 skedde periodvis ransoneringar av både bensin och el.

Parallellt med oron för oljeförsörjningen började allt fler ifrågasätta den utbyggnad av kärnkraft som tidigare hade beslutats. Energidebatten kom också att präglas av mer övergripande frågor om "tillväxtens gränser" och villkoren för människans långsiktiga överlevnad.

Det hade visserligen förekommit statliga planer och politiska åtgärder innan dess, framför allt avseende beredskap och industrins konkurrenskraft. Men de första mer samlade politiska viljeyttringarna uppstod först på 1970-talet. 1975 års energipolitiska beslut innebar bl.a. att man i princip skulle uppnå nolltillväxt i energianvändningen på sikt (utan att något årtal angavs) och att man skulle sträva efter att bibehålla handlingsfriheten när det gällde utbyggnad av kärnkraft.

1970-talet blev en brytningstid mellan efterkrigstidens ibland ohämmade utvecklingsoptimism och en mer kritisk syn på ekonomisk tillväxt och användning av naturresurser. Det är i ljuset av detta som man får betrakta den tidens energi- och elprognoser. Den statliga Energikommittén bedömde t.ex. i sitt betänkande, som publicerades år 1967, att elanvändningen år 2000 skulle hamna mellan 350 och 500 TWh. Utfallet blev i själva verket "bara" 129 TWh (se Figur 1.6).

Centrala driftledningen (CDL), ett samarbetsorgan för kraftproducenterna, publicerade år 1972 en prognos enligt vilken det skulle behövas 24 kärnkraftsaggregat i Sverige



Figur 1.6. Scenarier för elbehovets utveckling och verkligt utfall.
Källa: Energikommittén (1967)

1990, dvs dubbelt så många som sedermera faktiskt kom att uppföras. Knappt tio år senare, 1982, publicerade CDL en ny prognos för 1990, som förutsåg ett elbehov på 130 TWh (vilket också ungefär blev utfallet). Huvudorsaken till denna halvering jämfört med 1972 års prognos var oljekrisen 1973, som ställde många prognoser på huvudet.

Den första svenska Energikommisionen tillsattes år 1976. Enligt sina direktiv skulle utredningen redovisa och utvärdera ett antal alternativa energiprogram (energibalanser) för tiden fram till omkring 1990. I minst ett alternativ skulle kärnkraften vara helt avvecklad vid 1980-talets mitt. Energi-

politiken i slutet av 1970-talet kännetecknades också av kvantitativa målsättningar (som t ex att oljans andel av den totala energianvändningen skulle minska till 40 % och att användningen av kol skulle begränsas till 3-4 miljoner ton per år).

Genom 1979 års energipolitiska beslut ändrade energipolitiken karaktär till ett mer pris- och marknadsmässigt synsätt. Ett nytt energiskattesystem infördes, vilket resulterade i att flera styrsatser på energi infördes. Stöd till investeringar i energibesparande åtgärder inom industrin och bostadssektorn fortsatte. Oljeanvändningen minskade märkbart från början av 1980-talet genom att inhemska bränslen och el från vatten- och kärnkraft ersatte oljan. Industrin ökade sin mottrycksproduktion samtidigt som en förskjutning mot ökad elanvändning skedde.

1980-TALET kom dock framför allt att präglas av efterdyningarna till kärnkraftsolyckorna i USA (Three Mile Island) och Tjernobyl. Olyckorna gav upphov till en förnyad debatt om kärnkraftens roll i energisystemet, vilket bland annat manifesterades i den folkomröstning om kärnkraften som hölls i mars 1980. Riksdagens energipolitiska beslut samma år innebar att, utöver de reaktorer som redan var i drift, enbart de reaktorer som var färdiga eller under arbete, skulle få tas i drift. Den svenska energidebatten kom därefter (och fram till våra dagar) till stor del att ägnas åt att diskutera alternativ till kärnkraft.

Under 1980-talet började också energisektorns inverkan på miljön uppmärksammas, främst vad gäller förorening och övergödning. Att minska energisektorns skadliga miljöpåverkan blev ett nytt mål för energipolitiken. Den första

svenska miljöministern utnämndes 1985, och Miljödepartementet bildades år 1987.

I mitten av 1980-talet förändrades förutsättningarna för energipolitiken åter genom att oljepriserna på världsmarknaden sjönk kraftigt, till följd av vikande efterfrågan. Staten drog successivt ned på investeringsbidragen till förmån för mer grundläggande forsknings- och utvecklingsinsatser.

1990-TALET brukar ofta beskrivas som en period då man i särskilt hög grad hyllade marknadsekonomi. Då genomfördes avregleringar (ofta kopplade till privatiseringar) av tidigare reglerade eller statsmonopoliserade sektorer såsom järnvägar, telenät och elförsörjning. Inspirationen hämtades framför allt från Storbritannien och USA. Grundtanken var att skilja monopolverksamheten (ofta infrastrukturen) från den konkurrensutsatta delen av marknaden, och att låta den statliga regleringen enbart omfatta monoporsektorn.

I Sverige skedde en omreglering av elmarknaden med början år 1996, och vid ungefär samma tid beslutades det första så kallade energipaketet inom EU, där Sverige blivit medlem år 1995. De politiska förslagen byggde på tanken om en tydlig åtskillnad mellan å ena sidan det reglerade monopolet, å andra sidan den konkurrensutsatta handeln och produktionen av el och naturgas. För att förbereda omregleringen i Sverige hade högspänningsnätet (transmissionsnätet) redan år 1992 skilts av från dåvarande Statens vattenfallsverk och blivit ett eget affärsverk (Svenska kraftnät) med uppgift att betjäna alla som ville transportera högspänd el. Dåvarande Statens vattenfallsverk omvandlades år 1992 till ett statligt bolag, som skulle konkurrera på lika villkor med andra kraftproducenter. I slutet av decen-

niet började man också utreda nya typer av ekonomiska styrmedel såsom handel med utsläppsrätter och elcertifikat.

Under **2000-TALET** skedde en tydlig förskjutning i energipolitiken, från ekonomi och konkurrenskraft till miljö och klimat. Klimatfrågan hade uppmärksammats politiskt redan under 1980-talet men blev föremål för gemensamma internationella beslut först år 1992, i form av FN:s klimatkonvention. År 1997 slöts Kyotoprotokollet, vilket var första gången som ett stort antal länder enats om kvantitativa mål för utsläppsminskningar av koldioxid och andra växthusgaser. Till följd av 1980-talets kärnkraftsolyckor hade enligt opinionsinstituten det folkliga motståndet mot kärnkraft successivt blivit större. Men på grund av det allt större intresse som riktades mot klimatfrågan fick kärnkraften ändå ett visst opinionsmässigt och politiskt uppsving. Under 1990-talet fattades flera politiska beslut om kärnkraftens framtida roll. De två reaktorerna i Barsebäck i södra Sverige stängdes år 1999 respektive 2005.

Efter millennieskiftet fick samarbetet inom EU en större betydelse, vilket så småningom ledde till besluten år 2009 om de så kallade 20-20-20 målen: ett kollektivt åtagande om 20 procent energieffektivisering, 20 procent förnybar energianvändning och 20 procent minskning av utsläppen av växthusgaser fram till 2020.

Under den senaste tioårsperioden har vindkraft och annan förnybar energi i allt högre grad kommit att accepteras som möjliga större inslag i den framtida energiförsörjningen. De politiska beslut som har fattats har i mångt och mycket varit inriktade på att stödja utvecklingen av vind, bioenergi och

solenergi, bland annat genom olika typer av statligt stöd. Kärnkraftsolyckan i Fukushima i Japan år 2011 har givit ytterligare draghjälp åt ambitionerna kring förnybart.

Men diskussionen om elförsörjningen i stort har på senare tid också fått ett annat fokus. Före avregleringarna i mitten av 1990-talet hade en stor överkapacitet byggts upp i produktionssystemet, till stor del till följd av de optimistiska prognoser som tidigare hade publicerats. Det svenska kärnkraftsprogrammet innebar att det under mindre än femton år (1973-1986) tillkom en produktionskapacitet på över 10 000 MW, motsvarande en årsproduktion på 70-80 TWh per år. Den goda kapaciteten ledde till låga elpriser, vilket – helt i linje med marknadsekonomens lagar – minskade incitamenten till nyinvesteringar. Sedan dess har produktionsanläggningar och nät successivt åldrats, samtidigt som nyinvesteringarna har varit förhållandevis låga.

Genom att s.k. intermittent energi (främst vindenergi) har ökat sin andel av elproduktionen, har det uppstått en oro för kapacitetsproblem i elsystemet. Oron har spärts på av att det har uppstått lokala kapacitetsproblem, främst i storstadsområdena, till följd av otillräckliga investeringar, minskad lokal elproduktion och ökad befolkning. Sammantaget har detta lett till krav på offentliga ingripanden. En liknande diskussion förs inom andra infrastrukturområden såsom järnvägar och VA-system.

Dagens energipolitik och vår syn på energibehovet i framtiden har alltså vuxit fram genom kriser och olyckor, paradigmskiften och teknologiska genombrott. Hur den framtida utvecklingen inom energiområdet kommer att gestalta sig är lika svårt att sia om idag som för femtio år sedan.

Världspolitikens utveckling, teknikutveckling, ekonomisk tillväxt och det allmänna opinionsläget kommer alla att spela in, liksom en rad andra faktorer.

Idag står klimatfrågan högt på den politiska agendan. Och även om den, som framgått ovan, fick fäste i energidebatten redan på 1990-talet, så har det tillkommit en *”sense of urgency”* – en insikt om att det är bråttom och att det krävs mer än ambitiösa mål. Många riktar nu blicken mot energisektorn. Ren energi och i synnerhet ren elektricitet, ses nu av allt flera inte bara som ett nödvändigt smörjmedel för ekonomin, utan som en möjliggörare och utvecklingsagent.

Elektrifiering, sektorskopplingar och nettonollutsläpp är frågor som präglar mycket av energi- och klimatfokus idag, det vill säga i början av **2020-TALET**. Det återstår att se om det även retrospektivt kommer att visa sig haft betydelse för 2020-talets energipolitiska fokus.

Hur åtgärder för att tackla klimatfrågan kommer att påverka vår framtidsbild och den politiska agendan är svårt att bedöma. Men ser man tillbaka är det tydligt att energipolitiken i sig själv har haft, och kommer att ha, en stor betydelse både för hur vi ser på framtiden och hur den faktiskt kommer att gestalta sig. Som framgått har man genom (mer eller mindre väl underbyggda) politiska beslut kunnat – och kommer att kunna – ändra riktning på utvecklingen. Och ju bättre vi förstår vad som påverkar energibehovet, vilka tekniska möjligheter som finns och är under utveckling, och hur samhället i stort kan komma att förändras, desto bättre rustade står vi att möta framtiden.

Kapitel 2



Elanvändningen förväntas öka kraftigt, men med stor osäkerhet

Den svenska energianvändningen har under lång tid legat på en konstant nivå och förväntas göra det även i framtiden. Även elanvändningen har under de senaste 30 åren legat stilla, men användningen förväntas nu öka, till stor del

som ett led i att klara klimatutmaningar i olika sektorer. Osäkerheten om elanvändningen på lång sikt är dock stor. De parametrar som har störst påverkan på den framtida elanvändning är energieffektivisering och tekniskiften.

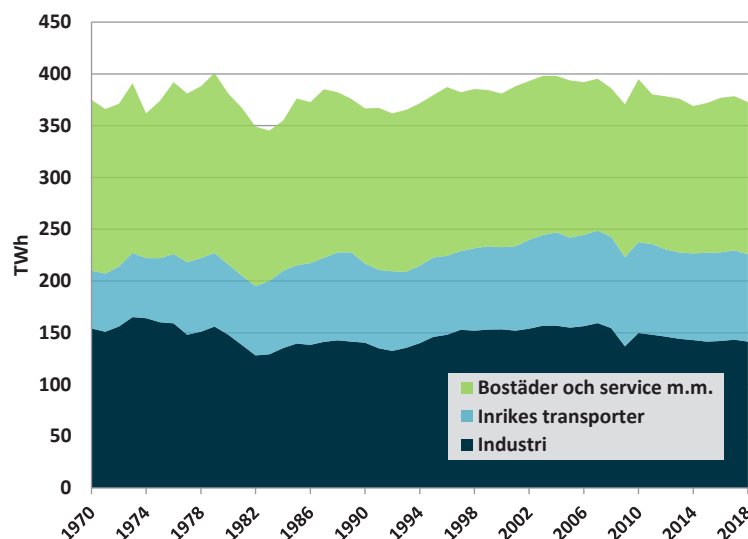


De viktigaste slutsatserna

1. Den svenska energianvändningen har under lång tid legat stilla, globalt dock tydligt växande behov
2. Efter en lång period av konstant elanvändning förväntas nu den svenska elanvändningen öka kraftigt, kanske med 50 TWh till 2045. Spridningen i prognoser är dock stor
3. Skillnad nu mot förr är att elanvändningen kan öka till följd av att el är en central del för att klara klimatutmaningen
4. Energi- och elanvändningen är notoriskt svår att prediktera, särskilt på längre sikt än 10 – 15 år
5. Några nyckeltekniker/tjänster som påverkar efterfrågan starkt är elbaserad ståltillverkning (Hybrit), ytterligare utbyggnad av serverhallar och elektrifiering av transportsektorn
6. Elanvändning för uppvärmning av bostäder och lokaler förväntas minska. Tre huvudsaker är minskade uppvärmningsbehov, att elvärme byts mot annan uppvärmning samt att nya värmepumpar är effektivare än gamla
7. Effektiviseringen är den enskilt viktigaste påverkan faktorn för energianvändningsutvecklingen
8. Utmaningarna kopplade till ökad elanvändning gäller främst profilen på behoven, det vill säga effekt snarare än energi
9. 2020 års Coronapandemi har medfört nya elanvändningsmönster - frågan är om de blir bestående

Energianvändningsnivån oförändrad i Sverige

Den svenska energianvändningen har under lång tid legat nästan stilla på nivån ca 350–400 TWh/år, se Figur 2.1 och Figur 2.2. Detta trots att folkmängden och den ekonomiska aktiviteten i samhället ökat tydligt under samma tid. Det antyder att energin används allt effektivare. Som vi återkommer till i senare kapitel är energieffektivisering den mest betydelsefulla påverkansfaktorn för energianvändningens utveckling. Ett annat skäl till att energianvändningen i slutanvändarledet inte ökat kan vara att den energi som används är allt mer förädlad, exempelvis i form av el och fjärrvärme. Omvandlingsförlusterna i el- och fjärrvärmeproduktionen uppstår ju i tidigare led i energiomvandlingen.

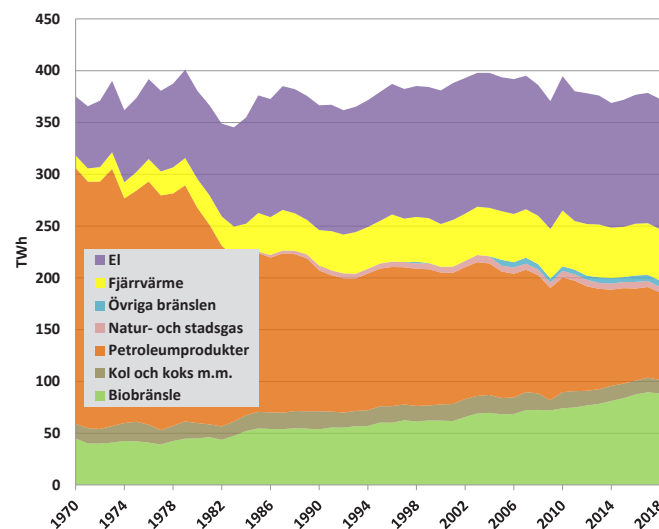


Figur 2.1. Total slutlig energianvändning per sektor 1970–2018.
Källa: Energimyndighetens Energiläget i siffror 2020

En hel del talar också för att energianvändningen i Sverige även i fortsättningen kommer att ligga kvar på ungefär dagens nivå. Exempelvis visar referensfallet i Energimyndighetens långsiktsscenarioer¹ från 2018 i princip oförändrad energianvändning till år 2050.

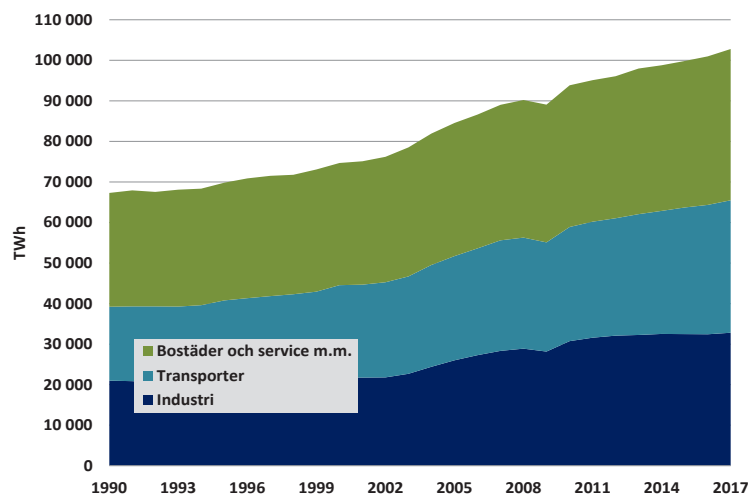
Globalt ökar dock energianvändningen kontinuerligt i takt med att det ekonomiska välbståndet ökar. Från 1990 till 2016 har ökningen uppgått till drygt 50 % eller nästan 2 % per år, se Figur 2.3 på nästa sida.

I fortsättningen av detta kapitel fokuserar vi på elanvändningens utveckling eftersom tyngdpunkten i NEPP:s analyser ligger just på elsystemets utveckling.



Figur 2.2 Total slutlig energianvändning per energibärare 1970–2018. Källa: Energimyndighetens Energiläget i siffror 2020

1) Energimyndigheten (2019)



Figur 2.3. Global energianvändning per sektor 1990–2016. Källa: Energimyndighetens Energiläget i siffror 2020

”

Globalt ökar dock energianvändningen kontinuerligt i takt med att det ekonomiska välståndet ökar. Från 1990 till 2016 har ökningen uppgått till drygt 50 % eller nästan 2 % per år"

Elanvändningen förväntas öka kraftigt

Under lång tid, 25–30 år, har den svenska elanvändningen legat stilla på ungefär 140 TWh per år, inklusive förluster, se Figur 2.4.

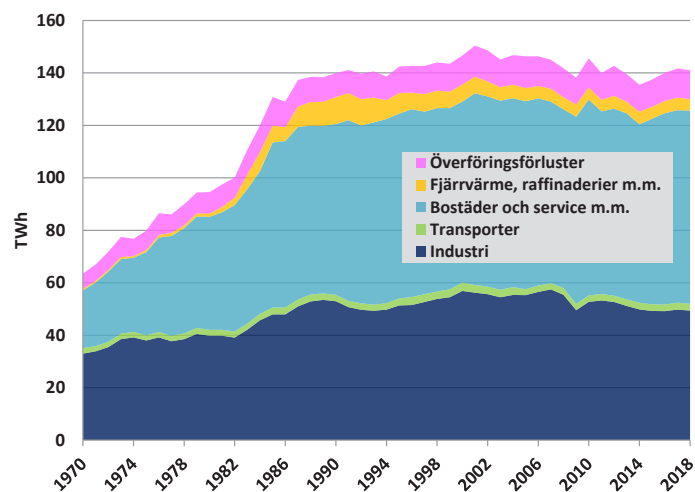
Ser man på utvecklingen inom hela EU (och Norge) så har elanvändningen ökat tydligt sedan 1990, se Figur 2.5. Även här syns dock en avmattning under de senaste 15 åren. Figuren visar elanvändningen exklusive förluster.

Om man backar ett par år var de allmänna förväntningarna att elanvändningen i Sverige på sikt endast skulle öka måttligt, till ca 150 TWh år 2050 (se exempelvis Energimyndighetens återkom-

mande långsiktiga scenarier från 2016 och 2012). De senaste åren har dock förväntningarna skruvats upp rejält, exempelvis som en följd av förväntningar på elektrifiering av transportsektorn, ytterligare utbyggnad av datahallar samt de användningsnivåer som olika branschers färdplaner för fossilfrihet har indikerat. Elanvändningen förväntas nu snarare öka med 50 TWh eller mer på 25 års sikt, till kanske 190 TWh år 2050.

Spridningen i elanvändningsprognoserna är dock stor, större än på länge. Följande är exempel på scenarioarbeten som gör förutsägelser för elanvändningen (inklusive förluster) år 2045:

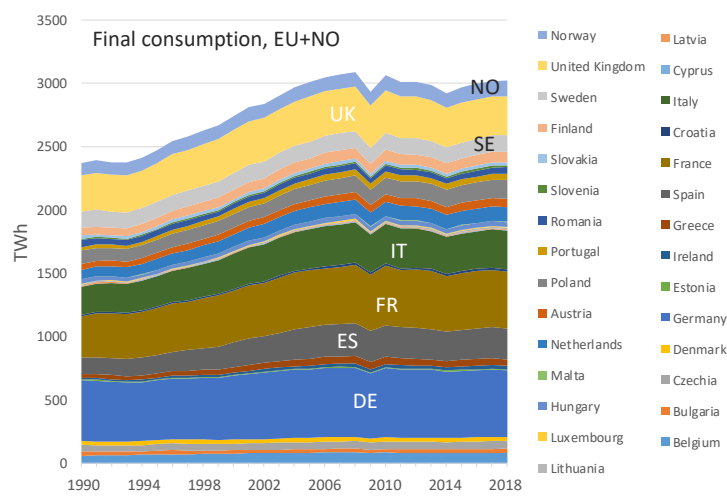
- Energimyndighetens *Scenarier över Sveriges energisystem 2018*, scenario "referens EU": 146 TWh
- Energimyndighetens *Scenarier över Sveriges energisystem 2018*, scenario "Högre elektrifiering": 191 TWh



Figur 2.4. Elanvändning per sektor 1970–2018. Källa: Energimyndighetens Energiläget i siffror 2020

- NEPP:s *Färdplan fossilfri el – analysunderlag*²(2019): 190 TWh
- Svenskt Näringslivs *Högre elanvändning år 2045* (2020): basfallet 215 TWh, i ett högscenario till och med 245 TWh

Skillnaden mellan lägsta och högsta förutsägelser av elanvändning på 25 år sikt är alltså hela 100 TWh (!).



Figur 2.5. Utveckling av elanvändningen (exkl. förluster) i EU (plus Norge) 1990–2018.

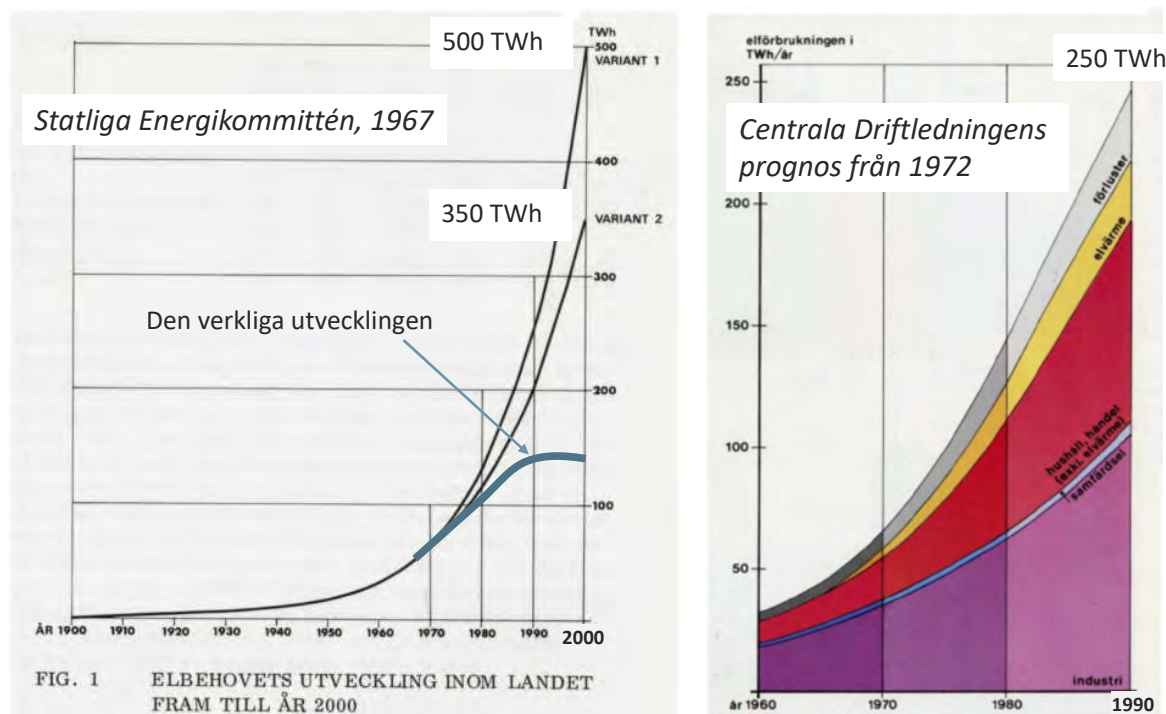
2) Mer information om detta scenario finns i faktaruta 2.1 samt i NEPP (2019a)

Att prognosera framtida elanvändning är svårt

Redan i föregående etapp av NEPP studerades hur träffsäkra elanvändningsprognoser har varit. Där konstaterades att "I stort sett samtliga officiella prognoser och scenarier för elanvändningens utveckling som gjorts i Sverige under de senaste 50 åren, har haft en relativt god träffsäkerhet på 10 - 15 års sikt. Det gäller även de (i efterhand starkt kritiserade) prognoser som gjordes kring 1970. Träffsäkerheten på längre sikt, dvs. på två till fyra decenniers sikt,

har dock varit mycket sämre. Det gäller säkerligen också våra scenarier. Osäkerheten i scenariernas utveckling bortom 2030, och särskilt ända till 2050, bör därför anses vara stor."

Figur 2.6 visar till exempel två prognoser över Sveriges elanvändning, en från 1967 och en från 1972 (vi berörde kort dessa två historiska prognoser även i kapitel 2). Detta är värdefullt att ta med sig när man diskuterar elanvändningen på lång sikt.



Figur 2.6. Prognoser för elbehovets utveckling. Till vänster: Statliga Energikommitténs prognos från 1967. Till höger: Centrala Driftledningens prognos från 1972.

Teknikskiften är svåra att förutse och kan få stor påverkan

När man ska bedöma elanvändningen på lång sikt är det svårt att uppskatta den inverkan som stora teknikskiften kan ge. Det ligger i sakens natur eftersom vi i vissa fall inte ens är säkra på vilka dessa kommer att bli. Ett exempel på detta kan vara ståltillverkningen – kommer den även fortsättningsvis vara koksaserad eller kommer elbaserad framställning av vätgas som reduktionsmedel att ta över? Det kan i sig påverka den svenska elanvändningen med 15 TWh. Ett annat exempel är vilken roll AI och digitalisering kommer att spela för framtida elanvändning. Elektrifieringen av transportsektorn är ett tredje exempel. Denna omvandling har påbörjats och förväntningarna på omfattningen i framtiden är stora. Vi vet dock inte i dagsläget hur stor elomställningen i transportsektorn verkligen kommer att bli. Kanske kommer andra alternativ som biodrivmedel eller vätgas att ta stora delar? Eftersom hela EU deltar i utvecklingen för att klara klimatutmaningarna så kan också stora teknikskiften utanför landets gränser påverka det svenska energisystemet. Om exempelvis vätgasproduktion byggs ut med elektrolys i Tyskland som ett "huvudspår" så kommer det sannolik att slå igenom även i Sverige. Vad vi väljer att göra här i Sverige påverkar omvänt även omvärldens utveckling, men internationellt sett är Sverige ett förhållandevis litet land, varför påverkan på omvärlden kan bli måttlig.

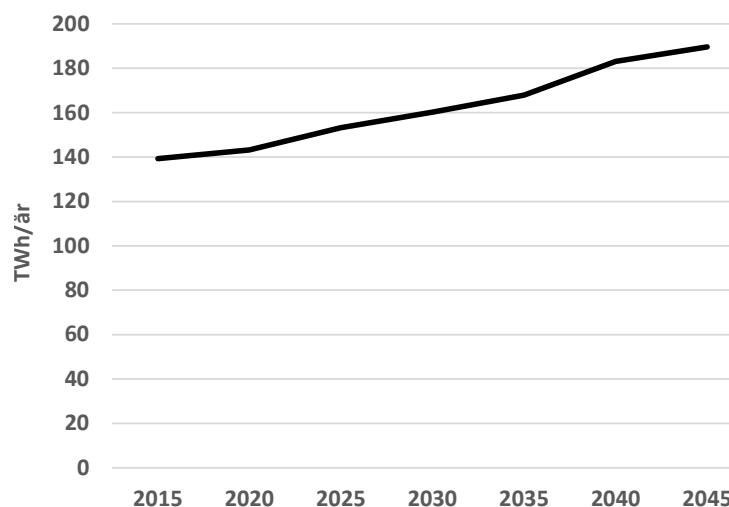
Vad ligger bakom den kraftigt ökade elanvändningen i NEPPs färdplansscenario?

NEPP:s färdplansscenario visar på en kraftigt ökad elanvändning, närmare bestämt med 50 TWh till år 2045. Detta sammanhänger med det övriga samhällets fossilfrihetsansträngningar vilket är i linje med det långsiktiga klimatmålet att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. Anledningen till den ökade elanvändningen är att flera sektorer byter ut sina fossila bränslen mot el.

Färdplansscenariot uppvisar en ökad elektrifiering inom framförallt tre sektorer:

- Transportsektorn, där den övervägande delen av trafikarbetet antas vara elbaserat till 2045.
- Service- och företagssektorn, där bland annat utbyggnaden av datahallar antas bli stor i Sverige.
- Processindustrin, där flera branschers processer ställs om till elbaserade lösningar om något eller några decennier.

Som figuren nedan visar så hamnar elanvändningen, inklusive förluster i elöverföringen, i färdplansscenariot på ca 190 TWh år 2045, det vill säga ca 50 TWh över dagens nivå.



Figur 2.7. Elanvändningen i Sverige, inkl. uppskattade förluster, i färdplansscenariot för perioden fram till 2045³

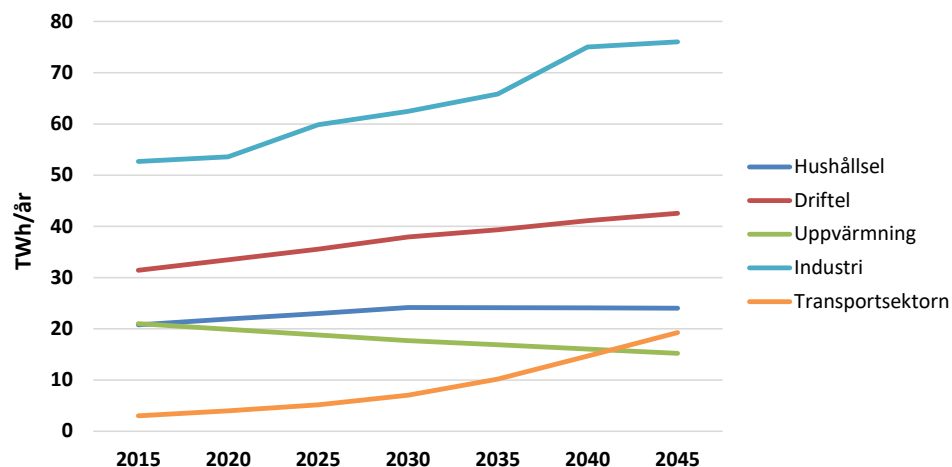
3) NEPP (2019a)

Nedan redovisas färdplansscenariots elanvändning sektor för sektor.

Tabell 2.1. Elanvändningen, exkl. förluster, i olika sektorer i färdplansscenariot för perioden fram till 2045 (TWh). Hushållsel = bostadssektorns elanvändning exkl. uppvärmning, driftel = fastighetsel i bostads- och service-sektorn och verksamhetsel i servicesektorn, samt FV = fjärrvärmeproduktion. Källa: NEPP (2019a)

	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Hushållsel	21,9	23,0	24,1	24,1	24,1	24,0
Driftel	33,5	35,6	37,9	39,3	41,1	42,5
Uppvärmning (inkl. FV)	19,9	18,8	17,7	16,9	16,1	15,2
Industri (inkl. raff.)	53,6	59,9	62,5	65,9	75,0	76,0
Transportsektorn	4,0	5,2	7,0	10,2	14,7	19,3
Summa	132,8	142,4	149,2	156,4	170,9	177,1

Utvecklingen inom de sektorer där elanvändningen ökar markant som en följd av elektrifiering förklaras kortfattat i text nedan. Här är det viktigt att inse att det är mycket svårt att med någon säkerhet uttala sig om elanvändningsökningen sektor för sektor så långt som drygt 25 år in i framtiden. Som vi nämnt är det särskilt svårt att bedöma genomslag av teknikskiften. Färdplansscenariot visar på en utveckling där elektrifiering är en av metoderna för omställning av det svenska samhället i riktning mot fossilfrihet och klimatneutralitet. Den tillkommande elanvändning som vi skisserat inom olika sektorer kan dock både innehålla överskattningar och underskattningar. Nedan fördjupar vi redovisningen för några av användarsektorerna.



Figur 2.8. Elanvändningen, exkl. förluster, i olika sektorer i färdplansscenariot för perioden fram till 2045. Källa: NEPP (2019a)

Transporter

I färdplansscenariot sker en snabb och genomgripande elektrifiering av transportsektorn. I detta scenario står eldrift för ca 20 procent av personbilar och lätta lastbilar trafikarbete år 2030 och detta ökar till drygt 70 procent till år 2045 (20 % av personbilarna motsvarar ca 1 miljon bilar.). Det sker en tydlig elektrifiering även för tunga transporter, särskilt för stadsbussar och distributionslastbilar där eldriften år 2030 uppgår till 80 % och nästan 100 % år 2045. Dessutom förutsätts ökad elektrifiering av arbetsmaskiner och ökat transportbehov på elektrifierad järnväg. År 2030 ger detta totalt en elanvändning på 7 TWh. Till år 2045 har elanvändningen ökat till drygt 19 TWh. Elbilsladdningen förutses till stor del ske på ett "smart sätt".

Den elektrifiering av transporter som vi utgår från ligger i linje med de "högel-scenarier" som ovan nämnda referenser innehåller. De stämmer också väl med de potentialer som lyfts fram i rapporten *"Översyn av Trafikverkets klimatscenarier"*⁴. Den antagna elektrifieringen bidrar också till att uppfylla det nationella målet om att minska utsläppen från inrikes transporter med minst 70 % till år 2030, jämfört med 2010. För att det ska nås förutsätts också andra effektiviseringsåtgärder och ökat utnyttjande av biodrivmedel. Det analyseras inte här.

Det finns samtidigt källor som pekar på klart större elektrifiering på halvlång sikt. Ett exempel är Power Circles "Elbilsläget 2018" som i sitt scenario år 2030 når upp till drygt 2,5 miljoner laddbara elbilar (varav drygt 1,5 miljoner rena elbilar). Det motsvarar ungefär hälften av det totala antalet bilar. Om elektrifieringen blir så stor skulle transportsektorns elanvändning 2030 bli några TWh högre.

Servicesektorn – data-/serverhallar

Inom servicesektorn ("Driftel" i Tabell 2.1 och Figur 2.8) förutses ökad elanvändning i data-/serverhallar. I färdplansscenariot antas elanvändningen i serverhallar öka med drygt 3 TWh fram till år 2030 och ytterligare 4 TWh fram till år 2045. Osäkerheten är dock stor och utvecklingen kan bli mindre men också betydligt större. En viktig faktor som påverkar är villkoren för etableringarna i Sverige, jämfört med näraliggande länder. En annan osäkerhetsfaktor är genomslaget för andra typer av AI-tjänster.

Industri

Elektrifiering i större skala förutses inom flera industrisektorer, i vissa fall i samband med ett förväntat genombrott för ny teknik. Den ökade efterfrågan på el inom industrin beskrivs i industrins färdplaner för fossilfrihet. Den största ökningen återfinns inom stålindustrin där vätgasbaserad reduktion av malm förutsätts genom den så kallade HYBRIT-tekniken. HYBRIT antas på lång sikt leda till en ökad elanvändning på 15 TWh/år till vätgasproduktion. En tredjedel av ökningen antas ske mellan 2030 och 2035, medan övriga två tredjedelar tillkommer omkring år 2040. I takt med detta ersätts kol, koks och koksugns- och masugns-gaser som används i masugnsprocessen och senare processteg. Dessutom tillkommer ett par TWh el för elektrifiering av värmnings- och värmebehandlingsugnar.

Även i andra industrisektorer tillkommer elanvändning. Det gäller exempelvis gruvor, cement och kemi. Den tillkommande elanvändningen avser bland annat ytterligare generell elektrifiering av processer och vätgas producerad med el som ersätter naturgas i raffinaderiprocesser för biodrivmedelsproduktion.

Den totala elanvändningsökningen inom industrin, jämfört med 2015 års användning, uppgår år 2030 till 9 TWh och år 2045 uppgår skillnaden till 22 TWh. Svenskt Näringsliv "Högre elanvändning år 2045" pekar på ännu större elanvändningsökning inom industrin till år 2045, plus 32 – 52 TWh beroende på scenario.

4) ÅF (2018)



Värmemarknad Sverige:
**Elanvändningen för
byggnadsuppvärmning
och tappvarmvattenbe-
redning minskar i samt-
liga fyra scenarier**



Uppvärmning och tappvarmvatten

Byggnadssektorns energianvändning för uppvärmning domineras av fjärrvärme, värmepumpar, elvärme samt biobränslen. Skatter och styrmedel har en stor betydelse för valet av uppvärmningsform liksom den relativa investeringskostnaden för ett nytt uppvärmningssystem. Även teknikutvecklingen har en stor betydelse för valet av uppvärmningssystem och därmed energibärare. Vidare har energieffektiviserande åtgärder en återhållande effekt på värmebehovet. Energianvändningen för uppvärmning påverkas även av rådande byggregler, husägarnas generella preferenser för olika uppvärmningsslag, storleken på nybyggnation samt befolkningsutvecklingen.

I det pågående projektet Värmemarknad Sverige, har den svenska värmemarknadens framtida utveckling analyserats i fyra olika scenarier. Där tar man hänsyn till de påverkansfaktorer som nämns ovan. Hänsyn tas också till den minskning av uppvärmningsbehovet som förväntas till följd av varmare klimat orsakat av förstärkt växthuseffekt samt något ökat uppvärmningsbehov orsakat av effektivisering av hushållsel som leder till mindre spillvärme. Scenarierna ger uttryck för olika möjliga utvecklingsvägar. Dessa spänner upp ett möjligt "utfallsrum". Inom detta återfinns sannolikt den verkliga utvecklingen.

När det gäller elanvändning för byggnadsuppvärmning och tappvarmvattenberedning så minskar den i samtliga fyra scenarier. År 2030 pekar scenarierna på en minskning från dagens (år 2016) cirka 22 TWh ner till en elanvändning på 14–20 TWh, medan elanvändningen år 2045/2050 sannolikt hamnar ännu lägre, 10–15 TWh. Orsaken till elanvändningsminskningen, trots rejält ökad uppvärmd yta, är främst att elvärme ersätts av värmepump och att nya värmepumpar är effektivare än gamla. I ett par av scenarierna minskar dessutom bebyggelsens totala uppvärmningsbehov.

Våra scenarier för den framtida utvecklingen av elanvändningen för uppvärmning baseras på utvecklingen i ovanstående fyra scenarier, och för vårt färdplansscenario har vi antagit en utveckling ungefär mitt i de intervaller för 2030 och 2045/2050 som angivits ovan.

Energieffektivisering är den viktigaste parametern för att bedöma framtida elanvändning

NEPP:s metod för att beräkna framtida elanvändning utgår ifrån en uppdelning av elanvändningen i följande sektorer:

- Hushållsel (Bostadssektorns elanvändning exkl. uppvärmning)
- Driftel (Fastighetsel (i bostads- och servicesektorn) och verksamhetsel i servicesektorn)
- Uppvärmning och tappvarmvatten
- Fjärrvärme
- Industri (där några sektorer även hanteras separat)
- Transporter

Metoden tar sin utgångspunkt i de faktorer som påverkar elanvändningens utveckling. De scenarier som tas fram med metoden är alltså inte formade utifrån enkla trendframskrivningar av den historiska elanvändningen (även om viktiga lärdomar hämtas från historien, men då om de olika påverkansfaktorernas utveckling fram tills idag).

Vi har identifierat ett tiotal faktorer och omvärldsp parametrar som påverkar elanvändningens utveckling i de ovan angivna sektorerna. Tabell 2.2 ger en sammanställning av de viktigaste påverkansfaktorerna för respektive sektor, och anger på ett förenklat och kvalitativt sätt hur stor påverkan från respektive faktor är.

Tabell 2.2. En sammanställning av de viktigaste faktorerna och omvärldsparametrarna som påverkar elanvändningens utveckling idag eller kan påverka den på sikt. Ett stort "kryss" anger en relativt stor påverkan, ett litet "kryss" anger en mer måttlig påverkan och saknas "kryss" är påverkan från den påverkansfaktorn ringa

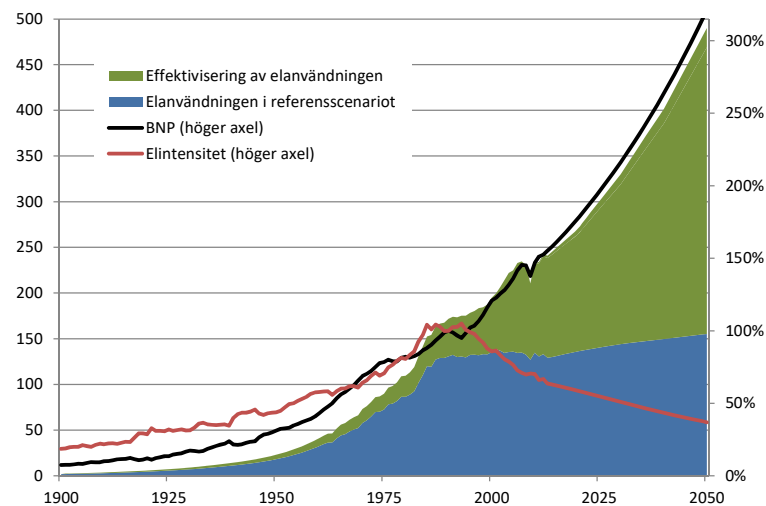
	Hushållsel	Driftel	Värme- marknaden	Fjärrvärme	Industri	Transport
Befolkningsutveckling	X	X	X	x	x	x
Ekonomisk utveckling (BNP, förädlingsvärde, etc.)	X	X			X	x
Strukturförändringar (hos elanvändare eller i elproduktionen)	x	x	x	x	X	X
Teknikutveckling	x	x	x	x	X	X
Energieffektivisering	X	X	X	x	X	
Volymfaktorer (antal, area, produktionsvolym, etc.)	X	X	x	x	X	X
Politiska mål/styrmedel	x	x	x	X	x	X
Elprisutveckling (även relativpriset gentemot alternativ)			x	X	X	
Kunders preferenser (inkl. krav på standardökning)	x	x	X			X

De påverkansfaktorer som har störst generell påverkan på utvecklingen av elanvändningen är energieffektiviseringen, befolkningsökningen, den ekonomiska utvecklingen (BNP), strukturförändringar och teknikgenombrott (t.ex. elfordon och

industriprocesskiften). I allmänhet påverkar energieffektivisering elanvändningen nedåt och de övriga fyra av dessa fem faktorer påverkar den uppåt.

Energieffektiviseringen viktigaste påverkansfaktorn

Energieffektiviseringen antas bli i storleksordningen 3 – 4 % per år under hela perioden från idag till 2050. Det är högre än vad den varit under de senaste decennierna, då den i genomsnitt legat på 2 – 3 % per år. Figur 2.9 illustrerar hur summan av elanvändning och effektivisering korrelerar väl med BNP-utvecklingen. Elintensiteten visar på en fortsatt "decoupling", det vill säga en frikoppling mellan BNP och elanvändning, som en följd av den ökande effektiviseringen. Det går alltså åt allt mindre el för varje BNP-krona.



Figur 2.9. Den historiska och framtida (enligt referensscenariot från NEPP 2015) elanvändningen och effektiviseringen (båda angivna i TWh – vänster axel), samt nivåerna på BNP och elintensitet (dvs. elanvändning per BNP-enhet) angivna relativt 1970 års nivåer (höger axel – 100% år 1970). Källa: NEPP:s Temabok "Elanvändningen i Sverige", december 2015.



Energieffektiviseringen antas bli i storleksordningen 3 – 4 % per år under hela perioden från idag till 2050

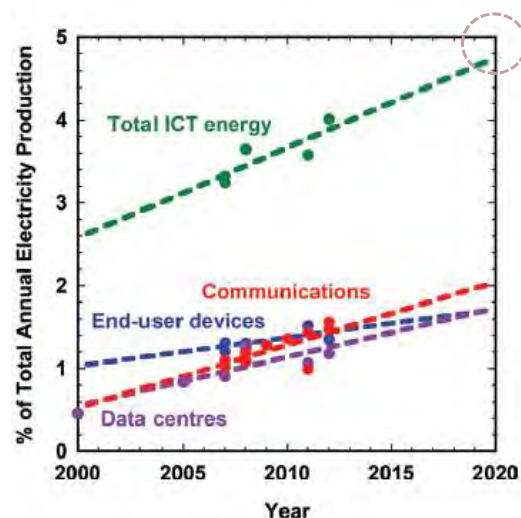


Digitalisering med enorm tillväxt men samtidigt stor energieffektivisering

Ytterligare ett exempel på både energieffektiviseringens kraft och svårigheten att bedöma elanvändningskonsekvenserna av teknikutveckling framgår av Figur 2.10 nedan.

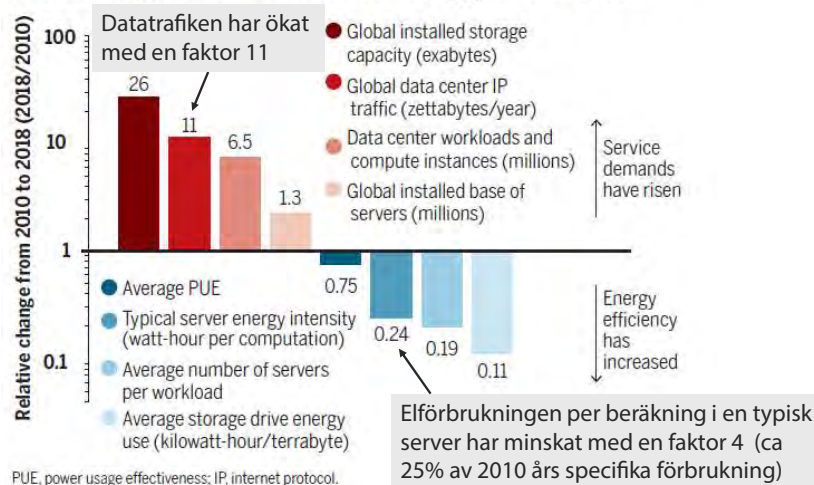
Av figurerna framgår digitaliseringens påverkan på elanvändningen hittills, men också den enorma utvecklingen av datatrafiken och datalagringen och den kraftiga effektiviseringen som samtidigt ägt rum. Utan denna effektivisering skulle elanvändningen för dessa ändamål varit mångdubbelt större. Figuren visar exempelvis att

samtidigt som den internationella datatrafiken har ökat med en faktor 11 mellan 2010 och 2018 (röda staplar i figuren definierar volymökningar under den aktuella tidsperioden) så har den beräkningsspecifika elförbrukningen i en typisk server minskat med en faktor 4 och elförbrukningen per genomsnittlig lagringsenhet med en faktor 10 (blå staplar indikerar en volymminskning). Hur dessa faktorer utvecklas i framtiden är, som redan diskuterats, mycket svårt att förutse. En extra svårighet är att bedöma hur mycket av den tillkommande elanvändningen som lokaliseras i Sverige. Datahanteringen är ju i hög grad en gränsöverskridande verksamhet.



Omkring 4-5% av den totala globala elförbrukningen utgörs av ICT, varav datahallar står för dryg 1 % (Källa: INTECH, 2017, "Energy challenges for ICT")
ICT: Information and Communication Technology

Trends in global data center energy-use drivers



PUE, power usage effectiveness; IP, internet protocol.

Källa: Masanett et al. 2020, "Recalibrating global data center energy-use estimates", Science

Figur 2.10. Digitaliseringens påverkan på elanvändningen.

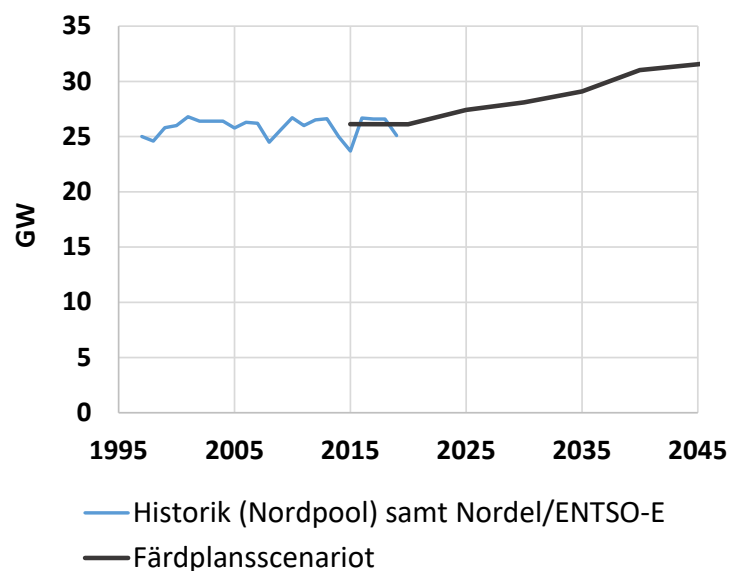
Elanvändningens profil är avgörande för hur stora elsystemutmaningarna blir på sikt

Redovisningen ovan fokuserar på energidelen i elanvändningen. Det räcker dock inte att endast ha en bild av energianvändningens utveckling. För de olika användarsektorerna och användningsområdena behöver man också ha en uppfattning om hur elbehovet varierar i olika tidsperspektiv. Det behövs med andra ord en effektprofil för det aktuella elbehovet. El till uppvärmning har exempelvis en nära koppling till utomhustemperatur och har därmed störst effektbehov vintertid. El till energiintensiv processindustri har istället en mycket jämn förbrukningsprofil, både över året och över dygnet. Effektprofilen för elbilsladdning varierar mycket beroende på hur bilarna förutsätts bli laddade. Om alla bilar laddar samtidigt, exempelvis när bilarna parkeras på kvällen, blir effektbehovet stort. Om det dessutom sker med snabbladdning så blir det samlade effektuttaget ännu större. I detta projekt utgår vi dock från att elbilsladdningen sker på ett "smart sätt", det vill säga på ett sätt som ger så liten påverkan på effektbalansen som möjligt. I analyserna i NEPP:s färdplansprojekt har vi tillämpat typiska effektprofiler för de olika elanvändningsområdena. I Figur 2.11 nedan redovisas det resulterande toppeffektbehovet för färdplansscenariot under ett normalår.

Som figuren visar innebär färdplansscenariots elanvändningsutveckling en markant ökning av toppeffektbehovet. Detta medför utmaningar för elsystemet, olika stora och av olika karaktär beroende på hur elproduktionssystemet utvecklas.

Delar av de effekttoppar som färdplansscenariots elanvändning innehåller kan hanteras med efterfrågeanpassning, det vill säga att lasten förflyttas i tid eller att elanvändningen är så dyr så att förbrukningen dras ner. Detta diskuteras vidare i kapitlet om eleffektutmaningen och i NEPP:s effektsyntesbok. Från eleffektsyntesboken lyfter vi här fram några sammanfattningspunkter om elanvändningen och dess profil:

- Olika elanvändarkategorier har olika effektprofil. Småhus med elvärme är ett exempel på en kategori med spetsig effektprofil.



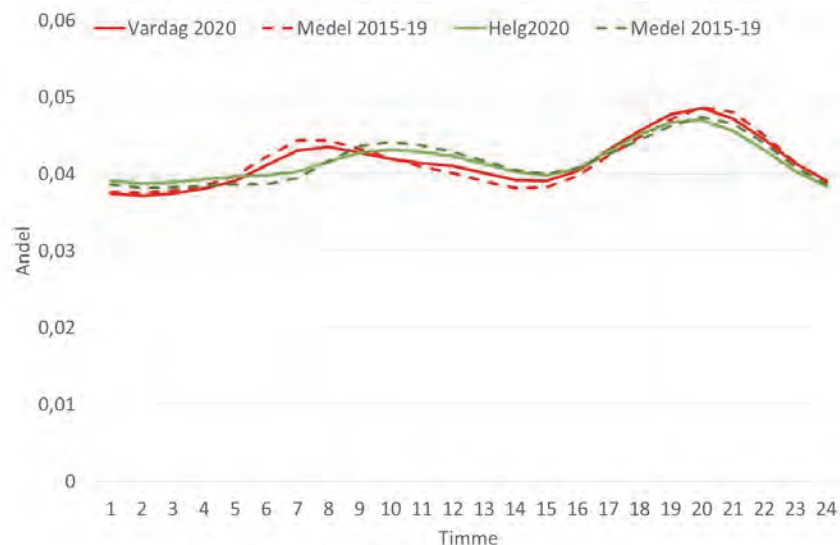
Figur 2.11. Elanvändningens toppeffekt, inkl. uppskattade förluster, i färdplansscenariot tillsammans med historisk utveckling (GW)

- 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 personberoende eleffektbehovet orsakar dygnsvariationerna.
- Efterfrågefleksibilitet kommer att få ökad betydelse i framtiden, men uthålligheten är viktig att beakta.
- Laddning av elbilar förutsätts ske "smart", annars tillkommer totala GW effektbehov som kan uppträda vid tillfällen med redan hög elanvändning. På lång sikt kan elfordonens batterier tidvis erbjuda effekt till elnätet.
- Lagring kan ske på flera sätt i elsystemet, olika metoder lämpliga för olika tidsskalor.

Coronapandemin har medfört ändrade elanvändningsprofiler

Efter en mild vinter och vår, och sedan coronapandemin ovanpå det, kan man konstatera att elanvändningen under de senaste 52 veckorna som förväntat är lägre än under motsvarande period för ett år sedan. Energiföretagen Sverige har under sommaren 2020

studerat elanvändningen i Sverige och i flera områden över hela landet för att undersöka om hemarbete under pandemin syns i statistiken, se Figur 2.12. De konstaterar att det går att se nya mönster som visar på nytt beteende. Framför allt märks att elanvändningen över dygnet har planats ut. Elanvändningen är lägre på morgonen och högre mitt på dagen.



Figur 2.12. Typisk profil för ett dygn, med toppar i elanvändningen på morgonen och efter arbetets slut. Helgprofilen har traditionellt en senare morgontopp eftersom de flesta inte arbetar på helger och går upp senare (Källa: Magnus Thorstensson på Energiföretagen Sveriges hemsida 13/7 2020).



• • •

Man kan alltså ana effekter av ökat hemarbete. En intressant fråga är om något av dessa beteendeförändring blir bestående

SCENARIER OCH MODELLVERKTYG I NEPP

NEPP är ett flerårigt forskningsprojekt och i denna skrift sammanfattas resultat från olika delstudier som genomförts under projektets gång. Många av delstudierna bygger på scenarioanalyser. Vissa scenarier definierades i början av NEPP-projektet och har sedan reviderats och utvecklats allteftersom energisystemet utvecklats, omvärldsförutsättningar förändras och kunskapen fördjupats. Till detta kommer variationer av scenarierna genom känslighetsanalyser för att detaljstudera påverkan på resultatet av en eller flera specifika faktorer, exempelvis bränslepriser eller pris på utsläppsrätter. Nedan sammanfattas huvuddragen hos tre av de huvudscenarier som nämns i olika kapitel. I flera kapitel redogör vi också för olika varianter (känslighetsanalyser) av dessa tre huvudscenarierna. Utöver dessa bygger resultaten i denna skrift även på scenarioanalyser gjorda av andra forskare och i parallella forskningsprogram.

Huvuddragen i tre scenarier

NEPP:s **Basscenario** utgår från en omvärldsutveckling som i allt väsentligt följer det som antas i Energi-myndighetens referensscenario i den senaste långsiktiga scenarioanalysen.⁵ Basscenariot ska först och främst ses som en konsekvensanalys av den förda politiken med de styrmedel som finns på plats samt är på gång att införas. Även om scenariot leder till en

minskning av växthusgasutsläppen, i vissa sektorer till och med omfattande minskningar, så nås inte de långsiktiga EU-målen om netto-nollutsläpp till år 2050. För att detta ska uppfyllas krävs ytterligare styrmedel och/eller tekniska genombrott i en omfattning som inte antas ingå i Basscenariot, men dock i NEPP:s Klimatscenario, som beskrivs nedan. Basscenariot förutsätter stigande koldioxidpriser inom det europeiska handelsystemet EU ETS, typiskt omkring 50 EUR/t runt 2035.

NEPP:s **Klimatscenario** bygger på en omfattande elektrifiering som i huvudsak följer elbranschens färdplan för fossilfri elsektor, som beskrivs nedan.⁶ Scenariot utgår även från att EU och resten av världen i stort sett når de klimatpolitiska målen som följer av Parisavtalet från 2015, det vill säga en begränsning av den globala temperaturökningen till under två (helst 1,5) grader jämfört med den förindustriella nivån. Det antas leda till mycket höga koldioxidpriser, över 100 EUR/t efter 2035, vilket inte minst påverkar elprisutvecklingen.

Klimatscenariot liknar i stora delar det **Färdplansscenario** som kapitel 2 bygger på. Detta scenario utvecklades specifikt under 2018–2019 i ett fördjupningsprojekt inom NEPP som utgjorde underlag till elbranschens färdplan för fossilfri elsektor. Färdplansscenariot visar på en kraftigt ökad elanvändning

5) Energimyndigheten (2019)

6) Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Elbranschen (2019) samt NEPP (2019)

från dagens ca 140 TWh till ca 190 TWh år 2045. Detta sammanhänger med det övriga samhällets fossilfrittetsansträngningar vilket är i linje med det långsiktiga klimatmålet att Sverige senast år 2045 inte ska ha några nettoutsläpp av växthusgaser till atmosfären. Anledningen till den ökade elanvändningen är att flera sektorer byter ut sina fossila bränslen mot el. Baserat på Färdplansscenariot utvecklade NEPP tre tillförsel-scenarier i underlaget till fossilfri elsektor.⁷

Tre huvudsakliga modellverktyg – TIMES-NORDIC, EPOD och Apollo

En stor del av scenarioanalyserna i NEPP har gjorts med hjälp av tre modellverktyg – TIMES-NORDIC respektive EPOD och Apollo – som möjliggör att detaljstudera hur olika faktorer påverkar energisystemet. De tre modellverktygen kompletterar varandra och används så långt som möjligt med gemensamma beräkningsförutsättningar.

TIMES-NORDIC är en energisystemmodell som i detalj beskriver de nordeuropeiska el- och fjärrvärmesystemens långsiktiga utveckling från idag till och med 2050. I modellen beräknas både den mest kostnadseffektiva driften av energisystemet och den mest kostnadseffektiva utbyggnaden (investeringar) under den studerade perioden. Eftersom modellen inklu-

derar en bred beskrivning av energisystemet, med många delsektorer, och dessutom fångar utvecklingen under en lång tidsperiod, inklusive kostnadseffektiva investeringar, så tvingas man av praktiska skäl använda en något grövre tidsupplösningen under de enskilda modellåren (av det skälet är följaktligen EPOD och Apollo utmärka komplement; se nedan). Modellen har använts vid flera tillfällen inom NEPP-projektet och används också med jämna mellanrum på uppdrag av Energimyndigheten och Naturvårdsverket i samband med olika analyser. Mer om modellverktyget finns att läsa i t.ex. NEPP (2018), även om en del viktiga indatantaganden har förändrats sedan dess.

EPOD och Apollo är båda simuleringsmodeller, på timnivå, för elsystemet i Nordeuropa. I dessa modeller görs alltså mycket detaljerade beräkningar av driften av ett elsystem med en given uppbyggnad under ett enskilt år. EPOD innehåller också en detaljerad beskrivning av de svenska fjärrvärmesystemen för ett givet år och hur dessa körs på effektivaste sätt (tillsammans med elsystemet). EPOD har utvecklats inom ramarna för ett forskningssamarbete mellan Chalmers och Profu. Mer om modellverktyget återfinns i Energiforsk (2019). Apollo är ett modellverktyg utvecklat av Sweco. Mer om det modellverktyg framgår bland annat av NEPP (2019).

7) Dessa benämndes "Förnybart centraliserat", "Förnybart decentraliserat" och "Förnybart och kärnkraft". Se vidare i NEPP (2019)

Kapitel 3



Eltillförseln idag och i framtiden

Eltillförseln på den integrerade nordeuropeiska elmarknaden är stadd i snabb förändring. Utbyggnaden av förnybar elproduktion sker i ett högt tempo medan exempelvis den kolbaserade elproduktionen tydligt minskat under de senaste åren. De enskilda kraftslagen är var för sig förknippade med individuella utmaningar och osäkerheter, men också förtjänster som kan skilja sig avsevärt mellan kraftslagen. Dessa är viktiga att ha med sig då man skapar sig en helhetsbild över vart den svenska och nordeuropeiska elförsörjningen är på väg. Säkert är dock att den långsiktiga utvecklingen för eltillförseln i Sverige

och norra Europa kommer att präglas av ett allt större inslag av variabel och väderberoende förnybar elproduktion, med ökad variabilitet på elmarknaden som följd. En sådan utveckling innebär inte per definition att elsystemets funktion, stabilitet och leveranssäkerhet försämrats men det fordrar att systemtjänster lyfts upp och premieras på rätt sätt för att bibehålla en hög leveranssäkerhet även i framtiden. Om vi inte ger detta tillräcklig uppmärksamhet är risken stor för obehagliga överraskningar i takt med att den styrbara termiska effekten minskar runtom i norra Europa.



De viktigaste slutsatserna

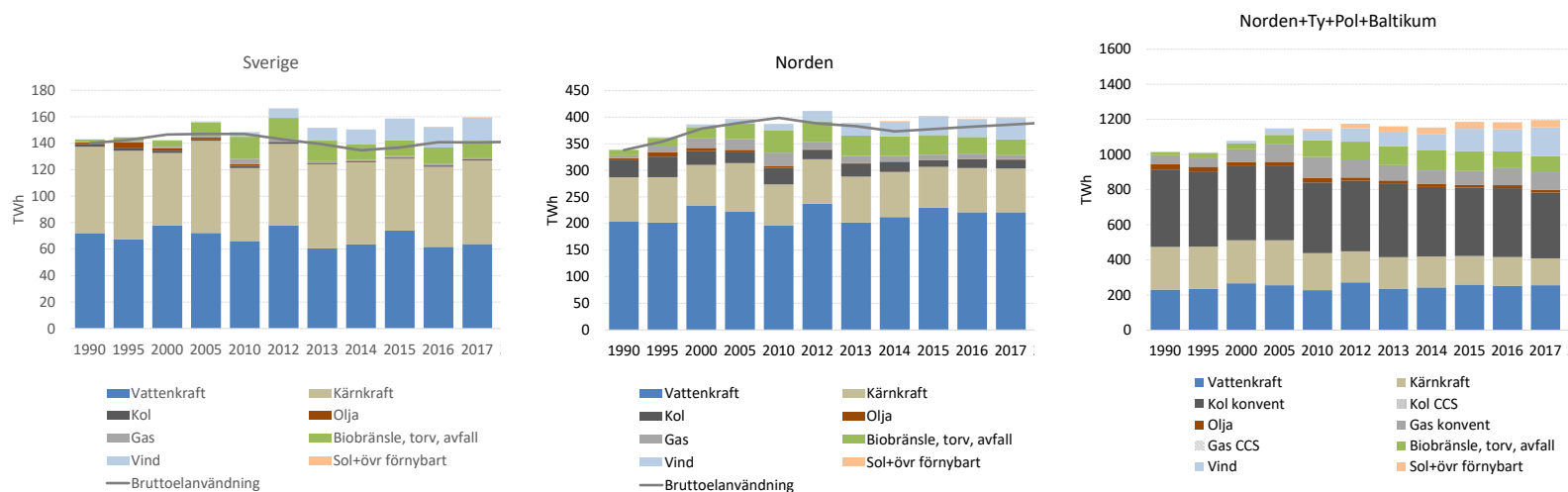
1. Vindkraft är det snabbast växande kraftslaget och kan bli det enskilt största kraftslaget i både Sverige och Nordeuropa när vi närmar oss 2040.
2. Ett helt förnybart svenskt elsystem kan ge samma produktionsvolym av el, exportkapacitet, elleffektbalans och elprisbild över året som ett elsystem med kärnkraft. Variabiliteten i produktion och elpris inom och mellan år kommer emellertid att öka för ett sådant system.
3. Sverige kommer även fortsättningsvis vara en stor årlig nettoexportör av el även om nettoimporten under vissa perioder inom ett år kan vara betydande.
4. Framtida elexport styrs av elektrifieringens omfattning och tillgången till kärnkraft.
5. Produktionseffekt med kort utnyttjningstid kommer att behövas även om efterfrågeflexibilitet slår igenom i större skala.
6. Den snabba utbyggnaden av solceller i hela Nordeuropa drivs av en komplex investeringslogik där ökad grad av självförsörjning, miljötänk och "gruppbetende" är drivkrafter utöver ekonomiska incitament.
7. De långsiktiga förutsättningarna för kärnkraften i Sverige är mycket osäkra. Nyinvesteringar kräver ett helt annat kostnadsläge och erfarenheter av livstidsförlängning bortom 60 år saknas.
8. Vattenkraftens reglerförmåga gör integration av variabel förnybar elproduktion i Norden fördelaktig.
9. Två viktiga påverkansfaktorer för den svenska vattenkraften är den pågående miljöprövningsprocessen och klimatförändringarnas inverkan.
10. Det är svårt att få lönsamhet i ny kraftvärme, samtidigt som elproduktion i kraftvärmeverk kan vara helt nödvändigt för att inte äventyra den lokala elleffektbalansen.

