



Framtidens elektrifierade samhälle

Analys för en hållbar elektrifiering

ER 2021:28



Energimyndighetens publikationer kan laddas ner eller beställas via www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, oktober 2021

ER 2021:28

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-038-7

ISBN (tryck) xxx-xx- xxxx-xx

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Det moderna fossilfria välfärdssamhället är till stor del ett digitaliserat och elektrifierat samhälle, där elektrifieringen är en central förutsättning att nå fossilfrihet i många sektorer och branscher. Elektrifieringen är en bärande del i industrins och transportsystemets nödvändiga klimatomställning och en central åtgärd för att länderna ska klara sina nettonoll mål.¹ De senaste årens utveckling inom elektrifiering visar detta med tydlighet. Möjlighet att erbjuda sin kunder klimatneutrala produkter kommer att vara en avgörande konkurrensfördel för morgondagens industrier. Detta innebär inte bara ett ökat behov av produktion och distribution av el utan också nya konsumtionsmönster och -områden i samhället. Ökad elanvändning kräver att såväl elproduktionen som elnätet anpassas, förnyas och byggs ut för att tillgodose det framtida fossilfria samhället. Samtidigt behöver vi utveckla och förbättra effektiviteten i elanvändning utifrån var, när, hur och vad el används till inom energisystemet.

I denna stora omställning som nu de facto pågår behöver hållbarhetstanken vara centralt i utvecklingen av el- och energisystemen. Elektrifieringen måste helt enkelt vara hållbar miljömässigt, socialt och ekonomiskt. De positiva effekterna av elektrifieringen ska värnas och de eventuella negativa konsekvenserna begränsas och undvikas helt när så är möjligt. Den akuta klimatsituationen som en enad vetenskap är överens om kräver agerande men med försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet i samklang så långt det är möjligt.

Inom ramen för Miljömålsrådets arbete har detta arbete genomförts för att kvantitativt och kvalitativt se på elektrifieringens påverkan på såväl de energipolitiska grundpelarna som de nationella miljökvalitetsmålen. Åtta fokusområden har identifierats som särskilt viktiga för en hållbar elektrifiering. Arbetet inom dessa områden kommer i och med denna rapport att intensifieras och fördjupas inom Miljömålsrådets arbete, där nästa steg är att ta fram förslag och åtaganden för en hållbar elektrifiering.

Arbetet är ett programområde inom Miljömålsrådet där Energimyndigheten har driv- och samordningsansvar tillsammans med Naturvårdsverket, Havs- och vattenmyndigheten, Strålsäkerhetsmyndigheten, Tillväxtverket, Trafikverket, Sveriges geologiska undersökning och Länsstyrelserna. Energimarknadsinspektionen har även deltagit som expertmyndighet i arbetet. Energimyndigheten är slutligt ansvarig för innehållet i rapporten. Vi på Energimyndigheten vill rikta ett extra stort tack till referensgruppen bestående av myndigheterna inom Miljömålsrådet samt Energimarknadsinspektionen för deras bidrag.

Det här arbetet är en del av en större helhet avseende elektrifiering av samhället tillsammans med den av Energimyndigheten och Naturvårdsverket nyligen framtagna strategin för hållbar vindkraftsutbyggnad och de kommande nationella strategierna för bland annat vätgas och hållbar batteriutveckling samt regeringens elektrifieringsstrategi för den framtida utvecklingen av elsystemet.

Robert Andréén
Generaldirektör

¹ *World Energy Outlook 2020*, World Energy Outlook 2020 – Analysis – IEA (hämtad 2021-07-02)

Innehåll

Sammanfattning	4
1 Introduktion	12
1.1 Inledning	12
1.2 Syftet med rapporten	12
1.3 Tidigare scenarier och bedömningar av elektrifieringen	13
1.4 Stark elektrifieringstrend i närliggande länder och internationellt	14
1.5 Andra utredningar och uppdrag som kopplar till elektrifiering	15
1.6 Hur ska rapporten läsas?	16
2 Vilka analyser har gjorts och varför?	17
2.1 Analys av de energipolitiska målen	17
2.2 Vilka scenarier har undersökts?	17
2.3 Utgångspunkt i Energimyndighetens långsiktiga scenarier	18
2.4 Genomförda bakgrundsanalyser i arbetet	19
3 Analys av ekologisk hållbarhet	20
3.1 Utgångspunkter för bedömningen av miljöeffekter	20
3.2 Miljöeffekter av en förändrad elanvändning	22
3.3 Systemövergripande miljöutmaningar	35
4 Analys över konkurrenskraft	42
4.1 Konkurrenskraft ingår i scenariernas förutsättningar och finns i elektrifieringens drivkrafter	42
4.2 El blir en ännu viktigare insatsvara och elpriset allt viktigare för konkurrenskraften	44
4.3 Ökad efterfrågan och pris stärker kraftproducenternas konkurrenskraft	51
4.4 Hela näringslivet påverkas av elektrifiering	52
4.5 Elektrifiering kan påverka handelsmönster	55
5 Analys över försörjningstrygghet	59
5.1 Förutsättningar för en trygg energiförsörjning	59
5.2 Elektrifieringen medför förändrade beroenden	60
5.3 Effekterna på olje- och drivmedelsförsörjningen och konsekvenserna för samhället	60
5.4 Geografisk spridning av elproduktion och samlokalisering med stora energianvändare kan minska sårbarheten	61

5.5	Möjligheter till ödrift i större utsträckning	61
5.6	Behovet av IT-skydd kommer att vara stort	62
5.7	Effekterna av en försämrad effektbalans kan mildras av god prisbildning, utlandsförbindelser och flexibla elanvändare	62
5.8	Leveranssäkerheten påverkas	63
5.9	Beredskapssystem och reservkraft	65
6	Övergripande resultat och fokusområden	66
6.1	Elektrifieringen möjliggör klimatomställningen, ökad konkurrenskraft och kan stärka försörjningstryggheten	66
6.2	Utmaningar för en hållbar elektrifiering	67
6.3	Förslag till fokusområden	69
6.4	Det är viktigt med ett systemperspektiv	76
6.5	Fortsatt arbete	77
7	Bakgrundsanalys – Hur påverkas elanvändningen av en ökad elektrifiering?	78
7.1	Elanvändningen ökar till 2050	78
7.2	Industrins elanvändning	80
7.3	Transportsektorns elanvändning	94
7.4	Bostads- och servicesektorns elanvändning	111
8	Bakgrundsanalys – Potentialen för flexibel elanvändning	119
8.1	Vad är flexibel elanvändning och efterfrågefleksibilitet?	120
8.2	Förutsättningar för att potentialen för efterfrågefleksibilitet ska frigöras	120
8.3	Nya och utvecklade marknader för flexibilitetsresurser	121
8.4	Sammanställning av potentialen för flexibel elanvändning	122
8.5	Flexibel elanvändning i industrisektorn	126
8.6	Flexibel elanvändning inom transportsektorn	130
8.7	Flexibel elanvändning i bostads- och servicesektorn	131
9	Bakgrundsanalys – Hur påverkas elsystemet av en ökad elektrifiering och flexibel elanvändning?	136
9.1	Modellering av elsystemet	137
9.2	Resultat av elsystemmodelleringen	140
9.3	Utmaningar för elsystemet med en ökad elektrifiering	158
	Bilaga 1 Förutsättningar	164
	Bilaga 2 Resultattabeller	168

Sammanfattning

Den pågående elektrifieringen av samhället är en förutsättning för att fasa ut användningen av fossila bränslen och begränsa klimatförändringarna. Denna omställning är i hög grad påbörjad inom transportsektorn och inom flera industrisektorer har långtgående planer för elektrifiering annonserats. Detta är en stark global trend och många svenska industriföretag ser elektrifieringen av sina processer som avgörande för att även i framtiden vara konkurrenskraftiga.

Energimyndigheten bedömer utifrån analysen som genomförts att elektrifieringstrenden kan ha en stor nytta för alla energipolitiska mål så som ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. Framförallt på grund av att antalet förbränningsprocesser kraftigt minskas i värdekedjan och att beroendet av fossila bränslen samtidigt bryts.

Elektrifieringen innebär samtidigt en stor strukturell samhällsomställning där flera sektorer förändras i grunden och där elsystemets elanvändning och produktion kan fördubblas fram mot 2050. Det finns möjlighet att göra denna omställning hållbar om utmaningar som kan uppstå längst vägen adresseras redan i dag. Samtidigt är det svenska elsystemet ett nordiskt elsystem, som också är sammankopplat med övriga Europa, vilket medför att utmaningarna med elektrifieringen är gemensamma med de andra europeiska länderna.

Ett brett systemperspektiv behövs för att ge underlag för politiska beslut. För att bedöma konsekvenserna av elektrifieringen behövs ett brett system- och samhällsperspektiv. När industri- och transportsektorn ska elektrifieras kommer elproduktionen behöva öka, vilket i sig kan öka markanvändningen i Sverige. Samtidigt kommer markanvändningen i andra länder minska genom till exempel minskad kolbrytning och oljeutvinning. Försörjningstryggheten kommer att förbättras på grund av minskat behov av bränslen från geopolitiskt osäkra områden men Sverige kommer samtidigt bli mer beroende av ett elsystem med de sårbarheter som det för med sig. Minskade klimatutsläpp och luftföroreningar kommer att ske samtidigt som nya risker vid ett förändrat resursuttag uppstår. I sammanhanget ska det också påminnas om att alternativet att inte kraftigt minska utsläppen av koldioxid kommer att få mycket stora konsekvenser och genomgående påverkan på oss och vår omgivning. I slutändan kommer det att finnas ett behov av politiska beslut som värderar vad som är viktigast i de målkonflikter som kommer att uppstå. Många fler beslut kommer också att behöva tas på lokalnivå då utvinning av delar av den svenska energiproduktion flyttar från andra länder till Sverige.

Grundläggande för en hållbar elektrifiering är välfungerande marknader...

För att begränsa exploatering, minska påverkan på landskapet, hålla nere kostnaden för omställningen samt trygga energiförsörjningen är en kombination av flexibilitet och resurseffektivitet en nyckel. Den här studien bekräftar vad Energimyndighetens tidigare studier, exempelvis 100 procent förnybar el² och Nationell strategi för en hållbar vind-

² 100 procent förnybar el, ER 2019:6, Energimyndigheten.

kraft³, pekat på: Att ett elsystem med inbyggd flexibilitet och större möjlighet att välja mellan olika fossilfria kraftslag och dess geografiska placering kan bidra till samtliga energipolitiska mål. Resultatet i den här studien visar också att prisnivåerna är sådana att incitament finns för både flexibilitet och investeringar i elproduktion där det finns stort behov. Det förutsätter dock att prissignaler når fram och att det finns kunskap, tekniska förutsättningar och regelverk som möjliggör investeringar samt att strukturella hinder undanröjs.

...detta kräver en korrekt prissättning av externa effekter...

I ett hållbart energisystem bör alla positiva och negativa effekter internaliseras i prissättningen eller i regelverk. Kan detta göras på en välfungerande marknad med långsiktiga spelregler och prissignaler som når fram till aktörer skapas starka incitament för att nå de energipolitiska målen. Men för att internalisera kostnaderna för till exempel miljöpåverkan behövs mer kunskap om och fokus på hur miljökonsekvenser ska kunna bedömas i ett systemperspektiv. En omställning medför nya förutsättningar som kommer att påverka omgivningen på ett annat sätt än vad som tidigare har varit fallet. Det gör att omställningen kommer att föra med sig nya förhållanden som man behöver förstå och ta hänsyn till. Vad Sverige, och även andra länder, gör får återverkningar både nationellt och internationellt och här är systemperspektiven viktiga och inte minst var man sätter systemgränser för att kunna ge rätt information och göra hållbara val.

...så att prissignaler kan vara drivande för ett hållbart val

Det är i huvudsak vinstdrivande företag på en internationellt konkurrensutsatt marknad som ska genomföra de flesta investeringarna inom industrin och elsektorn. Samtidigt ska det kombineras med nationella målsättningar, regelverk och samhällsbehov som kräver insatser från allt från kommuner till myndigheter. Kombinationen av prissignaler och regelverk gäller inte bara energimarknader utan även andra marknader och andra delar av samhället särskilt då elektrifieringen är en multisektoriell omställning. På en marknad med tydliga regler bör prissignaler i första hand vara den drivande faktorn för hållbara beslut hos aktörer snarare än att välja det som är eller anses vara hållbart.

Fokusområden för en mer hållbar elektrifiering

Den här rapporten gör inte anspråk på att fastslå exakt vilken elmix, elanvändning eller typ av flexibilitet som är optimal för ett hållbart elsystem utan istället har ett antal fokusområden tagits fram. Dessa områden kommer vara viktiga för att elektrifieringen ska bli så hållbar som möjligt. Det kan också vara områden där det antas uppstå utmaningar utifrån den omställning som elektrifieringen innebär. I rapporten har åtta fokusområden identifierats. De tre första områdena är centrala för att skapa förutsättningar och att minska utmaningarna för de fem övriga områdena.

³ *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*, ER 2021:02, Energimyndigheten och Naturvårdsverket.

Fokusområden för en mer hållbar elektrifiering

- **Välfungerande marknader och incitament**
- **Miljövärdering i ett systemperspektiv**
- **Markanvändning och samexistens**
- Efterfrågefleksibilitet
- Resurs- och energieffektivitet
- Tillgång till teknik, kompetens och kapital
- Råvaruförsörjning
- Trygg energiförsörjning

Genom ett intensifierat arbete inom fokusområdena kan staten, regioner och kommuner skapa förutsättningar för att samhällets aktörer ska kunna bistå med sin del för att skapa en hållbar elektrifiering.

Välfungerande marknader och incitament

Kommande decennier väntas stora förändringar ske när det gäller såväl elproduktion som elanvändning som är förenade med stora osäkerheter. Då elmarknaden är avreglerad sedan 25 år tillbaka innebär det att det är marknaden som kommer att avgöra vilken framtida elproduktionsmix som är den mest lämpade. En kontinuerlig översikt av marknadsstrukturen och incitament kommer dock att behöva ske för att energimarknaderna ska utvecklas så effektivt som möjligt. Detta gäller i synnerhet utvecklingen av incitament kopplat till exempel till nättariffer samt befintliga och nya flexibilitetsmarknader.

Miljövärdering i ett systemperspektiv

För att kunna genomföra en kvantifierad miljövärdering, både för enskilda elektrifieringsåtgärder men framförallt ur ett systemperspektiv, krävs underlag om enskilda åtgärders miljöpåverkan exempelvis i form av livscykelanalyser. Det behövs även en förståelse för vilka förändringar som kan ske i energisystemet och inom samhället som helhet samt vilka miljöeffekter det kan medföra. Detta kan sedan ligga till grund för vilka externa effekter som kan prissättas eller var det krävs nya regelverk eller styrning för att minimera miljöeffekter.

Markanvändning och samexistens

En ökad elektrifiering förväntas öka anspråken på mark för en rad olika användningsområden som utbyggnad av ny elproduktion, elnät eller etableringar av nya industri- anläggningar inklusive gruvor och transportinfrastruktur. God planering och arbete för samexistens skapar möjlighet för både en hållbar utveckling och för att skapa en potential som möjliggör val mellan bland annat tekniker och geografiska placeringar utifrån de incitament som marknaden ger upphov till.

Efterfrågefleksibilitet

I och med den snabba takten på elektrifieringen av samhället finns det ett stort behov av flexibilitet i alla led, vilket dessutom är en möjliggörare för minskade utmaningar i övriga fokusområden. Efterfrågefleksibilitetens potential ökar i takt med elektrifieringen.

Även om bedömningen här är att incitament kommer att finnas för flexibilitet framöver finns det risk att det inom användarsektorn saknas information och tekniska förutsättningar, styrning och mätning, för att aktivera potentialen när behovet väl uppstår. Det är samtidigt viktigt att utveckla och skapa nya marknader för flexibilitet.

Resurs- och energieffektivitet

Elektrifieringen är en samhällsomställning inom flera sektorer som kommer att kräva nya fordon, ny elproduktion, mer elnät, fler elektrolysörer med mera. För att skapa hållbarhet i detta måste resurseffektivitet genomsyra omställningen. Genom att använda resurser mer effektivt är det möjligt att minska flera av utmaningarna som kommer med elektrifieringen som exempelvis ökat markanspråk och råvaruförsörjning. Det är viktigt att säkerställa att en minskad energianvändning i ett led inte medför en ökad resursanvändning i ett annat.

Tillgång till teknik, kompetens och kapital

Klimatomställningen och en stark elektrifiering innebär omvälvande förändringar på flera plan och för olika aktörer. För att omställningen ska kunna ske måste teknik utvecklas och implementeras, vilket kräver tillgång på rätt kompetens och tillgängligt kapital. Mycket av den teknik som krävs för omställningen finns redan idag men det finns ett stort behov av mer effektiva lösningar och en ökning av produktionskapaciteten för att möta både Sveriges och andra länders behov. Då omställningen mot en ökad elektrifiering är en global trend kommer konkurrensen om såväl teknik, kompetens som kapital att hårdna.

Råvaruförsörjning

Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av olika innovationskritiska metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller och vindturbiner. Råvarubehoven kommer förändras över tid i takt med en ökad elektrifiering både i Sverige och globalt. Det behövs ett ökat fokus på fler internationella ramverk för att styra efterfrågan mot ökad hållbarhet, minska behovet av primära råvaror och främja fler cirkulära resursflöden.

Trygg energiförsörjning

Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningar för en trygg energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta. Konsekvenser för försörjningstryggheten inom alla delar av energiförsörjningen behöver följas och analyseras löpande. Genom att förebygga och hantera identifierade hot och risker för försörjningstryggheten på såväl individuell nivå som samhällsnivå kan elektrifieringens fördelar utnyttjas fullt ut.

Sammanfattning av resultat

Syftet med den här rapporten är att förstå omfattningen av den pågående elektrifieringen, dess påverkan på energisystemet och effekt på miljömålen. I synnerhet gäller detta påverkan på de energipolitiska målen där grundläggande syftet för Sveriges energipolitik är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. Fokus i rapporten har varit att undersöka användarsidan närmare, hur förändringar där kan påverka och vilka målkonflikter som kan uppstå. För mer analyser avseende produktionsidan hänvisas till Energimyndighetens tidigare arbete med 100 procent förnybar el.⁴

⁴ 100 procent förnybar el, ER 2019:6, Energimyndigheten.

I rapporten har tre huvudscenarier undersökts. Ett med lägre elanvändning (178 TWh 2050) och två med högre elanvändning (234 TWh 2050). Detta kan jämföras med en elanvändning 2019 om 139 TWh. Antagandet kring den högre elanvändningen är bland annat baserat på planerade projekt inom industrin under hösten 2020. Efter det att förutsättningarna i denna studie sattes har ytterligare investeringsbeslut tagits. Detta innebär att nivån på elanvändningen kan bli högre än den som har antagits i scenarierna, vilket har analyserats kvalitativt i rapporten. Framtiden ändras snabbt och att förutspå hur elanvändningen utvecklas framöver är i praktiken omöjligt.

I de två scenarierna med högre elanvändning har olika nivåer av flexibel elanvändning undersökts i de tre användarsektorerna Industri, Transport och Bostäder och service. För användarsektorerna har även drivkrafter och utmaningar för elektrifieringen analyserats.

Elektrifieringens påverkan på den ekologiska hållbarheten

Elektrifieringen av framförallt transport- och industrisektorn bedöms som en förutsättning för att Sverige ska nå sina klimatmål och en möjliggörare för att nå miljökvalitetsmålen. En storskalig elektrifiering av samhället kan förutom att kraftigt reducera utsläppen av växthusgaser även bidra till att minska andra utsläpp som skapar luftföroreningar och orsakar miljö- och hälsoproblem. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där de fossila bränslena utvinns idag.

Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av olika metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller, vindturbiner och elektrolysörer. Utvinning och anrikning av de material som krävs för elektrifieringen ger upphov till en stor miljöbelastning vid anläggning av gruvor då de kan påverka både naturmiljöer och människors levnadsförhållanden negativt samt utgör en risk för utsläpp av miljöstörande ämnen till mark och vatten.

En ökad elektrifiering förväntas öka markanspråken för en rad olika användningsområden som utbyggnad av ny elproduktion, elnät eller etableringar av nya industrianläggningar inklusive gruvor och transportinfrastruktur. Denna utbyggnad kan ha negativ påverkan på naturmiljöer, människors levnadsmiljö och landskapsbilden samt kan skapa barriärer som kan påverka den biologiska mångfalden.

Skiftet från användningen av fossila bränslen till el kommer att påverka energianvändningen i de olika sektorerna. Inom transportsektorn ser vi en tydlig effekt av elektrifiering där övergång till användning av effektivare elmotorer minskar energianvändningen inom sektorn. Inom industrisektorn innebär en elektrifiering av tillverkningsprocesserna och en ökad användning av vätgas inom industrin att energianvändningen istället ökar.

Elektrifieringens påverkan på konkurrenskraften

Att minska växthusgasutsläppen och motverka klimatförändringarna är en stark global trend som skapar nya möjligheter och utmaningar för industrier och företag. Förändringarna kan innebära möjligheter för både existerande företag som kan anpassa sig eller där efterfrågan på deras produkter ökar, och för nya verksamheter som växer fram. Flera svenska industrier och företag ligger i framkant när det gäller att utveckla fossilfria material och produkter och det finns goda möjligheter att ha stora delar av värdekedjorna inom landet. Elektrifieringssatsningarna inom näringslivet pekar också på att de ser elektrifieringen som nödvändig för en bibehållen konkurrenskraft och att det finns goda förutsättningar för detta i Sverige.

En viktig konkurrensfördel för Sverige är elmixen som till stor del baseras på fossilfri elproduktion från förnybara energikällor och kärnkraft. I Sverige finns det även goda förutsättningar för ett fortsatt konkurrenskraftigt elpris. Elpriserna är även fortsättningsvis konkurrenskraftiga särskilt i norra Sverige och detta stärks ytterligare fram till 2050 enligt resultaten i scenarierna. I scenarierna ökar elpriserna vilket kan vara negativt för konkurrenskraften. Men samtidigt förbättras relativpriset vilket förbättrar konkurrenskraften. Tillsammans med att elen blir en allt viktigare insatsvara genom en ökad elektrifiering kommer elpriset spela en allt större roll för konkurrenskraften. Även tillgång på el och leveranssäkerhet blir allt viktigare för konkurrenskraften och viktiga aspekter att ta hänsyn till då företag ska ta investeringsbeslut.

För att kunna dra nytta av de möjligheter som utvecklingen skapar och stärka konkurrenskraften så behöver företagen kunna utvecklas och nya skapas samt tillgång till teknik- och kompetensutveckling finnas. Att underlätta strukturomvandlingen är därför en viktig del i arbetet med att stärka företagens förutsättningar att hantera omställningen.

Elektrifieringens påverkan på försörjningstryggheten

Vid en elektrifiering av transportsektorn och industrisektorn minskar Sveriges stora importberoende av fossila bränslen vilket är positivt för försörjningstryggheten. Sverige är i nuläget helt beroende av oljeimport för att tillgodose nuvarande behov, där en minskad import i framtiden dels minskar prisrisken, dels sårbarheten vid störningar i importen.

Elektrifieringen av användarsektorerna och en ökad elanvändningen i nya sektorer kommer att ske samtidigt som elproduktionen genomgår en större omvandling. Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningar för en trygg energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta. En utveckling mot en ökad decentralisering och spridning av elproduktionen kommer kunna minska effekten från enskilda händelser på systemnivå och stärka försörjningstryggheten.

Elektrifieringen sammanfaller även med en automatisering och digitalisering av energisystemet och en sårbarhet i IT-skyddet riskerar att få stora konsekvenser. IT-säkerhetsfrågor måste vara ett prioriterat område i utvecklingen mot en hållbar elektrifiering.

Elektrifieringen sker gradvis vilket innebär att övergången från ett bränslebaserat energisystem till ett elektrifierat kommer att vara utmanande. En utmaning är att utveckla nya beredskapssystem som matchar det elektrifierades samhällets behov. Nuvarande beredskapssystem bygger på att lager av olja och drivmedel hålls. En elektrifiering av transportsektorn kommer minska användning av flytande drivmedel och få en direkt påverkan på nuvarande beredskapssystem.

Klimatomställningen som drivkraft för elektrifieringen

Den övergripande drivkraften för elektrifieringen, och den därav ökade elanvändningen inom industrin och transportsektorn, är klimatomställningen. Industrin är den sektor som ökar sin elanvändning mest i scenarierna och omställningstrycket kommer bland annat från kundernas efterfrågan och från styrmedel som ökar kostnaderna för utsläpp. Inom transportsektorn kanaliseras klimatomställningen som drivkraft bland annat genom utsläppskrav på nya bilar och andra styrmedel. Inom transportsektorn ökar elanvändningen kraftigt i scenarierna men från låga nivåer. Fordonstillverkare har också påbörjat stora satsningar på laddfordon, vilket ökar utbudet och skapar gynnsamma förhållanden för konsumenterna.

För bostads- och servicesektorn kommer den ökade elanvändningen framförallt från etablering av datacenter. Efterfrågan drivs av digitaliseringen av samhället och drivkraften bakom etablering av datacenter i just Sverige är bland annat fossilfri el, hög leveranssäkerhet och låga elpriser.

Nya tekniker och snabb uppskalning av dessa kan skapa utmaningar

Det är stora omställningar av användarsektorerna som målas upp i scenarierna och det är en rad utmaningar förenade med dessa teknikskiften. Framförallt elektrifieringen av stål-, järn- och petrokemiindustriernas sker med teknik som ännu inte testats i stor skala och bygger på att det finns tillgång på de tekniska lösningarna som behövs när nyinvesteringar ska göras. Att kunna använda vätgas i processerna är en viktig del och här är uppskalningen av teknik för vätgasproduktion en utmaning. En snabb uppskalning av värdekedjorna, i allt från hållbar råvaruförsörjning till produktionsprocesser för laddfordon, är också en utmaning för transportsektorn. I och med elektrifieringen av sektorn ändras också tankningsinfrastrukturen i grunden, vilket kan skapa utmaningar för var och när fordon ska laddas, speciellt i städerna. Dessa utmaningar kan göra att elanvändningen inte ökar i den omfattning scenarierna utgår ifrån.

Det finns andra utvecklingsvägar än elektrifiering men överlag behövs alla verktyg i verktygslådan

Genom ett ökat fokus på resurs- och energieffektivitet är det också möjligt att nivåerna för elanvändning i scenarierna minskar. Det finns andra utvecklingsvägar så som en större användning av biobränslen inom industrin och transportsektorn samt ökad koldioxidinfångning och lagring (CCS) inom industrin som kan göra att elektrifieringen blir mindre omfattande. I stor utsträckning är det dock inte antingen eller för dessa utvecklingsvägar utan utöver resurs- och energieffektivitet kommer en ökad elektrifiering, användning av biobränslen och CCS behövas för att uppnå klimatmålen.

Efterfrågefleksibilitet kommer att vara en framtida möjliggörare

Den snabbt ökande elanvändningen kommer kräva att samtliga tillgängliga resurser i elsystemet används på ett effektivt sätt. Ett fokus i den här studien är på efterfrågefleksibilitet därför att den redan finns som en inbyggd potential hos användarna. Bland annat bedöms det vara möjligt att laddningen av laddfordon i genomsnitt kan förskjutas med en timme, att det är möjligt att dra ned på ventilation och kyla i servicesektorn för kortare perioder och att el kan lagras som värme i byggnader och fjärrvärmenät. Vissa industrier bedöms också ha möjlighet att reglera ned sin elanvändning under kortare perioder. Inom industri som kommer att använda mycket vätgas i sina processer antas också närliggande vätgaslager som skapar möjligheter för en flexibel elanvändning.

Potentialen för och vikten av efterfrågefleksibilitet kommer att öka med en ökad elektrifiering. Dessutom innebär elektrifieringen av industrin med dess övergång från kol till vätgas inom stålindustrin en stor möjlighet att med större lager nyttja perioder av god tillgång på el med låga priser för högre produktion av vätgas och minska produktion vid höga priser. Detta skapar i sin tur ett mer robust elsystem. Förmågan att vara flexibel kommer att skapa konkurrensfördelar för den enskilda aktören och även ge nytta för elsystemet vilket sammantaget är bra för hela Sveriges konkurrenskraft.

Genom att använda den inbyggda efterfrågefleksibiliteten, eller att nya elanvändare planerar sina anläggningar med möjlighet till flexibilitet, minskas behovet av andra investeringar i elproduktion eller elnät vilket blir en viktig resursbesparing. Det bidrar också till att minska utmaningen med råvaruförsörjning och markanspråk. För att möjliggöra detta kommer det vara viktigt att prissignalerna och ersättning når elanvändarna så att potentialen för flexibilitet inte förbli outnyttjad.

Elsystemet förändras och behöver följas upp

En ökad elektrifiering av samhället skapar både utmaningar och möjligheter. Behovet av balansering i elsystemet väntas öka med en ökad elektrifieringsgrad. Samtidigt kan det leda till fler möjligheter och ökade incitament för flexibilitet.

Scenarierna visar på mer volatila elpriser och större säsongsvariationer i framtiden där både situationer med nollpriser och knapphetspriser förekommer. En förändrad prisbild kan leda till ändrat beteende på både producent- och användarsidan i elsystemet. En hög grad av flexibilitet i elsystemet väntas underlätta för en ökad elektrifiering och kan ge flera nyttor, som minskat behov av nätinvesteringar och mindre volatila priser. Det blir därför viktigt att ge rätt incitament för detta. Ökad digitalisering och automatiserat utnyttjande av flexibilitetsresurser kan möjliggöra en större flexibilitetspotential.

Scenarierna utforskar bara några möjliga utvecklingsvägar. Det är mycket möjligt att batterier och vätgastekniker får en större roll i elsystemet och skapar nya förutsättningar. Havsbaserad vind kan också få ett större genomslag med andra förutsättningar. Noggrann planering och uppföljning blir avgörande för att möjliggöra en hållbar elektrifiering. Utvecklingen av elanvändningen behöver matchas med elproduktion, överföringskapacitet och systemtjänster för balansering som svarar upp mot behoven, vid rätt tid och plats.

1 Introduktion

1.1 Inledning

Kommande decennier förväntas elsystemet förändras i grunden. I ungefär 30 års tid har både elanvändningen och elproduktionen varit relativt konstant, men kommande 30 år är det troligt att dessa kommer förändras kraftigt. Elanvändningen kommer öka framförallt för att elektrifieringen är en förutsättning för omställningen bort från fossila bränslen till ett Sverige med nettonollutsläpp 2045.⁵ Störst förändringar kommer troligen att ske inom transportsektorn och industrin då dessa sektorer dels har höga utsläpp idag, dels då flera aktörer inom dessa branscher menar att omställningen behöver göras för att de ska vara konkurrenskraftiga både på kort och lång sikt⁶.⁷ Utöver detta finns det också elintensiva branscher som är på frammarsch i form av framförallt datacenter och batteriproduktion. En ökad elektrifiering och mer variabel elproduktion är globala trender och inte unikt för Sverige.

Även elproduktionssidan genomgår stora förändringar. Den variabla elproduktionen från framförallt sol- och vindkraft kommer troligen öka och den planerbara produktionen i form av kärnkraft kommer sannolikt minska i relation till övriga kraftslag. Utöver det så kommer en stor del av nu befintlig elproduktion (bland annat vind- och kärnkraft) att tas ur drift på grund av att de är uttjänta. Dessa stora förändringar gör elsystemet mer komplext och ökar kraven på systemet, samtidigt som de understryker elsystemets betydelse som möjliggörare för Sveriges konkurrenskraft och för att uppnå klimatmålen.

1.2 Syftet med rapporten

Den här studien utgår från den elektrifiering som sker i samhället just nu och utvecklingen framåt utifrån planer och beslut som tagits på området. Ingen analys görs därmed av hur stor elektrifiering som skulle krävas för att klimatmålet skulle uppnås.

Att förstå omfattningen av elektrifieringen, dess påverkan på energisystemet och effekter på miljömålen är av stor vikt. Särskilt i syfte att identifiera vilka utmaningar som finns för att elektrifieringen ska ske hållbart utan ökad negativ påverkan på Sveriges miljömål och övriga samhällsmål. I synnerhet gäller detta påverkan på de energipolitiska målen där grundläggande syfte för Sveriges energipolitik är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. För att identifiera elektrifieringens påverkan på energisystemet måste hänsyn tas till alla tre mål vad gäller förändring i såväl energi-användning som energiproduktion och distribution.

Med begreppet elektrifiering avses att el ersätter fossila bränslen i de processer där det är möjligt. Analysen omfattar även andra framtida öknings av elanvändningen så som etablering av datacenter och batterifabriker, även då det inte faller in i definitionen av

⁵ *Underlag till regeringens klimatpolitiska handlingsplan*, Rapport 6879, Naturvårdsverket 2019.

⁶ *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft*, Fossilfritt Sverige, <https://fossilfritt Sverige.se/fardplaner/> (hämtad 2021-09-01)

⁷ *Klimatneutral Konkurrenskraft*, Sweco på uppdrag av Svenskt Näringsliv, *Klimatneutral+konkurrenskraft+-+kvantifiering+av+tgrder+i+klimatfrdplaner.pdf* (svensknaringsliv.se) (hämtad 2021-09-01)

elektrifiering här. I den här analysen studeras elektrifieringen som helhet vilket inkluderar både elektrifiering samt den ökade elanvändningen.

Syftet med den här rapporten är att undersöka elektrifieringens konsekvenser för de svenska miljömålen samt de energipolitiska målen. Fokus i arbetet är hur elanvändningen kommer att öka framgent och dess effekter men hänsyn kommer även att tas till hur mycket, och vilket typ av, elproduktion som kommer att behövas för att täcka det framtida behovet. Det är viktigt att betona att arbetet inte handlar om prognoser utan om scenarier och utvecklingsvägar som är tänkbara framåt givet vad vi vet idag. Scenarierna ska vara ett underlag för diskussion om prioriteringar givet olika möjliga utvecklingar snarare än att beskriva framtiden. Inga måluppfyllande scenarier avseende klimatmålet görs i det här arbetet då syftet inte är att analysera hur stor elektrifiering som måste till för att uppnå fossilfrihet.

I arbetet ingår inte att ta fram specifika åtgärder för att bidra till en hållbar elektrifiering. Däremot identifieras fokusområden där ett fortsatt arbete är viktigt för att elektrifieringen ska ha förutsättningar att ske på ett hållbart sätt. Arbetet med den här rapporten efterföljs av ett strategiskt arbete (som genomförs inom Miljömålsrådets arbete) där förslag och åtaganden tas fram för att skapa förutsättningar för en hållbar elektrifiering med utgångspunkt i flera av fokusområdena.

1.3 Tidigare scenarier och bedömningar av elektrifieringen

Sveriges elanvändning har de senaste 30 åren legat relativt konstant runt 140 TWh per år. För några år sedan var bedömningen att det endast skulle ske en mindre ökning de kommande 30 åren. En förändring har dock skett och de senaste åren har scenarier för allt högre elanvändning börjat lyftas fram. I Energimyndighetens långsiktiga scenarier från 2019⁸ antogs en elanvändning på 200 TWh 2050 för att analysera en framtid med en hög elanvändning. I de senaste långsiktiga scenarierna, som släpptes 2021⁹, har nivån på elanvändningen höjts till 234 TWh. I Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalys¹⁰ presenteras fyra olika scenarier med en högsta elanvändningsnivå på 290 TWh. Energiföretagen kom i april 2021 med en ny scenarioanalys Efterfrågan på fossilfri el¹¹ som analyserar en elanvändningsnivå på 310 TWh 2045.

Flera faktorer förklarar att högre nivåer av elanvändning antas i nyare analyser. Dels beror det på att all fossil energianvändning behöver ställas om när klimatmålet om nettonoll växthusgasutsläpp är utgångspunkten, dels på att industrins behov tydligare har kvantifierats genom färdplaner inom Fossilfritt Sverige. Inom industrin handlar det inte heller bara om att befintliga aktörer ska nå nettonollutsläpp, utan även helt nya elintensiva industrier som har etablerats eller som har annonserat att de kommer att etablera sig i Sverige (till exempel batteritillverkaren Northvolt, datacenter och ståltillverkaren H2GS¹²) samt att svenska företag förädlar insatsvaror på ett sätt som kan minska växthusgasutsläppen utomlands.

⁸ *Scenarier över Sveriges energisystem 2018*, ER2019:7, Energimyndigheten.

⁹ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER2021:6, Energimyndigheten.

¹⁰ *Långsiktig marknadsanalys 2021*, SvK 2019/3305, Svenska kraftnät.

¹¹ *Efterfrågan på fossilfri el – analys av högnivåscenario*, Genomförd av Energiforsk & Profu på uppdrag av Energiföretagen Sverige, Högelscenario (energiforetagen.se).

¹² H2 Green Steel

Den snabba förändringen har också märkts av under arbetet med denna utredning. Under senhösten 2020 släppte gruvbolaget LKAB en ny strategi och annonserade där ett framtida elbehov om 55 TWh.¹³ Detta är runt 40 TWh mer än vad som används för LKAB i denna rapportens scenario med hög elektrifiering.¹⁴ En slutsats som går att dra här är att det är mycket svårt att sja om framtiden. Vad som ena stunden kan antas vara rimliga bedömningar utifrån olika parametrar kan ändras fort. Att ge en sann beskrivning av elanvändningen så långt i framtiden är alltså i praktiken omöjligt. En utvärdering från forskningsprogrammet NEPP av tidigare prognoser och scenarier för elanvändningens utveckling visar att de har relativt god träffsäkerhet på 10–15 års sikt, medan träffsäkerheten på längre sikt, så som 30–35 år, är lägre.¹⁵

1.4 Stark elektrifieringstrend i närliggande länder och internationellt

Då Sveriges elsystem och marknad är integrerat med närliggande länders elsystem är det viktigt att i en studie av den här typen också ta hänsyn till hur utvecklingen ser ut i omvärlden. Elektrifiering som en gren i omställningen från fossila processer är en internationell trend och alltså inget vi kan vänta oss se följderna av bara i Sverige. I vårt närområde har Finland, Norge, Danmark och Tyskland alla antagit mål för kraftigt minskade utsläpp eller nettonollutsläpp innan 2050. Vidare har EU ett mål om att nå nettonollutsläpp till 2050.¹⁶ EU har tagit fram ett lagstiftningspaket, Fit for 55, för att anpassa klimat- och energilagstiftning i EU för att uppnå klimatneutralitetsmålet 2050 och även det nya målet på minst 55 procents minskning av växthusgasutsläpp fram till och med 2030 (jämfört med 1990).¹⁷ Möjliga vägar dit ser olika ut för olika länder beroende på förutsättningar i form av resurser och hur energianvändningen ser ut idag. Då elsystemen är tätt ihopkopplade över landsgränserna och de tekniker som behövs för elektrifieringen säljs på globala marknader är således de internationella trenderna viktiga att förstå. I Figur 1 visas antal länder med målsättningar om nettonollutsläpp. Länderna är uppdelade mellan vilka som har lagstadgade målsättningar och inte. Under åren 2020–2021 har antal länder fördubblats och uppgår till över 40, som tillsammans täcker in över 80 procent av de globala koldioxidutsläppen.

