



nepp

SAMMANFATTNING AV RAPPORTEN:

Insikter och vägval i energiomställningen

November 2020



Insikter och vägval i energiomställningen

– sammanfattning

December 2020



**Förändringen av
energisystemet måste
gå fortare och vara mer
genomgripande än vad
tidigare bedömningar
har visat**

● 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.

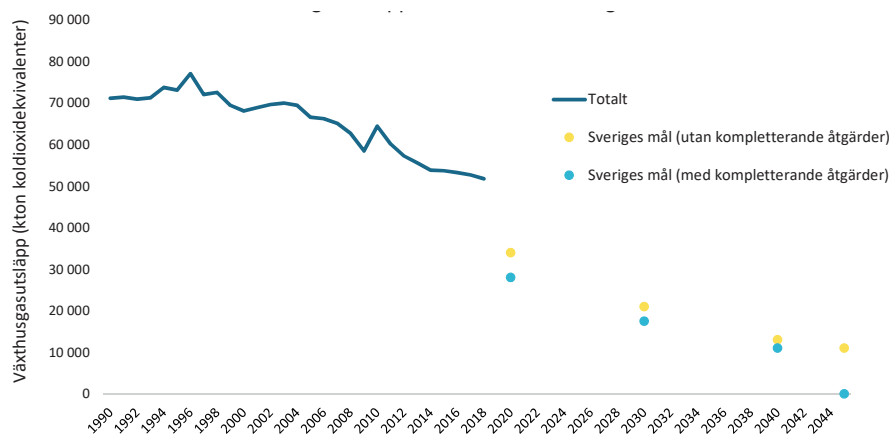
Sverige har bättre förutsättningar än många andra länder att lyckas nå klimatmålen. El- och värmeproduktion med låg klimatpåverkan, kombinerat med en snabb utveckling av ny teknik, kan möjliggöra utsläppsminskningar i transportsektorn och industrin och till och med bidra med negativa utsläpp, på ett 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 minusutsläpp 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 nettonoll 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 teknikskiften 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

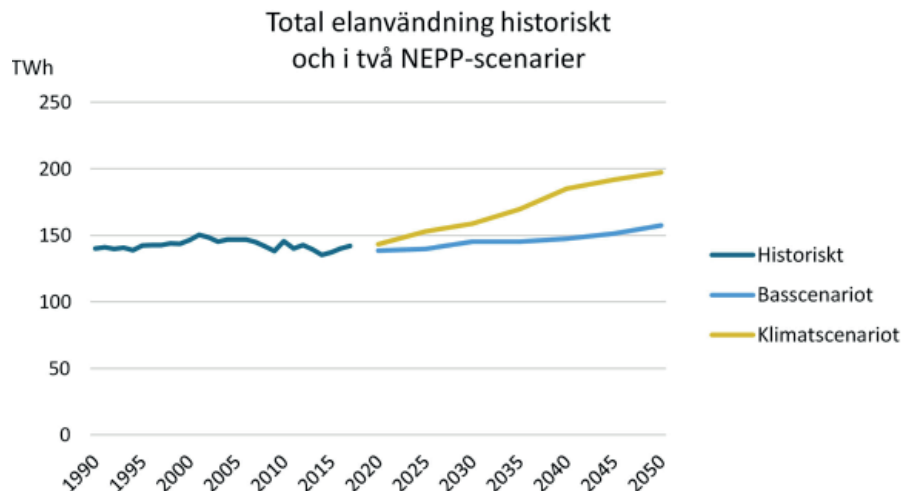
medlemsstater har upprepat vikten av den gröna given och investeringar i klimatomställning i EU:s finansieringsförslag för återhämtning. Om detta omsätts till konkret handling och stimulansen av ekonomin inriktas på innovation och nya industrier snarare än på att enbart återskapa de arbetstillfällen 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 klimat-

gaser 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 många som den enda realistiska vägen framåt. Både CCS och biodriv-



Figur S.2. Elanvändning historiskt ³ och i NEPP-scenarier.