Detta kapitel fokuserar på eltillförseln i Sverige men förhåller sig då och då även till eltillförseln i de nordiska och nordeuropeiska länderna.¹

Utvecklingen fram till dags dato: förnybar elproduktion växer

Utvecklingen inom den svenska och nordeuropeiska elförsörjningen har kännetecknats av en snabb utbyggnad av förnybar elproduktion, framförallt vindkraft (Figur 3.1). Samtidigt har den årliga produktionen i termiska kraftverk stadigt minskat. Speciellt under de senaste åren har denna utveckling gått synnerligen snabbt och vi kan se en tydlig förskjutning från kolkraft till förnybart (Figur 3.2).² I flera länder har man också

fattat politiska beslut att helt fasa ut kolkraft. Danmark har exempelvis mål att få bort kolkraften helt till 2030³ medan Tyskland siktar på 2038 som slutår för sin Kohleausstieg.⁴ För Sveriges del har utvecklingen medfört att den årliga produktionen i genomsnitt vuxit snabbare än efterfrågan, vilken har legat relativt stilla. Detta är varför Sverige de senaste åren har uppvisat ett betydande elöverskott som exporterats. Här har framförallt utbyggnaden av vindkraft gått mycket fort och normalårsproduktionen när vi summerar 2020 kommer sannolikt att landa på omkring 25 TWh. De pågående vindkraftsprojekten medför att

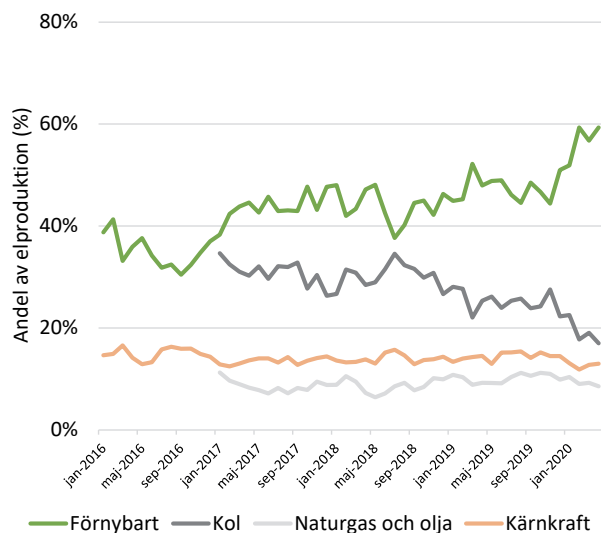


Figur 3.1. Elproduktionens utveckling mellan 1990 och 2018 i Sverige (till vänster), i de fyra nordiska länderna (i mitten) och i Nordeuropa (till höger).

- 1) I de modellverktyg som vi genomgående utnyttjat i NEPP-projektet beskrivs hela det nordeuropeiska elsystemet (i vissa fall till och med hela det europeiska elsystemet)
- 2) Mycket god tillgång till förnybar el (bland annat god tillgång till vind) under senvintrarna och våren samt minskad efterfrågan på grund av Coronapandemin i Nordeuropa gav extra skjuts åt andelen förnybar elproduktion. Denna förstärkning tycks ha dämpats något under sommaren.
- 3) Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities (2019)
- 4) BMWI (2020)

produktionskapaciteten vid utgången av 2023 kommer ligga på närmare 45 TWh.⁵ Samtidigt kommer vi vid årsskiftet

2020/2021 att ha stängt fyra kärnreaktorer sedan 2015, vilket motsvarar nästan 3 GW med hög effekttillgänglighet.



Figur 3.2. Månatlig andel av respektive kraftslag av den totala elproduktionen ("net electricity generation") i Nordeuropa till och med augusti 2020 och från januari 2016 (2017 för de fossila kraftslagen). Källa: Eurostat.

Elproduktionen i två huvudscenarier

Utgångspunkten för analyserna i detta kapitel är två av de omvärldsscenarioer som beskrivs i faktaruta 2.1, det vill säga ett **Basscenario** och ett **Klimatscenario** med tillhörande känslighetsanalyser/scenariovarianter.

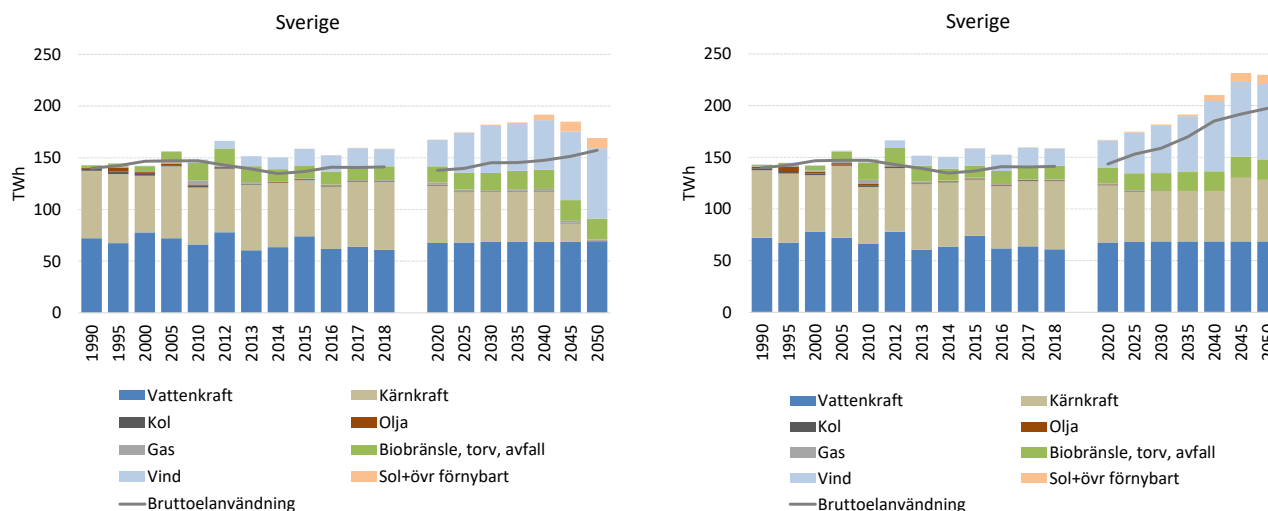
Beräkningsutfallet (TIMES-NORDIC-modellen)⁶ med avseende på den svenska elproduktionen i båda omvärldsscenarioerna redovisas i Figur 3.3. I båda fallen är det framförallt vindkraft som byggs ut. I kombination med en långsamt ökande elförbrukning i Basscenarioet leder detta till ett omfattande elöverskott på årsbasis, åtminstone fram till 2040 innan den

5) Svensk Vindenergi (2020)

6) För mer information om TIMES-NORDIC, se faktaruta 2.1

befintliga kärnkraften avvecklas av åldersskäl (60 års livslängd antas). Det gör att den årliga nettoexporten av el blir relativt stor, omkring 30–40 TWh beroende på modellår. I Klimatscenariot blir det årliga överskottet lägre till följd av en väsentligt högre elförbrukning. Den totala elproduktionen är i Klimatscenariot också klart större än i Basscenariot på längre sikt, till

följd av en större vindkraftsproduktion men också till följd av att nyinvesteringar i kärnkraft är lönsamma i Klimatscenariot efter 2040 (vi återkommer till kostnader för ny kärnkraft längre fram). Det förklaras av att elpriset är högre i Klimatscenariot till följd av en högre efterfrågan och ett avsevärt högre koldioxidpris.

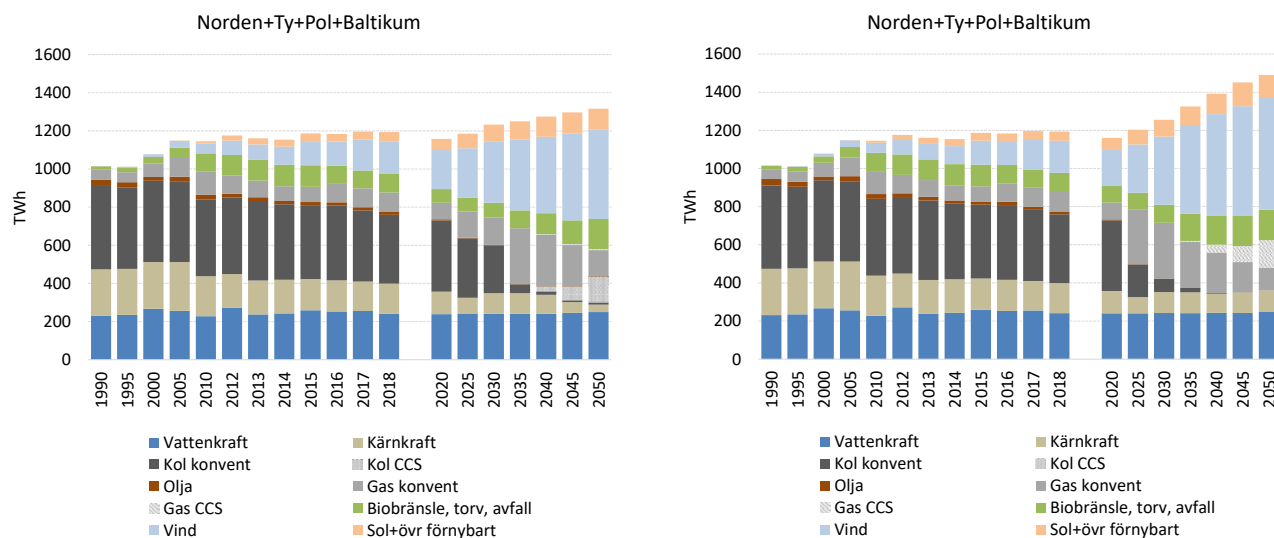


Figur 3.3. Den svenska elproduktionens utveckling i Basscenariot (till vänster) och i Klimatscenariot (till höger). Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar).

I Figur 3.4 redovisar vi motsvarande resultat för den nord-europeiska elproduktionen. Även här är det tydligt att förnybar elproduktion, framförallt vindkraft, byggs ut snabbt och blir på sikt kanske det viktigaste kraftslaget i hela regionen. Konventionell kolkraft fasas ut framförallt på grund av stigande koldi-

oxidpriser, men även till följd av politiskt beslutade utfasningar i framförallt Tyskland. På lång sikt blir CCS lönsamt i bägge scenarierna. Förhållandet mellan bränslepriserna för kol och naturgas⁷ samt koldioxidpriset medför att det är gas-CCS som väljs i Klimatscenariot och kol-CCS i Basscenariot.

7) I Klimatscenariot antas att de fossila bränslepriserna generellt ligger under motsvarande priser i Basscenariot. Detta förklaras av den globalt sett (klart) lägre förväntade efterfrågan på fossila bränslen i en omvärld som strävar efter att uppfylla Parisavtalets mål för utsläpp av växthusgaser



Figur 3.4. Den nordeuropeiska (Norden, Tyskland, Polen och de baltiska staterna) elproduktionens utveckling i Basscenariot (till vänster) och i Klimatscenariot (till höger). Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar.

Elproduktionen under särskilda perioder

I föregående avsnitt konstaterades att framförallt vindkraften växer i Sverige och blir betydande på årsbasis. Detsamma gäller den årliga nettoexporten. Om man tittar närmare på hur modellresultaten ser ut inom ett framtida år så kan vi se betydande variationer i elproduktion och i elöverföring från och till Sverige. Två situationer som är extra intressanta ur elbalanshänseende är perioden med maximal respektive minimal nettolast.⁸ Det första fallet sammanfaller ofta med hög efterfrågan på el och/eller låg tillgång till vind- och solkraft

och kan liknas vid en "underskottssituation". Det andra fallet sammanfaller ofta med låg efterfrågan på el och/eller (mycket) god tillgång till vind- och solkraft och kan liknas vid en "överskottssituation". Vi har här valt att redogöra för bägge dessa situationer i ett 2035-perspektiv och utifrån två varianter av vårt Klimatscenario, dels med de återstående 6 reaktorerna i drift, dels med samtliga reaktorer avstängda och utfasade. Den sistnämnda varianten förutsätter att det årliga produktionsbortfallet av kärnkraft ersatts med en lika stor årlig produktion av vind- och solkraft. Det innebär ca 95 TWh vindkraft och ca 10 TWh solkraft, jämfört med knappt 60 TWh vindkraft respektive

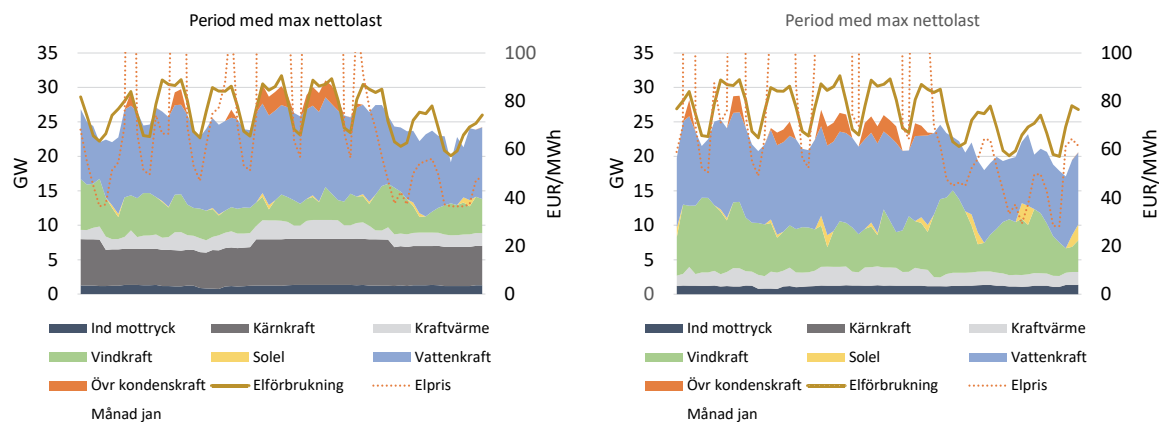
8) Nettolasten är det som återstår för planerbar elproduktion att fylla ut när elbehovet subtraheras med den icke-planerbara variabla elproduktionen som vind- och solkraft

tive ca 2 TWh solkraft i den första varianten. Denna typ av detaljstudier av skeenden inom ett år är gjorda med modellverktyget EPOD⁹ (i avsnittet ovan redogjordes för resultat med modellen TIMES-NORDIC). De två modellverktygen kompletterar varandra och används så långt som möjligt med gemensamma beräkningsförutsättningar.

Maximal nettolast

I Figur 3.5 redovisas utfallet för veckan som omger timmen med maximal nettolast i bägge varianter av Klimatscenarioet (med och utan kärnkraft). Denna period infaller typiskt under vintern, i detta fall under januari. Generellt är elproduktionen något större i fallet med kärnkraft, vilket är naturligt under just den perioden då kärnkraft producerar nära kapacitets-

gränsen medan vindkraft och solkraft fluktuerar betydligt mer. Därmed är behovet av import och annan kondensproduktion (exempelvis gasturbiner för topplastperioder) mindre i det fall då kärnkraften är tillgänglig. I takt med att såväl efterfrågan på el som produktionen av el varierar under veckan (i Sverige och i övriga länder) varierar också elpriset (visas i Figur 3.5 för elområde 3). Under den aktuella perioden krävs alltså elimport och annan kondensproduktion även i det fall då kärnkraften finns tillgänglig. Det beror i stor utsträckning på att eleffektbehovet förväntas vara klart större i Klimatscenarioet än idag (och i Basscenarioet). I beräkningarna har vi inte inkluderat efterfrågefleksibilitet på användarsidan. Det skulle sannolikt minska behovet av import eller annan kondensproduktion under ansträngda perioder.



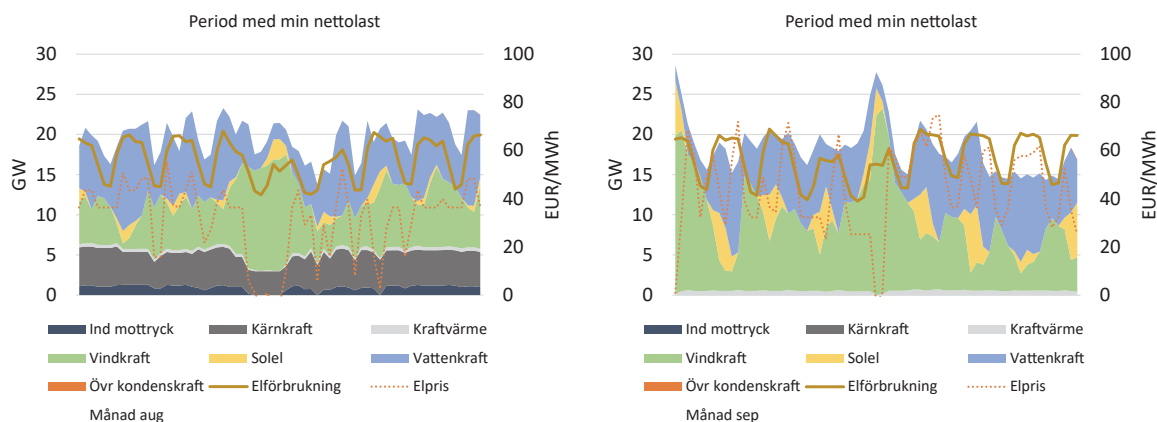
Figur 3.5. Elproduktionen, timme för timme, under veckan som omger timmen med maximal nettolast i Klimatscenarioet år 2035, dels med kärnkraft (till vänster), dels utan kärnkraft men med mer vind- och solkraft (till höger). Källa: EPOD-beräkningar.

9) EPOD-modellen är en simuleringsmodell, på timnivå, för elsystemet i Nordeuropa och de svenska fjärrvärmesystemen för ett givet år. Modellverktyget har utvecklats inom ramarna för ett forskningssamarbete mellan Chalmers och Profu. Mer om modellverktyget återfinns i Energiforsk (2019)

Minimal nettolast

I Figur 3.6 studerar vi istället veckan som omger timmen med minst nettolast under året. Där är inslaget av såväl vindkraft som solkraft mycket stort, och i scenariovarianten utan kärnkraft utgörs elproduktionen under timmen med minst nettolast nästan uteslutande av vind- och solkraft. Utöver det återfinns endast ett litet bidrag från vattenkraften som måste produceras till följd av ett antagande om krav på minimiflöden. Under samma timme är exporten från Sverige mycket stor samtidigt som elpriset ligger på noll. I modellbeskrivningen görs inga överväganden kring huruvida en timme med i princip enbart vind- och solkraft är möjlig utan att elsystemets stöd-

tjänster äventyras. Även i scenariovarianten med kärnkraften i drift blir elexporten bitvis ganska omfattande om än inte lika svängig som i varianten utan kärnkraft. Även elpriset varierar mer i scenariovarianten med mer vind- och solkraft men utan kärnkraft. I figuren till vänster kan man även se att kärnkraften reglerar ner när produktionen av vind- och solkraft blir tillräckligt stor och elpriserna tillräckligt låga. Vi antar att upp- och nedreglering bortom en viss miniminivå i kärnkraft är förknippad med kostnader, likaså att starta upp en reaktor efter en viss nedstängning. Det senare kräver också tid, ett dygn till dess att en reaktor åter är fullt tillgänglig.¹⁰



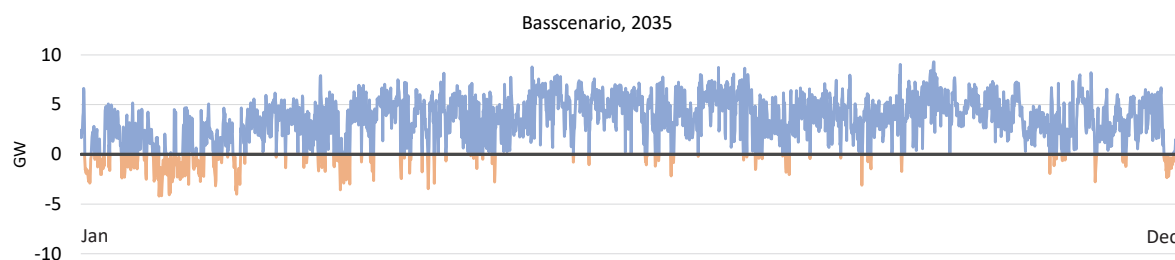
Figur 3.6. Elproduktionen, timme för timme, under veckan som omger timmen med minimal nettolast i Klimatscenarioet år 2035, dels med kärnkraft (till vänster), dels utan kärnkraft men med mer vind- och solkraft (till höger). Källa: EPOD-beräkningar (se faktaruta 2.1).

10) Även om viss reglering i en reaktor i modellen kostar sker ändå en betydande reglering beroende på elpriset. I verkligheten har man hittills reglerat efter elpris först det bedöms vara under en kritisk nivå under en längre tid. Typiskt kombinerar man detta med förlängd revision vilket var fallet under försommaren 2020 då elpriserna var väldigt låga under en period. Vår beskrivning av kärnkraften gör den därmed mer "lättrörlig" jämfört med hur anläggningarna i verkligheten körts under perioder då elpriset pendlar mellan låga och mer "normala" nivåer

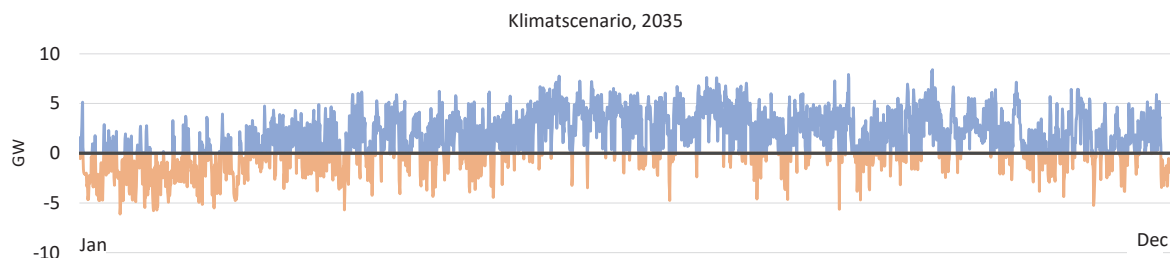
Elhandeln med Sveriges grannländer

Utifrån beräkningarna i föregående avsnitt sammanställer vi här modellresultaten för Sveriges timvisa elhandel med omvärlden, se Figur 3.7 till Figur 3.9. I samtliga beräkningsfall är Sverige en betydande nettoexportör på årsbasis men med vissa skillnader inom året. Det större elbehovet i Klimatscenariot minskar överskottet jämfört med Basscenariot, trots

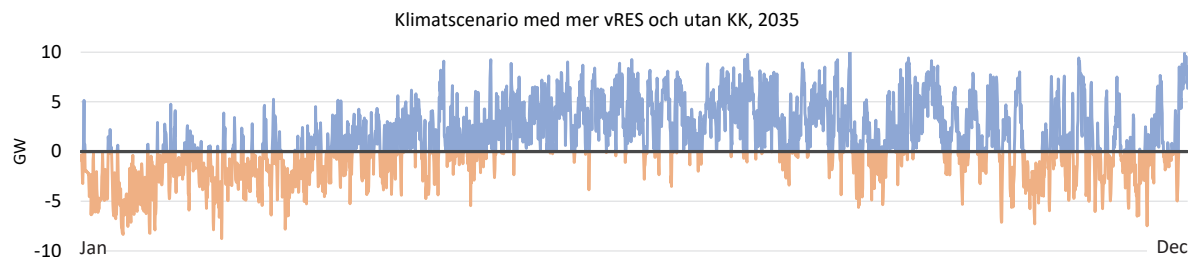
att även produktionen är större i det förra scenariot (jämför Figur 3.8 och Figur 3.7). Om elproduktionen i de återstående sex kärnkraftsreaktorerna ersätts med ungefär lika mycket vind- och solkraft bibehålls det årliga exportöverskottet men fördelningen över året ändras tydligt (jämför Figur 3.9 med Figur 3.8). Längre perioder med större nettoexport varvas med mer omfattande perioder med betydande nettoimport.



Figur 3.7. Nettoexporten från Sverige, i GW och timme för timme, i Basscenariot och modellår 2035. Nettoexport i blått och nettoimport i rött. Källa: EPOD-beräkningar (se faktaruta 2.1).



Figur 3.8. Nettoexporten från Sverige, i GW och timme för timme, i Klimatscenariot och modellår 2035. Nettoexport i blått och nettoimport i rött. Källa: EPOD-beräkningar (se faktaruta 2.1).

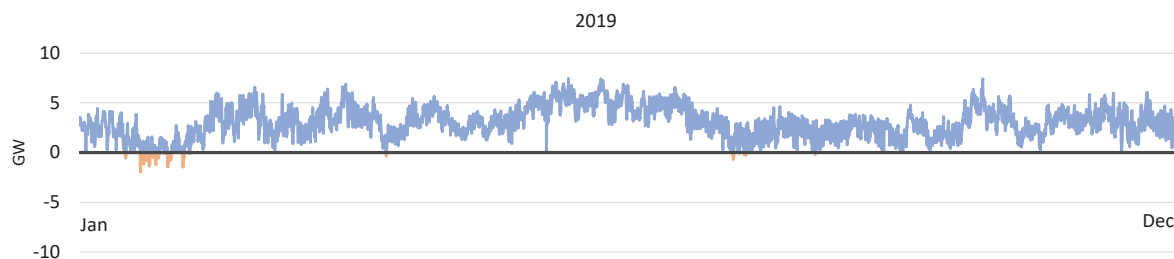


Figur 3.9. Nettoexporten från Sverige, i GW och timme för timme, i Klimatscenariot med ytterligare vind- och solkraft men utan kärnkraft och modellår 2035. Nettoexport i blått och nettoimport i rött. Källa: EPOD-beräkningar (se faktaruta 2.1).

Som jämförelse redovisas i Figur 3.10 den verkliga nettoexporten från Sverige, timme för timme, år 2019. Året präglades av ett mycket stort överskott med en rekordexport och man kan se att vi nettoimporterade endast under ett begränsat antal timmar under vintern. Även åren 2017–2018 präglades av ett omfattande exportöverskott om än inte lika stort som under 2019. Under 2017–2018 var nettoexporten lägre generellt över året och nettoimporten större än under 2019. Närmast jämförbart är utfallet i Basscenariot där en fortsatt utbyggnad av vindkraft, endast en långsam ökning i elbehov och bibehållen

kärnkraft manifesterar en stor årlig nettoexport och dessutom under lejonparten av året.

Baserat på modellberäkningarna och jämfört med 2019 ökar därmed nettoexporten delar av året men uppvägs delvis av en större nettoimport under andra perioder av året. Denna variation i nettoexport och nettoimport är särskilt markerad i vårt Klimatscenario med mycket stora volymer vind- och solkraft samt utan kärnkraft.



Figur 3.10. Nettoexporten från Sverige, i GW och timme för timme, år 2019. Nettoexport i blått och nettoimport i rött. Källa: Nordpool.

Den viktiga effekten

I föregående avsnitt uppehöll vi oss vid årlig elproduktion, det vill säga "TWh". En annan viktig dimension för elsystemet är att el ska kunna tillföras i den omfattning som efterfrågas av marknaden i *varje* tidpunkt. Detta har sålunda med effekt att göra och beskrivs kort i detta avsnitt och mer detaljerat i kapitel 4. Effektfrågan har fått ökad aktualitet i takt med att andelen variabel förnybar elproduktion med begränsad planerbarhet har ökat. Denna ökning kommer att fortsätta, samtidigt som det finns tecken på att en del av den planerbara termiska elproduktionen kan komma att få problem med lönsamheten. Stängningen av de fyra kärnkraftsreaktorerna R1, R2, O1 och O2 är talande exempel och en följd av de senaste årens elpriser som inte i tillräcklig utsträckning motiverar fortsatt drift eller nyinvesteringar. Detta har även lett till lönsamhetsproblem för vissa kraftvärmeverk. Det finns också termisk planerbar effekt som fasas ut av andra skäl, exempelvis klimatskäl, och då inte minst bland Sveriges grannländer. I Tyskland har exempelvis regeringen aviserat att all kolkraft i snabb takt ska fasas ut till 2038.

Sammantaget har den ovan beskrivna situationen medfört ett ökat fokus på eleffektfrågan och hur planerbarhet och flexibilitet i det framtida elsystemet kan säkerställas så att leveranssäkerheten även i framtiden förblir på en mycket hög nivå. Rent tekniskt kan behovet av flexibilitet och planerbarhet sannolikt uppfyllas även i ett system där andelen variabel förnybar elproduktion är väsentligt större än idag, samtidigt som delar av den tillgängliga termiska eleffekten av olika skäl fasas ut. Efterfrågefleksibilitet, energilager, ökad elproduktionsfleksibilitet för vindkraft och solkraft genom teknisk utveckling, samt

förstärkt elöverföring kan troligen hantera en stor del av det framtida behovet av flexibilitet och planerbarhet. Det är samtidigt svårt att helt bortse från behovet av planerbar (termisk) elproduktion, även i det nordiska elsystemet där vattenkraften utgör en både flexibel och betydande produktionsresurs. I en sådan framtid kan den planerbara termiska produktionseffekten delvis se annorlunda ut än dagens anläggningar som ofta byggts för långa drifttider och hög tillgänglighet under ett år.

En statisk betraktelse av topplasttimmen

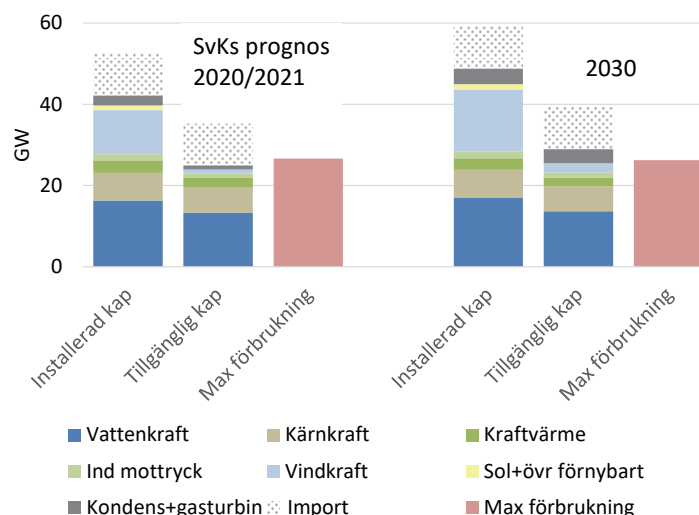
Eleffektbalanssituationen under ansträngda perioder kan illustreras som i Figur 3.11. Figuren visar dels situationen så som Svenska kraftnät (SvK) bedömer den inför kommande vinter 2020/2021¹¹, dels modellberäkningar för utfallet år 2030 i NEPP:s Basscenario. I figuren kan man utläsa dels den totalt installerade produktionskapaciteten, per energislag, i Sverige, dels den andel som antas vara säkert tillgänglig när den som bäst behövs, det vill säga när eleffektbehovet är som störst. Den tillgängligheten kan beräknas på lite olika sätt men vi har i figuren valt att använda samma tillgänglighetsfaktorer som SvK utnyttjar i sin analys av eleffektbalansen i Sverige. Dessa faktorer innebär att ca 80% av kraftvärmen och 90% av kärnkraften är tillgänglig under topplasttimmen.¹² Vi har dock antagit att tillgänglighetsfaktorn för vindkraft förbättras till följd av teknikutveckling till 2030, från SvK:s bedömning för dagens vindkraftflotta på 9% till 15%. Även ett effektvärde på 15% för vindkraft är naturligtvis ingen garanti (även om alltså sannolikheten är hög) för att det kommer att blåsa just den timmen då produktionseffekten som bäst behövs. På så sätt ökar eltillförselns utsatthet för extrema eller sällsynta väderhändelser om man förlitar sig till en viss tillgänglighet till, i detta fall, vindkraft.

11) Svenska kraftnät (2020a)

12) Den lägre siffran för kraftvärme beror sannolikt på att man på förhand utgår från att en del av ångan i kraftvärmeverken styrs över från elproduktion till mer fjärrvärmeproduktion då de mest ansträngda situationerna på elmarknaden ofta sammanfaller med ett högt värmebehov i fjärrvärmesystemen. Detta har vi också verifierat i modellberäkningar med EPOD (se beskrivning i faktaruta 2.1)

I Figur 3.11 redovisas utfallet för ett normalår (en normalvinter). Modellverket investerar dock i kapacitet som ska hantera ett effektbehov även utöver det normala, närmast jämförbart med en tioårsvinter.¹³ Vi kan se att under vintern 2020/2021 bedömer SvK att vi i normalfallet inte kan täcka hela effektbehovet med produktionsresurser inom landets gränser då det saknas drygt 1,5 GW. Vi måste alltså lita på elimport. Importkapaciteten (drygt 10 GW) täcker med råge detta "underskott", men det är naturligtvis långt ifrån säkert

att tillräckligt med produktionsresurser finns tillgängliga i våra grannländer just i den stunden. Modellberäkningarna för 2030 investerar i topplastkapacitet, företrädesvis i gasturbiner med en samlad effekt på nästan 4 GW, just för att möta effektbehovet.¹⁴ Dessutom antar vi i Basscenariot att effektbehovet för uppvärmning minskar med ungefär lika mycket som eleffektbehovet för annan elanvändning ökar, samt att utbyggnaden av vindkraft ytterligare kan stärka eleffektbalansen något även under topplasttimmen enligt det tidigare resonemanget.

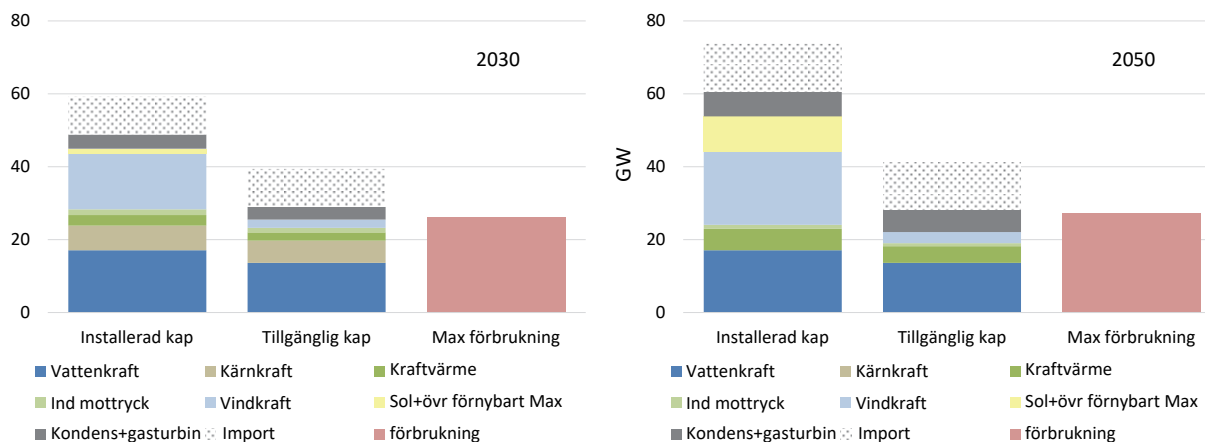


Figur 3.11. En statisk betraktelse av den svenska eleffektbalansen enligt SvKs prognos för den kommande vintern (de tre staplarna till vänster; Källa: SvK, 2020a) samt baserat på utfallet i Basscenariot för modellår 2030 (de tre staplarna till höger; Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar).

- 13) Modellverket kan inte identifiera effektbrist. Istället investerar den i den mest kostnadseffektiva lösningen för att möta topplastbehovet av el, såväl under normala som mer extrema omständigheter (till exempel en tioårsvinter mätt som kallaste 3-dygnsmedeltemperaturer med en återkomsttid på 10 år)
- 14) Huvuddelen av befintlig gasturbinkapacitet (ca 1,5 GW) ingår idag i störningsreserven och antas av SvK därför inte vara tillgänglig för att möta topplastbehovet av el. I våra modellberäkningar gör vi inga sådana överväganden med avseende på den reserv- (eller topplast-)kapacitet som investeras utan vi antar att all sådan kapacitet finns tillgänglig (med högt effektvärde eller hög tillgänglighetsfaktor) för elmarknaden och, därmed, för timmen med maximalt effektbehov

Efter 2040 börjar den återstående kärnkraftskapaciteten att falla för åldersstrecket och ersätts inte av ny kapacitet i Basscenariot. 2050, då all kärnkraft är utfasad, får vi en annan situation för elbalansen, se Figur 3.12. För att hantera effekttoppar krävs då en installerad effekt på nästan 7 GW i topp-

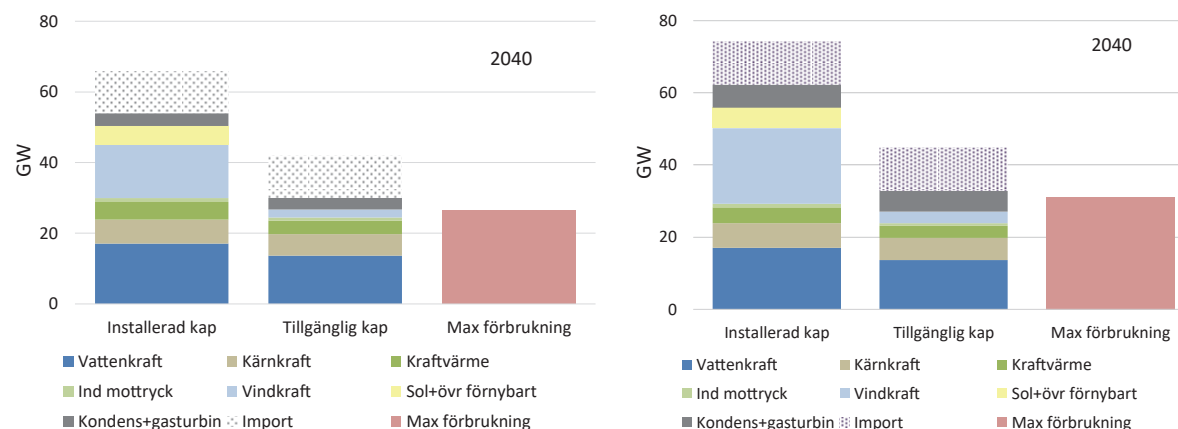
lastkapacitet, det vill säga i planerbar (termisk) kapacitet med kort utnyttjningstid. Notera att eleffektbehovet inte har ökat nämnvärt, vilket beror på att Basscenariot endast utgår från en relativt begränsad elektrifiering inom främst transportsektorn.



Figur 3.12. En statisk betraktelse av den svenska eleffektbalansen i Basscenariot, 2030 (till vänster) respektive 2050 (till höger). Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar.

Konsekvensen av en mer omfattande elektrifiering illustreras istället i Figur 3.13 (se nästa sida). Denna gång betraktar vi modellåret 2040 och jämför Basscenariot med Klimatscenariot. I detta fall uppgår behovet av topplastkapacitet till ca 4 GW i Basscenariot och runt 6 GW i Klimatscenariot. Siffran för Klimat-

scenariot hade sannolikt varit klart större om inte kärnkraften funnits tillgänglig. Det är inte förrän *efter* 2040 som ny kärnkraft byggs i Klimatscenariot. Därmed är den installerade kärnkraftskapaciteten densamma i Basscenariot som i Klimatscenariot år 2040.



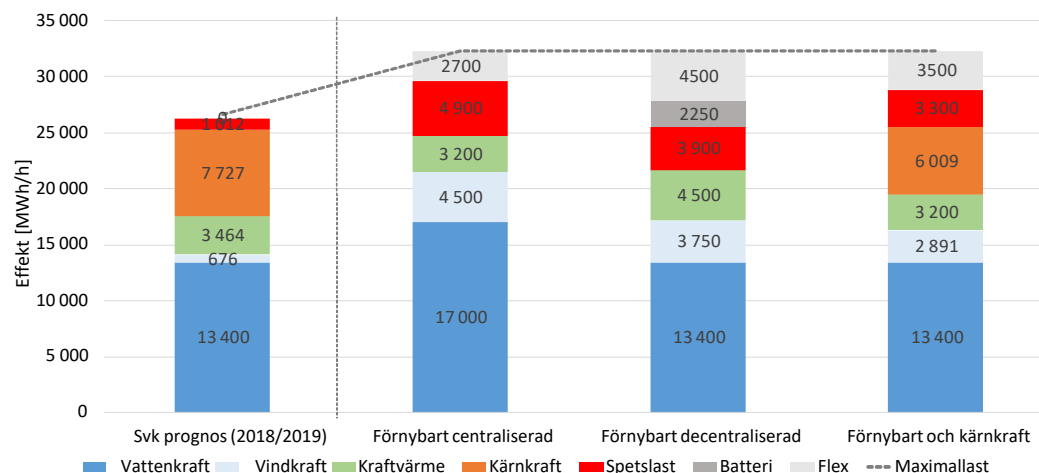
Figur 3.13. En statisk betraktelse av den svenska eleffektbalansen i Basscenariot, 2040 (till vänster) respektive i Klimatscenariot, 2040 (till höger). Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar.

TIMES-NORDIC-modellen är något konservativ när det gäller investeringar för att möta topplasteffekten eftersom modellbeskrivningen saknar åtgärder för lastförskjutning eller energilager på användarsidan. De enda åtgärderna på användarsidan som ingår i modellbeskrivningen är en konvertering från elbaserad uppvärmning till andra uppvärmningsformer. Det är även möjligt att utnyttja avkopplingsbara elpannor inom industri och fjärrvärmeproduktion. Istället hanteras det maximala eleffektbehovet till den allra största delen av befintlig eller investeringar i ny produktionskapacitet (med låg utnyttjningstid, till exempel gasturbiner). Även elimport från Sveriges grannländer kan potentiellt användas för att möta effektbehovet under topplasttimmar. Tillgängligheten till import under sådana timmar kan dock diskuteras och beror i mångt och mycket på situationen i våra grannländer som naturligtvis också kan vara ansträngd.

En andel av den här identifierade topplastkapaciteten skulle kunna hanteras med efterfrågefleksibilitet (eller energilager) istället. Efterfrågefleksibilitet har fördelar såsom snabb reaktionsförmåga (förutsatt intelligent styrning) samt består sannolikt av ett stort antal separata, eller åtskilda, bidrag vilket är positivt för redundansen. En viktig nackdel är uthålligheten där produktionskapacitet har ett övertag. I underlaget till elbranchens färdplan för fossilfri konkurrenskraft¹⁵ (som i många avseende delar beräkningsförutsättningar med Klimatscenariot) görs bedömningen att efterfrågefleksibiliteten i ett 2045-perspektiv kan stå för typiskt omkring 35–50% av denna topplastkapacitet, beroende på scenario. I Figur 3.14 visas utfallet från den analys som närmast går att jämföra med den högra bilden i Figur 3.13.¹⁶

15) NEPP (2019)

16) Modelleringen skiljer sig med avseende på modellär samt några få beräkningsförutsättningar



Figur 3.14. En statisk betraktelse av tillgänglig eleffekt i modellår 2045 baserat på NEPP:s underlagsarbete till Färdplan el. Källa: Apollo-beräkningar och NEPP (2019).

Vi påminner om att eleffektbalansen i Figur 3.11–Figur 3.14 bygger på ett statistiskt betraktelsesätt. Ett annat sätt att analysera eleffektbalansen under ansträngda situationer är istället att utnyttja en dynamisk ansats. I det fallet simulerar man ett stort antal faktiska väderår, timme för timme, och kombinerar med slumpmässigt bestämda tillgängligheter för produktionsanläggningar och elöverföring. På så sätt är det möjligt att identifiera timmar som är kritiska. Denna ansats utnyttjas också av Svenska kraftnät och diskuteras närmare i bland annat NEPP (2020).

Kort om stödtjänster

Ur ett elförsörjningsperspektiv är stödtjänster eller systemtjänster mycket viktiga komponenter för att upprätthålla balans och leveranssäkerhet i elsystemet. Stödtjänster berör framförallt frekvens- och spänningshållning och hanteras av

Svenska kraftnät på stamnätsnivå men även av elnätsföretagen på lägre spänningsnivåer när det gäller just spänningshållning. Stödtjänsterna på systemnivå tillförs vanligen via upphandlingar på någon av de för ändamålen avsedda marknadsplatserna i Svenska kraftnäts regi (gäller framförallt frekvenshållning), eller genom bilaterala avtal med aktörerna på elmarknaden. Dessutom förfogar Svenska kraftnät över egna anläggningar (gasturbiner) som är reserverade för kritiska situationer. Vissa stödtjänster fås ”per automatik” från synkront anslutna termiska kraftverk eller vattenkraftverk. Momentan frekvensreglering genom rotationsenergin i roterande turbiner och generatorer (”svängmassa”) är ett sådant exempel. Stödtjänster beskrivs mer detaljerat i kapitel 4 om effekt.



**Vindkraft: största
kraftslaget inom ett
till två decennier?**



Perspektiv på de olika kraftslagen

I det här avsnittet går vi närmare in på olika kraftslags bidrag till den långsiktiga elförsörjningen i Sverige. Vi redogör för några nyckelfaktorer och deras betydelse för respektive kraftslag, bland annat baserat på känslighetsanalyser med hjälp av energisystemmodellering. För perspektiv på framtida investeringar i vindkraft och solkraft hänvisas till kapitel 5.

Vindkraft: största kraftslaget inom ett till två decennier?

Vindkraften är det kraftslag som byggs ut mest i scenarierna – från dagens ca 20 TWh till omkring 60 TWh år 2040 i Bas-scenariot och mer än 70 TWh samma år i Klimatscenariot, se Figur 3.15. Det senare skulle innebära att vindkraften blir det största enskilda kraftslaget i Sverige på lång sikt.

I modellverktyget ansätts en kostnad- och utbudskurva för ny vindkraft på land och till havs, där de olika kostnadssegmenten styrs av framförallt vindtillgång men även i viss mån av avstånd till närmaste anslutningspunkt. I båda scenarierna antas genomgående att kostnadsstrukturen för ny vindkraft ser likadan ut idag som i framtiden, det vill säga vi räknar inte med ytterligare kostnadsreduktioner inom respektive kostnadsklass. I Klimatscenariot gör vi dock en känslighetsanalys där produktionskostnaden för ny vindkraft minskar med 10% mellan 2020 och 2030 (därefter antar vi samma kostnad). Resultatet visar på en total vindkraftsproduktion på 90–100 TWh efter modellår 2040 (se Figur 3.15). Antagandet om teknisk utveckling och framtida investeringskostnader har därmed en betydande påverkan på slutresultaten i synnerhet för kapitalintensiva tekniker som vindkraft (och sol).¹⁷ En tioprocentig kostnadsreduktion i investeringskostnad för europeisk landbaserad vindkraft är också vad IEA antar i sin modellanalys (dock mellan

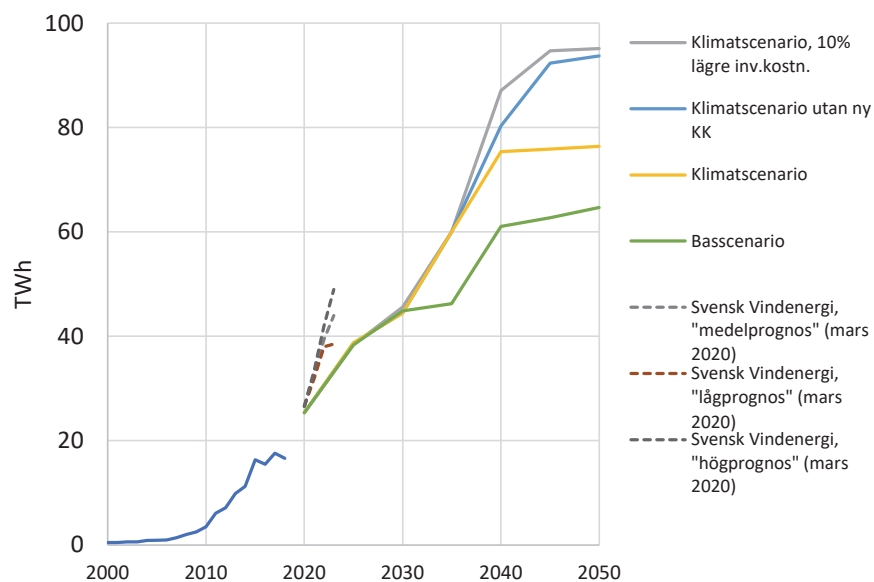
2018 och 2040) i samband med WEO 2019.¹⁸ Kostnadsläget för landbaserad vindkraft i Europa enligt IEA är dock avsevärt högre än det vi antar för svensk/nordisk vindkraft i vår modellbeskrivning.

Ytterligare en faktor som har betydelse är tillgången till alternativ elproduktion på lång sikt. Givet de antaganden som vi gör i Klimatscenariot blir ny kärnkraft lönsam i ett längre tidsperspektiv, även i Sverige. Om vi trots det utesluter möjlighet till investeringar i ny kärnkraft, exempelvis av politiska skäl, ökar efterfrågan på ny vindkraft ännu mer (jämför "Klimatscenariot utan ny KK" i Figur 3.15).

Utvecklingen inom vindkraftområdet går som sagt snabbt. Nya investeringsbeslut tillkommer löpande och samtidigt fortsätter produktionskostnaderna att minska. Huvuddelen av modellberäkningarna som redovisas i Figur 3.15 utfördes inom NEPP under 2019 och bygger på kostnadsantaganden som ligger något eller några år bak i tiden. Som ett komplement till analysen redovisar vi en modellberäkning som ligger något närmare i tiden ("Basscenario 2020 med reinvestering"). Detta beräkningsfall förutsätter något lägre investeringskostnader för ny vindkraft i syfte att spegla mer aktuella förhållanden (de bästa lägena antas kosta runt 30 öre/kWh jämfört med 35–40 öre/kWh i huvuddelen av de andra beräkningarna). Beräkningsfallet tar även hänsyn till de verk som är under uppförande (första halvåret 2020) och beräknas tas i bruk under de närmaste åren. Dessutom antar vi i denna modellberäkning att befintliga verk, när dessa tjänat ut, kan ersättas av nya, med bättre prestanda, på samma plats till en något lägre kostnad än om man behövt utnyttja en helt oexploaterad plats ("reinvestering"). Sammantaget leder detta till en vindkraftsproduktion i Sverige på strax under 100 TWh runt 2040. Det kan närmast jämföras med "Bassceniots" drygt 60 TWh även om det finns ytterligare

17) Det finns även studier som pekar på att tekniskt lärande kan få signifikant betydelse för att reducera drift- och underhållskostnaderna, något som för vindkraftens totala kostnader inte är försumbart (AWEA, 2019)

18) IEA (2019)



Figur 3.15. Vindkraftsproduktionens utveckling i Sverige baserat på ett urval av scenariostudier inom NEPP under 2018–2020 samt vindkraftbranschens egen prognos (Svensk Vindenergi, 2020).

faktorer som skiljer sig mellan beräkningsfallen (till exempel antar vi ett högre pris på CO₂ i "Basscenario med reinvestering" vilket ytterligare gynnar svensk vindkraft, allt annat lika). Går vi tillbaka till NEPP:s inledande modellanalys från årsskiftet 2017/2018 (se NEPP-rapporten "Två scenarier") så landade vindkraftens bidrag runt 2040 på omkring 50 TWh.

Vi kan konstatera åtminstone två saker: 1) vindkraften kommer sannolikt att få en dominerande roll i den svenska elförsörjningen och 2) ju mer aktuell modellanalysen är desto större tycks vindkraftens långsiktiga betydelse bli i modellresultaten.

Som en avslutande jämförelse kan vi också nämna branschorganisationen Svensk Vindenergis färdplan mot ett 100% förnybart svenskt elsystem år 2040, där man anger att vindkraften bör stå för minst 90 TWh.¹⁹ Detta ligger därmed nära "högfallen" i Figur 3.15.

¹⁹ Svensk Vindenergi (2019)

Vattenkraft: mycket värdefull men har den mer att ge?

De två faktorer som i nuläget bedöms ha störst påverkan på förutsättningarna för svensk vattenkraft i ett längre tidsperspektiv är den pågående miljöprövningsprocessen respektive konsekvenser av klimatförändringar. Givet att energiutbyggnadspotentialen för svensk vattenkraft är mycket begränsad tillkommer kraftverksägarnas investeringsincitament för effekthöjningar i befintliga verk som ytterligare en faktor. Dessa investeringsincitament påverkas i sin tur av utvecklingen på elmarknaden.

I modellanalysen som redovisas i detta kapitel görs inga explicita antaganden kring konsekvenser av den pågående miljöprövningsprocessen eller klimatförändringarnas påverkan på vattenkraften. Istället har vi utgått från dagens normalårsproduktion på 67 TWh per år (vi räknar genomgående med normalår i modellberäkningarna) och antar dessutom att produktionsförmågan kan öka med knappt 1 TWh på lång sikt genom investeringar. Utfallet för vattenkraftproduktionen är därmed detsamma i båda de scenarier som redovisats i detta kapitel. Även på lång sikt antas alltså vattenkraften utgöra ett betydande kraftslag i den svenska elförsörjningen flankerad av en vindkraftsproduktion och, i Klimatscenariot, en kärnkraftsproduktion som är i samma storleksordning på årsbasis. Den betydande vattenkraftproduktionen i Sverige (och i Norden) med dess goda reglerförmåga utgör naturligtvis en stor fördel vid en storskalig utbyggnad av variabel elproduktion.

Miljöprövningsprocessen kan leda till minskad vattenkraftproduktion

Under denna etapp av NEPP har det pågått ett arbete på myndighetsnivå att besluta om en rad lagändringar som kommer att påverka vattenkraften under lång tid framöver. Det handlar dels om den nationella planen för omprövning av vattenkraften till moder-

na miljövillkor, dels miljökvalitetsnormer för vattenkraftverk med vattenförekomster som klassas som kraftigt modifierade vatten (KMOV).²⁰ Den 26 juni år 2020 fastställde Regeringen förslaget till den nationella planen. Planens syfte är att tillse att omprövningarna av vattenkraftens miljövillkor ska leda både till största möjliga nytta för vattenmiljön och en nationell effektiv tillgång till vattenkraftsel. Vad gäller miljökvalitetsnormer (MKN) för KMOV-verk beslutade Vattenmyndighetens delegationer den 7 mars 2019 om villkor som ska gälla när vattenkraftverken provas i domstol.

Den nationella planen kommer att fungera som underlag och vägledning till verksamhetsutövare och domstolar vad gäller deras klassificering av vattenförekomster och normsättning. Under arbetet med planen har det varit en stor osäkerhet om vilken påverkan kommande miljöprövningar kommer att få på elproduktionsförluster. Som en del i den nationella helhetssynen som ska tillämpas under miljöprövningarna anges ett riktvärde på nationell nivå för vad som kan anses utgöra "betydande negativ påverkan på vattenkraftproduktion". Riktvärdet motsvarar det som angavs i den nationella strategin från 2014 om 1,5 TWh²¹, som en vägledning till vattenmyndigheterna.

I dagsläget råder oklarhet om hur man ska kunna begränsa 1,5 TWh i produktionsförlust givet de MKN som beslutades 2019. I den slutgiltiga versionen av beslutet för vilka MKN som ska gälla vid prövningarna uppskattades produktionsförlusten till följd av föreslagna åtgärder för KMOV-verk till 0,6–1,8 TWh/år. Produktionsförlusten till följd av åtgärder vid alla övriga vattenkraftverk anges också som ett spann, ca 1,0–3,5 TWh. Totalt alltså ca 1,6–5,3 TWh/år. I den första samrådsversionen inför MKN-beslut uppskattades konsekvenserna för elproduktionen till 1,5 TWh/år ifall höglödesåtgärder genomförs för Natura 2000-områden. Sammanlagt skulle

20) Tre delrapporter har publicerats inom ramen för NEPP som har sammanfattat utvecklingen av denna lagförändringsprocess: "Miljörättsliga aspekter kring effekttökning i vattenkraftverk" – se NEPP:s hemsida

21) Strategin angav ett begränsande planeringsmål för miljöförbättrande åtgärder i vattenkraftverk på nationell nivå, motsvarande att högst 2,3 % av vattenkraftens nuvarande årsproduktion under ett normalår, vilket då motsvarade 1,5 TWh, får tas i anspråk. Därefter har man utgått från 1,5 TWh som gällande

produktionsförlusten alltså kunna uppgå till ca 6,8 TWh/år. I den slutliga samrådsversionen saknas dock bedömningen för Natura 2000-områdena, varför det är osäkert hur detta kommer att hantearas. Under alla förhållanden kan man konstatera att konsekvenserna för elproduktion och reglerförmåga av MKN skulle kunna bli betydande och i strid med den nationella strategin. Den beslutade nationella planen innebär troligtvis att beslutet gällande MKN måste omvärderas samt även att ytterligare vattenförekomster bör kunna förklaras vara KMV.²²

Klimatförändringar ökar tillrinningen

Klimatförändringar kommer att ge ökad nederbörd på de flesta håll i landet, enligt klimatscenarier som används i Energiforskningsprojektet "Klimatförändringarnas påverkan på energisystemet".²³ Detta innebär en potential för ökad vattenkraftsproduktion i reglerkraftverk. Ökad tillrinning och ökad produktion kan dock innebära minskad möjlighet till effektereglering, eftersom utnyttjningstiderna för generatorerna ökar. Effekthöjningar skulle å andra sidan kunna råda bot på det. Mindre snömängder och tidigare avsmältning påverkar också säsongsmönstren för vattenkraften.

Vidare pekar klimatmodelleringarna på en viss risk för torka särskilt i sydöstra Sverige vilket påverkar produktionsmöjligheter från vattenkraft och leder till ökad konkurrens om vatten som resurs. Ökad frekvens av värmeböljor kan påverka behovet av kyla, och ökade vattentemperaturer kan öka förekomst av invasiva arter som kan innebära risk för driftpåverkan i vattenkraftverken. Problem med kravning (bildning av iskristaller i rinnande vatten) kan flyttas norrut i landet då temperaturen ökar. En ökad frekvens med dagar då temperaturen pendlar vid nollgradersstrecket kan komma att påverka hur vattenkraftverken körs till följd av en större risk för isdämning (det vill säga dämningseffekter till följd av isbildning såsom kravning).

I en tidigare Elforskstudie beräknade man att den årliga genomsnittliga produktionen från svensk vattenkraft kan komma att öka med mellan 2-10% under perioden 2011 till 2040 till följd av ett förändrat klimat.²⁴ Det konstaterades att det framförallt är i de norra vattendragen som ökningen sker medan utfallet för de södra vattendragen är mer osäkert.

Vad beror otillgängligheten på i dagens vattenkraftkapacitet?

Sverige har idag drygt 16 GW installerad vattenkraft. Historiskt har dock den samlade produktionseffekten inte överstigit 14 GW även under perioder då elpriset varit mycket högt. Under sådana perioder bör följaktligen incitamenten för att inte producera så mycket som möjligt vara (mycket) små. En närmare analys av dessa orsaker indikerar att det finns en viss potential för att "krama ur" ytterligare tillgänglig effekt ur den svenska vattenkraften. Genom att i detalj kartlägga orsakerna (bland annat genom att samla in uppgifter från ett antal vattenkraftägare) till varför vattenkraftverken inte kördes för fullt under några timmar i mars 2018, då elpriset var synnerligen högt, kan vi bättre förstå varför 2–3 GW förblir outnyttjade, trots att marknadssignalerna talar för det motsatta, se Figur 3.16. Det handlar bland annat om att viss effekt är reserverad för frekvenshållning och kan därför inte bjudas ut på den ordinarie elmarknaden, eller att vissa anläggningar helt enkelt är föremål för såväl planerat som oplanerat underhåll. Vattendomar och en "mismatch" mellan den officiella statistiken och de enskilda vattenkraftföretagens sätt att definiera installerad effekt är ytterligare skäl som förklarar gapet mellan den installerade effekten och det som maximalt körs.

Sammanfattningsvis finns alltså ett antal faktorer som förklarar varför vattenkraftproducenterna inte kör sina anläggningar på maximal effekt även om elmarknadens prissignaler skulle moti-

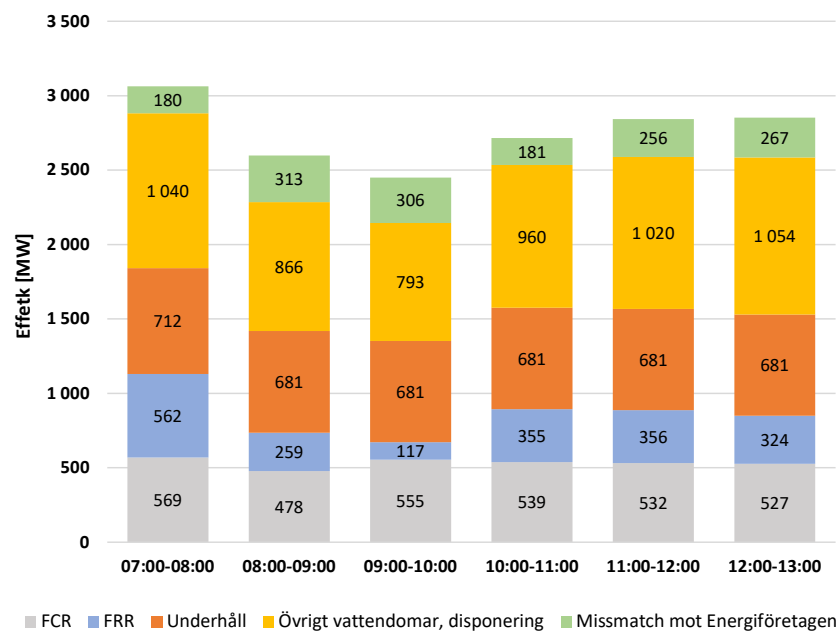
22) KMV innebär i regel mindre stränga krav för vattenförekomster, för mer om detta se NEPP (2017)

23) Pågående forskningsprojekt, se <https://energiforsk.se/program/klimatforandringarnas-konsekvenser-for-energisystemet/>

24) Elforsk (2007)

vera detta. Faktorer som potentiellt kan frigöra viss kapacitet är förbättrad underhållsplanering och det faktum att andra åtgärder i framtiden troligen kommer att få ökad betydelse för frekvens-

hållningen (till exempel efterfrågefleksibilitet och möjligen batterilager). Faktorer som är svårare att påverka har med älvsräckornas fysiska beskaffenhet att göra liksom vattendomar.



Figur 3.16. Sammansättningen av orsakerna till den icke-utnyttjade vattenkrafteffekten i Sverige under en förmiddag (1 mars 2018) med höga elpriser.

Effekthöjning för att hantera framtidens variabilitet

I en av scenariovarianterna i underlaget till elbranschens färdplan antog man möjligheten till en riktad satsning på effekthöjning i de stora vattenkraftverken på upp till 4 GW, det vill säga totalt omkring 20 GW i installerad effekt.²⁵ En sådan åtgärd skulle tydligt stärka den långsiktiga effektbalansen och reglerförmågan. Den årliga elproduktionen från vattenkraften antogs däremot vara oförändrad.

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. En utökad flexibilitet i vattenkraften hjälper till att parera fluktuationerna i förnybar produktion på timmes-, vecko- och säsongsnivå. Den kan även bidra till att hantera produktionsöverskottet genom en lägre minimumproduktion, då vind och sol producerar som mest och vattnet sparas till perioder med mindre förnybar produktion. Med ett flexiblare vattenkraftssystem kommer även magasinen att kunna utnyttjas mer optimalt. Även om lagringsskapaciteten i befintliga magasin inte ökar leder den ökade flexibiliteten i vattenkraften till att magasinen kan utnyttjas mer optimalt då risken för spill minskar.