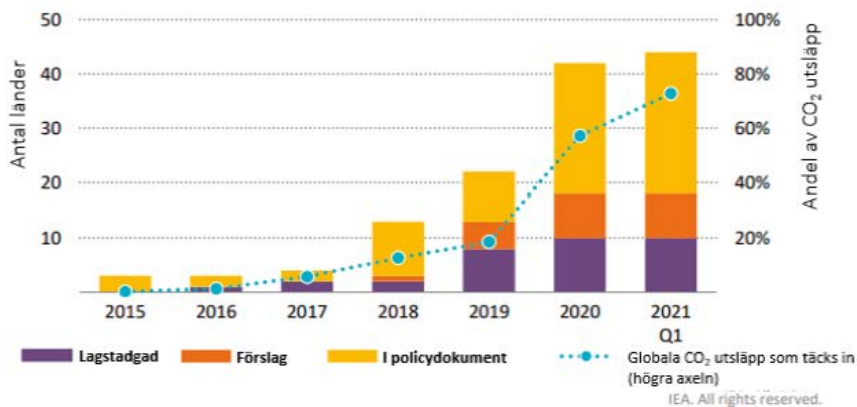
¹³ LKAB, *Frågor och svar vår nya strategi*, 2020-11-23, [fragor-och-svar_lkab-strategi_201123.pdf](#) (hämtad 2021-05-03).

¹⁴ Analyserna i den här rapporten baseras på elanvändningen i Energimyndighetens långsiktiga scenarier, där nivån på elanvändningen lades fast under tidig höst 2020.

¹⁵ *Elanvändningen i Sverige 2030–2050*, NEPP 2015.

¹⁶ *2050 long-term strategy*, European Commission, 2050 long-term strategy (europa.eu), (hämtad 2021-09-01).

¹⁷ *Delivering the European Green Deal*, European Commission, Delivering the European Green Deal | European Commission (europa.eu) (hämtad 2021-09-01).



Figur 1. Antal länder med mål för nettonollutsläpp (vänstra axeln) och andel av globala koldioxidutsläpp (högra axeln). Lagstadgad = Det finns ett lagstadgat mål om netto-nollutsläpp, Förslag = Det finns ett lagförslag om ett nettonollutsläpp till den lagstiftande församlingen, I policydokument = Det finns förslag om ett nettonollutsläpp.¹⁸

1.5 Andra utredningar och uppdrag som kopplar till elektrifiering

Denna rapport tas fram inom ramen för Miljömålsrådet i programområdet *Hållbar elektrifiering*. Programområdet påbörjades under våren 2020 och avrapporteras i sin helhet under våren 2022. Parallellt med detta arbete har flera andra initiativ genomförts, eller är just nu pågående, som på olika sätt tangerar arbetet inom programområdet. Nedan listas några sådana initiativ:

- *Nationell strategi för elektrifiering*. Regeringskansliet, med hjälp av flera expertmyndigheter, tar fram en strategi som ska skapa förutsättningar för en snabb, smart och samhällsekonomiskt effektiv elektrifiering. Arbetet påbörjades i oktober 2020 och förväntas beslutas under hösten 2021.¹⁹
- *Elektrifieringskommissionen*. Inrättades av regeringen i oktober 2020 med uppdrag att ta fram åtgärder som skyndar på elektrifieringen av transportsektorn. Uppdraget gäller i två år.²⁰
- *Utvärdering av samhällsekonomiska kostnader och nyttor av smarta elnät*. Energimarknadsinspektionen har i uppdrag att utvärdera samhällsekonomiska kostnader och nyttor av smarta elnät jämfört med andra alternativ och vid olika scenarier för sammansättningen av elproduktionen i det nordiska elsystemet samt av ökad elektrifiering i samhället. Uppdraget redovisades 31 maj 2021.²¹
- *Långsiktig marknadsanalys (LMA)*. Svenska kraftnät genomför vartannat år långsiktiga scenarier för Nordeuropas elsystem. Scenarierna används för att identifiera framtida utmaningar och behov i det svenska stamnätet för el och undersöker bland annat överföringsbehov i systemet, effektillräckligheten i det svenska systemet, balansering och påverkan på den framtida kraftsystemstabiliteten. LMA 2020 publicerades i maj 2021.²²

¹⁸ International Energy Agency (IEA), Net Zero by 2050, 2021.

¹⁹ *Elektrifieringsstrategin*, Elektrifieringsstrategin – Regeringen.se (hämtad 2021-09-01).

²⁰ *Elektrifieringskommissionen*, Elektrifieringskommissionen – Regeringen.se (hämtad 2021-09-01).

²¹ *Utvärdering av samhällsekonomiska kostnader och nyttor av smarta elnät*, Ei R2021:06, Energimarknadsinspektionen.

²² *Långsiktig marknadsanalys 2021*, Svk 2019/3305, Svenska kraftnät.

- *Scenarier över Sveriges energisystem.* Energimyndigheten tar vartannat år fram långsiktiga scenarier för Sveriges energisystem. Detta som ett underlag till Sveriges rapportering av växthusgasutsläpp till Europeiska kommissionen. I scenarierna beskrivs olika framtida energibalanser för hela energisystemet (elsystemet, uppvärmning, bränslen till industri och drivmedel till transportsektorn). Dessa släpptes i mars 2021 och utgör grunden för scenarierna i denna rapport.

Utöver de här uppdragen finns det en rad andra projekt som tittar på scenarier för framtida elsystem och energisystem, samt hinder, åtgärder och strategier för att möjliggöra en elektrifiering och för att möjliggöra att Sverige når sina klimatmål. Gemensamt för många av dessa arbeten är att de undersöker hur elektrifieringen kan påskyndas eller hur kraftsystemet påverkas av en utbredd elektrifiering. Denna rapport fokuserar på hur en elektrifiering kan ske på ett hållbart sätt och stor vikt läggs vid analyserna om hur en elektrifiering påverkar konkurrenskraft, försörjningstrygghet och ekologisk hållbarhet.

1.6 Hur ska rapporten läsas?

Rapporten innehåller både kvantitativa och kvalitativa analyser över olika faktorer och perspektiv. De övergripande resultaten i rapporten fokuserar på att sammanfatta analyserna av de energipolitiska målen. Analyserna av de energipolitiska målen finns i kapitel 3–5. En scenarioanalys har genomförts som grund för målanalyserna, som är indelad i tre olika bakgrundsanalyser (kapitel 7–9). Samtliga analyskapitel inleds med en sammanfattning över de huvudsakliga resultaten.

Kapitel 2: Vilka analyser har gjorts och varför? – En genomgång över vilka analyser som har genomförts i arbetet och hur analyserna hänger ihop med tidigare scenarioarbete på Energimyndigheten.

Kapitel 3: Analys av ekologisk hållbarhet – En analys av vilka miljöeffekter som uppstår med en ökad elektrifiering och vilka miljömål som berörs. Utgångspunkten i analysen är resultaten från scenarioanalysen i kapitel 7–9 men miljöeffekter utanför scenarioresultaten diskuteras också.

Kapitel 4: Analys av konkurrenskraft – En analys av hur konkurrenskraften påverkas av en ökad elektrifiering. Utgångspunkten är resultaten från scenarioanalysen i kapitel 7–9.

Kapitel 5: Analys av försörjningstrygghet – En analys av hur försörjningstryggheten påverkas av en ökad elektrifiering. Utgångspunkten är resultaten från scenarioanalysen i kapitel 7–9.

Kapitel 6: Övergripande resultat och fokusområden – En sammanfattning av övergripande resultat av de tre målanalyserna (kapitel 3–5) presenteras. Behov av vidare arbete för att förutsättningarna för en hållbar elektrifiering ska öka identifieras i så kallade fokusområden.

Kapitel 7: Bakgrundsanalys – Analys av elanvändningen – Här görs en kvalitativ analys av den ökande elanvändningen i de tre användarsektorerna Industri, Transport och Bostäder och service. Fokus är drivkrafter bakom en ökad användning samt utmaningar för utvecklingen. Alternativa utvecklingsvägar till elektrifiering beskrivs också.

Kapitel 8: Bakgrundsanalys – Potentialen av flexibel elanvändning – Potentialen för en flexibel elanvändning i användarsektorerna Industri, Transport och Bostäder och service sammanställs och analyseras både kvantitativt och kvalitativt.

Kapitel 9: Bakgrundsanalys – Analys av elsystemet – En kvantitativ analys görs av hur elsystemet påverkas av en ökad elektrifiering samt en flexibel elanvändning. Scenarioresultat från körningar i en elmarknadsmodell presenteras och analyseras.

2 Vilka analyser har gjorts och varför?

I det här arbetet har både kvantitativa och kvalitativa analyser genomförts för att undersöka olika typer av konsekvenser för en hållbar elektrifiering.

2.1 Analys av de energipolitiska målen

Centralt i arbetet är analyser av de tre energipolitiska målen: ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet. Syftet med dessa analyser är att undersöka effekterna av en ökad elektrifiering på målen och synergin där emellan. När det gäller ekologisk hållbarhet genomförs en miljömålsanalys avseende de svenska miljömålen, se kapitel 3. En analys av konkurrenskraften finns i kapitel 4 och analys av försörjningstrygghet i kapitel 5. För beskrivning och detaljer kring dessa analyser hänvisas till respektive kapitel.

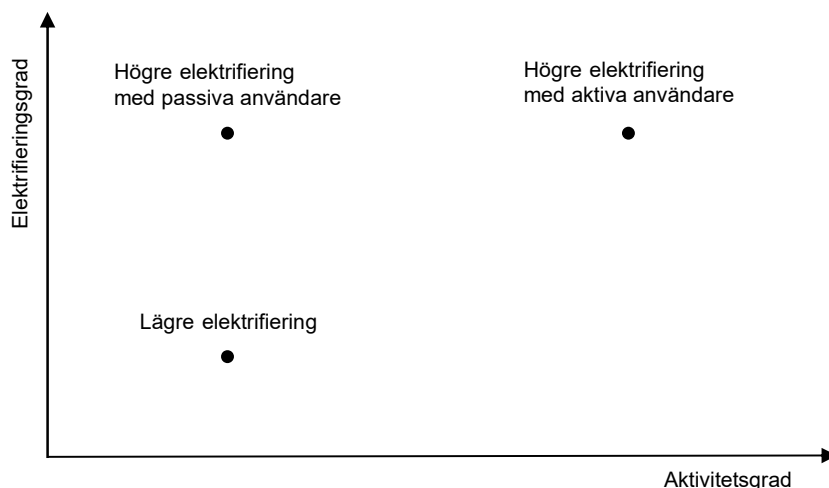
2.2 Vilka scenarier har undersökts?

För att undersöka hur elektrifieringen påverkar de energipolitiska målen har en scenarioanalys har genomförts där tre olika scenarier undersöks. De huvudsakliga parametrarna i scenarioanalysen är den ökade elanvändningen samt möjligheten till en flexibel elanvändning. Följande tre scenarier har modellerats:

- *Lägre elektrifiering*: Omfattningen på elektrifieringen är begränsad och totalt används 178 TWh el 2050. Här bedöms delar av dagens planer på elektrifiering bli genomförda.
- *Högre elektrifiering med passiva användare*: Omfattande elektrifiering i flera sektorer och totalt används 234 TWh el 2050. Förmågan hos systemets elanvändare att på olika sätt reagera på prissignaler är begränsad. Tillgången på flexibilitet i användarledet är låg, variation i elpris har låg påverkan på val av lokalisering och effektuttag.
- *Högre elektrifiering med aktiva användare*: Omfattande elektrifiering i flera sektorer och totalt används 234 TWh el 2050. Systemets elanvändare har här större förmåga att reagera på prissignaler i elsystemet. Användarna har möjlighet att vara flexibla och variation i elpris har högre påverkan på val av lokalisering och effektuttag.

Vidare beskrivning av elanvändningen i scenarierna beskrivs under respektive sektor, se avsnitt 7.2–7.4.

Tanken med utformningen av scenarierna är inte att beskriva den mest troliga utvecklingen eller att i jämförelsen dem emellan hitta det bästa scenariot. Istället syftar de till att tillsammans spänna över ett möjligt utfallsrum med tillräckligt stora skillnader i elanvändning och flexibilitet för att kunna undersöka och belysa effekter av olika utvecklingsvägar, se Figur 2. Scenarierna är varken referensscenarier eller måluppfyllande scenarier utan speglar olika möjliga utfall.



Figur 2. Scenarier samt känslighetsfallet efter elektrifieringsgrad och aktivitetsgrad.

2.3 Utgångspunkt i Energimyndighetens långsiktiga scenarier

Utgångspunkten för analyserna är Energimyndighetens långsiktiga scenarier som tas fram vartannat år, där den senaste rapporten publicerades i mars 2021.²³ I arbetet med de långsiktiga scenarierna tas olika scenarier fram över utvecklingen fram till 2050. Scenarierna utgår från dagens energisystem och undersöker olika parametrar i syfte att öka förståelsen för hur dessa påverkar energisystemet i stort. Inget av scenarierna är måluppfyllande vad gäller de energi- och klimatpolitiska målen till 2030 och 2045. Däremot kan scenarierna användas för att analysera fortskridande mot måluppfyllelse samt eventuella gap till att uppnå målen.

Det innebär att arbetet i den här rapporten inte heller är måluppfyllande vad gäller klimatmålet 2045. Syftet med den här analysen är inte att undersöka vägen till klimatmålet och elektrifieringens påverkan. Syftet är däremot att undersöka hur den elektrifiering som sker framöver kan ske på ett hållbart vis. Utifrån det syftet har det inte varit relevant att ta fram måluppfyllande scenarier i det här arbetet.

I det här arbetet fördjupas analyserna av två scenarier från de långsiktiga scenarierna, Referens EU och Elektrifiering. I de scenarierna antas olika nivåer av elanvändning och elektrifiering. Analyserna av scenarierna fördjupas mot bakgrund av att en högre nivå av elanvändning studeras och effekterna av detta i relation till en något lägre nivå. I det här arbetet kallas scenarierna fortsättningsvis för Lägre elektrifiering (motsvarar Referens EU) samt Högre elektrifiering (motsvarar Elektrifiering). Scenarierna beskrivs vidare i kapitel 7.

Lägre elektrifiering är baserat på befintliga styrmedel till och med 1 juli 2020 samt har antaganden kring priser på fossila bränslen och priser på utsläppsrätter i enlighet med förutsättningar som kommer från EU-kommissionen.²⁴ Scenariot kan ses som en konsekvensanalys av beslutade styrmedel och visar hur utvecklingen kan se ut om inga nya åtgärder eller styrmedel införs.

²³ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER2021:6, Energimyndigheten.

²⁴ Dessa redovisas i Bilaga 1 Förutsättningar.

Högre elektrifiering beskriver en högre elektrifieringstakt jämfört med Lägre elektrifiering. I scenariot inkluderas även vissa aviserade förändringar i budgetpropositionen för 2021.²⁵

För utförligare beskrivningar av scenarierna hänvisas även till rapporten *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*.²⁶

2.4 Genomförda bakgrundsanalyser i arbetet

Kvalitativa analyser görs för användarsektorerna (Industri, Transport och Bostäder och service) baserat på scenarierna med lägre och högre elektrifiering (kapitel 7). Fokus för den kvalitativa analysen är att undersöka drivkrafterna för den ökade elanvändningen och elektrifieringen som antas i scenarierna samt de utmaningar som sektorerna står inför. Det är viktigt att förstå drivkrafter och utmaningar här för att vidare kunna analysera hur elektrifieringen kan ske på ett hållbart sätt. Även alternativa utvecklingsvägar som inte finns med i scenarierna diskuteras. Dessa alternativa vägar är utvecklingsspår som antagligen kommer ske parallellt med elektrifieringen och lyfts i rapporten för att få en mer heltäckande bild över utmaningarna framöver.

En genomgång av möjligheten och potentialen för flexibel elanvändning för de olika användarsektorerna görs och presenteras i kapitel 8. Med flexibel användning avses en bedömning av potentialen för att flytta eller reglera ned sin elanvändning under en viss tidsperiod utifrån vilka förutsättningar som finns för befintlig och tillkommande industri, bostäder och service samt transport. I ett system med en ökad elanvändning är det intressant att undersöka hur en mer flexibel elanvändning kan se ut och vilka effekter det kan ha på elsystemet men även på de energipolitiska målen.

När elanvändningen ökar kommer det få konsekvenser för elsystemet. För att undersöka hur elsystemet påverkas av en ökad elektrifiering har tre scenarierna modellerats i en elmarknadsmodell, TheMA (kapitel 9). Samma nivå på elanvändning och elproduktion som tagits fram i de långsiktiga scenarierna används i modellkörningen men med skillnaden att användning och produktion här delas upp på Sveriges fyra elområden. Med denna indelning kan förutsättningar och konsekvenser för olika delar i landet undersökas när elanvändningen, och elproduktionen, ökar. Däremot har modellen inte möjlighet att analysera elsystemet på en lägre nivå som lokal- och regionalnät.

²⁵ Prop. 2020/21:1. Budgetpropositionen för 2021. Förändringar såsom höjda kvotnivåer i reduktionspliktssystemet för drivmedel till 2030, införande av ett reduktionspliktssystem för förnybart flygbränsle, samt fortsatta skattenedsättningar för rena och höginblandade biodrivmedel.

²⁶ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER2021:6, Energimyndigheten.

3 Analys av ekologisk hållbarhet

För att uppnå en hållbar elektrifiering är det av stor vikt att förstå elektrifieringens påverkan på miljön genom att identifiera och beskriva större miljöeffekter samt möjliga vägar och val för en hållbar elektrifiering utifrån både ett ekologiskt och socialt perspektiv med syfte att visa vilka hållbarhetsaspekter som är viktiga att beakta.

I det här kapitlet genomförs en analys av den ekologiska hållbarheten med utgångspunkt i de svenska miljömålen och en bedömning av de miljöeffekter som elektrifieringen kan bidra till.



Sammanfattning

- Elektrifieringen, framförallt inom transport- och industrisektorn, kan leda till kraftig minskning av utsläppen av växthusgaser och luftföroreningar som uppkommer vid förbränning av fossila bränslen. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där de fossila bränslena utvinns idag.
- Skiftet från användningen av fossila bränslen till el kommer att påverka energianvändningen i de olika sektorerna. Inom transportsektorn ser man en tydlig effekt av elektrifiering där övergång till användning av effektivare elmotorer minskar energianvändningen inom sektorn. Inom industrisektorn innebär en elektrifiering av tillverkningsprocesserna och en ökad användning av vätgas inom industrin att energianvändningen istället ökar.
- Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av olika metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller, vindturbiner och elektrolysörer. Utvinning och anrikning av metaller och mineral ger upphov till en stor miljöbelastning och kan påverka både naturmiljöer och människors levnadsförhållanden negativt samt utgöra en risk för utsläpp av miljöstörande ämnen till mark och vatten.
- En utbyggnad av den infrastruktur som kommer att krävas för att få till stånd en elektrifiering av samhället kommer att medföra ökade markanspråk. En ökad markanvändning kan negativt påverka naturmiljöer, människors levnadsmiljö och landskapsbilden samt skapa barriärer som kan påverka den biologiska mångfalden.

3.1 Utgångspunkter för bedömningen av miljöeffekter

Bedömningen av miljöeffekter omfattar en kvalitativ analys med utgångspunkt i påverkan på de svenska miljö kvalitetsmålen inklusive generationsmålet, vilket även omfattar miljöeffekter utanför Sveriges gränser. Bedömningarna utgår från scenarierna Högre elektrifiering, med eller utan aktiva användare, som beskrivs i kapitel 2 och jämförelsen sker mot nuläget. Då scenarierna undersöker ett begränsat antal möjliga utvecklingsvägar vidgar miljöanalysen perspektivet något, i syfte att fånga upp miljöeffekterna av alternativa utvecklingsvägar som ligger utanför scenarierna. En beskrivning av scenarierna finns i kapitel 7.

Fokus i analysen är på hur mycket en ökad, och i olika grad flexibel, elanvändning påverkar de svenska miljömålen. Metod och utgångspunkt är kartläggning av de olika elektrifieringsåtgärdernas miljöeffekter mot relevanta miljömål. Detta görs utifrån tidigare genomförda analyser och tillgänglig litteratur i den mån sådan finns. En storskalig elektrifiering av samhället kommer även medföra ett behov av systemövergripande åtgärder såsom en ökning av elproduktionen, utbyggnad av elnät och transportinfrastruktur samt åtgärder i elsystemet för att öka flexibiliteten. Alla dessa delar måste beaktas för att få en helhetsbild av de potentiella miljöeffekter som elektrifieringen har.

Miljöeffekterna och vilka miljökvalitetsmål som påverkas mest sammanfattas i tabeller för varje sektor i slutet på varje avsnitt. Pilarna och dess färg i tabellen anger i vilken riktning miljökvalitetsmålet kan komma att påverkas,  innebär en positiv riktning och  innebär en negativ riktning. Antal pilar utgör en skattning om påverkan är större eller mindre där två pilar utgör en stor påverkan och pil inom parentes en mindre påverkan på miljökvalitetsmålet.

Fakta och fördjupning

De svenska miljömålen²⁷

Miljömålssystemet består av ett generationsmål, 16 miljökvalitetsmål samt ett antal etappmål inom områdena avfall, biologisk mångfald, farliga ämnen, hållbar stadsutveckling, luftföroreningar och klimat. Sveriges miljömål är det nationella genomförandet av den miljömässiga dimensionen av de globala hållbarhetsmålen.

Generationsmålet: Det övergripande målet för miljöpolitiken är att till nästa generation lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen är lösta, utan att orsaka ökade miljö- och hälsoproblem utanför Sveriges gränser.

De 16 miljökvalitetsmålen varav 14 bedöms påverkas i någon grad av en storskalig elektrifiering:



²⁷ Sveriges miljömål – Sveriges miljömål (sverigesmiljomal.se) (hämtad 2021-10-11)

3.2 Miljöeffekter av en förändrad elanvändning

Elektrifieringen medför att en rad elektrifieringsåtgärder kommer att vidtas inom respektive användarsektor som kan medföra både positiva och negativa miljöeffekter.

3.2.1 Övergång till en fossilfri industrisektor

För elektrifieringen inom industrin ligger de största miljöeffekterna i övergången från fossila råvaror och bränslen till el inom de industriella processerna, produktion och användning av vätgas, produktion av elektrobränslen samt att det ger systemövergripande effekter med en ökad utbyggnad av elnät och elproduktion. Miljöeffekter för utbyggnad av elnät analyseras sammantaget för alla sektorer under systemövergripande åtgärder under avsnitt 3.3. Miljöeffekterna kopplade till etablering av svensk batteritillverkning hanteras under avsnitt 3.2.2.

Övergång från fossila bränslen och råvaror till el inom industrin

Industrins utsläpp av växthusgaser uppgick 2018 till 16,8 miljoner ton koldioxid-ekvivalenter vilket utgjorde 32 procent av Sveriges totala utsläpp. De största utsläppen kommer från järn- och stålindustrin (34 procent av sektorn), mineralindustrin (19 procent) samt raffinaderier (18 procent). Utsläpp från industrin kan grovt klassas i tre kategorier: utsläpp vid förbränning av fossila bränslen (cirka två tredjedelar av industrins utsläpp), processutsläpp²⁸ från industrins tillverkning (cirka en tredjedel), samt diffusa utsläpp²⁹ (cirka fyra procent). Förbränningsutsläppen kan minskas genom att byta ut användningen fossila bränslen mot bibränslen och el. De processrelaterade utsläppen är svårare att minska med dagens teknik eftersom utsläppen härrör från fossila insatsvaror snarare än bränslen och för att byta ut insatsvaror krävs betydande förändringar av produktionsprocesserna.³⁰

Inom Högre elektrifiering sker en teknikförändring som leder till en övergång från användning av fossila bränslen och råvaror till el inom järn- och stålindustrin, cementindustrin samt kemi- och raffinaderiindustrin³¹, vilket kommer leda till att utsläppen av växthusgaser från industrisektorn minskar med cirka 65 procent till 2050.³² Elektrifieringen bidrar därmed positivt och i hög utsträckning till miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan, då elproduktionen i Sverige är, och förväntas fortsätta vara, i det närmaste fossilfri. I Högre elektrifiering kommer elektrifieringen av industrins processer innebära en ökning både av elanvändningen och den totala energianvändningen från sektorn, se avsnitt 7.2.1.

²⁸ Processutsläpp inom industrin uppkommer inom processer som kemiskt eller fysiskt omvandlar material. Energivaror inom industriprocesser kan användas som råvaror, reduktionsmedel eller icke energivaror.

²⁹ Utsläpp som sker under hantering av fossila bränslen, exempelvis vid raffinaderier.

³⁰ *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen 2019*, Naturvårdsverket 2019.

³¹ I beräkningen av växthusgasutsläppen för industrisektorn är inte omställningen av processutsläppen inom kemi- och raffinaderisektorn inkluderade, vilket innebär att den totala utsläppsminskningen för industrisektorn är något underskattad.

³² Växthusgasutsläppen från industrisektorn i Högre elektrifiering uppgår till cirka 9,4 miljoner ton CO₂-ekvivalenter 2050. Beräkningar Naturvårdsverket utifrån underlag från *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*.

Elektrifieringen inom industrin kommer även innebära en betydande minskning av utsläpp av andra luftföroreningar som orsakas av förbränning av fossila bränslen som svaveldioxid, kväveoxider, partiklar, polyaromatiska kolväten och skadliga flyktiga organiska ämnen (VOC). En ökad elektrifieringen inom industrin bidrar därmed positivt till miljö kvalitetsmålet Frisk luft. Även ett skifte från förbränning av biobränslen inom industrin till el skulle få positiva effekter på luftkvalitén, då biobränslen många gånger kan uppvisa högre utsläpp av luftföroreningar än fossila bränslen.

En minskad användning av fossila bränslen inom industrin kan innebära att utvinningen av fossila bränslen som kol och olja kommer att minska. Detta kan få positiva effekter på miljön i de länder där bränslena utvinns och bidrar till en positiv utveckling av Generationsmålet.

Elektrifieringen av arbetsmaskiner i gruvor minskar växthusgasutsläppen och förbättrar arbetsmiljön i gruvorna med minskade utsläpp av luftföroreningar och minskat buller. Elektrifierade arbetsmaskiner avger inte heller lika mycket värme vid drift vilket i kombination med minskade utsläpp av luftföroreningar även minskar behovet av ventilation i gruvorna och bidrar till minskad energianvändning. Elektrifierade arbetsfordon minskar även risken för brand i gruvorna vilket ökar säkerheten för gruvarbetarna.³³ Sammantaget bidrar en elektrifiering av arbetsmaskiner till en positiv utveckling av miljö kvalitetsmålen Frisk Luft, Begränsad klimatpåverkan och God bebyggd miljö. Miljöeffekter kopplade till tillverkning och användning batterier i elfordon diskuteras under avsnitt 3.2.2.

Produktion och användning av vätgas

För att vätgas ska bli ett relevant omställningsalternativ förutsätts att den tillverkas fossilfritt. Vätgas som omställningsspår handlar alltså både om hur vätgasen tillverkas och hur den används. Inom järn- och stålindustrin ersätter vätgasen användningen av kol vid reduktionen av järn när syret ska frigöras från järnmalmen. Vätgas kan även användas vid produktion av elektrobränslen³⁴, läs mer i avsnittet Produktion av elektrobränslen.

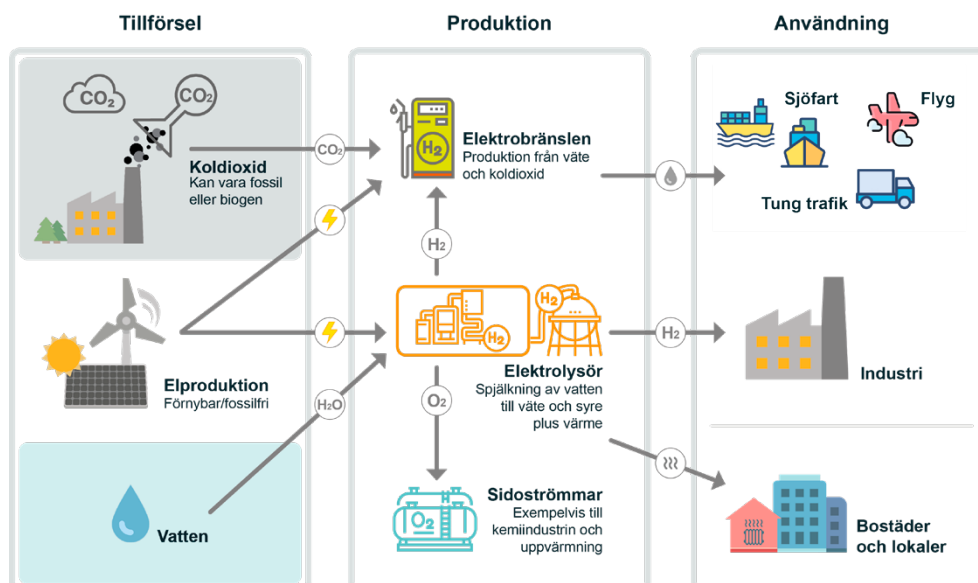
Vätgasproduktion

Inom Högre elektrifiering produceras vätgasen genom elektrolys av vatten med el med hjälp av så kallade elektrolysörer. Vätgasen går sedan att använda direkt i slutanvändningsapplikationer (exempelvis inom processindustrin och framställning av elektrobränsle) eller att lagras under högt tryck eller i flytande form för senare användning.

I Figur 3 visas produktion av vätgas och elektrobränslen översiktligt.

³³ *Branner i personbiler*, <https://www.dsb.no/nyhetsarkiv/2020/branner-i-personbiler/>, (hämtad 2021-09-01).

³⁴ Elektrobränslen är ett samlingsnamn för drivmedel och kemikalier framställda av el, vatten, koldioxid eller kväve.



Figur 3. Schematisk bild över produktion av vätgas och elektrobränslen.

Produktion av vätgas är mycket energikrävande, verkningsgraden för vätgasproduktion med elektrolysörer ligger idag på mellan 40 och 80 procent. Vätgasens miljöpåverkan beror till stor del på hur vätgasen produceras, hur mycket el som krävs samt om den el som används är fossil, fossilfri eller förnybar.

Vid produktion av vätgas krävs även en stor åtgång av rent vatten som råvara. Vid vätgasframställning för stålproduktion krävs ungefär en kubikmeter vatten per ton framställt stål.³⁵ Vid en storskalig produktion av vätgas kan råvatten ledas in från närliggande yt- eller grundvattentäkter för att sedan renas. I en del elektrolysörer tillsätts även kaliumhydroxid i syfte att förbättra processen. Elektrolysörerna som används vid produktion av vätgas innehåller metaller, ofta ur platinagruppen och de kan även innehålla PFAS, vilket är högfleurerande ämnen som är svåra att bryta ner och kan ha skadliga effekter både för människa och miljö om de skulle hanteras felaktigt då de tas ur bruk.³⁶

Vid framställning av vätgas produceras även syrgas som en restprodukt. Syrgasen kan antingen ventileras bort till atmosfären eller tas om hand om det finns avsättning för den.

Hantering, lagring och transport av vätgas (och syrgas) kan medföra vissa risker då gasen är mycket lättantändlig. Här finns, förutom miljöbalken, särskild lagstiftning på området som syftar till att säkerställa att hanteringen av vätgas inte utgör en risk för olyckor och skador på liv, hälsa och miljö.³⁷

³⁵ Hybrit Development AB 2020, Hybrit demonstrationsanläggning för direktreduktion av järnmalm med vätgas – Samrådsunderlag för avgränsningssamråd enligt 6 kapitlet miljöbalken.

³⁶ Miljöeffekter av elnät och energilagring, IVL 2021.

³⁷ Lagen (2010:1011) om brandfarliga och explosiva varor, lagen om åtgärder för att förebygga och begränsa följderna av allvarliga kemikalieolyckor (Sevesolagen), plan- och bygglagen samt lagen om transport av farligt gods.

För att tillverka fossilfri vätgas krävs fossilfri el till elektrolysen. Vätgas kan även tillverkas via ångreformering av metan av antingen biogent eller fossilt ursprung. Denna typ av vätgasframställning är inte lika energikrävande som vid framställning av vätgas med elektrolysörer. Om fossilt metan används kan CCS (Carbon Capture and Storage) kopplas på för att fånga in koldioxiden som blir en restprodukt i processen. Total koldioxidavskiljningen via CCS är ytterst svårt, men en avskiljning på cirka 95 procent har kunnat uppnås.³⁸ Det behöver däremot finnas infrastruktur för att kunna hantera den koldioxid som ska fångas in och lagras. Teoretiskt kan det gå att uppnå negativa utsläpp med CCS om den metan som används är biogen. I dagsläget finns dock inte några sådana planer. Det är dock energieffektivare att använda biometanen direkt, inom industriprocesser eller som drivmedel.

Produktion av elektrobränslen

Fossilfri vätgas kan också komma att få en ny roll i kemi- och raffinaderiindustrin genom att kombineras med koldioxid och/eller kväve för att tillverka elektrobränslen och kemikalier som ammoniak.

I Högre elektrifiering har det inkluderats produktion av elektrobränslen, i form av metanol, från koldioxid och vätgas. Metanolen kan sedan vidareförädlas till andra bränslen eller plaster. En förutsättning för minskade växthusgasutsläpp från denna process är att det är biogen koldioxid som används. Skulle all svensk plast bli fossilfri skulle också anläggningar för förbränning av avfall minska sina växthusgasutsläpp.

Produktion av elektrobränslen är en energikrävande process där stora mängder el används, och miljöpåverkan från processen påverkas av om det är fossilfri eller förnybar el som används. Läs mer om produktion och användning av elektrobränslen i avsnitt 7.3.4.

Sammanfattande bedömning av effekterna på miljö kvalitetsmålen

En **övergång från fossila bränslen och råvaror till el** i industriprocesserna och som uppvärmning inom industrin kommer att leda till en betydande minskning av utsläppen av växthusgaser från sektorn. Elektrifieringen inom industrin kommer även innebära en betydande minskning av utsläpp av andra luftföroreningar som orsakas av förbränning av fossila bränslen. Arbetsmiljön i gruvor kan förbättras vid en elektrifiering av arbetsmaskinerna. Utvinningen av fossila bränslen som kol och olja kan komma att minska vilket kan få positiva effekter på miljön i utvinningsländerna.

Produktion och användning av vätgas kräver mycket el och den största miljöpåverkan ligger i hur vätgasen produceras, det vill säga om den el som används vid själva vätgasproduktionen är fossil eller fossilfri. För att minska behovet av el är det viktigt att produktionen av vätgas sker med en så hög verkningsgrad som möjligt. Övriga miljöeffekter av vätgasproduktion är av mer lokal karaktär då produktionen kan kräva stor åtgång av vatten samt att hanteringen av vätgasen kan vara förenat med olycksrisker.

Produktion av elektrobränslen eller plast från vätgas kombinerat med koldioxid har potential att minska utsläppen av växthusgaser från kemi- och raffinaderiindustrin. Det förutsätter dock att det är biogen koldioxid samt fossilfri el som används i produktionen.

³⁸ *Hydrogen: A renewable energy perspective*, IRENA, 2019, Hydrogen: A renewable energy perspective (irena.org) (hämtad 2021-10-11).

Tabell 1. De miljö kvalitetsmål som bedöms påverkas mest av de elektrifieringsåtgärder som analyserats inom industrisektorn.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Övergång från fossila bränslen och råvaror till el	
Minskade växthusgasutsläpp jmf med fossila bränslen	Begränsad klimatpåverkan ↗ ↗
Minskade utsläpp av luftföroreningar jmf med fossila- och biobränslen	Frisk Luft ↗ ↗
Minskad utvinning av fossila bränslen	Generationsmålet ↗
Ökad energianvändning	God bebyggd miljö ↘
Förbättrad arbetsmiljö i gruvor	God bebyggd miljö, Frisk Luft ↗
Produktion och användning av vätgas	
Minskade växthusgasutsläpp om fossilfri el används	Begränsad klimatpåverkan ↗
Energikrävande process	God bebyggd miljö ↘ Levande sjöar och vattendrag (↘)
Vattenanvändning	Grundvatten av god kvalitet (↘)
Produktion av elektrobränslen	
Minskade växthusgasutsläpp om fossilfri el används	Begränsad klimatpåverkan ↗
Minskade växthusgasutsläpp om biogen koldioxid används	Begränsad klimatpåverkan ↗ ↗
Energikrävande process	God bebyggd miljö ↘

3.2.2 En ökad elektrifiering i transportsektorn

När det gäller elektrifieringen i transportsektorn har miljöpåverkan av tre elektrifieringsåtgärder analyserats; tekniskifte från förbränningsmotorer till elmotorer, en ökad efterfrågan på fordonsbatterier samt en ökad utbyggnad av laddinfrastruktur. Även alternativa utvecklingsvägar utanför scenarierna som exempelvis en ökad användning av elektrobränslen i transportsektorn och en ökad utbyggnad av elvägar diskuteras.