medel 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 sce-

narier 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**

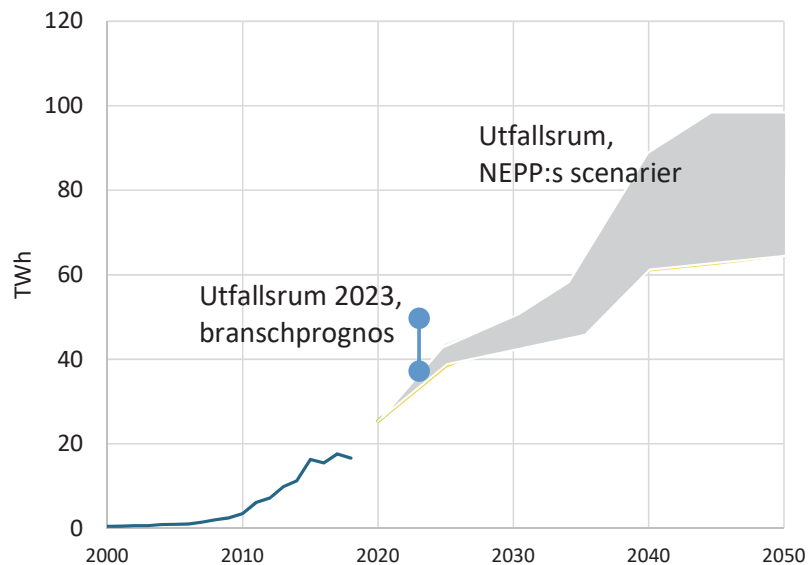
VINDKRAFTEN VÄXER SNABBT i Sverige. 2019 fanns totalt 8,7 GW installerad vindkraft och i slutet av 2020 förväntas vindkraftens installerade normalårsproduktion uppgå till 30 TWh, vilket motsvarar ungefär en femtedel av den totala elanvändningen i Sverige.

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	😊	😊	😊	😐	😐	😊

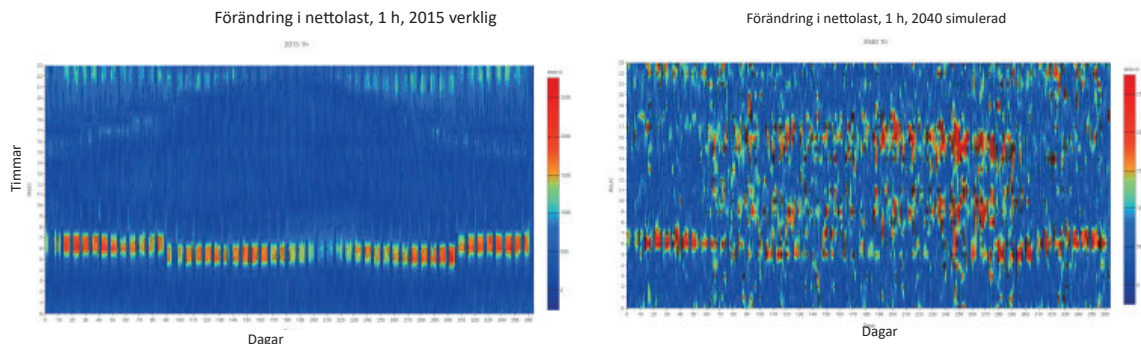
Figur S.4: Schematisk, och delvis subjektiv, bedömning av olika åtgärders förmåga att möta olika flexibilitetsutmaningar.

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 kom-

mer 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

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.

i lokal kraftvärmeproduktion, stärka kopplingen till det nationella elnätet eller förlita sig på marknader för efterfrågefleksibilitet för att lösa lokal effektbrist? Vilka antaganden som görs om ”nya” metoder för flexibilitet, t.ex. efterfrågefleksibilitet 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 nätanslutningar 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 effekti-

viseringsåtgärderna 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.