Kärnkraft: stabil basproduktion med osäkert läge på lång sikt

Den svenska kärnkraften har producerat el sedan de första reaktorerna togs i drift under 1970-talet och har under perioden mellan 1980-talet och 2010-talet betraktats som det "andra benet" i den svenska elförsörjningen. Tiderna förändras dock och 5 reaktorer har sedan dess stängts och ytterligare en stängs efter årsskiftet. Samtidigt kan vindkraften inom kort betrakta sig som "det tredje benet". Även om kärnkraftens dominerande ställning inte är lika framträdande längre, har den

en viktig betydelse i elförsörjningen och bidrar till utsläppsfri elproduktion, effekt med hög tillgänglighet och stödtjänster för stabilitet och driftsäkerhet i elsystemet. Det sistnämnda blev uppenbart försommaren 2020 då Svenska kraftnät med relativt kort varsel upphandlade bägge generatorerna i Ringhals 1 för att stötta elsystemet i södra Sverige under en period då stabiliteten i elnätet var ansatt och då Ringhals 1 egentligen var tagen ur drift för en förlängd revision.²⁶

I och med Finlands investeringar i kärnkraft pekar det mesta på att kapaciteten under det närmaste decenniet sannolikt ökar jämfört med idag, även efter det att Ringhals 1 stänger efter årsskiftet 2020/2021. Den femte reaktorn i Finland ansluts troligen till elnätet under 2021.²⁷ Räknar vi dessutom med att det påbörjade arbetet med Finlands sjätte reaktor, Hanhikivi 1, går i mål innan 2030 kan kapaciteten öka ytterligare.

I scenarioräkningarna förutsätts att Ringhals 1 stängs enligt plan vid årsskiftet 2020/2021. Alla återstående reaktorer antas ha en livslängd på 60 år. Utöver det är nyinvesteringar möjliga för att öka kapaciteten ytterligare eller för att ersätta befintlig kapacitet som fallit för åldersstrecket. När det gäller nyinvesteringar i Sverige har vi valt att begränsa dessa så att den samlade kapaciteten för kärnkraft i Sverige inte överstiger dagens kapacitet (2020) plus den nedstängda Ringhals 2.

Är kärnkraft lönsamt?

Enligt modellberäkningar av den långsiktiga elprisutvecklingen kan *befintlig* kärnkraftskapacitet, i båda huvudscenarierna, drivas vidare med tillräcklig lönsamhet. Även om de rörliga kostnaderna, inklusive bränslekostnader, är mycket låga så är de fasta drift- och underhållskostnaderna relativt höga. Därtill kommer kapitalkostnader för gjorda investeringar, framförallt

25) Potentialen för en effekthöjning bygger på uppskattningar som gjorts av Sweco (2016)

26) Svenska kraftnät (2020b)

27) World Nuclear News (2020)

olika reinvesteringar i säkerhet och driftförlängningar som gjorts under åren. I genomsnitt uppskattas produktionskostnaden för befintlig kärnkraftpark i USA uppgå till lite drygt 30 USD/MWh, vilket är en minskning med ca 30% jämfört med läget år 2012.²⁸ I Sverige har Vattenfall tidigare uppgett att man strävar efter att komma ner till en produktionskostnad på 19 öre/kWh på 2020-talet.²⁹

Nyinvesteringar i kärnkraft i Västvärlden är behäftat med mycket höga kostnader och ständiga förseningar. Vi antar dock att situationen förbättras på längre sikt och utgår från att ny kärnkraft kostar omkring 60-65 öre/kWh. Detta innebär att ny kärnkraft blir lönsam i Sverige i Klimatscenarioet men inte i Basscenarioet (Figur 3.3). Det beror på de (tillräckligt) höga elpriserna i Klimatscenarioet men också på att effekt med hög tillgänglighet premieras av modellverktyget, i synnerhet när andelen variabel elproduktion ökar samtidigt som elbehovet också ökar markant. I Klimatscenarioet (och i Basscenarioet) förekommer perioder med mycket låga elpriser på grund av mycket god tillgång till förnybar elproduktion. Ju större förekomst av sådana perioder desto svårare blir det att få lönsamhet i kapitalintensiv elproduktion som kärnkraft, såvida inte resten av året kännetecknas av höga eller mycket höga elpriser. Att perioder med höga eller mycket höga elpriser följs av perioder med mycket låga elpriser underskattas sannolikt i modellverktyget (TIMES-NORDIC). Det är just denna variabilitet i det framtida elpriset som kan komma att bli mycket utmanande för eventuell ny kärnkraft.

Livstidsförlängning bortom 60 års drift – ett intressant men oprövat kort

I olika sammanhang diskuteras att förlänga drifttiden i reaktorer byggda på 80-talet av västerländskt snitt från den designade livslängden på ca 60 år till omkring 80 år.³⁰ Reaktortanken och reaktorinneslutningen i betong brukar uppges vara de kritiska komponenter som bestämmer den bortre gränsen för en reaktors livslängd. Dessa komponenter byts sannolikt inte ut utan då står man praktiskt taget inför en komplett nyinvestering. Idag saknas dock erfarenhet av att köra reaktorer bortom 60 års livslängd – den äldsta reaktorn som fortfarande är i drift i världen har nyss fyllt 50 år.³¹ Livstidsförlängningar är sannolikt förknippade med stora investeringar, om än inte lika omfattande som nyinvesteringar. Genomförbarheten är med andra ord relativt osäker.³²

Känslighetsberäkningen av möjligheten till livstidsförlängning från 60 till 80 års drifttid i de svenska reaktorerna baseras på en antagen kostnad på ca 10 000 SEK/kW.³³ Om livstidsförlängning är en option att förnya kärnkraftflottan när 60 års drifttid passerat är detta en lönsam åtgärd i både Basscenarioet och i Klimatscenarioet.

Sammanställning av beräkningsresultaten med fokus på kärnkraft

Figur 3.17 sammanfattar verklig elproduktion år 2018 samt modellberäkningar av den svenska elproduktionen år 2045 med visst fokus på kärnkraften. Beräkningsresultaten omfattar

28) NEI (2020)

29) Vattenfall (2017)

30) NEA (2012)

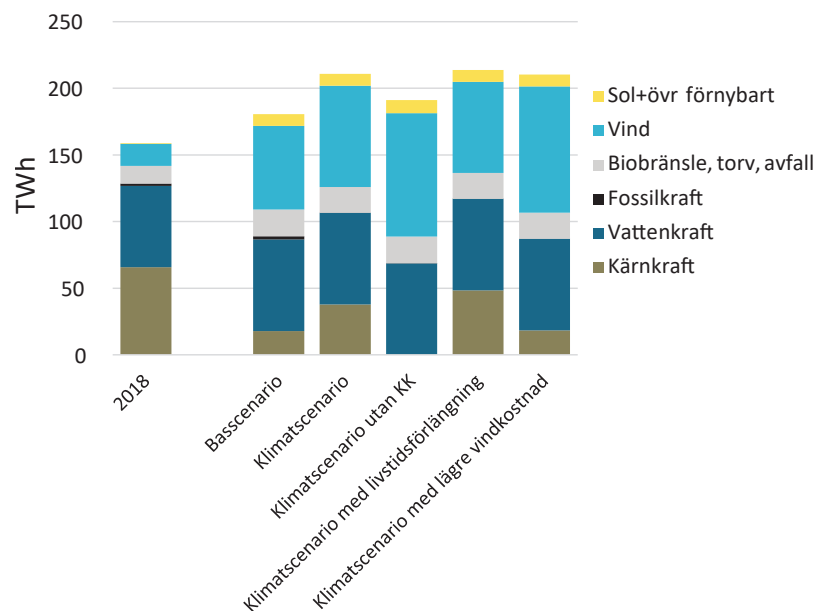
31) World Nuclear Association, Reactor Database

32) Två kärnkraftverk i USA (Turkey Point 3&4 respektive Peach Bottom 2&3) har dock fått förlängd driftlicens till en bit in på 2050-talet vilket skulle innebära en total drifttid på ca 80 år

33) Vi antar här samma kostnad för livstidsförlängningar som man antog i underlagsarbetet till Färdplan el där kärnkraftalternativet förutsatte livstidsförlängning och inte nyinvestering. Kostnaden kan också jämföras med de 50 000 SEK/kW som vi antar är rimliga för nyinvesteringar på lång sikt

Basscenariot samt grundfall och tre känslighetsberäkningar av Klimatscenariot. Av figuren framgår att bidraget från kärnkraft i Basscenariot är relativt litet då de flesta befintliga anläggningar fallit för åldersstrecket, livstidsförlängning har inte inkluderats i detta scenario samt att elpriserna inte motiverar nyinvesteringar. I Klimatscenariot blir ny kärnkraft lönsam och bidrar till en total kärnkraftsproduktion på knappt 40 TWh. Det är mindre än den förväntade produktionskapaciteten efter årsskiftet 2020/2021 som uppgår till runt 50 TWh. Anledningen är att det är för dyrt att helt ersätta bortfallet av de befintliga reaktorerna med ny kapacitet, åtminstone till 2045. Om livstidsförlängningar tillåts bibehålls en kärnkraftsproduktion på ca 50 TWh fram till 2050. I det fallet efterfrågas heller inga nya reaktorer.

Figur 3.17 visar även resultat av två beräkningsfall för att illustrera konkurrensen mellan ny- eller återinvesteringar i kärnkraft och vindkraft. Även om det finns gott om utrymme för både vindkraft och kärnkraft i den framtida produktionsmixin, förutsatt att förhållandena är gynnsamma, så råder det en viss konkurrens mellan kraftslagen. I fallet "Klimatscenario utan KK" fasas all kärnkraft ut till 2045 och inga nyinvesteringar tillåts. Det medför en ökad efterfrågan på alternativ kraftproduktion, framförallt vindkraft. Vindkraften uppgår till drygt 90 TWh, vilket är att jämföra med ca 75 TWh i Klimatscenariot med möjlighet att investera i kärnkraft. Samtidigt minskar den totala elproduktionen i Sverige med runt 20 TWh och investeringar i topplastkapacitet, typiskt gasturbiner, blir större i fallet utan kärnkraft. Topplastkapaciteten bidrar framförallt med



Figur 3.17: Elproduktionen i Sverige år 2045 för ett urval av scenarier och känslighetsanalyser. Källa: TIMES-NORDIC-beräkningar. Källa 2019: EUROSTAT och Energiföretagen Sverige.

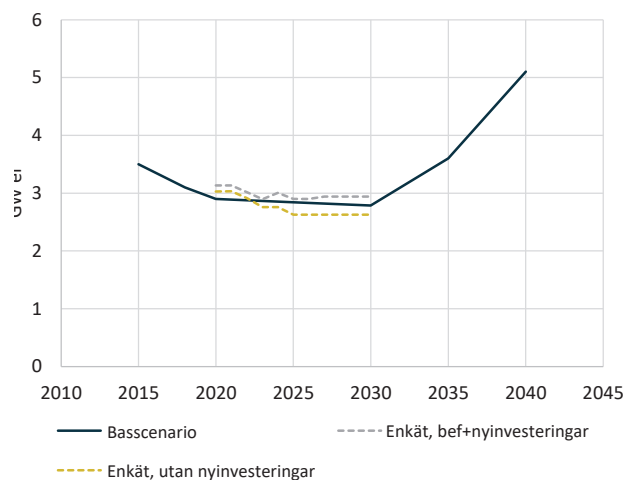
effekt och inte med energi vilket är anledningen till att denna produktion inte framträder i figuren.

Ett annat beräkningsfall utgår från att kostnaden för ny vindkraft sjunker med 10% mellan 2020 och 2030. Detta fall är i övrigt identiskt med Klimatscenarioet där nyinvesteringar i kärnkraft är möjliga. I detta fall sjunker efterfrågan på alternativen inklusive ny kärnkraft, och kärnkraftsproduktionen år 2045 uppgår endast till knappt hälften av produktionen i fallet utan kostnadsreduktion för ny vindkraft (grundantagande i såväl Klimatscenarioet som Basscenarioet).

Analyserna av kärnkraftens långsiktiga roll har haft en teknisk-ekonomisk ansats. I verkligheten påverkar även andra faktorer investeringsincitament för kärnkraft, exempelvis allmän opinion och eventuell politisk risk som man måste väga in i ett investeringsbeslut.

Kraftvärme: resurseffektiv produktion satt under press

Eleffekten i svenska kraftvärmeverk inom fjärrvärmesektorn uppgår till omkring 3 000 MW el (2018) medan elproduktionen från kraftvärmeverken har legat på ca 8–9 TWh de senaste åren. Trots att kraftvärme i grund och botten är ett resurs- och klimateffektivt sätt att producera el och fjärrvärme så är kraftvärmens satt under press. Det beror delvis på utvecklingen på elmarknaden i stort med en kraftig utbyggnad av variabel elproduktion som bitvis pressat ned elpriset. Det beror även på andra faktorer såsom politiska skatte- och styrmedelsinitiativ som lett till en ökad osäkerhet inför inte minst nyinvesteringar, men också till förtida avveckling av viss befintlig kapacitet. Den något negativa bilden av kraftvärmens fortsatta position på den svenska el- och fjärrvärmemarknaden bekräftas av en intervjustudie som utfördes av Profu på uppdrag av Energiföretagen Sverige under 2018/2019 (se Figur 3.18). Modellberäk-



Figur 3.18: Installerad kraftvärmekapacitet (el) i fjärrvärmesystemen baserad dels på modellberäkningar för Basscenarioet, dels på enkätsvar från en omfattande intervjustudie under 2018/2019.

ningarna som gjorts inom ramarna för NEPP indikerar att elproduktionen i de svenska kraftvärmeverken i såväl Basscenariot som Klimatscenariot fram till 2030 endast kommer att ligga någon enstaka TWh över dagens produktion, medan den installerade effekten till och med kan komma att minska något (se Figur 3.18).

Efter 2030 indikerar modellberäkningarna att elproduktionen och eleffektbidraget från svensk kraftvärme åter kan öka som en följd av stigande elpriser, i synnerhet under vinterperioden då kraftvärmeverken normalt producerar. Två teknikalternativ med ett högt elutbyte på givet fjärrvärmeunderlag är för-gasning av fasta biobränslen och högeffektiv naturgaseldad kraftvärme. Enligt modellberäkningarna kan dessa komma att stå för 4–5 GW produktionseffekt runt 2040. Kommersialiseringspotentialen för förgasningstekniker är dock mycket osäker idag. Branschen har också förbundit sig att göra fjärrvärme-produktion fossilfri, vilket därmed utesluter naturgas på längre sikt. Utnyttjningstiden i nya konventionella biobränsleeldade kraftvärmeverk kan dock komma att öka i takt med stigande elpriser, vilket skulle kunna leda till ökad elproduktion utan att den installerade eleffekten ökar i motsvarande utsträckning. Detta bekräftas av modellberäkningarna.

Kraftvärme och det lokala elnätet

På flera platser har det uppstått lokala kapacitetsbegränsningar i elnäten (t.ex. Stockholm, Malmö och Uppsala). Situationen riskerar också att bli ansträngd på fler orter. Denna effektutmaning finns här och nu och skiljer sig på så sätt mot effektutmaningen relaterad till ökande elbehov, utbyggnad av variabel elproduktion (vind/sol) och utfasning av planerbar kraft, som främst utgör ett potentiellt problem på lång sikt. I kapitel 4 fördjupas diskussionen kring lokala nätkapacitetsbegränsningar, men redan här kan nämnas att kraftvärme är ett exempel på lokal elproduktion som är värdefull i ett lokalt eleffektbalansperspektiv, i synnerhet som effekten är planerbar. Incitamenten för kraftvärme är idag relativt dåliga och det saknas ett generellt styrmedel som ger kraftvärmeelen dess lokala

effektvärde. I Stockholm och i Malmö har specifika överenskommelser träffats för att tillförsäkra fortsatt tillgång till lokal elproduktionskapacitet.

Två viktiga faktorer vid val av åtgärder för att hantera lokala nätbegränsningar är kostnadseffektivitet samt hur säker man kan vara på att åtgärden verkligen förverkligas med det resultat som man förväntar sig. Den första är svårbedömd, medan den andra är ganska lättbedömd, eftersom en enda part ska fatta beslutet, nämligen energiföretaget. Dessutom är det typiskt effektmässigt en förhållandevis stor åtgärd. En annan åtgärd som kan bli aktuell för att minska den lokala effektutmaningen är laststyrning av eluppvärmning (eller annan elanvändning). Då blir det helt plötsligt ett mycket stort antal husägare som måste införa sådan laststyrning för att den sam-lade påverkan av åtgärden ska bli av samma storleksordning som kraftvärmebeslutet.

Kort om industriellt mottryck

Industriellt mottryck är kopplad till industrins behov av processånga. Detta styrs i sin tur av industriproduktionen, efterfrågan på industrins produkter och strukturförändringar inom respektive bransch (exempelvis en förskjutning från tillverkning av mekanisk pappersmassa till kemisk pappersmassa). I våra modellanalyser ökar den industriella mottrycksproduktionen långsamt från dagens omkring 6 TWh till drygt 7 TWh omkring 2040. Den absoluta huvuddelen återfinns inom papper- och massaindustrin. Vi har i denna studie inte närmare analyserat vad en mer omfattande elektrifiering inom industrin skulle kunna få för konsekvenser för mottrycksproduktionen. Det-samma gäller effekter av en ökad intern effektivisering av olika processer inom industrin. Biobränslebaserade förgasningstekniker skulle också kunna öka elproduktionen från industrin avsevärt men utsikterna för kommersialisering är fortfarande mycket osäkra.

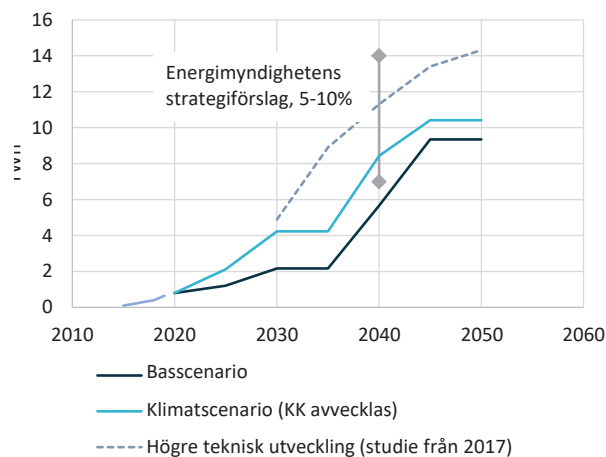
Solel: snabbväxare med egen investeringslogik

Den installerade kapaciteten för nätanslutna soleininstallationer var ca 700 MW vid 2019 års utgång.³⁴ En utnyttjningstid på omkring 900 timmar ger drygt 600 GWh el per år. Intresset för en fortsatt utbyggnad är stort vilket inte minst indikeras av ansökningarna om investeringsstöd som inkommit till Energimyndigheten så här långt under 2020.³⁵

I modellberäkningarna görs ingen prognos för fortsatt utbyggnad av solel i Sverige. Beräkningsutfallet är istället ett resultat av lönsamma investeringar givet kostnadsantaganden och omvärldsfaktorer. En avgörande faktor är stödsystemen. Vi antar att investeringsstödet (både nuvarande investeringsstöd och det föreslagna gröna skatteavdraget) helt tas bort inom den kommande femårsperioden och att skattereduktionen för den

el som säljs till nätet (den så kallade "60-öringen") försvinner till 2030. Antagandena är behäftade med stora osäkerheter. Vi bedömer också värdet på egenförbrukningen, det vill säga undvikta kostnader om man utnyttjar solelproduktionen för eget bruk.³⁶ För icke-privata anläggningar, såsom större markplacerade anläggningar, ser kalkylen annorlunda ut. Den specifika investeringskostnaden för dessa är dock klart lägre än för mindre takanslutna anläggningar.

Antagandena leder till en utveckling enligt Figur 3.19. Klimatscenarioet är här en variant där kärnkraften avvecklas efter 60 års drifttid i de befintliga anläggningarna. Detta driver upp elpriserna, vilket gynnar solelutbyggnad på längre sikt jämfört med huvudvarianten av Klimatscenarioet där kärnkraften bibehålls genom investeringar.



Figur 3.19: Solelproduktionen i Basscenariot samt en känslighetsanalys från en tidigare studie (Energiforsk, 2017). Dessutom är Energimyndighetens förslag till solelstrategi från 2016 markerat i diagrammet.

34) Energimyndigheten (2020a)

35) Energimyndigheten (2020b)

36) De undvikta kostnaderna omfattar el (som alltså inte behöver köpas in), elskatt samt rörlig elnätsavgift

På längre sikt, runt 2040, når solexproduktion ca 6 TWh i Bas-scenariot och drygt 8 TWh i Klimatscenariot. Investeringskostnaden för solex antas minska med ca 30% mellan 2020 och 2040 till följd av teknisk utveckling.³⁷ Den streckade linjen i Figur 3.19 visar resultat från en känslighetsanalys från 2017, som gav över 10 TWh solex år 2040.³⁸ I denna analys antogs bland annat en snabbare kostnadsreduktion. Även om resultaten inte är direkt jämförbara indikerar de att en mer positiv syn på den tekniska utvecklingen kan medföra klart större volymer solex i Sverige på sikt. Som jämförelse anger Energimyndighetens förslag till solexstrategi att 5-10% av den totala elanvändningen i Sverige skulle kunna tillgodoses med solex.³⁹ Detta motsvarar ca 7–14 TWh (också inritat i Figur 3.19).

Flera investeringsincitament

Förutom rent ekonomiska bevekelsegrunder tillkommer i verkligheten ytterligare drivkrafter för investeringsviljan i solex, som inte kvantifieras i modellbeskrivningen. Det handlar om miljötank, känslan av ökad självförsörjning och, inte minst, ett uttryck för grupp beteende. Det sistnämnda kan till exempel handla om att man "agerar på samma sätt som sina grannar". Kopplat till detta finns även tanken om "statusmarkör" för pri-

vatpersoner eller "varumärkesbyggande" för kommersiella verksamheter. Dessa drivkrafter är sannolikt starka och utmärkande för just solexen eftersom det i stor utsträckning är andra aktörer än kommersiella energiföretag som står för investeringarna: privatpersoner, fastighetsbolag, ekonomiska föreningar med mera. Solexutbygganden drivs alltså av en egen, och tämligen unik, investeringslogik som är väldigt heterogen jämfört med andra kraftslag, läs vidare i kapitel 5 och 6. Det kan i sin tur också innebära att vi, med utgångspunkt från modellresultaten, underskattar utvecklingen de kommande åren eftersom de "icke-ekonomiska" drivkrafterna är svåra att modellera.

Tidigare modellanalyser har visat att den svenska elmarknaden kan hantera tämligen stora volymer solex (åtminstone mer än 10 TWh) innan vi får mer dramatiska priseffekter, företrädesvis under sommaren.⁴⁰ Men om en sådan utveckling i Sverige sammanfaller med en liknande utveckling i våra grannländer kan vi få en betydligt större effekt på elmarknaden, eftersom solex i den nordeuropeiska regionen uppvisar en hög grad av samvariation.

37) Jämför tidigare resonemang för vindkraften

38) Energiforsk (2017)

39) Energimyndigheten (2016)

40) Energiforsk (2017)

KLIMATFÖRÄNDRINGAR KOMMER ATT PÅVERKA ELFÖRSÖRJNINGEN

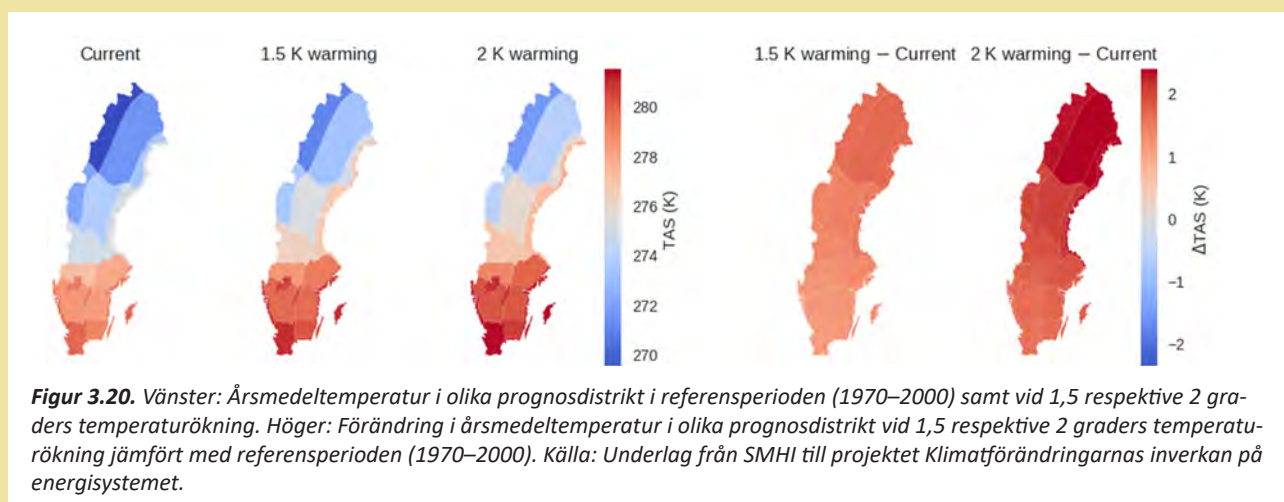
Jordens medeltemperatur har ökat med drygt 1°C sedan förindustriell tid och ökningen sker i snabb takt. Med nuvarande uppvärmningstakt nås +1.5°C om ca 20 år och +2°C om ytterligare 25 år. De fem varmaste åren sedan 1880 har alla inträffat sedan 2015. På våra nordliga breddgrader sker dessutom temperaturökningen snabbare. Nederbördsmönster kommer också att förändras.

Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt. Energisystemets sårbarhet ökar samtidigt som produktionsförutsättningarna för olika energislag förändras. Även energianvändningsmönster kommer att påverkas med minskat värmebehov och ökat kylbehov.

I Energiforskningsprojektet "Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet" analyserar forskare från SMHI, Chalmers, Profu och IVL Svenska Miljöinstitutet hur energisystemet och dess ingående komponenter kan påverkas av klimatförändringar. Projektet pågår ännu i skrivande stund (november 2020), men nedan ger vi en inblick i några preliminära resultat.

Hur blir framtidens klimat?**Varmare klimat – särskilt vintertid**

Kartorna nedan (Figur 3.20) visar ett exempel på resultat från de klimatscenarier som SMHI tagit fram och sammanställt i nämnda Energiforskningsprojekt. Figuren visar



tydligt hur temperaturen i hela landet ökar. Temperaturökningen är större på vintern än övriga säsonger. Det blir även vanligare med mer varma temperaturextremer, medan de kalla extremerna minskar. Ökad temperatur leder också till exempelvis förlängd växtsäsong, minskad förekomst av tjäle och att områden med risk för halka under vintern⁴¹ förflyttar sig norrut.

Ökad nederbörd – mer regn, mindre snö

I ett varmare klimat ökar nederbörden generellt och så även i Sverige enligt SMHI:s klimatscenarier. Störst är ökningen sommartid och längre norrut (särskilt i fjällkedjan). Vintertid är förändringen störst längs norrlandskusten. Mer av nederbörden kommer att falla som regn och mindre som snö. Scenarierna visar även på ökad förekomst av mer kraftigt regn. Även om nederbörden ökar så ökar antal dagar med torka i södra Sverige, vilket beror på ökad avdunstning vid varmare klimat.

Ökad åskrisk, osäkert kring framtida vindklimat, brandrisk ökar troligen i söder

SMHI:s arbete visar på ökad risk för åska med förlängd åksäsong och ökat antal dagar med risk för åska. Sannolikt ökar även intensiteten. Framtida vindklimat är mycket osäkert och beror på ändringar i naturlig variabilitet. Det behövs fördjupade analyser kring framtida vindklimat, särskilt på för vindkraften relevant höjd. Risker för skogsbränder ökar främst till följd av varma-

re somrar och längre värmeböljor. Skillnader mellan torra och blöta år blir troligen större.

Hur påverkas energisystemet av klimatförändringar?

Hur energisystemet som helhet kan påverkas av klimatförändringar analyseras i projektets slutskede. Nedan presenteras några korta preliminära konsekvenser för olika energislag. I projektet analyseras även konsekvenser för elnätet.

Vindkraften är på stark tillväxt och klimatförändringarnas påverkan på framtida elsystem med stor andel vindkraft behöver belysas mer. Det saknas klimatdata för att bedöma vindkraftspotentialen i framtida vindklimat. Resultaten från Energiforskningsprojektet visar dock att isbildningsproblematiken kan öka i norra Sverige. Vindkraftens variabilitet gör systemaspekterna väsentliga – kommer exempelvis perioder av stiljte i framtiden inträffa samtidigt över stora områden eller mer geografiskt avgränsat?

Vattenkraften kommer påverkas av klimatförändringar. Ökad nederbörd innebär på de flesta håll i landet ökad tillrinning och i årsmagasin potential för ökad elproduktion. Mindre snö och tidigare avsmältning påverkar också vattenkraftens säsongsmönster. I sydöstra Sverige finns viss risk för torka, vilket påverkar produktionsmöjligheter och kan leda till konkurrens om vatten

41) Mätt som antal dagar med högsta temperatur > 0°C och lägsta temperatur < 0°C

som resurs. Ökad vattentemperatur kan gynna invasiva arter med påverkad drift som följd. Problem med iskravning⁴² kan flyttas norrut i landet då temperaturen ökar och en risk för isdämning kan påverka hur man kan köra vattenkraftverken.

Kärnkraften i Sverige förväntas inte påverkas i stor utsträckning av klimatförändringar. Åskrisken förväntas öka men med befintliga åskskydd förväntas den största påverkan inte vara inom anläggningarna utan möjligen störningar på elnätet orsakat av åska. Ökad temperatur på kylvatten påverkar elproduktionen vilket gör att det kan finnas incitament för anpassningsåtgärder såsom kylvattenintag på lägre vattendjup. Dessutom finns en ökad risk för bildning och tillströmning av marina organismer (exempelvis maneter), vid varmare havsvattentemperaturer. Detta kan vara relativt snabba förlopp och kan försvåra kylningen genom att i värsta fall sätta igen kylvattenintagen. Befintliga åtgärder för att förhindra problem med översvämningar bedöms tillräckliga även i framtida klimat.

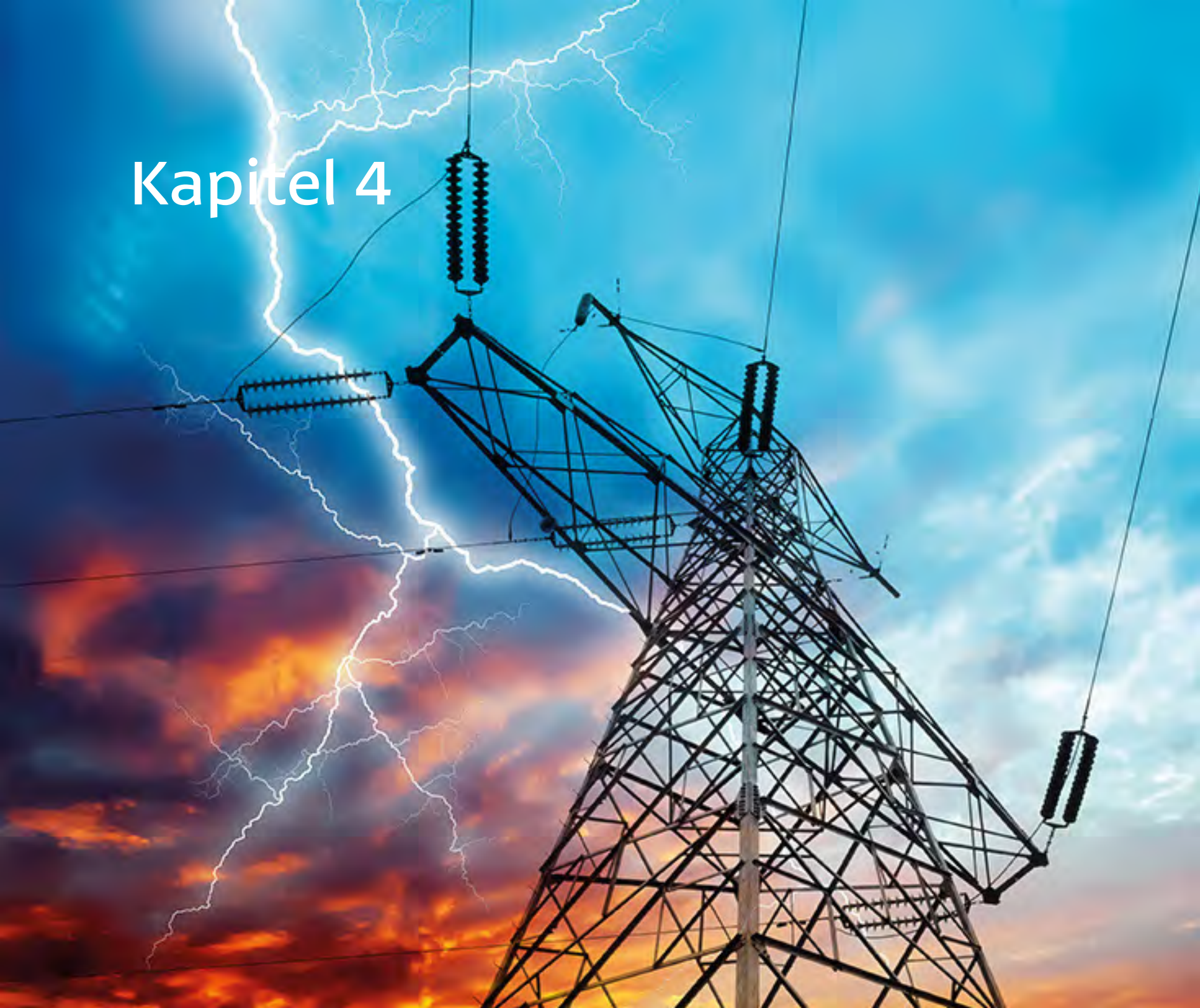
Underlaget för **kraftvärme** minskar i ett varmare klimat. Antal graddagar för uppvärmning minskar i hela landet och störst är skillnaden i norra Sverige. Många faktorer avgör den framtida efterfrågan på fjärrvärme och den framtida kraftvärmepotentialen, men enbart klimatförändringar innebär ett minskat

fjärrvärmebehov på ca 4% till 2040 och därmed minskad kraftvärmepotential. Samtidigt kommer sannolikt tillgången på biomassa för energiändamål att öka på grund av förlängd växtsäsong, ökad stormfällning och skadedjursangrepp (för låg kvalitet för att använda till sågtimmer).

Produktion av **solel** kan möjligen påverkas av en minskad kortvågsinstrålning till följd av mer moln. Däremot visar scenarierna inte på större växlingar mellan molnfritt och molniga förhållanden.

42) Iskristaller som i starkt strömmande vatten hålls svävande i vattnet på grund av turbulens

Kapitel 4



Eleffektfrågan – utmaningar och lösningar

Ökad elanvändning och mer variabel elproduktion, tillsammans med minskande kapacitet i planerbar elproduktion, ändrar förutsättningarna för eleffektbalansen. I denna skrift har vi samlat analyser, resultat och slutsatser från NEPP-projektet som behandlar ”eleffektfrågan” i vid mening. Vi inleder med de viktigaste slutsatserna i punktform.

Därefter redovisar vi olika aspekter av eleffektfrågan, vilka utmaningar som de ändrade förutsättningarna leder till och hur dessa utmaningar kan hanteras.

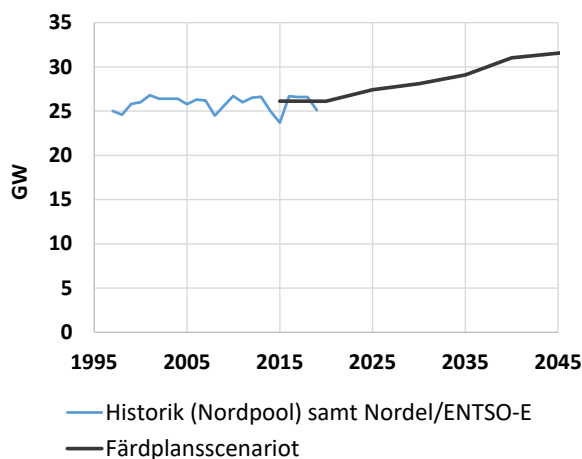


De viktigaste slutsatserna

1. Ökad elanvändning och mer variabel elproduktion, tillsammans med mindre planerbar elproduktion, skapar effektutmaningar - toppeffektbehovet och balanseringen av elsystemet samt lokal nätkapacitetsbrist.
2. Vi har den paradoxala situationen att vi har allt mindre marginaler *effektmässigt* i elsystemet samtidigt som exporten av *elenergi* ökar och når historiskt höga nivåer.
3. Under lång tid behövde elsystemet balansering uteslutande utifrån varierande användning, vilken var förhållandevis lätt att förutse. Idag tillkommer också balansering till följd av variabel svårprognoserad elproduktion från vind och sol vilket på 20 års sikt leder till dubbelt så stor ändring av nettoelbehovet per timme och per vecka jämfört med idag.
4. Ingen enskild aktör har idag det långsiktiga ansvaret för att tillräcklig produktionskapacitet finns för att möta elbehovet i framtiden. Det väcker frågor om vem som ska bygga planerbar elproduktion och om det kommer att finnas effekt att importera när systemet är som mest ansträngt.
5. På kort sikt är lokal nätkapacitetsbrist den mest akuta effektutmaningen. Om den inte åtgärdas så kan den försvåra städernas och regioners tillväxt. Begreppet "lokal nätkapacitetsbrist" kan dock vara missvisande eftersom lösningen inte endast utgörs av nätutbyggnad, utan även av åtgärder i produktions- och användarleden.
6. Det blir allt omständigare och mer tidskrävande att bygga elnät, exempelvis till följd av utdragna tillståndprocesser. Om detta inte ändras kan energiomställningen hotas.
7. "Effektbrist" kan ges olika innebörd – t.ex. bortkoppling, ej tillåta nyanslutning, importberoende, extrema elpriser och leveransosäkerhet – och effekttillräcklighet utvärderas med olika metoder – statiskt eller dynamiskt.
8. Effekt- och flexibilitetsbehoven löses inte bara med produktion och nät, utan även energieffektivisering, efterfrågefleksibilitet och lagring växer i betydelse och avvägningen mellan alla dessa åtgärdestyper blir allt viktigare.
9. Tilliten till "nya" metoder för att möta utmaningarna, t.ex. efterfrågefleksibilitet och lagring varierar bland aktörerna inom elsystemet och avgör också prioriteringen av olika åtgärder när den framtida eleffektbalansen diskuteras.
10. Effektutmaningarna är inte oöverstigliga. Elsektorn kan möta en kraftig ökning av efterfrågan på ett långsiktigt hållbart sätt. Åtgärderna och kostnaderna skiljer sig åt beroende på vilka val man gör i elsystemutbyggnaden. Systemkostnaden för el ökar, men inte drastiskt.

Elanvändningen ökar – men hur mycket?

Under lång tid, 25 - 30 år, har den svenska elanvändningen legat stilla på ungefär 140 TWh per år, inklusive förluster. För några år sedan, runt 2015, var de allmänna förväntningarna att elanvändningen på sikt endast skulle öka måttligt, till ca 150 TWh år 2045. De senaste åren har dock förväntningarna skruvats upp rejält, exempelvis som en följd av förväntningar på elektrifiering av transportsektorn, flera datahallar samt de användningsnivåer som olika industribranschens färdplaner för fossilfrihet har indikerat. Det har inneburit att det nu också finns scenarier som pekar på en kraftigt ökande elanvändning, med 50 TWh eller mer på 25 års sikt, till kanske 190 TWh år 2045. Ökad elanvändning skulle samtidigt ge ökat behov av maxeffektproduktion. I NEPP-underlaget till Energiföretagen Sveriges *Färdplan El* – som bygger på ett scenario med kraftigt ökad elanvändning – beräknas maxeffektbehovet under ett normalår öka från dagens 26 GW till 32 GW år 2045, se Figur 4.1. Denna siffra förtutsätter en viss grad av flexibilitet i den tillkommande elanvändningen. Osäkerheten är dock stor om den framtida elanvändningen. Olika scenarier för år 2045 uppvisar en skillnad i elanvändning på hela 100 TWh, från 145 – 245 TWh.



Figur 4.1. Elanvändningens topp effekt, inkl. uppskattade förluster, i färdplansscenariot tillsammans med historisk utveckling (GW).

Mycket variabel produktion skapar flera typer av effektutmaningar

På produktionssidan har vi redan idag, och även på sikt i scenarierna med kraftigt ökad elanvändning en mycket kraftig utbyggnad av variabel elproduktion, främst vindkraft men också sol. Det leder till förändrade förutsättningar för att kunna möta det ökande effektbehovet. De framtida effektutmaningarna utgörs inte "bara" av att tillförsäkra effektillräcklighet vid den mest ansträngda driftsituationen, under exempelvis en tioårs- eller tjugoårsvinter, utan en effekt- och flexibilitetsutmaning i vidare mening. Vi tar därför i denna bok istället vår utgångspunkt i de samlade kraftsystemutmaningar som vi upplever redan idag eller förutser på sikt. Det handlar då främst om två olika huvudtyper av utmaningar:

- Toppeffektbehov och balansering vid ökande elbehov tillsammans med mer variabel elproduktion och utfasning av planerbar kraft
- Lokal nätkapacitetsbrist.

Den första av dessa två huvudtyper relaterar till ökande elbehov, utbyggnad av variabel elproduktion (vind/sol) och utfasning av planerbar kraft. Det är flera driftsfall som skapar utmaningar vid en sådan elproduktionsmix: 1) mycket variabel produktion och låg användning av el och 2) lite variabel produktion och hög användning av el. Dessutom uppstår 3) generella utmaningar i alla driftsituationer att upprätthålla balansen och driftsäkerheten i systemet. Det krävs ökande flexibilitet i elsystemet för att klara dessa utmaningar. Vid alla dessa tre driftsfall kan det uppstå brist på effekt och/eller flexibilitet i elsystemet. Den andra huvudtypen av utmaningar är att kapacitetsbegränsningar i elnäten tidvis gör det svårt att försörja vissa städer och regioner med el.

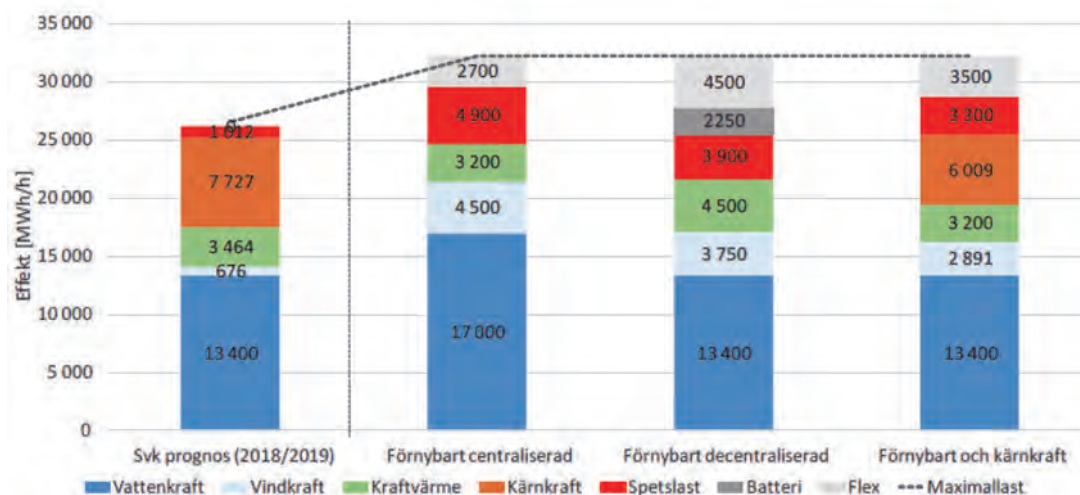
Toppeffektbehovet kan mötas på flera olika sätt

Flera frågor aktualiseras av toppeffektsutmaningen. En sådan fråga är i vilken utsträckning topp-effektbalansen behöver täckas med inhemsk produktionskapacitet, med hänsyn till de olika tillgänglighetsfaktorer som man kan räkna med för olika produktionsalternativ. Produktion är ju inte heller det enda sättet att klara balansen. Med hjälp av laststyrning och annan efterfrågeflexibilitet samt med lagring, exempelvis batterier, kan toppeffektbehovet minskas genom att ellasten förflyttas i tid eller reduceras. Det är inte heller självklart att det uteslutande är inhemsk produktion (eller åtgärder på användarsidan) som ska klara balansen, vi kan också välja att delvis lita till import.

Den installerade effekten är den maximala effekten som ett kraftverk kan producera med. Beroende på vilket kraftverk det handlar om är den installerade effekten tillgänglig i olika stor utsträckning

under årets timmar, vilket naturligtvis är av stort värde att veta vid planering i olika tidsskalor. För att identifiera hur stor andel av den installerade effekten som antas vara tillgänglig under topplasttimmen använder sig Svenska kraftnät av en så kallad tillgänglighetsfaktor för respektive kraftslag. Det kan beskrivas som en metodik för att bedöma den aktuella produktionskapacitetens storlek i förhållande till det maximala effektbehovet (det vill säga bedömt effektproduktionsbehov) samt att uppskatta det eventuella behovet av import.

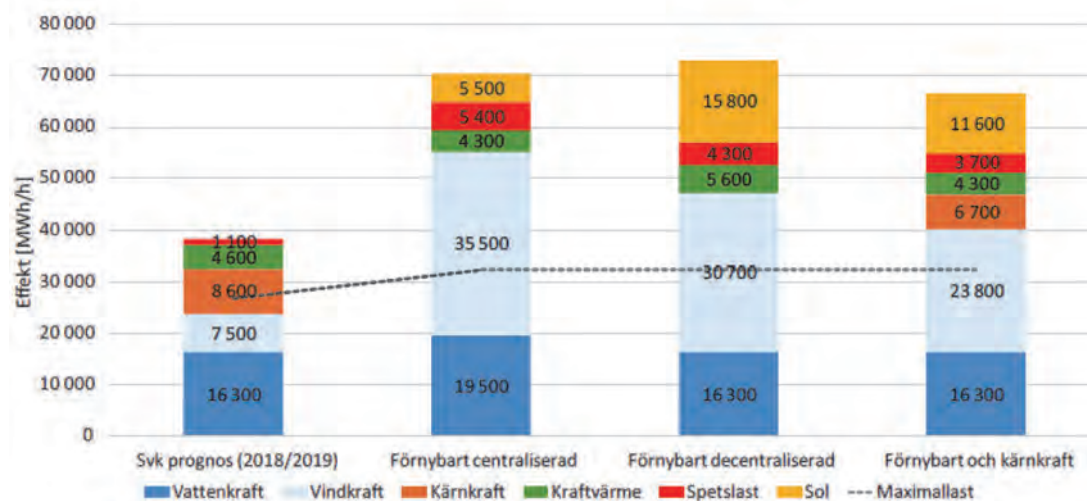
I arbetet med underlaget till Energiföretagen Sveriges Färdplan El utvecklades tre produktionsscenarier för att möta den ökade efterfrågan som – i dessa scenarier – väntas uppgå till 190 TWh till år 2045. Scenarierna präglades av olika inriktning på elproduktionssystemets utveckling. År 2045 erhöles då installerad kapacitet enligt Figur 4.2.



Figur 4.2. Installerad effekt och toppeffektbehov i respektive "färdplansscenario".

Med hänsyn tagen till tillgänglighetsfaktorerna blir intrycket ett annat. Där minskar effekttillgången, särskilt för de variabla

kraftslagen vind och sol, se Figur 4.3. (Observera att skalorna på y-axeln är olika i de två figurerna.)



Figur 4.3. Tillgänglig effekt och toppeffektbehov i "färdplansscenarierna" enligt Svenska kraftnäts statistiska metodologi.

”

Med hjälp av laststyrning och annan efterfrågefleksibilitet samt med lagring, exempelvis batterier, kan toppeffektbehovet minskas genom att ellasten förflyttas i tid eller reduceras"

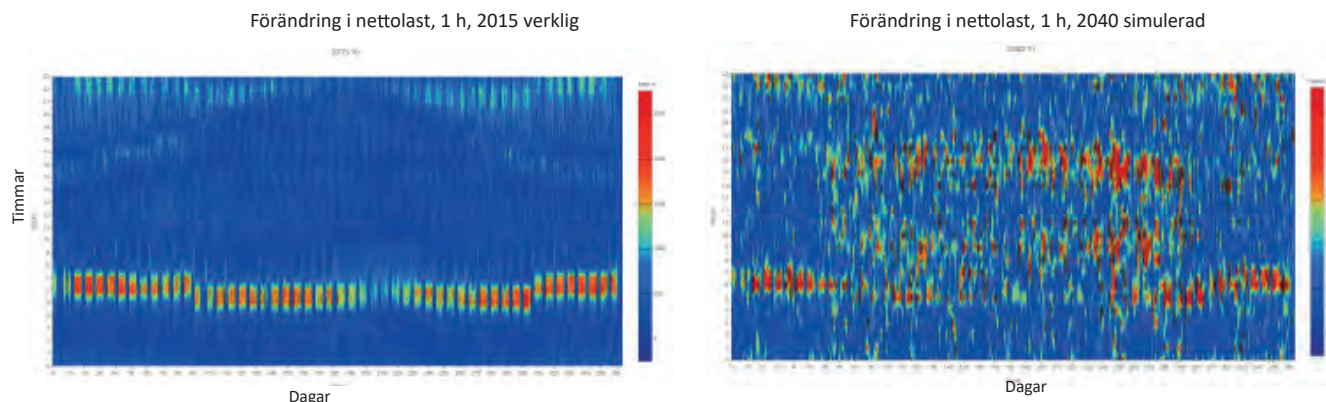
Balanseringen av elsystemet blir alltmer komplex

Vid sidan av topp effektbehovet utgör den kontinuerliga balansering av elsystemet vid mer, och större andel, variabel elproduktion också en stor utmaning. Balanseringen förhåller sig i framtiden inte bara till varierande användning, vilken är relativt lätt att förutsäga, utan också till snabba och svårprognoserade svängningar i vindkrafts- och solelproduktionen. I framtiden kan man förvänta sig dubbelt så stor ändring av nettoelproduktionsbehovet¹ per timme/vecka. Till den ökade balanseringsproblematiken kan man också räkna de utmaningar som uppstår vid stor variabel elproduktion då elbehovet samtidigt är lågt, exempelvis i form av frekvenshållning (inklusive rotationsenergi), överföringsförmåga och överskottssituationer.

Den maximala fluktuationen från en timme till en annan som observeras under ett år förväntas öka från dagens ca 2 500 MW under en timme till ca 4 400 MW under en timme år 2040, det vill säga nästan en fördubbling av behovet. Nettolastens maximala variation under veckan förväntas öka från ca 7 500 MW till ca 14 200 MW, det vill säga även här en fördubbling jämfört med idag.

Fluktuationerna blir i framtiden inte bara större utan också mer svårprognoserade. I Figur 4.4 visas förändringen i nettolasten från en timme till nästa. (Blå färg motsvarar en liten förändring från en timme till nästa och röd färg motsvarar en stor förändring.) 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. Övriga tider är förändringen liten i jämförelse med morgonrampen.

När samma sak plottas för modellår 2040 är mönstret med en morgonramp inte fullt lika tydlig, utan förändringarna är mycket mer slumpmässigt fördelade över dygnet och över året, främst på grund av vindkraftens variationer. Dessutom tillkommer en förmiddagsramp och en eftermiddagsramp under sommarhalvåret. Dessa beror på den ökade mängden solkraft. Modellåret 2040 är alltså bilden inte alls lika tydlig utan framstår som suddig. Det innebär att förändringar i nettolasten kommer att uppträda mindre förutsägbart och vid fler tidpunkter.



Figur 4.4. 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.

1) Med nettoelproduktionsbehov menar vi elanvändning minus variabel elproduktion, det vill säga behovet av elproduktion från planerbar elproduktion, exempelvis vattenkraft, kärnkraft, kraftvärme, industriellt mottryck och annan termisk kraft.

VAD MENAR VI MED BRIST PÅ EFFEKT OCH FLEXIBILITET OCH HUR UTVÄRDERAS DEN?

Effektbrist kan ges olika innebörd – exempelvis bortkoppling av kunder, ej tillåta nyanslutning, importberoende, extrema elpriser och leveransosäkerhet. När man diskuterar brist är det därför viktigt att vara överens om vad man menar. När man betraktar de senaste årens eleffektbalans kan vi påminna om att vi under många år eleffektmässigt har räddats av milda vintrar. Det är dock viktigt att vi verkligen har resurser så att vi klarar tioårsvintern (och till och med tjugoårsvintern)². Även om det är länge sedan vi hade någon riktigt sträng vinter så kan vi vara tämligen övertygade om att en sådan kommer någon gång.

Det finns också olika metoder för att utvärdera effekttillräcklighet – statiskt eller dynamiskt. Svenska kraftnät beskriver den statiska metoden på följande sätt: Genom att jämföra förväntat tillgänglig inhemsk produktion med förväntad elanvändning under vintertimmen med högst elanvändning erhålls en så kallad effektbalans. Denna uppställning kan göras för både en normalvinter och exempelvis en 20-årsvinter. Om effektbalansen är negativ behöver återstående effektbehov täckas med import från andra länder alternativt bortkoppling av elanvändare. Effektbalansen är därför en indikator på landets marginaler i höglast-situationer. Med detta synsätt förutses ett växande underskott inom landet under toppeffekttimmen, som alltså måste täckas med import.

Den dynamiska metoden ska svara på frågan om hur stor risken är för ofrivillig bortkoppling/otillräcklig effekt. Svenska kraftnät har, sedan några år, även börjat göra beräkningar enligt denna metod. Genom att simulera många år och för varje timme jämföra tillgänglig produktionskapacitet och importmöjlighet med användningen kan risken för effektbrist utvärderas. Ett stort antal väderår simuleras med olika slumpmässiga avbrott i produktionsanläggningar och överföringsförbindelser enligt inmatade avbrottstal för respektive kraftslag och förbindelse. När produktion och import inte räcker till uppstår effektbrist vilket uttrycks i *loss of load expectation*, LOLE och *expected energy not served*, EENS. LOLE mäts i antal timmar per år då elanvändningen inte kan tillfredsställas. I regel leder detta till lastfrånkoppling. EENS mäts i antal MWh som inte kan tillfredsställas per år. Beräkningarna omfattar inte bara Sverige utan också våra grannländer eftersom el ju i stor utsträckning flödar över landsgränserna. Även med denna metod syns på sikt viss ökad risk för effektbrist, men den är liten under ett genomsnittligt år.

2) De kallaste 3-dygnsmedeltemperaturer som uppkommer med en återkomsttid på 10 respektive 20 år

Många sätt att möta effekt- och flexibilitetsutmaningarna – avvägningen allt viktigare

Inom NEPP har minst fem ”åtgärdsområden/dimensioner” för att möta ett ökat och mer variabelt behov av effekt och flexibilitet identifierats och diskuterats:

- Elnätsutbyggnad (både inom landet och mellan länder)
- Ökad produktionskapacitet (både lokalt och nationellt)
- Energi- och effekteffektivisering i användarledet
- Efterfrågefleksibilitet
- Lagring

Det finns en stor samsyn om att det inte endast är produktion och nät som kommer att lösa de framtida effektutmaningarna. Åtgärder i elanvändningen samt lagring förväntas i framtiden bidra mer till effektbalanseringen. Avvägningen mellan de olika åtgärdsområdena blir därför av stor betydelse.

När man diskuterar flexibilitet är tidsperspektivet avgörande. Batterier fungerar som korttidslager och efterfrågefleksibilitet kopplad till uppvärmning har också begränsad uthållighet (annars blir det kallt i huset). Variabilitet i vindkraft kan dock avse längre perioder (flera dygn). Då måste man förlita sig på andra variabilitetshanteringsalternativ. I Figur 4.5 redovisas förenklat olika åtgärdsområdenas användbarhet för olika situationer.

		Balansreglering timme	Balansreglering vecka	Överskott	Topplast 1h	Topplast dygn	Årsreglering
Typ av fleksibilitet	Energilager (batteri)						
	Efterfrågefleksibilitet						
	Utbyggnad av stamnät						
	Utbyggd kraftvärme						
	Gasturbin						
	Ökad flexibilitet vattenkraften						

Figur 4.5. Schematisk, och delvis subjektiv, bedömning av olika åtgärdsområdenas förmåga att möta olika flexibilitetsutmaningar.

Hur stor tillit har marknadens aktörer till olika åtgärder?

Om vi i Sverige, liksom hittills, delvis förlitar oss på import för Sveriges effektbalans, finns det då, och kommer det att finnas, effekt att exportera från grannländerna? Det är svårt att bedöma hur stora möjligheterna till import är redan idag och naturligtvis ännu svårare på sikt. I takt med att variabel elproduktion blir allt billigare trängs viss planerbar elproduktion ut, inte bara i Sverige utan

också i omvärlden. Det är därför viktigt att det finns en god bild av effektillgångarna inte bara i det egna landet utan också i de grannländer som vi delvis förlitar oss på. Annars finns en påtaglig risk att alla länder utgår från att man kan lösa effektfrågan genom import, utan att tillräckligt många länder tar på sig ”exportrollen”. Tilliten till att några länder verkligen kan och vill exportera måste alltså finnas om vi ska kunna förlita oss på import för Sveriges effektbalans även i framtiden.

På samma sätt finns en tillitsfråga kring de ”nya” åtgärderna för effekthantering. När man diskuterar avvägningen mellan olika effekthanteringsåtgärder så visar våra kontakter med svenska branschföreträdare nämligen att tilliten till ”nya” alternativ varierar. Lite förenklat kan man identifiera två grupper. Den ena gruppen förlitar sig främst på produktions- och elnätskapacitet för att klara effektutmaningarna, såväl idag som i framtiden. De är oroliga för att det kommer att saknas planerbar elproduktion för att klara effektbalansen när elsystemet är som mest ansträngt. Flera av dessa upplever sig ha ett ansvar för att eleffektbalansen går ihop och vill känna sig trygga i att det som behövs, också kommer att finnas på plats. På motsvarande sätt finns industriaktörer som vill känna sig säkra på att eleffekt alltid finns tillgänglig. Att räkna med att höga elpriser och andra incitament driver fram ”nya” åtgärder såsom efterfrågefleksibilitet och lagring känns därför för dessa aktörer inte tillräckligt tryggt. Den andra gruppen har betydligt större tillit även till dessa ”nya” åtgärdsgrupper, exempelvis efterfrågefleksibilitet och lagring. De litar också på att IT-lösningar och nya aktörer och affärsmodeller kommer att hjälpa till att hitta lösningar. De är övertygade om att effektfrågan kommer att kunna hanteras av en kombination av traditionella och nya åtgärder och lösningar. De är snarare oroliga för att förstärkta incitament för produktion och nät ”slår undan benen” för alternativa lösningar.

Vem kommer att investera i produktion i framtiden?

Kopplat till inhemsk planerbar elproduktion finns också frågan om vem som kommer att finna det naturligt att investera i den topplastproduktion som sannolikt ändå kommer att behövas. Som många inom branschen har konstaterat, och NEPP lyft fram vid flera tillfällen, så finns det ingen enskild aktör som har det långsiktiga ansvaret för att det ska finnas tillräcklig produktionseffekt i framtiden. Svenska kraftnät har det kortsiktiga ansvaret för effektbalansen. Det ansvaret har de både idag och i framtiden. De har dock inget ansvar för att bygga elproduktion och en del av de verktyg de kan använda för att upprätthålla balans, exempelvis bortkoppling av last, är sådana som i normalfallet knappast upplevs som acceptabla.

Det långsiktiga effektansvaret vilar istället på ”marknaden”. Mycket talar för att en stor del av den framtida planerbara elproduktionens intäkter kommer att uppstå under relativt korta tider med mycket höga elpriser. Många känner en oro för att detta utgör alltför osäkra incitament för så pass kapitalkrävande investeringar.

Det tar lång tid att bygga elnät

Den omställning som elsystemet står inför kommer att innebära en betydande inverkan på elnätets framtid och utbyggnadsbehov. Elnätet kommer i framtiden behöva förstärkas och byggas ut på olika sätt för att kunna tillgodose behovet av elöverföring inom Sverige samt till och från grannländerna. Elnätet behöver vara anpassat efter hur både elanvändningen och elproduktionen kommer att se ut.

Beroende på hur elproduktionssystemet byggs ut (typ av elproduktion, lokalisering, m.m.) ställs olika krav på elnätsutbyggnaden. Viktigt att komma ihåg, vilket bland annat betonas i NEPPs underlag till Energiföretagen Sveriges Färdplan EI, är dock att cirka 70 % av investeringarna i elnätet utgörs av reinvesteringar för att upprätthålla det nuvarande elnätet. Nyinvesteringsbehovet uppstår främst i stamnätet.

I samtal med branschens experter lyfter många fram att det blir allt omständigare att bygga elnät och att det idag tar mycket lång tid, 10 – 15 år inte är ovanligt, exempelvis till följd av utdragna tillståndprocesser. En annan synpunkt är att det behövs ett nytt ”samhällskontrakt” som exempelvis möjliggör att bygga ut elnät även för en planerad efterfrågan, trots att det finns viss osäkerhet om, och när, denna efterfrågan är på plats. Det är inte tillåtet enligt dagens reglering. Om man ska bygga först då behovet uppstår, exempelvis när ny produktion eller användning är på plats så kan det mycket väl vara för sent. Om detta inte ändras menar flera av branscherexperterna att såväl energiomställningen som samhällsutvecklingen kan hotas.



... det finns ingen
enskild aktör som har
det långsiktiga ansvaret
för att det ska finnas
tillräcklig produktions-
effekt i framtiden.



Elanvändningens sammansättning, olika effektprofiler för olika användarkategorier

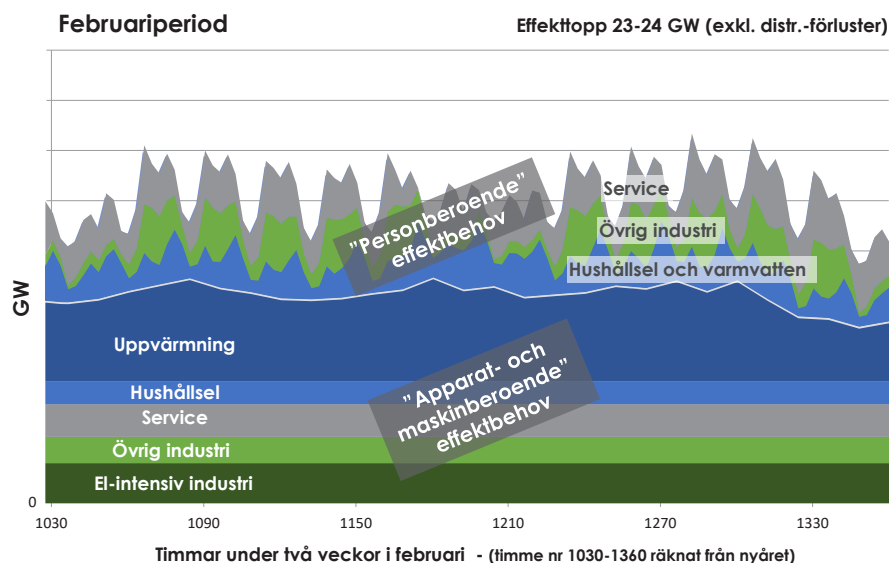
Mycket kunskap saknas ännu om hur vårt eleffektbehov är uppbyggt. Vi känner väl till det totala effektbehovet, timme för timme, såväl nationellt (stamnätsnivå) som regionalt/lokalt (regionnäts- och lokalnätetsnivå). Men vi kan egentligen mycket lite om vad som i detalj bygger upp det. Det är olyckligt; inte minst nu när efterfråge- och förbrukarflexibilitet blir alltmer aktuellt. För att fullt ut kunna förstå och utnyttja denna flexibilitet/respons hos oss kunder, måste vi först förstå vårt effektbehov mycket mer i detalj. I NEPP har vi gjort inledande analyser med preliminära resultat.

En intressant dimension är att dela in effektbehovet i det som relaterar till våra direkta personliga aktiviteter, "personberoende

effektbehov", medan det effektbehov som är oberoende av vår aktiva närvaro i hushållet benämner vi "apparat- och maskinberoende effektbehov" (eller "ej personberoende effektbehov", om man så vill). I figuren nedan har vi gjort ett försök att sektor för sektor göra denna indelning.

Vi kan då dra (minst) två slutsatser:

- 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.



Figur 4.6: Det totala eleffektbehovet i Sverige idag under två februariveckor, uppdelat på förbrukarsektorer och på en "personberoende" och en "apparat- och maskinberoende" del. Figuren bygger ännu på statistik från olika år, och ska därför betraktas som mycket preliminär.

Efterfrågesidan kan bidra till flexibilitet

Efterfrågeflexibilitet är ett relativt vitt begrepp och rymmer en omfattande palett av åtgärder på användarsidan i syfte att bättre anpassa energianvändningen till den aktuella situationen i elsystemet.

Efterfrågeflexibiliteten kan alltså komma att få en viktig roll i balanseringen av framtidens elsystem med stor andel förnybar, variabel och distribuerad elproduktion, minskad mängd planerbar termisk kraft och ökad marknadsintegration till Kontinentaleuropa. Framförallt är det vid situationer då nettolasten är stor eller då den förändras snabbt (rampeffekter som vi nämnt tidigare) som efterfrågeflexibiliteten är värdefull. Men som vi också antytt, så kan efterfrågeflexibilitet även vara viktig i situationer med kraftöverskott, det vill säga då nettolasten är låg eller till och med negativ. Exempel på sådan ökad användning kan vara elbaserad fjärrvärmeproduktion eller, på lång sikt, vätgasproduktion. Man ska dock komma ihåg att efterfrågeflexibilitet inte "rakt av" kan jämföras med produktion. Efterfrågeresurser är typiskt tillgängliga i några timmar och saknar den uthållighet som produktionsresurser har.