En ökad andel elfordon

Transportsektorns utsläpp av växthusgaser uppgick till drygt 16,8 miljoner ton CO₂-ekvivalenter 2018. Vägtrafiken står för den största andelen av utsläppen, 91 procent, där personbilar stod för den största delen av utsläppen av växthusgaser från transportsektorn år 2018, 67 procent, följt av tunga och lätta lastbilar som utgör 23 procent.³⁹ I Högre elektrifiering antas en hög grad av elektrifiering i transportsektorn, vilket innebär ett större skifte (bränslebyte) från förbränning av fossila och förnybara drivmedel till el till 2050 jämfört med dagens nivå. Skiftet från förbränning av fossila bränslen kommer att leda till att de direkta växthusgasutsläppen från transportsektorn minskar med närmare 80 procent till 2050.⁴⁰ Elektrifieringen bidrar därmed positivt och i hög utsträckning till miljö kvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan, eftersom elproduktion i Sverige är, och

³⁹ *Fördjupad analys av den svenska klimatomställningen 2019*, Naturvårdsverket 2019.

⁴⁰ Växthusgasutsläppen från transportsektorn i Högre elektrifiering uppgår till 3,4 miljoner ton CO₂-ekvivalenter 2050. Beräkningar Naturvårdsverket utifrån underlag från *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*.

förväntas fortsätta vara, i det närmaste fossilfri. Detta är det starkaste motivet för en ökad elektrifiering av transportsektorn.

En högre andel elfordon kommer också att leda till en högre grad av energieffektivisering av transportsektorn på grund av att elmotorerna har en högre verkningsgrad än förbränningsmotorer generellt, oavsett om drivmedlet är fossilt eller förnybart.

Energieffektivare fordon innebär samtidigt en risk för att rekyleffekter i form av ett ökat trafikarbete uppstår, på grund av att eldrift är billigare än bränsledrift. Rekyleffekterna vid en elektrifiering av transportsektorn kan därför vara betydande.⁴¹ Detta understryker vikten av kompletterande insatser för ett transporteffektivt samhälle, se avsnitt 7.3.4.

Eldrift via elektrobränslen eller via vätgas i bränsleceller är inte inkluderade i scenarierna för transportsektorn. Båda alternativen är betydligt mindre energieffektiva än direkt eldrift med elmotorer, framförallt på grund av den höga elanvändningen vid själva framställningen av elektrobränslen och vätgas, se avsnitt 3.2.1 och 7.3.4 om produktion av elektrobränslen och vätgas. Vid användningen av elektrobränslen används även konventionella förbränningsmotorer vilka är mindre energieffektiva än en elmotor.⁴² Klimatpåverkan från användning av elektrobränslen är både beroende på eventuella växthusgasutsläpp från elproduktionen och på om den koldioxid som används för framställning av elektrobränslet är av biogent eller fossilt ursprung.

Elektrifieringen minskar utsläppen av luftföroreningar från trafik

Elektrifieringen av transportsektorn kommer även ha en positiv inverkan på de svenska utsläppen av luftföroreningar då användningen av fossila drivmedel minskar kraftigt. Det rör sig om utsläpp av partiklar, kväveoxider, kolväten och andra organiska ämnen samt kolmonoxid. Utsläpp av luftföroreningar orsakar miljö- och hälsoproblem och problemen är som störst i stadsmiljöer. Trafikens luftföroreningar uppskattas på ett år totalt orsaka omkring 3 000 förtida dödsfall, varav cirka 2 800 dödsfall beräknas bero på avgaser (partiklar, kvävedioxid med mera) och cirka 200 fall på slitagepartiklar.⁴³

Även användningen av biodrivmedel i transportsektorn bidrar till utsläpp av luftföroreningar. Som ett resultat av reduktionsplikten ökar användningen av biodrivmedel i transportsektorn i Högre elektrifiering till 34 TWh 2030 från dagens nivåer. I och med att andelen elfordon sedan fortsätter öka till 2050 minskar därmed användningen biodrivmedel till drygt 16 TWh 2050. Då personbilsflottan kommer att stå för den största ökningen av andelen elfordon till 2050 kan man förutsätta att utsläppen av luftföroreningar från biodrivmedelsanvändning till största del kommer att kvarstå från tunga transporter och inte i stadsmiljöer. Sammantaget bidrar en hög elektrifiering av transportsektorn till en positiv påverkan på miljö kvalitetsmålet Frisk luft. Om utvecklingen istället går mot en ökad indirekt användning av el via elektrobränslen i förbränningsmotorer så kvarstår dock utsläppen av luftföroreningar, då egenskaperna hos elektrobränslen vid förbränning är densamma som hos de motsvariga fossila och förnybara drivmedlen.

⁴¹ *Inriktningsunderlag inför transportinfrastrukturplaneringen för perioden 2022–2033 och 2022–2037*, 2020:186, Trafikverket.

⁴² *PM Energibehov vägtransporter*, april 2021, Trafikverket.

⁴³ M Gustafsson m.fl., *Quantification of population exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ and estimated health impacts*. IVL 2018.

Om trafikarbetet är oförändrat kvarstår de utsläpp av partiklar som härrör från slitage av däck, väg och bromsar. Elfordon är generellt tyngre vilket ökar vägslitaget och därmed kan en ökad andel elfordon leda till ökade halter av slitagepartiklar.⁴⁴ För att inte försämra förutsättningarna för att nå miljömålet Frisk luft är det viktigt med ett fortsatt fokus på att främja lättare/mindre fordon (med minskad batteristorlek) och insatser för ett transporteffektivt samhälle genom ett minskat trafikarbete med energintensiva trafikslag.

Och kan bidra till minskade bullernivåer i stadsmiljö

Elmotorer är tystare än förbränningsmotorer vilket innebär att elfordon kan bidra till att minska buller i stadsmiljöer och tätorter vid låga hastigheter. Vid hastigheter från 50 km/h och uppåt så tar bullret från däcken över. Elmotorer som ersätter förbränningsmotorer har därmed en positiv påverkan på miljökvalitetsmålet God bebyggd miljö i stadsmiljöer och tätorter.

Elfordons klimat- och energieffektivitet

Tillverkningen av personbilar ger en klimatpåverkan på 4–8 ton koldioxidekvivalenter per bil, oavsett drivlina. Produktionen av en elbil ger i genomsnitt 50–100 procent högre klimatavtryck, beroende på batteristorlek och vilken elproduktionsmix som används vid tillverkningen av batteriet, jämfört med bilar med förbränningsmotorer.⁴⁵ Batteristorleken bidrar även till övrig miljöpåverkan då mer resurser åtgår vid tillverkningen av större batterier. Generellt är ett kapacitetsmässigt mindre batteri att föredra. Fortsatta insatser för klimat- och energieffektivare fordon behövs för alla fordonstyper, även elfordon. I dagsläget finns inga krav på växthusgasutsläpp eller energieffektivitet på fordon sett ur ett livscykelperspektiv. Bonus-malus styr mot minskad växthusgasprestanda i drift och utgör även en indirekt styrning mot ökad energieffektivitet hos bilar med förbränningsmotorer.

Klimatpåverkan vid tillverkning av fordonsbatterier

I en studie från IVL Svenska Miljöinstitutet om batteritillverkning för personbilar⁴⁶ görs ett räkneexempel för att beskriva klimatpåverkan från batteritillverkning i dagens storskaliga fabriker. Avfallsledet ingår inte. Gruvdrift och mineralförädling är energikrävande och står för ungefär hälften av den klimatpåverkan som sker vid tillverkningen av ett genomsnittligt litiumjonbatteri till en personbil idag.⁴⁷ Utsläppen av växthusgaser som sker vid själva utvinningen av råvaror och förädling av materialen till produktion av batterier uppskattas till ungefär 60 kg koldioxidekvivalenter per kWh energilagringsskapacitet i ett färdigt batteri.

Tillverkning av battericeller är energikrävande då det måste ske i miljöer med mycket låg luftfuktighet. Hur stora växthusgasutsläppen blir beror på vilken energimix som används vid tillverkningen och vilken nyttjandegrad eller kapacitet som batterifabriken jobbar med. Torkning av lösningsmedel kan också bidra till växthusgasutsläpp då energin

⁴⁴ Timmers & Achten, *Non-Exhaust PM Emissions From Battery Electric Vehicles* – ScienceDirect, 2018.

⁴⁵ *Hållbar elektromobilitet – Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara*, C 552, IVL 2020.

⁴⁶ Emilsson och Dahllöf, *Lithium-Ion Vehicle Battery Production*, IVL 2019.

⁴⁷ Resterande klimatpåverkan uppstår vid tillverkning av själva batteriet (Emilsson och Dahllöf 2019).

för dessa steg kan komma från både el, fossila bränslen som naturgas eller biobaserade bränslen. I en modern och storskalig batterifabrik som försörjs med en elmix där fossila bränslen dominerar, vilket är fallet i Kina, släpps det ut ytterligare ungefär 50 kg koldioxidkvivalenter per kWh batterikapacitet från själva produktionsledet. Klimatpåverkan från dagens batteritillverkning hamnar då på ungefär 110 kg koldioxidkvivalenter per kWh batteri med fossil elmix i batterifabriken.⁴⁸

Om batterifabriken istället skulle vara lokaliserad i Sverige och tillverkningen ske med fossilfri el stannar utsläppen istället vid ungefär 60 kg per kWh lagringskapacitet. Enligt en LCA-studie från EU-kommissionen som analyserar verksamma länder i batterivärdekedjan får användningen av fossilfri el i Sverige jämfört med kolkraft i Kina eller Polen en stor påverkan på klimatavtrycket vid tillverkningen av elfordonsbatterier.⁴⁹ Lokalisering av batteritillverkning till Sverige kan därmed sägas vara positivt även för Generationsmålet jämfört om tillverkningen skulle ske i länder med fossil elproduktion.

Klimatprestanda ur ett livscykelperspektiv

Sett ur ett internationellt livscykelperspektiv är utsläppen från ett genomsnittligt elfordon totalt sett lägre än för ett fordon med förbränningsmotorer som använder helt fossila drivmedel.⁵⁰ I Sverige, för personbilar som körs i 15 000 mil innan skrotning, så kan skillnaden i utsläpp vara mellan 45–80 procent lägre, beroende på bilstorlek och batterityp. Detta för en elbil jämfört med en bil med förbränningsmotor som använder helt fossila drivmedel och om man räknar med en svensk elmix. Den svenska elmixen talar därför för att en ökad elektrifiering av transportsektorn i Sverige kan utgöra ett viktigt komplement för att spara på bränslen som kan användas som biodrivmedel. Vid en elmix där kol dominerar kan istället laddbara elfordon vara sämre enbart sett till klimatpåverkan än fordon med förbränningsmotor som använder biodrivmedel.⁵¹

Ytterligare ett räkneexempel när det gäller elfordon kommer från IVL Svenska Miljöinstitutet, Bil Sweden, Powercircle och Motorbranschens Riksförbund.⁵² Enligt deras beräkningar kan en liten fullelektrisk bil som används i Sverige ge en minskad klimatpåverkan med totalt 60–70 procent under sin livstid, jämfört med motsvarande fossil-driven bil. Man har då också antagit att elbilen körs 18 000 mil, utgått från dagens teknik vid utvinning och tillverkning samt inkluderat återvinning men inte återbruk av batteriet.

En ökad marknad för fordonsbatterier

En ökad elektrifiering av transportsektorn i enlighet med Högre elektrifiering kommer att leda till en ökning av antalet fordonsbatterier som tillverkas, används, återanvänds och återvinns. Här diskuteras de miljöeffekter som kopplar specifikt till gruvdrift och batteritillverkning samt vid återanvändning och återvinning.

⁴⁸ Det finns även en studie från Nederländerna från 2020 som kommer fram till motsvarande 40–100 kg/kwh: https://www.oliver-krischer.eu/wp-content/uploads/2020/08/English_Studie.pdf, sid 3.

⁴⁹ Global EV Outlook 2020, https://iea.blob.core.windows.net/assets/af46e012-18c2-44d6-becd-bad21fa844fd/Global_EV_Outlook_2020.pdf, sid 12 (9). (hämtad 2021-10-13).

⁵⁰ I Sverige blir den faktiska skillnaden lägre i och med reduktionsplikten som ökar andelen biodrivmedel i bensin och diesel.

⁵¹ Global EV Outlook (IEA 2019 b). https://iea.blob.core.windows.net/assets/7d7e049e-cc64-4c3f-8f23-6e2f529f31a8/Global_EV_Outlook_2019.pdf, (hämtad 2021-10-13)

⁵² *Batteriers miljöpåverkan*, Faktablad, Powercircle (2019).

En ökad elektrifiering av transportsektorn kan förväntas bidra till att kraftigt öka behovet av innovationskritiska metaller och mineral för att framställa fordonsbatterier.⁵³ Viktiga metaller och mineraler för de flesta batterityper idag och 10–15 år framåt är framförallt litium, kobolt och nickel men även mangan och grafit. Att öka utbudet av hållbart utvunna material för produktion av fordonsbatterier är en stor miljömässig utmaning, särskilt i utvecklingsländer med otillräckliga regelverk.

Scenarierna i det här arbetet gör inga specifika antaganden om hur mycket och i så fall varifrån utbudet av metaller och mineraler kommer att öka. 99 procent av de batterimetaller och -mineral som används till dagens litiumjonbatterier⁵⁴ utvinns idag utanför Sveriges och EU:s gränser.⁵⁵ Miljökraven i de länder där utvinningen sker kan på många håll vara otillräckliga för att minimera negativa miljöeffekter. Det är ofta stora problem med buller, damning, giftigt lakvatten, andra luftföroreningar och deponier av överblivet material.⁵⁶ Utvinningen kan även innebära betydande hälsorisker för arbetare och lokalbefolkning på grund av bristfällig miljölagstiftning. Regelefterlevnaden kan också många gånger vara svag. Lokal påverkan och sociala effekter blir då ofta oacceptabelt höga, särskilt vid småskalig mineralutvinning. Korruption, svagt rättsskydd och otillräckliga regelverk förekommer särskilt i vissa utvecklingsländer och regioner.

Gruvdrift i Sverige är en miljöfarlig verksamhet som alltid ska antas medföra betydande miljöpåverkan enligt 6 § miljöbedömningsförordningen 2017:966. Prospektering av exempelvis kobolt pågår inom EU och inte minst Sverige, med fyndigheter i Bergslagen och Kiruna. Gruvbrytning har en kraftigt negativ påverkan på miljön då naturmiljöer tas i anspråk och barriärer skapas i landskapet, vilket kan leda till minskad biologisk mångfald. Även kulturlandskapets hävd kan påverkas negativt⁵⁷ samt sociala och kulturella strukturer då människors levnadsmiljöer och förutsättningar för att bedriva jord- och skogsbruk, exempelvis renskötsel. Störst miljöpåverkan utgörs ofta av utsläpp till omgivande vattendrag.⁵⁸ De miljömål som påverkas mest är Grundvatten av god kvalitet, Ett rikt växt- och djurliv och Storslagen fjällmiljö. Även påverkan på Giftfri miljö uppstår genom de stora mängder gruvavfall som genereras. Upplag av gruvavfall tar även mycket mark i anspråk i anslutning till gruvan. Utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar kan ske från arbetsmaskiner och i anrikningsprocesserna för de metaller som används i batterierna, vilket ger en påverkan på miljömålen Begränsad klimatpåverkan och Frisk Luft. Anrikning av metaller kan även medföra försurning samt

⁵³ Innovationskritiska metaller och mineral används dock i flera sammanhang, bland annat i olika former av förnybar teknik som exempelvis batterier, vindkraftverk, generatorer, katalysatorer och solceller.

⁵⁴ Energimyndigheten bedömer att allt fler alternativa batteritekniker blir intressanta för fordonsmarknaden i ett 10–15 års perspektiv, bl.a. dagens litiumjämfosfatbatterier och potentiellt natriumjonbatterier.

⁵⁵ European Commission, Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study, 2020.

⁵⁶ Utvinningen av litium som importeras till EU sker främst i Chile och har bl.a. en lokalt negativ effekt på den biologiska mångfalden. Utvinningen av kobolt sker främst i Kongo och ger lokala negativa effekter för både hälsa och naturmiljöer. Arbetsmiljöförhållandena är här särskilt problematiska. På Filippinerna har nickelutvinningen inneburit höga svaveldioxidutsläpp och kontaminerat jorden med tungmetaller, minskat den biologiska mångfalden i havet, påverkat växtliv negativt och eroderat jorden (Dunn JB et al. 2015. The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction. Energy Environ. Sci., 2015, 8, 158–168.).

⁵⁷ Hävd är att marken brukas och sköts traditionellt med naturbete eller slätter som håller landskapet öppet, varmed artrikedomen och det biologiska kulturarvet bevaras.

⁵⁸ *Gruvor och miljöpåverkan*, Gruvor och miljöpåverkan (sgu.se) (hämtad 2021-09-01).

ge upphov till föroreningar i mark och vatten vilket har en negativ påverkan på Bara naturlig försurning och Giftfri miljö.

Jämförs gruvdrift och mineralförädling i Sverige med de länder där utvinningen i huvudsak sker idag, som exempelvis Kongo, Chile och Filippinerna, så har Sverige en mycket starkare miljö- och arbetsmiljölagstiftning. Negativa hälso- och miljöeffekter i Sverige från tillståndsgiven brytning och utvinning kan begränsas i högre utsträckning, och ger därigenom en relativt lägre påverkan jämfört med motsvarande gruvbrytning i vissa andra länder, vilket innebär att en ökad utvinning i Sverige skulle påverka Generationsmålet positivt. Svårigheten att få tillstånd för gruvbrytning i Sverige är ett hinder som lyfts i flera sammanhang, exempelvis för framtida brytning av kobolt.⁵⁹ Arbete pågår med att se över nuvarande tillståndsprocess.⁶⁰

Vid tillverkningen av batterier används ett antal miljöfarliga ämnen som exempelvis svavelsyra, natriumhydroxid och ammoniak vilket kan orsaka betydande luftemissioner till omgivningen och därmed påverka miljömålet Frisk luft negativt. Batteritypen avgör till stor del vilka luftutsläpp som kan förväntas, eftersom produktionen av de olika metallerna skiljer sig åt.⁶¹ I övrigt avgörs miljöpåverkan också genom valet av bränsle i den energikrävande tillverkningsprocessen. Slutligen innebär också nya etableringar av battericellsfabriker i Sverige en viss lokal miljöpåverkan i samband med exploatering och byggnation beroende på lokalisering. Miljöeffekter som orsakas av ett ökat behov av annan infrastruktur såsom vägar, järnvägar och elnät diskuteras under avsnitt 3.3 om systemövergripande åtgärder.

Återanvändning och återvinning av batterier

Trenden visar att volymerna av litiumjonbatterier ökar globalt och att tillverkningskostnaderna kommer sjunka. Den stora vågen av uttjänta litiumjonbatterier från elfordon förväntas komma runt 2030.⁶² En hög grad av återanvändning och återvinning minskar behovet av primära råvaror. Återvinningen av kobolt, nickel och koppar i Europa har i dag relativt hög effektivitet. Litium återvinns inte i någon större skala idag på grund av dess låga råvarupris, höga återvinningskostnader och låga volymer.⁶³ Litium har en hög reaktivitet vilket innebär att farliga gaser kan utsöndras och att batteriet kan börja brinna eller explodera vid felaktig hantering vilket kan orsaka både personskador och utsläpp.^{64,65} Elektrolyten innehåller volatila organiska ämnen och toxiska litiumsalter som är farliga både för människa och natur.⁶⁶ Återvinningsprocessen i sig kan även påverka klimatet, försurning och övergödning, beroende på hur processen är utformad.

⁵⁹ Northvolt vill se svensk brytning av kobolt: "Måste ske snabbt" <https://www.di.se/digital/northvolt-vill-se-svensk-brytning-av-kobolt-maste-ske-snabbt/> (hämtad 2021-09-02).

⁶⁰ Utredning om att säkerställa en hållbar försörjning av innovationskritiska metaller och mineral, <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2021/03/utredning-om-att-sakerstalla-en-hallbar-forsorjning-av-innovationskritiska-metaller-och-mineral/> (hämtad 2021-09-01).

⁶¹ Emilsson och Dahllöf, 2019.

⁶² Emilsson och Dahllöf, 2019.

⁶³ Emilsson och Dahllöf, 2019.

⁶⁴ Bloomberg, 2021. <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-01-08/blast-at-chinese-recycler-shows-battery-supply-chain-risks>, (hämtad 2021-10-13).

⁶⁵ Larsson M-O, Persson M, Romare M, Kloos H, 2020. *Hållbar elektromobilitet – Vad krävs för att eldrivna vägtransporter ska vara miljömässigt och socialt hållbara*. C552. IVL Svenska Miljöinstitutet.

⁶⁶ Zhang X et al., 2018 *Toward sustainable and systematic recycling of spent rechargeable batteries*. Chem Soc Rev., 47, pp. 7239-7302.

Att få till stånd en hållbar och cirkulär batterivärdekedja är viktigt för att minska batteriernas totala klimat- och miljöpåverkan och kraftigt minska behovet av primära råvaror.⁶⁷ En effektiv insamling av batterier är en nyckel för materialåtervinningen men också för återanvändning i nya applikationer, till exempel uttjänta elfordonsbatterier som används som energilagrar. Spårbarhet av de material som ingår i batterierna kan också bidra till att säkerställa att avfallshanteringen görs ordentligt och säkerställa en hållbar produktion genom att materialen hamnar på rätt plats. Både ökad spårbarhet och nya mål för återvinning är på gång i och med revideringen av EU:s batteridirektiv.⁶⁸ Med lokal återvinning och återanvändning kan behovet av ny råvara sjunka och miljöpåverkan från utvinning minska. EU:s nya batteriförordning förväntas leda till ytterligare ökat fokus på hållbarhet längs hela batterivärdekedjan och till att ytterligare begränsa negativ miljöpåverkan i Sverige.

Fler enskilda laddningspunkter i transportsektorn

Behovet av laddinfrastruktur i transportsektorn kommer att öka vartefter elektrifieringen fortsätter. I de högre elektrifieringsscenarierna antas en snabbare utbyggnadstakt av stationär laddning (till exempel enskilda laddningspunkter) än i det lägre elektrifieringsscenariot.

Enskilda laddningspunkter byggs ofta ut i anslutning till befintlig eller ny infrastruktur och tar då en liten yta i anspråk vilket gör den lokala miljöpåverkan från just denna åtgärd är relativt liten. Miljöpåverkan från infrastruktur i form av förstärkta elnät, nya vägar och järnväg är betydligt större och hanteras under avsnitt 3.3.

I scenarierna ingår inte någon utbyggnad av elvägar. För att anlägga elvägar behövs mer energi för att tillverka, bygga och underhålla än för enstaka laddningspunkter. Elvägar påverkar också landskapets natur- och kulturmiljöer mer genom exploatering av ny mark, och ökad påverkan på ekosystem och människor genom ökad ljusförorening och elektromagnetiska fält. Användningen av elvägar innebär visserligen att inte lika stora batterier i de tunga fordonen behövs vilket gör dem lättare och mindre energikrävande, både att tillverka och vid drift. Elvägar skulle kunna utgöra störst nytta för fjärtrafiken med stora energibehov genom att de inte behöver stanna för att ladd. Det handlar då främst om vissa tungt trafikerade sträckor. Den snabba utvecklingen mot allt lättare batterier har dock bidragit till att fördelen med elvägar bedöms vara betydligt mindre jämfört med för bara något år sedan. En allt högre inblandning av biodiesel bidrar också till att minska fördelarna med elvägar. I närtid bedömer Trafikverket att en kombination av biodrivmedel och stationär laddning (i form av enskilda laddningspunkter) är mer effektiva åtgärder för att reducera klimatutsläppen. På längre sikt kan elvägar utgöra en kompletterande åtgärd.⁶⁹

Sammanfattande bedömning av effekterna på miljö kvalitetsmålen

En **ökad andel elfordon** kommer att leda till energieffektivare fordon och minskade klimatutsläpp i transportsektorn eftersom elmotorer har en högre verkningsgrad än

⁶⁷ *How technology, recycling, and policy can mitigate supply risks to the long-term transition to zero-emission vehicles* | International Council on Clean Transportation (theicct.org) Faktablad (hämtad: 2021-10-11).

⁶⁸ Förslag till EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING om batterier och förbrukade batterier, om upphävande av direktiv 2006/66/EG och om ändring av förordning (EU) 2019/1020.

⁶⁹ *Regeringsuppdrag – analysera förutsättningar och planera för en utbyggnad av elvägar*, 2021:013, Trafikverket.

förbränningsmotorer. I Sverige gäller detta jämfört med alla typer av fordon med förbränningsmotorer (som drivs med fossila eller förnybara drivmedel), bland annat på grund av den svenska elmixen. Även utsläppen av luftföroreningar i övrigt minskar till 2050 när antalet förbränningsmotorer (som körs på fossila och förnybara drivmedel) minskar kraftigt. De utsläpp av partiklar som härrör från slitage av däck, väg och bromsar kan dock öka något eftersom elfordonen generellt är tyngre på grund av batterierna. Energieffektivare fordon innebär också en risk för rekyleffekter i form av ett ökat trafikarbete kan uppstå på grund av att elen är fossilfri och billigare än fossila drivmedel. Elmotorer i stadsmiljöer och tätorter har även en viss positiv påverkan på bullernivåer från trafik. Vid användningen av elektrobränslen framställda med el utgår man från förbränningsmotorn vilket är mindre energieffektivt än direkt användningen av elen i en elmotor, vilket innebär att det totala behovet av el blir högre.

I ett internationellt perspektiv förväntas **växande marknader för fordonsbatterier** längs batterivärdekedjans olika delar leda till ökad miljöbelastning. Störst miljöbelastning uppstår vid utvinning och anrikning av innovationskritiska metaller och mineraler. Miljöbelastningen från batterivärdekedjan bedöms vara relativt större i många andra verksamma länder jämfört med om den etableras i Sverige.

När **fler enskilda laddningspunkter** byggs kan lokala miljöstörningar uppstå. Laddpunkterna byggs dock ofta ut i anslutning till befintlig infrastruktur och tar en liten yta i anspråk vilket gör den lokala miljöpåverkan relativt liten. Alternativ infrastruktur såsom elvägar innebär en högre miljöpåverkan både vid anläggning, drift och underhåll. Miljöeffekter av utbyggnad av elnätet, ny transportinfrastruktur respektive batterier som används för flexibilitet i elsystemet analyseras sammantaget för alla användarsektorer, se separata avsnitt.

Tabell 2. De miljö kvalitetsmål som bedöms påverkas mest av de elektrifieringsåtgärder som analyserats inom transportsektorn.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
En ökad andel elfordon	
Effektivare energianvändning jmf med förbränningsmotorer generellt ⁷⁰	Generationsmålet <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Minskade växthusgasutsläpp jmf med fossila bränslen	Begränsad klimatpåverkan <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
Minskade utsläpp av luftföroreningar jmf med fossila och förnybara	Frisk Luft <input checked="" type="checkbox"/> , Ingen övergödning, Bara naturlig försurning (<input checked="" type="checkbox"/>)
Minskat buller jmf med förbränningsmotorer	God bebyggd miljö (<input checked="" type="checkbox"/>)
Ökat trafikarbete pga. rekyleffekter	God bebyggd miljö <input type="checkbox"/>
Växande marknader för fordonsbatterier	
Lokal påverkan på vatten och naturmiljö vid utvinning av råvaror	Levande sjöar och vattendrag <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Grundvatten av god kvalitet, Giffri miljö, Ett rikt växt- och djurliv, Storslagen fjällmiljö <input type="checkbox"/>
Luftutsläpp vid anrikning av råvaror och tillverkning av batterier	Begränsad klimatpåverkan, Frisk luft, Bara naturlig försurning <input type="checkbox"/>
Miljö- och sociala aspekter i brytningsländer	Generationsmålet <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Fler enskilda laddningspunkter	
Lokala hälso- och miljöstörningar samt klimatutsläpp	Begränsad klimatpåverkan, Ett rikt växt- och djurliv, Levande sjöar och vattendrag samt God bebyggd miljö (<input type="checkbox"/>)

⁷⁰ Såväl fossila och förnybara drivmedel som elektrobränslen.

3.2.3 Bostäder och service

När det gäller elektrifieringen och den ökade elanvändningen i sektorn Bostäder och service har miljöpåverkan av tre elektrifieringsåtgärder analyserats; etablering av stora datacenter, värmepumpar ersätter elvärme samt elektrifiering av arbetsmaskiner inom byggsektorn. Den här sektorn skiljer sig till viss del från de andra användarsektorerna då användningen av fossila bränslen är låg och behovet av elektrifiering inte är lika stort.

Datacenters miljöpåverkan

I scenarierna antas etableringen av datacenter i Sverige öka framöver. Datacenter har en hög elförbrukning och kan potentiellt ha en stor klimat- och miljöpåverkan beroende på elmixen i det land som de etableras i. En stor del av den energi som används går åt för att kyla anläggningarna och genom att etablera anläggningarna i länder med kyligare klimat minskar kylbehovet. Det finns potential för att nyttiggöra spillvärmen som uppstår i anläggningen genom att tillvarata den för uppvärmning av bostäder och lokaler via fjärrvärmenäten eller för användning i växthus. En etablering av datacenter i Sverige har potential att minska de globala växthusgasutsläppen från IT-sektorn om den el som används i Sverige fortsatt är fossilfri.

Ökad användning av värmepumpar

En ökad konvertering från direktverkande el till värmepumpar innebär att elanvändningen för uppvärmning minskar från bostadssektorn. Miljöpåverkan från produktion av värmepumpar kommer från utvinning och tillverkning av de ingående materialen. Klimatpåverkan från de ingående materialen i värmepumpar är högre från material producerade utanför Europa.⁷¹ Detta beror på skillnader i elmix och effektivare produktionsmetoder inom och utanför Europa. Dock utgör den inbyggda klimatpåverkan en liten del av värmepumpens totala klimatpåverkan. Den absolut största klimatpåverkan kommer från energianvändningen under driftsfasen. Hur stor den klimatpåverkan är beror på elmixen som används under drift. Under förutsättning att den svenska elmixen fortsatt är fossilfri innebär en ökad konvertering till värmepumpar från direktverkande el att växthusgasutsläppen minskar från sektorn. Läckage av köldmedier från värmepumpar kan även utgöra ett betydande bidrag till klimatpåverkan under driftsfasen. Regelbunden översyn av värmepumpar är av vikt för att minimera köldmedieläckage samt att använda köldmedium med låg klimatpåverkan.

Elektrifiering av arbetsmaskiner inom byggsektorn

Hälften av all diesel till arbetsmaskiner i byggsektorn antas i scenariot Högre elektrifiering 2050 ersättas av el. Bytet från diesel till el bidrar till att effektivisera energianvändningen samt minska utsläppen av växthusgaser. En övergång till el bidrar även till att förbättra arbetsmiljön inom byggsektorn då utsläppen av luftföroreningar minskar. Miljöpåverkan kopplade till produktion och användning av fordonsbatterier tas upp under avsnitt 3.2.2.

⁷¹ *Ny värmepump – utvärdering ur ett livscykelperspektiv*, Rapport 2017:07, slutrapport_ny_varmepump_utvardering_ur_ett_livscykelperspektiv.pdf (e2b2.se).

Sammanfattande bedömning av effekterna på miljökvalitetsmålen

Inom sektorn Bostäder och service är den mest betydande miljöpåverkan från ökad elanvändning från **etablering av stora datacenter**. Även här kommer största miljöpåverkan bero av vilken elmix som används. En **ökad användning av värmepumpar** istället för direktverkande el kommer framförallt bidra med en minskad elanvändning inom sektorn. **Elektrifiering av arbetsmaskiner** inom byggsektorn kommer att leda till minskade utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar samt leda till förbättrad arbetsmiljö på byggarbetsplatser.

Tabell 3. De miljökvalitetsmål som bedöms påverkas mest av de elektrifieringsåtgärder som analyserats inom bostads- och servicesektorn.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Etablering av stora datacenter	
Ökad elanvändning	God bebyggd miljö 
Värmepumpar som ersätter direktverkande el	
Minskad elanvändning	God bebyggd miljö  
Elektrifiering av arbetsmaskiner inom byggsektorn	
Minskade växthusgasutsläpp jmf med fossila bränslen	Begränsad klimatpåverkan 
Minskade utsläpp av luftföroreningar jmf med fossila- och biobränslen	Frisk Luft  
Förbättrad arbetsmiljö på byggarbetsplatser	God bebyggd miljö 

3.3 Systemövergripande miljöutmaningar

Den ökade elanvändningen kommer att medföra att elsystemet måste utvecklas för att möta de ökande behoven. Det kommer både behövas en ökad utbyggnad av elproduktion och en ökad utbyggnad av elnät för att kunna upprätthålla en god överföringskapacitet över hela landet. Åtgärder som kan öka flexibiliteten i elsystemet är också en viktig faktor att beakta för att upprätthålla en god funktionalitet i ett framtida elsystem. Flexibilitetsåtgärder utgör samtidigt en potential för att kunna minska behovet av tillkommande elproduktion och utbyggnad av elnät. En ökad elektrifiering kan även medföra ett ökat behov av transportinfrastruktur, både i samband med nya industrietableringar och i samband med utbyggnad av elproduktion och elnät. För antaganden och utfall för elproduktionen för scenarierna läs mer i kapitel 9 och bilagorna 1 och 2.

3.3.1 Hållbar elproduktion – en förutsättning för en hållbar elektrifiering

En ökad elektrifiering kommer enligt scenarierna att leda till en betydande ökning av elanvändningen vilket kommer att kräva en utbyggnad av ny elproduktion. Elektrifiering innebär en potential för reducerade utsläpp och energieffektivisering genom ett byte från fossil energi till el som energibärare. Effekter på den slutliga energianvändningen beror dock på hur stora rekyleffekter i användarsektorerna som kan förväntas. En förutsättning för en hållbar elektrifiering är att den el som ersätter den fossila energin är hållbart producerad både ekologiskt, socialt och ekonomiskt.

Energimyndigheten har tidigare tagit fram en scenarioanalys om hur ett 100 procent förnybart elsystem kan se ut och vilka miljöeffekter som kan uppkomma.⁷² Men det är även viktigt att beakta vad effekterna blir om det förutsätts att den tillkommande elproduktionen inte är förnybar. En ökad elanvändning kommer även att kräva en utbyggnad av elnätet och olika flexibilitetslösningar. En ökad elanvändning innebär ett ökat fokus på att elen används effektivt. Insatser för att effektivisera elanvändningen kan minska behovet av ny elproduktion. Att satsa på energieffektivisering och att skapa förutsättningar för en mer flexibel elanvändning kan underlätta utmaningen att uppnå en hållbar elektrifiering.

Den följande bedömningen utgår från den elproduktion som byggs ut i scenarierna med Högre elektrifiering, vilket är vindkraft, solenergi och kärnkraft. Vattenkraften antas ligga kvar på samma nivå som idag då bedömningen är att ingen storskalig utbyggnad av vattenkraften i Sverige kommer att ske till 2050. I scenarioanalysen sker en viss utveckling av elsystemet beroende på de antaganden som ligger till grund för analysen. En utveckling där ny elproduktion i Sverige skulle baseras på fossila energislag som kol, olja eller naturgas bedöms som osannolik med nuvarande styrning. En ökad användning av fossil elproduktion skulle kraftigt öka miljöpåverkan från elsystemet och delvis motverka de positiva miljöeffekter som en ökad elektrifiering av samhället kan bidra med

Storskalig vindkraftsutbyggnad

I våra scenarier med en hög elektrifieringsgrad sker en storskalig utbyggnad av vindkraft med cirka 125 TWh, framförallt landbaserad. I miljöanalysen har även miljöeffekterna av en ökad utbyggnad av havsbaserad vindkraft analyserats.

I den nyligen presenterade Vindkraftsstrategin⁷³ identifieras den geografiska placeringen av vindkraft som avgörande för en hållbar utbyggnad. Dels med hänsyn till andra markanvändningsintressen dels ur ett energisystemperspektiv. Sverige är ett relativt stort land till yta och har långa kuster med goda vindförhållanden, men det finns också flera andra intressen med markanspråk att ta hänsyn till, till exempel natur- och kulturmiljöer, bebyggelse, infrastruktur och försvarets intressen.

En ökad utbyggnad av vindkraft i norra Sverige i goda vindlägen kan störa känsliga fjällmiljöer och även påverka rennäringen och det rörliga friluftslivet negativt. Utbyggnad i glesbebyggda områden innebär sannolikt att det krävs en större utbyggnad av annan infrastruktur såsom vägar och elnät jämfört med en ökad utbyggnad i mer tätbebyggda områden. Anläggning av både vägar och elnät skapar nya barriärer och ökar fragmenteringen av landskapen vilket kan leda till en minskad biologisk mångfald och bidra till att rekreativvärden för människor försvinner.

Havsbaserad vindkrafts direkta miljöpåverkan i drift liknar till viss del den för landbaserad. En fördel är att negativ påverkan på människors livsmiljö kan minska om vindkraften placeras långt från land. Behovet av att anlägga vägar minskar även i fallet med en högre andel havsbaserad vindkraft. I anläggningsfasen sker ofta arbeten i form av muddring och pälning vilket påverkar djur- och växtliv på havsbotten eller i vatten-

⁷² 100 procent förnybar el, ER 2019:6, Energimyndigheten.

⁷³ Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad, ER 2021:02, Energimyndigheten och Naturvårdsverket.

massan negativt. Placering av fundament på havsbotten kan dock ha en positiv effekt på marina organismer på lång sikt genom att vindkraftsverkens fundament kan fungera som konstgjorda rev. Dock kan då även nya arter etablera sig i ett område vilket kan utgöra en risk. Under driftsfasen av vindkraften uppvisar vissa fågelarter undvikande beteende vilket innebär att de måste söka föda någon annanstans, vilket kan ge en negativ påverkan. Vindkraftsparker kan även påverka migrerande fågel negativt. Sammantaget beror miljöpåverkan på val av lokalisering och utformning.

Ur ett resurseffektivitetsperspektiv sker den största miljöbelastningen för vindkraft i tillverknings- och byggnadsfasen.⁷⁴ I många fall sker tillverkningen utomlands och miljöpåverkan beror av tillverkningsland och metoder. Många vindkraftverk använder också jordartsmetaller som det på sikt kan komma att bli brist på. För havsbaserad vindkraft är energiåtgången och utsläppen större i anläggningsfasen då det krävs kraftigare förankring med fundament på djupt vatten.