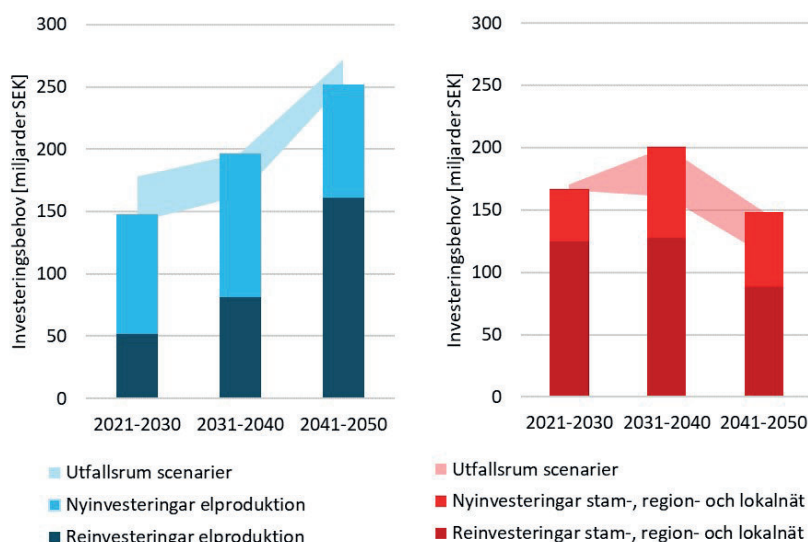
● Det krävs stora investeringar, men de är inte historiskt unika och behoven skiljer sig inte dramatiskt mellan olika produktionsmixar

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 investerades 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.

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



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>.

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.

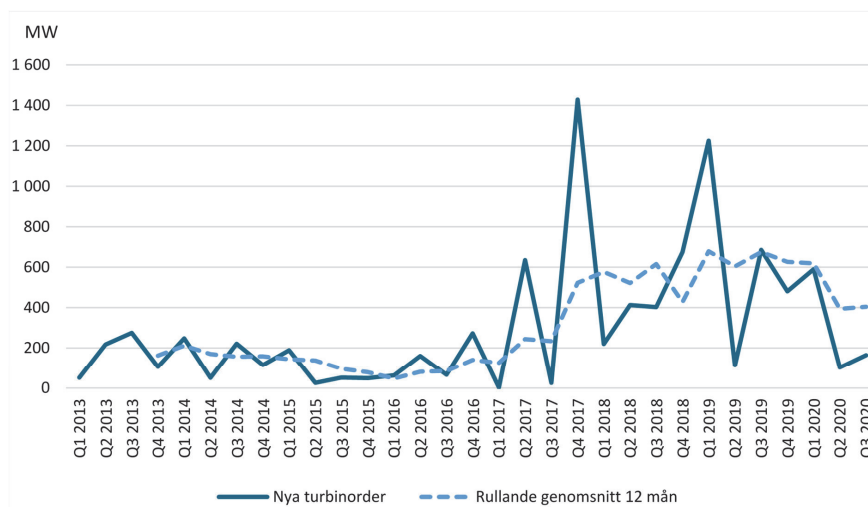
Stödtjänster måste vara på plats för att garantera ett leveranssäkert elsystem, men kan bestå av andra

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 tänk-



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

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>

bart 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.

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 elnätsförstärkning i södra Sverige och långa och komplicerade tillståndprocesser.

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.



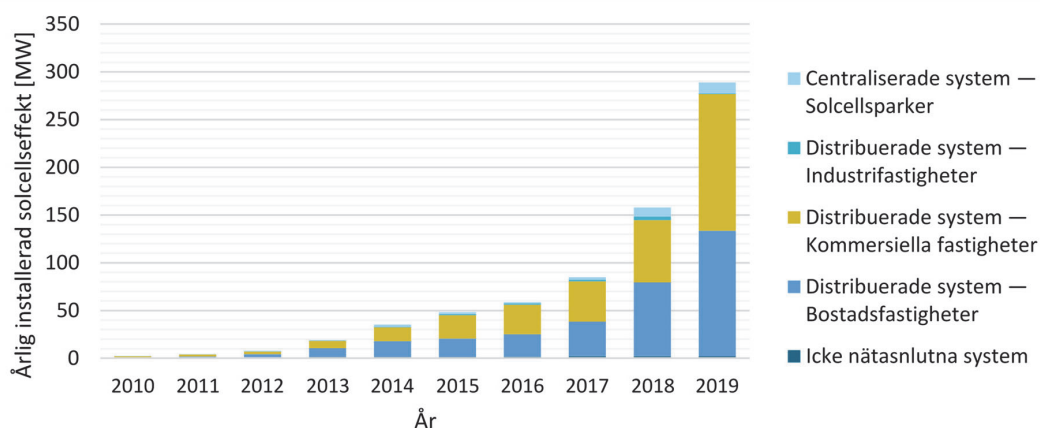
10) SvK, 2020.