I föregående etapp av NEPP redovisades en uppskattning av potentialen för efterfrågeflexibilitet kopplad till el för uppvärmning inom hushållssektorn.

I det arbetet anger man en potential på 2 000 MW vilket motsvarar 2 kW i cirka en miljon småhus (NEPP, 2016). Potentialen för efterfrågeflexibilitet är starkt kopplad till priselasticitet, det vill säga sambandet mellan användning och elpris. Potentialen inom industrin har uppskattats till ca 2 000 MW när elpriset överstiger 200 EUR per MWh (NEPP, 2016).

En generell invändning som ofta nämns när konsekvenserna av efterfrågeflexibilitet hos det stora antalet privatkunder diskuteras är att det krävs medverkan av riktigt många användare för att påverkan ska bli märkbar. För att den småskaliga efterfrågeflexibiliteten ska få signifikant omfattning krävs sannolikt någon aktör som underlättar laststyrningen genom informationsteknik (ofta en så kallad aggregator) så att anpassningen inte varje gång kräver aktiva val av den enskilde.

Förutom för byggnadsuppvärmning och industrin kan man förutse att även laddning av elfordon kan bli en viktig flexibilitetsmöjlighet i framtiden. Utan "smart laddning" av elbilarna så skulle det tillkommande eleffektbehovet vid en omfattande elektrifiering av transportsektorn annars kunna bli tiotals GW.

Stödtjänster behövs för elsystembalanseringen

Den balansering som sker mellan användning och produktion inom timmen, företrädesvis på sekundnivå, kallas "stödtjänster" eller "systemtjänster". Stödtjänster är ett samlingsnamn på funktioner som är nödvändiga för att upprätthålla ett stabilt kraftsystem. Exempel på sådana stödtjänster är frekvensreglering, inklusive rotationsenergi (svängmassa) och spänningsreglering.

STÖDTJÄNSTER – FUNKTIONER SOM BEHÖVS FÖR ATT UPPRÄTTHÅLLA ETT STABILT KRAFTSYSTEM

ROTATIONSENERGINS FUNKTION

Rotationsenergi (svängmassa) uppfyller en viktig funktion i elsystemet och är central för att upprätthålla ett stabilt kraftsystem. Om en situation skulle uppstå med en plötslig bortkoppling av, exempelvis, ett stort kärnkraftverk måste detta ersättas momentant (millisekunder) med annan produktion. Det finns ingen egentlig upplagrad energi i själva elnätet (ledning, transformatorer), men den energi som finns tillgänglig är rotationsenergi i roterande synkron-generatorer (starkt kopplade till elnätet) med kopplade axlar och turbiner (dvs svängmassa). När denna plötsliga

bortkoppling uppstår ersätts därmed, i praktiken, elproduktionen från ett kärnkraftverk med extra bidrag från samtliga roterande synkron-generatorer i Sverige, Norge, Finland och Danmark (i detta fall specifikt Själland). En viktig poäng är att det inte är rotationsenergin i sig som är behovet, utan systemets förmåga att hålla frekvensen stabil. Och ju mindre rotationsenergi som finns tillgänglig i våra kraftverk, desto mer välutvecklade tjänster och andra åtgärder behövs för frekvenshållning.

FREKVENNS

Stödtjänster för att upprätthålla rätt frekvens, 50,0 Hz, erhålles på balanskraftsmarknaderna. Dagens utformning av reserver består av FCR (*Frequency Containment Reserves*) och FRR (*Frequency Restoration Reserves*). FCR är frekvenshållningsreserver och levereras av anläggningar som själva känner av frekvensavvikelser och ändrar sin uteffekt därefter. FRR-reserver är frekvensåterställande produkter vars uppgift är att återställa frekvensen till 50,0 Hz efter

en störning. En ny reserv, FFR (*Fast Frequency Reserves*), implementerades för första gången i maj 2020. Syftet med den nya reserven är att kompensera för timmar med låg rotationsenergi, vilket normalt brukar inträffa under perioder med låg elanvändning, exempelvis sommarkvällar och -nätter på vardagarna samt alla timmar på helgerna.

SPÄNNING

Förutom frekvenshållning är även spänningshållning en viktig systemtjänst för ett drift- och leveranssäkert elsystem. Spänningen i kraftsystemet regleras genom tillförsel eller uttag av reaktiv effekt. Genom att öka eller minska den reaktiva effekten upprätthåller man således rätt

spänning i elnätet. Idag är det vattenkraften och kärnkraften som bidrar med reaktiv effekt på stamnätsnivå vilket också kommer spänningshållningen i de underliggande region- och lokalelnäten till godo. I framtiden kan sannolikt även andra kraftslag bidra.

Utmaningar i framtiden med mer variabel och mindre planerbar elproduktion

Det finns flera systemtjänstutmaningar med ett elsystem som till stor del består av väderberoende kraft, så som sol- och vindkraft. Gemensamt för dessa är att kunna upprätthålla den kontinuerliga balansen på ett ekonomiskt och tillförlitligt sätt. Ett exempel på en sådan utmaning är att i en framtid med färre kärnkraftsreaktorer i Sverige så minskar mängden rotationsenergi. Det innebär att frekvensen, i jämförelse med idag och utan andra vidtagna åtgärder, snabbt kan komma att sjunka vid stora bortfall. Det finns i princip tre olika sätt att klara denna typ av händelser med mindre mängd kärnkraft:

1. Man minskar det dimensionerande felet, dvs inget bortfall tillåts vara stort (exempelvis nedreglering av ett stort kraftverk på 1 400 MW)
2. Man tillför mer svängmassa i form av roterande maskiner kopplade till systemet
3. Man inför en snabbare styrning, motsvarande den nya reserven på balanskraftsmarknaden FFR.

FFR:s funktion är att balansera ut problemet inom enstaka sekunder istället för inom 2 - 5 sekunder. FFR kan bestå av exempelvis batterier, snabb reglering i vindkraftverk (kallas ibland "syntetisk svängmassa") eller snabb bortkoppling av användning (exempelvis elbilsladdning och värmeanvändare). Efterfrågesidan har alltså på sikt betydande möjligheter att bidra.

Lokala kapacitetsbegränsningar i elnäten – en utmaning redan på kort sikt

På kort sikt utgörs den stora effektutmaningen av det som benämns lokal nätkapacitetsbrist. På flera platser har det uppstått lokala kapacitetsbegränsningar i elnäten (exempelvis i Stockholm, Malmö och Uppsala). Situationen riskerar också att bli ansträngd på fler orter. Detta är en annan effektutmaning än den vi diskuterat ovan och som relaterar till ökande elanvändning, utbyggnad av variabel elproduktion (vind/sol) och utfasning av planerbar kraft. Den utmaningen är, som vi konstaterat ovan, framför allt

ett potentiellt problem på lång sikt, medan de lokala nätkapacitetsbegränsningarna alltså påverkar situationen redan nu. De kan dessutom bli långvariga eftersom nätutbyggnad tar lång tid. Eleffektbristen kan hämma städernas utveckling och därmed lokalt få stora konsekvenser.

Det finns ett stort antal möjliga åtgärder för att minska problemen med dessa lokala nätkapacitetsbegränsningar. Bland dessa återfinns nätutbyggnad och lokal planerbar elproduktion inom de områden där inmatningen av el är begränsad. Kraftvärme är ett typiskt exempel på sådan produktion. Incitamenten för kraftvärme är dock för närvarande dåliga och studier som NEPP redovisat pekar på oförändrad eller svagt minskande installerad effekt i kraftvärmeverk på tio års sikt. Andra anpassningsåtgärder för den lokala eleffektutmaningen kan istället fokusera på användningen, exempelvis laststyrning och annan efterfrågeflexibilitet, lagring, generell effektivisering och konvertering från elbaserad uppvärmning till fjärrvärme eller biobränsle. Ett exempel på ett sådant initiativ är sthlmflex, ett forskningsprojekt som ska skapa och pröva en lokal flexibilitetsmarknad i Storstockholm som även inkluderar elanvändning.

Ett problem med åtgärder i produktions- eller användarleden 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. Och omvänt, investeringar i elnäten kan i framtiden visa sig vara onödigt stora och kostsamma om efterfrågeflexibilitet får ett större genomslag än vad man förutsett.

På ett principiellt plan kan man också ifrågasätta själva problemformuleringen – nätkapacitetsbrist. Den antyder att det är elnätet, och bara elnätet, som bör vara den åtgärd som på sikt löser frågan om el(effekt)försörjningen. I princip kan – och bör – man även se lokal planerbar elproduktion och/eller åtgärder för efterfrågeflexibilitet som långsiktiga lösningar på den lokala eleffektfrågan. Det är alltså inte alltid elnätsutbyggnad som bör vara svaret.

Elsektorn klarar av att möta en stor ökning av elanvändningen

Osäkerheten om den framtida elanvändningen är stor, men även om elanvändningen skulle öka kraftigt, med säg + 50 TWh på 25 års sikt, så talar allt för att elsektorn kan klara av en sådan utveckling, även ur ett effektperspektiv. Det har bland annat NEPPs underlagsrapport för elbranschens Färdplan El visat. Det blir visserligen olika stora utmaningar och olika stora kostnader beroende på hur utbyggnaden sker, men utvecklingen står inte och faller med något enskilt kraftslag. De totala kostnaderna för elförsörjningen,

i kr per MWh, förväntas öka – men inte dramatiskt. Man kan förutse ett stort investeringsbehov i både produktion och nät, men liknande nivåer har förekommit tidigare.

Framtiden är oviss och som ett perspektiv på resultaten ovan kan sammanfattningen avslutas med det som William Hogan, professor vid Harvard University, sade vid en konferens i Sverige i början av 1990-talet. Frågan gällde hur framtidens elsystem och elmarknad skulle se ut och fungera efter avregleringen. Hogans svar var: "The lights will stay on. Everything else will change". Och i det hade han ju rätt

”

The lights will stay on. Everything else will change”

Kapitel 5



Investeringar i förnybar elproduktion – teknikutveckling och status

Det svenska kraftsystemet kommer i framtiden att innehålla allt större mängder förnybar kraftproduktion. I takt med att stödsystem fasas ut ska investeringar ske på marknadens villkor. Vi belyser i detta kapitel möjligheter

och hinder för framförallt kraftslagen vind- och solenergi. De långa kontrakt, *power purchase agreements* (PPA), som visat sig ha betydelse för investeringstakten diskuteras också.



De viktigaste slutsatserna

1. Sverige har goda förutsättningar vindkraftsproduktion (vindlägen, infrastruktur, glest befolkat land)
2. Sverige har goda förutsättningar för integrering av stora mängder förnybar elproduktion
3. Teknikutveckling och låg politisk risk är de viktigaste drivkrafterna för vindkraftsutvecklingen
4. Nya typer av investerare finns bakom den kraftiga utvecklingen av landbaserad vindkraft
5. Investeringsstakten i havsbaserad vindkraft ännu låg men kan komma att öka starkt
6. Stamnätsutbyggnaden behöver bli snabbare och mer proaktiv
7. Tillståndsprocesserna behöver bli effektivare och mer rättssäkra
8. Långa kontrakt (PPA) minskar investerarnas marknadsrisk
9. Solkraft växer snabbt om än från låga nivåer
10. Investeringar i solkraft drivs delvis fram av andra faktorer än rent ekonomiska
11. Det syns ännu inga tecken på kannibaliseringseffekter för solkraft
12. Lokala distributionsnät har ännu stor kapacitet att ta emot ny solkraft
13. Utvecklingen av energilager är viktig för solkraftens framtid

Läget för investeringar i ny elproduktion – en introduktion

Vindkraftens kostnader har sjunkit. Investeringar i vindkraft sker nu på marknadens villkor och elcertifikatsystemet är i stort sett överspelat. För kärnkraften finns inga formella hinder för livstidsförlängning. Om behov av baskraft finns i framtiden kan alltså kärnkraften spela en roll även framledes. Kraftvärmen är redan väl utvecklad på många håll i Sverige men har de senaste åren fått försämrade finansiella villkor inte minst på grund av nya skatter och avgifter. Den avfallsförbränningsskatt som infördes 2020 bidrog till att verk i Stockholm och Malmö endast kom att drivas vidare genom intäkter för tjänster som kraftreserv (den s k nätkapacitetsreserven) och i fallet i Stockholm med medel från Svenska kraftnäts beredskapsfond. Avfallsförbränningsskatten infördes trots utredarnas närmast enhälliga bedömning att skatten var samhällsekonomiskt dålig. De kommande årens utveckling av CCS-tekniken kan vara det som förändrar kraftvärmens villkor och därmed bidrar till att dess roll i det nordiska systemet bibehålls.

Fallande kostnader, låga politiska risker och i synnerhet för vindkraft mycket goda naturliga förutsättningar driver på investeringar i förnybar elproduktion. Men ytterligare två faktorer kan tas upp här – kannibaliseringseffekten och investeringar i stamnät. De väderberoende förnybara kraftslagen kommer de närmaste åren att (i Sverige) sannolikt påverkas av den så kallade kannibaliseringseffekten. Den innebär att om stora volymer installerad vindkraftseffekt generar el samtidigt (låt oss säga att det blåser i hela Sverige) skapas ett utbudsöverskott vilket får en prisdämpande effekt. Genomsnittligt kan vi då se att vindkraft genererar lägre intäkter än till exempel kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme. Redan under våren 2020 kunde vi se spår av detta fenomen för svensk vindkraft. För solkraft har dock ännu ingen signifikant kannibaliseringseffekt kunnat urskiljas.

Med den snabba utbyggnad som sker nu riskerar vindkraften att inom vissa områden, t.ex. elområde 1 och 2 (norra Sverige), få låga intäkter. Det som på kort sikt avgör hur stor denna effekt blir är stamnätskapaciteten till kringliggande områden samt efterfrågans utveckling. Frågan är om kombinationen av en snabb utbyggnad av vindkraften i norr med en mycket långsam utveckling av stamnätskapaciteten leder till återkommande priskollapser när det blåser i norra Sverige. Det finns tecken på detta.

Solkraft är ett kraftslag på frammarsch. Den tekniska potentialen är stor men för att bli riktigt betydande i det nordiska systemet krävs en större förändring av det kringliggande kraftsystemet, och komponenter såsom lagring och integrering med andra sektorer. I skrivande stund finns stora förhoppningar, inte minst återspeglat i EU:s gröna giv,¹ på vätgasekonomin. Att se en roll för solkraft i ett system där mycket vätgas ska produceras för olika ändamål tänjer inte fantasins gränser alltför mycket.

Marknadens ledtider (för investeringar i kraftproduktion) tycks betydligt kortare än de reglerade delarna (investeringar i nät). Utbyggnaden av stamnäten är redan, och kan fortsätta att vara, en flaskhals för omställningsarbetet. Det är därför väsentligt att infrastrukturen kan utvecklas och byggas efter prognoser av samhällsutvecklingen snarare än när faktiska behov uppstått. De kostnader för överutbyggnad som då möjligen blir en effekt ska ställas mot de miljö- och samhällsekonomiska vinster som uteblir när infrastruktur saknas.

Vindkraft

Teknikutveckling och låg politisk risk de viktigaste drivkrafterna för vindkraftsutvecklingen

Det finns många drivkrafter bakom den snabba utvecklingen vi ser inom investeringar i svensk vindkraft:

1) Se kapitel 1 om politiken

- Goda förutsättningar vindkraftsproduktion (vindlägen, infrastruktur, gles befolkad land)
- Goda förutsättningar för integrering av stora mängder förnybar elproduktion
- Snabb teknikutveckling
- Låg politisk risk genom långsiktiga politiska spelregler
- Ökad efterfrågan på el
- Låg marknadsrisk genom *Power Purchase Agreements* (PPA:er)
- Kommer dock att behöva en snabb utbyggnad av de svenska stamnäten

Sverige är ett gles befolkad land som tillsammans med Norge har bland Europas bästa vindresurser. De goda vindresurserna avspeglas även i produktionskostnaden som ligger lågt i internationell jämförelse. De bästa projekten idag kan byggas för under 30 öre/kWh. Förutom vindresurserna ger den förhållandevis goda nätinfrastrukturen bättre förutsättningar för storskalig utbyggnad jämfört med många andra länder i Europa.

Eftersom etablering av vindkraftsparker innebär en påverkan på den lokala miljön, underlättas möjligheten att få acceptans och tillstånd för nya parker ju mer glesbefolkat ett land är. Som jämförelse har Tyskland idag ca 10 gånger fler vindkraftverk installerade än Sverige samtidigt som de har en befolkningstäthet som är ca 10 ggr högre. Sverige borde med andra ord ha goda grundförutsättningar även om tillståndsprövningen kan försvåras av andra faktorer.

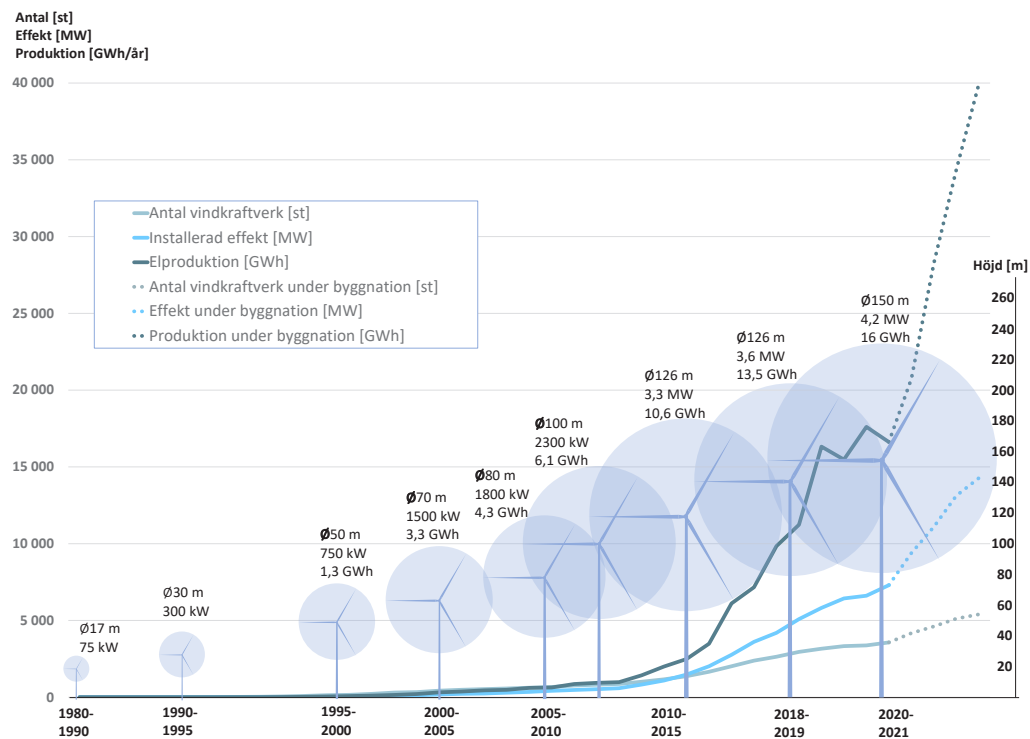
Teknikutvecklingen med allt större och effektivare vindkraftverk har varit den viktigaste förklaringen till den snabba kostnadsreduktionen i vindkraft, se Figur 5.1. Med högre torn kan man nå allt bättre och jämnare vindar, även på platser som tidigare har varit otänkbara att bygga på. Med större turbinblad ökar produktionspotentialen från varje vindkraftverk. På så vis ökar utnyttjningstiden i takt med att allt fler moderna vindkraftverk tillförs systemet. Den genomsnittliga kapacitetsfaktorn var 38 % för landbaserad vindkraft som installerades i Sverige under 2019.² Motsvarande siffror för resten av Europa låg mellan 30-35%³ och det globala genomsnittet 34% år 2018.⁴

I och med att produktionen förbättras med modern teknik, särskilt vid lägre vindhastigheter, innebär det att vindkraftsflottans samlade s.k. effektvärde förväntas fördubblas den närmaste tjugoårsperioden, se Tabell 5.1. Tabellen visar utvecklingen av effektvärdet för simuleringar från 2017 till 2040 för olika väderår (2013–2016). År 2040 beräknas merparten av vindkraftsflottan vara utbytt. Det högre effektvärdet bidrar då till ett lägre behov av kraftbalansering vid dagar med lägre vindhastigheter.

2) Svensk Vindenergi

3) WindEurope (2019)

4) IRENA (2019a)



Figur 5.1. Teknikutveckling och elproduktion från svensk vindkraft. Källa: Dolff (2018).

I och med att produktionen förbättras med modern teknik, särskilt vid lägre vindhastigheter, innebär det att vindkraftsflottans samlade s.k. *effektvärde*⁵ förväntas fördubblas den närmaste tjuogaårsperioden, se Tabell 5.1. Tabellen visar utvecklingen av effektvärdet

för simuleringar från 2017 till 2040 för olika väderår (2013–2016). År 2040 beräknas merparten av vindkraftsflottan vara utbytt. Det högre effektvärdet bidrar då till ett lägre behov av kraftbalansering vid dagar med lägre vindhastigheter.

5) Effektvärdet är hur mycket den svenska vindkraftens samlade elproduktionseffekt förväntas vara minst 90% av tiden. Ej att förväxla med vindkraftsens kapacitetsvärde vilket är den förväntade årsproduktionen delat med det teoretiskt maximala

Tabell 5.1. Förändring av effektvärde för olika simulerade år. Ju längre fram i tiden desto större andel av dagens vindkraftpark är utbytt. Simuleringarna baseras på medelvind från några faktiska år. Effektvärde = total lägsta förväntade elproduktion från all vindkraft 90% av tiden december t.o.m. februari. Källa: NEPP (2018c) Vindkraftens effektvärde

Vinddata från år	Simulerat år			
	2017	2020	2030	2040
2013	9,8%	10,6 %	16,2%	18,7%
2014	13,2%	14,3%	19,7%	22,0%
2015	12,5%	13,8%	25,5%	30,3%
2016	11,0%	12,0%	19,1%	21,3%

Eftersom investeringar i vindkraft är långsiktiga och kapitalintensiva värdesätter investerare politiska spelregler som inte ändras över tiden. Stabil politik leder till förutsägbara politiska risker. Den kanske största drivkraften för investeringar är den låga politiska risken som de nordiska länderna förknippas med. Även om det finns andra marknader i Europa som ger förhållandevis högre intäkter t.ex. i form av subventioner, värdesätter investerare i regel den låga politiska risken högre. Många investerare har även dålig erfarenhet av andra marknader i Europa som exempelvis Spanien och Tyskland där regeringar har gjort retroaktiva ändringar i förutsättningarna för stödsystem till förnybart.⁶

I mitten av 2016 tecknades den blocköverskridande Energiöverenskommelsen. Den angav en långsiktig politisk inriktning mot ett hundra procent förnybart elsystem (vilket dock inte utesluter kärnkraft). Några spelregler som förtydligades gentemot marknadens aktörer var att elcertifikatsystemet skulle utökas i ambition och förlängas i tid med ett nytt utbyggnadsmål till 2030 om 46,4 TWh.⁷ Till detta skulle en stoppmekanism införas senast år 2020 som

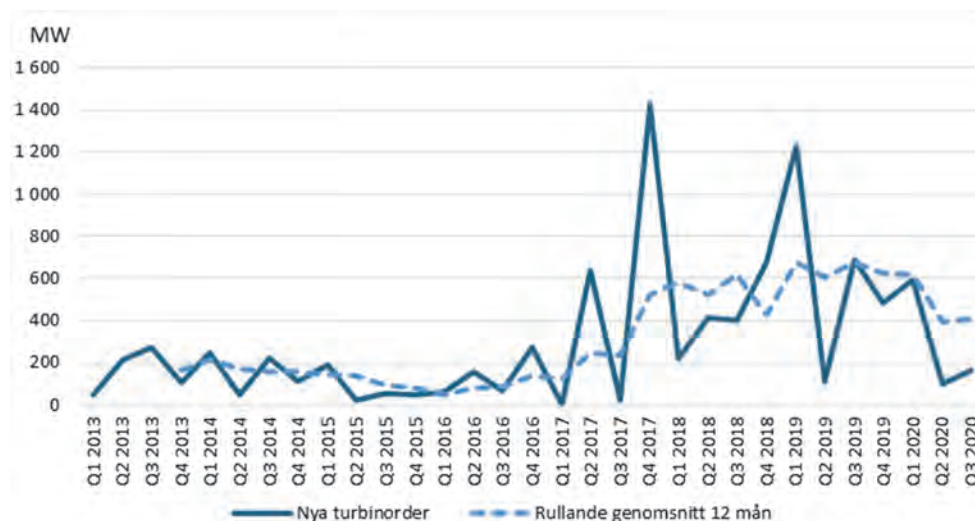
förhindrar en överutbyggnad inom elcertifikatsystemet. Det gjordes även klart att de befintliga kärnkraftsreaktorerna får fortsätta vara i drift så länge ägarna vill det och att de befintliga reaktorerna även får ersättas med nya. Däremot ska inget statligt stöd utgå till byggnation av ny kärnkraft till skillnad mot t.ex. havsbaserad vindkraft där man föreslog att anslutningsavgiften skulle tas bort. Därmed kunde många frågetecken kring marknadsförutsättningarna efter 2020 rätas ut för investerarna. Hösten 2019 sprack överenskommelsen efter att Moderaterna och Kristdemokraterna lämnade den så kallade genomförandegruppen.

Det är svårt att avgöra vilka delar i Energiöverenskommelsen som har haft störst inverkan på den investeringsboom för vindkraften som följde efter 2016. Över 90 miljarder har investerats i svensk vindkraft sedan Energiöverenskommelsen, se Figur 5.2.⁸ Det är dock troligt att t.ex. villkoren för elcertifikatsystemet var mer viktiga för de investeringar som kom till stånd under 2016 än de som har gjorts under 2020. Investeringar efter 2020 kan inte längre räkna med ett värde på elcertifikaten för sin lönsamhet.

6) Bodecker partners (2019)

7) Sverige och Norge tillsammans jämfört med 2012 års nivå

8) Svensk Vindenergi (2020)



Figur 5.2. Bindande turbinbeställningar i vindkraft per kvartal sedan 2013. Källa: Svensk Vindenergi

En annan viktig drivkraft är att efterfrågan på el bedöms öka kraftigt framöver i takt med att industri- och transportsektorn genomgår en klimatomställning med hjälp av elektrifiering (se vidare i kapitel 2 om elanvändning och kapitel 3 om eltillförsel). Vi står inför ett potentiellt paradigmskifte i den totala efterfrågan på el i Sverige kan komma att öka med uppåt 50% till 2045 jämfört med dagens nivå.⁹ Det finns dock en stor osäkerhet kring dessa bedömningar (se kapitel 2 om elanvändning).

Det finns även ett växande antal företag som i sin företagspolicy anger att de vill ha 100% förnybar el för sin verksamhet. Det kan handla om direktinvesteringar (t.ex. IKEA) eller PPA, (t.ex. Google).

Nya typer av investerare och nya drivkrafter bakom vindkraftsutvecklingen

Vilken typ av företag investerar och varför?

I början av 2000-talet, när vindkraften började byggas ut i Sverige, var det främst statliga kraftbolag och industriföretag som stod för de största volymerna av det som investerades även om en del lantbrukare och sedermera kommunala energibolag också investerade i vindkraft. Dessa var mer av typen traditionella investeringar som kännetecknas av förhållandevis höga avkastningskrav och hög andel bankfinansiering.¹⁰

9) NEPP (2019a, c)

10) NEPP (2018d)

Efter finanskrisen införde EU stränga kapitaltäckningskrav som gjorde det svårt för bankerna att erbjuda projektfinansiering med stora belopp över lång tid. Med sjunkande elpriser och lägre ersättningsnivåer från elcertifikaten blev investeringar i vindkraft mindre attraktivt. Under 2010-talet kom det in en ny typ av investerare som hade både lägre avkastningskrav och en högre andel finansiering via eget kapital, vilket tillsammans med teknikutvecklingen bidrog till att de ekonomiska förutsättningarna för vindkraften förbättrades.

Idag domineras investeringar i vindkraft i hög grad av så kallade institutionella investerare såsom Allianz, Blackrock och Credit Suisse även om Stena, Vattenfall och Tekniska Verken i Linköping är exempel på några av undantagen. Affärsuppläggen passar ofta väl in på den riskprofil som dessa nya aktörer söker. Det rör sig om kapitaltunga investeringar som genom långa kontrakt (se faktaruta 5.1 om PPA:er) och långa serviceavtal ger en investering med låg risk men ändå till en högre avkastning än till exempel räntebärande finansiella instrument och statsobligationer.

Den kanske största osäkerheten har hittills varit ersättningen från elcertifikaten. Men den intäktskällan har blivit allt mindre viktig i takt med att produktionskostnaderna har sjunkit. Med elpriser runt 35 öre per kWh eller lägre är framtida vindkraftsproduktion lönsam utan subventioner.

Det har även blivit vanligare att turbinleverantörerna själva investerar i vindkraftsparker. Exempel på det är Blakliden/Fäbodberget (353 MW). Det ägs av Vestas tillsammans med KPA AIP och Vattenfall. I Markbygden 1 och 2 har General Electric (GE) respektive Enercon gått in som delägare. Under 2019 sålde GE dock sin ägarandel i Markbygden till kinesiska CGN Europe som därmed blir den enskilt största vindkraftsägaren i Sverige när anläggningen står färdig. För turbinleverantörerna kan investeringen vara ett sätt att få till stånd en affär och de avser inte nödvändigtvis att vara långsiktiga ägare.

Faktorer som kan bidra till bibehållen hög investeringstakt till 2030

Nedan sammanfattas fyra faktorer som kan vara avgörande för om investeringstakten bibehålls på en hög nivå till år 2030.

1. Fortsatta förväntningar om en växande efterfrågan på el

Även om tidigare prognoser kring elanvändningens utveckling har visat sig slå fel finns det saker som ändå talar för att vi faktiskt står för en stor ökning av elbehovet, både i Sverige, Norden och Europa – i synnerhet om vi ska kunna möta klimatutmaningarna, se vidare i kapitel 2.

Även andra åtgärder inom EU i syfte att accelerera omställningen till en fossilfri ekonomi i form av t.ex. ett lägre utsläppstak eller ökad avsättning till marknadsstabiliseringsreserven inom EU-ETS har potential att bidra till en ökad investeringsvilja om elpriserna stiger till följd av justeringarna.

2. Tillgång till flexibla resurser och överföringskapacitet i elnäten

En förutsättning för en storskalig utbyggnad av variabel förnybar elproduktion är att utbyggnaden kan mötas av ökad flexibilitet och utökad transmissionskapacitet inom landet och till andra länder. Även om vattenkraften och transmissionskapaciteten ger goda grundförutsättningar för en storskalig utbyggnad av förnybar elproduktion, finns det idag begränsningar i överföringskapaciteten mellan norra och södra Sverige som behöver åtgärdas om inte vindkraften som byggs i norr ska råka ut för ”inlåsningseffekter” med försämrade intjäningsförmåga till följd. Därtill är kapaciteten i befintliga elnät (framförallt i elprisområdet 1) i princip fullbokad, vilket gör att tillkommande projekt behöver vänta på att nya tidskrävande ledningar byggs om inte alternativa lösningar kan hantera kapacitetsutmaningarna. Den kanske största utmaningen för vindkraftsinvesteringar är dock den kannibaliseringseffekten av att elpriset i ett område sjunker vid höga vindhastigheter. En förutsättning för den framtida investeringsviljan är således hur stor den effekten bedöms bli över tiden i förhållande till den samlade kalkylen och vilka olika möjligheter det kommer att finnas att hantera den risken. Om förväntningarna på att ”vätgassamhället”, batteriteknik och



Idag har Sverige 0,6 TWh havsbaserad vindkraft. Detta kan enligt Svensk Vindenergis bedömning öka till 7 TWh år 2030 och ca 30 TWh år 2040

användarflexibilitet utvecklas på ett sätt som både underlättar för möjligheten att ansluta sig till fullbokade elnät och förbättrar intjäningsförmågan i förnybara anläggningar behöver inte nätkapaciteten eller bristande flexibilitet i systemet bli en gränssättande faktor för den fortsatta investeringsviljan.

3. Tillgång på tillståndsgivna projekt

Förutom nätkapaciteten och andra systemutmaningar börjar tillgången på nya tillståndsgivna projekt bli en försvårande omständighet för investeringar i vindkraft. Kombinationen av hög utbyggnadstakt och att det inte fylls på med nya tillstånd i den takt som behövs är förklaringen. Det finns en trend mot allt svårare tillståndsgivning för vindkraftsparker i allmänhet och i södra Sverige i synnerhet. Enligt en sammanställning som Svensk Vindenergi lät göra för perioden 2015–2018 avlogs 76 procent av drygt 2 500 prövade vindkraftverk.¹¹ Konkurens om markanvändningen, där försvarets stoppområden tar bort ca hälften av landytan söder om Gävle, och användande av det s.k. kommunala vetot gör att många projekt i synnerhet i södra Sverige inte realiserar.

4. Havsbaserad vindkraft får sitt genomslag i Sverige

Även om utvecklingen för den landbaserade vindkraften skulle begränsas i framtiden finns det argument som talar för att den havsbaserade vindkraften kan kompensera för ett minskat investeringsintresse i landbaserad vindkraft. Kostnadsutvecklingen har varit dramatisk med en minskning med ca 70 % mellan 2012 och 2019.¹² Fortsätter den utvecklingen kan den havsbaserade vindkraften byggas utan stöd före 2030.¹³ Intresset för havsbaserad vindkraft har ökat kraftigt de senaste åren. Under perioden 2018–2019 fick Svenska kraftnät förfrågningar på över 27 GW havsbaserad vindkraft. Flera projektutvecklare har nyanställt personer för att jobba med havsbaserad vindkraft.

Den havsbaserade vindkraften har även en fördel i att det finns stor potential att etablera den i södra Sverige där behovet av tillkommande elproduktion är störst.

Investeringsstakten i havsbaserad vindkraft ännu låg

Det finns i dagsläget framförallt tre saker som gör att investeringar i havsbaserad vindkraft ännu inte sker:

- 1) Avsaknad av besked om sloandet av anslutningskostnaden till havsbaserad vindkraft i enlighet med energioverenskommelsen. Även om kostnadsutvecklingen har gått mycket snabbt de senaste åren är kostnadsnivån för havsbaserad vindkraft fortfarande för hög för att den ska kunna byggas på marknadsmässiga grunder. För att aktörer ska investera i havsbaserad vindkraft idag är det därför fortfarande viktigt med anslutningsstödet och de kriterier som är kopplade till möjligheten att söka stödet.
- 2) Det finns enligt Svenska kraftnät goda förutsättningar att ansluta havsbaserad vindkraft till befintligt nät i södra Sverige.¹⁴ Svenska kraftnät har där beviljat anslutning till 9000 MW havsbaserat anslutning. Det förutsätter dock att den planerade luftledningen Ekby-Hemsjö-Nybrå realiserar. Energimarknadsinspektionen avlog i september 2019 Svenska kraftnäts koncessionsansökan. Denna ligger för närvarande på regeringens bord för vidare hantering. En annan utmaning är att det i vissa fall pågår projektering inom samma vattenområden. Svenska kraftnäts "först till kvarnen"-modell kan innebära problem ombokad nätkapacitet tas upp av projekt som senare visar sig inte realiserar.
- 3) Konkurrenten om vattenområdena till havs är stor och det saknas en planeringsram för havsbaserad vindkraft. Det är en krånglig och resurskrävande tillståndsprocess med många olika typer av tillstånd som krävs hos myndigheter och departement och det finns många frågetecken kring hur lätt det är att få

10) Svensk Vindenergi (2019)

11) Örsted (2019)

12) Svensk Vindenergi (2020)

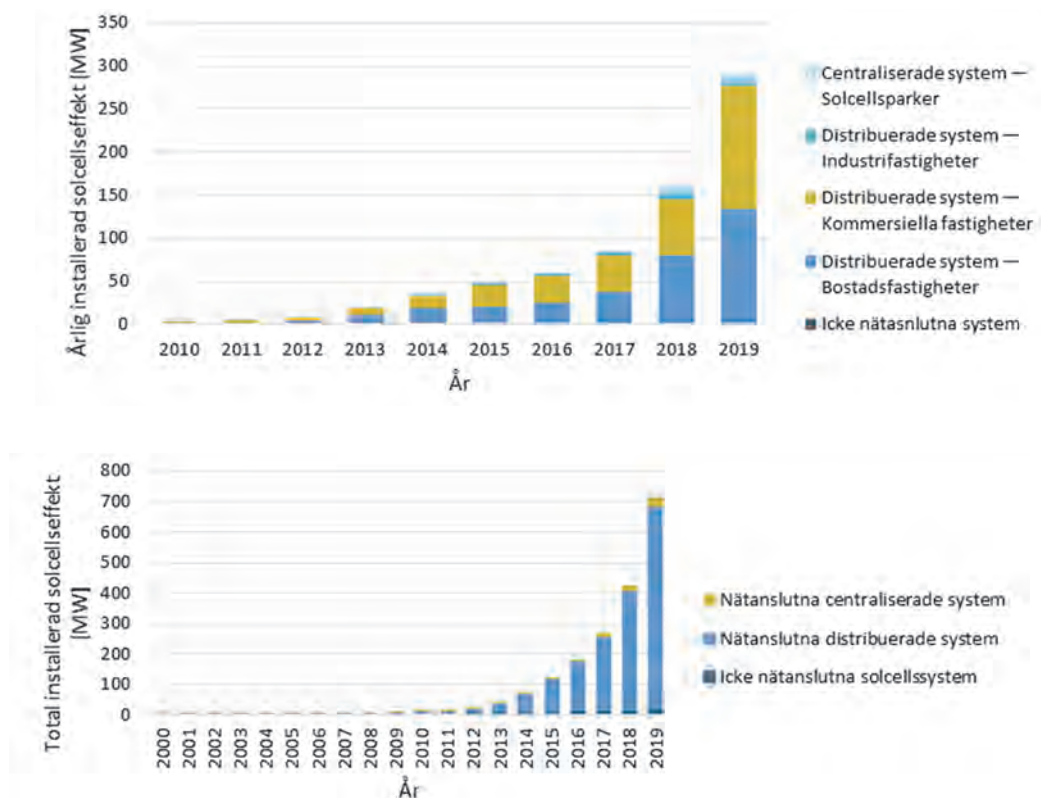
13) Svenska kraftnät (2019)

14) Svenska kraftnät (2019)

tilstånd för havsbaserad vindkraft då många nya projekt ännu inte har kommit så långt i projektfasen att de har hunnit få besked om miljötillstånd. Idag har Sverige 0,6 TWh havsbaserad vindkraft. Detta kan enligt Svensk Vindenergis bedömning öka till 7 TWh år 2030 och ca 30 TWh år 2040. Se mer under kapitel 3 om eltillförselns utveckling.

Solkraften växer snabbt, om än från låga nivåer

Totalt fanns det i slutet av 2019 drygt 700 MW installerad solkraftseffekt i Sverige, vilket är en ökning med ca 600 MW på fem år. Snabbt fallande kostnader, ekonomiska subventioner och stor acceptans bland allmänheten har drivit på utvecklingen.



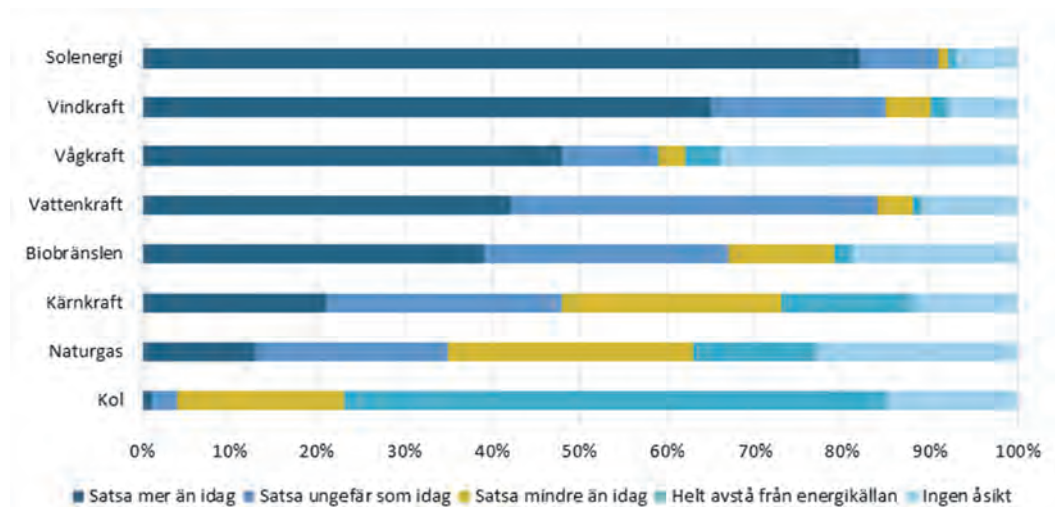
Figur 5.3. Solcellsmarknaden växer snabbt i Sverige.¹⁵

15) Lindahl et al, (2020)

Snabb teknikutveckling och hög acceptans hos allmänheten

Det finns flera generella drivkrafter bakom solkraftens snabba utveckling (från låga nivåer) i Sverige. Det finns ett stort politiskt intresse för solkraft, och allmänheten ser solkraften som ett önskvärt kraftslag. Enligt SOM-institutet är solkraften det energislag svenska störst andel, hela 82 %, av svenska folket vill se större satsningar på framöver.¹⁶ Olika enkätundersökningar har också visat

att det finns en stor vilja bland småhusägare att installera solceller. Analyser har visat att runt 60 % av de tillfrågade småhusägarna antingen planerar för eller kan tänka sig att installera solceller.¹⁷ De huvudsakliga drivkrafterna för privatpersoner att installera solceller, och därmed bli prosumenter, är enligt en enkät från 2014 att spara pengar (58 % av de tillfrågade), slita mindre på miljön (51 %), vara mer självförsörjande (50 %), ha ett roligt projekt (22 %) och imponera på grannarna (4 %).¹⁸



Figur 5.4. Den svenska opinionen är positiv till solkraft. Resultat från opinionsundersökning om svensks attityder till olika kraftslag.

16) Persson and Sören (2020)

17) Axelsson m.fl. (2017), YOUNGOV (2018)

18) Unitedminds (2014)

I Tabell 5.2 sammanfattas drivkrafter och hinder för investeringar i solenergi: ¹⁹

Tabell 5.2. Hinder och drivkrafter för investeringar i solenergi. Källa Axelsson m.fl. (2017)

Drivkrafter:	Påverkas av:
Oändlig resurs	Geografi, väder och verkningsgrad
Stor tillgänglig yta	Solläge, takhinder, renoveringstakt, nyproduktion och markanvändning
Stort intresse	Energi- och miljömål, önskan att vara självständig, kunskap
Ekonomi	Prisutveckling, styrmedelsutformning och förändringstakt, skatteregler, elprisnivåer och variationer
Elnät	Klarar generellt mycket sol
Systemkonsekvenser	Omvärldens utveckling och åtgärder för att integrera solelproduktionen
HINDER:	
Variabel produktion	Geografi och väder
Ekonomi	Prisutveckling, styrmedelsutformning och förändringstakt, skatter, elprisnivåer och variationer
Regelverk	Ej anpassat för egenanvändning, många gränser och regler
Elnät	Lokala problem vid kluster och problem vid kraftig expansion
Systemkonsekvenser	Omvärldens utveckling och åtgärder för att integrera solelproduktionen
Regelverk	Ej anpassat för egenanvändning, många gränser och regler
Elnät	Lokala problem vid kluster och problem vid kraftig expansion
Systemkonsekvenser	Omvärldens utveckling och åtgärder för att integrera solelproduktionen

Den tillgängliga ytan för att installera solceller är, teoretiskt sett, stor i Sverige. En stor potential för solenergin är att utnyttja redan befintliga byggnader. De praktiskt tillgängliga byggnadstytorna för solcellsinstallation motsvarar 50–60 TWh el per år med dagens solcellsteknik. Rörande potentialen för markbaserade solcellssystem finns det enligt Jordbruksverket ca 316 000 hektar mark definierad som marginalmarker, dvs. mark med låg produktionsförmåga som inte bedöms komma användas för

jordbruksändamål igen. Om all denna mark skulle användas för att installera solcellsparker innebär det en ytterligare potential på 126 TWh per år. ²⁰ Om hänsyn tas till att det i praktiken bara är intressant att installera solceller på mark om marken är nära en rimlig elanslutning uppskattas att potentialen minskar till en tiondel, det vill säga 12,6 TWh. ²¹ Om även till exempel betesmark, jordbruksmark eller skogsmark inkluderas blir potentialen för solcellsparker mycket större.

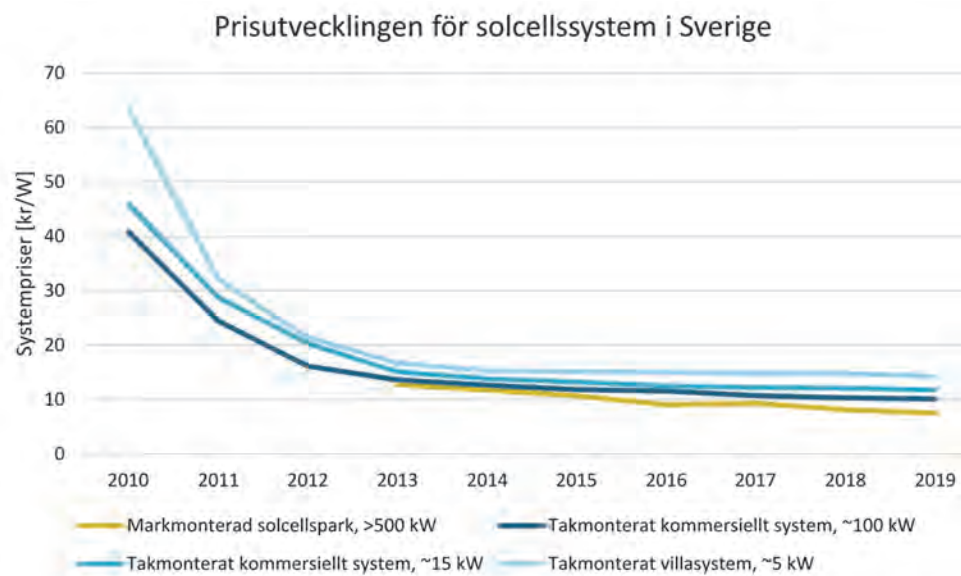
¹⁹) Baserat på Axelsson m.fl. (2017)

²⁰) Norberg m.fl. (2015)

²¹) Blomqvist and Unger, 2018)

Ekonomi för solceller är en viktig faktor för utbyggnaden. Solceller har gått från att vara ett av de absolut dyraste kraftslagen till att bli ett av de billigaste (på vissa platser i världen) under de senaste åren. Globalt har kostnaden för själva solcellsmodulerna minskat från ca 100 dollar/W år 1975 till att nu kosta omkring 0,3 dollar/W. Ett annat sätt att uttrycka det; vid varje fördubb-

ling av den ackumulerade installerade solcellseffekten i världen så har priserna för moduler gått ner med 25–30 %. Detta har självfallet även påverkat priserna i Sverige, där kostnaderna för solcellssystem gick ner kraftigt mellan 2010 och 2014, och sedan dess generellt sjunkit med mellan 3 och 10 procent per år, vilket Figur 5.5 visar.²²



Figur 5.5. Viktade medelpriser för nyckelfärdiga nätuppkopplade solcellssystem inrapporterade av svenska installationsföretag (exklusive moms).

Även om de tekniska skalfördelarna med att bygga stora solcellssystem jämfört med små är i stort sett försumbara finns ekonomiska skalfördelar. Detta eftersom den totala systemkostnaden innehåller flera kostnadsposter som har en relativt liten korrela-

tion med solcellssystemets storlek. De två marknadssegmenten villasystem och solcellsparker ligger storleksmässigt längst ifrån varandra av de marknadssegment där nätuppkoppling av solceller sker. I Sverige har prisutvecklingen för ett villasystem gått från i

22) Lindahl m.fl. (2020)

snitt 63,3 kr/W år 2010 till 14,3 kr/W (exklusive moms), medan priserna för solcellsparker (som kom igång senare i Sverige) har gått från 12,7 kr/W år 2013 till att nu ligga på cirka 7,3 kr/W. Själva produktionskostnaden för solkraften låg 2019 på mellan 0,74 kr/kWh för typiska villasystem till 0,43 kr/kWh för solcellsparker.²³

Produktionskostnaden för solkraft från centraliserade solcellsparker jämförs i grunden med elpriserna på spotmarknaden. Sett tillbaka över de senaste sex åren så har solkraften i Sverige en produktionsprofil som matchat spotprisvariationerna på elmarknaden väl.²⁴ Marknadsvärdet representerar förhållandet mellan det genomsnittliga spotpriset på den el som produceras av en kraftkälla och dess produktionsandel på marknaden. Värdet för solkraften på den svenska solcellsmarknaden har således i snitt över åren 2014–2019 varit 2,5% högre än snittspotpriserna.

Bakgrunden till solkraftens höga marknadsvärde är att solkraftens produktionsprofil förvisso har en negativ korrelation med efterfrågan på el på säsongsbasis, men eftersom övriga fossilfria kraftslag (vindkraft, kraftvärme, kärnkraft och vattenkraft) alla historiskt haft en positiv korrelation på säsongsbasis med efterfrågan på el så har elpriserna knappt varierat över säsong om man ser till hela perioden 2014–2019. Vissa år har elpriserna dock varit tydligt högre på vintern (2015, 2016), medan priserna varit tydligt högre på sommaren andra år (2014, 2018). Det som gör att solkraften har ett högre marknadsvärde än de genomsnitt-

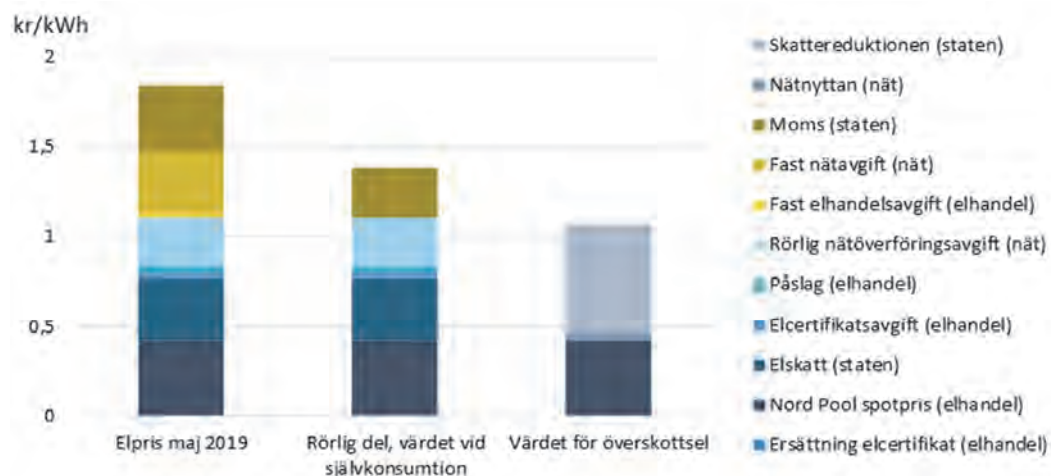
liga spotpriserna är den positiva korrelationen mellan solkraftens produktionsprofil och efterfrågan på dygnsbasis. På dygnsbasis är det bara solkraft och vattenkraft som har positiva korrelationer med efterfrågan på el. Solkraftens produktionsprofil skiljer sig därför ganska markant med övriga kraftslag (åtminstone hur de körts hittills) och sett över hela perioden 2014–2019 har solkraften endast en ytterst svag positiv korrelation med vattenkraften, men annars negativa korrelationer med de övriga kraftslagen.

Jämförs marknadsvärdet för solkraft med produktionskostnaden för solcellsparker är det bara under 2018 som marknadsvärdet varit högre. Dock kan högre lönsamhet för solcellsparker idag uppnås genom olika typer av affärsmodeller. Till exempel genom bilaterala avtal så som PPA:er (se faktaruta 5.1) eller genom olika upplägg av andelsägande. I takt med att solkraften byggs ut i landet kan dock detta marknadsvärde tänkas övergå till att bli negativt som en följd av den kannibaliserande effekten.

För den decentraliserade solkraften jämförs produktionskostnaden mot två värdeströmmar. Dels de minskade kostnaderna för inköpt el när solelproduktionen kan självkonsumeras i samma byggnad, dels värdet för den utmatade elen när solcellsanläggningen producerar mer el än vad som för tillfället konsumeras i byggnaden. Figur 5.6 sammanfattar de olika komponenterna vid självkonsumtion och värdet för överskottsproduktionen som matas ut på elnätet. I figuren jämförs den typiska produktionskostnaden för ett villasystem på 0,74 kr/kWh med de två värdeströmmarna.

24) Bråve m.fl. (2020)

25) de Lagarde and Lantz (2018)



Figur 5.6. Grafen visar ett av de lägsta rörliga elpriserbjudandena i maj 2019 för en villa med fjärrvärme i Stockholm med en årlig elförbrukning på ungefär 10 000 kWh/år, en huvudsäkring på 16 ampere och Vattenfall som nätägare.²⁶ Den första stapeln visar den totala kostnaden (elhandel, nätavgifter och skatter) för el för en slutkonsument. I denna stapel har de årliga fasta kostnaderna slagits ut på den årliga konsumtionen 10 000 kWh. Den andra stapeln visar kostnaderna för alla de rörliga delarna av den totala kostnaden, dvs de delar av elkostnaden som sparas in om slutkunden antingen låter bli att konsumera en kWh eller ersätter en kWh med egenproducerad el från till exempel en solcellsanläggning. Den sista stapeln visar värdet för den el som en ägare av en solcellsanläggning får om hen matar in el på elnätet för försäljning. Denna ersättning utgörs av det pris hen får från sin elhandlare (ofta spotpriset plus/minus några ören), nätnyttan från sin elnätsägare (varierar mellan 2–10 öre/kWh mellan olika nätägare) och skattereduktionen på 60 öre/kWh från staten. Ersättningen för överskottsel kan bli högre om solcellsägaren sökt och får elcertifikat och ursprungsgarantier.

En stor utbyggnad av solkraft, allt annat lika, kommer att ge samma kannibaliseringseffekt på spotpriserna under timmar med solkraftsproduktion som vindkraften kan räkna med.²⁷ Liksom för vindkraften blir därför efterfrågeutvecklingen samt utvecklingen av lager och till exempel en realisering av vätgassamhället viktiga komponenter i framtiden.

Lokal- och distributionsnäten i Sverige är generellt sett starka och kan husera stora mängder solkraft. I en studie från Uppsala Universitet simulerades stora mängder solceller in ett faktiskt distributionsnät med 5174 kunders konsumtionsprofiler. Slutsatsen blev att acceptansgränsen låg på 22 %.²⁸ Det betyder att först när den lokala solkraftsproduktionen i distributionsnätet överskred 22 % av den totala årliga efterfrågan på el inom distributionsnätet,

26) Lindahl et al, 2020

27) de Lagarde and Lantz (2018), Welisch, Ortner and Resch (2016), López Prol, Steininger and Zilberman (2020)

28) Widén m.fl. (2017)

uppstod problem med spänning hos mer än 1 % av kunderna. Fördelas solkraftsexpansionen jämnt över landet kan en hög andel decentraliserad solkraftsproduktion byggas ut i Sverige utan att det krävs några stora investeringar i elnäten. Byggs den decentraliserade solkraften däremot ut i kluster, vilken historiskt ofta skett både internationellt och i Sverige, med områden med hög andel decentraliserad solkraftsproduktion kan det driva ett behov av elnätsinvesteringar lokalt.²⁹

Vilka typer av aktörer investerar och varför?

Den svenska solcellsmarknaden består till stora delar av decentraliserade system och drivs till huvudsak av affärsmodeller kopplade till självkonsumtion. Av den totala installerade solcellseffekten i Sverige år 2020 står småhusägare för uppskattningsvis 35 %, flerbostadshus för ~10 %, kommersiella och offentliga lokaler för ~45 %, industrilokaler och övrigt för ~5 % och centraliserade solcellsparker för endast ~5 %.³⁰ Denna uppdelning har varit ungefär densamma de senaste 7 åren. I framtiden förväntas dock

solcellsparker byggas i större utsträckning än tidigare. Av de solcellsparker på över 1 MW som hittills byggts är det endast ca 17 MW av totalt 28 MW som drivs av traditionella energibolag. Det är således ett brett spektrum av aktörer som investerar i solceller idag. Bostads- och fastighetsbolag har upplevt flera mervärden efter att ha installerat solceller, till exempel en tydligare social identitet kopplad till hållbarhet och större innovationsbenägenhet inom bolaget.³¹

Vilka förutsättningar kan leda till det stora genombrottet?

Det går att argumentera för att det stora genombrottet för solkraft sker just nu. De senaste 10 åren har den svenska solcellsmarknaden vuxit exponentiellt. Men eftersom solkraftsutbyggnaden i Sverige fortfarande är beroende av subventioner behöver antingen priserna för solcellssystem fortsätta gå ner eller elpriserna upp för att marknaden ska stå på egna ben. Det är troligtvis först när marknaden klarar sig utan subventioner som solkraften kommer byggas ut i sådan skala i Sverige att den bidrar mer än marginellt.

29) Graziano and Gillingham (2015), Bollinger and Gillingham (2012), Palm (2016)

30) Lindahl m.fl. (2020)

31) Warneryd and Karltorp (2020)

POWER PURCHASE AGREEMENTS (PPA) – LÅNGA KONTRAKT VID NYBYGGNATION

Så kallat Power Purchase Agreement (PPA) är en bilateral överenskommelse mellan en elproducent och köpare som innebär att kunden köper el från elproducentens anläggning under en viss tid till ett bestämt pris.

PPA förekommer i flera varianter. Vanliga på den svenska marknaden är *pay-as-produced* och *fixed volume*. I den första varianten, *pay-as-produced*, köper kunden all produktion till ett fast pris. Produktionen kommer dock att variera med rådande vind- eller solinstrålningsförhållanden. Det vanligare kontraktet är att avtalet reglerar pris för en fast volym, *fixed volume*. I praktiken kan dessa två avtalsformer kombineras, och priset för vindkraften kan också indexeras till marknadspriset. Avtalen förhandlas bilateralt och det finns idag inga standardkontrakt. Eftersom det är bilaterala kontrakt så råder affärsmässig sekretess. Utanför de avtalade parterna är varken priser eller volymer kända för marknadens aktörer.

PPA:erna som tillkommit för framförallt vindkraft på den svenska marknaden tycks framförallt ha drivits av parternas behov av att prissäkra volymer, och för kundernas del att få tillgång till ursprungsgarantier

för förnybar kraft. Flertalet kontrakt tycks ha en livslängd på 8–10 år men kontrakt om 15–20 år har diskuterats.

Säljarens perspektiv

Investeringar i stora vindkraftsanläggningar är ofta i miljardklassen. Investeringskostnaderna är höga medan kommande intäkter, när vindkraftsparkerna väl är i drift, är osäkra. Det finns i grunden inga garantier för vad parken kommer att inbringa på intäktssidan. Utan prissäkring blir riskpremien högre med försämrade lånevillkor som följd. Många banker vill heller inte ta den risken utan ställer krav på prissäkringar. Med en PPA som ger el till fastpris och därmed en garanterad intäkt på parkens framtida försäljning av el minskar säljarens prisrisk och därmed kostnaderna för lånefinansieringen.³²

Många investeringar görs numera med eget kapital hos de som investerar men i många fall används även en viss del bankfinansiering för att kapital inte räcker till eller för att man vill uppnå den s.k. *hävstångseffekten* – som innebär att du kan få större avkastning med hjälp av lånade pengar än om du endast använder eget kapital.

32) Bodin (2020)

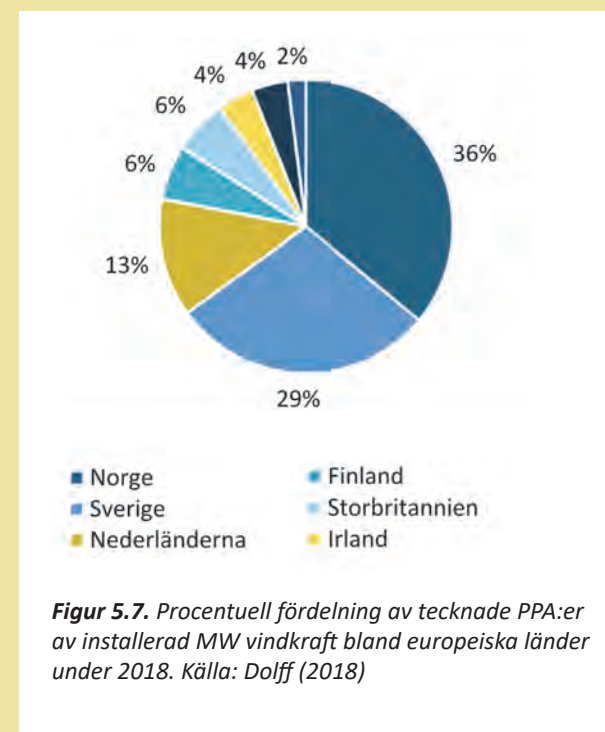
Köparens perspektiv

Allt fler företag har som policy att elen som används inom verksamheten ska komma från förnybara energikällor. Exempel på företag är Northvolt, Facebook, Microsoft och Amazon.³³ Inom RE100-initiativet finns exempelvis över 200 stora företag anslutna där målet är 100 % förnybar elanvändning inom verksamheten och dessutom att ställa liknande krav på sina leverantörer. Genom att antingen själva direktinvestera i vindkraft eller genom att teckna långa elhandelsavtal tillförs ny produktionskapacitet till nätet (s.k. additionalitet) vilket gör att dessa företag inte konkurrerar med övriga konsumenter om tillgänglig grön elproduktion.³⁴ För dessa företag är ursprungsgarantierna en för PPA:n en viktig produkt och ett sätt att marknadsföra sig som en aktiv part i energi- och klimatomställningen.

Historisk utveckling

PPA konceptet härstammar från USA och kom till Europa år 2007 när där de första avtalen tecknades i Storbritannien. Det stora genombrottet kom dock först 2012 när Google tecknade en PPA för en stor svensk vindkraftspark. År 2015 tecknade Norsk hydro en PPA för Fosen, den ditintills största landbaserade vindkraftsparken i Europa om ca 1 GW. Sedan dess har de nordiska länderna dominerat den globala PPA-marknaden för förnybar kraftproduktion.³⁵

För de ca 90 miljarder SEK som investerats i vindkraft i Sverige sedan 2016 finns det offentliga uppgifter om PPA:er motsvarande 49% av investeringarna. Många avtal offentliggörs inte men det kan finnas anledning att tro att andelen är större.³⁶



33) DI (2020)

34) Bodecker partners (2020)

35) DLA Piper (2020)

För att låna ut pengar till vindkraftsprojekt tycks bankerna i regel ställa krav på PPA:er. Således har dessa avtal nästan blivit en förutsättning för investeringsbeslut inom svensk och nordisk vindkraft.³⁷ Detta styrker att merparten av investeringarna som gjorts i vindkraft de senaste åren baseras på ett PPA-avtal. Till de största PPA-köparna hör Norsk hydro följt av Google och Alcoa.

Varianter på PPA

I Sverige är de vanligaste PPA-kontrakten antingen *Pay as produced* eller *Base load*. *Pay as produced* innebär att producenten säljer hela eller delar av den faktiska elproduktionen, där köparen då tar risken ifall anläggningen skulle visa sig producera mindre. För den andra typen av PPA, *Base load*, har risken istället flyttats över till producenten som endast säljer en avtalad mängd el till ett visst pris oavsett om anläggningen sedan visar sig producera mer eller mindre. För den som tar produktionsrisken finns även en möjlighet att mot ersättning överlåta den till en tredje part såsom försäkringsbolag.

De första PPA-erna som kom var enkla i sin utformning och vanligtvis av typen "Pay as produced", Marknaden har dock utvecklats med mer sofistikerade avtal för att uppfylla företagens olika riskprofiler med förhandlingar kring hantering av produktionsavvikelser, *force majeure*, risker kring eventuella elcertifikatintäkter, ursprungsgarantier och inte minst

obalanskostnader.³⁸ Det förekommer även stora skillnader i hur långa avtalen är med exempel som varierar mellan 8-29 år och hur stor andel av den totala produktionen som ska utgöras av en PPA.³⁹

EFET (European federation on energy traders) har för att underlätta för nya aktörer att sätta sig in i den allt mer diversifierade PPA-marknaden tagit fram standardmallar för kontraktsskrivning. Det finns även exempel på nya initiativ där köpare och säljare kan mötas via databaser kopplade till olika hemsidor.⁴⁰

36) Svensk Vindenergi (2020)

37) Sweco (2020)

38) DLA Piper (2020)

39) Sweco (2020)

40) EFET (2020)

DET KRÄVS STORA, MEN INTE HISTORISKT UNIKA, INVESTERINGAR

NEPP:s analyser indikerar att det totalt behöver investeras ca 1 000 till dryga 1 100 mdr kr i elproduktion och nätinfrastuktur fram till 2050 ⁴¹, i ett scenario med 190 TWh elanvändning i Sverige. Det är stora belopp och investeringsbehovet kommer att öka betydligt jämfört med idag, men samhället har mobiliserat liknande investeringsvolymen förut. Ett exempel är utbyggnaden av vattenkraften under 50- och 60-talet, ett annat kärnkraften då ca 350 Mdr kronor investerades under 70- och 80-talet, ett tredje de ca 90 Mdr kr som har investerats enbart i ny vindkraft de senaste fyra åren.