Vindkraftsverkens höjd och vindlägen kommer att påverka hur många vindkraftverk som kommer att behöva byggas. Utvecklingen av vindkraft går mot allt större verk vilket ger en möjlighet till att bygga mer resurseffektivt, givet att tillstånd ges för att bygga höga verk. Detta kan leda till en minskad miljöpåverkan och resursåtgång i ett systemperspektiv då färre vindkraftsverk behöver byggas. Dessutom ger stora vindkraftverk ett minskat behov av flexibilitet i elsystemet⁷⁵ vilket ytterligare kan bidra till att minska resursåtgången. Detta kan dock innebära att enskilda verk kan få en större lokal miljöpåverkan exempelvis genom att de då blir högre, kan synas och höras mer och möjligen behöva placeras i områden med fler andra markanspråk. Generellt byggs större vindkraftverk till havs och där finns också något bättre vindlägen.

Fler solcellanläggningar

Solceller byggs ut till cirka 11 TWh i Högre elektrifiering. I scenariot ingår enbart takbaserade anläggningar, men i miljöanalysen beaktar vi även konsekvenserna av en utbyggnad av markbaserade solcellsparker.

Miljökonsekvenserna från solceller är främst kopplat till miljöpåverkan från tillverkningen, som i hög grad sker i andra länder och till återvinningen av solcellerna. Hur stor miljöpåverkan är beror till stor del på tillverkningslandets elmix och miljölagstiftning. Teknikutvecklingen går mot minskad materialanvändning och minskad energianvändning i produktionen. Även återvinningen av solceller är energikrävande och kan ge upphov till miljöskadliga utsläpp om det sker på ett felaktigt sätt, exempelvis i länder som saknar lagstiftning för hantering av elektroniskt avfall. Ur ett svenskt perspektiv bedöms riskerna för miljöskadliga utsläpp från återvinningsfasen vara låga då hanteringen av elektroniskt avfall är väl reglerad via implementeringen av WEEE-direktivet⁷⁶ i svensk lagstiftning. Då tillgången på material, som vissa jordartsmetaller, är begränsad är det viktigt med återvinnig av dem.

⁷⁴ *Framtidens el – så påverkas klimat och miljö*, En delrapport IVA-projektet Vägval el, IVA 2016.

⁷⁵ Bland annat på grund av jämnare elproduktion och fler ytor lämpliga för vindkraftsproduktion. Källa: *Nationell strategi för hållbar vindkraftsutbyggnad*, ER 2021:2.

⁷⁶ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2012/19/EU av den 4 juli 2012 om avfall som utgörs av eller innehåller elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE).

Solceller har en låg direkt miljöpåverkan under driftfasen och om den huvudsakliga placeringen sker på tak så tar de ingen mark i anspråk. Om utvecklingen går mot anläggandet av fler större solcellsparker kan detta innebära ett ökat markanvändningstryck, exempelvis kan solcellsparker som placeras på jordbruksmark konkurrera med livsmedelsproduktion. Placeringen av solcellsparker är dock relativt flexibel och kan därav löpa mindre risk att konkurrera med alternativa markanspråk. Det ger också en möjlighet för lokaliseringar där behovet av ny infrastruktur, som nät och vägar, är lågt.

Ny kärnkraft kommer in som ett alternativ

I scenarierna med en hög elektrifiering sker dels livstidsförlängning av kärnkraften, dels utbyggnad av ny kärnkraft till cirka 53 TWh 2050. Kärnkraft är ett elproduktionslag med låg klimatpåverkan.

Ur ett miljöperspektiv är den största påverkansfaktorn risken för kärnkraftsolyckor som kan få mycket allvarliga konsekvenser. Även hanteringen av använt kärnbränsle kan vara riskfyllt. Lokal miljöpåverkan av kärnkraften uppstår också vid uranbrytning samt vid slutförvar av avfall. Mindre lokal miljöpåverkan kan även uppstå vid utsläpp av kylvatten i sjöar, vattendrag och hav. Växthusgasutsläpp sker vid byggnation av anläggningar samt vid utvinning, transport och bearbetning av kärnbränsle.

Fjärde generationens kärnkraft skulle, om den i framtiden realiserats, ha betydligt mindre påverkan ur miljö- och resurssynpunkt jämfört med dagens reaktorer. Framförallt skulle användningen av uran minska om fjärde generationen realiserats som teknik eftersom dagens kärnavfall kan förse den med bränsle under överskådlig framtid och ingen ny uran behöver utvinnas. Olycksrisken minskar också betydligt jämfört med för dagens reaktorsystem liksom tiden som avfallet behöver slutförvaras.⁷⁷

Fortsatt nettoexport

Det sker en ständig elhandel mellan Sverige och våra grannländer. Det svenska elnätet är direkt ihopkopplat med elsystemen i Finland, Norge, Danmark, Tyskland, Polen och Litauen. I de flesta av dessa länder används mer fossila bränslen för elproduktion än i Sverige. Den fossilbaserade andelen av elproduktionen kommer förmodligen att minska med tiden men i flera av länderna kommer fossila bränslen sannolikt att användas i många år till. Tyskland planerar exempelvis att använda kol till 2038 och Polen till 2049.⁷⁸

En ökad elanvändning i Sverige kan under perioder betyda att vi nettoimporterar el, vilket kan ge en negativ miljöpåverkan i dessa länder. Sett till utfallet i scenarierna till 2050 så är Sverige fortfarande en nettoexportör av el under majoriteten av året vilket också har en positiv miljöpåverkan i samma länder. Hur elproduktion i och handel med andra länder samt dess miljöpåverkan utvecklas i framtiden behöver fortsatt bevakas.

⁷⁷ IVA 2016, Framtidens el – så påverkas klimat och miljö, En delrapport IVA-projektet Vägval el.

⁷⁸ Planen: Tysk brunkol avvecklad 2038 – Nyheter (Ekot) | Sveriges Radio, Polen stänger alla kolgruvor till 2049 – Nyheter (Ekot) | Sveriges Radio (hämtad 2021-10-11)

Tabell 4. De miljökvalitetsmål som bedöms påverkas mest av utbyggnad av ny elproduktion per produktionslag.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Vindkraft på land och till havs	
Låga växthusgasutsläpp i drift	Generationsmålet, Begränsad klimatpåverkan <input checked="" type="checkbox"/>
Markanvändning och etablering till havs	Levande skogar, Storslagen fjällmiljö, Hav i balans, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö <input type="checkbox"/>
Resurs- och energiåtgång vid tillverkning och byggnation	Begränsad klimatpåverkan <input type="checkbox"/> Generationsmålet <input type="checkbox"/>
Användning av jordartsmetaller och mineral	Generationsmålet <input type="checkbox"/>
Solceller på tak och på mark	
Låga växthusgasutsläpp i drift	Begränsad klimatpåverkan <input checked="" type="checkbox"/>
Resurs- och energiåtgång vid tillverkning och återvinning	Begränsad klimatpåverkan <input type="checkbox"/> Generationsmålet <input type="checkbox"/>
Användning av jordartsmetaller och mineral	Generationsmålet <input type="checkbox"/>
Markanvändning (solcellsparker)	Ett rikt odlingslandskap, God bebyggd miljö <input type="checkbox"/>
Ny kärnkraft	
Låga växthusgasutsläpp i drift	Begränsad klimatpåverkan <input checked="" type="checkbox"/>
Risk för kärnkraftsolycka, hantering av använt kärnbränsle	Säker strålmiljö <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Resurs- och energiåtgång vid byggnation, utvinning och transport av uran	Begränsad klimatpåverkan <input type="checkbox"/> Generationsmålet <input type="checkbox"/>
Användning av uran som begränsad resurs	Generationsmålet <input type="checkbox"/>

3.3.2 Utbyggnad av elnät

För att möjliggöra en hållbar elektrifiering där både användning och produktion av el kommer att öka är en utbyggnad av elnäten nödvändig. För utbyggnad av elnät är det generellt materialframställning, med utvinning av råvaror och produktion av material, samt byggnationsfasen med avverkning av skog, anläggning och materialtransport som står för den största resurs- och miljöpåverkan samt för utsläpp av växthusgaser.

Utbyggnad av elnät medför även en lokal miljöpåverkan i form av påverkan på landskapsbild, skogs- och jordbruk samt påverkan på biologisk mångfald och buller. Elnäten kan bland annat skapa nya barriärer för växter och djur och fragmentering av landskapen vilket kan leda till en minskad biologisk mångfald och även bidra till att rekreationsvärden för människor försvinner. Dessa effekter kan vara betydande och är beroende av lokaliseringen av nätutbyggnaden. Vissa arter kopplade till äng- och hagmarksmiljöer kan dock gynnas av den hävd av marken som uppstår när man röjer ledningsgatorna vilket efterliknar det slätterbruk som i stort har upphört idag. Elnät kan även medföra en ökad exponering av elektromagnetiska fält i bebyggd miljö och i havsmiljön, vilket ytterligare understryker vikten av lokalisering. Även val av teknik, samt om ledningen är luftburen eller går under mark eller vatten, har stor betydelse för storleken på den lokala miljöpåverkan. Att minimera negativ miljöpåverkan i samband med utbyggnad av elnät är viktigt framöver för en ekologiskt hållbar elektrifiering.

Tabell 5. De miljö kvalitetsmål som bedöms påverkas mest av utbyggnad elnäten.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Utbyggnad av elnät	
Markanvändning	Levande skogar, Ett rikt odlingslandskap, Levande sjöar och vattendrag, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö, Hav i balans <input type="checkbox"/>
Resurs- och energiåtgång vid tillverkning och byggnation	Begränsad klimatpåverkan <input type="checkbox"/>
Exponering från elektromagnetiska fält	Säker strålmiljö <input type="checkbox"/>

3.3.3 Flexibilitetsresurser

En flexibel elanvändning har potential att minska resurs- och energiåtgången. I scenariot med hög elektrifiering och aktiva användare modelleras elsystemet med antagandet att de flexibilitetsresurser som byggts in i systemet i och med en ökad elektrifiering utnyttjas fullt ut. Flexibilitetsåtgärderna innebär en möjlighet till flexibel styrning av uppvärmning, kyla, ventilation och hushållsel samt av elanvändningen i stora datacenter och inom industrin. Elfordon liksom vätgaslager inom industrin bidrar också till en ökad flexibilitet i elsystemet. Förutom mindre investeringar i styrutrustning krävs inte några nya större investeringar eller en ökad resursåtgång för att möjliggöra den flexibla användning som ingår i scenariot. För mer information kring antaganden kring flexibel elanvändning se kapitel 8. Det innebär att flexibiliteten i form av flexibel styrning i sig inte innebär någon tillkommande miljöpåverkan än den som redan beskrivits under respektive användarsektor. Den flexibilitetsresurs som i denna analys kan medföra en tillkommande miljöpåverkan är en utbyggnad av elnäten, se avsnitt 3.3.2. I elsystemanalysen är behovet av en utbyggnad av elnäten lägre i scenariot med aktiva användare, till följd av de övriga flexibilitetsåtgärder som modellerats.



Tabell 6. De miljö kvalitetsmål som bedöms påverkas mest av en flexibel elanvändning.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Flexibel elanvändning inom uppvärmning, kyla, ventilation, hushållsel, datacenter och industri	
Minskat behov av utbyggnad av elnät	Levande skogar, Ett rikt odlingslandskap, Levande sjöar och vattendrag, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö, Begränsad klimatpåverkan, Säker strålmiljö, Hav i balans <input type="checkbox"/>

3.3.4 Utbyggnad av transportinfrastruktur

Som en följd av nya industrilokaliseringar för batteritillverkning och fossilfri stålindustri uppstår bland annat behov av ny infrastruktur för transporter i norra Sverige.⁷⁹ Generellt krävs exploatering av mark för att anlägga ny transportinfrastruktur, vilket innebär stor miljöpåverkan. Vid byggnation och underhåll kan det förekomma lokala hälsofarliga, miljöstörande och klimatpåverkande utsläpp eller bullerstörningar från arbetsmaskinerna. Miljöpåverkan är betydande både vid byggnationen, men även vid drift och underhåll. Generellt förändrar och påverkar transportinfrastrukturen natur- och kulturmiljöer, landskapsbilden samt bebyggda miljöer. Ny transportinfrastruktur kan skapa nya barriärer för växter och djur och bidra till fragmentering av landskapen vilket kan leda till en minskad biologisk mångfald och även bidra till att rekreativvärden för människor försvinner. Det finns en risk för negativ miljöpåverkan på miljömålen Ett rikt växt- och djurliv och Levande sjöar och vattendrag. Hur transportinfrastrukturen utformas påverkar markåtgången för anläggningsdelar såsom viltstängsel, viltportar och faunapassager.

Tabell 7. De miljö kvalitetsmål som bedöms påverkas mest av en utbyggnad av transportinfrastruktur.

Miljöeffekter	Miljömål som påverkas
Utbyggnad av transportinfrastruktur	
Markanvändning	Levande skogar, Ett rikt odlingslandskap, Levande sjöar och vattendrag, Ett rikt växt- och djurliv, God bebyggd miljö, 
Resurs- och energiåtgång vid tillverkning och byggnation	Begränsad klimatpåverkan 

⁷⁹ Regeringens infrastrukturproposition april 2021 Framtidens infrastruktur – hållbara investeringar i hela Sverige (regeringen.se) och Trafikverkets inriktningsplan 2022–2033, okt 2020.

4 Analys över konkurrenskraft

Omställningen mot ett fossilfritt samhälle genom ökad elektrifiering är en stark global trend som skapar både nya möjligheter och utmaningar för industrier och företag.

Det här kapitlet fokuserar på hur konkurrenskraften påverkas av elektrifieringen med utgångspunkt i resultaten i scenarierna. Analysen fokuserar på el som insatsvara och elpris samt på hur en ökad elektrifiering skulle kunna påverka handelsmönster och övriga näringslivet. Förutsättningar och antaganden som är viktiga för konkurrenskraften diskuteras också.

Sammanfattning

- Elektrifiering innebär att el blir en allt viktigare insatsvara. Det gör att elpris, leveranssäkerhet etcetera blir ännu viktigare för näringslivet. I scenarierna ökar elpriserna vilket kan vara negativt för konkurrenskraften. Men samtidigt förbättras relativpriset vilket förbättrar konkurrenskraften. Det är viktigt att se elpriset som en del av många priser och faktorer som påverkar näringslivets konkurrenskraft.
- Efterfrågefleksibilitet kan ge fördelar och öka lönsamheten för det enskilda företaget, samtidigt som det kan bidra till lägre elpriser för alla företag. För att ett företag ska tjäna på att vara flexibel med sin elanvändning måste dock intäkterna överstiga kostnaderna för flexibiliteten.
- Klimatomställningen och elektrifieringen innebär att nya verksamheter etableras. Men det kan även innebära att andra verksamheter påverkas negativt och försvinner.
- För att kunna dra nytta av de möjligheter som utvecklingen skapar och stärka konkurrenskraften så behöver företagen kunna utvecklas och nya skapas samt tillgång till teknik- och kompetensutveckling finnas. Att underlätta strukturomvandlingen är därför en viktig del i arbetet med att stärka företagens förutsättningar att hantera omställningen.
- En ökad elektrifiering påverkar handelsbalansen på flera sätt. Import av fossila energivaror minskar. Samtidigt innebär förändringar i efterfrågan och produktion att även import och export av andra produkter.

4.1 Konkurrenskraft ingår i scenariernas förutsättningar och finns i elektrifieringens drivkrafter

Många faktorer som ofta diskuteras kopplat till konkurrenskraft ingår som förutsättningar, antaganden, drivkrafter eller utmaningar i scenarierna. Det är alltså inte resultat från scenarierna utan en del av deras uppbyggnad. Det gör att man inte kan dra direkta slutsatser rörande dessa faktorer utifrån scenarierna.

Att konkurrenskraft och lönsamhet ingår i scenarierna påverkar hur konkurrenskraft kan diskuteras i rapporten, vilket beskrivs i detta avsnitt. I kommande avsnitt diskuteras sedan resultaten från scenarierna och vilka effekter elektrifiering kan ha på konkurrenskraften.

4.1.1 I scenarierna antas att investeringar i elektrifiering är lönsamma, men det är inte säkert att de kommer att vara det

I scenarierna antas att ett antal investeringar sker, se avsnitt 7.2 för mer information. Det innebär ett underliggande antagande att investeringarna i scenarier är lönsamma. Med det antagandet skulle man kunna säga att scenarierna är lönsamma och konkurrenskraften stärks. Men antagandet om lönsamhet är ett antagande och inga explicita beräkningar av lönsamheten har utförts. Det är därför inte säkert att de investeringar som beskrivs i scenarierna kommer att vara lönsamma.

Flera företag har för närvarande investerings- och omställningsplaner, arbetar med att utveckla nya produkter och produktionsprocesser med mera. Det är därför troligt att företagen bedömt att dessa insatser kommer att vara lönsamma. Flera företag har också uttalat att de ser det som viktiga insatser för sin framtida konkurrenskraft.

Många olika faktorer påverkar om en investering är lönsam, till exempel priser på olika insatsvaror, kostnader för teknik och investeringskostnader. Dessutom måste andra kriterier också uppfyllas för att investeringar ska kunna ske, till exempel att ny teknik finns tillgänglig och den infrastruktur som behövs finns på plats.

Ekonomisk tillväxt är en förutsättning i scenarierna

En viktig förutsättning som är kopplad till konkurrenskraft är att scenarierna grundas på scenarier om den ekonomiska utvecklingen från Konjunkturinstitutet. Konjunkturinstitutets ekonomiska scenarier bygger dock starkt på nuvarande näringslivsstruktur. Därför kompletteras de med antagandet om investeringarna ovan och utvecklingen av energiscenarierna bygger därför bara delvis på förutsättningarna från Konjunkturinstitutet. Förutsättningarna och Konjunkturinstitutets scenarier beskrivs i Energimyndighetens långsiktiga scenarier 2021.⁸⁰

Eftersom förädlingsvärde och BNP ingår som förutsättningar i scenarierna går det inte att dra några slutsatser kring dess utveckling. Dessa förutsättningar kommer från Konjunkturinstitutets EMEC-modell. EMEC:s resultat omfattar även till exempel sysselsättning och andra ekonomiska faktorer som inte används direkt i dessa scenarier. Men eftersom dessa är nära kopplade till de EMEC-resultat som används som förutsättningar så går det inte att analysera dessa heller.

Olika företag med olika förutsättningar

Scenarierna fokuserar till viss del på större företag vars investeringsbeslut kan få stor effekt på energisystemets utveckling. Men det finns också företag i mindre elintensiva branscher, liksom små och medelstora företag som påverkas av energisystemets utveckling. Eftersom analysen till stor del fokuserar på större företag med stor energianvändning blir dessa mindre elintensiva företagen, samt små- och medelstora företaget inte specifikt behandlade här. Men dessa företag bör ändå inte glömmas bort eftersom de också är viktiga för Sveriges ekonomi och sysselsättning och påverkas av energisystemets utveckling och kan påverkas av elektrifieringen. Det är också möjligt att till exempel utvecklingen med automatisering och digitalisering kan innebära att dessa företags elanvändning och elberoende ökar. Hur ett företag påverkas av energisystemets utveckling och företagets förmåga att anpassa sig till det beror på flera saker till exempel bransch, storlek och geografiska läge. Dessa frågor bör undersökas närmare, delvis speciellt kopplat till små- och medelstora företag samt mindre elintensiva företag.

⁸⁰ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER2021:6, Energimyndigheten.

Fakta och fördjupning

Konkurrenskraft som begrepp

Konkurrenskraft är ett komplext och dynamiskt begrepp och det finns inte en generellt accepterad definition. Konkurrenskraft kan analyseras på flera nivåer och utifrån flera olika perspektiv och utgångspunkter.

Med ett snävt energiområdesperspektiv avser konkurrenskraft en välfungerande konkurrens på energimarknaderna som leder till effektiv prisbildning och ett effektivt resursutnyttjande.⁸¹

Genom näringspolitiken genomförs insatser för att stärka näringslivets konkurrenskraft, men flera andra politikområden bidrar också till att skapa förutsättningar för att stärka företagens konkurrenssituation. Det övergripande målet för näringspolitiken är att stärka den svenska konkurrenskraften och skapa förutsättningar för fler jobb i fler och växande företag.⁸² Näringspolitikens mål säger dock inte så mycket om vad konkurrenskraft är. Ett exempel på definition av ett lands konkurrenskraft är World Economic Forum som säger att det är ”de institutioner, policier och faktorer som bestämmer ett lands produktivitetsnivå”.⁸³ Konkurrenskraft kan också analyseras för till exempel en region, bransch eller företag. Analysen kan också omfatta olika aspekter på konkurrenskraft. Den kan till exempel fokusera på kostnader och produktivitet, breddas till att omfatta förmågor och strukturer eller även omfatta utfallsparametrar som till exempel BNP, sysselsättning, sociala och ekologiska aspekter.

Men oavsett vilken nivå konkurrenskraftsanalysen görs på och vilka aspekter man väljer att ta med är konkurrenskraft alltid relativt andra. Vem jämförelsen ska göras med beror på vems konkurrenskraft som diskuteras. Ett företags konkurrenskraft är relativt konkurrerande företag medan en region eller land kan jämföras med andra regioner respektive länder. Konkurrenskraft startar dock egentligen alltid med näringslivet, där företagets produktion och handel skapar förutsättningar för tillväxt, sysselsättning etcetera. Genom att utnyttja fördelar gentemot andra så kan konkurrenskraften stärkas. God tillgång på råvaror, relativt låga elpriser, kompetent personal, hög digitaliseringskompetens och -infrastruktur och fossilfri el är några exempel på fördelar som Sverige och svenska företag har.

4.2 El blir en ännu viktigare insatsvara och elpriset allt viktigare för konkurrenskraften

En ökad elektrifiering liknande den i Högre elektrifiering skulle göra el till en ännu viktigare insatsvara för många företag, samtidigt som fossila insatsvaror blir mindre viktiga. Det gör att exempelvis elpriset och elens leveranssäkerhet blir allt viktigare för svenska företags konkurrenskraft. Samtidigt är elpriset inte den enda faktorn som påverkar näringslivets konkurrenskraft och det är viktigt att se till företagets hela situation.

⁸¹ *Energiindikatorer 2020*, ER 2020:15, Energimyndigheten.

⁸² Prop 2020/21:1. *Budgetproposition för 2021 – Utgiftsområde 24 Näringsliv*.

⁸³ ”The set of institutions, policies and factors that determine the level of productivity of a country”. *The Global Competitiveness Report 2017-2018*, World Economic Forum, 2017.

4.2.1 Elektrifiering gör el till en ännu viktigare insatsvara

El är redan idag en viktig insatsvara för många elintensiva industrier. En ökad elektrifiering innebär att företagens insatsvaror förändras och el blir en allt viktigare insatsvara för fler företag och branscher. Samtidigt minskar betydelsen av fossila bränslen som insatsvara när dessa byts ut mot el. Branscher som idag är fossilintensiva, till exempel masugnsbaserad stålproduktion, får i och med elektrifiering en förändrad profil på insatsvarorna där fossila insatsvaror kommer minska medan el ökar i relativ betydelse.

När el blir en större insatsvara för fler företag ökar också kraven på säkra leveranser av el. Leveranssäkerheten blir då också allt viktigare för konkurrenskraften. I elsystemanalysen (kapitel 9) och analysen över försörjningstrygghet (kapitel 5) diskuteras leveranssäkerheten och hur den påverkas av elektrifiering mer i detalj. El och tillgång till el är viktigt även för företag som inte är elintensiva eftersom de ändå är beroende av el för att driva sina processer, ventilation, belysning etcetera. Digitalisering och automatisering kan också öka beroendet av el, även hos företag som inte är elintensiva.

Att el får en ännu större betydelse för fler företag innebär också att frågor kring tillgång på el, tillförlitlighet i leveranser, elpriser etcetera får en ännu större betydelse vid investeringsbeslut. Både dagsläget och vad företaget tror om den framtida utvecklingen och potentiella framtida begränsningar påverkar besluten. Om tillgång på el inte kan garanteras riskerar det att hindra eller bromsa expansionsplaner och begränsa företagets tillväxt och konkurrenskraft. En ökad elektrifiering kan med andra ord även påverka Sveriges konkurrenskraft genom att det påverkar investeringsbeslut och kan påverka huruvida investeringar görs i Sverige eller andra länder. Det påverkar både hur företag med verksamhet i Sverige och företag som överväger att etablera sig i Sverige väljer att investera. Regionala skillnader i förutsättningarna kan också påverka var i Sverige företag väljer att investera. Fossilfri el, god leveranssäkerhet, relativt låga elpriser etcetera kan bidra till att skapa mer gynnsamma investeringsförutsättningar och är därför viktiga för Sveriges konkurrenskraft.

4.2.2 Elpriset blir allt viktigare och ökar i scenarierna, men sambanden med konkurrenskraft är komplext

I och med elektrifieringen kommer elpriset att bli ännu viktigare för företagets konkurrenskraft. Samtidigt är sambanden mellan elpris och konkurrenskraft komplexa och elpriset ska ses som en del när det gäller konkurrenskraften. I scenarierna med högre elektrifiering ökar elpriserna, men inte lika mycket som i Tyskland, vilket gör att konkurrenskraften ändå stärks gentemot Tyskland, sett till elpriset. Ökade och mer varierande priser innebär att flexibel efterfrågan kan ge konkurrensfördelar och samtidigt kan flexibel efterfrågan minska elpriserna. Kraftproducenter kan tjäna på att elpriset och efterfrågan ökar.

Vilket elpris som företagen klarar beror på många olika faktorer

Elpriset är redan idag en viktig kostnadspost för flera industrier och en elektrifiering skulle göra det ännu viktigare. I scenarierna ökar elpriserna, särskilt i scenarierna med högre elektrifiering. Ökade elpriser innebär ökade kostnader och generellt sett försämrar det företags lönsamhet och konkurrenskraft. Men det ekonomiska systemet är komplext och elpriset är bara en av många kostnader som företag möter. Det går därför inte att

säga att ett visst elpris innebär att företagen inte längre är konkurrenskraftiga. Det beror på att systemet är dynamiskt. Hur mycket företagens kunder är beredda att betala för varorna påverkar starkt hur stora kostnader ett företag kan ha. Om ett företag kan höja priset och kunderna ändå är villiga att betala det klarar företaget höjda kostnader. Om kunderna istället slutar köpa varan eller köper från konkurrenter kan företaget få svårt att hantera de höjda kostnaderna. Företag som säljer till internationella kunder är ofta mer känsliga eftersom det är svårare att lägga över kostnader på kunderna som bara det företaget har ifall konkurrerande företag i andra länder möter lägre kostnader och kan sälja till ett lägre pris. Både kundernas betalningsvilja, hur företagets andra kostnader utvecklas och vilka kostnader som konkurrerande företag har påverkar effekten av ett högre (eller lägre) elpris.

Många faktorer spelar in på ett företags lönsamhet och konkurrenskraft och det är därför svårt att sätta ett exakt värde för när en viss vara blir ”för dyr”. Företagets totala kostnader och kostnaderna relativt konkurrenter är mycket viktiga för lönsamheten. Kostnaden är inte heller den enda faktorn som påverkar företagets försäljning. Företaget kan också konkurrera genom kvaliteten på sina varor och tjänster och genom att deras erbjudande är så attraktiva att kunden är beredd att betala ett högre pris för dem. Om alla konkurrenter möter samma ökade kostnader kan företagen skjuta över dem på konsumenterna och ta ut ett högre pris. Det gör att företagen inte förlorar lika mycket på den ökade kostnaden. Men samtidigt innebär ofta ett högre pris att kunderna köper mindre av den produkten vilket kan göra att bolagens försäljning minskar, vilket också kan leda till en försämrad lönsamheten.

Hur högt elpris ett företag kan klara beror alltså på situationen. Om till exempel elpriset ökar men konkurrerande företag får ännu högre elpriser och kunderna är beredda att betala ett högre pris för varan kan företaget klara ett högre elpris. Motsatt så kan till exempel en lägre betalningsvilja hos kunderna eller att konkurrenters kostnader sänks innebära att företaget bara kan hantera ett lägre elpris. Det går alltså inte att helt isolera en kostnad, utan för att diskutera en process eller ett företags lönsamhet/konkurrenskraft behöver man se på helheten och relationen till konkurrerande processer/företag.

Vätgasbaserad stålproduktion, elpris och koldioxidpris – ett beräkningsexempel
För att sätta elpriserna i scenarierna i ett sammanhang så jämförs dem här med en beräkning för när det kan vara lönsamt att investera i vätgasbaserad stålproduktion jämfört med masugnsbaserad produktion. Beräkningarna för vätgasreduktionen kommer från en artikel i *Journal of cleaner production*.⁸⁴ Artikeln beskriver bland annat kostnadsstrukturen för sådan vätgasreduktion och när en sådan investering skulle kunna vara konkurrenskraftig jämfört med en investering i dagens masugnsteknik. Studien baseras bland annat på antaganden om olika priser på till exempel järnmalm, skrotstål, kalk och arbetskraft samt antaganden om processen, livslängder med mera. Man tar även hänsyn till om det finns en existerande masugnproduktion som ersätts och när det i så fall görs.

Artikeln drar slutsatsen att produktionskostnaden för vätgasbaserad ståltillverkning är starkt beroende på elpriset och hur mycket skrotstål som används i processen. Artikeln visar också på beroendet mellan elpris och koldioxidpris. Enligt artikeln kan en investering i vätgasbaserad stålproduktion konkurrera med en i masugnsbaserad produktion

⁸⁴ Valentin Vogel, Max Åhman och Lars J. Nilsson, 2018, *Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking*. *Journal of Cleaner production*, 203 (2018) 736–745.

vid ett elpris på 40 euro/MWh och ett koldioxidpris på 34–68 euro/ton.⁸⁵ Intervallet för koldioxidpris beror dels på vilken skrotinblandning som antagits, dels på om investeringen ersätter existerande produktion.⁸⁶

I scenarierna ligger elpriserna från 2030 högre än de 40 euro/MWh som nämns i artikeln, särskilt i högre elektrifieringsscenarierna (läs mer om elpriserna i kapitel 9). Samtidigt är det antagna koldioxidpriset 2030 lägre än det som anges för att göra en investering i vätgasreduktion konkurrenskraftig. Det antyder att det, utifrån el- och koldioxidpris, skulle kunna vara svårt att räkna hem en investering i vätgasbaserad stålproduktion. Men elpriserna i lägre elektrifieringsscenariot är inte långt ifrån så det skulle kunna vara möjligt.

Samtidigt är inte priserna statiska och förhållandet mellan dem är viktigt. I artikeln anges ett samband mellan el- och koldioxidpris där en investering i vätgasbaserad produktion kan vara lönsam. Vid det högsta genomsnittliga Sverigepriset i de tre scenarierna, cirka 60 euro/MWh⁸⁷, så innebär det ett intervall för koldioxidpriset på drygt 50 till drygt 100 euro/ton.⁸⁸ I scenarionanalysen antas den lägre delen av intervallet nås cirka 2040 och 2050 närmar det antagna koldioxidpriset sig den högre delen av intervallet. Det antyder att det skulle kunna vara möjligt att räkna hem en investering i vätgasbaserad stålproduktion med priserna i den senare delen av tidsperioden, särskilt om det handlar om att ersätta en uttjänt masugn och en hög inblandning av skrotstål används.

Både priserna i alla tre scenarierna och artikelresultaten är modellberäkningar som bygger på antaganden och de exakta siffrorna ska inte tolkas för strikt. El- och koldioxidpris är mycket viktigt men andra priser och kostnader samt förväntningar om framtiden med mera påverkar också kostnadsbilden och investeringsbeslut, liksom speciella förutsättningar på platsen där investeringen ska ske. Men det kan vara intressant att som ovan jämföra storleksordningarna och sätta scenariorresultaten i perspektiv. Jämförelsen poängterar också att priser och andra förutsättningar ofta samverkar för att skapa förutsättningar för lönsamma investeringar.

Beräkningsexemplet visar på vikten av att se på hela sammanhanget när lönsamhet diskuteras, men också på att det är svårt att säga exakt när en investering kan räknas hem eftersom det beror på många olika faktorer. En slutsats som kan dras från jämförelsen är att koldioxidpriset både påverkar om en investering är lönsam och vid vilket elpris den kan vara det. Det pekar på vikten av att styrningen av koldioxidpriset är trovärdig och priset förväntas vara tillräckligt högt för att denna typ av investeringar ska kunna ske.

På motsvarande sätt kommer vissa priser att vara avgörande för huruvida andra investeringar i elektrifiering är lönsamma eller inte. Koldioxidpris och elpris kommer troligen att vara viktiga komponenter men som exemplet visar spelar även andra priser roll. Priset som företagen säljer för och huruvida det är möjligt att ta extra betalt för till exempel fossilfritt stål påverkar också beräkningarna.

⁸⁵ Det är oklart i artikeln vilken prisnivå som används (löpande eller fast pris och vilket basår i så fall). Men eftersom inflationen har varit så låg under senaste åren bedöms det inte påverka resonemangen nämnvärt.

⁸⁶ Den lägre delen av intervallet speglar en inblandning på 50 procent skrotstål och att en helt ny anläggning byggs. Den övre delen av intervallet speglar att inget skrotstål används och att den vätgasbaserade produktionen ersätter en masugn istället för att den renoveras.

⁸⁷ I Högre elektrifiering med passiva användare år 2050.

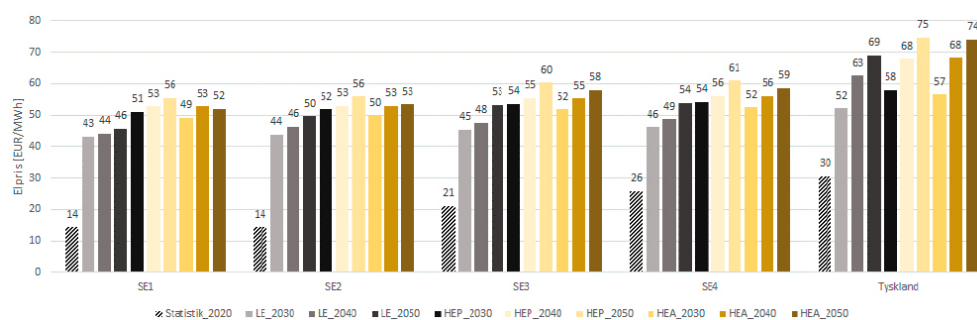
⁸⁸ Koldioxidpriset är i dagsläget över 60 EUR/ton, Carbon Price Viewer – Ember (ember-climate.org) (hämtad: 2021-09-01)

Här diskuteras bara priser och prisernas påverkan på lönsamheten. Men för att stor-skalig elektrifiering ska ske måste även andra förutsättningar uppfyllas, till exempel tillgång på olika resurser såsom skrotstål, malm eller yta för nya byggnader. I de fall nya tekniker/produkter krävs måste dessa också utvecklas och kommersialiseras så att de finns tillgängliga för företagen. Läs mer om flexibilitet som en konkurrens fördel i avsnitt 4.2.5 och om vätgas som flexibilitetsresurs i avsnitt 8.5.

4.2.3 Elpriset ökar i scenarierna men inte lika mycket som i Tyskland

De svenska elpriserna ökar i alla scenarier, men mest i scenarierna med hög elektrifiering, se kapitel 9. I Högre elektrifiering med aktiva användare är prisökningen mindre än i scenariot med passiva användare. Ökade elpriser innebär att elkostnaderna för näringslivet ökar, särskilt för elintensiva verksamheter. Men för att säga något om hur konkurrenskraften påverkas av det behöver man också titta på hur priserna utvecklas för konkurrerande företag.

I Figur 4 visas elprisutvecklingen i Sverige och Tyskland⁸⁹ i de olika scenarierna.



Figur 4. Genomsnittliga spotpriser per elområde och år för 2020 samt alla scenarier, löpande 2020 priser för 2020 samt 2018 års priser för scenarierna, EUR/MWh.

Källa: Nord Pool samt simuleringar i TheMA.

Förklaring: LE-Lägre elektrifiering, HEP- Högre elektrifiering med passiva användare, HEA-Högre elektrifiering med aktiva användare.

År 2020 var elpriset lägre i alla Sveriges elområden jämfört med Tyskland. Det tyska elpriset fortsätter vara högre än de svenska elpriserna i alla scenarierna. Ser man på det tyska elpriset i förhållande till det svenska ökar skillnaden alltmer över tid i scenarierna eftersom det tyska elpriset ökar snabbare än det svenska. Sett till bara det relativa elpriset ökar alltså den svenska konkurrenskraften gentemot Tyskland eftersom el, trots den absoluta prisökningen, blir relativt billigare i Sverige. Konkurrenskraften stärks mest i Lägre elektrifiering och minst i Högre elektrifiering med passiva användare, även om det relativa elpriset förbättras i det scenariot också. Flexibla användares påverkan på elpriset gör att relativpriset stärks mer i Högre elektrifiering med aktiva användare men inte fullt lika mycket som i Lägre elektrifiering.

⁸⁹ I modellen TheMa som använts till scenarierna ingår Europa. Tyskland är ett stort industriland i EU och i scenarioresultaten liknar utvecklingen av elpriserna på övriga kontinenten i stort den i Tyskland. Därför utgår jämförelsen här från resultaten för Tyskland.

Eftersom modellen bara omfattar Europa så finns inga resultat för andra stora länder som USA, Kina eller Kanada. Elprisutvecklingen i dessa och andra länder kommer också att påverka både svenska företags konkurrenskraft och kan påverka hur investeringar i Sverige bedöms av internationella företag. Till 2050 kommer troligen även konkurrenssituationen att förändras så att till exempel elpriserna i flera av världens tillväxtregioner också blir viktiga för konkurrenssituationen. Utvecklingen i resten av världen är alltså viktig, men i denna rapport har det inte varit möjligt att undersöka det vidare.