● 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 marknads utformning 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.



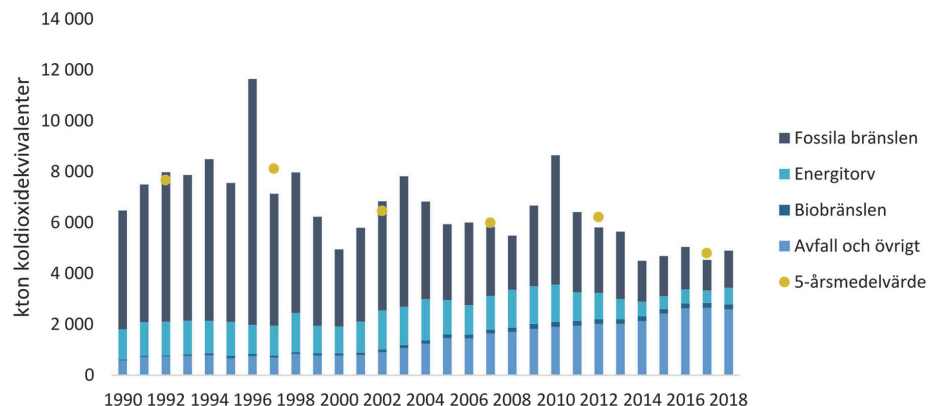
NEPP:s analys visar att det kan finnas skäl att särskilt stimulera investeringar i kraftvärme och vattenkraft



● 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.

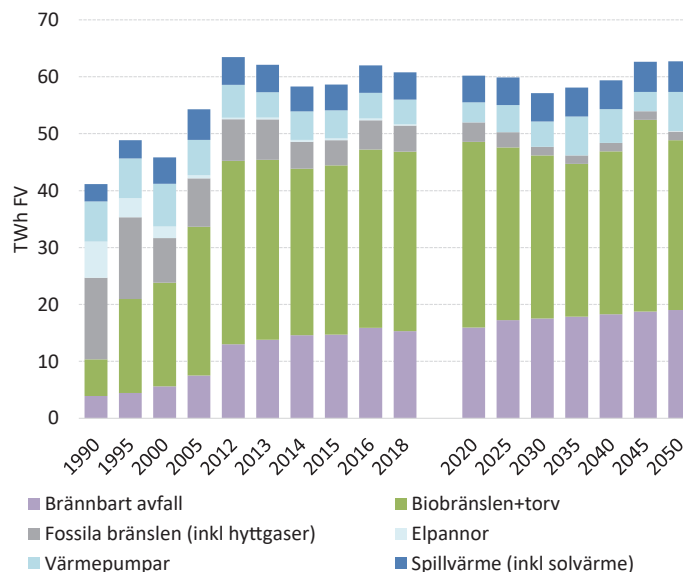


Figur S.9. Direkta utsläpp av växthusgaser från förbränning för el- och fjärrvärmeproduktion i Sverige 1990–2018.¹⁴ Utsläppen från biobränsle avser metan och dikväveoxid, inte koldioxid.

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 Bassscenario. 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 tillståndprocesser. Inte heller balansen mellan avreglerade marknader och offentlig intervention är

självklar, liksom hur man sätter systemgränser för att bedöma måluppfyllelse.