De kostnadsbedömningar och modellanalyser som gjorts inom ramarna för NEPP indikerar att den totala systemkostnaden för ett, i ett långsiktigt perspektiv, helt förnybart elsystem inte signifikant skiljer sig från ett fossilfritt system där även kärnkraft ingår i produktionsmixen.

En viktig och relativt robust slutsats är att reinvesteringar i existerande elproduktionsinfrastruktur står för ungefär hälften av investeringsbehovet för elproduktion oavsett scenario och att reinvesteringar i elnätet står för minst två tredjedelar av investeringsbehovet de kommande 30 åren.

Man kan inte säkert förorda den ena produktionsmixen framför den andra på grundval av beräknade investeringskostnader. Om man varierar någon av nyckelparametrarna i analysen kan resultatet tala för

den ena produktionsmixen framför den andra. Sådana nyckelparametrar inkluderar inte minst den tekniska utvecklingen och den framtida kostnadsbilden för olika kraftslag och viktiga komponenter som lagringstekniker och andra flexibilitetsåtgärder. En robust slutsats är att skillnaderna i totala systemkostnader mellan olika scenarier är små ställda i relation till osäkerheterna i nyckelparametrar i analysen.

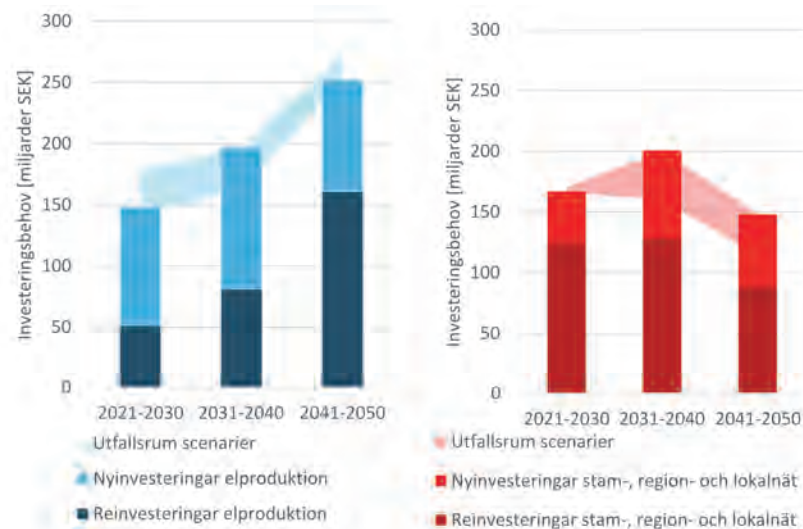
Stödtjänster måste vara på plats för att garantera ett leveranssäkert elsystem. Dessa stödtjänster kan dock bestå av andra åtgärder och lösningar än de som finns tillgängliga idag, till exempel är det troligt att användarsidan involveras i betydligt större utsträckning än idag. Oavsett vilket, pekar våra analyser på att kostnaden för dessa stödtjänster är små i förhållande till övriga kostnader som utgör den totala systemkostnaden. Stödtjänsterna avgör med andra ord inte hur den framtida produktionsmixen kan komma att se ut.

De stora kostnaderna återfinns i den omställning och förnyelse av elsystemet som måste till i princip oberoende av vilka val som görs på produktionsidan. Även i ett system med kärnkraft på tillförselsidan så kommer produktionen från variabla kraftslag som vindkraft och sol att vara betydande och avsevärt mycket större än idag. Dessutom handlar det om stora investeringar i elnäten men också om den omfattande volymen av reinvesteringar som erfordras för att ersätta åldrande kapacitet och möta framtidens krav

41) Dessa siffror inkluderar inte eventuella behov av nya lagringstekniker, inte heller driftskostnader.

på leveranssäkerhet, hållbarhet och ekonomisk effektivitet. Detta är särskilt tydligt i skenet av den ökande elektrifieringen av energisystemet. Dessa investeringar och förändringar måste till oavsett om eltillförseln i framtiden är helt förnybar eller om även kärnkraft återfinns i produktionsmixen.

Det estimerade totala investeringsbehovet för elproduktionskapacitet i Sverige mellan 2021–2050 uppgår till mellan 560 och 640 miljarder kronor. Oavsett scenario behöver den största delen av produktionsinvesteringen göras efter 2030. Då ökar behovet av reinvesteringar i vattenkraft, landbaserad vindkraft (som antas ha en livslängd på 25-30 år), och i vissa scenarier



Figur 5.8. Investeringsbehov inom elproduktion (till vänster) och elnät i Sverige (till höger) år 2021-2050 i ett scenario² med 190 TWh elanvändning i Sverige.

42) I dessa scenarier har produktionsmixen varierats mellan scenarier och investeringsbehoven beräknats utifrån dessa antaganden. Denna ansats skiljer sig från till exempel kostnadsoptimerande modellering som använts i andra delar av NEPP-projektet.

kärnkraft. Det sammanfaller med växande investeringar i ny produktionskapacitet, främst vindkraft på land och till havs.

Det estimerade totala investeringsbehovet för elnätet i Sverige mellan 2021–2050 uppgår till mellan 440 miljarder kronor och 516 miljarder och domineras av nödvändiga reinvesteringar som måste göras oavsett produktionsscenario. Huvuddelen av investeringsbehovet finns under de kommande 20 åren. Reinvesteringsbehovet för lokalnäten bedöms uppgå till 275 miljarder kronor i perioden 2021–2050 och domineras av reinvesteringsbehovet för luftledningar. På landsbygden ersätts de med nya luftledningar, i städerna i högre grad av kablar och då till en högre kostnad. Dessutom utgör kostnader för mätare en stor återkommande reinvesteringskostnad. Utöver extrakostnaden för att gräva ner ledningar ökar kostnaderna också på grund av nödvändiga kapacitetshöjningar. Reinvesteringsbehovet för regionnäten bedöms uppgå till 68 miljarder kronor i perioden 2021–2050, där de flesta investeringarna kan förväntas fram till 2040.

Behovet av nyinvesteringar i elnätet uppkommer primärt av fyra drivkrafter; nyanslutning av ny elproduktion, nyanslutning av ny elförbrukning, marknadsintegration och systemförstärkning. Scenariernas antaganden belastar stam-, region- och lokalnät på olika sätt. Nyinvesteringsbehovet i elnätet fram till 2050 varierar därför mellan ca.

100-174 miljarder beroende på scenario, eftersom det bland annat finns det olika stort överföringsbehov genom Sverige från norr till söder. Behovet för systemförstärkningar i stamnätet som görs för att stärka eller upprätthålla driftsäkerhet och därmed långsiktig leveranssäkerhet i kraftsystemet, även om investeringarna inte kan relateras till någon specifik anslutning eller marknadsbehov är en annan viktig orsak.

Investeringar för nyanslutning krävs för den elkonsumtion som tillkommer. I samtliga scenarion ser vi ett ökat behov av serverhallar, elektrifiering av industrin, elfordonsladdning och nya anslutningar av bostäder. Samtidigt är kostnaderna för anslutningen av ny elproduktion är starkt beroende av respektive produktionsscenario. Olika produktionsslag ansluts på olika spänningsnivåer framförallt på grund av ansluten effekt och påverkar därmed olika delar av elnätet. Småskalig produktion som solkraft ansluts huvudsakligen till lokalnäten, medan storskalig elproduktion som havsbaserad vindkraft och landbaserad vindkraft med mer än 300 MW ansluts till stamnätet. Medelstor produktion ansluts till regionnätet. Totala kostnaden för nyanslutning av ny elproduktion uppgår till mellan 34 och 57 miljarder kronor, beroende på produktionsscenario.

Kapitel 6



Investeringar i förnybar elproduktion – affärsmässiga drivkrafter och samhälleligt ansvar

Idag präglas energimarknaden av stora investeringsbehov de kommande tjugo åren och krav på omställning mot ett hållbart energisystem. Energimarknaden får också fler aktörer, fler kraftslag och fler typer av värdeskapande att förhålla sig till. Detta medför en ökad komplexitet och försvårar möjligheten att påverka utvecklingen i en önskvärd riktning. I detta kapitel klarlägger vi de förutsättningar som präglar affärsmässiga drivkrafter och samhälleligt ansvar med avseende på investeringar i förnybar kraftproduktion. Det kompletterar

kapitel 5 genom att ge en företagsekonomisk och affärsmässig synvinkel på investeringar i förnybar elproduktion. Vi visar exempelvis att det kan finnas skäl att särskilt stimulera investeringar i platsbunden planerbar kraftproduktion som kraftvärme och vattenkraft eftersom det möjliggör ökat utnyttjande av existerande produktionspotential. Detta måste göras mot bakgrund av att det endast är ägaren som kan bedöma investeringen och att denna bedömning inte nödvändigtvis sker på marknadsmässiga grunder.



De viktigaste slutsatserna

1. Dagens elmarknad består av många olika aktörer och många olika kraftslag – för att påverka den måste man både förstå aktörernas affärsmässiga drivkrafter för investeringar och den samhällsnytta investeringen bidrar med.
2. De affärsmässiga drivkrafterna för investeringar i förnybar elproduktion beror på kraftslagets industriella logik och aktörers investeringslogik.
3. Den industriella logiken präglas av modularitet och platsbundenhet. Detta förklarar likheter mellan vind- och solkraft respektive vattenkraft och kraftvärme.
4. Investeringslogiken kännetecknas av tre typer av värdeskapande: fristående värdeskapande (vind-, sol- och vattenkraft), samproducerat värdeskapande (kraftvärme) och användningsrelaterat värdeskapande (vind- och solkraft). Samtliga är betydelsefulla för förnybar kraftproduktion.
5. Ansvarsperspektivet tydliggör investeringens samhällsnytta och utgör grund för marknadens långsiktiga spelregler.
6. Marknadseffektivitet, resurseffektivitet och organisatorisk effektivitet är tre kompletterande samhällsnyttor för förnybar elproduktion.
7. En bra utformning av elmarknaden fångar upp den samhällsnytta som är utmärkande för olika typer av investeringar.
8. Ansvarsperspektiven formar även en målhierarki som kan användas vid utformning av styrmedel.

En sektor i omdaning

Investeringar i energiproduktion är inga enkla beslut, men att investerare är villiga att göra riskfyllda och långsiktiga åtaganden är helt avgörande för att vi skall säkerställa och utveckla vårt energisystem. Förutom att bidra till konkurrenskraftiga elpriser och leveranstrygghet är investeringar förutsättningen för att ställa om energisystemet i en hållbar riktning. Sverige har ett energipolitiskt mål om ett 100 procent förnybart elsystem till 2040. Även om många företag och privatpersoner redan stödjer den ambitionen genom att göra egna investeringar i förnybar kraft, så fordras ett fortsatt långsiktigt arbete för att lyckas. Energimyndigheten beräknar att det fordras mellan 60-120 TWh ny produktion fram till år 2045.¹ För att bättre förstå förutsättningarna för utvecklingen, syftar detta kapitel till att beskriva och klarlägga de affärsmässiga drivkrafter som präglar investeringar i förnybar elproduktion och vilka samhällseliga ansvarsperspektiv som kan stötta dessa drivkrafter.

En viktig del i förståelsen av elsystemet utgörs av de affärsmässiga förutsättningar som formar hur produktionskapaciteten utvecklas. Ett utmärkande drag för dessa är att de allt sedan reformeringen av elmarknaden i mitten av 1990-talet blivit allt mer komplexa. Med fler kraftslag, aktörer och produktionsplatser ökar svårigheten att förstå olika aktörers drivkrafter och hur det i sin tur formar den långsiktiga utvecklingen av elsystemet. Kraftslag såsom vind- och solkraft har öppnat upp för fler typer av aktörer, svenska såväl som utländska, som kommer att påverka vilka investeringar som görs, var de görs och med vilka syften. Bara de senaste tio åren har vi sett en mycket stor ökning av utländska företag som investerar i svensk elproduktion, framförallt vindkraft men också företag i Sverige som mot bakgrund av sitt eget elbehov investerat i egen elproduktion.

Fler kraftslag och fler typer av aktörer innebär att utvecklingen av det svenska elsystemet blir än svårare att bedöma och kontrollera. Att i stor utsträckning förlita sig på affärsmässiga incitament för att hantera förutsättningar för en långsiktig stabil och kostnadseffektiv utveckling av elsystemet innebär utmaningar. Särskilt gäller det med tanke på den osäkerhet som föreligger avseende framtida efterfrågan, behovet av effekt i ett system med en stor andel icke reglerbar kraftproduktion samt begränsningar i överföringskapacitet. Vid sidan om leveranssäkerhet och konkurrenskraft är klimatet en central drivkraft i utvecklingen av det svenska energisystemet. Inom svensk politik finns en tydlig vision av en framtida svensk elsektor som inte bara stöttar nationella hållbarhetsambitioner utan även bistår i omställningen av det europeiska energisystemet. Att arbeta mot flera ibland motstridiga mål innebär svåra prioriteringar och avvägningar, där olika samhällseliga svarsdimensioner ställs mot varandra. Mot bakgrund av de omfattande förändringar som sker, och som behöver ske, är det väsentligt att politiska prioriteringar skapar långsiktig legitimitet för elmarknadens utveckling. Den är viktigt att marknadens långsiktiga spelregler inte bara speglar dessa prioriteringar utan också utformas så att de tar tillvara på och i möjligaste mån förstärker de affärsmässiga drivkrafter som präglar olika typer av investeringar.

Det är inte bara på den politiska nivån som en ökad *fragmentisering* och behov av *legitimitet* spelar roll för utvecklingen. Det är även något som påverkar marknadsförutsättningarna för de aktörer som genomför investeringarna. Fler typer av investerare och investeringsalternativ förändrar de affärsmässiga förutsättningarna för etablerade såväl som nya aktörer. Att investeringar i elproduktion även kommit att knytas till aktörers hållbarhetsprofil och därmed fått en strategisk dimension, påverkar också marknadsförutsättningarna.

1) Energimyndigheten (2018)

Som en konsekvens av ökad betydelse av elproduktionens fragmentisering och dess kopplingar till olika typer av legitimitetsbehov, kommer elproducenternas drivkrafter för investeringar att spela en mer mångfacetterad roll som förklaringsfaktor för de investeringar som görs. Traditionellt har drivkrafterna varit relativt endimensionella då marknaden i huvudsak präglats av energibolag med storskalig energiproduktion inom ett fåtal kraftslag. När marknaden är mer komplex spelar såväl kraftslagens teknologiska förutsättningar och industriella logik, som

aktörernas egen investeringslogik, en mer mångfacetterad roll. En förståelse för de drivkrafter som präglar investeringar i förnybar elproduktion och hur dessa påverkar marknadens långsiktiga utveckling blir därmed också mer komplex att erhålla. Det ställer ökade krav på de beskrivningsspråk och de konceptuella modeller som ligger till grund för en sådan förståelse. Vår förhoppning är att detta kapitel skall utgöra ett bidrag för att hantera detta behov.



En viktig del i förståelsen av elsystemet utgörs av de affärsmässiga förutsättningar som formar hur produktionskapaciteten utvecklas. Ett utmärkande drag för dessa förutsättningar är att de allt sedan reformeringen av elmarknaden i mitten av 1990-talet blivit allt mer komplexa"

KAPITLET SYFTE OCH ANALYSMODELL

NEPP-projektets fokus på tidsperspektiven 2020, 2030 och 2050 kan ur ett energiperspektiv sägas överensstämja med de tre beslutshorisonterna: kort, medellång och lång sikt. Samtliga av dessa kommer på olika sätt till uttryck i företagens investeringsbeslut och bör därför inkluderas i analysen. Detta kapitel, som bygger på Sandoff och Williamsson (2020), avser beskriva och analysera de affärsmässiga drivkrafter som präglar investeringar i de förnybara kraftslagen vatten, vind, sol och kraftvärme.² Analysen görs utifrån de affärsmässiga förhållanden som är av betydelse för investerare inom dessa kraftslag.

Mot bakgrund av det samhällsliga intresse som finns för elproduktionens långsiktiga utveckling är det dessutom viktigt att förstå hur samhället kan ta vara på och beakta de affärsmässiga drivkrafter som präglar olika investeringar i utvecklingen av viktiga samhällsliga ansvarsperspektiv. Här ställer vi oss frågan om det finns fler ansvarsperspektiv än den kostnadseffektivitet som en marknadsbaserad konkurrenslogik driver fram? Är samhällsliga mål som leveranssäkerhet, effekt och hållbarhet något som tydligare bör karakterisera samhällsliga ansvarsperspektiv och vara en del av marknadens framtida spelregler? Om så, hur skall dessa ansvarsperspektiv formuleras så att de tar tillvara de affärsmässiga drivkrafter som redan präglar investeringar i förnybar elpro-

duktion? I detta kapitel kommer vi att med utgångspunkt i de affärsmässiga drivkrafterna identifiera ansvarsperspektiv som ta fasta på de unika funktioner som olika typer av investeringar fyller. Genom att tydliggöra kopplingen mellan de affärsmässiga drivkrafterna och investeringarnas samhällsnytta skapas en struktur som i förlängningen kan ligga till grund för utformningen av marknadens långsiktiga spelregler.

En utgångspunkt för denna studie är att dessa två kunskapsområden är nödvändiga för att förstå både de individuella drivkrafter som präglar investeringar på en marknad med en långt driven marknadslogik och de samhällsliga ansvarsperspektiv som präglar utvecklingen av en elmarknad som bygger på en nätverksteknologi med betydande samhällsliga intressen.³

För att skapa kunskap om investeringar i förnybar elproduktion, hur affärsmässiga drivkrafter kan beskrivas och hur dessa kan forma synen på ansvar, har vi delat in analysen i två steg. I det första steget identifierar vi de affärsmässiga drivkrafter som beskriver karakteristiska särdrag för olika typer av kraftslag och olika typinvesteringar. Detta åstadkoms genom att analysera kraftslagens industriella logik och olika aktörers investeringslogik. I det andra analyssteget tar vi utgångspunkt i det samhällsliga intresse som finns för el-

-
- 2) I detta sammanhang baseras urvalet av förnybara kraftslag på deras roll i Energimyndighetens strategi för ett 100 procent förnybart elsystem (Energimyndigheten 2018:16, s. 25-26). Därmed har vågkraft, geotermisk energi och geoenergi valts bort. Även om avfallsbaserad kraftvärme till viss del utgörs av fossilbaserade bränslen inkluderas de i analysen mot bakgrund av den betydande andelen förnybara bränslen som kraftslaget tar i anspråk.
- 3) En nätverksteknologi sammanlänkar producenter och användare i ett nätverk. Ur ett kraftproduktionsperspektiv skapas värde genom att förmedla denna sammankoppling och den tillhörande tjänsten. Exempel på nätverksteknologier utgörs av telefonnät, bankverksamhet, försäkringsbolag och postverksamhet (Stabell och Fjeldstad, 1998). Verksamheter vars värdeskapande är beroende av en nätverksteknologi ådrar sig ofta ett betydande samhällslig intresse. Särskilt i de fall nätverket har karaktär av naturliga monopoler.

produktionens långsiktiga utveckling och ställer oss frågan vilka typer av ansvarsperspektiv som de affärsmässiga drivkrafterna kan sägas främja. Utgångspunkter tas i de unika funktioner som olika investeringar fyller ur ett samhällsperspektiv. Genom att identifiera den samhällsnytta som är utmärkande för olika typer av investeringar avser vi bidra till en tydligare struktur för utformningen av marknadens långsiktiga spelregler. En översikt över studiens analytiska ramverk återfinns i Figur 6.1.

I analysen av den industriella logiken tar vi ett långsiktigt industriellt perspektiv med utgångspunkt i en diskussion om storleksegenskaper hos de olika kraftslagen. Just storlek utgör en central värde drivare i industriell produktion.⁴

Kraftslagets storleksegenskaper operationaliseras utifrån begreppen modularitet och platsbundenhet. I analysen av investeringslogiken anlägger vi ett aktörsperspektiv på investeringarna och låter olika investeringars värdeskapande

vara utgångspunkt för att beskriva de investeringslogiker som identifieras. Värdeskapandet är centralt för att definiera en verksamhets strategiska (unika) resurser och sökande efter varaktiga konkurrensfördelar.⁵

Det andra steget i analysen fokuserar samhälleliga ansvarsperspektiv på kraftslagets funktion och utnyttjar begrepp och strukturer som identifierades i det första analyssteget. Baserat på de särdrag som då framträder, skapas en struktur för de samhälleliga mål och ansvarsperspektiv som är utmärkande för de funktioner som investeringarna fyller ur ett samhällsperspektiv. Ansvarsfrågan ges på så sätt en direkt koppling till de affärsmässiga förutsättningar som präglar investeringar i olika kraftslag. Genom att skapa en konceptuell överensstämmelse (matchning) mellan affärsmässiga drivkrafter och samhällsnytta läggs grunden för en ökad tydlighet i utformningen av marknadens långsiktiga spelregler.

Figur 6.1. Studiens analysmodell



4) Robinson (1931), Scherer (1980), SOU:1970:30 (1970)

5) Penrose (1959), Chamberlin (1965), Barney (1991)

Kraftslagens industriella logik påverkar den långsiktiga utvecklingen på elmarknaden

Utifrån en industriell logik har vind- och solkraftsinvesteringar viktiga likheter som särskiljer dem från investeringar i vattenkrafts- och kraftvärmeproduktion. Det är skillnader som kan antas få konsekvenser för hur kraftslagen kan utvecklas på lång sikt. Ett utmärkande drag, både tekniskt och affärsmässigt, är att vind- och solkraftsinvesteringar karakteriseras av *modularitet*, dvs. produktionsanläggningen består av flera massproducerade komponenter. Denna typ av investeringar har möjlighet att utnyttja de betydande externa stordriftsfördelar som uppkommer på global nivå och som bidrar till en sänkning av den långsiktiga genomsnittskostnaden per enhet. På en lokal nivå kan dessutom installationsarbetet separeras i ett antal enskilda moment som både är repetitiva och möjliga att konkurransutsätta i underentreprenadsledet. Sammantaget finns det goda utsikter att även framgent dra nytta av en sjunkande kostnadsbild. Modulariteten spelar även in i möjligheten att förändra, utöka eller uppgradera en investering. Tekniskt, och därmed även kostnadmässigt, är såväl nyinvestering som uppgradering enklare för vind- och solkraft, än när det gäller kraftvärme och vattenkraft. Den modulära karaktären hos vind- och solkraft påverkar även förutsättningar för lokalisering. Genom att det är teknik som i princip endast kräver närhet till elnätet, ökar antalet möjliga platser för lokalisering. Den modulära karaktären erbjuder också betydande flexibilitet avseende storlek. I de fall det är möjligt och gynnsamt finns därför små stordriftsnackdelar för vind- och solkraftsanläggningar.

Investeringar i vattenkraft och kraftvärme är ofta av betydande skala och komplexitet med specialdesignade anläggningar. Utmärkande för dessa kraftinvesteringar är att de bygger på platsspecifika faktorer kopplade till tillgänglighet till redan existerande produktionskapacitet samt annan infrastruktur och/eller bränsletillgång. Designen blir därmed specifik för den lokalisering som anläggningen förväntas drivas i. Sammantaget får detta konsekvenser för möjligheten att förändra, utöka och uppgradera anläggningen. Ofta fordras, precis som för

den ursprungliga investeringen, specialdesignade lösningar. Investeringar som görs har därtill en form av inlåsningsseffekt, dvs. de initiala tillstånden och investeringarna kommer att begränsa vilka senare investeringar som kan göras. Möjligheten att uppgradera och utöka produktionsanläggningen kan därmed begränsas kraftigt eller, på grund av ekonomiska eller tekniska omständigheter, omöjliggöras. Även storskaligheten uppträder annorlunda för vattenkraft och kraftvärme. En vattenkraft- och kraftvärmeanläggning utformas för en lokal möjlighet (vattentillgång eller värmeunderlag) och det finns starka drivkrafter för att utnyttja dessa tillgångar maximalt. Är tillgångarna storskaliga leder denna drivkraft till betydande utmaningar som gör det svårt att ianspråkta ytterligare stordriftsfördelar. Storskaliga vattenkraft- och kraftvärmeanläggningar ökar i komplexitet avseende såväl anläggningens utformning (icke modulär utan specialutformad), mängden externaliteter (driftsmässiga förutsättningar med intrikata systemberoenden) som frihetsgrader i lokalisering (då det finns få eller inga alternativa placeringar eller tekniska lösningar intas ett icke-förhandlingsorienterat synsätt i hanteringen av intressekonflikter).

En annan egenskap hos vattenkraft och kraftvärme och som skiljer sig från vind- och solkraft, är att de har en betydande platsbundenhet och att dessa kraftslag till stor del redan är maximalt utnyttjade (under rådande ekonomiska förhållanden). Denna omständighet påverkar naturligtvis omfattningen på kapacitetsökande investeringar totalt för kraftslagen och för de i enskilda produktionsanläggningarna. De investeringar som görs i dagsläget handlar i stor utsträckning om underhållsinvesteringar för att bevara existerande kapacitet. En central konsekvens av dessa kraftslags platsbundenhet är att de kapacitetsökande investeringar som ändå görs eller kommer att kunna göras, är att de är tillgångsrelaterade, dvs. kopplade till existerande verksamheter. Detta får konsekvenser för vilka som kan göra investeringarna. Det är bara ägare av existerande tillgångar som kan besluta om utnyttjandegraden av den underliggande tillgången. För vattenkraftsägarnas del

handlar det om att besluta om hur vattenresurser nyttjas och för kraftvärmeägarnas del innebär det att besluta om hur värmeunderlaget skall nyttjas. Trots att rådigheten över dessa resurser ligger hos kraftbolagen, präglas de av starka allmänintressen som direkt och indirekt påverkar möjligheten att utnyttja dessa tillgångar. I någon mening kan vattendrag och värmeunderlag därför sägas ha karaktär av allmänningar, dvs. en resurs av allmänt intresse och värde. Detta förefaller inte i samma utsträckning gälla för vind- och solresurser.

Vi har här identifierat ett antal generiska likheter (mellan vind- och solkraft och mellan vattenkraft och kraftvärme) och ett antal skillnader (främst mellan dessa två grupper) baserat på förekomsten av modularitet och platsbundenhet, och hur detta i sin tur påverkar viktiga storleksegenskaper. Det förefaller på basis av denna analys finnas betydande skillnader med avseende på förutsättningarna för kapacitetsökande investeringar. Detta kan förefalla vara triviala insikter men vi har här vinnlagt oss om att underbygga de orsakssamband och fenomen som förklarar detta. Vi tror dessutom att dessa insikter säger något om förutsättningarna att genomföra kapacitetsökande investeringar och de utmaningar som respektive kraftslag är förknippat med. Vid en jämförelse framstår vind- och solkraft långsiktigt, och på aggregerad nivå, vara kraftslag som har viktiga fördelar avseende möjligheter att bidra med ny konkurrenskraftig produktionskapacitet, jämfört med vattenkraft och kraftvärme. De fördelar som vattenkraften och kraftvärmen har avseende lagringsmöjligheter och planerbarhet i driften och de nackdelar som vind- och solkraft har i dessa avseenden för anläggningsägaren och på systemnivå, bedöms inte vara tillräckligt starka på en energy-only-marknad för att i någon större utsträckning påverka kraftslagets långsiktiga utveckling.⁶

Elproducenters värdeskapande påverkar investeringslogiken

Den industriella logiken för de fyra kraftslagen kan sägas bortse ifrån och därmed indirekt likställa den affärsmässiga funktion som kraftproduktionen antas ha för investeraren. Det implicita syftet med investeringen antas endast vara att den genererar en avkastning som motsvarar risken i investeringen. För de flesta investerare är det ett grundkrav, men en investering i kraftproduktion kan fylla andra syften som är svårare att koppla till kassaflöden direkt hänförliga till investeringen. Kraftproduktionens förmåga till ett bredare värdeskapande, gör att affärsnyttan varierar mellan olika aktörer. Ovanstående analys av den industriella logiken behöver därför kompletteras med ett aktörsorienterat perspektiv på kraftinvesteringen för att erhålla en mer fullständig bild av drivkrafterna för investeringar. För att tydliggöra skillnader och likheter mellan olika typer av aktörers drivkrafter behöver vi tydliggöra dessa genom en ändamålsenlig kategorisering. Att utnyttja kraftslagen även för denna analys är av förklarliga skäl mindre klarläggande då olika typer av aktörer investerar i ett visst kraftslag. På samma sätt är även den sedan lång tid vanligt förekommande kategoriseringen av typföretag i svensk elproduktion, som t.ex. kraftbolag, fjärrvärmebolag och industriföretag, mindre klarläggande. Detta då var och en av dessa kan investera i flera olika kraftslag. Att utnyttja ägartyper såsom statliga, kommunala och privata huvudmän har allt sedan avregleringen blivit allt mindre användbart då alla dessa verkar utifrån marknadsmässiga krav och har en investeringslogik som inte gör skillnad på ägartyp.

För att undvika en kategorisering där flera olika typer av bolag kan investera i ett visst kraftslag och att ett typföretag kan investera i flera kraftslag, kombinerar vi dessa två kategorier och skapar en ny typ av kategorisering där skillnader och likheter

6) På en energy-only-marknad ersätts producenten endast för den energi som faktiskt produceras. På en kapacitetsmarknad ersätts producenten för sin produktionsberedskap, något som skulle gagna vattenkraft och kraftvärme



De fördelar som vattenkraften och kraftvärmen har avseende lagringsmöjligheter och planerbarhet i driften ... bedöms inte vara tillräckligt starka på en energy-only-marknad för att i någon större utsträckning påverka kraftslagens långsiktiga utveckling

i investeringslogik tar utgångspunkt i det värdeskapande som investeringen fyller för företaget. Vi har identifierat tre typer av värdeskapande som elproduktion kan fylla och kopplar det till tre olika investeringslogiker. Den första utgörs av **fristående elproduktion**. Investeringar i denna kategori görs framförallt med syftet att sälja el och enheten för värdeskapandet utgörs av huvudprodukten el. Typiska kraftslag för dessa investeringar utgörs i dagsläget av vindkraft och i viss mindre utsträckning av vattenkraft och solkraft. Den andra kategorin utgörs av **samproducerad elproduktion**. Investeringar i denna kategori

utgörs av kraftvärme och bygger på att elproduktionen sker som komplement till värmeproduktion och investeringar i elproduktion ökar den totala effektiviteten. Den tredje och sista kategorins värdeskapande utgörs av **användningsrelaterad elproduktion**, dvs. då verksamhetens egna elbehov driver intresset för investeringar i elproduktion. I denna kategori ingår elanvändare som investerar i vind- och solkraft, men även i vattenkraft och kraftvärmeproduktion.⁷ I Tabell 6.1 beskrivs de produktionsanläggningar, uppdelat per kraftslag, som är tongivande i de tre investeringslogikerna.

Tabell 6.1. Dominerande produktionsanläggningar per kraftslag för de tre investeringslogikerna

Kraftslag	Investeringslogiker		
	Fristående kraftproduktion	Samproducerad elproduktion	Användningsrelaterad elproduktion
Vindkraftsproduktion	Vindkraftsparker och enskilda kraftverk	-	Industrianläggningar
Vattenkraftsproduktion	Kraftverk och kraftverksdammar	-	Industrianläggningar
Solkraftsproduktion	Solcellsparker	-	Fastigheter
Kraftvärmeproduktion	-	Samproduktion av värme och el	Industrianläggningar med småskalig kraftvärme

En djupare förståelse för de tre investeringslogikerna kan erhållas genom att studera deras värdeskapande. Här kan man tala om primärt och kompletterande värdeskapande. Det primära värdeskapandet för respektive investeringslogik skiljer sig åt vilket tydliggörs genom investeringens förhållande till elpriset. Det kompletterande värdeskapandet utgörs av

positiva effekter av investeringen som inte alltid är uppenbara i verksamhetens kassaflöden.

För fristående elproduktion är det primära värdeskapandet fokuserat på huvudprodukten el och elpriset har en direkt betydelse för investeringens lönsamhet och för dess attraktivitet. För kraftslag såsom vind, sol och vatten är denna koppling

⁷) I denna studie studerar vi bara investeringar i användningsrelaterad elproduktion som genererar ny eller upprätthåller existerande produktionskapacitet. Investeringar av mer indirekt typ såsom energi- eller effektbesparingar, efterfrågeförflyttning, (t.ex. genom batterilagring), nätkapacitetförstärkning eller energiomvandling (t.ex. vätgas) ingår ej i denna studie

särskilt tydlig eftersom produktionens rörliga kostnader är försumbara.

Det primära värdeskapandet för investeringar i samproducerad elproduktion är något mer komplexa eftersom elen är en biprodukt från värmeproduktionen. Lönsamheten i elproduktionen måste därför bedömas utifrån en sammantagen bedömning av den totala lönsamheten av två affärer, värmeförsäljning och kraftförsäljning. De två affärerna påverkar varandra, inte bara driftsmässigt utan även finansiellt.⁸ Samproducerad elproduktion har dessutom en mer komplex relation mellan elpriser och lönsamhet än den fristående elproduktionen, eftersom verksamhetens lönsamhet är beroende både av elpriset och av prisnivån på produktionens insatsvaror. Dessa två samvarierar inte alltid.

För användningsrelaterad elproduktion definieras det primära värdeskapandet av de kostnader som verksamheten har för sin elanvändning. Dessa kostnader kan skilja sig åt från elpriset beroende på förekomsten av skatter och olika policy-instrument. Det finns även andra komponenter som påverkar företagets kostnad för sin elanvändning och som kan påverkas av investeringar i elproduktion. Exempel är exponering mot pris- och volymrisker för elinköp, mindre kostnader för administration av utsläppsrätter m.m.⁹ Även här är kopplingar mellan elpriset och lönsamheten i investeringen mer komplex än för den fristående elproduktionen då den tenderar att utjämna variationer i elkostnaden för verksamheten. Ett högt elpris minskar företagets kostnader för elanvändningen medan ett lågt elpris ökar detsamma, allt annat lika.

Tabell 6.2. Tre värdeskapande logiker, deras primära och kompletterande värdeskapande samt strategisk resurs

Värdeskapandelogiker			
Värdeskapande	Fristående värdeskapande	Samproducerat värdeskapande	Användningsrelaterat värdeskapande
Primärt värdeskapande	Huvudprodukt	Biprodukt	Insatsvara
Strategisk resurs	Förnybar produktionskapacitet med låg marginalkostnad	Förnybar och planerbar produktionskapacitet	Produktionskapacitet för förnybar elanvändning
Kompletterande värdeskapande	Förnybar kapitalplacering Förnybar elproduktion	Lokal effektkapacitet	Förnybar kapitalplacering Förnybar elproduktion

8) Eftersom intäkter från elförsäljning gottskrivs fjärrvärmeaffären påverkar den hela verksamhetsrisken. När väl investeringen är gjord fattas naturligtvis själva driftsbeslutet mot bakgrund av en marginalkostnadsbedömning.

9) Mer indirekta kostnader för energianvändningens härkomst, t.ex. risker avseende företagets hållbarhetsprofilering eller ansvarstagande för sin elanvändning, kan spåras i samtliga tre investeringslogiker men kan möjligtvis sägas vara än tydligare för denna logik. Detta är ofta förstärkt genom den fysiska kopplingen mellan produktion och användning.

De tre investeringslogikernas värdeskapande kan sägas ge tillgång till eller bygga på en strategisk resurs som i sin tur lägger grunden för en konkurrensfördel. Det kan dock diskuteras i vilken utsträckning detta verkligen är en strategisk resurs med förmåga att skapa en varaktig konkurrensfördel.¹⁰ Det är rimligt att anta att denna förmåga kommer att eroderas genom att allt fler får tillgång till denna resurs som då övergår till att bli en konkurrensförutsättning.¹¹ Även om den fristående elproduktionen svarar för den största volymen och därmed det största värdeskapandet, kan ingen av investeringslogikerna sägas vara mer framgångsrik, ha större konkurrensfördelar, lägre risk eller vara viktigare än någon annan. De är alla tre viktiga delar av Sveriges förnybara kraftproduktion.

Vid sidan av det primära värdeskapandet kan investeringar i förnybar elproduktion även generera andra kompletterande former av värdeskapande (se Tabell 6.2). För investeringar i fristående elproduktion handlar det dels om värdet av kapitalplacering med en stark hållbarhetsprofil, dels möjlighet att öka andelen förnybar elproduktion. Den första typen av kompletterande värdeskapande har visat sig väldigt intressant för kapitalplacering då de ger möjlighet till s.k. 'impact investing', dvs. resultatdrivna investeringar. Den andra typen av kompletterande värdeskapande ger framförallt existerande energibolag möjlighet att bredda och öka sin redan existerande elproduktionsportfölj. För investeringar i samproducerad elproduktion kompletteras värdeskapandet framförallt av möjligheten att generera och erbjuda förnybar elproduktion, men även möjligheten att erbjuda lokal effekt. Slutligen, för användningsrelaterad elproduktion öppnas möjligheten att investera i förnybar elproduktion, bidra aktivt till omställningsarbetet och därigenom göra den egna elanvändningen förnybar. Detta bidrar till bidrar till att stärka företagets profil som ansvarstagande och hållbart.

10) Barney (1991)

11) Sandoff (2002)

För samtliga av de tre värdeskapandelogikerna kan det kompletterande värdeskapandet vara viktigt som motiv för investeringar och i många fall kan det vara avgörande. Det är enkelt att finna exempel på bolag som motiverat sina investeringar med just det kompletterande värdeskapandet som bärande argument. Mot en sådan bakgrund är det viktigt att understryka att det primära värdeskapandet ändå är avgörande för investeringen. Exempelvis kan ett energianvändande bolag fundera på om de skall investera i solelproduktion på det egna taket eller i en fristående solpark. Båda investeringarna har ett kompletterande värdeskapande i form av förnybar elproduktion och det är denna egenskap som driver bolagets investeringsintresse. Även om det kompletterande värdeskapandet är drivande så får det antas att det är investeringslogiken och det primära värdeskapandet som avgör vilken investering som väljs. Det finns således ingen rangordning mellan det primära och kompletterande värdeskapandet utan de har bara olika förklaringsvärde i analysen.

Investeringarnas samhällsnytta lägger grund för tre olika perspektiv på ansvar för investeringar i förnybar elproduktion

Vi har nu beskrivit den industriella logik som är utmärkande för de fyra kraftslagen samt det värdeskapande som utmärker de tre investeringslogikerna. Ur denna beskrivning framgår att vind- och solkraft har särskilt gynnsamma förutsättningar och att dessa kraftslag faller väl in i investeringslogikerna för fristående och användningsrelaterad elproduktion. Större utmaningar har investeringar i vattenkraft och kraftvärme. Ur ett energisystemperspektiv kan detta ses som problematiskt då dessa kraftslag, till skillnad från vind- och solkraft, är planerbara och deras potential avseende ytterligare kapacitet är värdefull.

Vilka förutsättningar har vi då för att förbättra förutsättningarna för att de potentialer som finns inom vattenkraft och kraftvärme utnyttjas i större utsträckning? En möjlighet är naturligtvis och förändra värderingen av planerbar elproduktion genom att utveckla volym- och prisbaserade kapacitetsmekanismer som är generella för alla typer av kraftproducenter. En fråga är dock om detta utgör tillräckliga incitament för att aktivera de potentialer som uppskattats för respektive kraftslag? Om så inte bedöms vara fallet, hur kan ett incitamentssystem utformas för att aktivera dessa, och vilka måldimensioner skall de fokusera på? En ofta anförd grundtes i dagens styrmedelsdiskussion är att styrmedel skall vara teknik- och konkurrensneutrala. Eventuella avvikelser från detta görs för att ta ansvar för andra målområden, t.ex. systemstabilitet, klimatpåverkan och försörjningstrygghet. Vilken typ av samhällsnytta kan vi identifiera i analysen av de affärsmässiga drivkrafterna?

Med utgångspunkt i de tre investeringslogikerna kan vi identifiera tre funktioner som investeringar i förnybar elproduktion fyller för aktören: som fristående, som samproducerad och användningsrelaterad elproduktion. Om vi låter analysen av den industriella logiken informera investeringslogikerna så ser vi att fristående elproduktion drivs av marknadens drivkrafter. Samproducerad elproduktion präglas av sin platsbundenhet och kopplingar till fjärrvärmeunderlaget, medan användningsrelaterad elproduktion karakteriseras av en intern strävan att bidra till verksamhetens egna elbehov. Ur ett samhällsperspektiv kan dessa investeringars funktion sägas stötta tre kompletterande målområden eller samhällsnyttor för förnybar elproduktion: *marknadseffektivitet*, *resurseffektivitet* och *organisatorisk* eller *intern effektivitet*. Den första handlar om att stödja fria marknadskrafter att investera i elproduktion. Den andra handlar om att främja investeringar som utnyttjar existerande produktionspotential så effektivt som möjligt och den tredje ansvar för att stötta ett organisatoriskt ansvarstagande genom investeringar för den egna elanvändningen. I samtliga fall skiljer sig kraftslagets samhällsliga funktion och främjande av investeringar prioriteras utifrån olika grunder.

Dessa ansvarsområden och investeringarnas olika samhällsliga funktion kan också betraktas som grund för tre parallella styrmedelsområden. Den tredje kategorin, intern effektivitet, har redan i dagsläget ett tydligt styrmedelsområde som uppmuntrar och reglerar förutsättningar för investeringar för egen användning. Investeringar i de övriga två ansvarsdimensionerna är i dagsläget inte särskilda utan betraktas utifrån ett gemensamt konkurrensneutralt marknadseffektivitetsparadigm. Med utgångspunkt i analysen av den industriella logiken kan det ur ett styrmedelsperspektiv finnas skäl att bryta upp denna kategori i två med avseende på kraftproduktionens platsbundenhet. De investeringar som inte har en utpräglad platsbundenhet, i dagsläget vind- och solkraftinvesteringar, genomförs på en fri marknad där investeringsmöjligheterna är relativt obegränsade. Dessa investeringar skulle kunna utgöra ett styrmedelsområde, medan investeringar i de platsbundna kraftslagen vattenkraft och kraftvärme skulle kunna utgöra ett annat. Bevekelsegrunden för denna särskiljning är att de reala investeringsmöjligheterna i platsbundna verksamheter syftar till att utnyttja existerande produktionspotential, dvs. potentialer som består av outnyttjad värme- och vattendragkapacitet.

Ett annat gemensamt drag för de platsbundna kraftslagen är att investeringar är starkt begränsade och sker inte nödvändigtvis på marknadsmässig grund. Orsaken till att så kan vara fallet är att investeringarna endast kan göras av existerande ägare i existerande system. Denna ensamrätt att besluta om ny- eller tilläggsinvesteringar begränsar möjligheten att aktivera de potentialer som kan finnas. Nuvarande ägare representerar helt enkelt inte samtliga investeringsintressen på marknaden. Ur ett samhälleligt perspektiv kan det sägas att potentialen i dessa vattenresurser och värmeunderlag privatiseras genom verksamheternas investeringsmonopol. I den utsträckning dessa resurser har kvaliteter av allmänningar, dvs. drag av gemensam karaktär som motiverar gemensamt ägande eller åtminstone inflytande över deras utnyttjande, kan de motiveras fylla en egen samhällsfunktion. Därmed skulle dessa

resurser kunna utgöra ett eget styrmedelsområde. Att dessutom just dessa kraftslag är planerbara och har en etablerad plats i lokala och regionala energisystem bidrar till lämpligheten att hanteras som en avgränsad styrmedelsmiljö. Ett utmärkande drag hos de platsbundna kraftslagen är att de endast har en möjlig investerare. Hade investeringsmöjligheterna kunnat öppnas upp för andra investerare, så skulle det öka möjligheterna att realisera dessa potentialer. Det föreligger naturligtvis såväl strategiska som driftsmässiga skäl hos ägarna av dessa produktionsenheter att inte öppna denna möjlighet för externa aktörer. Ur ett samhälleligt perspektiv med ambition att utnyttja förnybara resurser så effektivt som möjligt, kan detta förhållande liknas vid en ofrivillig gisslansituation där ägaren av resursen sitter på en 'stranded resource', 'Stranded resource' innebär en resurs som under rätt förutsättningar kan komma både ägaren och samhället till godo men som under rådande förhållanden är strandad. Om det i dessa fall finns ett samhälleligt värde i att resursen ianspråk tas, men nuvarande ägare inte bedömer det attraktivt eller inte har kapacitet att genomföra investeringen, kan särskilda incitamentsstrukturer motiveras. Genom att sortera platsbundna kraftslag till ett eget styrmedelsområde kopplat till ett särskilt mål om resurseffektivitet skulle sådana strukturer kunna förmå ägare

till platsbundna potentialer att i större utsträckning realisera dessa. Det kan handla om villkorade, incitamentsdrivna, stödjande eller endast tankemässiga incitamentsstrukturer som sammantagna kan beskrivas som en typ av frivillig reglering.

Utan att vi här utvecklar dessa tankegångar till fullo kan det avslutningsvis sägas att denna tredelade ansvarsstruktur även kan nyttja de tre målområdena som en målhierarki. Syftet med målhierarkin ska vara att förstå prioriteringar lösa upp och mildra ineffektiviteter samt förtydliga olika ansvarsdimensioner och deras samhälleliga funktion eller samhällsnytta (se Tabell 6.3).

I en sådan målhierarki är marknadseffektivitet överordnad ansvar för resurseffektiviteten, vilken i sin tur är överordnad intern effektivitet. Rent konkret innebär det att styrmedel för att stötta investeringar i intern produktion måste underordnas konsekvenser för resurseffektiviteten medan styrmedel för resurseffektivitet måste underordnas konsekvenser för marknadseffektiviteten. Marknadsutsättning trumfar på så sätt rådighet över samhälleligt värdefulla och begränsade resurser, vilka i sin tur trumfar rådighet över internt producerad och använd el.

Tabell 6.3. Samhälleliga ansvarsperspektiv och kraftslagens samhällsnytta

Samhälleliga ansvarsperspektiv och investeringars samhällsnytta			
Ansvarsperspektiv	Marknadseffektivitet	Resurseffektivitet	Organiserad effektivitet
Dominerande kraftslag	Konkurrensneutralitet	Vattenkraft och kraftvärme	Sol- och vindkraft (industriell kraftvärme och vattenkraft)
Ansvarsmekanism	Kraftverk och kraftverksdammar	Frivillig reglering	Intern rådighet
Samhällsnytta	Marknad för förnybar kraft	Hantering av investeringsmonopol avseende begränsad resurs med karaktär av allmänning	Frivilligt organisatoriskt ansvarstagande med påverkan på energisystemet

En sådan hierarki skulle kunna användas för att mildra de svårigheter som finns avseende stöd till platsbunden produktion. Utan att beakta stadsstödsproblematiken kan det generellt handla om att stöd till investeringar i vattenkraft och kraftvärme motiveras utifrån ett resursperspektiv. Samtidigt kan stöden endast utgå efter det att dessa investeringsmöjligheter marknadsutsatts. På dagens kapitalmarknad torde det finnas möjligheter att attrahera investerare som ser värden som det egna företaget inte gör. Ett sådant krav kan till och med vara attraktivt för t.ex. ett kommunalt fjärrvärmebolag som inte nyttiggör värmeunderlaget för elproduktion. Genom att bjuda in och dela risk i elproduktionen med en extern part kan de behålla och till och med öka det lokala värdeskapandet samtidigt som risktagandet reduceras. På motsvarande sätt måste den egna användningens konsekvenser för energisystemet beaktas t.ex. med avseende på konsekvenser för lokal energiproduktion och på sikt påverkan på marknadseffektiviteten. För att tydliggöra hur olika styrmedel kan utformas för att stödja arbetet med en sådan målhierarki kompletterar vi strukturen med tre ansvarsmekanismer. Tanken är att dessa skall vägleda utformningen av styrmedel. För styrmedel riktade mot fristående investeringar är konkurrensneutralitet centralt för att uppnå samhällsnytta. Styrmedel för att utnyttja existerande produktionspotential torde erhålla ökad samhällsnytta om dessa innehöll krav på frivilliga åtaganden, t.ex. i form av marknadsutsättning eller annan frivillig screening. På så

sätt kan samhällseliga ineffektiviteter mildras eller undvikas. Samhällsnyttan för investeringar vars syfte är att öka den organisatoriska effektiviteten torde i stor utsträckning gynnas av styrmedel som säkerställer en betydande intern rådighet för att utforma den egna produktionen.

Den tid som vi lever i idag präglas av betydande miljömässiga utmaningar, och ett stort samhälleligt intresse för att driva utvecklingen av kraftsystemet så att det stöttar en omställning till ett hållbart samhälle. Samtidigt måste nya och etablerade kraftslag fås att utnyttja respektive kraftslags styrkor. Det blir i en sådan tid viktigt att pröva nya former för att förstå hur detta pussel kan läggas. Det vi här har skisserat är ett försök att skapa en ny inramning för de utmaningar som vi ser avseende investeringar i förnybar elproduktion. Introduktionen av tre kompletterande ansvarsperspektiv inom ramen för en målhierarki har möjlighet att skapa en mer nyanserad bild av de förutsättningar som präglar investeringar. Dessa kan också matchas med de samhällseliga krav som implicit bör ställas på en marknad i konkurrens, med begränsade förnybara resurser och aktörer med ett uttalat organisatoriskt ansvarstagande. Målhierarkin kan tydliggöra balansen mellan å ena sidan förändring genom marknadsdynamik och eget ansvar, och å andra sidan stabilitet och samhällelig påverkan genom incitament för system- och resurseffektivitet.

Kapitel 7



Möjligheter och utmaningar för ett hållbart energisystem

EU:s taxonomi för miljömässigt hållbara investeringar syftar till att ge finanssektorn gemensamma riktlinjer för vilka investeringar som ska få kallas miljömässigt hållbara. I framtagandet av taxonomin har klimatfrågan varit i centrum och andra miljöaspekter har haft lägre prioritet. Debatten har varit het kring flera för Sverige viktiga energislag – vattenkraft, bioenergi, kärnkraft och energiåtervinning ur avfall. För dessa är läget ännu osäkert. Taxonomin är ett exempel på hur svårt det är att optimera många olika miljömål samtidigt. Än svårare blir det om även ekonomisk och social hållbarhet ska beaktas.

Det är nämligen väldigt svårt, eller till och med omöjligt, att optimera alla hållbarhetsmål samtidigt. Avvägningar är därför nödvändiga och det är viktigt att vara tydlig med vilka hållbarhetsaspekter som de facto inkluderas i en analys. Som exempel används ofta begreppet klimatneutralitet för att beskriva mål om nettonollutsläpp trots att de vetenskapliga definitionerna inte är desamma. Begreppet hållbarhet används också ofta i ett mycket smalare syfte än för att faktiskt beskriva samtliga tre dimensioner av hållbarhet – miljömässig, ekonomisk och social hållbarhet.



De viktigaste slutsatserna

1. Klimatfrågan är ännu i fokus när finanssektorn ställer om för en hållbar tillväxt
2. Samverkan över sektorer och länder ger snabbare och billigare elektrifiering
3. Många begrepp för att beskriva klimatmål gör jämförelser omöjliga
4. Nytt tänk, som inkluderar tidsperspektiv och helhetssyn, behövs kring livscykelperspektiv för att främja de mest hållbara energilösningarna
5. Omöjligt att optimera uppfyllelse av alla hållbarhetsmål samtidigt – avvägningar blir nödvändiga
6. Plastavfall till energiåtervinning är snart den enda källan till fossila koldioxidutsläpp från el- och fjärrvärmesektorn
7. Många olika aktörer behöver bidra till att förändra normer, styrmedel, råvaruanvändning, inköp, användning, sortering och behandling av plastavfall, för att nå en mer hållbar plastanvändning och att minska mängden återvinningsbar plast till energiåtervinning
8. Nya hållbarhetskriterier för fasta biobränslen ger begränsad påverkan på den svenska biobränslemarknaden på kort sikt
9. Moderna miljövillkor för vattenkraften måste vägas mot ökad efterfrågan på vattenkraftens produktions- och reglerbidrag
10. Delad syn bland forskare kring kärnkraftens roll i ett hållbart energisystem, men många globala energiscenarier visar på en roll för kärnkraften för att lösa klimatfrågan.

Klimatfrågan ännu i fokus när finanssektorn ställer om för en hållbar tillväxt

I mars 2018 presenterade EU-kommissionen en handlingsplan för finansiering av hållbar tillväxt.¹ Handlingsplanen har tre huvudsakliga mål:

- att styra kapitalflöden i riktning mot hållbara investeringar
- en bättre hantering av finansiella risker som har sitt ursprung i klimatförändringarna
- att främja transparens och långsiktighet i finansiella och ekonomiska aktiviteter.

I maj 2018 kom tre lagförslag varav ett om en taxonomi som syftar till att klassificera ekonomiska verksamheter utifrån miljömässig hållbarhet. I december 2019 enades sedan Europeiska rådet och Europaparlamentet om den så kallade taxonomiförordningen. I den fastställs att det ska upprättas ett EU-gemensamt klassificeringssystem, en "taxonomi", som syftar till att underlätta hållbara investeringar. Syftet är att säkerställa att finanssektorn får gemensamma riktlinjer för vilka investeringar som ska få kallas hållbara.

Taxonomin ger möjlighet att identifiera och jämföra investeringar som är nödvändiga för att nå en hållbar ekonomi. Tanken är att den ska ligga till grund för framtida standarder och märkning av hållbara finansiella produkter. Taxonomin utgör därför grundpelaren för flera av de andra åtgärderna i handlingsplanen för finansiering av hållbar tillväxt.

Den färdiga taxonomin presenterades i mars 2020 och kan betraktas som ett verktyg för att identifiera miljömässigt hållbara investeringar.² Den utgår från en binär ansats, miljömässigt hållbar eller inte, där EU-kommissionen har fastställt sex miljömålsättningar:

minska klimatutsläpp, klimatanpassning, vatten och marina resurser, cirkulär ekonomi, föroreningar och skydd av ekosystem. För att klassificeras som miljömässigt hållbar ska en verksamhet bidra väsentligt till minst ett av målen samtidigt som den inte väsentligt ska skada något av de andra målen. I bakgrundsmaterialet till taxonomin framgår hur klimatfrågan varit högst prioriterad. Kriterierna för klassificering av elproduktionstekniker har exempelvis utgått från en maximal tillåten emissionsfaktor på $100 \text{ gCO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$. Övriga miljömålsättningar har således adderats senare.

EU och enskilda medlemsstater ska använda taxonomin för åtgärder som berör finansiella produkter och företagsobligationer som erbjuds som miljömässigt hållbara av finansmarknadsaktörer respektive emittenter (dvs. obligationsutgivare). Taxonomin i samverkan med det så kallade EU Non-Financial Reporting Directive innebär att finansmarknadsaktörer som erbjuder miljömässigt hållbara finansiella produkter ska informera om och i vilken utsträckning dessa investeringar är förenliga med taxonomin. Informationen ska ange hur stor andel av produkten som är investerad i miljömässigt hållbara verksamheter enligt taxonomin.

Enligt överenskommen text ska taxonomiförordningen efterlevas från 31 december 2021 och vara fullt ut implementerad den 31 december 2022. Det råder ännu osäkerhet kring hur taxonomin kommer att påverka investeringar på energiområdet. Särskilt oklart är läget kring vattenkraft, bioenergi, kärnkraft och energ återvinning ur avfall.

1) EU (2018)

2) TEG (2020)

Samverkan över sektorer och länder ger snabbare och billigare elektrifiering

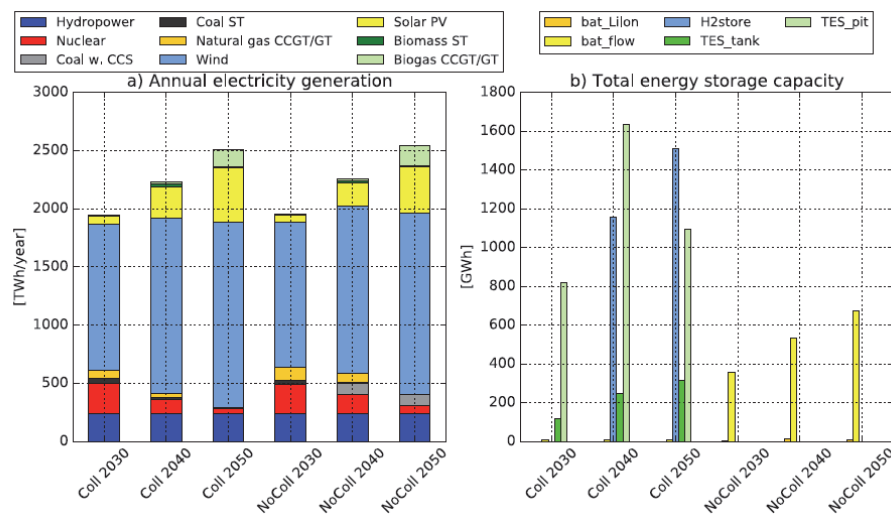
I EU-kommissionens strategi för att uppnå nettonollutsläpp till 2050, och därmed åtagandet enligt Parisavtalet, har vikten av sektorskoppling lyfts fram. Chalmers har genom modellering med hög tidsupplösning analyserat nyttan med sektorskoppling i det nordeuropeiska elsystemet.³ Figur 7.1. visar de tolv regioner som ingår i studien. Indelningen i regioner är baserad på de huvudsakliga flaskhalsarna i elöverföring och på skillnader i förnybara energiresurser.



Figur 7.1. I studien är Nordeuropa indelat i tolv regioner baserat på de huvudsakliga flaskhalsarna i elöverföring och skillnader i förnybara energiresurser.

Två huvudscenarier med omfattande elektrifiering har studerats där det ena är ett scenario med sektorskoppling och det andra scenariot utan sektorskoppling. Med sektorskoppling avses integrering mellan elproduktionssystemet och elektrifierad stålindustri, transportsektor och uppvärmning.

Figur 7.2 visar resultat avseende elproduktion och energilagringskapacitet i de två huvudscenarierna. Figuren visar bland annat att elektrifiering med hög sektorskoppling ger snabbare omställning från fossila bränslen i Europa och ett minskat behov av termisk elproduktion.



Figur 7.2. Elproduktion (vänster) och energilagringskapacitet (höger) i två studerade scenarier för åren 2030, 2040 och 2050. "Coll" = sektorskoppling, "NoColl" = ingen sektorskoppling, "bat" = batterier, "TES" = termisk energilagring, H2store = vätgaslager.

3) Göransson m.fl. (2019)

Studien visar även att sektorskoppling minskar de totala systemkostnaderna med 8% under de antaganden som gjorts i analysen. Alla sektorer bidrar då väsentligt till den totala systemkostnadsminskningen. I båda scenarierna domineras elproduktionen i Nordeuropa av vindkraft. I fallet med mer sektorskoppling bidrar de elektrifierade sektorerna (stålindustri, transportsektor och uppvärmning) med flexibilitetslösningar för att hantera variationer i elproduktionen. Vidare visar resultaten att om elanvändning för vätgasproduktion och elbilsladdning anpassas efter tillgången på el minskar antal timmar med extremt höga elpriser och elpriserna på årsbasis blir 20% lägre.

Finns det då fördelar med mindre sektorskoppling och elutbyte mellan länder? En mer nationell approach skulle exempelvis innebära högre självförsörjning och mindre beroende av andra länders val och bidrag till den egna energiförsörjningen. Om dessa faktorer värderas högt finns förstås anledning att planera för en mer nationell lösning, men kostnaderna blir då högre enligt nämnda studie. Största nackdelen med sektorskoppling är en ökad komplexitet och ett större behov av informations- och kunskapsspridning till konsumenter som ska vara en del av flexibilitetslösningen. Dessa konsumenter behöver agera på områden som inte är deras hemmaarena och även ta högre initiala investeringskostnader för att undvika konsumtion vid höga elpriser.

FAKTA- RUTA

7.1

MÅNGA BEGREPP FÖR ATT BESKRIVA KLIMATMÅL GÖR JÄMFÖRELSE OMÖJLIGA

En mängd begrepp används när mål inom klimatområdet ska beskrivas. Några exempel är fossilfri, fossilberoende, förnybar, klimatpositiv, klimatneutral, nettonollutsläpp, nettonegativa utsläpp och minusutsläpp. De olika termerna används ofta utan koppling till de vetenskapliga definitionerna och organisationer och nationer kan mena olika saker när de sätter sina mål. Jämförelser blir därmed omöjliga.

NEPP har grävt djupare i olika begrepp och hur de bör definieras. Slutsatsen är att de flesta begreppen kan delas in i någon av kategorierna nettonollutsläpp, klimatneutralitet, förnybarhet och fossilfrihet.

Nettonollutsläpp

IPCC definierar att nettonollutsläpp uppnås när antropogena utsläpp av växthusgaser till atmosfären balanseras ut av antropogent avlägsnande av växthusgaser över en specifik tidsperiod. Så länge utsläppen av växthusgaser är högre än upptaget behövs teknik som möjliggör negativa utsläpp, till exempel avskiljning och lagring av biogen koldioxid (BECCS), biokol eller ökad kolsänka i skog och mark.

En relaterad term som används alltmer är *klimatpositiv*. WWF har exempelvis utvecklat ett koncept för företag att bli klimatpositiva senast år 2040, genom att minska sina utsläpp och avlägsna mer växthusgaser från atmosfären än utsläppen från hela deras värdekedja.⁴

4) www.wwf.se/foretag/klimat/companies-develop-climate-positive-position-together/ (Hämtad 2020-08-20)

7.1

Klimatneutralitet

FN:s klimatpanel (IPCC) definierar klimatneutralitet som ett koncept där mänskliga aktiviteter inte resulterar i nettoeffekter i klimatsystemet. IPCC förtydligar att växthusgasutsläpp således behöver balanseras av motsvarande avlägsnande från klimatsystemet, men att detta inte räcker. Dessutom måste eventuella regionala eller lokala effekter på klimatet beaktas, exempelvis markens reflektionsförmåga (albedo). Även tidsglapp mellan utsläpp och upptag av växthusgaser kan påverka klimatet.

Klimatneutralitet är alltså inte samma sak som *nettonollutsläpp* av växthusgaser eller *koldioxidneutralitet* då de senare endast omfattar neutralitet avseende *utsläpp* och inte den sammantagna *klimatpåverkan*.

Förnybarhet

IPCC definierar förnybar energi som energi som har sitt ursprung i solen, geofysiska och biologiska källor och som förnyas naturligt i samma eller högre takt som människan utnyttjar dem.⁵ Fossila energikällor som kol, olja eller naturgas räknas då inte som förnybara då takten som de återbildas på jorden är långt mycket lägre än den takt som de utnyttjas. Även en förnybar energikälla kan förstås utnyttjas i högre takt än den förnyas. Om exempelvis energi från biomassa utnyttjas i högre takt än den tillväxer, räknas den alltså *inte* som förnybar.

Fossilfrihet

En strikt definition av *fossilfri* innebär att mänskliga aktiviteter inte ger upphov till användning av fossil energi. Med denna definition tillåts inte balanserande åtgärder som CCS och inte heller bränslen som innehåller material av fossilt ursprung (t.ex. plast i avfallsbränslen).

En närliggande term är *fossilbränslefri*, som är något mindre strikt än fossilfri och även tillåter avfall med material av fossilt ursprung. Fossiloberoende används ibland också och är ett bredare begrepp än ovan nämnda. Innebörden är att exempelvis fordon eller förbränningsanläggningar är anpassade att kunna drivas utan fossila bränslen.

Det svenska regeringsinitiativet Fossilfritt Sverige har startats med målet att Sverige ska bli ett av världens första fossilfria välfärdsländer.⁶ Syftet är bland annat att främja utsläppsminskningar, nettonollutsläpp och ett fossilfritt Sverige. Initiativet är alltså bredare än enbart fossilfrihet. Inom ramen för initiativet har ett stort antal branscher tagit fram färdplaner för fossilfrihet, bland annat uppvärmningsbranschen och elsektorn.