Elpriserna varierar också över olika tider på året och mellan elområden inom Sverige. Det gör att företag kommer möta olika priser beroende på var de är placerade och vid olika tidpunkter. Priserna som diskuteras ovan är genomsnittspriser för helår och hela Sverige men trenderna är lika för Sveriges elområden. Elpriset är lägre i de norra prisområdena (SE1 och SE2) än i de södra (SE3 och SE4). Det gör att företag kommer att möta olika elpriser beroende på var de ligger i landet där företag i de södra delarna av Sverige kommer möta ett högre elpris än företag i norra Sverige. Om företagen konkurrerar på samma marknad kan det innebära konkurrensfördelar för företag med produktion i norr. Om företagens konkurrenter främst ligger i andra länder så är det relativa elpriset mellan länderna mest intressant. Som nämns ovan utvecklas den relativa konkurrenskraften mot Tyskland, sett till elpriset, positivt för alla prisområdena i scenarierna. Skillnaderna inom landet kan också påverka var i landet företag med stor elanvändning väljer att investera. Flera investeringar i de norra delarna av Sverige kopplas bland annat till elpris och tillgång på fossilfri el, till exempel Northvolt. Även andra produktionsfaktorer skiljer sig mellan olika delar av landet, till exempel infrastruktur, närhet till råvaror och kunder eller tillgång på personal med en viss kompetens.

Styrmedel, nätavgifter och elavtal påverkar också vad företag betalar för sin elanvändning

Priserna ovan är spotpriser så nätavgifter och skatter ingår inte här. Det innebär att företagen inte kommer att möta exakt de priserna utan den totala kostnaden påverkas också av nätavgifter, styrmedel och elavtal.

Olika styrmedel kan påverka relativpriserna på el mellan olika länder och därmed påverka elprisets effekt på konkurrenskraften. Det kan till exempel handla om energiskatt på el eller elcertifikat som läggs till elpriset. I många länder, inklusive Sverige, finns olika styrmedel och undantag för olika användare. Inom EU finns energiskattedirektivet⁹⁰ som bland annat styr den lägsta energiskatten som får tas ut på vissa energibärare. Industri och viss annan verksamhet i Sverige har den lägsta energiskatt på el som medges enligt direktivet. Men även andra styrmedel påverkar elpriset, till exempel kompenserar vissa EU-länder elintensiv industri för EU ETS. Det har inte varit möjligt att fördjupa elprisanalysen till att inkludera alla styrmedel i den här rapporten. Det har inte heller varit möjligt att ta hänsyn till nätavgifter i olika länder.

⁹⁰ Rådets direktiv 2003/96/EG av den 27 oktober 2003 om en omstrukturering av gemenskapsramen för beskattning av energiprodukter och elektricitet. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003L0096&from=SV> (hämtad 2021-10-06).

Vilket elpris ett företag betalar påverkas också av vilka elavtal företaget har. Möjligheterna att påverka sitt elpris genom elavtalet varierar till viss del beroende på företagets storlek med mera. Oftast betalar större elanvändare mindre per kWh än mindre elanvändare, även om de stora användarnas totalkostnad är högre.

Starkt varierande elpriser kan också skapa en osäkerhet för företag och osäkerhet är negativt vid investeringsbeslut och kan påverka konkurrenskraften. Företagen har dock möjlighet att minska osäkerheten genom olika elavtal och prissäkringar, till exempel genom långa avtal och PPA-avtal.⁹¹ För företag som har möjlighet att investera i flexibel elanvändning kan det även finnas affärsmöjligheter genom att delta i stödtjänster/effektreserven, se avsnitt 4.2.5.

4.2.4 Hela näringslivet påverkas av högre elpriser

Högre elpriser påverkar hela näringslivet, både existerande och ny verksamhet. Ju mer elintensiv en verksamhet är desto mer bör ett högre elpris påverka verksamheten. Järn- och stålindustrin är redan idag elintensiv och blir ännu mer elintensiv med de investeringar som kommer in i både lägre elektrifieringsscenarioet och framförallt i högre elektrifieringsscenarierna. Den höga elintensiteten gör att elpriset kommer att bli mycket viktigt för järn- och stålindustrins konkurrenskraft. Massa- och pappersindustrin är också elintensiv och använder mest el i industrin idag. Det sker ingen stor utveckling av massa- och pappersindustrins produktionsprocesser i scenarierna, förutom att den strukturomvandling som redan pågår fortsätter. Men även om branschen inte blir mer elektrifierad än idag så gör den höga elintensiteten och stora elanvändningen ändå att ökade elpriser kan påverka konkurrenskraften. Andra elintensiva befintliga branscher, som till exempel aluminiumproduktion, och tillkommande elintensiva verksamheter som datacenter och batteriproduktion, påverkas av att elpriserna ökar. Även företag som inte är elintensiva påverkas av högre elpriser och/eller mer varierande elpriser. Exakt vilken påverkan ett visst elpris har på konkurrenskraften är svårt att säga, dels för att det varierar starkt mellan företag, dels för att det beror på många andra faktorer.

4.2.5 Flexibilitet kan bli en konkurrensfördel för enskilda företag och stärka konkurrenskraften för alla företag genom systemeffekter

När elpriset blir allt viktigare och varierar alltmer kan det innebära att företag som har möjlighet till flexibel elanvändning tjänar på att investera i utrustning som möjliggör högre produktion vid lägre elpriser och/eller att använda mindre el vid perioder med högre elpris. Större variationer i elpris kan ge större incitament till att kunna anpassa sin verksamhet för att undvika kostnaderna vid de högsta elpriserna och/eller utnyttja den billigare elen vid lägre elpriser. Det kan göra att (fler) företag som har möjlighet att ha en flexibel elanvändning investerar i utrustning som möjliggör det. Om företag kan minska sina kostnader genom att utnyttja lägre elpriser och undvika högre kan det ge företaget konkurrensfördel.

⁹¹ Power purchase agreement – ett långsiktigt avtal mellan köpare och säljare. Detaljerna i dessa avtal varierar, till exempel kan köparen förbinda sig att köpa en viss volym el årligen under en längre tidsperiod.

Företag kan också vara med på balansmarknader och därmed få betalt för att minska sin elanvändning när elsystemet är mer belastat, vilket också sammanfaller med perioder med högre elpris. Ett ökat behov av flexibilitet i systemet leder också troligen till högre ersättningar för balans- och stödtjänster. En högre ersättning kan också göra det mer lönsamt att kunna minska sin elanvändning vilket också kan medföra att fler företag investerar i flexibel elanvändning. Läs mer om marknader för efterfrågefleksibilitet i kapitel 8.

Flexibel elanvändning kan alltså potentiellt ge konkurrensfördelar gentemot företag som måste producera oavsett elpris på två sätt. Men för att flexibilitet ska kunna vara lönsamt och bli en konkurrensfördel så måste kostnaderna för att vara flexibel vara lägre än den sänkta elkostnaden plus ersättningar. Dessutom måste företaget ha möjligheterna att ha en flexibel elanvändning med fortsatt produktion. Om de ekonomiska incitamenten i form av besparingar och ersättningar är tillräckligt starka är det också möjligt att det kan även driva en teknisk utveckling mot ökad flexibilitet hos fler produktionsprocesser.

Även företag som inte har möjlighet att vara flexibla med en fortsatt produktion kan ha möjlighet att erbjuda balans- och stödtjänster genom att stänga ner produktion när ersättningen är tillräckligt hög. Det kan bidra till företagets lönsamhet (eftersom företaget antagligen bara kommer göra det när ersättningen är större än värdet på den förlorade produktionen), men det ger inte samma dubbla fördel som en flexibel användning. Precis som för företag som kan vara flexibla med bibehållen produktion så måste företagen ha teknisk möjlighet att stänga ner produktionen om ersättningen ska vara större än kostnaden, både direkta kostnader för minskad produktion och för eventuella andra effekter till exempel på produktkvalitet.

Flexibla elanvändare i alla sektorer har en påverkan på elsystemet och elpriserna, se kapitel 9. Scenariot Högre elektrifiering med aktiva användare visar att en ökad flexibilitet i elanvändningen kan förbättra effektbalansen och leda till lägre elpriser jämfört med Högre elektrifiering utan aktiva användare. Genom dessa systemeffekter kan flexibla användare bidra med en positiv systemeffekt på alla svenska företags konkurrenskraft, om det leder till att elpriserna minskar eller blir mer stabila. Scenarioanalysen visar alltså att även företag som inte själva har möjlighet att vara flexibla potentiellt kan tjäna på en ökad flexibilitet i elsystemet.

4.3 Ökad efterfrågan och pris stärker kraftproducenternas konkurrenskraft

En ökad elektrifiering påverkar kraftproducenternas marknad och konkurrenssituation på flera sätt. Elektrifieringen ökar efterfrågan på deras produkter och påverkar priserna. Elektrifieringens möjliga effekter på elmarknaden diskuteras närmare i kapitel 9.

Elpriset ökar i alla scenarier, men framförallt vid Högre elektrifiering. Ökade priser är generellt sett bra för kraftproducenterna, men vilket pris en producent kommer att kunna sälja för beror delvis på vilken typ av elproduktion företaget har. Vindkraft producerar ofta el när mycket el produceras i Sverige eftersom det tenderar att blåsa i stora delar av Sverige samtidigt. Eftersom en större del av den produktion alltså sker vid tillfällena när mycket el produceras och elpriset därmed är lågt så kommer priset de företagen erhåller att vara lägre än genomsnittspriset. Kraftproducenter med reglerbar kraft har möjlighet att styra sin produktion och därmed välja att producera när priserna är högre. Att ha tillgång till reglerbar kraft och/eller en kombination av kraftkällor

bör därmed bli en konkurrensfördel för elproduktionsföretagen i framtiden. Samtidigt påverkas företagens lönsamhet och konkurrenskraft inte bara av till vilket pris de kan sälja sin elproduktion utan även produktionskostnader etcetera.

När mer flexibilitet kommer in i elsystemet påverkar det elpriset på två sätt. De högsta pristopparna minskar, vilket sänker genomsnittspriset på el, och de lägsta priserna ökar, vilket höjer genomsnittspriset. I scenariot med aktiva användare minskar genomsnittspriset jämfört med passiva användare. I det scenariot påverkar alltså de sänkta pristopparna genomsnittspriset mer än de ökade lägsta priserna. Men det är inte säkert att den effekten alltid skulle överväga.

Elpriset påverkar många delar av näringslivet och delvis påverkas kraftproducenterna annorlunda jämfört mot övriga näringslivet. Ett minskande elpris innebär att företag och hushåll betalar ett lägre pris. För näringslivet i stort kan ett minskande elpris därför innebära konkurrensfördelar. För kraftproducenter däremot innebär ett minskande elpris att de får mindre betalt och kan därför påverka deras lönsamhet negativt.

Kraftproducenter kan minska osäkerheter kring elpris, hur mycket el som kommer efterfrågas etcetera genom olika avtal. Ett exempel är PPA-avtal där en kund förbinder sig att köpa en viss mängd el till ett visst pris. På så sätt är leverantören garanterad en viss leveransmängd vilket till exempel kan minska risken med investeringar i ny produktion.

Idag säljs el främst på en regional marknad och överföringskapaciteten mellan länder och elområden begränsar marknaden. Ökad överföringskapacitet och närmare koppling till den europeiska marknaden ökar marknaden för kraftproducenterna. Samtidigt kan också konkurrensen öka eftersom handelsområdet då omfattar fler producenter.

4.4 Hela näringslivet påverkas av elektrifiering

Elektrifieringen kan påverka samhället på många olika sätt som idag är svåra att förutsäga och skulle innebära förändringar i näringslivet utöver de som syns i scenarierna. En internationell elektrifiering som den som antas i högre elektrifieringsscenariot kan påverka vilka varor och tjänster som efterfrågas och produceras, inte bara hur de produceras.

Elektrifieringens effekter på näringslivet kan ske på många sätt och på många nivåer. Effekterna kan vara negativa för vissa företag men också positiva för andra företag som antingen har eller kan utvecklas till att leverera produkter, tjänster och kompetens som efterfrågas. En ökad elektrifiering kan innebära både utmaningar och möjligheter för ett konkurrenskraftigt svenskt näringsliv, på många olika nivåer. Företags möjligheter beror på många olika faktorer, både företagsinterna och externa. Ett exempel är företagets lokalisering som kan påverka vilket elpris företaget möter, möjligheten att rekrytera personal och vilken infrastruktur företaget har tillgång till. Lokaliseringen kan både handla om var i landet företaget ligger, och om det är placerat i stad eller på landsbygden. Vissa av utmaningarna och möjligheterna sträcker sig också utanför energi- och klimatpolitiken som till exempel frågor kring att tillräcklig och rätt kompetens finns, effekter av digitalisering och automation eller olika faktorer som påverkar vad kunder efterfrågar.

Förändringar i bransch- och sektorsammansättning är dock inte negativt i sig, även om det kan påverka vissa företag negativt. Samhället förändras och både efterfrågan på och produktion av varor och tjänster utvecklas kontinuerligt vilket leder till ett omvandlingstryck på företagen. Det är dock viktigt att företag kan utvecklas och nya skapas, att företag kan dra nytta av de möjligheter som skapas och att människor har möjlighet till

kompetensutveckling för att kunna ta nya arbeten. Att underlätta strukturomvandlingen är därför en viktig del i arbetet med att stärka företagens förutsättningar och el och tillgången på el är en sak som påverkar omställningsförmågan.

4.4.1 Utmaningar och drivkrafter som kan påverka konkurrenskraften

I kapitel 7 beskrivs utmaningar och drivkrafter för de olika användarsektorerna kopplat till elektrifieringen. Flera av dessa kan komma att begränsa konkurrenskraften och hindra utvecklingen. Till exempel kan brist på kompetens, material och utrustning begränsa de investeringar vi ser i scenarierna men också hämma tillväxt och konkurrenskraft.

Om investeringar eller tillväxt hämmas men efterfrågan finns, kommer den efterfrågan att fyllas av ett annat företag. Utmaningarna, och drivkrafterna, kan därför påverka konkurrenskraften i både positiv och negativ riktning.

För att investeringar ska vara lönsamma måste företagen kunna sälja sina varor och tjänster. Den drivkraft som är mest relevant när det gäller konkurrenskraft är efterfrågan på klimat- och miljövänliga varor som driver fram mer miljövänliga produktionsprocesser och därmed elektrifiering av vissa processer. Läs mer i avsnitt 7.2.2 om drivkrafter i industrin. Företag som utvecklas och ändrar sina produkter och produktionssätt etcetera på ett sätt som kunderna efterfrågar stärker sin konkurrenskraft. Samtidigt är den framtida efterfrågan en osäkerhet eftersom det inte är säkert att tillräckligt många konsumenter kommer att prioritera klimat- och miljöfrågor i framtiden.

Samtidigt behöver företag utveckla och satsa på många olika områden som produktutveckling, personalfrågor och kompetensutveckling med mera. Vad som är de mest lönsamma satsningarna kan skilja sig kraftigt mellan olika företag och bara det enskilda företaget kan i slutändan besluta om vilka satsningar som bedöms bäst för det. Genom att skapa förutsättningar, stärka drivkrafter och undanröja hinder för till exempel elektrifiering så kan sådana satsningars lönsamhet förbättras och de uppfattade riskerna och osäkerheterna med investeringarna minska.

4.4.2 Tillgång till fossilfri el är en konkurrensfördel

Att en vara produceras med fossilfri el används redan idag som försäljningsargument av flera företag. I scenarierna ligger ett implicit antagande att klimat- och miljövänliga produkter kommer att efterfrågas. En ökad efterfrågan på sådana produkter bör innebära att det kommer fortsätta vara viktigt hur elen produceras, särskilt för varor som säljs som fossilfria. När allt fler företag elektrifierar så kan fossilfri el också bli ett starkare försäljningsargument för fler företag eftersom det blir en större del av deras miljöpåverkan. Konkurrensfördelen av fossilfri el kan dock minska över tid om alltmer el globalt produceras fossilfritt.

4.4.3 Elektrifiering innebär att vissa företag måste anpassa sig för att inte riskera att slås ut

En storskalig elektrifiering innebär minskad efterfrågan på vissa varor och tjänster. Företag som idag har en stor del av sin verksamhet inom dessa områden kommer att behöva anpassa sin verksamhet till de förändrade förhållandena.

Elektrifieringen kan till exempel påverka fordonsindustrin trots att det inte är uttryckligt modellerat i scenarierna. Den starkt ökande efterfrågan på elfordon, framförallt i högre

elektrifieringsscenariot, bör innebära att stora delar av fordonsindustrin ställer om för att producera de fordon som efterfrågas. Företag som inte lyckas ställa om sin produktion för att möta den förändrade efterfrågan skulle då kunna förlora marknadsandelar och kanske tvingas lägga ner. De fordonstillverkare som lyckas ställa om kan istället bli vinnare på en ökad internationell elektrifiering och kan öka sin produktion och lönsamhet. Fordonsindustrin är en stor bransch i Sverige med många underleverantörer som också påverkas av förändringar i branschens produktion. Underleverantörer och konsulter med fokus på förbränningsmotorer kan behöva anpassa sig eller få en minskad efterfrågan och lönsamhet, medan företag med varor och tjänster kopplat till elektriska drivlinor, självkörande bilar och liknande kan få en starkare ställning. Förändringar i utbud och produktion hos en större producent, till exempel en fordonstillverkare, kan alltså ha både positiva och negativa effekter hos många andra företag även om de inte fångas i scenariorisultaten.

Raffinaderiindustrin är ett annat exempel på en bransch som skulle behöva anpassa sig för att inte påverkas negativt av en kraftig elektrifiering. Elektrifieringen påverkar efterfrågan på drivmedel vilket i sin tur påverkar raffinaderiindustrins möjligheter att sälja sina produkter. Raffinaderiindustrin exporterar mycket av sina produkter, men även om andra länder har höga klimatambitioner och elektrifierar kraftigt, som i högre elektrifieringsscenarierna, så skulle det vara negativt för den branschen. Hur mycket fossila drivmedel som ersätts med elektrifiering respektive biobaserade drivmedel påverkar raffinaderiindustrins förutsättningar, liksom huruvida de kan ställa om till andra, icke-fossilbaserade, råvaror och producera (mer av) andra produkter än drivmedel.

Det är inte bara elanvändningen som förändras när en process elektrifieras. Elektrifieringen kommer troligen även att innebära förändringar i vilka varor och tjänster som företagen som ändrar sin produktionsprocess behöver. När ny teknik introduceras kommer till exempel ny utrustning och andra reservdelar att behövas och annan kompetens krävs för installation, service med mera. Det kan innebära förändringar för bland annat utrustningsleverantörer (både att vissa försvinner och nya tillkommer), byggtreprenörer och konsulter som också behöver anpassa sig till de nya förutsättningarna.

En storskalig elektrifiering kan också påverka näringslivet på andra sätt. En effektiv logistik är viktig för företagets konkurrenskraft, både fysiskt att insatsvaror kan levereras till företagen och produkter levereras till kund och digital infrastruktur. Det är därför viktigt att elektrifieringen av transportsektorn som beskrivs i avsnitt 7.3 sker på ett sätt som stärker tillgången på effektiva transporter med konkurrenskraftiga kostnader. Försämrade transportmöjligheter inverkar negativt på företags lönsamhet och konkurrenskraft, men samtidigt finns möjligheter för transport- och logistikföretag att dra nytta av potentiella konkurrens fördelar av att erbjuda miljövänliga transporter etcetera.

4.4.4 Samtidigt stärks vissa branscher och nya sektorer och företag växer fram

En stark elektrifiering av samhället innebär samtidigt att efterfrågan på vissa varor och tjänster ökar. Företag som erbjuder dessa kommer att tjäna på elektrifieringen. I vissa fall är det existerande företag som kan se en ökad efterfrågan på sina produkter, i andra fall växer helt nya branscher fram.

Elektrifieringen av fordonsflottan driver fram tillväxten av storskalig batteriproduktion för att kunna tillgodose den ökade efterfrågan. Northvolts investering som kommer in

i högre elektrifieringsscenariot är en del av framväxten av denna bransch. En sådan nyetablering påverkar även andra företag. Det kan till exempel handla om lokala existerande företag som får en ökad efterfrågan inom transporttjänster, underhåll eller catering, och underleverantörer av olika varor som får ökade beställningar. Det kan också handla om nyetableringar av underleverantörer. Två exempel på företag som aviserat nyetableringar kopplat till att de ska leverera varor till Northvolt är Kedali industry och Shenzhen Senior Technology Material Co. Det finns även möjligheter för svenska företag att etablera/utöka verksamhet inom andra delar av värdekedjan för batterier, från brytning av råmaterial till återvinning av uttjänta batterier, se också avsnitt 4.5.2.

En global utveckling liknande den i högre elektrifieringsscenariot, där en omfattande elektrifiering sker även i omvärlden, innebär också att efterfrågan på utrustning, kompetens etcetera kopplat till elektrifiering och elproduktion bör öka. En sådan utveckling skulle kunna leda till ökad efterfrågan av elektrolysörer, vindturbiner, elfordon, material som dessa produceras av och liknande. Även reservdelar, underhåll och konsulttjänster kopplat till detta kan öka. Importen av dessa varor och tjänster kan då öka om de produceras utanför Sverige. Om de produceras inom Sverige kan däremot exporten av dem öka. Om produktion och utveckling av sådana varor och tjänster läggs i Sverige kan det öka Sveriges konkurrenskraft. Det är svårt, i princip omöjligt, att idag säga vilka branscher som kommer att vara starka 2050. Men sett utifrån högre elektrifieringsscenariot bör tillverkning och kompetens i områden som kopplar till elektrifiering och elproduktion vara efterfrågade. Huruvida nya eller förändrade varor och tjänster kommer att produceras inom Sverige beror på många olika faktorer. En fråga kan vara huruvida ny teknik kan utvecklas här och därmed patent, tillverkning etcetera ägs av svenskbaserade företag, jämfört med om utvecklingen sker i andra länder. Företag kan dels delta i att utveckla nya processer och produkter som de kan använda för att tillverka varor som företaget säljer och få en konkurrensfördel genom till exempel kunna använda fossilfrihet som försäljningsargument gentemot andra, det vill säga slutprodukten som produceras med en elektrifierad process säljs/exporteras. Företag kan också delta i utveckling av ny teknik, processer etcetera där de tillverkar utrustning och/eller har kompetens och patent som de säljer, det vill säga de säljer tekniken till andra företag. Det är också möjligt att kombinationer kan förekomma.

4.5 Elektrifiering kan påverka handelsmönster

Nya och ändrade tillverkningsprocesser och insatsvaror förändrar handelsmönstren. Nettoexport och andra mått kopplade till handel diskuteras ofta kopplat till konkurrenskraft och som mått på konkurrenskraft. Genom att diskutera möjliga effekter av en elektrifiering på handelsbalansen ges ytterligare en dimension av frågan.

4.5.1 *Elektrifieringen innebär minskad import av fossila varor som ersätts med el*

Elektrifieringen i högre elektrifieringsscenariot innebär minskad användning av fossila energivaror⁹², både som bränsle och som insatsvara i industrin, när de ersätts med el. Eftersom Sverige är beroende av import av fossila energivaror så innebär det att importen av dessa varor minskar.

⁹² Fossila energivaror omfattar bl.a. råolja, naturgas, bensin, diesel, eldningsolja och kol.

Fossila energivaror stod för elva procent av importen till Sverige 2018 och sju procent av exporten från Sverige.⁹³ Mycket av handeln är kopplad till den svenska petrokemi- och raffinaderiindustrin. Mer än hälften av importen är råolja som används i raffinaderierna och en stor del av de förädlade oljeprodukter (till exempel bensin och diesel) som produceras där exporteras sedan medan resten används i Sverige. Trots att Sverige har en inhemsk raffinaderiindustri som exporterar förädlade oljebränslen importeras även sådana, cirka en fjärdedel av importen av fossila energivaror var förädlade oljeprodukter. Även kol, koks och fossila gaser importeras.

Övergången till elektrobränsle i högre elektrifieringsscenarierna innebär att de fossila gaser som används som insatsvara och restbränslen i den petrokemiska industrin ersätts med el. Det innebär att importen av dessa fossila gaser försvinner i de högre elektrifieringsscenarierna.⁹⁴

Den minskade användningen av förädlade oljeprodukter i högre elektrifieringsscenarierna motsvarar ungefär hälften av den svenska importen av förädlade oljeprodukter 2018. Eftersom svenska raffinaderiindustrins produktion samtidigt ökar i scenarierna så bör denna minskning främst ske genom minskad import. Men oljebränslen består av flera olika bränslen och vilken leverantör en användare väljer beror på många faktorer som till exempel pris och produktkvalitet. I praktiken går det därför inte att säga om en minskad oljeanvändning skulle ske genom en minskad import av förädlade bränslen eller genom minskad import av råolja till raffinaderiindustrin.

En ökad elektrifiering kan innebära ett omvandlingstryck på företagen vilket vissa företag kan tjäna på medan andra påverkas negativt, se avsnitt 4.4. Om den minskade användningen av oljeprodukter främst skulle ske genom en minskad produktion i svenska raffinaderier istället för minskad import så skulle det vara sämre för den svenska raffinaderiindustrin eftersom dess efterfrågan då minskar. Raffinaderiindustri exporterar en stor del av sin produktion så en minskad inhemsk efterfrågan skulle delvis kunna kompenseras med ökad internationell efterfrågan. Men höga klimatambitioner och elektrifiering även i andra länder, liknande den som antas i Europa i högre elektrifieringsscenariot, skulle kunna leda till minskad efterfrågan. I alla tre scenarierna ligger dock ett antagande om fortsatt stark produktion inom svenska raffinaderier, tillsammans med ett antagande om ökad inblandningen av biobaserad råvara till raffinaderierna. Det innebär att behovet av råolja till raffinaderierna minskar till 2050 jämfört med idag i scenarierna och därmed minskar också importen av råolja. Minskningen är något större än minskningen på grund av elektrifieringen av petrokemiindustrin. Men den minskningen sker i alla scenarier och är en effekt av substituering till biobaserad insatsvara, inte elektrifiering. Det är inte uttalat varifrån bioråvaran till raffinaderierna kommer i scenarierna så det är möjligt att den minskade importen av råolja i alla fall delvis ersätts av ökad import av biomassa. Frågan

⁹³ Beräkningarna är gjorda på import och export i kronor. Mätt i ton står fossila energivaror för en större del av Sveriges handel.

⁹⁴ I scenariorisultaten är användningen i petrokemin uppdelad mellan två sektorer. Användningen av restgaser ligger i industrin och där försvinner dessa gaser helt i elektrifieringsscenariot. De fossila gaserna som används som insatsvara ligger däremot i icke-energiändamål. Det har inte varit möjligt att modellera hur konverteringen till elektrobränsle påverkar insatsvaran i detta arbete. Därför speglar resultaten i högre elektrifieringsscenariot inte den fulla effekten av förändringen i petrokemi. Den fossila insatsvaran till petrokemisk industri står för en stor del av icke-energiändamål och en konvertering till elektrobränsle i enlighet med utvecklingen i industridelen av elektrifieringsscenariot skulle alltså leda till en större minskning av den fossila importen än vi ser i scenariorisultaten.

om inhemsk produktion av biodrivmedel utreds också i Energimyndighetens uppdrag att utreda behovet av ytterligare styrmedel för att främja ökad inhemsk produktion av biodrivmedel.⁹⁵

När dagens masugnsproduktion i järn- och stålindustrin helt ersätts med vätgasreduktion i högre elektrifieringsscenariot försvinner användningen av koks helt och även stora delar av kolanvändningen. Det innebär att även stora delar av importen av kol och koks skulle försvinna vid en sådan utveckling.

Elektrifieringen kan alltså innebära en minskad import av fossila bränslen och insatsvaror. Samtidigt behöver elproduktionen öka. I vissa fall kan bränsle för elproduktionen behöva importeras. Det finns idag ingen utvinning av uran i Sverige utan kärnbränsle eller uran till kärnbränsle behöver importeras. Importen av uran är dock betydligt mindre än handeln med fossila energivaror. Eventuella förändringar i den handeln kommer därför inte väga upp de förändringar som kan ske i handeln med fossila varor i scenarierna.

Handel med el påverkar också handelsbalansen. I alla tre scenarierna ökar exporten av el, särskilt i högre elektrifieringsscenarierna. Detta diskuteras närmare i kapitel 9 och Bilaga 2 Resultattabeller.

4.5.2 *Handel sker med många andra varor än energivaror och mycket annat kan också påverkas av elektrifiering*

Sverige är ett litet land och beroende både av import och export. Många företag verksamma i Sverige säljer mycket av sina varor utomlands och många andra företag är underleverantörer till dessa företag. Fossila energivaror och el är bara en del av Sveriges handel med utlandet. Handel sker med många olika varor och tjänster som inte fångas direkt i scenariorisultaten. Hur handeln utvecklas påverkas av många olika faktorer som konsumtionsmönster och produktionen hos konkurrerande företag och länder.

Elektrifiering kan också innebära andra handelseffekter än den minskade fossilimport som syns i scenariorisultaten. Eftersom elektrifiering kan påverka till exempel hur företag arbetar, vilka varor och tjänster som efterfrågas och hur dessa produceras är det svårt att idag säga hur det skulle kunna påverka den svenska handeln. Det är troligt att förändringar sker, men det är idag svårt att säga på vilket sätt. Elektrifiering innebär också att ny produktion byggs samtidigt som det är möjligt att annan produktion minskar. Vilken produktionsutveckling som sker i Sverige respektive andra länder påverkar också handelsbalansen.

Ett exempel på något som kan påverka handelsbalansen på flera olika sätt är den storskaliga batteriproduktion som ingår i högre elektrifieringsscenariot. Hur en sådan produktion påverkar handelsbalansen är mycket osäkert och beror på vilka insatsvaror som importeras, vilka varor som produceras och hur mycket av dem som sedan exporteras. Ett tänkbart scenario är att metaller och råvaror importeras och batteripack och elbilar sedan exporteras. Generellt sett brukar värdet av förädlade varor vara högre än på råvaror. Därför är det troligt att exportvärdet skulle överstiga det importerade värdet vid en sådan utveckling. Batterivärdekedjan skulle då på vissa sätt likna raffinaderiindustrin som importerar råvaror och förädlar dem för att sedan exportera sina slutprodukter.

⁹⁵ *Styrmedel för nya biodrivmedel*, ER 2021:22, Energimyndigheten.

Samtidigt som importen av fossila energivaror minskar skulle alltså importen av råvaror för batteriproduktion öka.

Hur handeln påverkas beror dock mycket på vilka delar av batterivärdekedjan som placeras i Sverige. Som nämns i avsnitt 7.2.2 finns förutsättningar i Sverige för andra delar av värdekedjan än bara batteriproduktion. De återvinningsambitioner som finns inom batteriområdet kan också påverka mängden och typ av import. Om till exempel en större batteriåtervinningsanläggning läggs i närheten av Northvolts batterifabrik skulle det även kunna ske en import av uttjänta batterier. Om återvinning i stor skala istället placeras i exempelvis Norge, där Hydrovolt nu har börjat bygga en sådan anläggning, kan importen istället vara återvunna metaller. I högre elektrifieringsscenariot ingår bara Northvolts fabrik i Skellefteå, vilket förenklat kan sägas innebära import av metaller och andra råmaterial och export av batteripack samt elbilar från svensk fordonsindustri. Hur denna värdekedja utvecklas och vilka delar som läggs i Sverige respektive övriga EU/resten världen påverkar både svensk produktion, energianvändning och vilka varor som handlas över gränserna.

Som nämns i avsnitt 4.4 kan en ökad global elektrifiering innebära ökade exportmöjligheter, om svenska företag utvecklar, producerar och säljer sådana varor och tjänster. För företag som inte lyckas utveckla utbudet för att motsvara den nya efterfrågan kan dock en sådan global utveckling innebära sämre möjligheter. Det kan både handla om företag som producerar varor på ett sätt som förändras av elektrifieringen eller företag vars efterfrågan minskar eller förändras på grund av elektrifieringen. Export av dessa, mindre efterfrågade, produkter skulle då kunna minska. Det är även möjligt att import av sådana varor minskar, ifall de producerats utanför Sverige.

Det finns alltså många osäkerheter i hur elektrifiering skulle kunna påverka handelsbalansen. Handelsbalansen omfattar många olika produkter och påverkas av många fler faktorer än utvecklingen av energisystemet. Till 2050 är det troligt att det kommer ske förändringar i samhället, vilka varor och tjänster vi efterfrågar och även förändringar i produktionen av dem som inte är kopplad till elektrifieringen. Konsumtionsmönster och konsumentpreferenser utvecklas och värdekedjor förändras över tid. För närvarande pågår till exempel en diskussion om huruvida värdekedjor kan komma att gå från globala till mer regionala för att öka flexibilitet och minska sårbarheter. Sådana förändringar skulle ske samtidigt som en elektrifiering och kan både påverka och påverkas av den. Det är svårt att idag peka ut vilka branscher och företag som skulle kunna tjäna på en omställning och vilka som förlorar i konkurrenskraft eftersom det bland annat beror på enskilda företags möjligheter att anpassa sig och ställa om och relativa förhållanden mellan företag och länder.

Dessutom är utvecklingen av den svenska handelsbalansen beroende av utvecklingen i andra länder. Många företag är beroende av efterfrågeutvecklingen i andra delar av världen, inte bara Sverige. Hur förutsättningarna för konkurrerande företag utvecklas påverkar svenska företags konkurrenskraft. Om konkurrerande företag möter lägre kostnader än de svenska och därför kan sälja sina varor och tjänster billigare så kan de svenska företagens konkurrenskraft minska och motsatt, om svenska företag möter lägre kostnader kan deras konkurrenskraft stärkas.

5 Analys över försörjningstrygghet

Omställningen till ett mer elektrifierat samhälle kommer både påverka försörjningstrygghet och ställa nya krav på de åtgärder som kan behövas för en god försörjningstryggheten i vardagen, vid kris och inför höjd beredskap. Det är viktigt att identifiera och beskriva de utmaningar som finns kopplat till omställningen så att det framtida energisystemet blir så robust som möjligt.

I det här kapitlet genomförs en analys av försörjningstryggheten med utgångspunkt från utfallet i scenarierna. Några andra aspekter kopplat till försörjningstryggheten analyseras också, med fokus på ett nationellt perspektiv.

Sammanfattning

- Vid en elektrifiering av transportsektorn och industrisektorn minskar Sveriges stora importberoende av fossila bränslen vilket är positivt för försörjningstryggheten.
- Elektrifieringen sker gradvis vilket innebär att övergången från ett bränslebaserat energisystem till ett elektrifierat kommer att vara utmanande ur ett försörjningstrygghetsperspektiv.
- Elektrifieringen av användarsektorerna och en ökad elanvändning av nya sektorer sker samtidigt som en förväntad förändring av elproduktionsmixen från stora synkrogeneratorer till mer variabel elproduktion. Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningar för en trygg energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta.
- Elektrifieringen sammanfaller med en automatisering och digitalisering av energisystemet och en sårbarhet i IT-skyddet riskerar att få stora konsekvenser. IT-säkerhetsfrågor måste vara ett prioriterat område i utvecklingen mot en hållbar elektrifiering.
- En utveckling mot en ökad decentralisering och spridning av elproduktionen minskar effekten från enskilda händelser på systemnivå.
- Nuvarande beredskapslagarsystem bygger på att vi ska hålla ett lager av olja och drivmedel. En elektrifiering av transportsektorn kommer minska användning av flytande drivmedel och få en direkt påverkan på detta beredskapslagarsystem. Utveckling av nya beredskapssystem som matchar det elektrifierade samhällets och de olika användarsektorernas behov måste utvecklas.

5.1 Förutsättningar för en trygg energiförsörjning

Alla funktioner i samhället är idag mer eller mindre beroende av fungerande energiförsörjning, vare sig det handlar om el för belysning eller drift av IT-system, eller drivmedel för transporter eller värme för uppvärmning av lokaler och bostäder. För att energisystemet ska fungera så finns det ett stort beroende av el till bland annat drift

av anläggningar, till pumpar och till andra stödsystem. För att minska sårbarheten i det nuvarande energisystemet är tillgången på el avgörande. Utan fungerande energiförsörjning skulle inte samhället och våra liv fungera så som vi är vana vid. Av den anledningen är det samhällets behov som behöver stå i centrum när dagens och framtidens energisystem utformas.

En grundläggande förutsättning för att energiförsörjningen ska fungera är att energimarknaderna fungerar väl så att samhällets efterfrågan på energi kan tillgodoses. Men det behöver också finnas åtgärder vid krissituationer som kan träda i kraft när marknaden på egen hand inte har förmåga att tillgodose samhällets behov av energi. Exempel på områden som är särskilt viktiga ur försörjningstrygghetssynpunkt är de åtgärder som finns för att förebygga och lindra konsekvenser av uppkomna störningar eller avbrott i energiförsörjningen. Dessa har till syfte att minska de negativa effekterna i samhället som kan uppstå i händelse av allvarliga störningar eller avbrott i energiförsörjningen. Ett annat viktigt område är framtidens totalförsvar och samhällets förmåga att stå emot antagonistiska angrepp, där bland annat tillgången till fungerande energiförsörjning kommer att spela en avgörande roll.

Det svenska elsystemet och dess försörjningstryggheten är även beroende av de nord-europeiska länderna, vilket på olika sätt är reglerat inom EU. Hänsyn måste exempelvis tas till gränsöverskridande resurser för att bedöma om det behöver vidtas åtgärder som ligger utanför elmarknaden. På en alltmer integrerad europeisk marknad är det inte heller säkert att det kommer vara nationsgränser som avgör för vilka regioner försörjningstrygghet ska beräknas för eller hur indelningen i elområden ska göras. Analysen i detta avsnitt är dock i huvudsak fokuserat på de svenska förhållandena.

5.2 Elektrifieringen medför förändrade beroenden

I och med elektrifieringen kommer processer som tidigare varit bränslebaserade att öka sitt elberoende. Till skillnad från system som bygger på bränslen så är elsystemet ett starkt kopplat system där leveransen sker momentant. Fastbränslesystem utgörs däremot av svagt kopplade system som, även om de inte fungerar i varje ögonblick, ändå kan sägas ha full funktionalitet. När allt fler processer i samhället övergår till el som energibärare innebär det naturligtvis att även lager av fasta och flytande bränslen minskar. För att möta denna förändring kommer andra typer av reserv- eller lagersystem behöva byggas upp. Detta för att samhället ska ha förmåga att agera vid en omfattande och långvarig störning i elförsörjningen. Det är viktigt att påpeka att alla system även idag är beroende av el oavsett energibärare. Förmågan att hantera elavbrott på kort sikt kan finnas i lokal reservkraft men det är utmanande för samhället att hantera ett långvarigt bortfall av el.