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

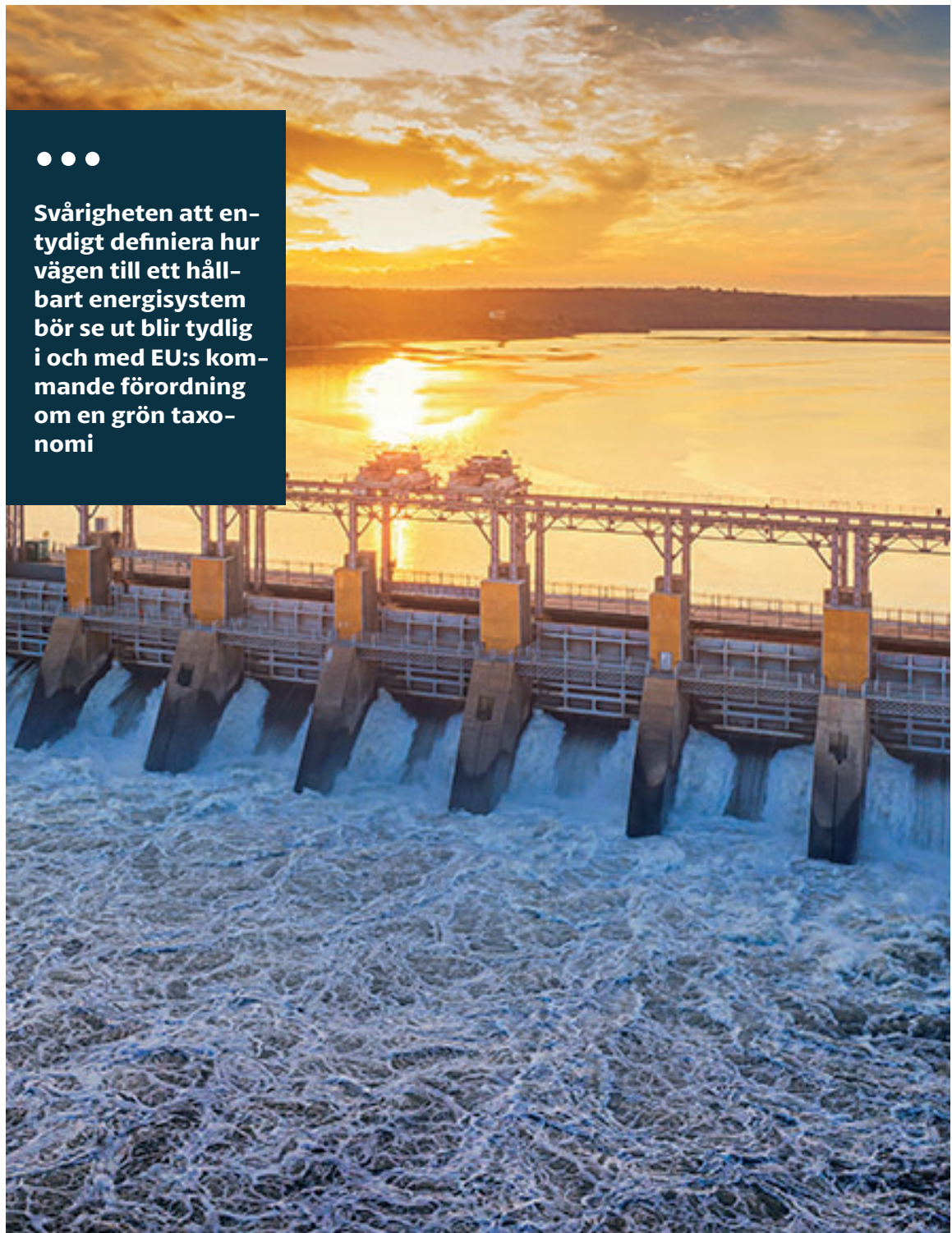
Svårigheten att entydigt definiera hur vägen till ett hållbart energisystem bör se ut blir tydlig i och med EU:s kommande förordning om en grön taxonomi. Taxonomin ska användas för att vägleda investerare och finansmarknadsaktörer mot hållbara investeringar. Olika tekniker bedöms utifrån sex miljömål-

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



sättningar: minska klimatutsläpp, klimatanpassning, vatten och marina resurser, cirkulär ekonomi, föroreningar och skydd av ekosystem.