5) Moomaw m.fl. (2011)

6) Fossilfritt Sverige (2016)

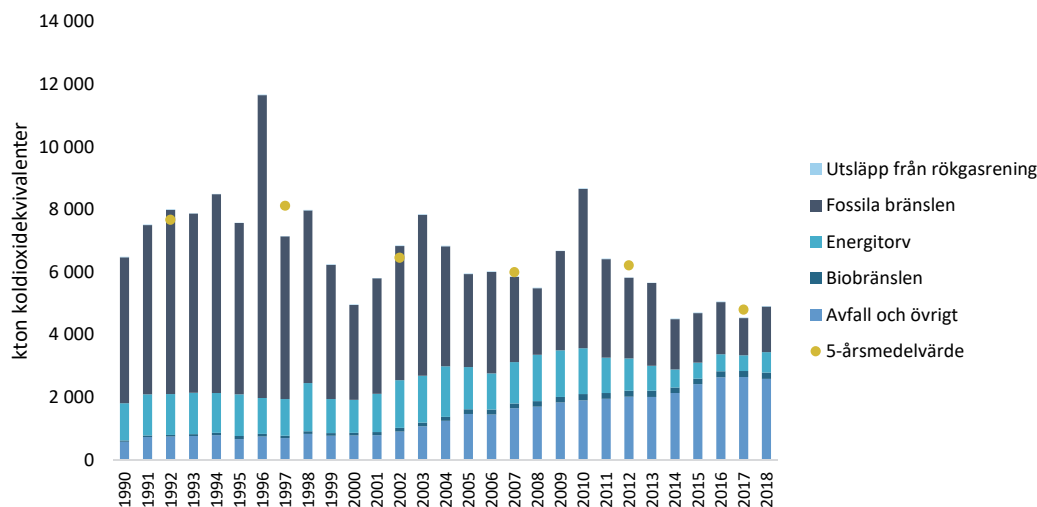
Nytt tänk behövs kring livscykelperspektiv för att främja lösningar med lägst klimatpåverkan

De direkta utsläppen av växthusgaser från produktion av el och fjärrvärme i Sverige är låga i ett internationellt perspektiv. Utsläppen har minskat med ca 40% sedan 1990-talet, se Figur 7.3. De scenarier för el- respektive fjärrvärmesystemet som presenteras i kapitlen om eltillförsel respektive fjärrvärme visar att utvecklingen spås innebära i det närmaste fullständig utfasning av torv och fossila bränslen. De återstående direkta utsläppen från el- och fjärrvärmeproduktion beror då helt på hur stor andel av avfallet till energiåtervinning som har fossilt ursprung, det vill säga på avfallets plastinnehåll (se vidare senare i detta kapitel samt i kapitel 8 om fjärrvärme).

Förutom de direkta utsläppen är det också viktigt att ta hänsyn till utsläpp som sker i andra delar av livscykeln. Detta gäller utsläpp

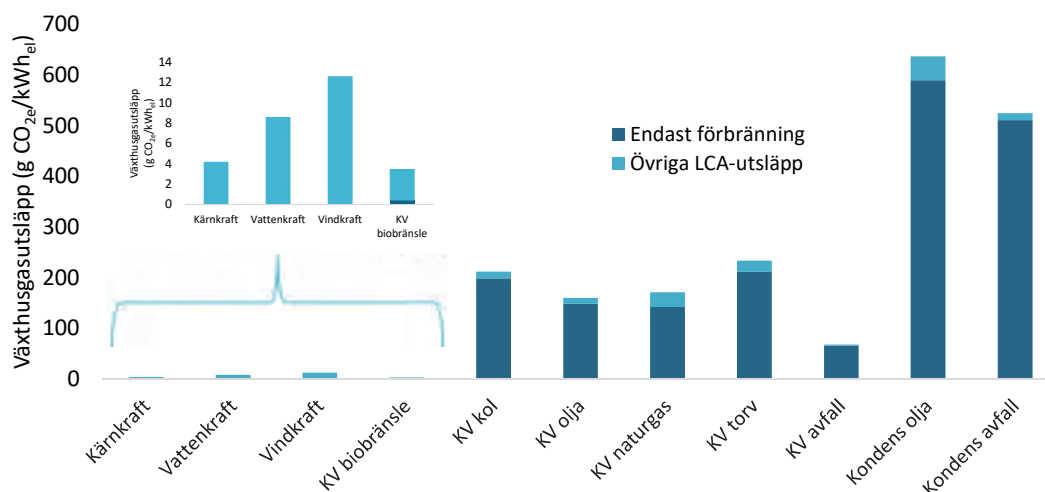
från byggnation och rivning av anläggningar, från utvinning, förädling och transport av bränslen samt från användning av hjälpenergi. Fram till slutanvändning av el och fjärrvärme tillkommer även utsläpp från byggnation och rivning av ledningsnät.

För förnybara energikällor är de direkta utsläppen av växthusgaser små. De huvudsakliga utsläppen sker istället under andra delar av livscykeln. För fossila bränslen dominerar istället utsläppen från förbränning. Figur 7.4 visar ett exempel på direkta utsläpp och övriga livscykelutsläpp för elproduktion från olika energikällor. I figuren ingår inte utsläpp från transmission och distribution av el till slutanvändare, men enligt exempelvis Vattenfalls miljövarudeklarerationer (EPD) för elproduktion uppgår dessa till storleksordningen knappt två gram koldioxidequivaler per kWh el.⁷



Figur 7.3. Utsläpp av växthusgaser (kton koldioxidekvivalenter) från förbränning för el- och fjärrvärmeproduktion i Sverige 1990–2018. Utsläppen från rökgasrening är så små att de inte kan urskiljas i figuren. Källa: Naturvårdsverket.

7) <https://www.vattenfall.se/foretag/miljo/epd/>



Figur 7.4. Exempel på emissionsfaktorer för några elproduktionsslag i olika delar av livscykeln. Den infällda bilden visar förstoring av utsläpp för kärnkraft, vattenkraft, vindkraft och biokraftvärme. KV = kraftvärme. Källor: Miljöfaktaboken 2011, Vattenfalls EPD:er för kärnkraft, vattenkraft och vindkraft.

Som nämns i kapitel 1 är målet i Parisavtalet att begränsa den globala temperaturökningen till max 2 grader Celsius, men helst 1,5 grader. För att lyckas med detta är det bråttom att minska utsläppen av växthusgaser till atmosfären. Därför är det viktigt att ta hänsyn till tidsaspekten, alltså när i tiden växthusgasutsläppen sker. Traditionell livscykelanalys, såsom i Figur 7.4, tar inte hänsyn till tidsaspekten utan ”fördelar” utsläppen som sker över hela livscykeln på den producerade elen under livscykeln.

Det är förstås väsentligt att inkludera livscykelutsläpp och inte bara de utsläpp som sker vid förbränning, så ett livscykeltänk är bättre än att bara beakta direkta utsläpp. Men när vi nu blickar framåt och planerar för utbyggnaden av energisystemet behövs ett nytt tänk kring livscykelperspektiv för att främja energilösningar med låg klimatpåverkan. Hänsyn behöver då tas till när i tiden utsläppen sker och alltså begränsa de utsläpp som kommer att ske från nu och framåt. En del livscykelutsläpp har nämligen redan skett

historiskt och kommer inte att öka för att vi fortsätter producera el från befintliga anläggningar. Det gäller exempelvis för befintliga vattenkraftverk, befintliga vindkraftverk och befintliga solceller. För kärnkraft och biobränsle sker däremot de små livscykelutsläppen främst under drift av anläggningarna.

I Tabell 7.1 sammanfattas var i livscykeln klimatpåverkande utsläpp huvudsakligen sker idag och resoneras kring möjligheter att minska utsläppen framöver. Vid planering av framtidens energisystem behöver även klimatpåverkan från reservkraft, annan variationshantering och elledningar beaktas. Utsläpp från konstruktion och användning av dessa är också förknippade med klimatpåverkan. För utformningen av framtidens energisystem behövs även en helhetssyn som både tar hänsyn till klimataspekter och andra hållbarhetsmål. På så sätt kan oönska- de målkonflikter undvikas.

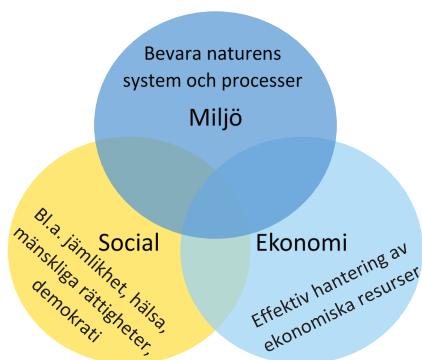
Tabell 7.1. Resonemang om huvudsaklig klimatpåverkan från olika energikällor idag och i framtiden

Bränsle/energikälla	Väsentlig klimat- påverkan idag under livscykeln	Potential minskning i framtiden	Kommentar
Olja, kol och naturgas	Bränslets kolinnehåll	Liten	Huvudsaklig klimatpåverkan kommer från bränslets kolinnehåll vilket inte kommer att förändras framöver. CCS kan minska utsläppen väsentligt, men kräver viss skala.
Torv	Bränslets kolinnehåll	Liten	Huvudsaklig klimatpåverkan kommer från bränslets kolinnehåll vilket inte kommer att förändras framöver. Det finns dock torvmarker som läcker mycket växthusgaser naturligt idag. Om dessa i framtiden används kommer klimatpåverkan att minska. CCS kan minska utsläppen väsentligt, men kräver viss skala.
Biobränslen (trädbränslen)	Fossilbränsleanvändning vid insamling av råvara och transport till energi- anläggning	Stor	Väsentlig klimatpåverkan utgörs av fossilbränsleåtgång vid avverkning av skog, insamling av råvara och distribution till värmeverk eller annan slutanvändning. Det är högst sannolikt att dessa utsläpp minskar till 2045 med tanke på Sveriges mål om nettonollutsläpp. Emissionsfaktorn för trädbränslen borde kunna ligga nära noll år 2045. Med tänkbar BECCS kan utsläppen bli negativa.
Avfall	Plastens kolinnehåll	Medel	Väsentlig klimatpåverkan utgörs av CO ₂ -utsläpp från energiåtervinning av plast. Framtida klimatpåverkan beror bland annat på produktions- och konsumtionsmönster, avfallsmängder, innehåll av fossil plast i avfallet samt om CCS används. Innehåll av fossil plast i avfallet beror på användningen av plast i samhället, efterfrågan på återvunnen plastråvara som kopplar till oljepriset, utveckling av materialåtervinningstekniker, lagstiftning m.m. Även om det skulle bli förbud att tillverka ny plast från fossil råvara kommer det år 2045 fortfarande att finnas gammal plast kvar i samhället, som behöver omhändertas. För att förhindra växthusgasutsläpp av fossilt ursprung kan CCS vara en lösning.
Vindkraft	Stål och betong som behövs vid byggnation av vindkraftverk	Medel	Väsentlig påverkan idag utgörs av utsläpp vid byggnation och rivning av vindkraftverk (främst stål och betong). Om stål och betong produceras med lägre klimatpåverkan blir också vindkraftens klimatpåverkan lägre. Mer effektiva verk med längre livslängd (mer producerad el under livslängden) minskar sannolikt också klimatpåverkan.

Vattenkraft	Koldioxidutsläpp vid dämning	Liten	Väsentlig påverkan idag utgörs av koldioxidutsläpp vid dämning som gör att organiskt material oxiderar. Faktorer som skulle kunna påverka framtida klimatpåverkan är effektivisering av t.ex. turbiner (lägre klimatpåverkan), hur anläggningarna driftas med avseende på miljöhänsyn, variationshantering m.m. (högre eller lägre klimatpåverkan).
Kärnkraft	Fossilbränsleanvändning och elanvändning vid utvinning och anrikning av uran	Medel	Väsentlig klimatpåverkan utgörs av utvinning och anrikning av uran. Utsläppen av växthusgaser härstammar från användning av fossila bränslen i elproduktionsprocesser, andra industriprocesser (kemikalier m.m.) och fordon. Uranutvinning och -bearbetning sker inte i Sverige. Det finns potential att minska klimatpåverkan ytterligare förutsatt att de länder Sverige importerar uranbränsle från förbättrar klimatprestanda på el och fordon. Reinvestering vid eventuell livstidsförlängning av kärnkraften kan också påverka emissionsfaktorn.
Solel	Produktion av solceller	Stor	Stor potential för lägre klimatpåverkan genom teknikutveckling. Förbättrad klimatpåverkan på använd el för produktion av solceller kan också bidra starkt till lägre utsläpp, men beror på hur elen produceras i de länder där solcellerna tillverkas. Längre livslängd och effektivare solceller förbättrar också klimatpåverkan under livscykeln.

Vad är hållbarhet för energisystemet?

Begreppet hållbar utveckling fick brett genomslag 1987 när Brundtlandkommissionen⁸ fastslog innebörden, det vill säga en utveckling som möter dagens mänskliga behov utan att äventyra framtida generationers möjligheter att tillgodose sina behov.⁹ Diskussionen om hållbar utveckling har sedan dess varit flitig och det finns en mångfald olika tolkningar och definitioner. Gemensamt för många är indelningen i de tre benen ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet, se Figur 7.5. Den ekologiska dimensionen handlar om hur jordens system och processer kan bevaras så att dessa kan fortsätta försörja människor med viktiga resurser och råvaror. Ekonomisk hållbarhet handlar om att hitta ett resurseffektivt sätt att hantera ekonomiska resurser och tillgångar, såväl ändliga naturliga resurser som mänskligt uppbyggt kapital. Social hållbarhet är mer svårdefinierat och handlar bland annat



Figur 7.5. De tre hållbarhetsdimensionerna och sammanfattning av ungefärlig betydelse.

om jämlikhet, hälsa, mänskliga rättigheter, samhällsliga rättigheter samt kulturell och mänsklig kunskap och erfarenhet. Det finns en viss motsättning i begreppet hållbar utveckling eftersom ordet utveckling indikerar förändring och framsteg medan hållbarhet innebär att kunna upprätthålla över tid, alltså bevara.

FN har sedan Brundtlandkommissionen successivt fortsatt arbetet med hållbar utveckling. År 1992 kom Agenda 21 och år 2000 fastställdes millenniemålen. Vid FN:s toppmöte för fem år sedan antog världens stats- och regeringschefer Agenda 2030, med 17 globala mål för en ekonomiskt, socialt och miljömässigt hållbar utveckling (*Sustainable Development Goals*, SDG). Även om FN inte har organiserat de 17 målen under de tre benen ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet, så har andra föreslagit sådana indelningar. Ofta delas då flest mål in under social hållbarhet.¹⁰

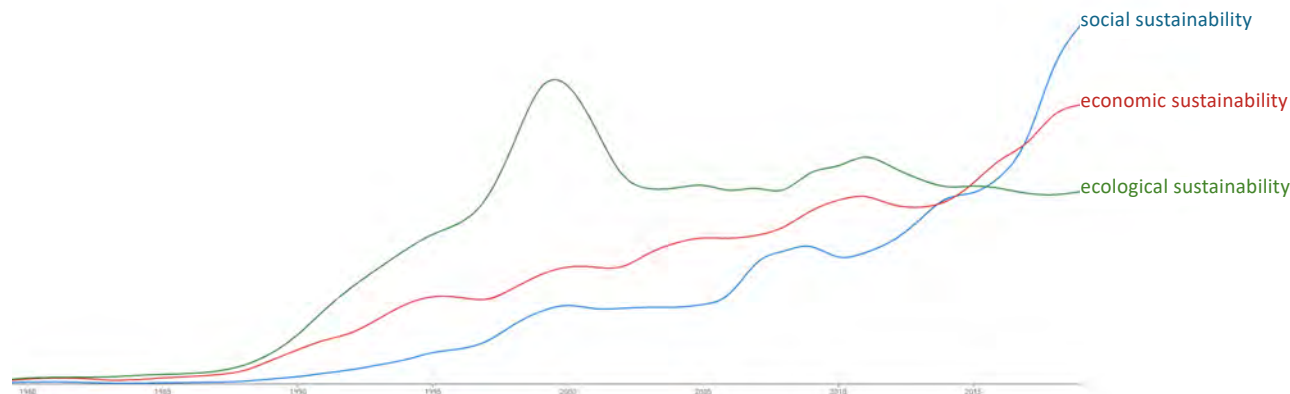
Det förefaller också som att det globala intresset för social hållbarhet har ökat efter 2015. Det framgår exempelvis av Figur 7.6, som illustrerar hur sökning på olika hållbarhetsdimensioner utvecklats från 1980 och framåt. Sökningen är gjord på engelska med hjälp av verktyget Google Books Ngram Viewer.¹¹ Det bör påpekas att om samma sökning görs på spanska, tyska eller franska framträder en något annorlunda bild där ekonomisk hållbarhet hamnar i topp för spanska, miljömässig hållbarhet för tyska och en generell nedåtgående trend för samtliga dimensioner kan ses för franska. Vad skillnaderna beror på är oklart. Kanske används många olika begrepp för att beskriva de tre hållbarhetsbenen på dessa språk eller kanske görs sökningar i högre grad på engelska även i dessa länder. På grund av osäkerheten har vi valt att inte visa dessa resultat nedan, men du som läsare kan gärna testa själv. Verktyget är gratis att använda.

8) FN:s kommission för Miljö och utveckling

9) WCED (1987)

10) Se exempelvis Rockström J. och Sukhdev P. (2016)

11) <https://books.google.com/ngrams>



Figur 7.6. Sökning på olika hållbarhetsdimensioner med hjälp av Google Ngram Viewer.

Till FN:s 17 hållbarhetsmål finns totalt 169 delmål fastslagna. NEPP har analyserat interaktioner mellan delmålen och med andra policies.¹² En slutsats är att länder som inte kommit så långt i sitt hållbarhetsarbete har en stor utmaning framför sig med att designa en mix av policies som på ett bra sätt stöttar alla icke uppnådda hållbarhetsmål utan alltför stora målkonflikter. För länder som kommit längre behöver färre mål hanteras och antalet målkonflikter bör därför kunna reduceras. Samtidigt ligger ett stort ansvar på dessa länder att beakta samtliga hållbarhetsdimensioner och tillse att hållbarhetsarbete inom ett område eller hos en aktörsgrupp inte leder till suboptimering och ineffektivitet ur ett större perspektiv.

Omöjligt att optimera alla hållbarhetsmål samtidigt – avvägningar blir nödvändiga

Regeringens ambition är att Sverige ska vara ledande i genomförandet av Agenda 2030 och FN:s hållbarhetsmål. Alla delar av samhället måste då ta en aktiv roll i omställningen. Hållbarhetsmålen har också fått ett brett genomslag i samhället. För företag kan målen fungera som ett långsiktigt ramverk både för hur de kan bli mer hållbara och för vad som kommer att vara nödvändigt, accepterat och efterfrågat av det övriga samhället på sikt.

Till hjälp för företagens arbete finns ett antal verktyg för att genomföra hållbarhetsanalyser med hjälp av hållbarhetsmålen ("SDG-verktyg"). Detta är i grunden bra och skulle kunna leda till ökad hållbarhet såväl för företagen som längs deras värdekedjor.

12) NEPP (2018a)

13) Johnsson m.fl. (2020)

En analys av fem olika SDG-verktyg visar att de kan utgöra stöd för företagens hållbarhetsarbete men om de ska bidra till informerade beslut och verklig förändring mot ökad hållbarhet behöver de omfatta 1) identifiering och inkludering av konkreta åtgärder i linje med Parisavtalet, 2) hållbarhet längs relevanta värdekedjor för för det aktuella företaget samt 3) både kortsiktiga och långsiktiga effekter av strategiska val.¹³ Annars finns en risk för grönmålning ("SDG-washing") där företagen tror och/eller marknadsför att man arbetar utifrån hållbarhetsmålen men i själva verket inte åstadkommer verklig förändring.

Samma studie visar också att formulering av en hållbarhetsbedömning, inklusive hur systemgränserna sätts, är avgörande för resultatet. Om väl detta första steg görs på ett bra sätt kan sedan ett SDG-verktyg vara till hjälp för att strukturera analysen och identifiera synergier och konflikter mellan olika hållbarhetsmål. För målkonflikter finns. Det är inte möjligt att samtidigt optimera uppfyllelsen av alla 17 hållbarhetsmålen, och de totalt 169 delmål som följer med dem. På energiområdet finns flera exempel på målkonflikter. Vattenkraften har till exempel mycket låg klimatpåverkan men utbyggnaden innebär hinder för vandrande fisk och även påverkan på omkringliggande mark som översvämmas vid dämningen. För bioenergi från skogen pågår också en debatt kring om det är bäst att använda biomassan för att ersätta fossila bränslen eller om man istället ska maximera skogens tillväxt för kolupptag.

Exempel på hållbarhetsaspekter för energisystemet

Vad är då hållbarhet för energisystemet? Vi ger här några exempel. **Miljömässig hållbarhet** handlar om att använda naturresurser för energiändamål i rätt takt. I detta ligger förstås att använda förnybara energiresurser framför fossila bränslen som tar mycket lång tid att förnyas. Att använda naturresurser i rätt takt innebär också att det finns en skillnad mellan fritt flödande energi (exempelvis vind) och icke fritt flödande energi (exempelvis biomassa). Icke fritt flödande energi kan tas ut i för hög takt. Miljömässig hållbarhet handlar även om att minimera utsläpp som sker från energisektorn och att de

utsläpp som ändå sker ska kunna hanteras av miljön. Detta gäller utsläpp till luft, vatten och mark och inkluderar även farliga ämnen, strålning med mera. En ytterligare aspekt är att använda mark på ett sätt som inte äventyrar biologisk mångfald eller leder till utarmning av näringsämnen, mineraler och andra naturresurser.

Ekonomisk hållbarhet handlar exempelvis om konkurrenskraft. Då avses både att energisektorn är konkurrenskraftig men kanske framförallt att trygga energileveranser till bra pris bidrar till samhällets konkurrenskraft. En annan ekonomisk aspekt handlar om att utvecklingen av energisystemet sker på ett kostnadseffektivt sätt med en långsiktighet i investeringar. Att använda energiresurser på ett effektivt sätt är också en ekonomisk hållbarhetsaspekt som har stark koppling till de andra hållbarhetsbenen. Om vi använder energiresurser effektivt kan energikostnaderna bli lägre (påverkar social hållbarhet) och uttaget av naturresurser mer miljömässigt hållbart. Ekonomisk hållbarhet handlar även om rimliga arbetsvillkor för anställda i energisektorn och olika underleverantörer som anlitas av branschen.

Social hållbarhet och energi i Sverige handlade historiskt om att kunna bo och laga mat i vårt kalla klimat. Trygga energileveranser är alltså en mycket viktig social hållbarhetsaspekt (se även faktaruta 7.2). Tillgång till el och värme är idag en självklarhet för oss i Sverige, inte bara då och då utan dygnets alla timmar. I andra delar av världen ser det annorlunda ut. Även om utvecklingen går åt rätt håll saknar fortfarande många tillgång till el och matlagning kan ske inomhus över öppen eld med dålig inomhusmiljö som följd. En viktig social hållbarhetsaspekt är att energiomvandling inte orsakar hälsoskadliga utsläpp, varken inomhus eller utomhus. Social hållbarhet handlar även om möjligheten att vara med och påverka sin energiförsörjning och om acceptansfrågor för energisektorns verksamhet. Jämställdhet och arbetsmiljö på arbetsplatser inom energibranschen är en annan typ av sociala hållbarhetsfrågor. Som nämnts ovan har social hållbarhet fått ökad global uppmärksamhet i och med Agenda 2030-arbetet.

LEVERANSSÄKERT ENERGISYSTEM – EN FÖRUTSÄTTNING FÖR SOCIAL HÅLLBARHET

Social hållbarhet handlar om att alla invånare och andra som finns i ett samhälle upplever en jämlik tillgång till social service. Den sociala hållbarheten i ett samhälle är ett sammantaget resultat av alla verksamheter, människor, organisationer och relationer i samhället. Den påverkas självklart av energisektorns olika verksamheter. Ett leveranssäkert energisystem är en förutsättning för att kunna bygga och stärka den sociala hållbarheten.

Energin används i samhället för att skapa olika tjänster och nyttor som uppvärmning av våra hus, digitala tjänster, får maskiner att röra sig och ger ljus på våra gator eller över vårt skrivbord. När energisystemet har störningar och brister kommer det att påverka vårt samhälle på olika vis. Redan idag ser vi hur företag och andra verksamheter kan vara begränsade i att etablera sig på platser pga överföringskapacitet i elnätet. I andra fall har störningar i ett geografiskt område ökat och skapar kostnader. Båda dessa har konsekvenser på den sociala hållbarheten. Jobbtillfällena och inkomstmöjligheter påverkas självklart. En annan

aspekt är rent demokratisk i och med ökad risk för att IT-service, och därmed tillgång till samhällsinformation, banker, och mycket annat, påverkas om störningarna blir långa.

Ett annat exempel idag handlar om behovet av renoveringar och energieffektiviseringar av våra bostäder. Detta kan leda till hyres- och avgiftshöjningar och bidra till att hyresgäster måste flytta eller helt enkelt leva under existensminimum. Att planera denna typ av åtgärder med social hållbarhet i tankarna handlar till stor del om deltagande och hänsyn till de boende. Att de känner att de har inflytande och att deras perspektiv och behov tas hänsyn till vilket i sin tur skapar trygghet.

Energisektorns aktörer har både direkt och indirekt en påverkan på den sociala hållbarheten där de verkar. Att säkerställa säkra och störningsfria energitjänster är en central byggsten för välfärden på lång och kort sikt.



Plastavfall till energiåtervinning är snart den enda källan till fossila utsläpp från el- och fjärrvärmesektorn

Plast i avfall till energiåtervinning är en betydande utmaning för svenska energiföretagens klimatarbete. De direkta växthusgasutsläppen från avfallsförbränning kommer i huvudsak från plast, som idag nästan uteslutande produceras av fossil olja och naturgas. Utsläppen från den fossila delen av avfallet var 2,6 miljoner ton 2018 och står för över hälften av el- och fjärrvärmesektorns utsläpp enligt Naturvårdsverket. Utmaningen kompliceras ytterligare eftersom plast till energiåtervinning ökar, samtidigt som efterfrågan på fossilfritt producerad fjärrvärme ökar från kunderna.

För fjärrvärmesektorn, där användningen av fossila bränslen inom några år helt har fasats ut, står energiåtervinning av plastavfall därmed snart för de enda kvarstående direkta utsläppen av koldioxid.

Även elsektorn behöver fokusera på avfallsförbränning för att få ner de direkta utsläppen från elproduktion. Enligt underlagsscenarier till elbranschens färdplan för fossilfri elsektor, utgör snart utsläpp från avfallsförbränning enda källa till direkta växthusgasutsläpp från svensk elproduktion.¹⁴ Det är därför högprioriterat att minska mängden plast som förbränns genom att bland annat öka återanvändning och materialåtervinning. Att minska plasten i avfallet som går till förbränning kräver insatser från aktörer längs hela plastens värdekedja. För mer läsning om avfallets roll i energisystemet hänvisas till kapitel 8 om fjärrvärme.

Energisektorn vill inte ha plasten och behöver vara tydlig med det

Forskning visar att det finns föreställningar om att energisektorn vill ha plast på grund av dess höga värmevärde.¹⁵ Denna föreställning stämmer inte med verkligheten, utan energibolagens strategi

är att ta hand om det avfall som inte kan eller får cirkuleras i samhället. De fokuserar därmed på avfall med lägre värmevärden och restavfall som inte kan återvinnas eller cirkuleras.

Plastavfall skall i första hand återanvändas och materialåtervinnas, i enlighet med avfallshierarkin, därom råder det stor konsensus. Energiåtervinningsföretagen är redan idag aktiva i frågan och kommer att fortsätta att ta initiativ för ökad samverkan med producenter och återvinningsbranschen för att bidra till att lösa problematiken kring plast.

Svensk el- och värmeproduktion bidrar med att sänka de globala växthusgasutsläppen

Forskare inom NEPP har utvärderat den svenska el- och fjärrvärmeförsörjningens klimatpåverkan, och har då utgått från ett europeiskt energi- och avfallsperspektiv. Eftersom svensk el- och fjärrvärmeförsörjning är en del av såväl det nordeuropeiska elsystemet som det europeiska avfallssystemet inkluderas i beräkningarna de utsläpp som undviks genom energiåtervinningen. Resultaten visar att den svenska el- och fjärrvärmeförsörjning årligen bidrar med stor klimatnytta för hela Europa, genom att möjliggöra elexport och minskad deponering i andra länder.

Det är fortfarande av stor vikt att fortsätta arbetet med att minska de direkta utsläppen som sker nationellt. Så länge det uppstår direkta utsläpp av fossila växthusgaser vid våra svenska energianläggningar måste vi fortsätta sträva efter att minska dessa utsläpp. I scenarierna framtagna inom arbetet med färdplanerna för fossilfri elsektor respektive uppvärmning har det tydligt framgått att förbränningen av avfall med fossilt ursprung kommer att avgöra både el- och fjärrvärmesektorns framtida klimatpåverkan.

14) NEPP (2019). Scenariot förutsätter att satsningen på vätgasbaserad ståltillverkning lyckas, varvid förbränning av fossila restgaser från stålindustrin upphör

15) RE:Source (2019)

Osäkert läge för avfallsförbränning enligt EU:s gröna taxonomi, men många initiativ för en mer hållbar plastanvändning finns

EU:s gröna taxonomi (se separat avsnitt i början på detta kapitel) ska vägleda investerare och finansmarknadsaktörer mot hållbara investeringar. Enligt den politiska överenskommelsen om taxonomiförordningen i december 2019 reviderades dokumentet något och ett undantag för förbränning av icke återvinningsbart farligt avfall lades till. En expertgrupp som hjälper EU-kommissionen med taxonomin har rekommenderat ytterligare övervägningar kring energiåtervinning ur avfall och betonar att tekniken har en roll även i en cirkulär ekonomi eftersom inte allt avfall kan hanteras högre upp i avfallshierarkin. På sikt kan taxonomin möjligen påverka graden av investeringar i energiåtervinning i Europa, och möjligheter för import till Skandinavien.

Runt om i världen pågår många initiativ för en mer hållbar plastanvändning och minskad marin nedskräpning av plast. Begreppet "Hållbar plastanvändning" har ingen generell definition men hänsyftar vanligen till att plasten har ett värde som gör att den inte förbrukas i onödan eller hamnar i naturen. Därtill hör också att plasten är fri från farliga ämnen och att plastprodukter återanvänds i så hög utsträckning som möjligt.¹⁶

FN:s Agenda 2030 för hållbar utveckling innehåller 17 globala hållbarhetsmål och 169 delmål. Flera av målen relaterar till en hållbar plastanvändning: mål 12 "Hållbar konsumtion- och produktion" samt mål 13 "Bekämpa klimatförändringarna".

Under 2018 tog EU stora kliv framåt genom godkännandet av förändringar i avfallsdirektivet och paketet för en cirkulär ekonomi.¹⁷ Handlingsplanen innehåller initiativ för att påverka produkters hela livscykel, från design och konsumtion till avfallshantering och marknaden för återvunna material inklusive prioriterade sektorer och innovation och andra åtgärder. Ändringarna innebär bland annat höjda mål för återanvändning och återvinning av kommunalt avfall och förpackningsavfall.

I juli 2020 har EU-kommissionen lämnat ett förslag om en straffavgift på plastförpackningar som inte återvinns. Tanken är att avgiften på drygt 8 000 kronor per ton ska börja tas ut redan vid årsskiftet 2020/21. Än så länge finns inga besked kring hur mängden icke återvunna plastförpackningar ska beräknas och inte heller vem som faktiskt ska betala avgiften, som är tänkt att ingå i ländernas medlemsavgift. Under hösten 2020 skall förslaget behandlas i EU-parlamentet.



Figur 7.7. I FN:s mål för en hållbar utveckling relaterar bland annat mål 12 och mål 13 till en hållbar plastanvändning

¹⁶) SOU (2018)

¹⁷) EU (2015)

FN:s och EU:s storskaliga mål och åtgärder har lett till en stor mängd initiativ för en mer hållbar plastanvändning i branscher, privata och offentliga bolag. Under Fossilfritt Sveriges paraply lyfter flera branschers färdplaner för ett fossilfritt, konkurrenskraftigt samhälle upp plasten som en av de viktigaste utmaningarna för att nå fossilfrihet. Exempel är dagligvaruhandeln, som fokuserar på förpackningsmaterial, samt uppvärmningssektorn och elbranschen, som båda lyfter utmaningen med plasten i avfallet som går till energiåtervinning. Några andra exempel på styrmedel är en skatt på plastpåsar och skatt på avfallsförbränning som båda har införts under år 2020.

Nya hållbarhetskriterier för fasta biobränslen ger begränsad påverkan på den svenska biobränslemarknaden på kort sikt

Ett ramverk för att benämna fasta biobränslen som hållbara är beslutat inom EU och kommer att implementeras i svensk lag 2021. Begränsad negativ påverkan på den svenska biobränslemarknaden förväntas på kort sikt. Biobränslen från svenska skogar definieras generellt som hållbara och krav på minskad klimatpåverkan kommer i normalfallet att uppnås.

Utvecklingen på lång sikt kommer till stor del att bero på hur efterfrågan på biomassa totalt sett, för alla sektorer, utvecklas i Sverige, EU och globalt. I detta perspektiv måste även frågan om total klimatpåverkan tas i beaktande, samt hur man hanterar den allt kortare tidsrymd som finns till förfogande för omställning i enlighet med Parisavtalets ambitioner.

Hållbarhetskriterier för fasta bränslen från 2021

Det uppdaterade förnybarhetsdirektivet, REDII, inkluderar även hållbarhetskrav på fasta biobränslen. Hållbarhetskrav på biodrivmedel och flytande biobränslen har funnits sedan 2009. De nya hållbarhetskriterierna innebär att skogsbränslen måste

komma från hållbart skogsbruk (som kan uppfyllas genom nationell lagstiftning) och ställer krav på växthusgasutsläppsminskning vid el- och värmeproduktion (minst 70%, respektive 80%, jämfört med fossila bränslen för nya anläggningar från 2021, respektive 2026), läs vidare i NEPP (2018b).

Hållbarhetskriterierna för fasta biobränslen kommer möjligtvis att påverka biobränslemarknaden på sikt, men för svensk del ser det inte ut att innebära några stora negativa konsekvenser på kort sikt. Biobränslen från svenska skogsarealer uppfyller hållbarhetskriterierna i REDII. Den svenska skogsvårdslagstiftningen säkerställer uppfyllnad av hållbart skogsbruk och utsläppsreduktionen i typiska svenska kraftvärmeverk är högre än kravet i direktivet (NEPP, 2018b). Endast en mindre mängd biobränslen importeras till den svenska energisektorn idag. Viss rapportering och nya rutiner för dokumentation kommer dock att krävas för de anläggningar som omfattas. Hållbarhetskraven på fasta biobränslen kan emellertid komma att skärpas längre fram och kompletteras med andra krav.

Både hot och möjligheter för svenska energisektorn

En översiktlig analys av hur den svenska energisektorn påverkas av EU:s hållbarhetskrav inkluderandes styrkor, svagheter, möjligheter och hot/risker redovisas i Tabell 7.2 i form av en så kallad SWOT-analys (Strengths, Weaknesses, Opportunities, and Threats).

Tabell 7.2. Översiktlig SWOT-analys över hur den svenska energisektorn påverkas av EU:s hållbarhetskrav på fasta biobränslen

	Stödjande	Hindrande
Intern	Styrkor (strengths) - El och värme producerad från biobränslen i Sverige resulterar generellt i hög minskning av GHG-utsläppen. - Möjligt att visa att råvaran och produkten anses hållbar. - Ramverk för att beräkna GHG-utsläpp och minskning möjliggör jämförelse mellan anläggningar. - Bioenergi är en klimateffektiv lösning för el- och värmeproduktion.	Svagheter (weaknesses) - Ansvaret för att visa att hållbarhetskriterierna uppfylls ligger på aktörerna. - Administration kring uppföljning och verifiering av efterlevnad medför extra kostnad.
Extern	Möjligheter (opportunities) - Tillgång till ett ramverk för att visa att den skogsbaserade biomassan och värmen och/eller elen som produceras anses hållbar inom EU. - Den svenska skogsbiomassan (som skördas enligt svensk skogsvårdslagstiftning) uppfyller hållbarhetskriterierna i REDII – skapar mervärden. - Liten negativ påverkan på den svenska biobränslemarknaden förväntas på kort sikt. - Samma hållbarhetskriterier gäller inom EU oavsett geografiskt ursprung för råvaran. - Ekonomiskt stöd får ges till aktörer/produkter som uppfyller hållbarhetskriterierna. - Bioenergi betraktas som en klimateffektiv lösning.	Hot (threats) - Ramverket kan ändras och därmed ställa andra/nya krav på hållbarhetsbedömning. - Svenska biobränslemarknaden är beroende av utvecklingen inom EU och internationellt. - Genomslag för alternativa perspektiv på klimateffektiviteten för fasta biobränslen inom EU kan påverka framtida hållbarhetskrav. - Kraven på utsläppsminskning av växthusgaser är sannolikt inte tillräckligt hårda för att ensamma stimulera ännu effektivare processer i Sverige. - Styrmedel och riktlinjer som berör hållbarhetsaspekter ej är täckta av EU:s hållbarhetskriterier kan också påverka biobränslemarknaden och energisektorn. - Efterfrågan på biomassa (inkl. fasta biobränslen) globalt riskerar att skapa en brist på hållbart avverkad skogsråvara i Sverige.

Framtida efterfrågan på biomassa har sannolikt större påverkan på biobränslemarknaden

Andra aspekter än de beslutade hållbarhetskriterierna framstår kunna påverka biobränslemarknaderna i Sverige, Europa och globalt i *större* utsträckning på kort till medellångsikt. Framförallt är det hur efterfrågan på produkter från skogen utvecklas och förändras som kommer att påverka marknaden. Det är ännu oklart vilka produkter och verksamheter som kommer att efterfråga biobränslen och biomassa från skogen, exempelvis stålindustrin och annan biobaserad produktion. Även kostnadsutveckling för andra energislag, såsom vindkraft, solen och värmepumpar, är viktiga faktorer som påverkar den svenska biobränslemarknaden.

Det finns också fler hållbarhetsaspekter kopplat till fasta biobränslen att beakta än som hittills omfattas av EU:s hållbarhetskriterier. Till exempel ska produktion och användning av biomassa för energi inte orsaka negativ påverkan på biologisk mångfald eller skadliga utsläpp av föroreningar, som till exempel partiklar, tungmetaller, svavel- och kväveoxider. Flera av de svenska miljökvalitetsmålen är således relevanta för biobränslen från skogen och påverkan sker främst vid ökade uttag av biomassa.

Moderna miljövillkor för vattenkraften måste avvägas mot ökad efterfrågan av vattenkraftens produktions- och reglerbidrag

Vattenkraft i sig är en förnybar energikälla med marginella utsläpp av växthusgaser kopplat till driften. Den största klimatpåverkan sker istället när kraftverk, dammar och regleringsmagasin anläggs, framförallt vad gäller hur miljön längs vattendragen och stränderna i vattenmagasinen påverkas. I övrigt är vattenkraften kostnadseffektiv, driftsäker och lättreglerad. Vattenkraften står därmed i skärningspunkten mellan energipolitikens tre grundpelare – hållbarhet, konkurrenskraft samt försörjningstrygghet och leveranssäkerhet, och den kallas därför ibland kronjuvelen i det svenska kraftsystemet. Som sådan har den en mycket viktig roll att bidra med i omställningen av energisystemet och till målet om netto-

nollutsläpp år 2045. Detta inte minst på grund av dess förmåga som en förnybar, reglerbar baskraft.

En ny tid för vattenkraften

Vattenkraften befinner sig emellertid i en ny tid med tydliga målkonflikter, där krav på moderna miljövillkor måste avvägas mot ökad efterfrågan av vattenkraftens produktions- och reglerbidrag. Samtidigt som Sverige har mål om 100 % förnybar elproduktion till 2040 och nettonollutsläpp senast år 2045 ska även EU:s ramdirektiv för vatten genomföras. För att kunna balansera mellan dessa mål fick Svenska Kraftnät och Energimyndigheten tillsammans med Havs- och Vattenmyndigheten i januari 2019 i uppdrag att ta fram ett förslag till en nationell plan för omprövning av vattenkraft. Syftet med denna plan är att omprövningarna av vattenkraftens miljövillkor ska leda till största möjliga nytta för vattenmiljön och en nationell effektiv tillgång till vattenkraftsel. Den 25 juni 2020 fastlade regeringen den nationella planen, och utifrån denna kommer nu alla vattenkraftverk i Sverige att provas systematiskt under en period på ca tjugo år.

Som ett led i att anpassa vattenkraften till moderna miljövillkor och samtidigt säkerställa vattenkraftens roll både för elproduktion och reglering, har åtta vattenkraftsföretag bildat Vattenkraftens Miljöfond. Miljöfonden ska finansiera nödvändiga åtgärder i reglerade älvar i syfte att öka möjligheterna att uppnå miljömål och samtidigt gynna social hållbarhet (exempelvis fiske, turism och lokal utveckling).

Den svenska vattenkraften byggdes ut i takt med att efterfrågan på el ökade, mellan ca 1910 och 1970. Den absoluta majoriteten av de vattenkraftverk och avbördningsanläggningar som finns och används idag har därmed redan lagt en stor del av sin miljöpåverkan bakom sig. Idag ligger fokus på just de delvis motstående hållbarhetsintressena av vattenkraften som en nästan utsläppsfri energikälla och den ekologiska negativa påverkan som sker i reglerade vattendrag och sjöar/dammar.

Åtgärder som idag fokuserar på för att komma till rätta med miljöproblemen handlar främst om underlättnad av fiskens vandring, utsättning av småfisk inklusive ål samt biotopvård mer generellt (kopplat till balanseringen av hur man minimerar flödesförändringar som påverkar växt- och djurliv men som samtidigt är nödvändiga för att bevara och stärka vattenkraftens flexibilitet vad gäller reglerbarhet).

Hållbarhetsaspekter för vattenkraften — några exempel

Vattenkraften har mycket låg klimatpåverkan i livscykelperspektiv. Den främsta klimatpåverkan uppstår vid byggnation av dammar och kraftverk då dämning gör att organiskt material oxiderar och bildar koldioxid. Utsläpp sker även från insatsvaror till anläggningar (betong, stål med mera), men dessa är i livscykelperspektiv lägre. Eftersom vattenkraftproduktion i Sverige idag och framöver i princip uteslutande sker från anläggningar som byggdes för många decennier sedan är de tillkommande utsläppen av växthusgaser från vattenkraftproduktion mycket små. Vattenkraftens reglerförmåga bidrar även till effektivt utnyttjande av andra förnybara variabla energikällor såsom vindkraft och solkraft, vilket ger energisystemet lägre total klimatpåverkan.

Vattenkraften påverkar naturmiljön genom själva anläggningen (damm, magasin, kraftverk) och regleringen av vattendraget som innebär att de naturliga flödena förändras. Även omkringliggande mark och skogar förändras genom överdämning och reglering, vilket också påverkar växter och djurs naturliga habitat och därmed biologisk mångfald. Exempelvis uppstår hinder för vandrande fisk som är beroende av att kunna röra sig mellan olika delar av en älvsträcka. Detta ger i sin tur en negativ påverkan på social hållbarhet genom att fiske och turism kan drabbas inte bara i anslutning till vattenkraftverket utan även uppströms och nedströms.

För att främja både miljömässig och social hållbarhet kan olika åtgärder vidtas vid befintliga vattenkraftverk. Fisktrappor och

omlöp är exempel på åtgärder som på många håll bidragit positivt för vandrande fisk. Ett sådant exempel är öppnandet av Billstaån i Jämtland där tre omlöp byggts och en damm rivits ut. Uppföljningen visar att åtgärderna givit positiva resultat både för biologisk mångfald (fisk har åter börjat vandrat i älvfåran) och social hållbarhet (bland annat turism och rekreation).

I Sverige har vi en riklig nederbörd och konkurrens om vatten är ännu inte ett stort problem. I ett framtida klimat kan perioder av torka bli vanligare i delar av södra Sverige och då kan man tänka sig viss konkurrens om vatten mellan exempelvis vattenkraftsproduktion och dricksvattenförsörjning. Detta har identifierats som en potentiell risk i ett parallellt Energiforskningsprojekt som analyserar inverkan av klimatförändringar på energisystemet. I norra Sverige förefaller istället vattentillgången öka. I andra delar av världen är konkurrens om vatten som resurs redan idag ett stort problem. Vattenkraftanläggningar kan då påverka vattenförsörjningen (dricksvatten, bevattning m.m.) nedströms och där vattendrag rinner genom flera länder kan konflikter uppstå.

Den omfattande vattenkraftsproduktionen i Sverige och våra nordiska grannländer bidrar till, i ett internationellt perspektiv, låga elpriser. Vattenkraften bidrar på så sätt positivt till ekonomisk hållbarhet. Tillgången till billig el mycket tack vare vattenkraften är också, och har länge varit, en viktig faktor för uppbyggnaden av en konkurrenskraftig svensk exportindustri.

Delad syn bland forskare kring kärnkraftens roll i ett hållbart energisystem

Kärnkraften står för ca 40 % av den svenska elproduktionen. I vissa delar av världen sker utbyggnad av kärnkraften medan andra länder avvecklar. Samtidigt har klimatfrågan stadigt ökat i betydelse. Kärnkraft, såväl ny som livstidsförlängning av reaktorer, har i sammanhanget omnämnts som livstidsförlängning av befintliga reaktorer, omnämns med ökad frekvens i media och från vissa håll i den politiska debatten som en viktig pusselbit mot ett energisys-

tem med låg klimatpåverkan. Som framgår av Figur 7.4 är klimatpåverkan i livscykelperspektiv mycket låg från kärnkraft. Frågan är då vilken syn som forskarvärlden har på kärnkraft och dess plats inte bara i ett energisystem med låg klimatpåverkan utan även i utvecklingen mot ett hållbart energisystem.

En litteraturstudie gjord i ett Energiforskningsprojekt visar inte någon tydlig konsensus inom forskarkretsar med avseende på kärnkraftens roll i ett hållbart energisystem med låg klimatpåverkan.¹⁸ På samma sätt som i debatten inom media, bland allmänheten och inom politiken så finns det ett polariserande element även inom forskarvärlden, vilket kanske inte är förvånande. Dels är frågeställningen med avseende på hållbara energisystem oerhört komplex, dels speglar forskarvärlden samhället i övrigt. Bland de mer tongivande forskarna har ett relativt litet antal tydligt tagit ställning i frågan "för" eller "emot". Det stora flertalet av de forskningsartiklar som granskats och som tar upp frågeställningen berör både de positiva egenskaperna och nyttorna som kärnkraft bidrar med och diskuterar också problembilder och utmaningar som är förknippade med kärnkraft. Generellt (men med undantag) betraktar forskarvärlden idag kärnkraft som ett potentiellt verkningsfullt energislag, på väg mot ett energisystem med låg klimatpåverkan. Samtidigt understryker flertalet forskare att kärnkraftindustrin måste komma till rätta med ett antal viktiga stötestenar om man fullt ut vill ta plats i ett hållbart energisystem. Sådana utmaningar berör bland annat hur säker avfallshantering ska kunna garanteras under tusentals år framåt i tiden och risk för olyckor. Även acceptansfrågan berörs, där allmänhetens förtroende för såväl kärnkraftbranschen som tillsynsmyndigheter pekas ut som särskilt viktig. De omfattande ekonomiska utmaningar som idag kännetecknar investeringar i kärnkraft i västvärlden är också en ofta nämnd utmaning.

Samma studie har också granskat ett stort antal publikationer som inte publicerats i vetenskapliga tidskrifter, exempelvis från IEA, IPCC, EU-kommissionen, kärnkraftsbranschen och NGOs. Bland dessa har ett urval scenarioanalyser studerats som omfattar såväl globala som regionala systemgränser. Även här är bilden mångfacetterad vilket inte minst beror på att scenarioanalyserna skiljer sig åt med avseende på viktiga beräkningsförutsättningar såsom energibehovsutveckling, tillgång till olika energiresurser, politik samt teknikutveckling för såväl kärnkraft som alternativa energislag. Det finns exempel på scenariostudier som pekar på möjligheten att nå klimatmålen globalt, antingen helt utan kärnkraft eller med endast mycket marginella bidrag från densamma. Däremot finns det också relativt många scenariostudier som indikerar att ett mål om att begränsa den globala uppvärmningen till "klart under två grader" blir mycket svårt att möta utan en utbyggnad av kärnkraft. Gemensamt för alla dessa scenariostudier är att kärnkraft inte blir ett dominerande inslag i den framtida energimixen, globalt sett. Den överlägset största tillväxten antas istället ske inom förnybar energi.

EU-taxonomin om hållbara investeringar (se tidigare i detta kapitel) har än så länge varken inkluderat eller exkluderat kärnkraften. Man konstaterar att klimatpåverkan är mycket låg men att det finns osäkerheter kopplat till hanteringen av kärnbränsleavfall.

18) Unger m.fl. (2019)

Kapitel 8



Fjärrvärmens långsiktiga roll i det svenska energisystemet

Fjärrvärme är den dominerande energibäraren för uppvärmning av bostäder och lokaler i Sverige med en marknadsandel på ca 50 %. Utbyggnaden av fjärrvärme har kraftigt bidragit till utfasningen av fossila bränslen. Nettoutsläppen av växthusgaser från svensk fjärrvärmeförsörjning är till och med negativa sedan 2013, medräknat systemeffekter i el- och avfallssystemen. Fjärr-

värmen bidrar också till att avlasta el-effektbalansen under kalla vinterdagar, både genom att minska behovet av el-baserad uppvärmning och genom att bidra med elproduktion i kraftvärmeverk. Fjärrvärmen är även en förutsättning för utnyttjande av industriell restvärme och för energiåtervinning från avfall som inte kan materialåtervinnas.



De viktigaste slutsatserna

1. Det totala uppvärmningsbehovet för bostäder och lokaler varierar i olika framtidsscenarier mellan en svag ökning och en tydlig minskning, trots markant ökad folkmängd och därmed uppvärmd yta. Energieffektivisering i den existerande bebyggelsen tillsammans med låga uppvärmningsbehov i ny bebyggelse är förklaringen.
2. Konkurrensen om marknadsandelarna på värme marknaden är hård, där värmepumpar har blivit ett alltmer konkurrenskraftigt alternativ även för stora byggnader.
3. Nettoutsläppen av växthusgaser från svensk fjärrvärmeförsörjning har varit negativa sedan 2013 medräknat systemeffekter i el- och avfalls-systemen.
4. Utan fjärrvärme skulle eleffektbalansen vara avsevärt mer ansträngd, ca 10 GW större importbehov (allt annat lika).
5. Fjärrvärmens kraftvärmeverk bidrar med värdefull planerbar elproduktion, idag ca 3 GW. Kraftvärmens pressas dock av låga elpriser och i övrigt dåliga (styrmedels-)villkor. Kapaciteten förväntas därför förbli oförändrad på tio års sikt.
6. Fjärrvärmens möjliggör resurshushållande av industriell restvärme och avfall som inte kan/bör/får materialåtervinnas på grund av t.ex. innehåll av farliga ämnen som skall fasas ur en cirkulär ekonomi.
7. Fjärrvärmebranschen har goda förutsättningar att bidra med minusutsläpp genom avskiljning och lagring av biogen koldioxid (BECCS).
8. Viktiga utmaningar för fjärrvärmens är konkurrens från värmepumpar och effektiviseringar, styrmedel och varmare klimat.
9. Avfall utgör 20 procent av bränslet till fjärrvärmesäten, i 35 olika nät. Andelen och mängden kan öka ytterligare eftersom det planeras för mer kapacitet. Detta förutsätter en ökad import av avfall.

Fjärrvärmebehovet – den långsiktiga utvecklingen

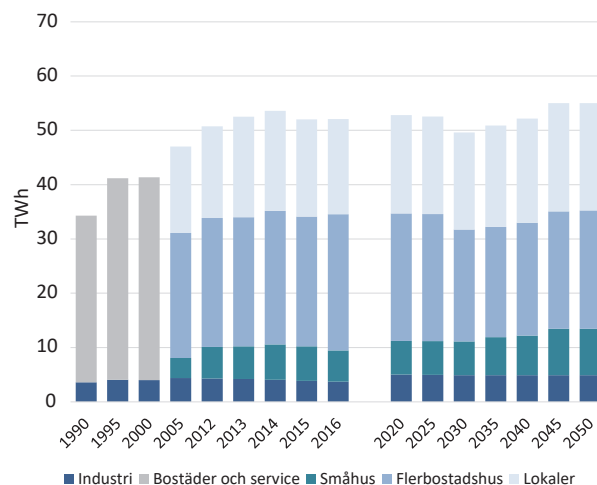
Till följd av ökad konkurrens från värmepumpar och effektiviseringsåtgärder på värmemarknaden håller de senaste årens stagnerande tillväxt för fjärrvärmen i sig, enligt modellberäkningarna i NEPP:s Basscenario ¹, se Figur 8.1. Fram mot 2030 pekar modellresultaten till och med på en liten nedgång i det samlade fjärrvärmeunderlaget. Modellverktyget som vi utnyttjat här beskriver fjärrvärmemarknaden som ett aggregerat svenskt fjärrvärmesystem. Man ska alltså betrakta modellresultaten som en samlad bild över den svenska fjärrvärmemarknadens långsiktiga utveckling mot 2050. I verkligheten är fjärrvärmemarknaden i stor utsträckning lokal, vilket innebär att utvecklingen kan skilja sig mellan olika system. Till exempel kan det skilja sig mellan tillväxtregioner och regioner med en högre grad av utflyttning. Det kan även finnas lokala skillnader i produktionens sammansättning och därmed

dess konkurrenskraft. Utvecklingen för det kommande decenniets fjärrvärmeanvändning är också relativt känsliga för olika energiprisutvecklingar.

På längre sikt är de billigaste effektiviseringsåtgärderna uttömda samtidigt som elpriserna stiger till följd av skärpt klimatpolitik. Dessutom antas det totala uppvärmningsbehovet öka till följd av befolkningsökning och ekonomisk tillväxt, vilket medför att fjärrvärmebehovet på lång sikt återigen börjar öka. Modellberäkningarna pekar också på småhussektorn som en potentiell tillväxtmarknad på längre sikt. Sammantaget, sett över hela analysperioden, blir det dock inga betydande förändringar avseende fjärrvärmebehovet.

Scenarier från Värmemarknad Sverige

I föregående avsnitt redogjorde vi för ett distinkt Basscenario som bygger på en lång rad antaganden och som är framtaget med



Figur 8.1. Fjärrvärmeanvändningens utveckling i NEPP:s Basscenario (baserat på TIMES-NORDIC-beräkningar). Källa: 1990-2016: Energimyndigheten.

1) Se faktaruta 2.1 för mer information

stöd av modellberäkning. Ytterligare perspektiv på fjärrvärmeanvändningens långsiktiga utveckling kan hämtas från projektet "Värmemarknad Sverige" där fyra scenarier för värmemarknadens utveckling redovisas.² Scenarierna skiljer sig åt med avseende på följande parametrar:

- Bebyggelsens energianvändning (energieffektivisering i existerande bebyggelse och uppvärmningsbehov i nyproduktionen)
- Marknadsandelen för olika uppvärmningsalternativ
- Teknikutveckling (verkningsgrader i energiomvandlingen i slutanvändarledet)
- Komplexiteten hos användarna (köp/sälj, kombinationer, nya aktörer med mera)

I Figur 8.2 visas nettoenergianvändningen (nyttig energi efter omvandlingsförluster) för de fyra scenarierna.

Av figurerna framgår att det totala nettoenergibehovet för uppvärmning av bostäder och lokaler varierar mellan en svag ökning och en tydlig minskning. Detta sker trots tydligt ökad folkmängd och därmed uppvärmd yta. Energieffektivisering i den existerande bebyggelsen tillsammans med låga uppvärmningsbehov i ny bebyggelse är förklaringen till denna utveckling. Även fjärrvärmeanvändningen varierar mellan en svag ökning och tydlig minskning. Jämfört med NEPP:s modellberäknade Basscenario ligger scenarierna "Långsam utveckling" och "Kombinerade lösningar" relativt nära med avseende på fjärrvärmeanvändningens långsiktiga utveckling.

”

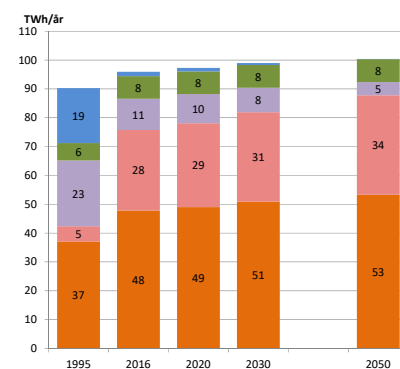
I verkligheten är fjärrvärmemarknaden i stor utsträckning lokal, vilket innebär att utvecklingen kan skilja sig mellan olika system. Till exempel kan det skilja sig mellan tillväxtregioner och regioner med en högre grad av utflyttning. Utvecklingen för det kommande decenniets fjärrvärmeanvändning är också relativt känsliga för olika energiprisutvecklingar”

2) Värmemarknad Sverige (2020)

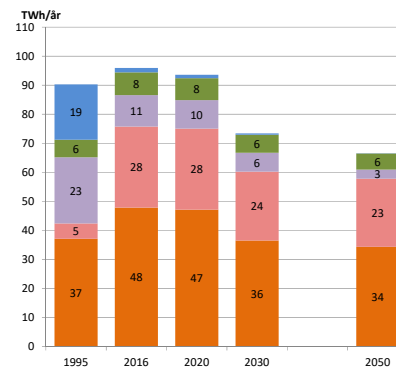
NETTOENERGI PER UPPVÄRMNINGSSLAG



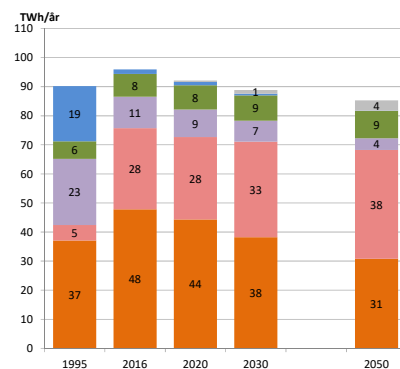
Långsam utveckling



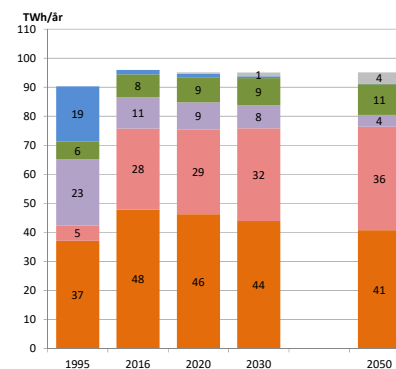
Energisnåla hus



Mer individuellt



Kombinerade lösningar



Figur 8.2. Nettoenergianvändningen (nyttig energi efter omvandlingsförluster) för fyra scenarier enligt Värmemarknad Sverige.³

³ Värmemarknad Sverige (2020)



Kraftvärmens andel av fjärrvärmeproduktionen idag är stor och uppgår till drygt 60% medan hetvattenpannor endast levererar omkring 15%. Även för elsystemet spelar kraftvärmens i fjärrvärmesystemen en viktig roll



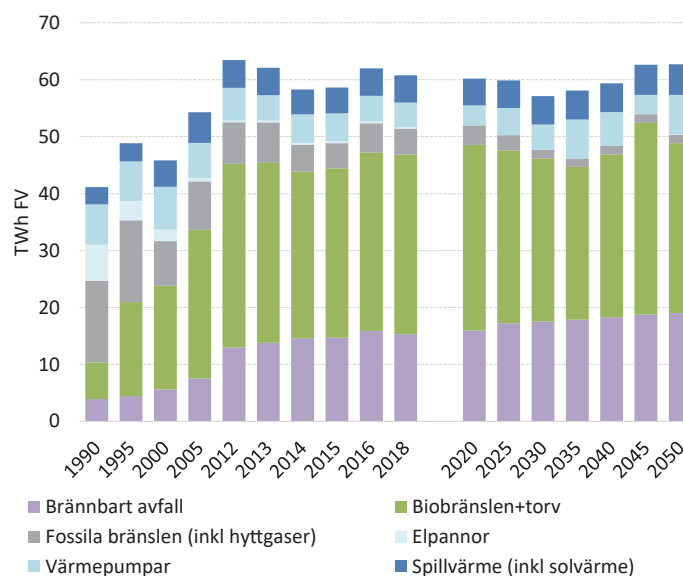
Klimatförändringar

En viktig faktor som bedöms kunna få stor inverkan på det framtida uppvärmningsbehovet, och därmed fjärrvärmebehovet, är den globala uppvärmningen. Forskning pågår för närvarande kring vilket genomslag klimatförändringar kan komma att få på uppvärmningsbehovet inom bland annat Energiforskprojektet "Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet" (se även faktaruta 3.1 i kapitel 3 om eltillförsel)⁴. En första preliminär skattning från det projektet är att den så kallade klimatsignalen (det vill säga den isolerade effekten från klimatförändringen, allt annat lika), kan minska uppvärmningsbehovet (exklusive varmvattenberedning) med i storleksordningen 5% till 2040 jämfört med idag. Detta givet

ett realistiskt klimatförändringsscenario och inom en överblickbar tidsrymd. Även i Energimyndighetens senaste analys av den långsiktiga utvecklingen för Sveriges energisystem gjorde man i ett av scenarierna en ansats för att spegla klimatförändringarna effekt på uppvärmningsbehovet. Där blev effekten på fjärrvärmebehovet tämligen odramatisk, i storleksordningen 1 TWh lägre fjärrvärmebehov jämfört med Energimyndighetens Basscenario till 2045.⁵

Fjärrvärmeproduktionen

När det gäller fjärrvärmeproduktionens bränslesammansättning så sker inga dramatiska förändringar i NEPP:s Basscenario, se Figur 8.3. De fossila energislagen fasas ut sånär som på den fossila



Figur 8.3. Fjärrvärmeproduktionens utveckling i NEPPs referensscenario. Källa 1990-2018: Energimyndigheten och Avfall Sverige.

4) <https://energiforsk.se/program/klimatforandringarnas-konsekvenser-for-energisystemet/>

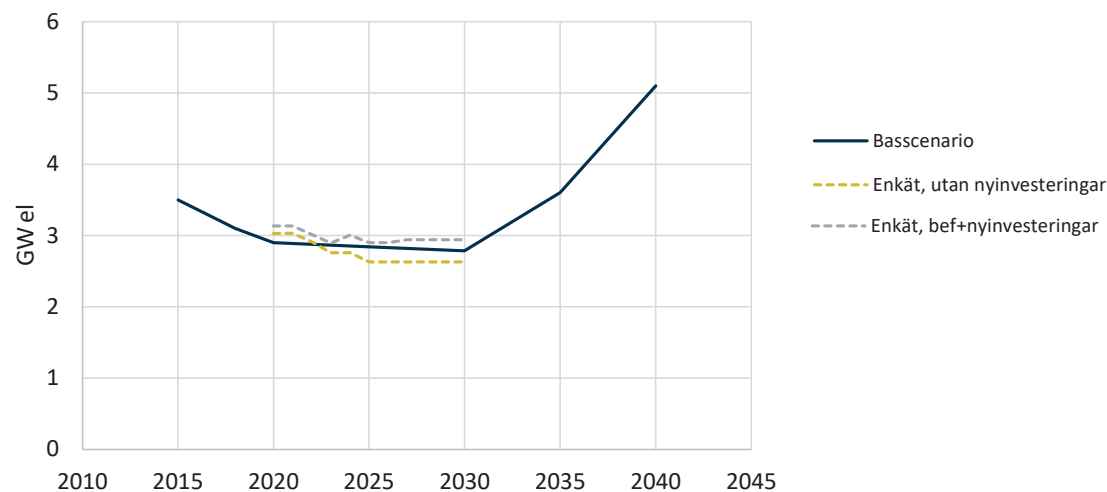
5) Energimyndigheten (2019)

andelen av det brännbara avfallet, hyttgaser och en mycket liten andel eldningsolja för spetslastproduktion. Biobränslen av olika slag och avfall är de två helt dominerande energislagen såväl idag som i framtiden. När det gäller NEPP:s Klimatscenario⁶ medför detta inga större skillnader relativt Basscenariot med avseende på fjärrvärmeproduktionen. Det beror delvis på att den ökande elektrifieringen antas ske inom transporter och industri (och inte på värmemarknaden utöver det som sker i Basscenariot). Däremot antar vi att mängden brännbart avfall är något lägre än i Basscenariot till följd av förbättrad utsortering och avfallsprevention. Dessutom är fjärrvärmeproduktionen helt befriad från fossila bränslen såväl för spetslastproduktion som i samband med hyttgaser från järn- och stålproduktion (som alltså elektrifierats).

Vi kommer fortsättningsvis i detta kapitel att uppehålla oss vid två viktiga produktionsslag för fjärrvärme, nämligen kraftvärme och avfallsbaserad fjärrvärmeproduktion. Vi tittar dessutom närmare på ytterligare ett potentiellt mycket viktigt sätt att producera fjärrvärme, nämligen förbränning av biobränslen och avfall i kombination med koldioxidavskiljning och -lagring.

Kraftvärmens bidrag

Kraftvärmens andel av fjärrvärmeproduktionen idag är stor och uppgår till drygt 60% medan hetvattenpannor endast levererar omkring 15%. Även för elsystemet spelar kraftvärmens i fjärrvärmesystemen en viktig roll. Eleffekten i svenska kraftvärmeverk uppgår



Figur 8.4. Installerad kraftvärmekapacitet (el) i fjärrvärmesystemen baserad dels på modellberäkningar för Basscenariot och dels på enkätsvar från en omfattande intervjustudie under 2018/2019.