5.3 Effekterna på olje- och drivmedelsförsörjningen och konsekvenserna för samhället

En stor elektrifiering förväntas ske i transportsektorn, där elektrifieringen av personbilar beräknas öka markant fram till 2050. Effekterna av det kommer att innebära en successiv minskning av behovet av flytande drivmedel i samhället, i synnerhet de fossila på grund av klimat- och förnybarhetsmålen. I ett sådant scenario blir följden att Sveriges oljeimport gradvis kommer att minska, vilket minskar sårbarheten för störningar på den globala oljemarknaden.

Scenarioanalysen visar att vid den högre elektrifieringen minskar importen av fossila bränslen markant i jämförelse med den lägre elektrifieringen (59 TWh jämfört med 32 TWh).⁹⁶ Sverige har ingen egen oljeproduktion och är således helt beroende av omvärlden för att tillgodose dessa behov. Importen av olja har under 2000-talet framförallt kommit från Ryssland, men senaste åren har importen från Norge ökat kraftigt och 2019 importerades runt 40 procent av råoljan från Norge och runt 25 procent från Ryssland. Vidare importerades en betydande del från Nigeria och Venezuela.⁹⁷ Olja handlas på en global marknad, men några få länder, som Ryssland och Saudiarabien, och oljekartellen OPEC har stor påverkan på prissättningen och utbudet på marknaden, vilket är en av orsakerna till oljans volatila pris. En minskad oljeimport skulle således minska prisrisken, men också minska sårbarheten vid långvariga störningar i importen.

Även biobränslen importeras i hög grad idag. I scenariot för lägre elektrifiering bedöms användningen av biobränslen minska marginellt fram till 2050 och i scenariot för högre elektrifiering ligger det kvar på en liknande nivå som idag. Till skillnad från fossila bränslen och drivmedel finns möjligheter för aktörer i Sverige att producera biobränslen av inhemska råvaror. En högre andel biobränsle och biodrivmedel som produceras av inhemska råvaror kan med tiden minska den sårbarhet som finns kopplad till importbehovet. Energimyndigheten föreslår i sin rapport *Styrmedel för nya biodrivmedel*⁹⁸ styrmedel för att öka produktionen av avancerade biodrivmedel där produktion sker med hjälp av lignocellulosa, där svenska råvaror skulle kunna användas.

5.4 Geografisk spridning av elproduktion och samlokalisering med stora energianvändare kan minska sårbarheten

I både scenariot för lägre och högre elektrifiering ökar andelen vind- och solkraft kraftigt i jämförelse med idag. Även om trenden går mot större vindkraftparker kommer det innebära att elproduktionen blir betydligt mer geografiskt spridd. En mer decentraliserad och geografiskt spridd kraftproduktion kan minska effekten av enskilda händelser på systemnivå.⁹⁹ En kraftproduktion i samlokalisering med användarna minskar behovet av transmission och bidrar i sig till en riskminskning. Teknik och kostnad kommer avgöra hur mixen av kraftproduktion, användarprofil, flexibilitet och lager kommer att möta balanseringsbehovet i elnätens samtliga nivåer. I scenariot för högre elektrifiering med aktiva användare antas lager av vätgas och efterfrågeflexibilitet användas i stor skala, vilket bidrar till ökad robusthet.

5.5 Möjligheter till ödrift i större utsträckning

Ett elsystem med mer geografiskt utspridd elproduktion kan öppna upp för större möjligheter till ödrift, som innebär att elproduktionsanläggningar kan drivas tillsammans med elanvändare i ett geografiskt avgränsat elnät utan koppling till det omkringliggande nätet.¹⁰⁰ Ödrift skulle, med rätt tekniska förutsättningar, kunna användas i krissituationer vid omfattande störningar och nätsammanbrott, som exempelvis kan uppkomma genom

⁹⁶ Här avses den totala energibalansen och inte enbart insatt bränsle till elproduktion.

⁹⁷ *Drivmedel 2019*, ER 2020:26, Energimyndigheten.

⁹⁸ *Styrmedel för nya biodrivmedel*, ER 2021:22, Energimyndigheten.

⁹⁹ *Litteraturstudie om framtidens elförsörjning och elberedskap*, FOI-R--4565—SE, januari 2018.

¹⁰⁰ Broschyr: *Ödrift – För att säkerställa elförsörjning i krissituationer*, Svenska kraftnät 2021

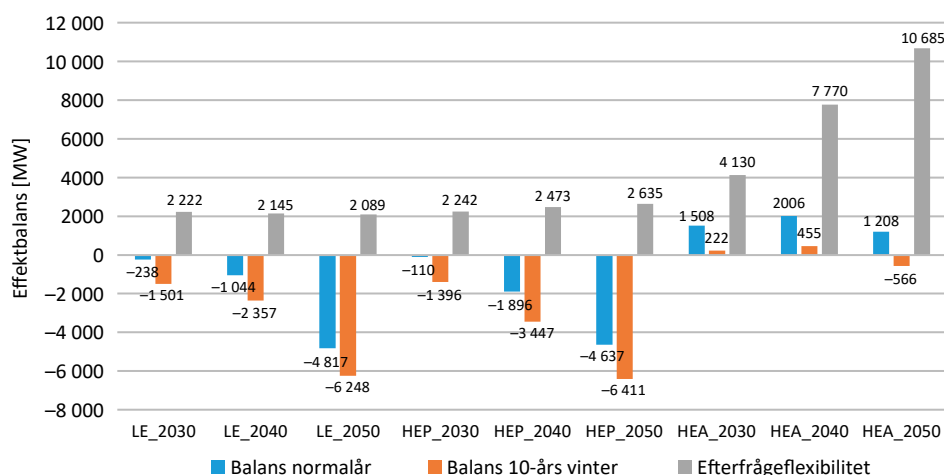
extrema väderhändelser eller sabotage. Detta skulle göra samhället som helhet mindre sårbart mot störningar i elförsörjningen, eftersom det minskar risken för att elförsörjningen i hela samhället slås ut på en och samma gång. Men även sådana mindre fristående elnätssystem kommer vara beroende av stabil elproduktion och därmed beroende av olika systemtjänster för att fungera, som exempelvis batterilagring, vätgaslagring och efterfrågeflexibilitet. För att marknaden på egen hand ska investera i sådana systemtjänster, som kan höja robustheten i elsystemet och därmed minska sårbarheten i samhället, kommer det vara viktigt att det finns tillräckligt starka ekonomiska incitament.

5.6 Behovet av IT-skydd kommer att vara stort

Dagens och det framtida elsystemet är och kommer att vara beroende av digitala lösningar och automatisering för att fungera. Automatiserade lösningar genom digitalisering och artificiell intelligens ger upphov till effektiviseringar samt är en möjliggörare för nya stödtjänster. Dessa kan bland annat förenkla och möjliggöra integrationen av decentraliserad variabel elproduktion som vind- och solkraft men också efterfrågeflexibilitet. Detta genom att förbättra styrningen av elanvändning och elproduktion genom så kallade smarta elnät. Väldesignade IT-skydd och ett kontinuerligt förbättringsarbete inom området är en förutsättning för att minska sårbarheten i samhället. Vi ser redan idag att antagoniska angrepp från andra länder eller grupper påverkar elförsörjningen i olika länder. Staten har en roll att fortsätta att ställa krav, utöva tillsyn och genomföra kunskaps- och insatser genom att bland annat förmedla hotbilder så att säkerhetsskyddet kontinuerligt stärks hos aktörerna.

5.7 Effekterna av en försämrad effektbalans kan mildras av god prisbildning, utlandsförbindelser och flexibla elanvändare

Utvecklingen av effektbalansen säger något om hur robust det svenska elsystemet är. Hur den statistiska effektbalansen utvecklas i de olika scenarierna kan ses i Figur 5. Mer information kring analysen finns att läsa i kapitel 9.



Figur 5. Utvecklingen av effektbalansen uppdelat på normal-10-års vinter samt efterfrågeflexibilitet, tillgänglig effekt, MW.

Källa: Antaganden i TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

Förklaring: LE-Lägre elektrifiering, HEP- Högre elektrifiering med passiva användare, HEA-Högre elektrifiering med aktiva användare.

Utifrån de antaganden som har gjorts gällande den framtida installerade kapaciteten, efterfrågan samt investeringar kan det konstateras att den statiska effektbalansen försvagas över tid för alla scenarier jämfört med nuläget. I de två scenarierna med passiva elanvändare (Lägre elektrifiering och Högre elektrifiering med passiva användare) så kommer effektbalansen att minska och till och med vara negativ. Elsystemet är mindre robust i topplasttimmen och är då beroende av import av el från andra länder. I scenariot med aktiva elanvändare och en större antagen efterfrågeflexibilitet kommer däremot effektbalansen att stärkas i relation till de andra scenarierna. Detta innebär att beroendet av andra länder minskar under timmar då effektbalansen är svag. Samtidigt är det viktigt för försörjningstryggheten med ett välintegrerat nordiskt och europeiskt elsystem för att kunna motverka störningar som uppstår och för att det leder till en effektivare prissättning.

I scenarioanalysen kan det konstateras att antalet knapphetspriser¹⁰¹ ökar över tid men endast i SE3 och SE4, vilket är en konsekvens av att effektbalansen i de södra elområdena blir relativt svag. Läs mer om knapphetspriser i avsnitt 9.2.4. Den största ökningen av knapphetspriser sker i Högre elektrifiering med passiva användare. I scenariot med aktiva användare minskar antal knapphetspriser vilket indikerar att ökad efterfrågeflexibilitet kan bidra till att minska bristen på el och öka försörjningstryggheten. I de norra delarna av Sverige inträffar inga knapphetspriser oavsett scenario.

I både scenariot för högre och lägre elektrifiering ökar sammankopplingen av elnätet mellan Sverige och övriga Europa. Detta leder till ett ökat handelsutbyte och såväl import som export ökar. En ökad handel mellan länder bidrar till att minska risken för elenergiöverskott över året. Sveriges nettoexport av el ökar kraftigt över scenarioåren och ligger på 2040-talet på runt 40 TWh i scenariot för lägre elektrifiering (toppår 2045 med 46 TWh) och i högre elektrifiering (toppår 2040 med 53 TWh). Detta kan jämföras med nettoexporten 2018 om 17 TWh.

En större sammankoppling med övriga Norden och Europa främjar en ökad robusthet då det reducerar konsekvenserna av störningar i det egna elsystemet, dvs. minskar riskerna för effektbrist. Samtidigt innebär sammankopplingen att vi får en ökad påverkan av situationen och utvecklingen i vår omvärld. Möjligheten till handel över gränserna är redan idag en förutsättning för ett välfungerande elsystem i Norden och kommer fortsätta att vara så i framtiden.

5.8 Leveranssäkerheten påverkas

Systemstabiliteten i elnätet påverkas av flera faktorer, där förändringar i frekvensstabilitet (rotationsenergi) och spänningsstabilitet (reaktiv effekt) är två av de viktigaste. Läs mer om analyserna i kapitel 9.

Rotationsenergi

Utifrån de modelleringar som har gjorts i denna studie kan en mycket grov beräkning göras om förändringar i tillgänglig rotationsenergi i scenarierna. Den tillgängliga rotationsenergin är en indikator på hur systemet kan motstå störningar som påverkar frekvensen. En lägre rotationsenergi innebär att en given störning inom elproduktionen får större konsekvenser på frekvensen då det finns mindre rotationsenergi som kan motverka frekvensändringen.

¹⁰¹ Med knapphetspriser avses att utbud och efterfrågan inte möts d.v.s. det råder brist på el.

Sammantaget ökar spannet mellan den högsta och lägsta beräknade rotationsenergin i alla scenarier jämfört ett simulerat normalår 2020. Hur stora de kompensatoriska åtgärder måste vara, och till vilken kostnad, när rotationsenergin sjunker till sina minimumnivåer kan inte besvaras rakt av utifrån de elmarknadssimuleringar som har gjorts. För mer djupgående analyser av rotationsenergin hänvisas till Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalyser.¹⁰²

Vi kan konstatera att det framtida elsystemet kommer att bli svårare att balansera med betydligt större variationer i nettolasten än idag. En sjunkande rotationsenergi kommer också vara utmanande för vår möjlighet att hålla en stabil frekvens i vårt elnät. Detta hänger dock mer samman med vår förändrade elproduktion än med elektrifieringen i sig även om en ökad elanvändning ökar sannolikheten för mer variabel kraft.

Det sker idag en utfasning av olika typer av kondenskraftanläggningar och utbyggnad av variabel kraft över hela världen. Inte minst Tyskland har långtgående planer för att ersätta en stor del av sina kol och kärnkraftsanläggningar till 2040-talet. Tekniker och lärdom av det nya elsystemet kommer alltså att ske globalt och i många fall före Sverige. All kunskap och erfarenhet kring förändringar i elsystemet kommer vara viktiga att tillvarata för att skapa rätt förutsättningar även för det svenska elsystemet.

Rotationsenergi har alltid spelat en mycket viktig roll för att hålla frekvensen i elsystemet. I takt med att vi kopplar in mer och mer anläggningar för både elproduktion och elanvändning som har AC/DC-omriktare så som batterier, vindkraft, solceller samt HVDC-kablar skapas möjlighet med andra typer av mycket snabba frekvenssvar. Digitalisering skapar också möjlighet att redan idag koppla ihop många mindre anläggningar (via aggregatorer) till betydande bidrag. Denna utveckling tillsammans med elsystemets utveckling i övrigt kommer att leda till att vi kommer behöva ett nytt sätt att hålla frekvensen i nätet där beroendet av rotationsenergin inte kommer vara lika stort.

Reaktiv effekt

För att upprätthålla drift- och leveranssäkerheten och kapaciteten i kraftsystemet krävs det en god spänningshållning. Denna regleras genom tillförsel och uttag av reaktiv effekt och påverkas primärt av lokal reaktiv effektproduktion och konsumtion. Då det är mycket svårt att överföra reaktiv effekt över större avstånd är det viktigt att den reaktiva effekten produceras och konsumeras på rätt ställen i nätet för att överföringskapacitet och driftsäkerhet ska kunna garanteras. Spänningen i stamnätet har historiskt sett bland annat reglerats av anslutna synkrongeneratorer, exempelvis kärnkraftverk.

Utifrån scenarierna i denna studie är den installerade kärnkraftskapaciteten i SE3 i de båda högre elektrifieringsscenarierna ungefär densamma 2050 som 2020 medan den installerade effekten mer än halveras i Lägre elektrifiering. Om inga ytterligare åtgärder skulle vidtas kan den lägre reaktiva effekten i det sistnämnda scenariot innebära svårigheter att föra över el från de norra delarna av landet till SE3. Det är viktigt att påpeka att sådana effekter dock inte kan fångas i de elmarknadssimuleringar som har gjorts i denna studie.

¹⁰² *Långsiktig marknadsanalys 2021*, Svk 2019/3305, Svenska kraftnät.

5.9 Beredskapssystem och reservkraft

Sverige har i dag ett beredskapssystem som bygger på att vi vid en krissituation ska kunna använda oss av flytande drivmedel inte bara till transporter utan också för att säkra elförsörjningen till samhällsviktiga tjänster. Vid en elektrifiering av samhället minskar efterfrågan på flytande drivmedel vilket i sin tur också kommer att påverka försörjningen till nuvarande beredskapssystemet. Hela infrastrukturen och distributionen av flytande bränslen kommer att påverkas i takt med att marknaden för flytande drivmedel krymper. Det kommer att vara en utmaning i transformationen från det nuvarande energisystemet till framtida energisystem. I ett mer elektrifierat samhälle kommer Sverige behöva bygga upp en ny typ av beredskapssystem vilket behöver ta hänsyn till olika aspekter. I takt med teknikutvecklingen kommer vi sannolikt att få se en ökning av batterilagring och bränsleceller som alternativ till dagens traditionella reservkraft. Till detta ska också läggas vad den ökade elektrifieringen skulle kunna innebära för totalförsvarets behov av energi.

För att klara elavbrott kan samhällsviktiga funktioner ha egna möjligheter till produktion av el genom reservkraftanläggningar. Dessa reservkraftsanläggningar använder sig idag framförallt av flytande fossila bränslen som energibärare. I takt med elektrifieringen kommer kostnaden öka och tillgången på flytande bränsle samt infrastrukturen för distribution av flytande bränslen att minska. Sverige kommer under en period ha en situation med ökande behov av el till följd av den ökade elektrifieringen och en minskad efterfrågan på flytande drivmedel. Då efterfrågan minskar kommer också distribution och lager för dom flytande drivmedlen förmodligen att läggas ned. I transformationen från dagens system till ett framtida kommer det finnas utmaningar att tillgodose båda systemen med respektive energibärare. Utvecklingen kommer också påverka den samhällsviktiga verksamhet som idag driver sin reservkraft med flytande bränsle. Det betyder att vi dels kommer att behöva hantera och säkra transformationsperioden, dels möta de krav på reservkraft som ett framtida elektrifierat samhället kommer att ställa.

6 Övergripande resultat och fokusområden

I det här arbetet har effekterna och konsekvenserna av en ökad elektrifiering undersökts med fokus på de energipolitiska målen och de svenska miljömålen. I det här kapitlet diskuteras de övergripande konsekvenserna samt förslag på fokusområden som det behöver arbetas vidare inom för att uppnå en mer hållbar elektrifiering.

6.1 Elektrifieringen möjliggör klimatomställningen, ökad konkurrenskraft och kan stärka försörjningstryggheten

Elektrifieringen är viktig för klimatomställningen

Elektrifieringen av framförallt transport- och industrisektorn är en förutsättning för att Sverige ska nå sina klimatmål och en möjliggörare för att nå miljö kvalitetsmålen. Detta då elektrifieringen kraftigt kan minska användningen av fossila bränslen inom dessa sektorer. En förutsättning för att elektrifieringen ska bidra till klimatomställningen är att den el som används för att ersätta de fossila bränslena är fossilfri. En storskalig elektrifiering av samhället kan förutom att kraftigt reducera utsläppen av växthusgaser även bidra till att minska andra utsläpp, som luftföroreningar relaterade till förbränningen av fossila bränslen. Utsläpp av luftföroreningar orsakar miljö- och hälsoproblem och problemen är som störst i stadsmiljöer.

En övergång från fossila bränslen till el som energibärare kan även innebära en energi-effektivisering, vilket främst sker inom transportsektorn. Detta ger en potential för en minskad total energianvändning men samtidigt kan det finns risk för rekyleffekter. Dessa kan uppstå vid en ökad användning av fordonet på grund av att eldrift är billigare än bränsledrift. Utöver effekter inom Sverige kan en minskad användning av fossila bränslen även medföra positiva miljöeffekter i de länder där de fossila bränslena utvinns idag. Ett effektivt energi- och resursutnyttjande utgör även en potential för minskad miljöbelastning då behovet av utbyggnad av ny elproduktion och elnät kan minska. Här bidrar också ökad flexibilitet i användarledet, genom att använda el på ett smart sätt skapas nytta i elsystemet.

Elektrifieringen som en konkurrensfördel

Att minska växthusgasutsläppen och motverka klimatförändringarna är en stark global trend som skapar nya möjligheter och utmaningar för industrier och företag. Förändringarna kan innebära möjligheter för både existerande företag som kan anpassa sig eller där efterfrågan på deras produkter ökar, och även nyetablering av verksamheter. Effekterna av elektrifieringen, och hur mycket av möjligheterna som svenska företag kan dra nytta av, beror till exempel på hur mycket av de olika värdekedjor som etableras i Sverige och vilka förutsättningar företag har att dra nytta av de möjligheter som öppnas. Flera svenska industrier och företag ligger i framkant när det gäller att utveckla fossilfria material och produkter och det finns här goda möjligheter att ha stora delar av värdekedjorna inom landet. Elektrifieringssatsningarna inom näringslivet pekar också på att de ser elektrifieringen som nödvändig för en bibehållen konkurrenskraft och att det finns goda förutsättningar för detta i Sverige.

Det relativa elpriset mellan Sverige och andra länder blir i och med elektrifieringen en allt viktigare faktor för konkurrenskraften. I Sverige finns det goda förutsättningar för ett konkurrenskraftigt elpris och i genomförda analyser förbättras relativpriset mot till exempel Tyskland. Genom att möjliggöra för en stor användning av efterfrågeflexibilitet kan detta relativpris stärkas ytterligare. Särskilt konkurrenskraftigt blir elpriset i de norra elområdena, vilket troligen är en av anledningarna till de stora industrisatsningarna i norra Sverige (till exempel batteriföretaget Northvolt och den nya stålproducenten H2 Green Steel).

En annan konkurrensfördel Sverige har är elmixen som i stor del baseras på fossilfri elproduktion från förnybara energikällor och kärnkraft. Detta är framförallt en konkurrensfaktor på medellång sikt, innan övriga världen också har ställt om till en mer koldioxidsnål elproduktion.

Mindre import av fossila bränslen och ökad decentralisering av elproduktionen kan stärka försörjningstryggheten

Vid en elektrifiering av transportsektorn och industrisektorn minskar Sveriges importberoende av fossila bränslen vilket är positivt för försörjningstryggheten. Sverige är i nuläget helt beroende av oljeimport för att tillgodose nuvarande behov, där en minskad oljeimport i framtiden dels minskar prisrisken och minskar sårbarheten vid störningar i importen.

En utveckling mot en ökad decentralisering och spridning av elproduktionen kommer kunna minska effekten från enskilda händelser på systemnivå och stärka försörjningstryggheten. Ett elsystem med mer geografiskt utspridd elproduktion kan öppna upp för större möjligheter till ödrift, som innebär att elproduktionsanläggningar kan drivas tillsammans med elanvändare i ett geografiskt avgränsat elnät utan koppling till det omkringliggande nätet. Ödrift skulle kunna användas i krissituationer vid omfattande störningar och nätsammanbrott, som exempelvis kan uppkomma genom extrema väderhändelser eller sabotage. Detta skulle göra samhället som helhet mindre sårbart mot störningar i elförsörjningen, eftersom det minskar risken för att elförsörjningen i hela samhället slås ut på en och samma gång.

6.2 Utmaningar för en hållbar elektrifiering

Elektrifieringens påverkan på energi- och resursanvändning

Skiftet från användningen av fossila bränslen till el kan medföra att energianvändningen minskar men inom industrisektorn är trenden motsatt. Där innebär en elektrifiering av tillverkningsprocesserna och en ökad användning av vätgas inom industrin att energianvändningen istället ökar i sektorn. En övergång till energieffektivare elfordon innebär samtidigt en risk för att rekyleffekter av ett ökat trafikarbete uppstår, på grund av att eldrift är billigare än bränsledrift.

Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av metaller och mineraler
Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av olika metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller, vindturbiner och elektrolysörer. Råvarubehoven kommer förändras över tid i takt med en ökad elektrifiering både i Sverige och globalt. Utvinning och anrikning av de material som krävs för elektrifieringen ger upphov till en stor miljöbelastning vid anläggning av gruvor då de kan påverka

både naturmiljöer och människors levnadsförhållanden negativt samt utgör en risk för utsläpp av miljöstörande ämnen till mark och vatten. Problemen kan vara särskilt stora i länder som saknar adekvat miljölagstiftning eller där regelefterlevnaden är låg.

Anspråken på mark kan komma att öka med en ökad elektrifiering

En ökad elektrifiering förväntas öka markanspråken för en rad olika användningsområden som utbyggnad av ny elproduktion, elnät eller etableringar av nya industrianläggningar inklusive gruvor och transportinfrastruktur. En utbyggnad av den infrastruktur som kommer att krävas för att få till stånd en elektrifiering av samhället kan ha en negativ påverkan på naturmiljöer, människors levnadsmiljö och landskapsbilden samt kan skapa barriärer som kan påverka den biologiska mångfalden. Hur mycket och vilken typ av elproduktion och elnät som kommer att krävas för att möta det ökade behovet av el är faktorer som kommer att påverka det totala behovet av mark. Den geografiska placeringen av ny infrastruktur är en annan faktor som påverkar miljöbelastningen, vilket betonar vikten av välgrundade planeringsunderlag och miljökonsekvensbeskrivningar inför nya etableringar.

Företagen behöver utvecklas för att behålla sin konkurrenskraft

För vissa företag kan en ökad elektrifiering innebära problem och minskad lönsamhet. Samtidigt kan omställningen innebära möjligheter för nya företag och företag som kan ställa om till de nya förutsättningarna. Det omvandlingstryck som till exempel klimatomställningen skapar på företagen är i sig inte negativt. Men för att kunna dra nytta av de möjligheter som utvecklingen skapar och stärka konkurrenskraften så behöver befintliga företag kunna utvecklas och nya företag skapas, tillgång till teknik- och kompetensutveckling finnas osv. Att underlätta strukturomvandlingen är därför en viktig del i arbetet med att stärka företagens förutsättningar att hantera omställningen.

Det ökande elpriset i scenariorisultaten kan påverka konkurrenskraften negativt. Men samtidigt förbättras relativpriset vilket förbättrar konkurrenskraften. Hur konkurrenskraften påverkas beror inte bara på elpriset utan även på andra omständigheter så som till exempel företagets totala kostnader och kostnaderna relativt konkurrenterna. Då elen blir en allt viktigare insatsvara genom en ökad elektrifiering kommer det ökande elpriset spela en allt större roll för konkurrenskraften. Även tillgång på el och leveranssäkerhet blir också allt viktigare för konkurrenskraften och viktiga aspekter att ta hänsyn till då företag ska ta investeringsbeslut.

Försörjningstryggheten behöver utvecklas i takt med en ökad elektrifiering

Elektrifieringen av användarsektorerna och en ökad elanvändningen i nya sektorer kommer att ske samtidigt som elproduktionen genomgår en större omvandling. Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningar för en trygg energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta.

Elektrifieringen sker gradvis vilket innebär att övergången från ett bränslebaserat energisystem till ett elektrifierat kommer att vara utmanande ur ett försörjnings-trygghetsperspektiv. En utmaning är att utveckla nya beredskapssystem som matchar det elektrifierades samhällets behov. Nuvarande beredskapslagersystem bygger på att vi ska hålla ett lager av olja och drivmedel. En elektrifiering av transportsektorn kommer minska användning av flytande drivmedel och få en direkt påverkan på detta beredskapslagersystem.

Elektrifieringen sammanfaller med en automatisering och digitalisering av energisystemet och en sårbarhet i IT-skyddet riskerar att få stora konsekvenser. IT-säkerhetsfrågor måste vara ett prioriterat område i utvecklingen mot en hållbar elektrifiering.

6.3 Förslag till fokusområden

Utifrån bedömningarna av utmaningarna av ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet har åtta fokusområden identifierats. Fokusområdena är områden där det finns behov av fortsatt arbete för att kunna uppnå en mer hållbar elektrifiering. De tre översta områdena är centrala för att skapa förutsättningar för och att minska utmaningarna för de fem övriga områdena.

Fokusområden för en mer hållbar elektrifiering

- **Välfungerande marknader och incitament**
- **Miljövärdering i ett systemperspektiv**
- **Markanvändning och samexistens**
- Efterfrågefleksibilitet
- Resurs- och energieffektivitet
- Tillgång till teknik, kompetens och kapital
- Råvaruförsörjning
- Trygg energiförsörjning

Välfungerande marknader och incitament

I ett elsystem som i huvudsak ska utvecklas på marknadsmässiga grunder är en välfungerande marknad grunden för ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Då elmarknaden är avreglerad sen 25 år tillbaka innebär det att marknaden exempelvis ska avgöra vilken framtida elproduktionsmix som är den mest lämpade. Detta är inte enbart en nationell fråga utan Sveriges elsystem är tätt sammankopplat med Norden och Europa, vilket gör att utvecklingen i Sverige också påverkas av övriga Europa. I ett hållbart energisystem bör alla positiva och negativa effekter internaliseras i prissättningen eller i regelverk. Kan detta göras på en välfungerande marknad med långsiktiga spelregler och prissignaler som når fram till aktörer skapas starka incitament för att nå de energipolitiska målen.

Kommande decennier förväntas stora förändringar ske när det gäller såväl elproduktion som elanvändning. Det rör sig om relativt snabba och stora förändringar, i stora och komplicerade system, vilket kommer ställa nya krav på elmarknaden och dess funktion. Hela samhället är redan idag beroende av elsystemets leveranssäkerhet, vilket är ett beroende som kommer att öka med en fortsatt elektrifiering. För att industrin ska ha möjlighet att ställa om till fossilfri produktion krävs ett leveranssäkert elsystem. Vidare är ett konkurrenskraftigt elpris grundläggande för näringslivet. Den ökade utbyggnaden av elproduktion och elnät kan komma att leda till lokal miljöpåverkan. På en välfungerande marknad bör även miljöpåverkan prissättas, alternativt regleras, för att miljöåtgärder ska kunna konkurrera på marknaden och bidra till minskad miljöbelastning. En välfungerande marknad leder också till att efterfrågefleksibilitet aktiveras om det finns behov av den samt leder även till incitament för mer långsiktiga effektiviseringsåtgärder.

Det pågår även en hel del arbete för att utveckla elmarknaden. Exempel på arbete som görs är bland annat att Svenska kraftnät utvecklar nya marknader för stödtjänster för att bidra med nytta till elnätet och bidrar också till att öppna upp befintliga marknader för frekvensreglering för nya aktörer. Det pågår även arbete gällande elmarknadsreglering där regelpaketet som kommer med införandet av nya elmarknadsdirektivet¹⁰³, som är en del av EU-lagstiftningen Ren energi för alla, är viktiga åtgärder för att skapa förutsättningar för en fungerande framtida elmarknad. Ett exempel här är Energi-marknadsinspektionens arbete med att definiera tekniskt och ekonomiskt ansvar som aggregatorer behöver för att agera på den svenska elmarknaden.¹⁰⁴ Andra frågor rör elnätsföretagens möjlighet att kunna räkna icke traditionella nätinvesteringar till sin intäktsram samt att begränsa möjligheten för elnätsföretag att återropa kapacitetsbrist i elnäten vid anslutning av nya elanvändare. Detta kommer bli viktiga incitament för elnätsföretag att investera i flexibilitetstjänster som kan bidra med liknande nytta som traditionell nätutbyggnad för att möjliggöra anslutning. En effektiv och harmoniserad implementering av Ren energipaketet, speciellt över gränserna för den nordiska elmarknaden, kommer vara viktigt för att underlätta samarbete med våra grannländer.

Det finns även andra aspekter som påverkar lokalisering och när i tid utbyggnaden kan ske. Detta gäller till exempel tillståndsprocessen för framförallt elnät och ny elproduktion. Detta är i stor utsträckning en fråga om markanvändning och samexistens och beskrivs mer i detalj under det fokusområdet nedan.

Elektrifieringen innebär en stor strukturell samhällsomställning där flera sektorer förändras i grunden och där elsystemets elanvändning och produktion kan fördubblas fram mot 2050. En sådan förändring i det tidsperspektivet är förenade med stora osäkerheter. Detta gör att en kontinuerlig översikt av marknadsstrukturen och incitament kommer att behöva ske för att elmarknaden ska utvecklas så effektivt som möjligt.

Miljövärdering i ett systemperspektiv

I denna analys har kvalitativa bedömningar utförts i syfte att fånga upp de miljöeffekter som en ökad elektrifiering kan komma att medföra. För att kunna genomföra mer kvantifierade bedömningar finns det dels ett behov av förbättrade kunskapsunderlag men framförallt en utveckling av metoden. Det behövs underlag om enskilda åtgärders miljöpåverkan, exempelvis i form av livscykelanalyser, för att bedöma enskilda elektrifieringsåtgärder men framförallt ur ett systemperspektiv. Det behövs även en förståelse för vilka förändringar som kan ske i energisystemet, och inom samhället som helhet, till följd av åtgärder som vidtas och vilka miljöeffekter de kan medföra.

Det är viktigt att de bedömningar som används fångar upp miljöeffekter och andra förhållanden som är relevanta ur ett svenskt perspektiv. Teknikutveckling gör att siffror snabbt blir daterade, vilket ställer krav på att underlagen som används för bedömningar är väl uppdaterade. För att kunna genomföra en systemövergripande analys av elektrifieringens miljöeffekter bör metoden för att kunna skala upp miljöeffekterna på ett relevant sätt utvecklas. I många livscykelanalyser uttrycks miljöpåverkan per producerad kWh och det är inte säkert att det direkt går att skala upp till påverkan per TWh. I en

¹⁰³ 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.

¹⁰⁴ *Oberoende aggregatorer: Förslag till nya regler för att genomföra elmarknadsdirektivet*, Ei R2021:03, Energimarknadsinspektionen.

miljövärdering av elektrifieringen ur ett systemperspektiv är det även viktigt att kunna väga in olika elektrifieringsåtgärders övergripande systemnytta.

Markanvändning och samexistens

En ökad elektrifiering kommer öka anspråken på mark för en rad olika användningsområden som utbyggnad av ny elproduktion, elnät eller etableringar av nya industri- anläggningar inklusive gruvor och transportinfrastruktur. Användningen av fossilbaserad energi från andra länder kommer minska samtidigt som den fossilfria elproduktionen ökar och förflyttas till Sverige. Förnybar elproduktion är generellt mer geografiskt utspridd än fossil elproduktion och med sin mer variabla produktion kräver den mer markanspråk. Dessa anspråk utgör konkreta planeringsbehov som måste omhändertas för att skapa förutsättningar för en hållbar elektrifiering. I Miljömålsrådets programområde Ramverk för nationell planering utarbetas ett arbetssätt som kan bli aktuellt för att omhänderta dessa frågor.

För att minimera de negativa miljökonsekvenserna och öka acceptansen av ett ökat markanspråk behöver planerings- och tillståndprocesserna i Sverige vara fortsatt i fokus. Samtidigt behöver fler sätt att effektivisera tillståndprocesserna identifieras utan att göra avkall på miljökraven. Detta för att möjliggöra en snabb och hållbar elektrifiering. Effektiva och förutsägbara processer är viktiga för både konkurrenskraft och för näringslivets möjligheter till omställning. Kompensationsåtgärder kan även vara en väg framåt för att minimera negativa miljökonsekvenser och öka acceptansen. Kompensationsåtgärder för att väga upp negativa konsekvenser vid exploatering kan till exempel ske genom skötselåtgärder, restaurering av skadade miljöer, skapande av nya livsmiljöer eller genom att långsiktigt skydda naturområden som tidigare saknat skydd.

I samband med den utvärdering som kommer att genomföras av den nationella vindkraftsstrategin¹⁰⁵ bör man även utvärdera hur strategin förhåller sig till de kommande behoven av el i samband med en ökad elektrifiering. På samma sätt kan även de planeringsunderlag som tas fram i samband med havsplaneringen¹⁰⁶ ses över. Båda dessa planeringsunderlag är goda exempel på hur målkonflikter kan hanteras i planeringsprocessen genom att identifiera både svårigheter men framförallt möjligheter till samexistens.

Det finns även en möjlighet till samordning mellan utbyggnad av elnät och utbyggnad av elproduktion i nätföretagens nätutvecklingsplaner. Enligt Energimarknadsinspektionens lagförslag som lämnats in till regeringen i februari 2020¹⁰⁷, ska alla nätägare ta fram och publicera nätutvecklingsplaner som anger planerade investeringarna för de kommande fem till tio åren. Framtagandet av nätutvecklingsplaner kommer att ge kommuner, regioner och stat liksom andra aktörer möjligheter att delta proaktivt i planeringsprocessen.

Efterfrågeflexibilitet

I och med den ökade elektrifieringen av samhället finns det ett stort behov av flexibilitet, och en källa till resurseffektiv flexibilitet är att utnyttja potentialen för flexibel elanvändning. Sverige har en välfungerande elmarknad som avspeglar utbud och efterfrågan

¹⁰⁵ *Nationell strategi för en hållbar vindkraft*, ER 2021:02, Energimyndigheten.

¹⁰⁶ *Havsplanering*, Havsplanering – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se) (hämtad 2021-09-01).

¹⁰⁷ *Ren energi inom EU – Ett genomförande av fem rättsakter*, Ei R2020:02, Energimarknadsinspektionen.

av el. Det finns däremot inte idag prissignaler som i tillräcklig utsträckning reflekterar kapacitetsbehoven lokalt och regionalt. Efterfrågeflexibilitet lyfts som ett eget fokusområde då analyserna visar att det finns stora vinster om delar av den tekniska potentialen av efterfrågeflexibilitet kan realiseras. En ökad flexibilitet i elsystemet kan stärka effektbalanser och minska andelen timmar med knapphetspriser, vilket indikerar att försörjningstryggheten kan stärkas. Att vara en flexibel elanvändare kan även bidra till att stärka svensk konkurrenskraft samtidigt som det är lönsamt för det enskilda företaget.

Behovet av flexibilitet ökar i hela Europa och globalt, i takt med att produktion från variabla energikällor ökar och elsystemen växer i omfång. Utnyttjande av flexibilitet kan bidra till att elnät används mer effektivt och minska utbyggnadsbehovet som skulle krävas om nätet fortsättningsvis dimensioneras efter topplasten. Detta kan spela en viktig roll för att möjliggöra en minskad miljöbelastning från det framtida elsystemet när det gäller utbyggnad av elnätet. Lokala och regionala utmaningar med tillräcklig kapacitet i elnäten under topplasttimmar ser vi redan nu i elsystemet vilket kan komma att förstärkas vid en ökad elanvändning. För att motverka lokal kapacitetsbrist i stora städer eller i anslutning till stora elproducenter och användare behöver nätet förstärkas och användas mer effektivt. Även transmissionsnätet lider av begränsningar i överföringskapacitet, och enbart flexibilitetsåtgärder kan inte lösa problemet men det kan däremot komplettera förstärkningarna i transmissionsnät för att systemen ska bli kostnads-effektiva.