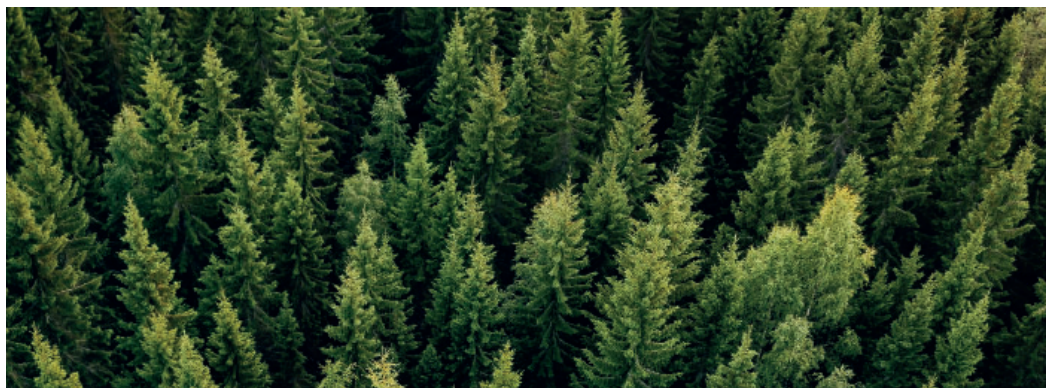
Bedömningen enligt taxonomin är binär: antingen anses en teknik hållbar eller också är den det inte. Det gör den enkel att tillämpa och behöver i sig inte vara ett problem, men den gömmer därmed också målkonflikter. Energiutvinning ur avfall för till exempel fjärrvärmeproduktion anses ha en roll även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

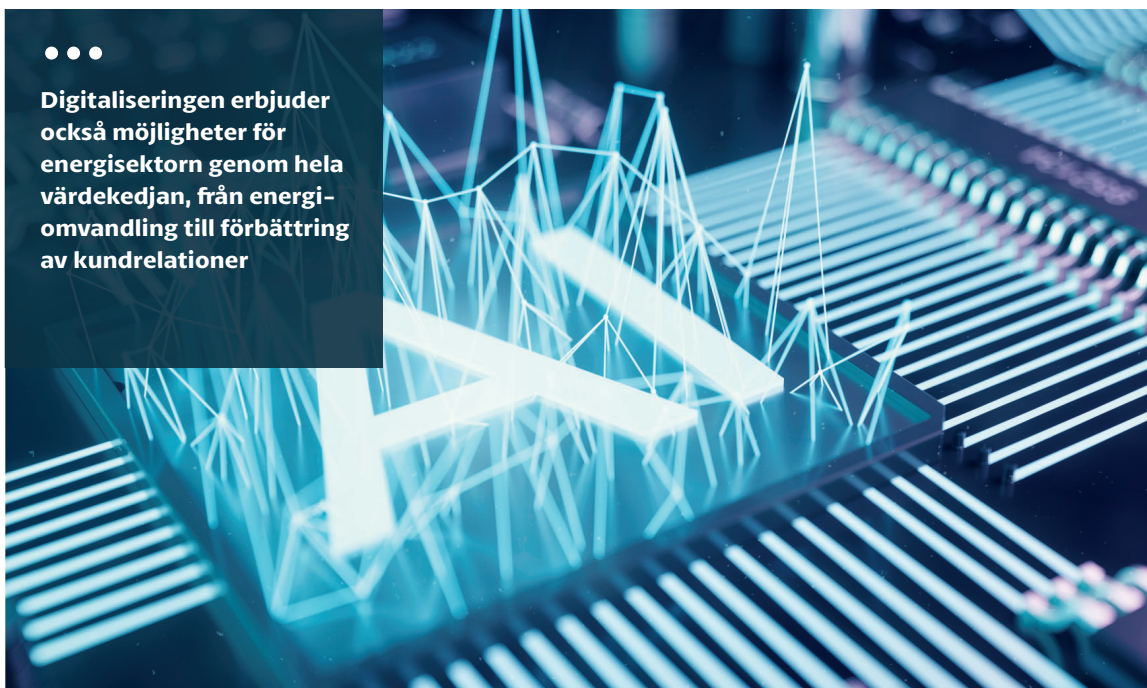
IT-säkerhet blir allt viktigare, och analyser indikerar att Sverige sannolikt varken är bättre eller sämre på IT-säkerhet jämfört med andra länder. En generellt

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 klimatmål 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





nepp
www.nepp.se