6) Se faktaruta 2.1 för mer information

idag (2018) till omkring 3000 MW el medan elproduktionen från kraftvärmeverken har legat på ca 8-9 TWh de senaste åren.⁷ Trots att kraftvärme i grund och botten är resurs- och klimateffektiv, så är kraftvärmens satt under press. Det beror delvis på elmarknadens utveckling i stort, med en kraftig utbyggnad av variabel elproduktion som bitvis lett till en press nedåt på elpriset. Pressen på kraftvärmens beror också på andra faktorer såsom politiska skatte- och styrmedelsinitiativ som lett till en ökad osäkerhet, inför inte minst nyinvesteringar men också till förtida avveckling av viss befintlig kapacitet. Den något negativa bilden av kraftvärmens fortsatta position på den svenska el- och fjärrvärmemarknaden bekräftas av en intervjustudie som utfördes av Profu och på uppdrag av Energiföretagen Sverige under 2018/2019 (se Figur 8.4). Våra modellberäkningar indikerar att elproduktionen i de svenska kraftvärmeverken i NEPP:s Basscenario fram till 2030 endast kommer att ligga någon enstaka TWh över dagens produktion, medan den installerade effekten till och med kan komma att minska något (se Figur 8.4).

På längre sikt, efter 2030, indikerar modellberäkningarna att elproduktionen och eleffektbidraget från svensk kraftvärme åter kan öka som en följd av stigande elpriser, i synnerhet under vinterperioden då kraftvärmeverken normalt producerar. Kraftvärmens kan enligt modellberäkningarna komma att stå för 4-5 GW i produktionseffekt runt 2040. Detta kommer att bero på den tekniska utvecklingen för förgasningstekniker baserade på fasta biobränslen, eller på inställningen till högeffektiv naturgaseldad kraftvärme. Dessa är två alternativ med ett högt elutbyte på givet fjärrvärmeunderlag. Men kommersialiseringspotentialen för förgasningstekniker är idag mycket osäker. Samtidigt har fjärrvärmebranschen förbundit sig att göra fjärrvärmeproduktion fossilfri vilket därmed skulle utesluta naturgas på längre sikt. Å andra sidan kan utnyttjningstiden i nya konventionella biobränsleeldade kraftvärmeverk komma att öka i takt med stigande elpriser, vilket därmed skulle kunna leda till ökad elproduktion utan att den installerade el-

effekten ökar i motsvarande utsträckning. Detta är också något som bekräftas av modellberäkningarna.

Även om lönsamheten för ny kraftvärme är relativt svag under de närmaste åren bör man ha i åtanke att när väl behovet av styrbar eleffekt ökar ordentligt i framtiden så kan det delvis vara för sent att räkna med kraftvärmens. Redan idag måste ett flertal fjärrvärmeföretag fatta beslut om investeringar i ny fjärrvärmeproduktion för att främst ersätta äldre anläggningar. Om man till följd av rådande omständigheter beslutar sig för annan fjärrvärmeproduktion än kraftvärme, exempelvis hetvattenpannor, lär incitamenten att bygga kraftvärme om tio år vara begränsade. Detta beror på att det man väljer idag har en ekonomisk livslängd på typiskt två decennier och en teknisk livslängd på ännu mer. Problemet är att det idag saknas någon form av incitament för att fatta ett beslut som i ett längre tidsperspektiv och rent elsystemmässigt kanske hade varit att föredra.

Energiåtervinningens roll i fjärrvärmesektorn och i en cirkulär ekonomi

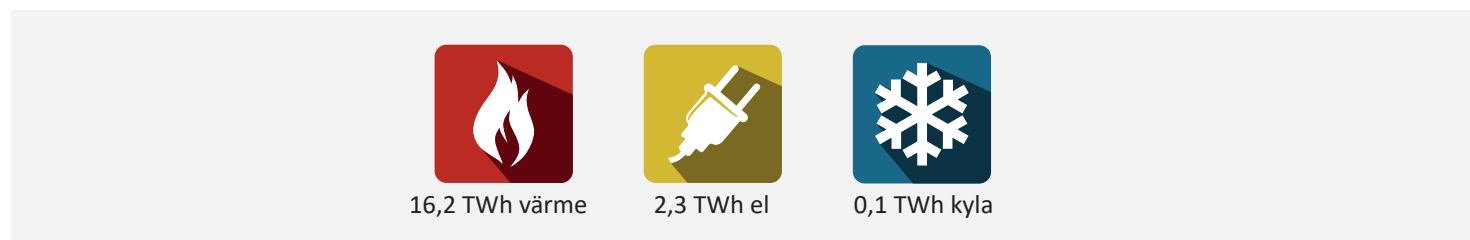
Energiåtervinning för avfall som skall fasa ur en cirkulär ekonomi

Energiåtervinning har en roll i en cirkulär ekonomi för att utvinna energi (el och värme) ur sådant avfall som inte kan eller får återanvändas eller återvinnas på annat sätt.⁸ Utgångspunkten är att energiåtervinning ska ske av avfall som till exempel innehåller farliga ämnen och som vi ska fasa ur samhället och inte cirkulera vidare.

Idag visar plockanalyser av avfall till energiåtervinning att mycket avfall från hushåll och från industrier har sorterats felaktigt eller bristfälligt, och hade kunnat förebyggas eller återvinnas. Till exempel innehåller hushållens restavfall, alltså soppsäcken till energiåtervinning, ungefär 30 % matavfall och 30 % förpackningar. Samtidigt innehåller brännbart avfall från byggnation omkring 30

7) Energiföretagen Sverige

8) RE:Source (2019)



Figur 8.5. Energi från avfall 2019: 16,2 TWh fjärrvärme, 2,3 TWh el samt 0,1 TWh fjärrkyla. Källa: Avfall Sverige.

% förpackningar främst emballageplast och well-papp.⁹ På lång sikt i en cirkulär ekonomi kan energiåtervinningen av svenskt avfall minska i kvantitet, men bli tydligare inriktat på avfall som inte kan eller får cirkuleras. Utmaningar och lösningar kring en ökad resurs-hushållning och åtgärder för att minska återvinningsbart avfall till energiåtervinning utvecklas i kapitel 7 om hållbarhet.

20 procent av fjärrvärmens från avfall

Energiåtervinning av avfall har en stor betydelse både i den svenska avfallshanteringen och i fjärrvärmesystemen, och har tillämpats sedan mitten av 1900-talet. Idag står avfall för mer än 20 procent av tillfört bränsle för fjärrvärme, se Figur 8.3. Utbyggnaden skedde kraftigt i inledningen av 2000-talet, när de svenska förbuden att deponera olika typer av avfall infördes, och man sökte andra alternativ för avfallsbehandling. Idag går nästan hälften av det svenska hushållsavfallet till energiåtervinning i avfallsförbränningsanläggningar, medan resterande del materialåtervinns eller återvinns biologiskt. Utöver detta tillkommer mängder verksamhetsavfall och importerat avfall.

Energiåtervinningen från avfall sker vid 35 olika anläggningar i Sverige. Samtliga är kopplade till ett fjärrvärmenät. Därutöver finns det industriella avfallsförbränningsanläggningar inom t.ex. cementindustrin. Sammanlagt utvanns vid dessa anläggningar 18,5 TWh energi från avfall år 2019, fördelat på 16,2 TWh fjärrvärme och 2,3 TWh el, se Figur 8.5.¹⁰ Utöver detta har tre anläggningar redovisat att de har levererat 0,1 TWh fjärrkyla. Sverige är det land i Europa, som utvinner mest energi per ton ur avfallet, cirka 3 MWh per ton.

Teknikutveckling och lagkrav har gjort Sverige världsledande

Kapacitet för energiåtervinning i Sverige uppgår till omkring 7 Mton, vilket är större än den nationella tillgången på brännbart avfall.¹¹ Svenska anläggningar för energiåtervinning behandlade därför under 2019 även cirka 1,5 Mton avfall från andra europeiska länder, vilket motsvarar drygt 20 procent. Importen skedde främst från Norge och England. Genom importen löses delar av avfallshanteringen i exporterande länder. I EU deponeras fortfarande totalt 179 miljoner ton avfall (2016).¹² För att öka resurs-hushållningen och minska miljöpåverkan av deponering, har EU

9) RE:Source (2019)

10) Avfall Sverige, www.avfallsverige.se. Hämtat augusti 2020

11) Avfall Sverige, www.avfallsverige.se. Hämtat augusti 2020

12) Eurostat (2019). Statistics explained: Waste management indicators

fastställt ett mål om att högst tio procent av allt hushållsavfall ska deponeras år 2035. Denna omställning till en mer cirkulär ekonomi innebär att miljoner ton avfall måste behandlas på annat sätt, bland annat genom energiåtervinning.

Genom förbättrad teknik och förbränningsförhållanden, ökade utsläppskrav, samt bättre kontroll av avfallet har utsläpp av föroreningar från energiåtervinning minskat betydligt de senaste decennierna, både till luft och till vatten. Även bottenaskan – slaggruset – omhändertas i större utsträckning. Mycket forskning pågår för att möjliggöra nyttjande av slaggrus utöver på deponier.

Energiåtervinning av restavfall som kvarstår efter insamling, sortering och materialåtervinning står för 58 procent av klimatutsläppen från fjärrvärmeproduktion i Sverige. Merparten av dessa utsläpp kommer idag från förbränning av restavfall som inte går att materialåtervinna av olika skäl, främst på grund av brister i produktionsledet. De uppkommer också för att konsumenter slänger plast som skulle gå att materialåtervinna i restavfallet.

Ett scenario för framtida energiåtervinning

I NEPP:s Basscenario ser vi en ökning av fjärrvärmeproduktionen från avfallsbränslen från dagens ca 15 TWh till knappt 20 TWh år 2050.¹³ Det är en knapp ökning av avfallsbränslen för fjärrvärmeproduktion, men i Basscenarioet finns samtidigt en inbyggd, ökad resurshushållning, när återvinningsbart avfall styrs över till mer cirkulära materialflöden samt att avfall förebyggs. Den typ av avfall som sänds till energiåtervinning år 2050 är alltså inte samma som idag.

I vårt Basscenario för avfall till energiåtervinning modellerar vi en fortsatt utveckling, närliggande dagens förhållanden, men mängderna till energiåtervinning ökar för att fylla en större efterfrågan på avfallsbränsle. De svenska restavfallsmängderna förväntas öka långsammare än kapaciteten, vilket innebär ökande import

och större importandel jämfört med idag. Här antas att samtliga utbyggnadsplaner enligt Avfall Sveriges kapacitetsutredning¹⁴ förverkligas. Andelen utsorterat material till materialåtervinning från byggsektorn och övriga sektorer ligger i detta scenario kvar på samma nivå som idag, dvs. de växer i takt med avfallsmängderna. I andra scenarier modellerar vi mängder avfall vid uppfyllelse av olika mål inom avfallssektorn, till exempel konsekvenser av större insatser för att förebygga och sortera ut plastavfall från olika avfallsströmmar. I exempelvis NEPP:s Klimatscenario antas att avfallsmängderna minskar och därmed även fjärrvärmeproduktionen från avfall.

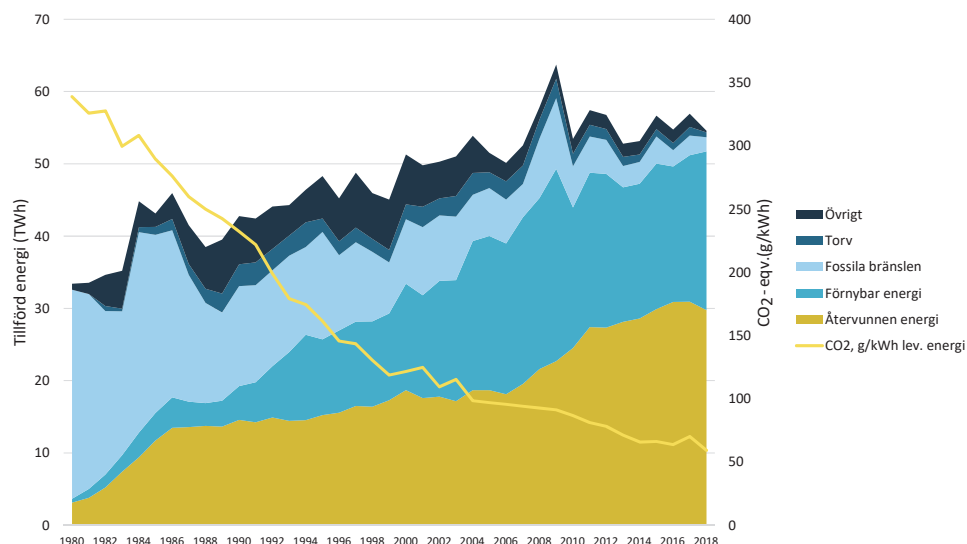
Avfallsgenerering är även hårt kopplad till konjunkturutvecklingen, med fokus på sektorer för byggnation och renoveringar, som genererar mycket avfall. Oavsett konjunkturutveckling och återhämtning efter coronapandemin, har Sverige ett stort och eftersatt renoveringsbehov i det befintliga byggnadsbeståndet, huvudsakligen i byggnader från miljonprogrammen. Detta kommer kräva ökade renoveringar på sikt vilket, kommer att innebära ökad tillgång på byggavfall.

Fjärrvärmens nyckelroll i omställningen mot, och bortom, nollutsläpp

För att uppnå Sveriges mål för nettonollutsläpp till 2045 kommer flera sektorer att väsentligt behöva minska sina utsläpp av växthusgaser. Fjärrvärmesektorn har i huvudsak redan gjort den resan och har minskat utsläppen med över 80% sedan 1980-talet räknat i specifika tal (se Figur 8.6). Det som återstår berör framförallt plastinnehållet i avfallet, olja för spetslast och hyttgaser för fjärrvärmeproduktion, främst i Luleå. Den fossila andelen i avfallet ligger ofta utanför fjärrvärmesektorns kontroll och involverar i allra högsta grad andra delar av samhället.

13) Eftersom energiåtervinningen ur avfall sker i kraftvärmeverk innebär NEPP:s Basscenario även en ökad elproduktion från avfall från dagens ca 3 TWh till ca 4,5 TWh år 2050. Vid tillämpning av CCS på avfallseldade kraftvärmeverk blir dock elproduktionen lägre

14) Sahlin och Solis (2019)



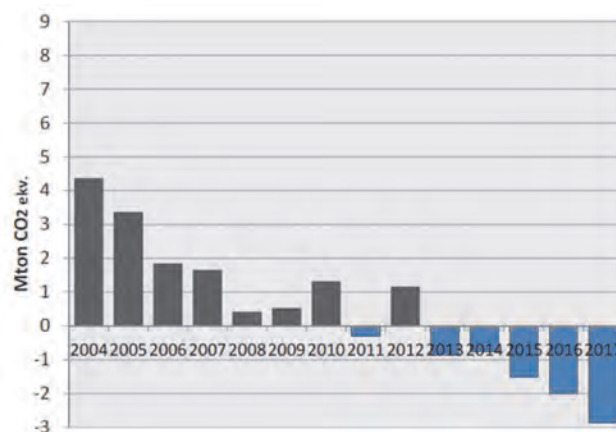
Figur 8.6. Tillförd energi till produktionen av fjärrvärme och specifika CO₂-utsläpp för fjärrvärme sedan 1980. "Övrigt" omfattar RT-flis, avfallsgaser, biooljor och rökgaskondensering. Källa: Energiföretagen Sverige.

Med ny teknik för koldioxidavskiljning från förbränning av bio-bränslen kan fjärrvärmesektorn i framtiden potentiellt fungera som en kolsänka, alternativt bidra till negativa utsläpp av växthus-gaser. Mycket talar för att detta blir nödvändigt dels för att minska de atmosfäriska halterna av växthusgaser, dels för att kompensera för sådana utsläpp som av olika anledningar kan vara mycket dyra att åtgärda.

En ökad elektrifiering inom energisystemet kommer med stor sannolikhet erfordra ökad sektorskoppling mellan elsektorn och andra sektorer, som exempelvis värme- och fjärrvärmemarknaderna. Med en kraftig ökning av variabel förnybar elproduktion kommer variabiliteten på elmarknaden att tillta vilket kommer att öka efterfrågan på variationshantering. Fjärrvärmesektorn som både producerar och förbrukar el kommer där att kunna spela en nyckelroll.

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 nettokonsument 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 genom utbyggnad av kraftvärme.



Figur 8.7. Nettoutsläppen av växthusgaser från svensk fjärrvärmeförsörjning givet en europeisk systemgräns avseende utsläppseffekter inom el- och avfallssystemet.

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 miljövinst som krediteras fjärrvärmen i en vidgad miljöbedömning.

I Figur 8.7 redovisar vi de samlade nettoutsläppen av växthusgaser som den svenska fjärrvärmeförsörjningen givit upphov till år 2004-2017. Figuren visar en systemanalys, 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 i systemperspektiv uppnådde nettonollutsläpp av växthusgaser, och dessutom negativa utsläpp sedan dess.

BECCS: en möjlighet till negativa utsläpp från fjärrvärmesektorn

Uppvärmningssektorn har i sin färdplan¹⁵ för fossilfrihet gemensamt bestämt att den från 2045 ska vara en kolsänka som hjälper till att minska de totala svenska växthusgasutsläppen. Kolsänkan ska möjliggöras med hjälp av avskiljning och lagring av biogen koldioxid (BECCS) och med biokol. Den svenska fjärrvärmesektorn har stora möjligheter att bidra till negativa utsläpp genom BECCS, tack vare den omfattande användningen av förnybara bränslen och flera initiativ pågår inom branschen (se längre fram i kapitlet).

Stor tilltro till BECCS som klimatåtgärd

BECCS innebär att koldioxid från förbränning av förnybara bränslen avskiljs, komprimeras och transporteras för permanent geologisk lagring. Avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) är inte en ny teknik men har tidigare främst varit fokuserad på koldioxid av fossilt

15) Fossilfritt Sverige (2018)

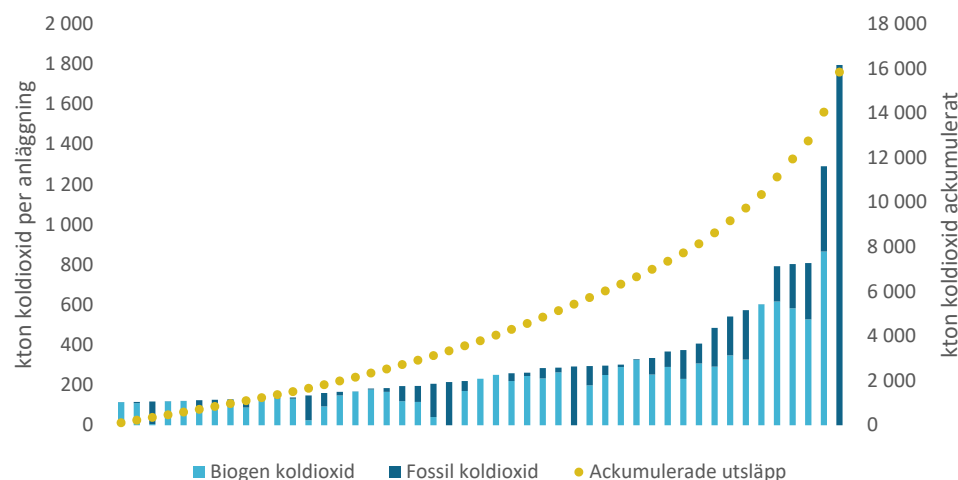
ursprung. Globalt finns ett drygt tiotal storskaliga CCS-anläggningar och i endast ett av dessa projekt avskiljs och lagras biogen koldioxid. Globalt sett är tilltron till BECCS som klimatåtgärd enormt stor. I tre av IPCC:s huvudscenarier för att begränsa uppvärmningen till 1,5 grader spelar BECCS en avgörande roll¹⁶, se Figur 1.5 i kapitel 1 om politik. Användningen av BECCS i de olika scenarierna varierar både beroende på hur snabbt utsläppen från fossila bränslen minskar och i vilken utsträckning andra åtgärder för negativa utsläpp tillämpas.

Intresset för BECCS i Sverige har också ökat sedan 2045-målet om netto-nollutsläpp av växthusgaser fastställdes. Den statliga Klimat-

politiska Vägvalsutredningen har detaljstuderat möjligheterna för så kallade ”kompletterande åtgärder” (bl.a. BECCS) att bidra till minusutsläpp¹⁷. Stor potential bedöms finnas inom skogsindustrin samt i fjärrvärmesektorn.

Goda möjligheter till minusutsläpp i fjärrvärmesektorn

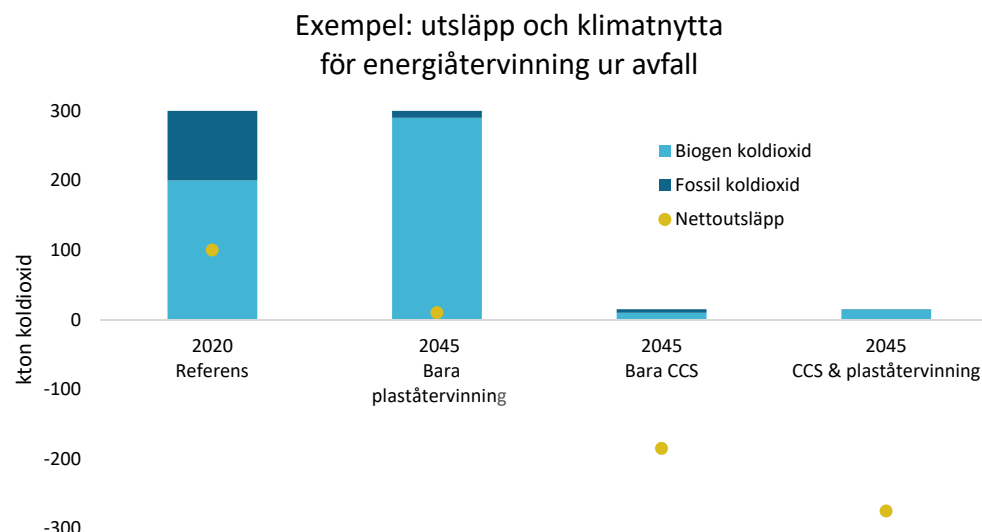
Den omfattande användningen av biobränslen ger fjärrvärmebranschen goda förutsättningar att tillämpa BECCS. För att en anläggning ska vara intressant för BECCS kan inte utsläppen av biogen koldioxid vara för små. Kostnaden per ton avskild och lagrad koldioxid blir helt enkelt för hög om utsläppen är små. Figur 8.8 visar utsläpp av koldioxid från svenska fjärrvärmeanläggningar enligt 2016 års statistik.



Figur 8.8. Koldioxidutsläpp av biogent respektive fossilt ursprung samt ackumulerade utsläpp från svenska fjärrvärmeanläggningar (>100 kton koldioxidutsläpp). I figuren visas, utöver avfalls- och biobränsleeldade anläggningar, även anläggningar som i huvudsak förbränner fossila bränslen. Källa: Naturvårdsverkets utsläppsstatistik för 2016. Sedan 2016 har en del förändringar skett, bland annat har en del fossila bränslen fasats ut.

16) IPCC (2018)

17) SOU (2020). Med kompletterande åtgärder avses åtgärder som kan bidra till att minska koncentrationen av växthusgaser i atmosfären, t.ex. BECCS, biokol och ökad kolsänka i skog och mark



Figur 8.9. Fiktivt exempel på klimatnyttan med plaståtervinning och/eller CCS vid energiåtervinning ur avfall för en anläggning som antas generera totalt 300 kton koldioxid. I Bascenariot antas en tredjedel av koldioxidutsläppen vara av fossilt ursprung och två tredjedelar av biogent. I fallen med CCS antas avskiljningsgraden år 2045 vara 95% och i fallen med plaståtervinning antas 10% av koldioxidutsläppet år 2045 vara av fossilt ursprung.

År 2016 fanns tre biobränsleeldade fjärrvärme-anläggningar med utsläpp över 300 kton biogen koldioxid och ytterligare ca tjugo anläggningar som släppte ut mellan 100-300 kton¹⁸. Totalt släppte dessa anläggningar ut drygt 5 miljoner ton biogen koldioxid. För fjärrvärmebranschen finns även potential till synergier med att avskilja och lagra koldioxid från anläggningar för energiåtervinning av avfall. 2016 fanns 18 sådana kraftvärmeverk med årliga utsläpp överstigande 100 kton koldioxid. Totalt släppte dessa ut ca 7 Mton koldioxid, varav ungefär två tredjedelar av biogent och en tredjedel av fossilt ursprung. Hälften av anläggningarna släpper ut mer

än 300 kton. I takt med att mängden plast som går till avfallsförbränning minskar kommer andelen biogen koldioxid att öka och därmed nyttan med avfalls-CCS som klimatåtgärd, se exempel i Figur 8.9.

Fjärrvärmebranschen satsar på BECCS och avfalls-CCS

BECCS kommer att krävas för att uppvärmningssektorn ska möta åtagandet i färdplanen för fossilfrihet om att från 2045 vara en kolsänka. Det pågår också en hel del initiativ inom branschen för att analysera och testa möjligheterna till avskiljning och lagring av

18) Det är dock inte säkert att alla dessa anläggningar är lämpliga för CCS och det kan även finnas mindre anläggningar som lämpar sig väl trots liten volym, exempelvis om lokaliseringen är gynnsam

koldioxid från förbränning av biobränslen och avfall. Några initiativ sammanfattas nedan:

Stockholm: Stockholm Exergi har som ett av de första företagen i världen presenterat ett scenario för hur man går från minskade utsläpp till negativa utsläpp. Deras beräkningar indikerar en potential att avskilja 850 kton koldioxid per år vid Värtaverket i Stockholm.¹⁹ 2019 installerades en testanläggning för att avskilja koldioxid från kraftvärmeverket. Tekniken, dvs. avskiljning efter förbränningen med varm kaliumkarbonat, är vanlig i industriella processer men det är första gången den testas i anslutning till ett biokraftvärmeverk. Efter testet ska beslut fattas om en möjlig pilot eller en fullskalig anläggning.

Uppsala: Vattenfall, Uppsala kommun och Uppsala universitet samarbetar om en genomförbarhetsstudie för BECCS i Uppsala. Studien är ett led i kommunens långsiktiga planering och mål att bli klimatpositivt år 2050. I projektet ska såväl kommersiellt tillgänglig som framtida möjlig CCS-teknik analyseras med avseende på energiintegration och teknoekonomiska prestanda. Projektet kommer även att analysera frågor kopplade till logistik i en lokal kontext.

Helsingborg: Öresundskraft planerar att senast 2025 ha en anläggning för avfalls-CCS i drift vid Filbornaverket i Helsingborg. Planen är driven av Helsingborgs mål om att 2035 uppnå nettonollutsläpp av växthusgaser och att det samma år inte ska finnas plast av fossilt ursprung i restavfallet. Förbränning av plast utgör idag en av de få utsläppskällor från Öresundskrafts verksamhet. I takt med minskning av plastinnehållet i restavfallet kommer klimatnyttan med CCS-anläggningen successivt att öka (jämför med Figur 8.9).

De två förstnämnda initiativen har sökt och erhållit stöd från Energi-myndighetens program Industriklivet.

Incitament behövs för att CCS-anläggningar ska bli verklighet

BECCS och avfalls-CCS innebär både höga investeringskostnader och ökade löpande kostnader. Klimatpolitiska vägvalsutredningen har sammanfattat ett flertal olika kostnadsbedömningar för gynnsamma anläggningar²⁰ och uppskattar kostnaden i storleksordningen 650-1100 SEK/ton lagrad koldioxid, se Figur 8.10. Eftersom biogen koldioxid inte ingår i utsläppshandeln har den idag inte något ekonomiskt värde. Statliga incitament krävs därför för att företag ska våga investera. Utredningen har föreslagit att staten ska tillämpa så kallade "omvända auktioner" för negativa koldioxidutsläpp genom BECCS. Det innebär att staten skapar en långsiktigt garanterad efterfrågan på avskild och lagrad biogen koldioxid och att de aktörer som kan leverera detta till lägst pris vinner auktioneringen. På längre sikt är det möjligt att fjärrvärmekunders efterfrågan på minusutsläpp blir tillräckligt stor för att täcka åtminstone delar av kostnaderna för BECCS.

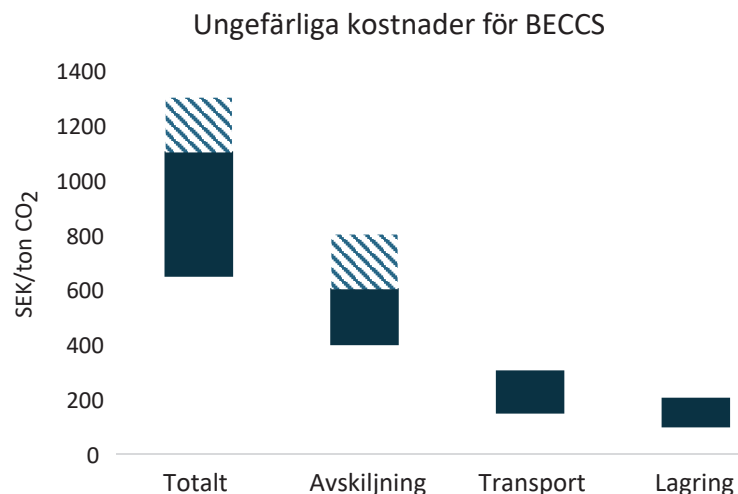
Det finns även några specifika hinder för BECCS som måste lösas för att tekniken ska bli verklighet. Detta gäller exempelvis var och hur lagring ska ske och om det är möjligt inom ramen för internationella miljökonventioner. Det behövs även platsspecifika förstudier för att djupare analysera de tekniska och organisatoriska förutsättningar som finns för varje enskild anläggning att tillämpa BECCS (och avfalls-CCS). Sådana studier behövs också för att se vilka möjligheter som finns att sänka kostnaderna, exempelvis genom samverkan med närliggande anläggningar.

Som framgår av IPCC:s 1,5-graders-scenarier är BECCS troligen en nödvändigt för att vi ska kunna uppnå klimatmålen.²¹ Den svenska fjärrvärmebranschen har här mycket goda möjligheter att utgöra en betydande del av lösningen både genom att bidra med negativa utsläpp och export av teknik och erfarenheter.

19) Levihn F. m.fl. (2019)

20) Hur gynnsam en anläggning är för BECCS avgörs av platsspecifika förhållanden, såsom koldioxidhalt i rökgaser, antal skorstenar, möjlighet till partiell avskiljning för att maximera användning av tillgänglig restvärme, möjligheter till infrastruktur och samarbete med närliggande anläggningar.

21) IPCC (2018)



Figur 8.10. Ungefärliga kostnader för olika steg i BECCS-kedjan enligt en sammanställning från Klimatpolitiska Vägvalsutredningen. Fyllda fält avser anläggningar som enligt utredningen anses gynnsamma för avskiljning. Streckade fält avser tillkommande kostnader för ytterligare anläggningar som bedöms lämpliga för BECCS, men med något högre kostnader än de mest gynnsamma. Källa: SOU (2020).

Fjärrvärme som variationshanterare på elmarknaden

Fjärrvärmesystemen har möjlighet att bidra som variationshanterare på elmarknaden. Totalt sett är dock de samlade svenska fjärrvärmesystemen klart mindre än den omgivande elmarknaden, som i sin tur växer i takt med att integrationen mellan de europeiska elmarknaderna fortskrider. Detta innebär att de kortsiktiga effektvariationerna i det framtida elsystemet kommer vara avsevärt större än vad som kan absorberas av fjärrvärmesystemen. Men detta innebär inte att fjärrvärmesystemen saknar betydelse för att hantera den framtida elbalansen – sannolikt tvärtom. Den ökade variabiliteten på elmarknaden kommer att fordra en palett

av åtgärder för att säkerställa leveranssäkerheten i varje tidpunkt. Bland dessa åtgärder kommer kraftvärmen, värme-pumparna, elpannorna och ackumulatorerna i fjärrvärmenäten att ha en viktig roll att spela, tillsammans med annan reglerbar kraftproduktion och andra åtgärder på användarsidan.

Modellanalyser inom ramen för NEPP och andra närliggande studier ²² visar att under relativt ansträngda situationer kan kraftvärmeverken leverera nära maximal effekt, samtidigt som elförbrukningen i fjärrvärmenäten är mycket begränsad. Sådana ansträngda situationer uppstår typiskt då elbehovet är stort samtidigt som bidraget från vindkraft är litet. En större framtida kraftvärmekapacitet, genom exempelvis teknikutveckling med fokus på ökat

22) Unger och Holm (2019)

elutbyte, gör direkt systemnytta genom att den (säkert) tillgängliga effekten i Sverige ökar, allt annat lika. Detta kommer att vara särskilt värdefullt under ansträngda situationer när alternativen utgörs av ökat importberoende, dyr reservkraft eller ytterligare åtgärder på användarsidan.

När det gäller den omvända situationen, det vill säga när fjärrvärmesystemen lämpligen förbrukar billig ”överskottsel”, utgör dagens elskatt ett reellt hinder. Även om elen skulle vara nästintill gratis kommer den rörliga produktionskostnaden att vara omkring 35 öre/kWh för en elpanna och kanske en tredjedel så stor för en värmepump, på grund av elskatt. En värmepump kommer sannolikt inte att byggas för att utnyttja billig el under kortare tidsperioder men väl en elpanna där investeringskostnaden är relativt liten. Tar vi bort elskatten så kan vi med hjälp av modellberäkningar se att elpannor går in och utnyttjar lågpriset el i klart större omfattning än om vi behåller elskatten. Denna effekt blir dock systemmässigt betydande först om Sveriges fjärrvärmesystem gör omfattande investeringar i elpannor. Även annan prisflexibel elanvändning, exempelvis via lastförskjutning av elbaserad uppvärmning i byggnader eller av hushållsel, kan komma att få en förstärkt inverkan på elprisbilden. Förstärkningen kan uppstå om elskatten för sådan elanvändning reduceras eller tas bort, och/eller om graden av flexibilitet ökar. På så sätt existerar en framtida konkurrenssituation om den billiga elen som i sig har en dämpande inverkan på hur lågt elpriserna kan sjunka. De perioder då elpriset på den framtida marknaden i Sverige är riktigt lågt sammanfaller ofta, men inte alltid, med perioder då efterfrågan är låg och då den förnybara elproduktionen producerar stora volymer. Sådana perioder uppträder normalt utanför uppvärmningssäsongen. Detta faktum i sig leder till en naturlig begränsning för vad fjärrvärmesystemen förmår absorbera med avseende på billig ”överskottsel”, i synnerhet om man inte har säsongslager att tillgå.

Slutligen, så innebär möjligheten att använda fjärrvärme i slutanvändarledet i sig ett sätt att minska belastningen på elsystemet under ansträngda perioder. Generellt handlar det om en engångs-åtgärd, det vill säga ett investeringsbeslut, och ingen flexibilitets-åtgärd i egentlig mening. Man väljer alltså fjärrvärme som uppvärmningsalternativ istället för exempelvis värmepumpar. Har man bägge alternativ kan man erbjuda sådan flexibilitet på elmarknaden, exempelvis under perioder då elbalansen är ansträngd. Det innebär att belastningen på fjärrvärmesystemet ökar, i synnerhet om detta sammanfaller med kall väderlek, och förutsätter därmed att det lokala fjärrvärmesystemet kan hantera ytterligare fjärrvärmeleveranser. Sannolikt krävs också att den lokala prismodellen för fjärrvärme speglar de ökade kostnaderna för fjärrvärmesystemet under sådana perioder.

Utan fjärrvärme skulle elbalansen vara avsevärt mer ansträngd

När man diskuterar fjärrvärmens påverkan på den framtida effektbalansen i elsystemet är det inte bara kraftvärmens eleffektbidrag då elsystemet är ansträngt, fjärrvärmesystemens användning av el i elpannor och värmepumpar vid överskottssituationer som är viktig. Ännu viktigare är den undvikna elanvändning för uppvärmning i bebyggelsen som fjärrvärmens innebär.

Fjärrvärmens har i dagsläget en marknadsandel på drygt 50 % av uppvärmningen av bostäder och lokaler. I dagsläget levereras ca 49 TWh fjärrvärme under ett normalår. Om man gör tankeexperimentet att det inte skulle finnas någon fjärrvärme i Sverige, utan att moderna värmepumpar istället skulle ge motsvarande värme. Hur skulle det påverka elanvändning och eleffektbehov?

För värmepumparna antar vi här en värmefaktor på 3,45 och ett maxeffektbehov som ges av en utnyttjningstid på 2150 h. Data utgörs av verkliga data hämtade från värmekostnadsberäkningsprogrammet Fjärrkontrollen.²³

23) <http://www.profu.se/fjkoll.htm>

Av dessa antaganden följer att om 49 TWh fjärrvärme ska ersättas med värmepumpar så kommer det att medföra att den årliga elanvändningen skulle öka med drygt 14 TWh och eleffektbehovet under ett normalår med 7 GW.

Dessutom innebär en situation utan fjärrvärme att det inte heller kan finnas någon kraftvärme kopplad till fjärrvärme. Det innebär att det jämfört med dagens situation skulle falla bort 3 GW elproduktionskapacitet.

Utan fjärrvärme skulle alltså den svenska elbalansen försämrats med $7 + 3 = 10$ GW.

En normalvinter är det maximala eleffektbehovet i Sverige 26,6 GW.²⁴ Enligt den statiska effektbalansen uppgår då importbehovet till 1,7 GW. Utan fjärrvärme skulle eleffektbehovet istället upp-

gå till 34 GW och samtidigt 3 GW mindre produktionskapacitet. Allt annat lika skulle det ge ett importbehov på hela 12 GW. Det överstiger dagens kapacitet i överföringsförbindelser till grannländerna.

Detta är också eleffekt som i stor utsträckning skulle tillkomma i städer där man redan i dagsläget har elnätskapacitetsbrist som hotar städernas tillväxt. Även om detta är ett hypotetiskt och förenklat räkneexempel förstår man icke desto mindre fjärrvärmens stora betydelse för att hålla tillbaka det samlade svenska eleffektbehovet.

24) Svenska Kraftnät (2020)

Kapitel 9



Energilandskapet är i snabb förändring

Energilandskapet är i snabb förändring. Förändrade och nya energibehov, förändrad energitillförsel, digitalisering och nya aktörer är några av de faktorer som, tillsammans med förändringar i omvärlden, leder till nya förutsättningar för energisystemet och dess aktörer. Frågan är hur energilandskapet förändras, i vilken takt och riktning. Hur ska vi tillsammans uppnå ett robust, leveranssäkert och hållbart energisystem givet dessa, ibland omvälvande, förändringar? Vad kommer samhälle och individer att acceptera och hur ska energibolag, kunder och övriga aktörer navigera och agera i detta nya energilandskap?

Vi befinner oss idag i en tid som präglas av geopolitisk instabilitet, social oro och en globalisering på reträtt. Samtidigt kräver den pågående klimatförändringen att världen går samman och styr mot en gemensam målbild. Energisystemet utgör ett nav i klimatomställningen, och blir alltmer sammankopplat och digitaliserat. Den stationära energisektorn

binds i allt högre grad samman med transportsektorn, och kontaktytorna mellan de olika energimarknaderna, såsom el, fjv, biobränslen och gas, ökar. Energisystemet kan genom dessa kopplingar stärka och befästa sin roll som möjliggörare för omställningen i resten av samhället.

För morgondagens energiaktörer skapar detta både stora utmaningar och möjligheter. Dagens aktörer får finna sig i att konkurrensen hårdnar och att nya spelare från andra branscher, eller tidigare konsumenter av energitjänster, tar plats. Samtidigt öppnar detta för helt nya och innovativa partnerskap. En viktig del av utvecklingen mot ett hållbart samhälle sker på lokal nivå, där politiska mål och ambitioner ska implementeras och genomföras. Samtidigt ser vi flera exempel på att lokala 'flaskhalsar' och effektbrist kan begränsa städernas tillväxt och skapa hinder i omställningen. Nya konstellationer behövs, och en ökad samverkan och dialog blir avgörande för hur väl omställningen lyckas.



De viktigaste slutsatserna

1. Den omställning av samhället som pågår har potential att förändra energilandskapet i grunden.
2. Acceptans, tillit och ansvar blir avgörande för hur väl vi lyckas med utvecklingen inom energisystemet.
3. Dialogen mellan energisystemets aktörer och betydelsen av systemperspektivet blir allt viktigare när komplexiteten och målkonflikterna ökar.
4. Omställningen drivs i hög grad på lokal nivå av nya aktörer och i nya konstellationer.
5. Digitaliseringen och dess möjligheter och utmaningar är nyckelfrågor för energibranschen.
6. Kundernas och konsumenternas behov och förväntningar på energibolag och energisystem förändras.

Inledning

I detta kapitel vill vi blicka in i framtiden för att peka på de möjligheter och utmaningar som energisektorns aktörer kan komma att stå inför de kommande decennierna. Det enda vi med säkerhet vet är att framtidens energilandskap inte kommer att bli eller se ut som vi tror, oavsett vad vi vet – eller tror oss veta – idag. Dagens och gårdagens sanningar står sig ofta inte i ett längre tidsperspektiv, och det är endast i retrospekt som det är möjligt att se de verkliga mönstren och strömningarna som har format utvecklingen av samhälle och individer. Inte minst har vi under 2020, genom coronapandemin, fått en insikt i hur snabbt det vi tar för givet kan förändras.

Vår ansats här är att resonera kring de trender vi ser idag, effekterna av dessa och vilka möjligheter och utmaningar trenderna skapar för energibranschen och energisystemet idag och (kanske) imorgon. Vi gör det utifrån de arbeten som har genomförts inom NEPP men också utifrån annan forskning och andra studier.

Omställningen av samhället har potential att förändra energilandskapet i grunden

Samhället befinner sig i en omfattande och genomgripande omställning som har potential att förändra energilandskapet i grunden. Visserligen pågår en ständig förändring av energisystemet men det finns skäl att tro att den utveckling och den förändringskraft som vi nu står inför kan komma att få mer genomgripande konsekvenser än tidigare i historien. Kanske möter vi ett energilandskap med nya aktörer och ett ökat kundfokus, som går från storskaligt och produktionscentrerat till småskaligt, lokalt och decentraliserat, och en tillförselmix, i synnerhet på elsidan, som kan se helt annorlunda ut inom ett par decennier.

FRAMTIDSSPANINGAR

Framtidsspaningar handlar sällan om en enda framtid, utan om en rad möjliga framtidsbilder. Vilka ögon man betraktar framtiden med har en påverkan på den framtid man önskar och hoppas på och huruvida man lyckas få beslutsfattare att agera istället för att resignera.¹

Inte minst spelar det roll utifrån vilket perspektiv och med vilket raster man betraktar omvärlden, nutiden och framtiden. Framtidsstudier kan alltså ha olika syfte, till exempel (Naturvårdsverket, 2005):

- Förutsäga framtiden eller visa troliga utfall (dvs prognoser)
- Visa möjliga utfallsrum eller eventualiteter (dvs bygga upp scenarier)
- Beskriva önskvärda eller hotfulla framtidsbilder (subjektiva scenarier alternativt visioner)

NEPP:s forskning baseras till mångt och mycket på olika former av scenarioanalyser. Scenarioanalyser har en viktig roll i att öka *förståelsen* för det system man studerar och att belysa eller kvantifiera effekter av de val man gör idag baserat på dagens kunskap om såväl det existerande systemet som den framtida utvecklingen. I detta kapitel använder vi dock inte någon av ovan nämnda utgångspunkter utan resonerar istället runt några av de faktorer som kan påverka utvecklingen.

1) Gaub (2019a) konstaterar om analyser av framtiden att de många gånger har en sak gemensamt – nämligen pessimism. Framtiden är i högsta grad osäker men en Googlesökning på "Future 2030" visar att framtiden beskrivs förvånansvärt likt många gånger. Enligt Gaub målar de flesta av dessa framtidsbilder en farligare, mer riskfylld värld. För mycket pessimism i de analyser man gör om framtiden riskerar dels att leda fel i antaganden om framtiden som mer katastrofal än vad den nödvändigtvis blir, dels att, istället för att bidra till agerande leda till handlingsförlamning och rädsla.

Omställningen av samhället påverkas och drivs av olika typer av omvärldstrender där megatrender är de övergripande, storskaliga trender som redan pågår. De formar och påverkar vår omvärld, vårt samhälle och oss som enskilda individer, vare sig vi vill eller inte. Megatrender kan därför ses som redan fastlagda skeenden och förändringar som vi måste ta hänsyn till när vi blickar framåt. De är starkt kopplade till nutiden och gör delar av framtiden något mer tydlig och därmed inte helt främmande. Till sådana megatrender hör till exempel de pågående klimatförändringarna, en snabbt ökande och samtidigt allt mer åldrande befolkning, minskad fattigdom och en fortsatt urbanisering.² Till megatrenderna hör även digitaliseringen, som har pågått under lång tid men som det senaste decenniet har skett med en högre hastighet än tidigare än tidigare. Om den första vågen av digitalisering främst handlade om att digitalisera information och att använda digitala kanaler i form av internet, består den digitaliseringsvåg vi nu är inne i av en mycket snabb utveckling inom framförallt olika typer av AI-teknologier som språkinläring, bildigenkänning, beslutsstöd och avancerad robotisering och automation.

På samma gång som digitalisering ger oss nya möjligheter till kunskap, när en allt större del av världens befolkning har tillgång till internet och därmed mänsklighetens samlade intelligens, skapar samma teknik "filterbubblor". Dessa kan förstärka rädsla och oro för förändringar hos delar av befolkningen vilket i förlängningen kan destabilisera politiska system. Fler människor än någonsin förr lyfter sig ur fattigdom vilket skapar förväntningar på tillgång till det vi i västvärlden länge har tagit för givet. Detta inte minst vad gäller konsumtionsvaror, leveranssäker el och allt som hänger ihop med en förhöjd levnadsstandard, men också en förväntan på demokratiska och icke-korrupta politiska system. På samma gång syns tecken på att tilliten till demokratin, inte minst i västvärlden, urholkas och vi har under det senaste decenniet gått mot en mer ofri värld.

³ Delvis som en följd av detta visar globaliseringen tendenser till avmattning samtidigt som nationer blir alltmer protektionistiska. Detta sker på samma gång som den globala makten och världsekonomin förskjuts österut, mot ett Kina med ambitioner att ta över den roll som USA har haft, som global supermakt sedan andra världskriget.

Utöver de samhällsövergripande megatrenderna finns det andra kategorier av trender och drivkrafter som påverkar samhällsutvecklingen och den omställning som energisystemet är inne i. Det finns en stor och omfattande begreppsflora inom ämnesområdet framtidsstudier vad gäller hur man ska definiera och vad som avses med begrepp som trender och drivkrafter.⁴ En trend kan beskrivas som en generell och allmän tendens eller riktning med vilket något förändras över tid. Trender kan vara svaga, ökande eller minskande, alternativt stabila. Drivkrafter är faktorer som skapar förändring, driver på utveckling och trender och därmed påverkar och/eller formar framtiden. De kan vara antingen direkta eller indirekta/underliggande drivkrafter.

Figur 9.1 visar de övergripande megatrenderna tillsammans med exempel på de många subtrender, drivkrafter, katalysatorer och möjliggörare som påverkar hur det framtida energilandskapet utvecklas. Det är inte självklart – och kanske inte heller meningsfullt – att kategorisera vad som är en subtrend, katalysator eller möjliggörare, eftersom dessa aspekter är starkt sammanhängande. Digitalisering är till exempel en megatrend, men det är också en drivkraft och en möjliggörare för energiomställningen. Likaså kan utvecklingen inom till exempel energilagring och elektrifiering ses både som subtrender, möjliggörare och drivkrafter. Dessa bidrar till att hantera klimatförändringar genom att minska beroendet av fossila bränslen, skapa lokal lösningar och koppla samman olika sektorer.

2) Se t.ex. Gaub (2019b)

3) Freedom House (2020). Freedom in the World 2020. A Leaderless Struggle for Democracy. Highlights from Freedom House's annual report on political rights and civil liberties

4) En sammanställning av olika begrepp inom framtidsstudier finns t.ex. i A Glossary of Terms commonly used in Future Studies. Forward Thinking Plattform (2014)



Figur 9.1. En översiktlig beskrivning av hur de övergripande megatrenderna i samhället förhåller sig till de subtrender, drivkrafter, katalysatorer och möjliggörare vi ser som påverkar och driver energiomställningen.

Klimatfrågan i sig skyndar på omställningen och skapar nya drivkrafter. Enskilda aktörer inom både privat och offentlig sektor sätter upp klimatrelaterade mål för att ställa om verksamheter. De som går före och lyckas kan förhoppningsvis åtnjuta konkurrensfördelar. Vi ser idag uppmärksammade exempel på samarbeten där bolag till och med försöker att förändra tusenåriga industriprocesser såsom stålframställning⁵ med syfte att minska växthusgasutsläppen. Omställningen till fossiloberoende, förnybart eller klimatsmart (olika aktörer väljer mellan ett flertal olika benäm-

ningar och fokus, se kapitel 7 om hållbarhetsaspekter) kan ske på kommersiella grunder, men även drivas i varumärkesbyggande och legitimitetsökande syfte. Den driver enskilda aktörer till att ta egna initiativ och investeringar, som ofta skiljer sig från traditionell investeringslogik inom energisystemet.⁶ Privatpersoners intresse för solen är ett sådant exempel. Intresset bygger många gånger på helt andra incitament än att få tillgång till "ren elförsörjning", såsom känslan av att bidra till energisystemet och att ha rådighet över sin egen försörjning.

5) HYBRIT, som exemplet syftar på, är ett samarbete mellan SSAB, LKAB och Vattenfall med syfte att utveckla en fullskalig fossilfri process för ståltillverkning till år 2035 genom att byta ut koks som reduktionsmedel till vätgas

6) Läs mer om investeringslogiker och drivkrafter i *Drivkrafter och ansvar för investeringar i förnybar kraftproduktion*, NEPP 2020

Den variabilitet som följer med ökad andel sol- och vindkraft driver flera trender inom energisystemet. Variabiliteten leder till diskussion om lagringsmöjligheter, effektfrågan och det tidsberoende värdet av el. Den relativt låga kostnaden för vind- och solkraft är också en drivkraft i den storskaliga elektrifieringstrenden som pågår i samhället. Även modulariteten i teknikerna (dvs. att de kan byggas i princip var som helst och i olika stora moduler) bidrar till decentraliseringen och småskaligheten. Utvecklingen inom energisystemet leder i sin tur till att det ställs nya krav på befintlig infrastruktur, inte minst på grund av förändrade behov och egenskaper hos nya energikällor men även på grund av att fler och nya aktörer kommer in på olika nivåer i energisystemet.

Under de senaste två decennierna har forskningen om energisystemets utveckling och omställning rört sig alltmer från enbart teknoekonomiska studier till det område som på engelska kallas transition studies, ett område i gränslandet mellan innovationsstudier, ingenjörsvetenskaper, evolutionär ekonomi och vetenskapshistoria. Här studeras energisystemets utveckling och omställning utifrån ett socio-tekniskt perspektiv med fokus på skiftet från ett system till ett annat. Ett exempel från forskningen är synen på energianvändarnas roll som viktiga beslutsfattare i de förändringsprocesser som driver systemskiften.⁷ Snarare än att se på energianvändare enbart som konsumenter, som tar rationella och medvetna beslut, bör man betrakta deras roll som en viktig pådrivare av omställningen av energisystemet. Ett tydligt exempel är just solekens utveckling, där privatpersoner i mångt och mycket kan ses som den främsta katalysatorn för den snabba utveckling som vi idag ser på området. Genom att belysa energianvändarnas aktiva roll, drivkrafter och inställning kan vi få en större förståelse för de bakomliggande faktorerna i energiomställningen.

Acceptans, tillit och ansvar blir avgörande för hur väl vi lyckas med omställningen inom energisystemet

Utvecklingen inom energisystemet beror till stora delar på hur väl allmänheten accepterar olika åtgärder och tekniker utifrån den inverkan dessa får på människors välbefinnande men också utifrån vilka attityder och normer som vi människor styrs av. Hur väl omställningen lyckas är alltså i högsta grad beroende av allmänhetens acceptans för till exempel nya vindkraftparker, utbyggda elnät, energipriser och -skatter. Den upplevda risken för exempelvis kärnkraft, lagring av koldioxid och vätgas användning påverkar också, liksom tilliten till systemet och hur leveranssäker energisystemet är.

Inom ramen för NEPP har en rad intervjuer genomförts med branschaktörer i syfte att beskriva hur de ser på energimarknadernas utveckling med avseende på bland annat ansvar och roller i energisystemet. En återkommande oro har handlat om risken för att ingen har det långsiktiga ansvaret för att elförsörjningen kan svara upp mot elbehovet, främst då man förutser minskad tillgång på planerbar kraft när effektsituationen ser ut som den gör idag. Avsaknad av ett, åtminstone upplevt, långsiktigt gemensamt eller tydligt ansvar för elförsörjningen skadar tilliten till systemet och riskerar att inverka negativt på investeringar i Sverige, både från den inhemska industrin och utländska investerare. Även allmänhetens förtroende för systemet och acceptans för olika energitekniker står på spel om man inte bemöter människors oro för el- och effektbrist med fakta och information.

7) HYBRIT, som exemplet syftar på, är ett samarbete mellan SSAB, LKAB och Vattenfall med syfte att utveckla en fullskalig fossilfri process för ståltillverkning till år 2035 genom att byta ut koks som reduktionsmedel till vätgas

Alla stora samhällsomställningar leder till mer eller mindre motstånd hos allmänheten. Allmänhetens acceptans för, och tillit till, nya tekniska lösningar kommer därför att bli avgörande framöver.

Omfattningen av den globala omställning som krävs för att nå klimatmålen beskrivs bland annat i IEA (2020a). Som exempel skulle en omställning i enlighet med IEA:s *Faster Innovation Case*⁸ kräva att i genomsnitt två nya HYBRIT-anläggningar per månad öppnades varje år från idag fram till år 2050 världen över. Samtidigt skulle det, under samma period, behövas ca 90 st nya bioenergianläggningar med BECCS-teknik årligen, förutom en rad andra tekniker. En sådan utbyggnadstakt för naturligtvis med sig frågor kring samhällets och allmänhetens acceptans till teknik och anläggningar. Känslor är en inte oviktig faktor i vår uppfattning om och stöd för olika typer av energitekniker, eftersom de ofta hänger ihop med hur vi ser på och uppfattar risker.⁹ Ett talande exempel på detta är den tydliga polariseringen hos allmänhet, beslutsfattare och till och med forskare, som har följt kärnkraften under de snart sjuttio år som den har funnits och nyttjats som teknik.¹⁰ Här utgör tillit en central och viktig faktor vad gäller riskuppfattning och allmänhetens acceptans och förtroende för ny teknik.

Ju närmare avstånd desto mer skepsis

Forskningen visar också på hur acceptansen för omställningen och energitekniker är starkt kopplad till det geografiska avståndet till en specifik energiinfrastruktur¹¹, något som ibland benämns med termen NIMBY (*Not In My Backyard*). Det torde gälla såväl etablerade tekniker såsom vindkraft, elnät eller större kraftverk som nya tekniska systemlösningar som exempelvis vätgas. Vätgas som energibärare är återigen är uppe på agendan som en möjlig

energibärare i större skala och ses som en avgörande del i energiomställningen globalt och på Europeanivå. Med tanke på de potentiellt stora konsekvenser en olycka kopplat till vätgasexplosion kan innebära finns det en risk för att inställningen till vätgas som en del i omställningen, när väl infrastrukturen ska byggas och därmed kommer närmare människor i deras vardag, kan stöta på motstånd.

CCS (*Carbon Capture and Storage*) är en teknik som kan komma att bli avgörande för hur snabbt vi lyckas nå klimatmålen och den lyfts fram av IPCC som en viktig teknik i klimatomställningen beaktat den snäva tidsram vi har för att lyckas hålla oss inom 1,5-gradersmålet. De historiska studier som har gjorts kring tekniken vad gäller attityder till CCS har visat på relativt stort motstånd lokalt inte minst vad gäller lagringsplatser¹², men motståndet är också stark hos miljöorganisationer som ser på CCS-tekniken som en teknik som gör att vi håller oss kvar i fossilsamhället, men också risken för att den lagrade koldioxiden skulle börja läcka ut. Biogen CCS, s.k. BECCS, och CCS vid energiåtervinning ur avfall utgör ytterligare möjligheter till att på sikt inte bara nå nettonollutsläpp utan även negativa utsläpp (se vidare i kapitel 1 om politik och kapitel 8 om fjärrvärme). Acceptansen för denna senare typ av teknik är dock relativt lite utredd¹³ men det finns en stor risk att tekniken möter liknande motstånd som CCS-teknik vid förbränning av fossila bränslen, om än inte i anslutning till argumentet att CCS skulle ”befästa” fossilsamhället. Inte minst finns dimensionen kring motståndet och kritiken mot användningen av biomassa för energiändamål från framförallt miljöorganisationer, som blir allt mer högljudd och riskerar att få konsekvenser även för användningen av BECCS.

8) IEA (2020a). *Faster Innovation Case* är en variant av IEA:s Sustainable Development Scenario. Detta scenario undersöker vad som skulle krävas i form av ännu snabbare innovationsutveckling av nya energi- och miljöteknologier för att nå nettonollutsläpp globalt år 2050, inklusive tekniker som idag endast finns på ritbordet eller i prototypskala

9) Se t.ex. Truelove (2012)

10) Unger m.fl. (2019)

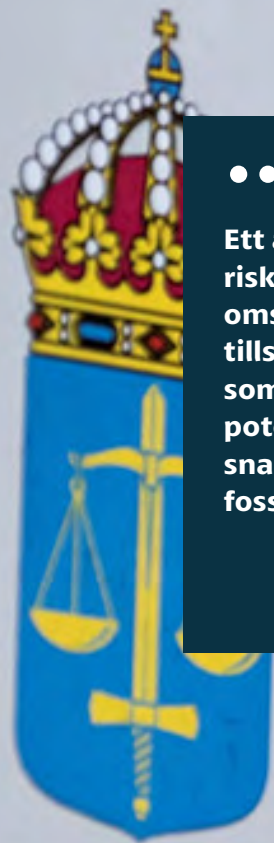
11) Se t.ex. Bertsch m.fl. (2016).

12) Se t.ex. Johnsson & Kjärstad (2019)

13) Fridahl (2017)

...

Ett annat problem som riskerar att fördröja omställningen är långa tillståndsprocesser, som ofta nämns som ett potentiellt hinder för snabb omställning till fossilfrihet



ARK- OCH Miljö
SVERIGES DOMSTOLAR



Tillståndprocesser

Ett annat problem som riskerar att fördröja omställningen är långa tillståndprocesser, som ofta nämns som ett potentiellt hinder för snabb omställning till fossilfrihet av flera branscher.¹⁴ Inte minst syns detta problem när det gäller utbyggnad av elnät. Idag rör det sig ofta om ungefär tio år från det att behovet av utbyggd nätkapacitet uppstår till dess att en ledning står på plats. En stor del av denna tid går till koncessions- och tillståndprocessen. Ett aktuellt exempel på risken för att klimatomställningen försenas är protesterna mot Vattenfalls planerade kraftledning genom Sörmland till SSAB i Oxelösund. Kraftledningen ska gå från Hedenlunda i Flens kommun till SSAB:s anläggning i Oxelösund. Här ska SSAB ställa om från koksbasead ståltillverkning till elektroståltillverkning, en omställning som kräver utbyggd kapacitet i nätet. Kraftledningens tänkta dragning genom landskapet har väckt kraftigt motstånd, både från kommuner, markägare och LRF.

Just konkurrens om markanvändning påverkar också utbyggnad av vindkraften. Som nämns i kapitel 5 om investeringar i förnybar elproduktion avslögs omkring 76 % av ansökningarna för drygt 2 500 landbaserade vindkraftverk under perioden 2015–2018. I synnerhet i södra Sverige utgör konkurrens om markanvändning den största faktorn till avslag.

Den mänskliga faktorn

Hur vi människor fattar beslut och tolkar verkligheten är också något som har inverkan på hur väl energi- och klimatomställningen lyckas. Vi människor har en rad s.k. kognitiva biases eller fördomar (*eng. cognitive biases*) och vi använder oss av olika tumregler (*eng. heuristics*) som förenklar vårt beslutsfattande, ofta utan

att vi är medvetna om det själva.¹⁵ Dessa beror på hur hjärnan processar inkommande information. Bland de mest kända sådana kognitiva fördomarna är bekräftelsebias, som innebär att man söker upp information som bekräftar ens åsikter och föreställningar och undviker information som går emot dessa. Dagens sociala medier kan dessutom förstärka denna typ av bias. Ett tydligt exempel är synen på klimatiförändringar och den polarisering som finns vad gäller tron på de bakomliggande orsakerna till denna och/eller huruvida man väljer att se på klimatiförändringarna som något vi måste agera på eller inte.

Uppfattningen om, och huruvida man är för eller emot, en ny energiteknik påverkas av attityder, sociala normer, upplevd kontroll och personliga normer.¹⁶ Attityderna formas i sin tur av de upplevda kostnaderna, risker och fördelar, positiva eller negativa känslor kopplat till tekniken, tillit och rättvisaspekter. Personliga normer påverkas av motsvarande faktorer, men också av bland annat medvetenhet av vilka konsekvenserna blir om man inte accepterar den nya teknologin. Huijt (2011) m.fl. lyfter därför vikten av att förstå hur vi människor formar vår uppfattning om förnybara tekniker och andra klimatåtgärder och varför man tar ställning för eller emot en viss teknik. Sådan förståelse ger insikter i hur man ska gå tillväga, anpassa tekniker och vad som behöver kommuniceras för att nya tekniker ska kunna implementeras i det framtida energisystemet.

14) Se t.ex. <http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2019/10/politik-fr-fossilfri-konkurrenskraft-fossilfrittse-final.pdf>

15) Begreppet "cognitive bias" myntades 1972 av forskarna Amos Tversky och Daniel Kahneman.

16) Se t.ex. Huijts m.fl. (2011)

Dialogen mellan energisystemets aktörer och betydelsen av systemperspektivet blir allt viktigare när komplexiteten och målkonflikterna ökar

Forskningen pekar på vikten av att få med sig allmänheten för att få till stånd nya energiprojekt och där är information och kommunikation kring syftet med projektet extra viktigt.¹⁷ Detta inkluderar att tidigt i processen involvera närboende och allmänhet och visa öppenhet och transparens samt att vara lyhörd för allmänhetens oro för risker eller negativ påverkan på den egna tillvaron. Ju

högre förtroende och tillit som människor känner till ett projekt och ju mer de känner att de kan påverka viktiga beslut kopplat till ett projekt desto högre acceptans får projektet.

I en tid då mer energi efterfrågas¹⁸ måste dialogen och samspelen mellan energisystemets samtliga aktörer – myndigheter, leverantörer, kunder med flera – fungera väl. Teknikutvecklingen går snabbt, engagemanget är stort och ambitionerna höga. Det är då särskilt viktigt att säkerställa att utvecklingen leder till ökad resurseffektivitet med bibehållen leveranssäkerhet och kostnadseffektivitet. Om omställningen inte ska leda till suboptimering och

FAKTA- RUTA

9.1

STRATEGI FÖR ATT HANTERA SVÅRARTADE UTMANINGAR

Hur kan svårartade och komplexa problem hanteras? Forskningen visar på tre möjliga strategier.

AUKTORITÄRT, med ökad reglering (t ex av regering, domstol, myndighet) Någon bestämmer!

Fördelar: Minskar komplexiteten

Nackdelar: Alla perspektiv kommer inte

KONKURRENS, så fri som möjligt (t ex på marknader). Olika sidor ställs mot varandra.

Fördelar: Tydlighet i olika åsikter

Nackdelar: Konfrontation, gemensamt lärande försvåras

SAMARBETE, DIALOG, FÖRHANDLINGAR, KOMPROMISSER.

Engagera alla intressenter för en gemensam lösning.

Fördelar: Helhet, legitimitet

Nackdelar: Omständligare process, kostsam, risk för beroenden

(hämtad från *Hållbarhetsmålen på värmemarknaden* (2016), baserad på N. Roberts 2000, 'Coping With Wicked Problems' (Naval Postgraduate School, Monterey, California, Department of Strategic Management Working Paper).)

17) Se t.ex. Liu m.fl. (2019)

18) Majoriteten av det tjugotal färdplaner för fossilfrihet (<http://fossilfritt-sverige.se/fardplaner-for-fossilfri-konkurrenskraft/>) menar att ökad användning av el och bio-råvara kommer att vara en förutsättning för att möjliggöra utfasningen av fossila bränslen.

ineffektivitet behövs mycket samordning och samverkan mellan såväl de tekniska systemen som aktörernas system och processer. Var finns behoven idag och i framtiden? Vem kan leverera den energi och effekt som behövs? När i tiden ska investeringar ske? Vem har och tar egentligen ansvar för att utvecklingen blir så smidig och resurseffektiv som möjligt? Det gäller att hitta forum, arenor, mötesplatser såväl som organisatoriska strukturer för dialog och samordning.