Idag genomförs flera försök att skapa lokala och regionala flexibilitetsmarknader för att testa hur avrop av flexibilitet ska kunna fungera som alternativ till utbyggnad av nät och hur denna flexibilitet ska prissättas. Det är viktiga initiativ eftersom traditionell nätutbyggnad och nätförstärkning ofta tar många år att genomföra. Användningen av flexibilitet för att ersätta och/eller komplettera den mer traditionella nätutbyggnaden leder sannolikt till ett effektivt utnyttjande av nätet. Detta i sin tur kan möjliggöra nyanslutningar och utökning av befintliga abonnemang. Exempel på flexibilitetsmarknader som finns redan idag är CoordiNet-projektet som har fyra pilotmarknader i olika nät med utmaningar¹⁰⁸, samt sthlmflex¹⁰⁹ som fokuserar på Stockholmsområdet.

I en del lokalnät där det inte finns resurser eller underlag för att etablera en flexibilitetsmarknad kan upphandling av flexibilitetsresurser vara ett alternativ. Det finns lokala initiativ där nätägare undersöker möjligheten att upphandla flexibilitetsresurser för att möjliggöra ett mer effektivt utnyttjande av befintlig kapacitet och få en ökad tillgång till effekt. Utvecklingen av platser där flexibilitetsresurser kan köpas och säljas är avgörande för att efterfrågeflexibiliteten ska kunna bidra på ett effektivt sätt.

En hög grad av automatisering, digitalisering och artificiell intelligens bidrar sannolikt till att frigöra flexibiliteten ytterligare. Det krävs ändamålsenliga verktyg och kunskap för att flexibiliteten ska erbjudas, sådana incitament kan vara till exempel produktkataloger¹¹⁰, dynamiska nättariffer, flexibilitetsmarknader, eller att fler elanvändare optimerar sin användning efter tim- och kvartsbasis (väntas införas 1 april 2023¹¹¹).

¹⁰⁸ Gotland, Skåne, Uppsala, Västernorrland.

¹⁰⁹ *Sthlmflex*, sthlmflex | Svenska kraftnät (svk.se) (hämtad 2021-10-04).

¹¹⁰ En lista som specificerats av nätägaren där behov av specifika flexibilitetsresurser framgår

¹¹¹ Förslag till ändring i förordning (1999:716) om mätning, beräkning och rapportering av överförd el.

Tillgång till teknik, kompetens och kapital

Klimatomställningen och en stark elektrifiering innebär omvälvande förändringar, till exempel för företag som kraftigt behöver ställa om sina produktionsprocesser eller produkter och för nya branscher som byggs upp. För att omställningen ska kunna ske måste ny teknik utvecklas och implementeras, både utveckling av befintlig teknik och sådan teknik som skiljer sig mycket från den som används idag. Nya produktionssystem kräver också ny utrustning vilket innebär att teknik för och produktion av sådan utrustning, till exempel elektrolysörer, måste skalas upp snabbt. Brist på nödvändig ny teknik och utrustning kan bromsa elektrifieringen. För att elektrifieringen ska ske snabbt och för att undvika onödigt höga kostnader behöver utvecklingen ske på ett sätt så att investeringar med mera går hand i hand. Tidsperspektivet kan vara viktigt, särskilt eftersom det i många fall handlar om stora investeringar som sker mycket sällan. Teknik behöver finnas när investeringar sker, samtidigt behöver till exempel utrustningsproducenter känna sig trygga i att det finns en efterfrågan för att kunna öka sin produktion kraftigt. Vissa teknikleverantörer finns utanför Sverige, material och utrustning importeras osv, vilket är ytterligare en dimension av frågan kring ny teknik och utrustning.

Satsningar på ny teknik är riskabla. Genom att stödja forskning, utveckling och innovation samt pilot- och demonstrationsanläggningar kan staten minska riskerna vid dessa satsningar och bidra till att tekniker utvecklas och skalas upp, vilket görs inom till exempel Industriklivet.¹¹² Forskning, utveckling och innovation kommer också vara viktigt för elsystemet i allt från elproduktion och elnät till flexibel elanvändning och användarektoresernas behov för att möjliggöra för en fortsatt hög försörjningstrygghet. Samarbeten inom näringslivet bidrar också till en ökad riskspridning. Idag har till exempel flera fordonstillverkare tecknat långsiktiga avtal om att köpa fossilfritt stål.

Investeringar som är viktiga för företags framtida lönsamhet är också viktiga för konkurrenskraften. Det händer en hel del på kapitalmarknaden idag och både privata och offentliga aktörer satsar alltmer på hållbarhet. I den här utredningen har vi inte utrett huruvida kapitalförsörjningen är ett problem för investeringar idag, och i så fall hur stort problemet är och ifall den pågående utvecklingen kan väntas lösa det. Men det är en viktig fråga för att omställningen ska komma till stånd. Vad det gäller elsystemet bör det poängteras att elsystemets storlek kan fördubblas vid en kraftig elektrifiering samtidigt som våra scenariorresultat visar på en fördubbling av elpriset. Elmarknadens omsättning blir därmed fyrdubblad vilket kan öka det finansiella kapitalet.

För att omställningen ska vara möjlig att genomföra krävs även ny kompetens på flera områden så som drift och underhåll, produktion och byggnation. Det finns också ett behov av kompetens och resurser för att göra miljöbedömningar, utforma och tillståndspröva industrier, elproduktion och andra verksamheter på ett sådant sätt att de minimerar den negativa miljöpåverkan. När samhällets beroende av leveranssäkerhet ökar och elsystemet blir betydligt större kommer det även att vara viktigt med en ökad kompetens inom elsystemfrågor. Kompetenserna kan delvis byggas genom forskning och utveckling, men det behöver kombineras med till exempel riktade utbildningsinsatser, vidareutbildningar och nya gymnasie- och universitetsutbildningar. Samarbete och kunskapsöverföring mellan akademi och industri är också viktigt. Utbildningssatsningar kan också vara ett viktigt verktyg för att hjälpa människor att ställa om i de fall där omställningen innebär att deras arbetsuppgifter förändras eller försvinner. Detta är en viktig fråga för den

¹¹² *Industriklivet*, Industriklivet (energimyndigheten.se) (Hämtad 2021-10-04)

sociala hållbarheten och acceptansen för omställningen. Att det finns personal med rätt kompetens är också viktigt för näringslivets konkurrenskraft.

För att omställningen ska ske på ett sätt som stärker försörjningstryggheten, konkurrenskraften och den ekologiska hållbarheten är frågor rörande teknikutveckling, kompetens och möjligheter till finansiering viktiga. Detta är områden som fortlöpande behöver utvärderas och arbetas med på alla nivåer inom staten och myndigheter, men också i samarbete/dialog med näringslivet.

Resurs- och energieffektivitet

Genom att använda resurser mer effektivt är det möjligt att minska flera av de utmaningar som beskrivs inom de övriga fokusområdena. Enligt EU-kommissionen ska principen ”energieffektivitet först” alltid tillämpas.¹¹³ Elektrifieringen kan i sig bidra till energieffektivisering inom vissa sektorer exempelvis transportsektorn. Inom industrisektorn kan dock en övergång till el medföra en ökad energianvändning enligt analyserna i rapporten. Därutöver kan också betydande rekyleffekter uppstå i till exempel transportsektorn av att fordon används med drivmedel som är billigare och fossilfria.

Elektrifieringen är en samhällsomställning inom flera sektorer som kommer att kräva nya fordon, ny elproduktion, mer elnät, fler elektrolysörer med mera. För att skapa hållbarhet i detta måste resurseffektivitet genomsyra omställningen. Det räcker till exempel inte med att bara byta från petroleumprodukter till elbilar. Fordonen måste också vara energieffektiva och resurssnåla både i tillverkningen och framförandet av dem. Till det behöver också ett mer transporteffektivt samhälle åstadkommas. I omställningen av industrin behöver teknik väljas som tillfredsställer tillverkningsprocessens behov men samtidigt är så energieffektiv som möjligt och har ett optimerat resursutnyttjande.

Genom att bygga elproduktion på rätt ställen, det vill säga i närmare anslutning till användare, där nyttan för elnätet och elöverföringen är som störst eller där produktionsförhållandena är som bäst, minskar det totala behovet av kraft och ledningar. Anspråket på resurser dels i material, dels i markanspråk blir genom detta mindre och effekterna av omställningen kan hållas nere.

För att inte öka miljöbelastningen i samhället behövs ett ökat fokus på både resurs- och energieffektivitet i alla led. Här är statens roll som forskningsfinansiär viktig för att hantera osäkerheter på framtida marknader och styra långsiktigt mot cirkulära affärsmodeller och resurseffektiva tekniker. Fler insatser som möjliggör en resurs- och energieffektiv samhällsplanering är av vikt. Detta kan innefatta såväl insatser för ett transporteffektivt samhälle som olika former av planeringsunderlag (läs mer under Markanvändning och samexistens).

Råvaruförsörjning

Elektrifieringen kommer att innebära ett ökat behov av olika innovationskritiska metaller och mineraler för exempelvis produktion av batterier, solceller och vindturbiner. Råvarubehovet kommer förändras över tid i takt med en ökad elektrifiering både i Sverige och globalt. Efterfrågan av dessa metaller och mineral förväntas även öka över tid kopplat till helt andra användningsområden. Det behövs ett ökat fokus på fler internationella

¹¹³ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU) 2018/2002 av den 11 december 2018 om ändring av direktiv 2012/27/EU om energieffektivitet.

ramverk för att styra efterfrågan mot ökad hållbarhet, minska behovet av primära råvaror och främja fler cirkulära resursflöden. Närmast implementeras EU:s nya batteriförordning¹¹⁴ med bland annat informationskrav och maxtak för vissa batterier. Angränsande EU-ramverk behöver fokuseras, liksom pågående arbete internationellt inom UNECE¹¹⁵, när det gäller minimikrav för prestanda och livslängd för batterier för elektrifierade vägfordon. Det finns också ett behov av bred myndighetssamverkan kring frågor som framtida planeringsbehov av råvaror och material kopplat till elektrifieringen, cirkulär ekonomi och hållbarhetsfrågor både inom och utanför Sveriges gränser. Här är även fortsatt samverkan med näringslivet viktigt, exempelvis som inom ramen för regeringens samverkansprogram Näringslivets klimatomställning¹¹⁶ som Vinnova samordnar.

Det är viktigt för svensk konkurrenskraft att företagen har tillgång till de råvaror de behöver. Det kan också finnas möjligheter kopplat till råvaruutvinning. Det finns en ökad efterfrågan på till exempel hållbara/etiska metaller/råvaror. Eftersom Sverige har en stark lagstiftning för till exempel miljö och arbetsmiljö skulle det kunna innebära konkurrensfördelar om konsumenter uppfattar dessa frågor som ett mervärde. Internationella spårbarhetssystem för olika mineraler och metaller är viktigt både för att företag ska kunna dra nytta av att de uppfyller högre krav och för att bidra till ett efterfrågetryck på utvinningsföretag att minska sin påverkan.

Specifikt när det gäller batterier behövs även fortsatt forskning både i Sverige och internationellt kring design och återanvändning i nya applikationer och återvinning av framförallt litiumjonbatterier.

Trygg energiförsörjning

Elektrifieringen innebär en stor strukturell samhällsomställning där flera sektorer förändras i grunden och där elsystemets storlek kan fördubblas fram mot 2050. Förutom att elproduktionen kraftigt kommer att behöva öka förväntar vi oss en stor förändring av produktionsmixen med ökat inslag av variabla kraftslag. Elektrifieringen av användarsektorerna och en ökad elanvändningen i nya sektorer kommer att ske samtidigt som elproduktionen genomgår en större omvandling. Utmaningen i omställningen av kraftproduktionen sammanfaller med det ökade elberoendet vilket gör att förutsättningar för en trygg energiförsörjning kommer behöva utvecklas hand i hand med detta.

Vid en elektrifiering av samhället minskar efterfrågan på flytande drivmedel vilket i sin tur också kommer att påverka försörjningen till nuvarande beredskapssystemet. Hela infrastrukturen och distributionen av flytande bränslen kommer att påverkas i takt med att marknaden för flytande drivmedel krymper. Det kommer att vara en utmaning i transformationen från det nuvarande energisystemet till framtida energisystem. I det elektrifierade samhället kommer vi behöva bygga upp ett annat beredskapssystem och det är troligt att det inte bara kommer kunna vara elektrifierat.

¹¹⁴ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING om batterier och förbrukade batterier, om upphävande av direktiv 2006/66/EG och om ändring av förordning (EU) 2019/1020 [resource.html \(europa.eu\) resource.html \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32019R1020).

¹¹⁵ United Nations Economic Commission for Europe.

¹¹⁶ *Vinnova samordnar regeringens samverkansprogram*, <https://www.vinnova.se/m/regeringens-samverkansprogram/> (hämtad 2021-10-13)

Samhällsviktiga funktioner måste redan idag börja analysera hur en förändrad tillgång till bränslen påverkar deras förmåga och planera för hur de ska klara av samhällsomställningen.

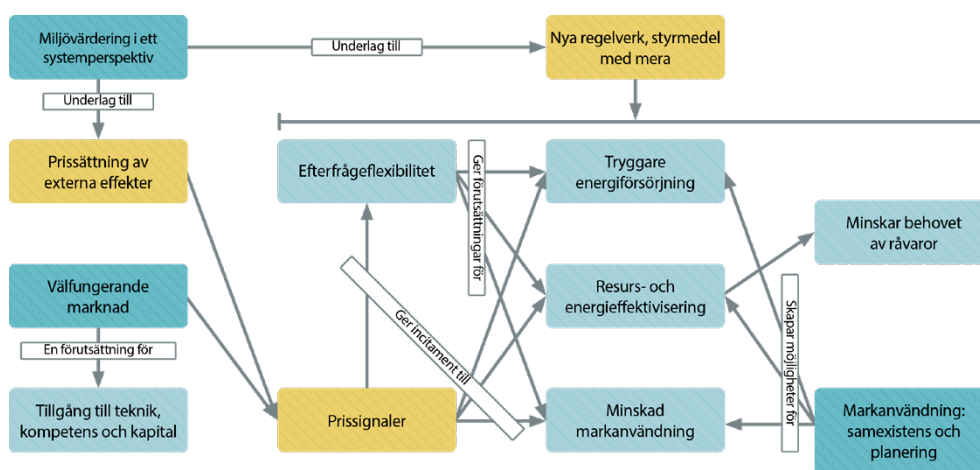
I ett högelektrifierat samhälle måste robusthet och krisberedskap utformas efter delvis andra premisser än dagens bränsle- och elektrifierade energisystem. Frågor om IT-skydd, elsystemet momentana tillförsel får ökad betydelse jämfört med exempelvis dagens geopolitiska risker i import av olja.

6.4 Det är viktigt med ett systemperspektiv

Syftet med den här rapporten har varit att undersöka elektrifieringens konsekvenser för de svenska miljömålen samt de energipolitiska målen. Utifrån konsekvenserna har områden identifierats som är extra viktiga att fokusera kring för att möjliggöra att elektrifieringen blir så hållbar som möjlig. Genom att jobba vidare inom de identifierade fokusområdena ser vi att möjligheterna att uppnå en hållbar elektrifiering utifrån de energipolitiska målen ökar.

Då vi inte gjort en kvantitativ analys i den här utredningen blir det svårt att se i vilken omfattning de olika målen påverkas av en ökad elektrifiering. Men vi kan konstatera att elektrifieringen innefattar många olika samband och att det finns många aspekter som påverkar utvecklingen i olika riktningar. Det är även viktigt att sätta de identifierade fokusområdena i relation till varandra för att arbeta med helheten när det gäller elektrifieringen då den innebär komplexa samband på flera plan.

Vad gäller fokusområdena är de tätt sammankopplade med varandra, i synnerhet i ett energisystemperspektiv. En schematisk bild har tagits fram för att illustrera några av de samband som finns mellan områdena, se Figur 6. Observera att figuren inte gör anspråk på att täcka in alla samband som finns här utan åskådliggör några av dessa som ett exempel.



Figur 6. Exempel på samband mellan fokusområdena.

Som tidigare nämnts kan Miljövärdering i ett systemperspektiv ge underlag till att prissätta externa effekter samt även ge upphov till nya eller förändrade generella regelverk eller kunskap som kan användas i tillstånds- och planeringsprocessen. Tillsammans med Välfungerande marknader skapas förutsättningar för en ökad Efterfrågeflexibilitet,

Tryggare energiförsörjning, Resurs- och energieffektivisering samt minskad Markanvändning. Detta då prissignaler ger incitament för bland annat geografisk placering av elproduktion och elanvändning samt vilken typ av elmix och elanvändning som utvecklas utifrån de behov som uppstår. Valfungerande och långsiktiga spelregler på marknaden är också en förutsättning för Tillgång till kapital, kompetens och utbildning.

Ökad flexibilitet i elsystem skapar i sin tur förutsättningar för en tryggare energiförsörjning, resurs- och energieffektivisering samt minskad markanvändning. De två sistnämnda leder till Minskade behov av råvaror. Fokusområdena Valfungerande marknader och Miljövärdering är alltså centrala för att minska storleken på utmaningarna i de övriga fokusområdena. Med det sagt betyder det inte att de andra fokusområdena är av mindre vikt utan snarare att utgångspunkten måste vara att vid framtagande av förslag på åtgärder så måste detta beaktas.

För att de ekonomiska incitamenten verkligen ska medföra att investeringar görs i linje med ovanstående krävs samtidigt att det finns möjlighet att göra dessa val, det vill säga att potentialen för till exempel flexibilitet, elnät och olika typer av elproduktion måste finnas. Nyckelfrågor för detta är fokusområdet Markanvändning och samexistens där framförallt planerings- och tillståndsfrågor behöver hanteras på så sätt att det skapas möjlighet för aktörer att göra effektiva investeringar. Det kommer också att finnas ett behov av att titta närmare på varje fokusområde för att identifiera behov av åtgärder.

6.5 Fortsatt arbete

Arbetet med den här rapporten har genomförts inom ramen för Miljömålsrådet, inom programområdet Hållbar elektrifiering. I programområdet fortsätter nu det strategiska arbetet med att utveckla flera av de, i den här rapporten, utpekade fokusområdena. Inom områdena Resurs- och energieffektivitet, Råvaruförsörjning, Markanvändning och samexistens och Miljövärdering i ett systemperspektiv arbetar berörda myndigheter i programområdet vidare med att identifiera och prioritera åtgärdsförslag som kan bidra till en hållbar elektrifiering. Åtgärdsförslagen kan vara exempelvis styrmedel, utredningsförslag eller samverkansåtgärder mellan myndigheterna. Utgångspunkten i det strategiska arbetet är den miljöanalys som genomförts i det här arbetet. Det strategiska arbetet inom Miljömålsrådet kommer att pågå under hösten 2021/vintern 2022 och resultera i en sammanfattande rapport under våren 2022.

För övriga fokusområden (Valfungerande marknader och incitament, Efterfrågeflexibilitet, Tillgång till teknik, kompetens och kapital samt Trygg energiförsörjning) kommer det offentliga behöva arbeta kontinuerligt med dessa frågor. Inom kort kommer den nationella elektrifieringsstrategin med förslag på hur vissa av dessa områden kan arbetas vidare med, men en rad statliga myndigheter och andra aktörer kommer att behöva fokusera sitt arbete mer på dessa frågor och integrera det i sina verksamheter.

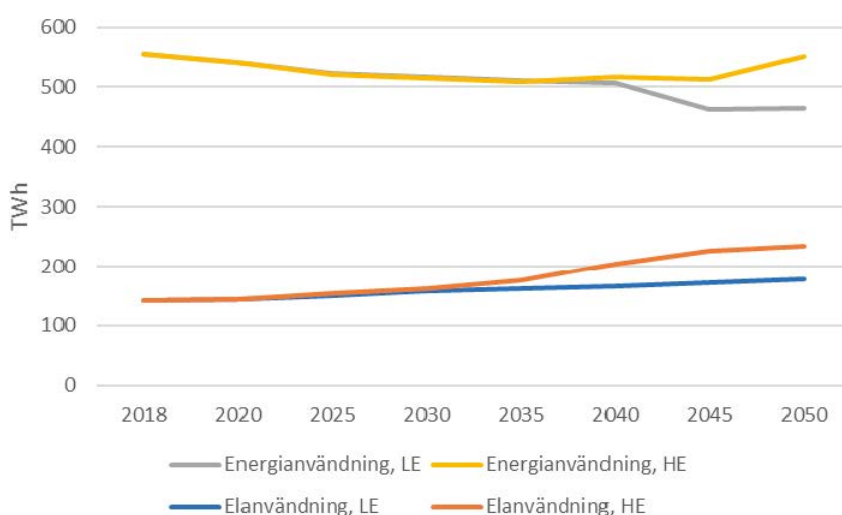
En ökad elektrifiering kommer även att innebära olika utmaningar och möjligheter för olika delar av landet så som storstadsregioner, mellanstora städer och mindre tätorter men också på landsbygder. Förutsättningarna är varierande över landet i flera olika avseende som exempelvis utbyggnad av produktionskapacitet, tillståndsprocesser för att bygga ut nät, olika nivåer på elpriset. Kommunernas kapacitet att arbeta med planeringsfrågor på strategisk nivå skiljer sig åt beroende på kommuntyp och geografisk placering. Det geografiska perspektivet är viktigt att ha med sig i det fortsatta arbetet med elektrifieringen.

7 Bakgrundsanalys – Hur påverkas elanvändningen av en ökad elektrifiering?

Elanvändningen förväntas öka kraftigt framöver och syftet i det här kapitlet är att undersöka den utvecklingen närmare. Vilka drivkrafter finns bakom den ökade elanvändningen och hur ser de stora utmaningarna ut? Kvalitativa analyser görs för användarsektorerna Industri, Transport och Bostäder och service baserat på scenarierna med lägre och högre elektrifiering. Även alternativa utvecklingsvägar inom sektorerna undersöks som kan påverka elanvändningen och elektrifieringen.

7.1 Elanvändningen ökar till 2050

Utgångspunkten i den kvalitativa analysen är utfallet från scenarierna Lägre elektrifiering och Högre elektrifiering. Den totala elanvändningen samt den totala energianvändningen för scenarierna fram till 2050 visas i Figur 7.



Figur 7. Total energi- och elanvändning 2018–2050, TWh.

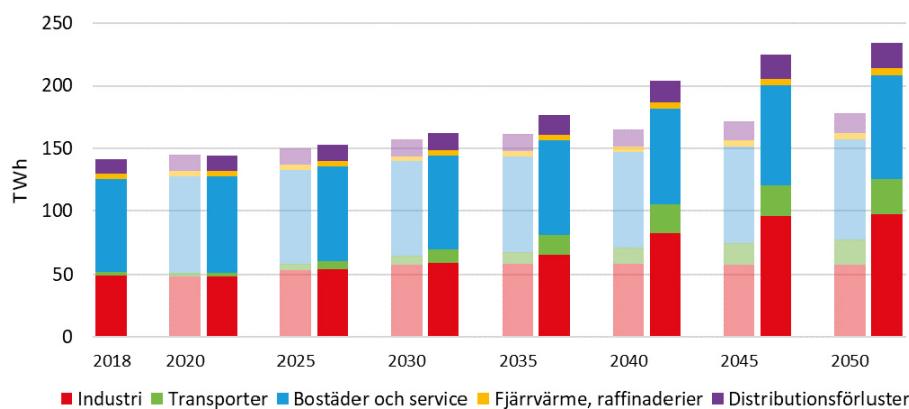
LE = Scenariot för Lägre Elektrifiering, HE = Scenariot för Högre Elektrifiering.

Den totala energianvändningen var 556 TWh under 2018. Den totala användningen utgörs av den inhemska användningen, det vill säga den sammanlagda energianvändningen i användarsektorerna (Industri, Transport samt Bostäder och service m.m.), omvandlings- och distributionsförluster samt användningen av energiprodukter för icke-energiändamål.¹¹⁷

¹¹⁷ Med icke-energiändamål avses råvaror till kemiindustrin, smörjoljor och oljor till byggnads- och anläggningsverksamhet.

I Lägre elektrifiering minskar den totala energianvändningen till 464 TWh fram till 2050 medan den i Högre elektrifiering landar på 552 TWh, vilket är ungefär som på dagens nivå. Anledningen till den högre energianvändningen i det senare scenariot är framförallt en ökad elanvändning inom industrin men även en ökad etablering av data-center. En annan anledning är också att ny kärnkraft byggs i slutet av perioden vilket medför stora omvandlingsförluster. Dessa förluster ingår i den totala energianvändningen som blir högre än i scenariot då ny kärnkraft inte byggs. För mer information om tillförseln i scenarierna se kapitel 9.

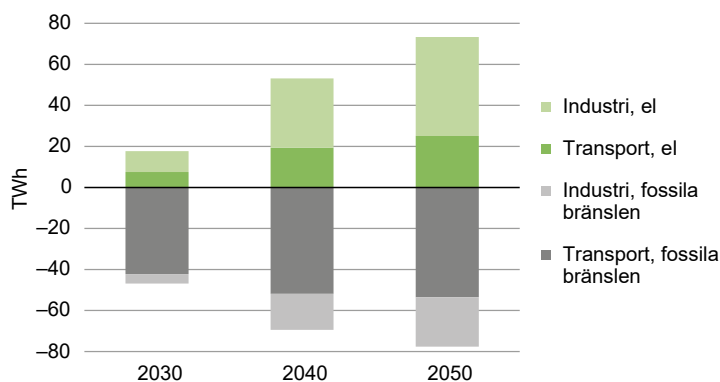
Den totala elanvändningen ökar till 234 TWh 2050 i Högre elektrifiering. Det är framförallt industrins elanvändning, och till viss del el för transporter, som ökar kraftigt i det scenariot. Den slutliga elanvändningen, eller den el som används i sektorerna Industri, Transporter samt Bostäder och service m.m., är 209 TWh 2050. I Lägre elektrifiering sker en lägre grad av elektrifiering och total elanvändning är 178 TWh 2050. Utvecklingen i scenarierna visas i Figur 8.



Figur 8. Elanvändning per sektor 2018 samt i Lägre elektrifiering (transparenta staplar) och Högre elektrifiering till 2050, TWh.

I Högre elektrifiering minskar användningen av fossila bränslen totalt sett med 83 TWh mellan 2018 och 2050, jämfört med en minskning med 36 TWh i Lägre elektrifiering. Minskningen av fossila bränslen beror till stor del på graden av elektrifiering inom användarsektorerna. All ökad elanvändning bidrar dock inte till minskad användning av fossila bränslen. När det gäller utbyggnaden av datacenter tillkommer istället ny elanvändning till systemet. Den elektrifiering som sker i transportsektorn ger en minskad energianvändning då den ersätter fossila drivmedel och innebär en kraftig energieffektivisering. I industrisektorn däremot kan en ökad elektrifiering medföra en ökad energianvändning då nya typer av processer krävs då el ersätter fossila bränslen. Minskningen av fossila bränslen beror också på att kol inte används för värmeproduktion och att inblandning av biodrivmedel i bensin och diesel ökar (genom systemet för reduktionsplikt). Det sistnämnda gäller framförallt i Högre elektrifiering där högre inblandningsnivåer har antagits fram till 2030. I Figur 9 visas den minskade användningen av fossila bränslen samt ökningen av elanvändningen inom industri- och transportsektorn i Högre elektrifiering.

Den ökade elanvändningen är större i industrin jämfört med transportsektorn. Däremot minskar användningen av fossila bränslen betydligt mer i transportsektorn än i industrin fram till 2050.



Figur 9. Ökning av elanvändning inom industri- och transportsektorn samt minskningen av fossila bränslen inom dessa sektorer i scenariot för högre elektrifiering.

Energianvändningen i användarsektorerna beskrivs mer ingående i respektive avsnitt i kapitel 7.

7.2 Industrins elanvändning

I detta avsnitt beskrivs drivkrafter för utvecklingen samt utmaningar för elektrifieringen inom sektorn och alternativa utvecklingsvägar som innehåller en mindre elektrifiering av sektorn.

Sammanfattning

- I scenariot för högre elektrifiering dubblas elanvändningen, samtidigt som de fossila bränslena minskar kraftigt. Elanvändningen ökar totalt med 49 TWh och landar på 98 TWh 2050. I scenariot för lägre elektrifiering ökar elanvändningen totalt med 9 TWh.
- Den stora drivkraften bakom elektrifieringen i sektorn är klimatomställningen och därmed konkurrenskraften. Flera stora företag och branscher har identifierat att minskade växthusgasutsläpp är avgörande för konkurrenskraften kommande decennier och att elektrifieringen möjliggör denna klimatomställning. Omställningstrycket kommer bland annat från kundernas efterfrågan och från styrmedel som ökar kostnaderna för utsläpp av växthusgaser.
- Elektrifieringen av industrin ställer vissa branscher inför historiska omställningar, vilket skapar risker. Framförallt elektrifieringen av stål-, järn- och petrokemi-industrierna sker med teknik som ännu inte testats i stor skala och bygger på att det finns tillgång på tekniska lösningar som behövs när nyinvesteringar ska göras. Det finns också risker kopplade till den framtida efterfrågan på produkterna. När även konkurrenterna ställer om är det möjligt att andra gör denna omställning på ett mer konkurrenskraftigt sätt. Vidare är nya, eller förstärkningar av, elnätsanslutningar utmaningar som kan försena eller omöjliggöra omställningen för vissa industrier på vissa platser.
- Även om elektrifiering är huvudspåret inom de större industrierna, finns det andra möjliga utvecklingsvägar så som en ökad resurseffektivitet, Carbon Capture and Storage (CCS) och en ökad användning av biomassa, som kan komma att komplettera elektrifieringen i stor utsträckning.

Fakta och fördjupning

Om industrisektorn

Inom industrisektorn inkluderas branscherna SNI¹¹⁸ 05–33 (ej raffinaderier).¹¹⁹ 2019 stod sektorn för 142 TWh av Sveriges slutliga energianvändning. Massa- och pappersindustrin står för drygt hälften av industrins energianvändning. Järn- och stålindustrin och kemiindustrin står tillsammans för knappt en fjärdedel.

De viktigaste energibärarna är biobränsle och el, vilka svarade för drygt 41 respektive 34 procent av energianvändningen 2019. Andra viktiga energibärare är kolprodukter, fossila restgaser, petroleumprodukter, gasol och naturgas. Elanvändningen i sektorn var 48 TWh 2019.

7.2.1 Industrins energi- och elanvändning i scenarierna

Antaganden kring en ökad elanvändning i sektorn baseras framförallt på de olika projekt som planeras och har aviserats från industrin samt de färdplaner branscherna tagit fram inom Fossilfritt Sverige.¹²⁰ Inom industrin är det framförallt teknikskiften och nyetableringar som innebär förändringar i energisystemet. Idag pågår flera teknikskiften inom ett flertal branscher. I många fall innebär teknikskiftet en övergång från fossil råvara eller fossil energi till el. De teknikskiften som är inkluderade i scenarierna redovisas i Tabell 8.

Tabell 8. Projekt och nivåer som inkluderas i scenarierna fram till 2050.

	Lägre elektrifiering	Högre elektrifiering
HYBRIT	3,25 TWh	20 TWh
Northvolt	2,5 TWh	2,5 TWh
Elektrifiering av gruvor	1,2 TWh	3,5 TWh
Elektrobränsle		15 TWh
CemZero		4,6 TWh

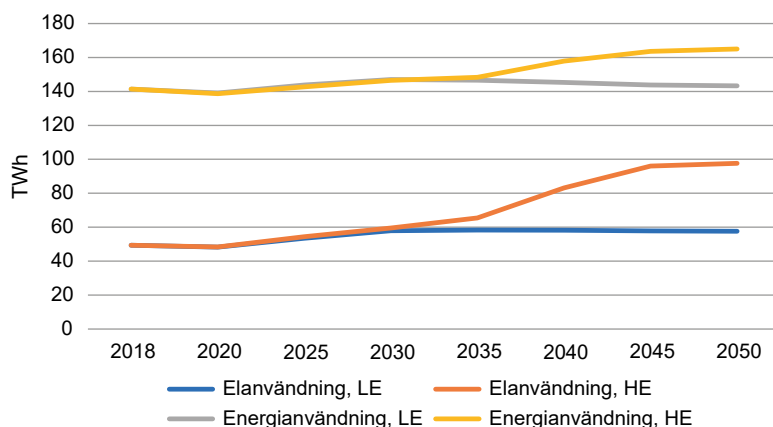
Inom arbetet med scenarierna har antaganden kring energieffektivisering gjorts. Effektiviseringen har baserats på förhållandet mellan industrins förädlingsvärde och energianvändning, alltså industrins energiintensitet. Den avtagande energiintensitet som de flesta branscherna har haft historiskt sett antas fortsätta. Det betyder att energianvändningen kan öka samtidigt som energieffektivisering sker.

I Figur 10 visas utvecklingen över energi- och elanvändning i industrisektorn.

¹¹⁸ SNI 2007 eller Svensk näringsgrensindelning 2007, används för att klassificera branscher, inom EU används motsvarande system som benämns NACE Rev. 2.

¹¹⁹ Inom SNI 05-33 finns gruvor och tillverkningsindustri, läs mer om exakt vilka branscher som ingår i dessa: <https://www.scb.se/dokumentation/klassifikationer-och-standarder/standard-for-svensk-naringsgrensindelning-sni/>.

¹²⁰ *Fossilfritt Sverige, Start – Fossilfritt Sverige* (hämtad 2021-09-01).



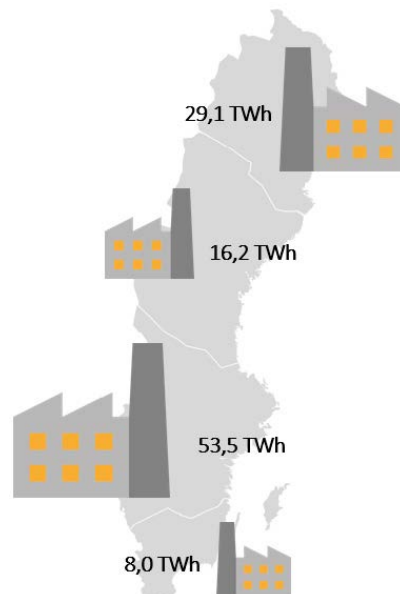
Figur 10. Energi- och elanvändning i industrisektorn 2018–2050, TWh. LE = Scenariot för Lägre Elektrifiering, HE = Scenariot för Högre Elektrifiering.

Elanvändningen och även energianvändningen ökar i det högre elektrifieringsscenariot. Anledningen till det är de teknikskiften som antas i scenariot. Ofta vid teknikskiften byter man ut en gammal teknik mot en ny. Den gamla tekniken har finjusterats under lång period och är därför ofta effektivare ur energimässig synpunkt än den oprövade nya tekniken.

Delar av teknikutvecklingen inom industrin sker under 2020-talet och vid slutet av årtiondet kan det finnas stora demoanläggningar eller nyetableringar på plats i Sverige, till exempel HYBRIT. Flera av aktörerna planerar att vara i drift vid andra halvan av 2020-talet, varpå en ökning av elanvändningen sker. Men den största ökningen av elanvändningen inom industrin väntas fortfarande ske de kommande årtiondena. Här är tidsperspektiv och investeringstillfällen viktiga att beakta. Stora omställningar av enskilda processer har stor betydelse för totalresultatet.

De senaste decennierna har nyetableringen av industri varit låg i Sverige, men det är en trend som verkar vända bland annat i och med Northvolts etablering och H2 Green Steels (H2GS)¹²¹ lansering. Även förändringar kopplade till cirkulär ekonomi, såsom returplastraffinaderi, skulle kunna ses som nyetablering om det gäller större satsningar utanför befintliga processer. I kartan, Figur 11, visas fördelningen av elanvändningen som har antagits i Högre elektrifiering.

¹²¹ H2 Green Steel är ett nytt stålbolag som planerar att bygga storskalig fossilfri stålproduktion vid Boden.



Figur 11. Elanvändningen 2050 inom industrisektorn fördelad per elprisområde i scenariot för högre elektrifiering.

Osäkerheter inför framtiden

Efter att scenarierna färdigställts har flera nya projekt inom industrin tillkommit som inte är inkluderade i beräkningarna. Några av dessa projekt beskrivs nedan. Andra investeringar, både vid existerande anläggningar och nya industrier, kan också innebära ökad elanvändning jämfört med Högre elektrifiering. Samtidigt är det också möjligt att vissa investeringar inte blir av eller att någon industri väljer en annan utvecklingsväg istället för elektrifiering. Det är också möjligt att vissa andra industrier lägger ned, som till exempel Kvarnsvedens pappersbruk aviserat om under våren 2021. Det skulle i så fall kunna minska elanvändningen jämfört med Högre elektrifiering.

Den största enskilt aviserade ökningen av elanvändning, sedan scenarierna i denna rapport bestämdes och som således inte är med i scenarierna, står LKAB¹²² för. I slutet av 2020 presenterade LKAB en långsiktig strategisk plan med målet att tillverka järnsvamp genom vätgasreduktion och exportera den mer vidareförädlade järnprodukten istället för järnmalmspelletts. Det finns skillnader i LKAB:s satsning och HYBRIT:s satsning. HYBRIT innefattar det stål som SSAB producerar medan LKAB:s satsning innefattar all järnmalm som LKAB säljer. Det betyder att antagandet om 20 TWh el för HYBRIT i Högre elektrifiering behöver kompletteras med LKAB:s förbrukning. LKAB behöver 55 TWh el för att driva hela sin planerade process, men delar av HYBRIT:s 20 TWh är inkluderade i LKAB:s 55 TWh. En grov uppskattning är att HYBRIT och LKAB tillsammans kan förbruka 65 TWh el när projekten realiserats. Bedömningen här är att högre elektrifieringsscenariot inkluderar cirka 25 TWh av den grova uppskattningen på 65 TWh som LKAB och HYBRIT planerar att använda.

Vidare har H2 Green Steel under våren 2021 lanserat en plan att innan 2030 använda 12 TWh el för att tillverka fossilfritt stål. Finns det järnmalm, järnskrot, el, elnätskapacitet

¹²² LKAB är ett gruvföretag som producerar järnmalmspelletts som både används av järn- och stålindustrin i Sverige och exporteras, framförallt till Europa samt Mellanöstern och Nordafrika.

och efterfrågan av produkt för alla företag kan deras gemensamma elanvändning bli mycket stor. Bli det däremot brist på dessa förutsättningar kan det bli konkurrens mellan bolagen och deras planer för elanvändning går då inte att summera.