Komplexiteten ökar när fler samhällssektorer integreras i energisystemet, aktörer får och tar nya roller, teknikutvecklingen går snabbare än någonsin och osäkerheterna i samhället är stora. Risker är överhängande att nya målkonflikter uppstår och måste hanteras. Inom forskningen kallas den här typen av utmanande situationer för *Wicked problems*, eller svårartade och komplexa utmaningar. Dessa karaktäriseras bland annat av att det inte finns en slutlig lösning, att olika aktörer har olika perspektiv och att frågeställningen hela tiden förändras. Forskningen visar på tre stra-

tegier för att hantera den här typen av utmaningar, strategier som var och en har sina för- och nackdelar, se faktaruta 9.1. På senare år har forskarna även börjat tala om superkomplexa utmaningar, se Figur 9.2.

Inom energiområdet kan även små beslut få långsiktiga följder. Vid större beslut är det därför nödvändigt att förstå konsekvenserna av olika alternativ. Eftersom konsekvenserna kan uppstå både lokalt, nationellt och globalt, samt i nutid och i framtiden, är det nödvändigt att utgå från ett övergripande helikopterperspektiv – ett systemperspektiv. Systemperspektivet utgör en central utgångspunkt i all forskning som utförs inom NEPP, och med hjälp av systemanalyser löser man inte bara de enskilda frågorna utan tar hänsyn även till dess konsekvenser. Detta ger en större möjlighet att ta sig an komplexa problem och utmaningar samtidigt som man undviker förenklade slutsatser som kan leda fel och skapa större konsekvenser i ett vidare system.

Klimatförändringar är ett exempel på superkomplex utmaning

På senare tid begreppet **superkomplexa utmaningar** introducerats ("Super wicked problems") i kontexten av globala klimatförändringar. Dessa utmaningar har fyra karaktärsdrag gemensamt:

- **Tiden håller på att ta slut.** Konsekvenserna av klimatförändringar blir allt mer omfattande ju längre tiden går och de är inte reversibla.
- **Central auktoritet saknas.** Beslutsfattare inom offentliga myndigheter har inte kontroll över alla de beslut och val som måste göras för att minska konsekvenserna av klimatförändringar.
- **De som försöker lösa problemet är även de som skapar det.** Var och en som försöker bidra till att lösa klimatutmaningar har också bidragit till att situationen har uppstått, genom transport-behov, konsumtion etc.
- **Policies tar inte tillräcklig hänsyn till framtida utveckling.** Trots signaler om dramatiska långsiktiga konsekvenser utgår beslutsfattare från ett kort tidsperspektiv.

Figur 9.2. Klimatförändringar är ett exempel på 'super wicked problems' (baserad på Waddock, 2013).

Målkonflikter som lyfts fram inom NEPP

Målkonflikter kan uppstå mellan olika miljö- och klimatmål, men också i relation till andra viktiga mål för samhället, tex ekonomiska, sociala eller folkhälsomål. Att det kan uppstå målkonflikter när olika mål ska realiseras råder det ingen tvekan om.¹⁹ Forskning har visat att målen sällan är samordnade och att det många gånger saknas prioritering mellan dem.²⁰ De olika aktörsgrupperna på värmemarknaden till exempel tenderar att fokusera på helt olika hållbarhetsmål och att driva upp ambitionsnivån allt eftersom, kanske som ett sätt att vinna legitimitet och kunders förtroende. Energibolagen fokuserar på produktion och bränslemix och fastighetsbolagen på hur man kan minska sin användning, eftersom det är de specifika frågor som man har störst rådighet över. Kommunala/regionala ägare vill väl, men ser inte till helheten när de fattar beslut (stuprör inom och mellan många organisationer bidrar). Även myndigheter och politiker styr åt olika håll, kanske på grund av brist på systemsyn?

Ett exempel på när målkonflikter kan uppstå, såväl inom som mellan organisationer/aktörer, kan vara när beslutsfattarna i organisationerna är överens om huvudmålet (t.ex. att sträva efter en hållbar utveckling) och dess olika delmål (t.ex. effektivisering, utsläppsminskning och ökad andel förnybar energi) men att alla dessa delmål inte kan (eller bör) uppnås samtidigt och heller inte i lika snabb takt. Beslutsfattarna måste därför göra prioriteringar sinsemellan, prioriteringar som kan skapa stora meningsskiljaktigheter och konflikter. Det är då inte huvudmålet eller delmålen i sig som orsakar konflikterna, utan vägen till måluppfyllelsen.

Ett exempel på målkonflikt som har lyfts inom denna etapp av NEPP är **de krav och förväntningar man har på vattenkraften** i omställningen av energisystemet. Skärpta krav på moderna miljövillkor vad gäller ekologiska faktorer efterfrågas, samtidigt som vikten av och ett allt större behov av vattenkraften som en reglerbar, flexibel och fossilfri kraftkälla lyfts.

19) Se t.ex. Naturvårdsverket 2011

20) Värmemarknad Sverige 2016

Ett annat exempel från NEPP är målkonflikterna **på stadsnivå**. Stadens aktörer vill skapa större utrymmen för människan i staden och frigöra gaturummen till andra ändamål än transporter, samtidigt som en storskalig elektrifiering av fordonsflottan kommer att kräva plats för laddinfrastruktur. För att få elektrifieringen av transportsystemet att rulla krävs dialog och kunskapsutbyte mellan de många olika aktörer som äger olika delar av frågorna kopplade till detta.

Ett tredje exempel rör synen på **energiåtervinning av avfall och de fossila fraktionerna**. Avfallsfrågan, vilken även berörs i kapitel 8 om fjärrvärme, är aktuell i samhället av flera anledningar: mängden avfall fortsätter att öka, allt mer plast sätts på marknaden, nya skatter och styrmedel tillkommer samt rådigheten och ansvar för sortering och återvinning/återanvändning delas av en stor mängd aktörer längs värdekedjan. Restavfall innehåller – och kommer inom överskådlig framtid att fortsätta innehålla – plast av fossilt ursprung. Energiåtervinning av avfall klassas därför som återvunnen men inte förnybar energi. I flera kommuner ställs avfallsfrågan på sin spets då vissa kommuner har förnybarhetsmål (tex. eftersträvar 100% förnybar energiförsörjning) utan alternativ plan för hur kommunens och invånarnas avfall (som även innehåller fossila fraktioner såsom plast) skall hanteras, om energiåtervinning inte kan utnyttjas.

Risken för potentiella målkonflikter är stora när man fokuserar ensidigt på en fråga. Därför behövs plattformar för att utbyta kunskap och öka förståelsen för komplexiteten i den omställning energisystemet står inför. NEPP, och liknande forskningsarenor, utgör en sådan oberoende plattform för gemensam kunskapsutbyggning och erfarenhetsutbyte.

Omställningen drivs i hög grad på lokal nivå av nya aktörer och i nya konstellationer

Vi ser många exempel på att allt fler aktörer nu vill öka sitt engagemang i elsystemet för att bidra till omställning och utveckling. Det gäller såväl privata villaägare, som skaffar egna solceller och batterier eller som köper andelar i förnybar elproduktion, som större professionella aktörer som investerar i vindkraft eller avancerade system för elbilsladdning och effektutjämning.

I en intervjustudie med etablerade aktörer inom energisystemet som publicerats inom ramen för NEPP undersöktes bland annat hur etablerade aktörer ser på trenden att fler engagerar sig i energisystemet.²¹ Intervjupersonerna visade genomgående på en positiv syn på att fler aktörer engagerar sig i elsystemet. Utgångspunkten för denna uppfattning var att elsystemet står inför flera stora utmaningar som måste lösas och att energisektorn som helhet står inför mycket stora förändringar. Ett ökat engagemang från fler aktörer kan i denna situation bidra till att skapa de lösningar som krävs. Vidare undersöktes vilka möjligheter det för med sig och vilka drivkrafter som kan ligga till grund för ökat engagemang från "icke-etablerade" aktörer. De möjligheter som lyftes fram var bland annat att lösa konkreta, främst lokala, utmaningar såsom den lokala eleffekts- och kapacitetsfrågan.

När de lokala utmaningarna blir allt tydligare, blir också samverkan på lokal och regional nivå allt viktigare för energisystemet. Dessa utmaningar omfattar, förutom den lokala eleffektbalansen, potentiella målkonflikter mellan energiinfrastruktur och andra delar i stadsutvecklingen samt hur man på bästa sätt kan nyttja lokala resurser.

Vilka är aktörerna?

Vilka är då aktörerna i det framtida energilandskapet? Det finns en rad olika typer av nya aktörer som antingen redan har tagit sig in i energibranschen eller är på väg att göra det. Idag ser vi möbelvaruhus som börjar sälja solceller, fordonstillverkare och globala mjukvarujättar som intresserar sig för marknadslösningar kopplade till förnybar energi och investeringsbolag som bygger vindkraft. Denna typ av nya aktörer ställer nya krav och ökar trycket på redan etablerade aktörer att ställa om och att anpassa sin verksamhet i takt med att energilandskapet förändras. Ny teknik, nya aktörer och förändrade behov liksom nya roller i systemet utmanar också rådande strukturer, som dagens producentcentrerade system.

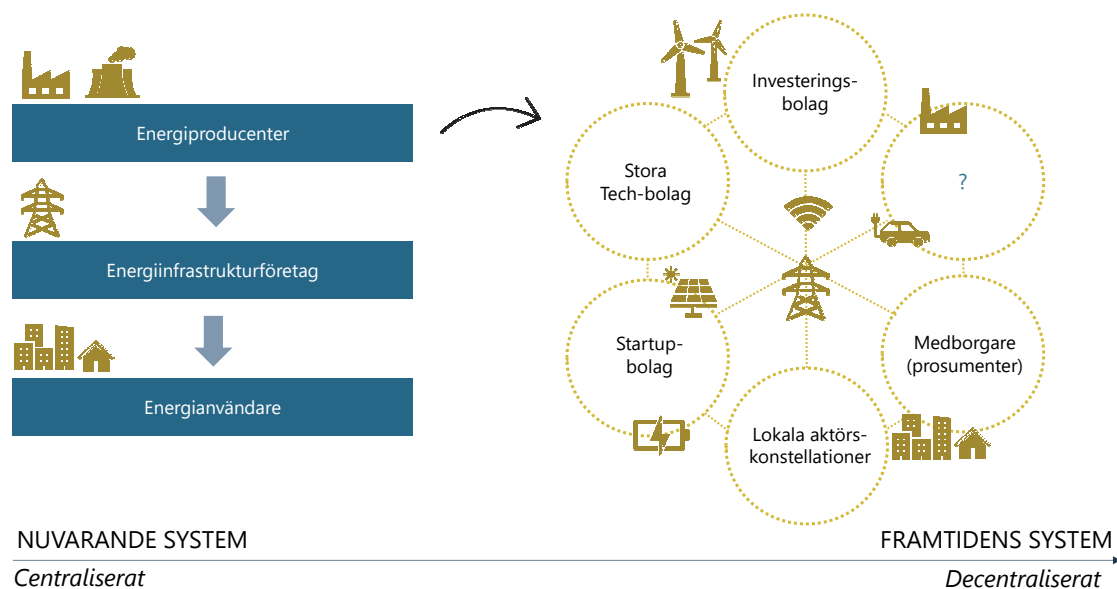
I figuren visas exempel på nya aktörsgrupper som kan tänkas verka inom och påverka utformningen av energisystemet och dess affärsrelationer i framtiden. Figuren har hämtat inspiration och bygger på underlag från bland annat Neo-Carbon Energy (2017).

Ofta lyfts just möjligheten att bidra med efterfrågefleksibilitet och andra typer av system- och stödtjänster för elsystemet som en nisch som kan locka nya aktörer in i energisektorn.²² Det handlar dels om de aktörer som kan erbjuda och ställa upp med flexibilitet (hushåll, lokaler, fastighetsbolag och industrier), dels aktörer som tar på sig rollen som aggregator²³ genom att till exempel kombinera och erbjuda flera kunders last (som ett villakvarter) på marknaden. I den sistnämnda kategorin kan man hitta mindre startup-bolag som genom styrning och optimering av lokala energisystem (mindre eller större fastighetsbestånd och lokaler m.m.) kan stödja etablerade energiföretag genom att bidra med olika typer av flexibilitetslösningar.

21) NEPP (2019e)

22) T.ex. Boscán & Poudineh (2016)

23) En aggregator är ren marknadsaktör som kombinerar ett flertal kunders elanvändning eller elproduktion för försäljning, köp eller auktionering på organiserade energimarknader



Figur 9.3. Nuvarande energisystem är på väg att förändras till ett aktörscentrerat, decentraliserat system där nya aktörer tar sig in och påverkar utformningen av det framtida energilandskapet. Figuren har tagits fram av författarna med inspiration och underlag från bland annat Neo-Carbon Energy (2017).

Andra typer av nya aktörer kan vara t.ex. elbilstillverkare, kopplat till V2G-teknik (vehicle-to-grid²⁴), genom att erbjuda energibolag tillgång till batterikapaciteten i fordonen för att balansera elsystemet. Ett exempel är Tesla som bl.a. har tjänsten Autobidder.²⁵ Volkswagen är ett annat exempel på en fordonstillverkare som tar sig in på energimarknaden genom att sälja laddboxar och el producerad genom dotterbolaget Elli.²⁶

Inom ramen för EU:s Ren Energipaket lyfts en rad andra typer av nya konstellationer och roller på el- och energimarknaden. En sådan aktörskonstellation är så kallade Medborgarenergigemenskap. Medlemmarna i denna typ av gemenskap får vara både fysiska personer, lokala myndigheter inklusive kommuner, mindre företag och mikroföretag. Syftet är att de ska dela energi och el-produktion genom t.ex. produktion, försäljning och energitjänster.

24) Vehicle to grid, syftar på att bilen kan mata ut el på elnätet utifrån ett behov i elsystemet.

25) https://www.tesla.com/en_GB/support/autobidder

26) <https://www.volkswagenag.com/en/news/stories/2019/01/volkswagen-enters-the-energy-market.html>

Just de mindre aktörernas aktiviteter lyfts fram som betydelsefulla för att energi- och klimatmålen i EU och Sverige ska kunna nås.²⁷ Utredningen *Mindre aktörer i energilandskapet – genomgång av nuläget*²⁸ utredde de mindre aktörernas roll i omställningen. Det konstaterades att det är en heterogen grupp, bestående av hushåll, bostadsrättsföreningar och små och medelstora företag inom alla branscher. De har i vissa avseenden olika förutsättningar men förenas av att de, i normalfallet, saknar kunskap och professionell kapacitet att agera inom energiområdet. Ändå har dessa mindre aktörer stor möjlighet att bidra till att våra klimat- och miljömål uppnås. Detta inte minst genom åtgärder för ökad energieffektivitet samt småskalig elproduktion, utfasning av oljepannor i småhus och snabb ökning av värmepumpar.

Ett annat område, som ofta lyfts och som också nämns ovan, där mindre aktörer kan spela en roll, är att bidra till balanseringen av elsystemet genom efterfrågeflexibilitet. Införandet av EU:s Ren energipaket stärker denna nisch för de mindre aktörerna genom att energikundernas deltagande i efterfrågeflexibilitet genom aggregation ska tillåtas och främjas.

Några av de drivkrafter för både mindre och större aktörer att engagera sig i energisystemet som ofta lyfts fram är en ökad grad av självförsörjning och oberoende, identitetsskapande och varumärkesbyggande, att få bidra till omställningen till ett fossilfritt samhälle och bidra med miljö- och klimatnytta.

Kommunernas roll i det framtida energilandskapet

De svenska kommunerna har, som vi vet, stor betydelse för förutsättningarna inom det lokala energisystemet. Något som kanske är allra tydligast på den lokala värmemarknaden. Kommunernas självstyrande roll med planmonopol för nybyggnation i kombination med deras rådighet över den lokala beskattningen ger dem en stark lokal ställning och beslutsmöjlighet. Dessutom äger kommunerna ofta det lokala energibolaget, samt är den största fastighetsägaren för både bostäder och lokaler, för vilka de styr över deras

energi- och klimatstrategier. Om alla dessa parametrar läggs ihop blir det tydligt att kommunerna bör representeras i alla komplexa energi- och klimatfrågor lokalt. I och med denna dominerande ställning för kommunerna är deras ansvar för samverkan (inom kommunkoncernen och externt) och även deras syn på hållbarhets- och systemfrågorna av stor betydelse för den framtida utvecklingen av värmemarknaden.

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.

Svenska kommuner har ett direkt ansvar att upprätta och uppdatera en plan över hur tillförsel, distribution och användning av energi skall se ut lokalt. Men som kapacitetsfrågan visar har kommuner även ett långtgående ansvar för andra ärenden och frågor som starkt påverkas av – och om kapacitetsbrist råder begränsas av – tillgången på energi. Kommunerna behöver därför ta in energirelaterade aspekter i sitt beslutsfattande även på andra områden. Vad som gör det kommunala uppdraget än mer komplext är att ansvaret inbegriper en strategisk dimension. Det är således inte enbart de förutsättningar som gäller idag som beslutsfattare måste förhålla sig till. Beslutsfattare måste vara medvetna om olika intressenters visioner om framtiden samt möjligheten att övertid påverka både marknader och regelverk för att gynna kommunen. Utöver detta förväntas kommuner numera agera utifrån en innovationslogik, dvs. på sätt som stödjer lokal forskning och utveckling. Exempelvis presenteras ofta kommunal upphandling som ett verktyg vilket kan användas för att sporra innovation inom såväl basnäringar som tjänste- och tekniksektorerna.

27) T.ex. SOU (2018:15)

28) Ibid



Kanske ligger digitaliseringsens största transformationspotential för energisektorn just i dess möjlighet att påskynda uppluckringen av energisystemets traditionella gränser mellan produktion och efterfrågan av energi

Hur skall vi då förstå kommunalt engagemang och de möjliga överväganden som kommuner står inför i relation till energifrågor? Många kommunala aktiviteter är antingen givna ur de förordningar och lagar som styr den kommunala sfären eller av de mål som politikerna fastslår för de kommunala verksamheterna. Det finns dock inga tydliga riktlinjer för hur kommuner kan eller ska koordinera sina verksamheter och aktiviteter för att nå specifika mål. Forskning som tittat på hur kommuner i Tyskland och Storbritannien agerar för att stödja hållbar utveckling pekar på att det finns fyra generella styrningsfilosofier som kommuner agerar efter, som stämmer väl med våra svenska kommuner agerande.

Digitaliseringen och dess möjligheter och utmaningar är nyckelfrågor för energibranschen

Den omvandling som energisystemet för närvarande genomgår, med en alltmer distribuerad och variabel elproduktion, innebär en växande utmaning vad gäller att balansera produktion och användning i energisystemet. Digitaliseringen kommer att vara viktig för, men drivs också av, omställningen av energisystemet. Energisektorns grad av digitalisering är fortfarande i sin linda, men utvecklingen går framåt och allteftersom elektrifieringen och sektorskopplingen ökar kommer också behovet av digitala teknologier att öka, inte minst vad gäller prognoser för sol- och vindkraft, systemstabilisering, optimerad energilagring, prognoser av efterfrågan, kommunikation och dataöverföring mellan olika komponenter, efterfrågeflexibilitet liksom marknadslösningar.²⁹ Genom detta ökar energisystemets flexibilitet och möjligheterna till en högre integration av icke-styrbara energikällor som vind- och solkraft. Dessutom ökar förutsättningarna för sammankoppling av, och samverkan mellan, olika sektorer.

Att digitaliseringen tillsammans med olika energilagringstekniker innebär helt nya verktyg för beslutsfattare och systemoperatörer

att upprätthålla leveranssäkerheten i elsystemet lyfts inte minst av IEA.³⁰ En ökande digitalisering skapar möjligheten att kunna tillgängliggöra och utnyttja den stora potential till efterfrågeflexibilitet som finns hos slutanvändarna. Under de kommande decennierna kommer digitaliseringen att bli alltmer nödvändig för att åstadkomma den kraftfulla elektrifiering av samhället som man förväntar sig och hoppas på.

Kanske ligger digitaliseringens största transformationspotential för energisektorn just i dess möjlighet att sudda ut gränserna mellan olika energisektorer och påskynda uppluckringen av energisystemets traditionella gränser mellan produktion och efterfrågan av energi.³¹ Utöver systemnyttan erbjuder digitaliseringen möjligheter till en minskad energianvändning i kombination med en ökad kundnytta. Det innebär att digitaliseringen också kan bli ett viktigt verktyg för att nå dagens högt ställda energi- och klimatmål inom energisektorn. Digitaliseringen erbjuder möjligheter för energisektorn genom hela värdekedjan, från energiproduktion till förbättring av kundrelationer.

Digitalisering – utmaningar och hot

Det finns dock en rad utmaningar som branschen bör vara medvetna om ju mer digital teknik som kopplas in i systemen. Ett exempel där AI-teknologier där frågor gällande tillgänglighet och kvalitet på data, etik- och integritetsaspekter, teknologernas behov av stora mängder el liksom IT-säkerhet måste hanteras. Digitaliseringen handlar också om acceptans och tillit till den teknik som används och ger upphov till frågor om de beslut som tas baserat på AI och hos vem ansvaret ligger när teknik havererar. Förutom mognadsgraden på teknikerna, avsaknad av utbildning, spetskompetens och kunskap om AI i stort, lyfts ofta den möjliga risken för förlorade arbetstillfällen. En liknande debatt har förts vid andra stora tekniksiften historiskt, vilket sannolikt hänger samman med

29) Se t.ex. IRENA (2019b)

30) IEA (2020b)

31) IEA (2017)

32) FOI (2018)

den, hos oss människor, inneboende tveksamheten, rädslan och obenägenhet till förändringar vad gäller nya tekniker. Mer specifikt finns det dock problem av annan art. Det handlar om alltifrån etiska och moraliska aspekter kopplat till tillgänglighet och kvalitet på den data man använder, till oro för övervakning av främmande makt, hur det påverkar individers integritet och systemens potentiella sårbarhet för intrång av obehöriga.

Det sistnämnda är inte minst en viktig fråga för energibranschen, som en samhällsviktig infrastruktur – hur skyddar vi anläggningar och samhälle mot fientliga attacker från både enskilda hackers och stater som vill destabilisera samhällen och andra stater? 2018 publicerade FOI en rapport³² som tar upp aspekter kopplade till energisektorns beredskap, bland annat vad gäller IT-säkerhet. Här lyfter man det faktum att digitaliseringen ger möjligheter till effektiviseringar och nya tjänster men bygger samtidigt in nya säkerhetshot som måste hanteras vid design och underhåll av systemen. FOI pekar på att detta säkerhetshot kommer bli en allt viktigare beredskapsfråga för energisystemet och branschen. Traditionellt har elnätens styrsystem varit mer eller mindre isolerade från omvärlden, men i takt med att tekniken utvecklats har kommunikationsmöjligheterna mellan kontrollsystem och kontorsystem ökat. FOI konstaterar att digitaliseringen, parallellt med utvecklingen mot ett mer decentraliserat elsystem, gör att antalet uppkopplade komponenter ökar exponeringen och därmed risken för intrång. Man lyfter också fram att en ökad automatisering av tjänster inom energiföretagen skulle kunna öka risken för cyberincidenter av skilda slag. Riskerna skulle därmed flyttas från den mänskliga faktorn till IT-området. Smarta nät, artificiell intelligens och digitala stationer medför stora möjligheter för framtidens elhandel, men innebär även sårbarheter som bör iakttas.

32) FOI (2018)

33) Löfblad m.fl. (2018)

Sverige är, enligt de experter som deltog i Energiforskprojektet *Digitalisering inom energisektorn*³³, varken bättre eller sämre på IT-säkerhet jämfört med andra länder. En generellt bra nivå på digital kompetens gör att vi har en bra grund att stå på men på samma gång är vi genom vår relativt höga grad av digitalisering kanske mer sårbara på grund av en stor andel uppkopplade enheter i många delar av samhället.

En annan, potentiellt avgörande utmaning i dagsläget är AI-teknikernas elbehov och klimatpåverkan, där flera nya studier pekar på den stora mängd el som krävs för avancerade algoritmer och träning av AI-teknologier. Detta är något som kommer att påverka energisektorn både direkt och indirekt. En direkt påverkan sker i form av ett ökat elbehov. Indirekt kan det påverka energisektorn genom att den överskottsvärme som produceras vid data-/serverhallar, som sannolikt blir fler i takt med att användningen av tekniker ökar, kan tas om hand och utnyttjas som spillvärme.

Det är ingen tvekan om att AI-teknikerna skapar möjligheter och lösningar för energisektorn och samhället, men det finns fallgropar och utmaningar som följer med utvecklingen. Att förstå utmaningarna och dess potentiella konsekvenser är viktigt för alla aktörer i branschen. Men även vi som enskilda individer har mycket att vinna på att förstå de tekniker som vi dagligen, i allt större omfattning, använder och påverkas av.

Kundernas och konsumenternas behov och förväntningar på energibolag och energisystem förändras

Som nämnts ovan lyfts konsumenterna och deras roll upp, av EU:s paket för Ren energi, på ett sätt som användarsidan inte lyfts fram tidigare. Ambitionen med det nya EU-regelverket är att uppnå en energimarknad med kunderna i centrum. Tanken är att kunderna ska vara med och ta ansvar för energiomställningen i stort genom ett aktivt deltagande på marknaden. Man vill även skapa fler valmöjligheter för kunderna genom ökad konkurrens, nya affärsmöjligheter och högre kvalitet på tjänsterna.

Det är tydligt att EU förespråkar att konsumenterna ska uppmuntras till och få större möjligheter att ha kontroll över val kopplat till energi. Det kan till exempel ske genom prosumtion eller lokala energigemenskaper.³⁴ Information till kunder lyfts upp som viktigt och en utmaning blir då att förse kunderna med information som innebär att de gör val som *faktiskt gör skillnad* och gynnar energisystemet. Annars kan informationen få motsatt effekt. Kunder kan alltså förväntas spela en större roll i det framtida energilandskapet, men det förutsätter att styrmedel, lagstiftning och inte minst energibolagen möjliggör den utvecklingen.

Energisektorn har traditionellt karaktäriserats av ett starkt produktionsfokus, men de senaste åren har det fokuset utmanats allt mer. Den utveckling som sker i hela samhället just nu (se delka-

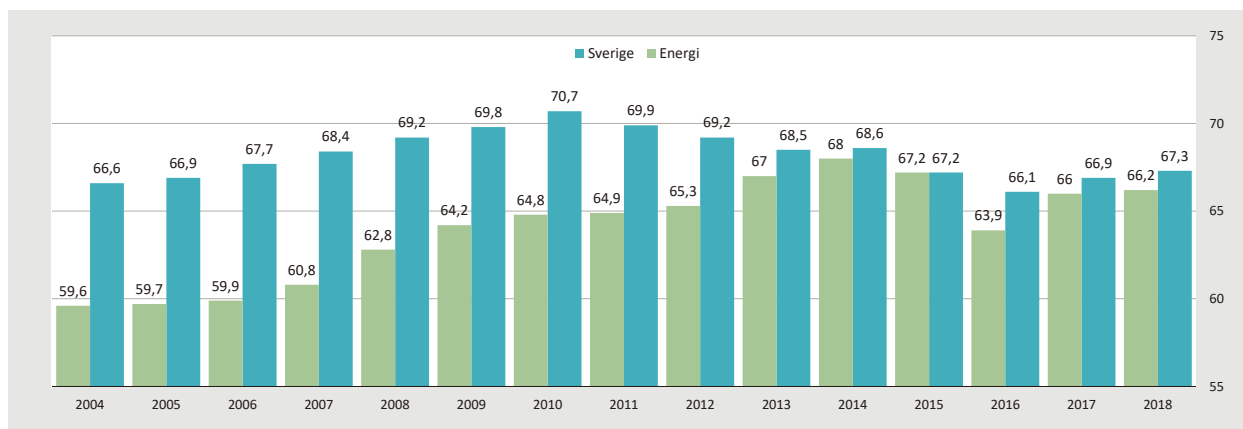
pitlet om *Den omställning av samhället som vi nu befinner oss i har potential att förändra energilandskapet i grunden*) påverkar inte bara kundernas energibehov utan även deras förväntningar på leverantörer inom energi och annat. I kommande avsnitt ska vi fördjupa oss inom hur nöjda kunderna är med sina energileverantörer.

Kundernas förväntningar på energileverantörerna

Generellt har energisektorns kunder länge varit mindre nöjda än kundgrupper i andra sektorer i Sverige. I mitten av 00-talet fokuserade energibolagen på det som upplevdes viktigt då, nämligen image och produktkvalitet, och stärkte kundupplevelsen kring dessa. Samhället har förändrats sedan dess och kundernas förväntningar på sina leverantörer, oavsett om det gäller bank, försäkring, underhållning eller energi har förändrats. Kundupplevelsen jämförs inte längre endast med de direkta konkurrenterna, utan med andra kundupplevelser, och dessutom önskas en förbättrad serviceupplevelse. Energibolagen har fångat upp detta och många fokuserar idag på att skapa en än bättre kundupplevelse utifrån det som varit viktigt de senaste åren, nämligen image och service. Sedan år 2015 har gapet mellan kundnöjdheten i alla sektorer och kundnöjdheten inom energisektorn minskat, se Figur 9.4.

34) En energigemenskap är ekonomisk förening som syftar till att ge sina medlemmar miljömässiga, ekonomiska eller sociala samhällsfördelar. En förnybar energigemenskap driver verksamhet inom förnybar energi till skillnad från en medborgarenergigemenskap vars verksamhet kan vara inom all form av produktion, leverans eller förbrukning av el, aggregering, energilagring, eller att tillhandahålla laddningspunkter för elfordon, energieffektivitetstjänster eller andra energitjänster till sina medlemmar. Dock tillåts energigemenskaper inte att äga egna elnät. (<https://www.energiforetagen.se/medlemsnyheter/2020/mars/omfattande-regelforandringar-pa-el-marknadsområdet/>, 2020-10-30)

35) Qvarnström (2019)



Figur 9.4. Kundnöjdheten inom energisektorn har varit lägre än det svenska genomsnittet fram till ungefär 2015, därefter har gapet minskat något. Källa: Qvarnström, 2019.

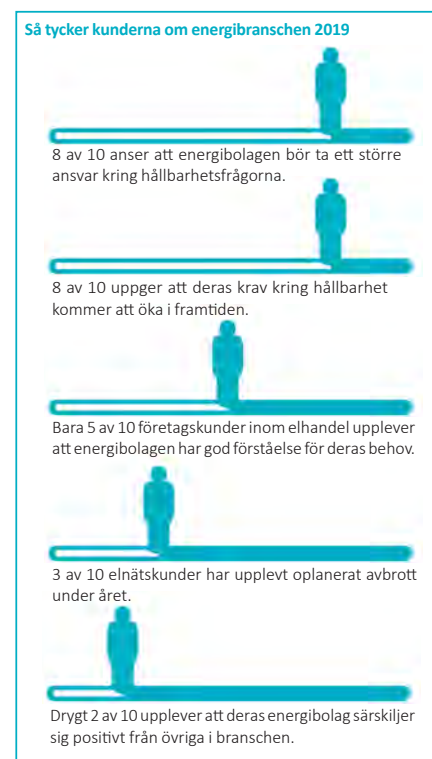
”

Kundupplevelsen jämförs inte längre endast med de direkta konkurrenterna, utan med andra kundupplevelser, och dessutom önskas en förbättrad serviceupplevelse. Energibolagen har fångat upp detta och många fokuserar idag på att skapa en än bättre kundupplevelse"

Förra årets kundnöjdhetsundersökning inom energibranschen³⁶ (där både elhandel, elnät och fjärrvärme inkluderats) visade att kundnöjdheten ökar generellt. Energibolagen levererar en starkare kundupplevelse och kunderna upplever att energibolagen mår mer om dem, vilket de inte upplevt lika tydligt tidigare. Serviceupplevelsen är en viktig faktor för kunderna, men privatkunder och företagskunder skiljer sig delvis åt. Ett exempel är att många privatkunder är intresserade av att styra sin egen produktion och agera som prosumenter. När energibolagen nu utvecklar erbjudande av tjänster som stödjer dem i detta ökar kundnöjdheten i det segmentet. Många företagskunder vill däremot ha en partner inom energifrågor och här har många energileverantörer fortfarande en hemläxa att göra. Knappt hälften av företagskunderna inom elhandel upplever att energileverantören har god förståelse för företagets behov och det finns en tydlig koppling mellan kundnöjdheten och hur insatt leverantören upplevs vara.

Kunderna har högre förväntningar på energibolagens hållbarhetsarbete än på andra branscher.³⁷ Kunderna förväntar sig att energibolagen tar ett större samhällsansvar runt hållbarhetsfrågorna (8 av 10 anser att energibolagen borde ta ett större ansvar) och menar att deras krav kring hållbarhet sannolikt kommer att öka i framtiden (8 av 10 uppger att kraven kommer att öka). Förväntningar och krav på hållbarhet inom bank och försäkring är betydligt lägre (6 av 10 förväntar sig till exempel att försäkringsbolagen tar ett större samhällsansvar runt hållbarhetsfrågorna).

Det är inte bara energibolagens agerande som har påverkat kundernas upplevelse. Händelser och utveckling i resten av samhället har påverkat hur nöjda kunderna är med sina energileverantörer. Historien visar dock att det inte alltid är den som drabbas av störning som är mest missnöjd. I mitten av 00-talet drabbades många energibolag och deras kunder hårt, när stormarna Gudrun och Per drog fram över landet. Kundundersökningar (Svenskt kvalitetsindex) visade att kundnöjdheten var högre i de områden där kunderna drabbades i stormarna och lägre i de områden där kunderna bara läste om stormarna. Kundkontakten är alltså mycket viktig!



Figur 9.5. Källa Svenskt Kvalitetsindex 2019 (b)

36) Svenskt Kvalitetsindex (2019b)

37) Ibid

Vad är viktigt för energikunderna framöver?

Energikunderna är en synnerligen heterogen grupp som består av privatpersoner, företag, myndigheter, industrier med flera. Den produkt eller tjänst de är i behov av är också synnerligen diversifierad, till exempel tillgång till verksamhetsel, fastighetsel, inomhuskomfort (dvs värme och kyla) och möjlighet att leverera ut överskottsenergi till nät. För att förstå vad kunderna värdesätter framöver behöver kundgrupperna och behov delas upp och behandlas var för sig. Några generella uppmaningar för energibolagen inom både elhandel, elnät och fjärrvärme är att fortsätta att utveckla kundservicen och tjänsteutbudet (Qvarnström, 2019):

- **Det digitala är självklart!** Digitala lösningar är verktygen för att skapa en bra, tight kundrelation, inte ett mål i sig.
- **Skapa starka unika varumärken.** Tydliggör vad som är speciellt med just ert bolag. Profilerar er! Vad särskiljer er från konkurrenterna? Kunderna bedömer en helhetsbild av miljö, lokalt engagemang, pris, service med mera. Vad inom miljö är unikt hos er?
- **Hållbarhet är på riktigt.** Energibolag har hållbarhetsfrågorna inbyggda i sin verksamhet, de behöver inte skapa något nytt, men hur kommuniceras hållbarhetsarbetet? Förstår kunderna hur just ni bidrar till en hållbar utveckling?

FAKTA- RUTA

9.2

KUNDERNAS SYN PÅ FRAMTIDENS VÄRMELÖSNINGAR – KUNDEN VILL HA EN PARTNER FÖR ENERGILÖSNINGAR

En utredning om värmekundernas syn på framtidens värmelösningar³⁸ har visat att många av de större fastighetsägarna delar en gemensam målbild av att uppnå ett hållbart samhälle men att kunderna väljer olika vägar för att nå dit.

Med en ambition om att förstå om en omvälvande förändring mot ett nytt energilandskap är på gång inom värmesektorn har forskningsprojektet Värmemarknad Sverige genom intervjuer kartlagt hur värmekunder ser på framtidens värmelösningar.

Finns det en grupp fastighetsbolag som fortsätter på den etablerade vägen, och andra fastighetsbolag som väljer en helt ny väg, som präglas av oberoende och egna lösningar? I så fall, vad innebär dessa vägar i praktiken och vilka drivkrafter ligger bakom? I intervjuer med mellanstora och stora fastighetsbolag framkommer tre huvudsakliga vägval kopplat till framtida värmeförsörjning:

Fjärrvärme som huvudlösning. Fastighetsbolagen lägger ett stort förtroende hos energibolaget och

38) Värmemarknad Sverige, 2019

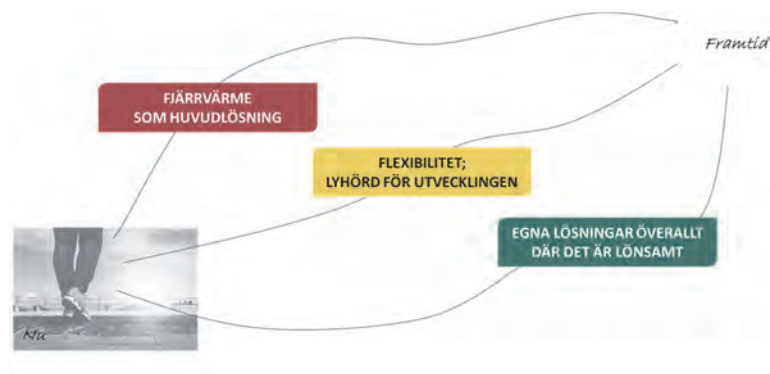
ser det som självklart att det kommer vara en långsiktig nära relation. Det gör de eftersom de tror starkt på fjärrvärme, uppskattar enkelhet och ser detta som ett bra sätt att bidra till stadens utveckling.

Flexibilitet, lyhörd för utvecklingen. Fastighetsbolagen tar proaktiva investeringar för att minska sitt beroende och sin inlåsning till en värmekälla. Tron på förändring präglar dessa bolag, de utgår från att vi idag inte kan förutsäga framtiden. De vill därför minimera risk, vara rådiga över sina beslut och ha ett bra förhandlingsläge gentemot energibolaget.

Egna lösningar överallt där det är lönsamt. Fastighetsbolagen skapar genomarbetade koncept som rullas ut konsekvent i större skala för en vald del av sitt fastighetsbestånd där detta lönar sig. Drivkraften bakom är rent affärsmässigt ekonomisk.

Kundernas upplevelse är att dessa tre vägar kan leda mot samma målbild 20 år fram i tiden; lägre användning av primärenergi, skräddarsydda lösningar som utnyttjar de tillgångar man har, samt ökat samarbete. Vi kan konstatera att fastighetsbolagens bild av hur de kommer att arbeta framöver är starkt präglad av nuläget, en förlängning av dagens verklighet. De faktorer som kommer att påverka fastighetsbolagens vägval är främst kopplade till:

- Omvärldsfaktorer. Samhället & politiken påverkar fastighetsbolagens agerande
- Leverantörerna påverkar fastighetsbolagens inställning och agerande
- Interna faktorer hos fastighetsbolagen påverkar deras agerande



Figur 9.6. Olika vägval för att utveckla framtidens värmelösning

Det finns en önskan om ett ökad oberoende samtidigt som det finns en önskan om ökat samarbete med leverantörer. Fastighetsbolagen vill samarbeta med leverantörer, i en partnerlik relation med ömsesidig respekt, men vem som blir partner kommer att avgöras framöver. Om inte energibolaget fyller denna roll, så kommer fastighetsbolagen söka efter andra samarbetspartners eftersom det är givet för dem att framtiden inte byggs bäst på egen hand.

Energibolagens vägval i det framtida energilandskapet – vilken kundrelation vill man ha?

Många fastighetsbolag ökar sina krav på utvecklingen inom energilösningar. Energifrågorna ligger högt på fastighetsbolagens agendor och många jobbar mer aktivt nu än tidigare med dessa frågor. Man ser fler möjligheter till utveckling av sin energilösning, framförallt tack vare teknikutvecklingen och de möjligheter digitaliseringen kommer att ge. Drivkrafterna är ofta en kombination av a) mål inom miljö, klimat och ekonomi samt en önskan att vilja bidra och uppfattas som progressiv; b) nya, kanske verksamhets-specifika behov av värme, kyla och el samt c) riskminimering genom att ha stor egen kontroll över lösningarna och redundans.

Frågan är vilken roll energibolagen kommer att ta, eller få, beroende på hur man agerar. I ett arbete om kundernas syn på framtidens energilösningar³⁹ identifierades två möjliga utvecklingsvägar, som båda beror på vilken position som energibolagen ställer sig i.

Scenario 1. Energibolagen blir en utvecklande partner till fastighetsbolagen, förutsatt att energibolaget tar hand om den enskilda kundens behov, snabbt börjar hjälpa kunderna att lyckas nå sina

hållbarhetsmål och att fjärrvärme fortsatt anses som en attraktiv energikälla.

Scenario 2. Energibolagen blir mer renodlade leverantörer, förutsatt att de inte agerar på ovanstående. Då kommer fastighetsägare ta eget ansvar för att uppfylla sina behov med hjälp av flera olika leverantörer.

Detta vägval handlar nästan uteslutande om hur energibolagen själva väljer att agera, och väldigt lite om faktorer som ligger utanför egen kontroll. Antingen skapar man en roll eller så får man en roll. Sitter ni själva i förarsätet? Har ni gjort ett aktivt val för vilken roll ni vill ha?

Energiföretagen måste navigera i ett nytt landskap av aktörer, investerare och inte minst förändrade behov och förväntningar från kunder och konsumenter. Digitalisering och tjänstefiering utvecklar kundrelationen och de traditionella affärsmodellerna utmanas av nya möjligheter och förväntningar. För att inte hämma utveckling och innovation måste lagstiftning och standardisering hänga med. För energiföretagen krävs också att de måste definiera men också omvärdera sina roller och bestämma var på marknaden de passar in och hur den framtida affärsmodellen ska se ut. Många håller nog med om att det sker mer på energimarknaden nu än det gjorde för bara fem år sedan. Kundernas ökande krav på energibolagen och tillgången till alternativ gör att marknaden förändras och rör sig från en stabil och monopolliknande situation till en mer dynamisk och konkurrensutsatt sådan. Hur kommer roller och relationer att förändras framöver? Vilka faktorer påverkar i vilken riktning utvecklingen går? Det framtida energilandskapet kommer att se annorlunda ut, men hur?

39) NEPP (2019f)

Referenser

2019/2582(RSP). *Resolution on climate change – a European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy in accordance with the Paris Agreement.*

Avfall Sverige (2020). *Aktuell avfallsstatistik*, <https://www.avfallsverige.se/kunskapsbanken/avfallsstatistik/> (hämtad 2020-11-24).

AWEA (2019). *Wind power costs have plummeted. How can they fall even further?*, <https://www.aweablog.org/wind-power-costs-plummeted-can-fall-even/>

Axelsson, E. m.fl. (2017). *Utbyggnad av sol i Sverige*. Göteborg.

Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*. 17 (1): 99–120.

Bertsch, V., Hall, M., Weinhardt, C. & Fichtner, W. (2016). Public acceptance and preferences related to renewable energy and grid expansion policy: *Empirical insights for Germany*. *Energy*, 114, 465-477.

Blomqvist, P. and Unger, T. (2018). *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige*. Göteborg.

BMW (2020). <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Artikel/Wirtschaft/kohleausstieg-und-strukturwandel.html>

BNEF (2019). Bloomberg New Energy Finance, *New energy outlook*, <https://bnef.turtl.co/story/neo2019/page/3/3?teaser=true>

Bodecker partners (2020). *Corporate PPA* <https://www.bodeckerpartners.com/corporate-ppa-sv/>

Bodin, M. (2020). Bodecker Partners, *Corporate PPA för företag som vill bidra till 15-graders-målet*, <https://www.bodeckerpartners.com/wp/wp-content/uploads/2020/06/Corporate-PPA---för-företag-som-vill-bidra-till-15-graders-målet.pdf>

Bollinger, B. and Gillingham, K. (2012). Peer Effects in the Diffusion of Solar Photovoltaic Panels, *Marketing Science*, 31(6), pp. 900–912. doi: 10.1287/mksc.1120.0727.

Boscán, L. & Poudineh, R. (2016). Business Models for Power System Flexibility: New Actors, New Roles, New Rules. Chapter 19 in Sioshansi, F. (ed.). *Future of Utilities – Utilities of the Future*, Elsevier.

Bråve, A. m.fl. (2020). *The Value of Value Factors — Time-Dependent Development of Value Factors on the Swedish Electricity Market*.

Chamberlin, E.H. (1965). *The Theory of Monopolistic Competition*, Cambridge. Harvard University Press.

Dolff, F. (2018). *Västra götalandregionen, Marknadsanalys av vindkraften i Sverige under 2018*, <https://alfresco.vgregion.se/alfresco/service/vgr/storage/node/content/workspace/SpacesStore/08391edf-00dc-4449-8681-b133a57c276b/Marknadsanalys%202018.pdf?a=false&guest=true>

Dagens industri (2020). Satsar på vindkraft – pensionsjättarna storinvesterar trots elprisfallet, Tisdagen 21 april.

Danish Ministry of Climate, Energy and Utilities (2019). *Denmark's Integrated National Energy and Climate Plan*, https://ens.dk/sites/ens.dk/files/EnergiKlimapolitik/denmarks_national_energy_and_climate_plan.pdf

EFET (2020). *Corporate Power Purchase Agreement*, <https://efet.org/standardisation/cppa/>

Elforsk (2007). *Tänkbara konsekvenser för energisektorn av klimatförändringar - Effekter, sårbarhet och anpassning*, Elforsk rapport 07:39

Elkerbout och Zetterberg (2020). Can the EU ETS weather the impact of Covid-19?. *CEPS Policy Insights*. No 2020-14 / June 2020.

Energiforsk (2017). *Utbyggnad av sol i Sverige*. Energiforsk rapport 2017:376.

Energiforsk (2019). *El och fjärrvärme – samverkan mellan marknaderna*, etapp III, Rapport 2019:570.

Energimyndigheten (2007). *Indikatorer för försörjningstrygghet*. Energimyndigheten rapport 2007:04

Energimyndigheten. (2018). *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem – Delrapport 1: Framtidens elsystem och Sveriges förutsättningar*. Energimyndigheten. Eskilstuna.

Energimyndigheten (2019). *Scenarier över Sveriges energisystem 2018*. Energimyndigheten rapport 2019:07, februari 2019.

Energimyndigheten (2020a). *Energiläget 2020 samt Energiläget i siffror 2020*. Energimyndigheten rapport ET 2020:1.

Energimyndigheten (2020b). *Solcellsstatistik 2019*. <http://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2020/solcellsstatistik-2019--nu-finns-44-000-solcellsanlaggningar-i-sverige/>

Energimyndigheten (2020c). *Stöd för installation av solceller*. http://www.energimyndigheten.se/globalassets/fornybart/so-lenergi/manadsrapporter/2020/solel-manadsstatistik_maj20.pdf

EU (2015). *Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*. COM(2015) 614 final

EU (2016). *Communication from the commission to the European Parliament, the council, the European economic and social committee, the committee of the regions and the European investment bank clean energy for all Europeans*. COM(2016) 860, 30 november 2016.

EU (2018). *The EU action plan on financing sustainable growth*, https://ec.europa.eu/info/publications/180308-action-plan-sustainable-growth_en

EU (2019a). *Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU (omarbetning)*.

EU (2019b). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/943 av den 5 juni 2019 om den inre marknaden för el (omarbetning)*.

EU (2019c). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/941 av den 5 juni 2019 om riskberedskap inom elsektorn och om upphävande av direktiv 2005/89/EG*.

EU (2019d). *Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2019/942 av den 5 juni 2019 om inrättande av Europeiska unionens byrå för samarbete mellan energitillsynsmyndigheter (omarbetning)*.

FOI (2018). *Beredskap i framtida energisystem. En analys med utgångspunkt i Energimyndighetens "Fyra framtider"*.

Forward Thinking Plattform (2014). *A Glossary of Terms commonly used in Future Studies*.

Fossilfritt Sverige (2016). *Initiativet Fossilfritt Sverige*. Kommittédirektiv 2016:66, 7 juli 2016.

Fossilfritt Sverige (2018). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Fossilfri uppvärmning*. Arbetsgruppen för färdplanens framtagande, 2018-11-23. http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2020/06/ffs_frdplan-fossilfri-uppvrmnin_200622.pdf (Hämtad 2020-08-20).

Fossilfritt Sverige (2019). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft – Elbranschen*. Tillgänglig på http://fossilfritt-sverige.se/wp-content/uploads/2020/01/frdplan_elbranschen.pdf

Freedom House (2020). *Freedom in the World 2020. A Leaderless Struggle for Democracy. Highlights from Freedom House's annual report on political rights and civil liberties*.

Fridahl, M. (2017). Socio-political prioritization of bioenergy with carbon capture and storage. *Energy Policy*, 104, pp. 89-99.

Gaub, F. (2019a). The Benefit of Hindsight – What we got wrong – and why. European Institute for Security Studies. Brief 1, February 2019.

Gaub, F. (2019b). *Global trends to 2030. Challenges and Choices for Europe. European Strategy and Policy Analysis*. April 2019.

Graziano, M. and Gillingham, K. (2015). Spatial patterns of solar photovoltaic system adoption: The influence of neighbors and the built environment. *Journal of Economic Geography*, 15(4), pp. 815–839. doi: 10.1093/jeg/lbu036.

Göransson L., Lehtveer M., Nyholm E., Taljegard M., Walter V. (2019). The Benefit of Collaboration in the North European Electricity System Transition – *System and Sector Perspectives*. *Energies* 2019, 12, 4648

Huijts, N.M.A., Molin, E.J.E. & Steg, L. (2012). Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 525-531.

IEA (2017). *Digitalization & Energy*. OECD/IEA, 2017

IEA (2019). *World Energy Model documentation 2019 version*, IEA, Paris. Tillgänglig på <https://www.iea.org/reports/world-energy-model/documentation>

IEA (2020a). *Energy Technology Perspectives 2020*. Special Report on Clean Energy Innovation. Accelerating technology progress for a sustainable future.

IEA (2020b). *Power systems in Transition. Challenges and opportunities ahead for electricity security*.

IPCC (2018). *IPCC Special report Global Warming of 1.5°C, 2018*. Figur SPM.3a, sid 13. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IRENA (2019a). *Future of Wind 2019*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf

- IRENA (2019b). *Artificial Intelligence and Big Data. Innovation Landscape Brief*. International Renewable Energy Agency.
- Johnsson, F. & Kjärstad, J. (2019). *Avskiljning, transport och lagring av koldioxid i Sverige*. Behov av forskning och demonstration. Institutionen för Rymd-, geo-, och miljövetenskap. Avdelning Energiteknik, Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg 2019.
- Johnsson F., Karlsson I., Rootzén J., Ahlbäck A., Gustavsson M. (2020). The framing of a sustainable development goals assessment in decarbonizing the construction industry – Avoiding Greenwashing. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 131, 2020.
- Kamp, S. (2013). *Sveriges potential för elproduktion från takmonterade solceller — Teoretisk, teknisk och ekonomisk analys*. Available at: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:649195/FULLTEXT03.pdf>.
- Kjellsson, E. (2000). *Potentialstudie för byggnadsintegrerade solceller i Sverige — Rapport 2*. Analys av instrålningsnivåer på byggnadsytor. Lunda.
- de Lagarde, C. M. and Lantz, F. (2018). How renewable production depresses electricity prices: Evidence from the German market. *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 117(March), pp. 263–277. doi: 10.1016/j.enpol.2018.02.048.
- Leviñ F. m.fl. (2019). Introducing BECCS through HPC to the research agenda: The case of combined heat and power in Stockholm. *Energy Reports* 5(2019)1381–89
- Lindahl, J. m.fl. (2020). *National Survey Report of PV Power Applications in Sweden 2019*. Knivsta.
- Liu, L., Bouman, T., Perlaviciute, G. & Steg, L. (2019). Effects of trust and public participation on acceptability of renewable energy projects in the Netherlands and China. *Energy Research & Social Science*, Volume 53, pages 137-144.
- López Prol, J., Steininger, K. W. and Zilberman, D. (2020). The cannibalization effect of wind and solar in the California wholesale electricity market. *Energy Economics*. The Authors, 85, p. 104552. doi: 10.1016/j.eneco.2019.104552.
- Löfblad, E., Unger, T., Holmström, D., Lewan, M. & Montin, S. (2018). *Digital utveckling och möjligheter för energisektorn. Ett kunskapsprojekt. Delrapport 1*. Energiforsk rapport 2018:501.
- Moomaw W., Yamba F., Kamimoto M., Maurice L., Nyboer J., Urama K. och Weir T. (2011). *Introduction*. In *IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2011.
- Naturvårdsverket (2005). *Framtidsstudier – erfarenheter och möjligheter. Med perspektiv från Avdelningen för hållbar samhällsutveckling*, Naturvårdsverket. Rapport 5495, september 2005.
- Naturvårdsverket (2011). *Synergimöjligheter, målkonflikter och problem i miljömålsarbetet. En analys utifrån nyckelaktörers perspektiv*. Rapport 6474, december 2011.
- Naturvårdsverket (2020). *Territoriella utsläpp och upptag av växthusgaser 1990-2018*. <http://www.naturvardsverket.se/klimatutslapp> (hämtad 2020-10-15).
- NEA (2012). *The Economics of Long-term Operation of Nuclear Power Plants*. NEA rapport 7054, 2012.
- NEI (2020). *Nuclear costs in context*.
- Neo-Carbon Energy (2017). *Emission-Free Future Now Available. Impact and Results*. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Lappeenranta University of Technology LUT and University of Turku, Finland Futures Research Centre FFRC.
- NEPP (2015). *15 slutsatser om elsystemets utveckling i Sverige, Norden och Europa*. Maj 2015. http://nepp.se/etapp1/pdf/El-systemets_utveckling_i_SNE.pdf

NEPP (2017). *Miljörättsliga aspekter kring effektökning i vattenkraftverk*. NEPP rapport, oktober 2017. <http://www.nepp.se/pdf/Miljorattsliga.pdf>

NEPP (2018a). *Sanctuary M., Interactions between Sustainable Development Goals – Focus on Goal 7: Affordable Clean Energy*. NEPP-rapport, juni 2018, <http://nepp.se/pdf/SDG.pdf> (Hämtad 2020-08-20)

NEPP (2018b). Gustavsson M, Matschke Ekholm H, Holmgren K, Hackl R. *Europeiska Unionens direktiv för främjande av förnybar energi perioden 2020 – 2030 med fokus på fasta biobränslen – Betraktelser utifrån existerande underlag och diskussioner 2017, och början 2018*. NEPP rapport, februari 2018.

NEPP (2018c). North European Power Perspectives, *Vindkraftens effektvärde*, http://www.nepp.se/pdf/Vindkraft_effektvarde.pdf

NEPP (2018d). North European Power Perspectives, *Investerares avkastningskrav och nya aktörer i kraftsystemet*, <http://www.nepp.se/pdf/investerares.pdf>

NEPP (2019a). Bruce J, Krönert F, Obel F, Yuen K, Wiesner E, Dyab L, Greger K, Lidström E, Sköldberg H, Rydén B, Unger T, Gode J, Nilsson J. *Färdplan fossilfri el analysunderlag - En analys av scenarier med en kraftigt ökad elanvändning*. NEPP rapport. Augusti 2019

NEPP (2019b). Rydén B. och Unger T., *Två scenarier*, https://www.nepp.se/pdf/nepp_scenarier.pdf

NEPP (2019c). *Preliminära analyser av ett högelscenario visar hur en kraftigt ökad elanvändning kan mötas* <http://nepp.se/pdf/hogelscenario.pdf>

NEPP (2019d). North European Power Perspectives, *Kostnader och potential för solceller i Sverige*, http://www.nepp.se/pdf/kostn_potential_solceller.pdf

NEPP (2019e). *Kundnära aktörer ökar sitt engagemang i elsystemet*, NEPP resultatblad, februari 2019.

NEPP (2019f). *Vägvalet för energibolagen*. NEPP resultatblad, februari 2019

NEPP (2020). *Eleffektfrågan – utmaningar och lösningar*

Norberg, I. m.fl. (2015). *Sol i lantbruket — Realiserbar potential och nya affärsmodeller*. Uppsala. Available at: http://www.jti.se/uploads/jti/R-433_OPe_m.fl.pdf.

Palm, A. (2016). Local factors driving the diffusion of solar photovoltaics in Sweden: A case study of five municipalities in an early market. *Energy Research and Social Science*. Elsevier Ltd, 14, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.erss.2015.12.027.

Penrose, E. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. (1995 ed.) Oxford. Oxford University Press.

Persson, S. and Sören (2020). *Åsikter om energi och kärnkraft — Den svenska miljö-, energi- och klimatopinionen 1998–2019*. Göteborg.

Qvarnström, L. (2019). *Svenskt Kvalitetsindex*. Från abonnemang till engagemang - 15 års insikter om kundnöjdhet i energibranschen. Webinarium 19-10-01

RE:Source (2019). *Vägar till framtidens energiåtervinning*. Profu och RISE, 2019

Roberts, N. (2000). *Coping With Wicked Problems*. Naval Postgraduate School, Monterey, California, Department of Strategic Management Working Paper

Robinson, E. A. G. (1930). *The Structure of Competitive Industry*. Cambridge. University Press

- Rockström J. och Sukhdev P. (2016). *EAT Forum 13 juni 2016*. <https://www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html> (Hämtad 2020-08-20).
- Rogelj, J., m.fl. (2015). Energy system transformations for limiting end-of-century warming to below 1,5°C *Nature Climate Change*, 2015, Vol. 5 (519-527).
- Sahlin J och Solis M (2019). *Kapacitetsutredning 2019 – Energiåtervinning och mängder restavfall till år 2024*. Avfall Sverige rapport 2019:18
- Sandoff, A. (2002). *Resursbaserad konkurrenskraft - En analys av elleverantörers konkurrensfördelar*. Avhandling. Handelshögskolan vid Göteborgs universitet, BAS förlag.
- Sandoff, A. Williamsson, J. (2020). *Investeringar i förnybar kraftproduktion - Affärsmässiga drivkrafter och samhällsliga ansvarsperspektiv*. Profu AB. Mölndal.
- Scherer. F. M. Ross, D. (1980). *Industrial Market Structure and Economic Performance*. Houghton Mifflin Company. Boston.
- Schot, J., Kanger, L. & Verbong, G. (2016). The roles of users in shaping transitions to new energy systems. *Nature Energy*, Vol 1, May 2016. Perspective. Published 6 May 2016.
- Slovic, 1987; Sjöberg, 1998 citerat i Yetano Roche, M., Mourato, S., Fischedick, M., Pietzner, K. & Viebahn, P. (2010). Public Attitudes Towards and Demand for Hydrogen and Fuel Cell Vehicles: A Review of the Evidence and methodological implications. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. In: *Energy Policy* 38 (10). 5301-5310.
- SOU (2018). *Mindre aktörer i energilandskapet – genomgång av nuläget*. SOU 2018:15.
- SOU (1970). *Stordriftsfördelar inom industriproduktion*. Finansdepartementet, Stockholm. SOU 1970:30.
- SOU (2018). *Det går om vi vill. Förslag till en mer hållbar plastanvändning*. Statens Offentliga Utredningar SOU 2018:84
- SOU (2020). *Vägen till en klimatpositiv framtid. Slutbetänkande från Klimatpolitiska vägvalsutredningen*. Statens Offentliga Utredningar SOU 2020:4, januari 2020.
- Stabell, C. Fjeldstad, Ø. (1998). Configuring value for competitive advantage: on chains, shops, and networks. *Strategic Management Journal*. 19(2). 413-437.
- Svenska kraftnät (2019). Planeringsrådet, https://www.svk.se/siteassets/om-oss/organisation/vara-rad/planeringsradet/2019/2019-mote-4-bilaga-9_havsbaserad-vindkraft.pdf
- Svenska kraftnät (2020a). *Kraftbalansen på den svenska elmarknaden*. Rapport 2020, 2020-05-29
- Svenska kraftnät (2020b). *Svenska kraftnät i avtal med Ringhals om tillgänglighet av kärnkraft under sommaren*, <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/allmanna-nyheter/2020/svenska-kraftnat-i-avtal-med-ringhals-om-tillganglighet-av-karnkraft-under-sommaren/>
- Svensk Vindenergi (2019). *100 procent förnybart 2040 - Vindkraft för klimatnytta och konkurrenskraft*, https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2019/10/Svensk_Vindenergi_F%C3%84RDPLAN_2040_rev-1.pdf.
- Svensk Vindenergi (2020). *Statistics and forecast Q2 2020*, <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/07/Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-2020-07-03.pdf> respektive *Statistics and forecast 2020-05-04*, <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/05/Statistics-and-forecast-Svensk-Vindenergi-2020-05-04.pdf>
- Svenskt Kvalitetsindex (2019a), <https://www.kvalitetsindex.se/energi-2019/>, hämtad 2020-11-04

- Svenskt Kvalitetsindex (2019b), <https://www.kvalitetsindex.se/wp-content/uploads/2019/11/SKI-Energi-2019.pdf>. Hämtad 2020-10-29
- Svenskt Näringsliv (2020). *Kraftsamling elförsörjning – Långsiktig scenarioanalys*. Qvist Consulting Ltd rapport för Svenskt Näringsliv
- Sweco (2016). *Effektutbyggnad vattenkraft*
- Sweco (2020). *PPA avtal*, <https://blogs.sweco.se/ppa-avtal/>
- TEG (2020). *Taxonomy report: Technical annex*. EU technical expert group on sustainable finance, mars 2020
- Truelove, H.B. (2012). Energy source perceptions and policy support: Image associations, emotional evaluations, and cognitive beliefs. *Energy Policy* 45, 478-489.
- Unger T och Holm J (2019). *El och fjärrvärme – Samverkan mellan marknaderna, etapp III*. Energiforsk rapport 2019:570.
- Unger T, Löfblad E, Månborg V (2019). *Sustainability aspects on nuclear power – A literature survey*. Energiforskrapport 2019:607.
- Unitedminds (2014). *Svensk Energi — Elmätaren 5*. Stockholm.
- Vattenfall (2017). *Framåt och bakåt för kärnkraften*, <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2017/framat-och-bakat-for-karnkraften>
- Visschers, V.H.M. & Siegrist, M. (2014). Find the differences and the similarities: Relating perceived benefits, perceived costs and protected values to acceptance of five energy technologies. *Journal of Environmental Psychology* 40 (2014): 117-130.
- Visschers, V.H.M., Keller, C. & Siegrist, M. (2011). Climate change benefits and energy supply benefits as determinants of acceptance of nuclear power stations: Investigating an explanatory model. *Energy Policy* 39 (2011) 3621-3629.
- Värmemarknad Sverige (2016). *Hållbarhetsmålen på värme-marknaden - Är det hållbart att alla aktörer siktar högt, och gör det på just sina mål?*
- Värmemarknad Sverige (2019). *Framtidens värmelösning - olika utvecklingsvägar och bakomliggande faktorer*. http://www.varmemarknad.se/pdf/framtidens_v%C3%A4rme%C3%B6sning.pdf. Hämtad 2020-11-04
- Värmemarknad Sverige (2020). *100 steg mot framtidens värmemarknad*, feb 2020, http://www.varmemarknad.se/pdf/100_steg.pdf
- Waddock, S. (2013). The Wicked Problems of Global Sustainability Need Wicked (Good) Leaders and Wicked (Good) Collaborative Solutions. *Journal of Management for Global Sustainability* 1 (2013): 91-111
- Warneryd, M. and Karltorp, K. (2020). The role of values for niche expansion: The case of solar photovoltaics on large buildings in Sweden. *Energy, Sustainability and Society. Energy, Sustainability and Society*, 10(1). doi: 10.1186/s13705-020-0239-7.
- WCED (1987). *Our Common Future*, <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (Hämtad 2020-08-20).
- Welisch, M., Ortner, A. and Resch, G. (2016). Assessment of RES technology market values and the merit-order effect — An econometric multi-country analysis. *Energy and Environment*, 27(1), pp. 105-121. doi: 10.1177/0958305X16638574.
- Widén, J. m.fl. (2017). *Utvärdering av tekniska lösningar för att hantera omfattande anslutning av solcellssystem i eldistributionsnät*. Uppsala.
- World Nuclear News (2019). (2020). <https://world-nuclear-news.org/Articles/Turkey-Point-licensed-for-80-years-of-operation> och <https://world-nuclear-news.org/Articles/Second-US-plant-licensed-for-80-year-operation>

REFERENSER

Yetano Roche, M., Mourato, S., Fishedick, M., Pietzner, K., Viebahn, P. (2010), Public Attitudes Towards and Demand for Hydrogen and Fuel Cell Vehicles: A Review of the Evidence and Methodological Implications. *Energy Policy* 38 (10): 5301-5310 (doi:10.1016/j.enpol.2009.03.029).

YUGOV (2018). *Bygmabarmetern*, Bygma.

ÅF (2018). *Översyn av Trafikverkets klimatscenarier. Rapport för Trafikverket*, januari 2018, uppdaterad mars 2018

Örsted (2019). *A European Green Deal How offshore wind can help decarbonise Europe*