Osäkerheterna i uppskattningarna är stora, men skulle de tre företagens samtliga planer realiseras innebär det en stor ökning av elanvändningen, uppskattningsvis 75–80 TWh. Ökningen är mer än hälften av Sveriges årliga elanvändning idag och mer än en fördubbling för industrins årliga elanvändning.

7.2.2 *Drivkrafter för elektrifiering av industrin*

Det pågår ett förändringsarbete för minskad klimatpåverkan inom industrisektorn och för att industrin genom sina produkter ska kunna bidra till minskad klimatpåverkan i övriga samhället. En rad initiativ i form av pilotprojekt, färdplaner, beslutade strategier och skarpa investeringsbeslut visar att många bolag och sektorer inom industrin ser detta som avgörande för konkurrenskraften kommande decennier.

Minskade växthusgasutsläpp som konkurrensmedel

Grundläggande för företag är att de behöver vara konkurrenskraftiga och lönsamma. En stark drivkraft för att företag gör planer och investeringar för att minska sina växthusgasutsläpp och bli fossilfria är således att de bedömer att det ökar deras konkurrenskraft. Inom många industrisektorer möjliggör en elektrifiering denna omställning. Företag som inte är konkurrenskraftiga och lönsamma kan inte heller investera, så det är också en förutsättning för att de stora investeringar i elektrifiering som ses i scenarierna ska kunna göras.

En ökad elektrifiering kan leda till ökad lönsamhet på flera olika sätt. Kunder som efterfrågar klimatvänliga produkter kan vara villiga att betala mer för dem än för motsvarande produkter som är producerade på konventionellt sätt. Det kan göra det möjligt att investera i en teknik som bygger på en ökad elanvändning, även om det medför högre produktionskostnader. Det är också möjligt att nya tekniker på sikt kan leda till minskade kostnader relativt konventionella produktionssätt, till exempel på grund av stigande kostnader för att använda fossila insatsvaror. Vidare är det möjligt att elektrifieringen kan ha andra fördelar jämfört med konventionella eller alternativa processer, till exempel bättre processtyrning, ökad produktkvalitet eller minskad risk för processtörningar. Styrmedel påverkar också lönsamheten och drivkrafterna för elektrifiering, till exempel genom att höja/sänka relativpriserna gentemot andra tekniker eller att bidra till att stärka efterfrågan.

Konkurrenskraft i scenarierna och kopplat till elektrifiering generellt analyseras och diskuteras i kapitel 4. Nedan beskrivs drivkrafter inom några branscher med stor ökning av elanvändningen.

- **Järn och stål** produceras framförallt med användning av kol och koks idag (som reduktionsmedel). Klimatomställningen skapar därför ett starkt tryck på branschen att utveckla produktionstekniker med mindre utsläpp. Förändringstrycket kommer både från kunders ökade efterfrågan på fossilfria varor och från förväntade starkare styrmedel som till exempel kan innebära ökade kostnader för användning av fossila varor och utsläpp. Möjligheten att vara först, eller bland de första, att erbjuda marknaden fossilfritt stål av hög kvalitet kan också vara ett extra incitament för att skynda på omställningen. Detta kan stärka varumärket och ge möjligheter att ta marknadsandelar bland premiumsegment där det finns efterfrågan, och extra betalningsvilja, för fossilfritt stål.

- **Kemisk industri och raffinaderier** baserar i stor utsträckning sin produktion på olja och gas. Vanliga produkter från branschen är plaster och olika typer av drivmedel. Fossilbaserad vätgas har också använts sedan länge inom sektorn. Inom kemisk industri ingår vätgas bland annat som råvara vid produktion av ammoniak, metanol, väteperoxid, polymerer och lösningsmedel. Vid olje-raffinaderier används vätgas för behandling av såväl fossila som biobaserade bränslen. Bland annat styrmedel och efterfrågan från kunder skapar ett omvärldstryck att frånga fossila insatsvaror. I denna rapport sker detta främst genom att fossilfri vätgas används tillsammans med koldioxid för produktion av metanol i kemiindustrin.

Vätgasen som möjliggörare för elektrifiering inom industrin

Idag används vätgas i Sverige framförallt i raffinaderier och kemiska industrier. Flera andra industrisektorer har dock identifierat vätgasen som en viktig komponent för att bli fossilfria. I denna rapport gäller det framförallt processer inom järn, stål- och petrokemiindustrierna vilka beskrivs nedan.

Produktionen av vätgas domineras idag av ångreformerings av naturgas och är således fossilbaserad, men genom att istället dela upp vatten till vätgas och syrgas med hjälp av el i en elektrolysör är det möjligt att producera fossilfri vätgas, förutsatt att elen är fossilfri. Inom EU uppskattas produktionskostnaderna för vätgas, exklusive kostnaden för att släppa ut koldioxid, till 1,5 €/kg för konventionell fossilbaserad, 2 €/kg för fossilbaserad med CCS och 2,5–5,5 €/kg för förnybart producerad vätgas.¹²³

Kostnaden för förnybart producerad vätgas minskar dock snabbt. Kostnaderna för elektrolysörer har redan sjunkit med 60 procent de senaste tio åren och bedöms tack vare skalfördelar kunna halveras till 2030 jämfört med idag. I regioner med billig förnybar el bedöms vätgas från elektrolys till 2030 vara konkurrenskraftig mot fossilbaserad vätgas. Det finns olika typer av elektrolysörer som kan användas beroende på applikation och verkningsgraderna sträcker sig idag mellan 40–80 procent.¹²⁴

Se vidare faktaruta om planerade vätgasprojekt.

Styrmedel ökar kostnader för fossilanvändning och kan öka förutsättningarna för elektrifiering

Det finns flera olika typer av styrmedel som är starka drivkrafter bakom elektrifieringen i industrin. Genom att EU ETS och koldioxidskatten sätter ett pris på utsläpp av växthusgaser ökar kostnaderna för att släppa ut växthusgaser och därigenom också kostnaden för att använda fossila energivaror. Den senaste prisutvecklingen av EU ETS har också ökat tron på att priserna på utsläppsrätter kommer att öka i framtiden. Förväntan att fossila växthusgasutsläpp kommer att bli allt dyrare i framtiden påverkar relativkostnaderna för olika alternativ och gör fossila alternativ dyrare. Det innebär att det kan bli lättare för företag att räkna hem investeringar i elektrifiering.

¹²³ *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*, European Commission, hydrogen_strategy.pdf (europa.eu) (hämtad 2021-09-01)

¹²⁴ *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*, European Commission, hydrogen_strategy.pdf (europa.eu) (hämtad 2021-09-01)

Planerade vätgasprojekt

Järn- och stålindustrin: Traditionellt reduceras järnmalm till järn i masugnar med hjälp av kol och koks, vilket leder till stora växthusgasutsläpp. Ett alternativ till denna process är att direktreducera järnmalm med hjälp av vätgas till järnsvamp och sedan smälta den i en eldriven ljusbågsugn. Tekniken anses som banbrytande i branschen och flera stora satsningar har påbörjats:

- HYBRIT (HYdrogen BReakthrough Ironmaking Technology). Samarbete mellan stålföretaget SSAB, gruvbolaget LKAB och energibolaget Vattenfall. Påbörjades 2016 och invigde bland annat en pilotanläggning för direktreduktion 2020. Målet är att ha en demonstrationsanläggning på plats 2025 för att demonstrera tekniken storskaligt och leverera det första fossilfria stålet i världen 2026.
- LKAB lanserade under hösten 2020 en strategi som går ut på att ställa om sin produktion av järnmalmspellet till järnsvamp och på så vis kunna sälja koldioxidfritt järn till andra kunder än SSAB inom HYBRIT.
- H2 Green Steel är ett bolag som lanserades under våren 2021 och planerar att ha storskalig produktion av stål baserad på denna process till 2024.
- Ovako planerar att fasa ut fossila bränslen för uppvärmning av stål och istället använda fossilfri vätgas. De planerar för egen produktion av vätgas och syrgas genom vattenelektrolys. Anläggningen förväntas vara klar i slutet av 2022.
- Internationellt finns flera liknande satsningar, bland annat av ThyssenKrupp och ArcelorMittal.

Petrokemiindustrin: Genom att kombinera vätgas med koldioxid och/eller kväve är det möjligt att producera elektrobränslen och kemikalier som ammoniak. I denna rapport inkluderas en storskalig produktion av metanol med denna metod. Metanolen kan sedan vidareförädlas till bränsle eller plast. Det ger stora möjligheter för petrokemiindustrin att bli fossilfri. Detta förutsätter dock att koldioxiden som används har ett biogent ursprung. Kvaliteten och sammansättningen för elektrobränslen/elektrokemikalier är samma eller liknande som motsvarande fossila eller biobaserade alternativ. Det finns flera satsningar på området i Sverige:

- Project AIR (Perstorp). Genomförs i samarbete med Fortum, Uniper och Nature Energy. Projektets mål är att kunna ersätta all den fossila metanol som Perstorp idag använder som insatsråvara i Europa (200 000 ton per år) genom att kombinera CCU och förgasning.
- Borealis samarbetar med Vattenfall för att utreda möjligheterna att använda vätgas från elektrolys som krackerbränsle som ersättare till den fossila gasen som idag används inom kemiindustrin.
- Liquid Wind. Företaget planerar att bygga Sveriges första anläggning för storskalig produktion av metanol från vätgas och koldioxid i Örnsköldsvik. Produktionsstart 2024.

Styrmedel kan också påverka elektrifieringen genom att skapa efterfrågan på klimatvänliga varor. Det kan till exempel handla om märkning och redovisning av klimatavtryck eller offentlig upphandling. För att kunna skapa efterfrågan krävs dock att styrmedlet kan omfatta en tillräcklig andel av marknaden. Ett exempel på varor där styrmedel påverkar är cement eftersom en stor del av den svenska cementproduktionen används inom Sverige. Cementen används till betong inom infrastruktur- och byggprojekt som upphandlas offentligt. Det gör att krav på klimatprestanda inom offentlig upphandling kan driva efterfrågan på mer klimatvänlig cement. Till exempel arbetar Trafikverket, som svarar för många infrastrukturprojekt och är en stor användare av betong, redan idag med att ställa klimatkrav i sina upphandlingar. Däremot kan det vara svårt att via svenska styrmedel påverka efterfrågan på varor som handlas globalt, även om det kan finnas vissa möjligheter med mindre nischmarknader. Att samverka för EU-gemensamma styrmedel eller andra internationella samarbeten som till exempel internationella märkningar och standarder är alternativ för att påverka efterfrågan.

Styrmedel påverkar också förutsättningar för elektrifiering. Finansiering av forskning, utveckling och demonstration, till exempel Industrikivet och energiforskningsanslaget, bidrar till utveckling av de tekniker som krävs för att elektrifieringen ska ske. Det innebär också att risken minskar med dessa, ofta mycket stora, investeringar för företagen. Andra styrmedel som minskar risken med de stora investeringar som krävs är styrmedel som bidrar till finansiering av investeringarna, till exempel gröna kreditgarantier och lån från Europeiska investeringsbanken, EIB, som fått ett ökat klimatfokus. Även styrmedel utanför energi- och klimatpolitiken kan bidra till förutsättningarna för elektrifiering, till exempel utbildning som bidrar till att kompetent arbetskraft finns inom centrala områden.

Framväxten av storskalig batteriproduktion (Specifikt för batteriindustrin)

Många av de investeringar som ingår i scenarierna är existerande anläggningar som ställer om sin produktion från fossila insatsvaror till att använda el för att minska sina koldioxidutsläpp. Northvolts investering i storskalig batteriproduktion i Skellefteå är däremot en ny produktionsanläggning som är elintensiv. Det gör att drivkrafterna skiljer sig åt. För Northvolt (och annan storskalig batteriproduktion) handlar det om att elektrifieringen i sig innebär en kraftigt ökad efterfrågan på batterier, till exempel för elektrifierade fordon. För att tillfredsställa den nya efterfrågan så måste ny produktionskapacitet byggas. Elektrifieringen av samhället är alltså i sig själv en viktig drivkraft för tillverkning av batterier, som då i sin tur ökar elanvändningen genom produktionen.

Det finns också en stark politisk vilja att etablera och utveckla batteriproduktion, och alla delar av värdekedjan kopplat till den, i Europa. Det handlar bland annat om att man vill ta marknadsdelar och skapa en stark europeisk forskning och utvecklingsstruktur inom det man ser som en framtidsmarknad men där den europeiska produktionen idag är liten. En annan anledning är att stärka tillgången på batterier för bland annat den europeiska fordonsindustrin. Ett exempel på initiativ kopplat till batteriproduktion är partnerskapsprojektet European Battery Alliance och dess projekt European Battery Innovation, som är ett så kallat important projekt of common interest (IPCEI) där bland annat Northvolt deltar.

Det byggs storskalig batteriproduktion på flera platser i Europa. För Northvolts satsning i Skellefteå är tillgången på fossilfri el en konkurrensfördel, liksom bra infrastruktur, välutbildad arbetskraft och närhet till kunder som till exempel den svenska fordonsindustrin. Under avsnitt 7.3.3 beskrivs värdekedjan för batteriproduktion och dess möjligheter i Sverige närmare.

Själva batterifabriken som Northvolt bygger är bara en del av värdekedjan i batteriproduktion. När batteriproduktionen ökar så ökar också efterfrågan på material och underleverantörer behöver skala upp sin produktion. Bland annat har Kedali industry som producerar aluminiumbehållare och Shenzhen Senior Technology Material Co. annonserat nyetableringar kopplat till deras roll som leverantörer till Northvolts batteriproduktion.

Förbättrad arbetsmiljö i underjordsgruvor (Specifikt för gruvindustrin)

Inom delar av gruvindustrin skiljer sig drivkrafterna för elektrifieringen från många andra industrier. I underjordsgruvor behövs det ständigt ventilation när maskinerna drivs av förbränningsmotorer, vilket innebär att incitamentet för elektrifiering är stort redan idag. Kirunagruvan är som djupast 1 600 meter vilket ställer höga krav på ventilationen om förbränningsmotorer används. Att istället använda elmotorer innebär att koldioxiden från maskinerna försvinner, dessutom behöver inte luft värmas upp under vinterhalvåret. Ersätts gruvbranschens cirka 0,5 TWh dieselbränsle med el minskar utsläppen samt arbetsmiljön förbättras.

7.2.3 Utmaningar för elektrifiering av industrin

Många omvälvande förändringar i stora system skapar osäkerheter

Omställningen och elektrifieringen inom industrin drivs främst av att företagen bedömer att det är nödvändigt för att säkra sin framtida konkurrenskraft. Det är stora investeringar som behöver göras och för att varje enskild investering ska bedömas som lönsam är det många faktorer som påverkar, till exempel prognoser om framtida efterfrågan och försäljning, den framtida prisutvecklingen på el, andra insatsvaror och driftskostnader, investeringskostnaden, alternativa tekniker/reinvestering i nuvarande teknik, tajming som undviker/minskar kostnader för stranded assets, styrmedel och hur stabila styrmedlen uppfattas med mera. Förutsättningarna för konkurrerande företag är viktiga. Många svenska företag säljer sina produkter på världsmarknaden och konkurrerar därför direkt med företag som har produktion i andra länder. Det är möjligt att andra företag som ställer om till samma process optimerar den bättre, vilket leder till en konkurrensfördel för de andra företagen eller att helt andra tekniskspår än det företaget har satsat på visar sig vara det mest kostnadseffektiva. Kostnaderna för investering och drift för elektrifieringstekniken kan bli för hög relativt konventionella/alternativa tekniker. Det kan också vara så att andra processtekniska frågor som risk för processtörningar, effekter på produktkvalitet eller processtyrning påverkas negativt och investeringarna därför inte blir av.

Det finns idag en stark efterfrågan på produkter med låg klimatpåverkan. Det är dock möjligt att denna efterfrågan, speciellt kommande år, framförallt rör sig om en efterfrågan inom ett premiumsegment. Om konkurrenter hinner före med till exempel koldioxidfritt stål är det möjligt att denna efterfrågan mätts. Eftersom många svenska företag exporterar sina produkter så är de beroende av efterfrågeutvecklingen internationellt, inte bara i Sverige.

- **Järn- och stålindustrin.** Att vara först med att utveckla en teknik innebär stora kostnader utan garanterad framgång (first developer). Det är en risk att vara först men samtidigt är det också en risk om andra kommer först och mättar efterfrågan. Utvecklingen hos konkurrenter påverkar därför också den egna utvecklingen. Om andra är först med att lansera fossilfritt stål eller hittar billigare/mer effektiva tekniker för fossilfri produktion kan det förändra lönsamheten för elektrifieringsprojekten och till exempel innebära att konkurrenterna tar marknadsandelar. Riskerna kan också påverka till exempel möjligheterna att finansiera projekten.
- **Kemiindustri och raffinaderier.** Elektrifiering kan ha stora effekter på en processanläggnings totala energibalanser. Det är inte uppenbart hur man bäst utformar och integrerar det totala energisystemet, där elektrifiering (för industriella processanläggningar) ofta bara är en del av den nödvändiga övergången tillsammans med biobaserat råmaterial och bränsle, CCS och CCU, samt materialåtervinning. Vidare har elektrobränslen en stor potential men konkurrerar samtidigt med andra teknikspår som batterier, biobränsle, fossilt bränsle och vätgas när det kommer till transport av fordon.

Styrmedel behöver vara långsiktigt trovärdiga, ge rätt prissignaler och skapa förutsättningar för omställningen

Det är en utmaning att styrmedelsfloran behöver vara relevant, aktuell, tillgodose ett fullgott miljöskydd med mera, men samtidigt ge stabila förutsättningar, stödja och inte skapa onödiga hinder för omställningen.

Styrmedel som ökar kostnaderna för att använda fossila energivaror behöver ge långsiktiga och tillräckligt starka prissignaler. Styrmedel som ska bidra till att stärka efterfrågan eller skapa en marknad behöver också uppfattas som långsiktiga och ändamålsenliga. Annars finns en risk för att företag inte vågar lita på till exempel att koldioxidpriset kommer vara tillräckligt högt för att räkna hem elektrifiering.

Långdragna och osäkra tillståndsprocesser lyfts ofta av industrin som en stor utmaning. Det handlar både om tillståndsprövning kopplat till förändringar i industrins egna processer och kopplat till infrastrukturinvesteringar som krävs för investeringen. För en investering i elektrifiering kan det både röra sig om att företaget behöver förnyat/nytt miljötillstånd och att en ny elledning behöver byggas vilket också kräver en tillståndsprocess. Båda dessa processer behöver då alltså fullgöras och därefter investeringarna byggas innan den elektrifierade processen kan gå i full drift. Tajming av sådana processer kan skapa osäkerhet eller bromsa elektrifieringsinvesteringar. Osäkerhet i sig kring hur lång tid en process kommer ta eller vilka underlag som krävs, kan också öka en investerings uppfattade risk, bromsa investeringar och vara ett hinder för elektrifiering/klimat-omställningen.

Ytterligare en utmaning kopplat till styrmedel är att företag som verkar på en internationell marknad har konkurrenter som möter andra styrmedel och förutsättningar. Det är dock helheten som påverkar företagets respektive konkurrensförmåga och många faktorer ingår så som tillgång på råvaror och logistik, närhet till kunder och underleverantörer, priser på insatsvaror, alla styrmedel som företagen möter. Enstaka styrmedel har effekt på företagen, men det är viktigt att se på hela företagets situation när dessa frågor diskuteras.

Stigberoende kan bromsa omställningen

Det finns även olika typer av stigberoende inom industrin. Omställningen från en process till en annan kan ha högre kostnader just därför att det handlar om en ny process. Det kan handla om rent tekniska aspekter som att en ny process ännu inte är optimerad på samma sätt som en väl beprövad process, men också om exempelvis medarbetarnas uppbyggda kunskap. Detta kan utgöra ett hinder för omställning.

Processindustrin har långa investeringscykler, vilket historiskt har hindrat vissa byten från fossilbaserad teknik till andra alternativ. Dessa inlåsningseffekter kan vara av teknisk, institutionell och beteendemässig karaktär.¹²⁵ Detta är också ett troligt problem framöver. Här riskerar kostnaderna att öka vilket kan leda till att företag väljer att ha en kombination av gammal och i viss mån ny teknik under en tid framöver tills investeringar i gamla tekniker kan skrivas av. I första hand påverkar det när elektrifiering kan ske, men det är också tänkbart att det kan påverka omfattningen. Finns till exempel inte elektrifieringsteknik tillgänglig när en reinvestering måste ske faller valet på andra tekniker. Flera av de metoder för elektrifiering som idag är möjliga för svensk industri kräver ännu teknikutveckling. Teknikutveckling och implementering av ny teknik är viktig, i flera fall helt avgörande för utvecklingen i industrin.

- **Järn- och stålindustrin.** Att tekniken inom HYBRIT-projektet troligen kommer att byggas på en existerande anläggning innebär extra utmaningar. Att bygga på en existerande plats innebär att utvecklingen till viss del behöver anpassas till existerande byggnader, infrastruktur etcetera på platsen. Det kan göra det svårare att optimera de nya processerna jämfört med när en helt ny anläggning byggs. Samtidigt kan det finnas fördelar som möjligheter att fortsätta använda existerande infrastruktur, till exempel leverans av färdiga varor, som inte finns vid en ny anläggning.
- **Kemiindustrins och raffinaderiernas** fossila beroende är starkt kopplat till att fossila insatsvaror idag är billigare än dess förnybara motsvarighet. För att byta ut ångreformerad vätgas mot vätgas från elektrolys behöver det vara ekonomiskt gynnsamt för företaget. Idag finns det inte tillräckligt med incitament för att detta ska ske. Även inom denna sektor kommer mycket av elektrifieringen förmodligen ske på existerande anläggningar med optimerade processer. I till exempel Stenungssundsklustret är detta en potentiell utmaning på grund av befintlig processintegration mellan olika företag. Lokala förhållanden, såsom begränsat platsutrymme, kan också vara stora hinder för specifika elektrifieringsalternativ. För produktion av elektrobränslen är det till exempel viktigt att det finns tillgång till koldioxid, vatten, fossilfri el och nätkapacitet på samma plats.

Anslutning till elnätet

Att elektrifiera industrisektorn skiljer sig från de resterande sektorerna. Transportsektorn kommer sakta öka sin elanvändning bil för bil, det sker alltså en liten ökning kontinuerligt under en längre period. Industrisektorn som består av färre och större aktörer kommer ha en kraftigt ökad elanvändningen från i princip en dag till en annan. När ett företag ansöker om ett ökat eluttag från elnätet har företaget ofta kommit långt i investeringsbeslutsprocessen. Behöver elnätet förstärkas för att kunna hantera detta kan utbyggnaden av elnätet bli en flaskhals för företagets elektrifiering. På senare tid har det varit stort

¹²⁵ *Hinder för klimatomställningen i processindustrin*, ER 2019:20, Energimyndigheten.

fokus på anslutning till stamnätet, vilket gäller de större aktörerna, men de lokala och regionala elnäten är viktiga för lite mindre aktörer. En betydande fördröjning av investeringen på grund av elnätutbyggnad kan leda till att de företag som har möjlighet att välja alternativa platser väljer att investera på ett annat ställe där det finns ledig kapacitet eller att en investering inte genomförs. Att ha en säker tillgång till el är viktigt ur konkurrenskraftssynpunkt, läs mer i kapitel 4.

Kostnader för fossilfri vätgas och uppskalning av teknik

Fossilfri vätgas producerad med elektrolysörer är fortfarande dyrare än att producera fossilbaserad vätgas. Kostnaderna för elektrolysörer har dock minskat kraftigt och det bedöms fortsätta göra det framöver, se avsnitt 7.2.2. Den stora uppskalningen av marknaden för elektrolysörer som förutspås är en möjlighet för att pressa ned kostnaderna, samtidigt som det också är en utmaning att skala upp en marknad kraftigt på relativt kort tid. En otillräcklig utbyggnad av produktionen av sådan nödvändig utrustning skulle dels kunna hindra eller försena investeringar, dels kunna göra dem dyrare eftersom konkurrensen om dessa produkter då ökar.

Eftersom hållbarhetsfrågor är en anledning till att konvertera till (fossilfri) vätgas så är det viktigt att den produktion som byggs upp klassas som hållbar. EU-regelverk och taxonomi kommer att påverka detta. Energimyndigheten har ett regeringsuppdrag att ta fram förslag till en strategi för vätgas och elektrobränslen.¹²⁶ Strategin och de eventuella åtgärdsförslagen ska syfta till att underlätta för omställningen till fossilfrihet. Förslag till strategi ska levereras senast 25 november 2021.

Forskning, utveckling, innovation och kommersialisering krävs för utvecklingen av elektrifieringstekniker

Den utveckling som sker i scenarierna kräver att ny teknik utvecklas och kommersialiseras. Det handlar om utveckling som kräver stora resurser och det är inte säkert att projekten kommer att lyckas. Utöver ny teknik kan det även handla om att utveckla nya affärsmodeller, systemanpassningar etcetera. Om inte detta utvecklingsarbete sker, med lyckade resultat, så kommer inte teknikerna vara tillgängliga och investeringarna kan därför inte göras. En utmaning för en lyckad elektrifiering/klimatomställning är därför att det sker tillräckligt med forskning, utveckling och innovation för att ta fram de nya teknikerna etcetera som krävs och att de också implementeras kommersiellt.

Tillgång till finansiering, till exempel tillräckliga lånemöjligheter, är också ett måste för att investeringar i elektrifiering ska kunna ske. Om investeringarna inte kan finansieras eller finansieringen inte är tillräcklig kan det bromsa eller hindra utvecklingen.

Bristande tillgång på kompetens kan bromsa utvecklingen

De nya tekniker som implementeras i scenarierna kräver att det finns kompetent personal som kan utveckla, installera och sköta driften av dem. Delvis kommer nya kompetenser behövas och nuvarande kompetens kan behöva appliceras på ett nytt sätt. Om inte tillgång på kompetent personal finns kan det bli en begränsande faktor och hindra eller bromsa utvecklingen. Tillgång till kompetens omfattar inte bara utbildning och kompetensutveckling utan även att företag har möjlighet att rekrytera och anställa kompetent

¹²⁶ Uppdrag att ta fram förslag till en strategi för vätgas och elektrobränslen – Regeringen.se (hämtad 2021-09-01)

personal. Det innebär att även frågor som tillgång till bostäder, möjlighet till arbetspendling och infrastrukturfrågor som bredbandstillgång för arbete på distans är viktiga för kompetensförsörjningen.

Logistiska utmaningar inom elektrifieringen av gruvor

Sveriges gruvor är primärt lokaliserade i norra Sverige, flera ovanför den norra polcirkeln. Det arktiska klimatet kan innebära problem för elektrifieringen, framförallt under vinterhalvåret. Att ersätta det fossila bränslet med el i fordonen kan innebära en ökad risk eftersom batterier tenderar att fungera sämre i kallare miljöer och leveranssäkerheten fortfarande behöver vara hög även vid extrema temperaturer. Både arbetsmaskiner och transportfordon behöver kunna brukas när de behövs. Förutom att leveranskedjan behöver vara motståndskraftig mot kyla tar batterierna längre tid att ladda än dess fossila motsvarighet. Det ställer högre krav på logistiken för att inte delar av leveranskedjan ska behöva invänta batteriuppladdning.

Batteriproduktion är en helt ny verksamhet som ska byggas upp

Northvolt håller på och bygger upp en helt ny verksamhet. De behöver skala upp tekniken och skapa effektiva produktionsflöden. Att direkt satsa på så storskalig produktion som Northvolt gör innebär vissa risker, men genom att bygga ut produktionen i etapper har dessa risker delvis minskats. Eftersom det är en ny produktion så behöver Northvolt skapa ett nytt nätverk av underleverantörer, logistik, kunder osv.

Råvaruförsörjning pekats ofta ut som en speciell utmaning för batteriproduktion eftersom produktionen av vissa råvaror domineras av ett fåtal länder (utanför Europa). Northvolt arbetar också aktivt med att ta fram teknik för återvinning av batterier för att kunna använda återvunnet material i sina batterier. Här är det en utmaning att utveckla och skala upp tekniken samt skapa effektiva insamlingsystem för uttjänta batterier. Läs mer om återanvändning och återvinning av batterier i avsnitt 3.2.2.

7.2.4 Alternativa utvecklingsvägar

Utöver elektrifieringen finns alternativa utvecklingsvägar som kan bidra till att minska industrins växthusgasutsläpp. Dessa alternativa vägar kan både användas tillsammans med elektrifiering eller vara alternativ till elektrifiering. Elektrifieringen kan också ske på andra sätt än det som beskrivs i scenarierna i rapporten.

CCS kan komplettera eller delvis ersätta elektrifiering

CCS (Carbon capture and storage) är en alternativ utvecklingsväg där koldioxidutsläppen minskar genom att de fångas in och lagras. Det kan både komplettera den elektrifiering som beskrivs i högre elektrifieringsscenariot och vara ett alternativ till elektrifiering där elektrifiering sker för att minska koldioxidutsläpp. CCS kan också vara ett sätt att uppnå negativa utsläpp om det används för att fånga in biogena koldioxidutsläpp. Det är också möjligt att använda infångad koldioxid i industrin, till exempel vid produktion av elektrobränsle.

För att tillverka fossilfri vätgas krävs fossilfri el till elektrolysen. Men det finns andra sätt att producera vätgas som minskar utsläppen kraftigt. Detta kan ske genom ångreformerings av metan till vätgas och sedan applicera CCS på koldioxiden som blir en

restprodukt i processen. Denna typ av vätgasframställning kräver inte lika stor mängd el. Det behöver däremot finnas infrastruktur för att kunna hantera koldioxiden som ska lagras. Teoretiskt går det att uppnå negativa utsläpp med CCS om metanen som används till ångreformerings är biogen.

Inom järn- och stålindustrin däremot kan CCS vara ett alternativ till den elektrifiering genom vätgasreduktion som idag är huvudspåret för den svenska stålindustrin. Då skulle kol och koks fortfarande användas som reduktionsmedel, men utsläppen minskas genom att koldioxiden fångas in. I dagsläget finns inga planer på det i Sverige men det finns projekt internationellt som utvecklar sådan teknik.

Inom cementproduktion kan CCS bidra med en stor nytta. Den industriella process som sker för att producera cement genererar stora mängder koldioxid. För denna process kommer det krävas CCS för att nå nettonollutsläpp även om endast förnybara energikällor används i produktionen. Det kan därför vara ett alternativ att ha kvar den fossila andelen bränsle och sedan applicera en CCS-lösning som både fångar koldioxiden från den industriella processen och det fossila bränslet.

Energimyndigheten har uppdragits att vara nationellt centrum för avskiljning och lagring av koldioxid (CCS) samt att ta fram ett förslag till avtal som möjliggör export av koldioxid från svenska verksamheter för långsiktig geologisk lagring och som säkerställer att transport och lagring sker på ett säkert och ansvarsfullt sätt. Uppdraget ska redovisas senast 31 december 2021.¹²⁷

Biomassa kan också komplettera eller ersätta delar av elektrifieringen

Att använda biomassa istället för fossila energibärare och insatsvaror är ett annat sätt som industrin kan minska sina växthusgasutsläpp. Redan idag används biomassa i stor utsträckning inom främst massa- och pappersindustrin och trävaruindustrin. De branscherna utgår från träråvara i sina processer och använder därför också stora mängder interna biobränslen. Användning av biomassa skulle kunna minska utsläppen även i andra sektorer. Biomassan måste också finnas tillgänglig i rätt kvaliteter vilket kan vara en utmaning i mer krävande användningsområden.

Även inom stålindustrin kan biomassa vara ett alternativ i form av biokol. Biokol skulle kunna komplettera elektrifieringen eftersom det fortfarande kommer att behövas kol i ståltillverkningen för att kunna producera de egenskaper som krävs av stålet. Bränslen kommer att behövas även i framtiden så till exempel biogas kan bli en viktig energibärare i branschen. Företaget Höganäs undersöker om de storskaligt kan använda biogas, genom pyrolys av biomassa. Det är också möjligt att minska utsläppen från dagens masugnar genom att använda biokol och biokoks i dem. Det sker delvis redan idag i till exempel Brasilien.

En ökad användning av biomassa kan innebära en ökad konkurrens om råvaran mellan sektorer, både inom industrin och andra delar av samhället, och kan påverka andra miljömål.

¹²⁷ Uppdrag åt Energimyndigheten att vara nationellt centrum för avskiljning och lagring av koldioxid samt ta fram ett förslag till avtal – Regeringen.se (hämtad 2021-09-01)

En mer cirkulär ekonomi kan minska energi- och elanvändningen

En övergång till en mer cirkulär ekonomi kan påverka hela samhället, även energisystemet och elektrifieringen i scenarierna. En ökad återanvändning och återvinning kan förändra råvaruanvändning och innebära minskat behov av primära material, som till exempel cement och stål från järnmalm. Det kan påverka energianvändningen. Produktion av primära material är ofta energikrävande och flera av de elektrifieringsprojekt som ingår i industrin i det högre elektrifieringsscenariot rör sådan produktion. De nya elektrifierade processer som beskrivs i högre elektrifieringsscenariot innebär också att de processerna blir mer elintensiva jämfört med idag. En minskad produktion av dessa material skulle därför kunna minska industrins energi- och elanvändning. Resurs- och energieffektivitet är viktigt oavsett hur cirkulär ekonomin är. Se kapitel 3 för mer diskussion kring ekologisk hållbarhet.

Även resurseffektivitet i stort är viktigt för en cirkulär ekonomi, både genom att avfall återvinns och genom att resurser används så effektivt som möjligt i produktionen och att produktdesign möjliggör återanvändning och återvinning. Samverkan och industriella symbioser kan också vara viktigt, till exempel att överskottsvärme från vätgasproduktion tas tillvara inom industrin eller som fjärrvärme. En ökad resurs- och energieffektivitet kan gå hand i hand. Men en ökad resurseffektivitet innebär inte alltid en minskad energi- eller elanvändning. Det är till exempel möjligt att produkter behöver innehålla fler separata delar för att kunna separera och återvinna material och då kan det gå åt mer el för att tillverka dem. Så för enskilda delar av systemet kan energi- och elanvändningen öka även om systemet som helhet blir mer resurseffektivt.

En övergång till en cirkulär ekonomi kan också innebära att helt andra material, råvaror och produktionsprocesser används och helt andra varor och tjänster efterfrågas, vilket skulle omforma både industrin och energianvändningen ytterligare jämfört med högre elektrifieringsscenariot. Även andra förändringar i efterfrågan eller av vad som produceras i Sverige kan påverka energianvändningen.

7.3 Transportsektorns elanvändning

I detta avsnitt beskrivs drivkrafter för elektrifiering inom alla fordonssegment samt utmaningar för elektrifieringen inom sektorn. Även alternativa utvecklingsvägar som innehåller en lägre elektrifiering av sektorn beskrivs.

Sammanfattning

- I scenariot för högre elektrifiering minskar energianvändningen med över en tredjedel till 2050 och de fossila bränslena minskar kraftigt medan elanvändningen går från 3 TWh årligen till 28 TWh. I scenariot för lägre elektrifiering ökar elanvändningen till 20 TWh.
- Klimatomställningen driver på elektrifieringen inom sektorn. Detta kanaliseras bland annat genom utsläppskrav på nya bilar och andra styrmedel. Fordonstillverkare har också påbörjat stora satsningar på laddfordon, vilket ökar utbudet och skapar mer gynnsamma förhållanden för konsumenterna.
- Utbyggnad av laddinfrastruktur och uppskalning av värdekedjorna är utmaningar för elektrifieringen. I och med elektrifieringen av sektorn ändras tankningsinfrastrukturen i grunden, vilket kan skapa utmaningar för var och när fordon ska laddas, speciellt i städerna. Vidare bedöms elektrifieringen gå snabbt, vilket ställer krav på att hela värdekedjorna för laddfordon ska skalas upp för att möta behoven. Utöver detta finns det en naturlig tröghet i systemet på grund av utbytetakten för fordon.
- Andra fossilfria drivmedel så som vätgas och biodrivmedel eller ett mer transporteffektivt samhälle är möjliga alternativa vägar till laddbara fordon. I stor utsträckning bedöms dessa alternativ dock inte utesluta varandra, utan vara viktiga komplement.

Fakta och fördjupning

Om transportsektorn

Transportsektorn innefattar person och godstransporter och delas vanligtvis in i fyra olika trafikslag: vägtrafik, bantrafik, sjöfart och luftfart. Sjöfarten och luftfarten fördelas även mellan inrikes och utrikes transporter. Vägtrafiken står för den största energianvändningen inom transportsektorn och inom vägtrafiken utgör delsegmentet personbilstrafik den största energianvändaren.

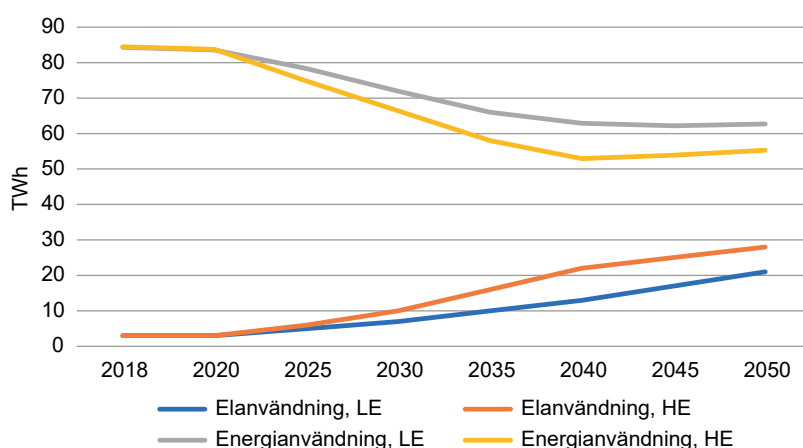
Basåret 2019 stod inrikes transporter för en energianvändning på omkring 83 TWh där vägtransporter stod för 77 TWh. Elanvändningen var knappt 3 TWh 2019 (där bantrafiken stod för 2,7 TWh och vägtrafiken för knappt 0,3 TWh).

7.3.1 Transportsektorns el- och energianvändning i scenarierna

I Lägre elektrifiering baseras fordonsflottans sammansättning på beslutade krav av EU-kommissionen på koldioxidutsläpp från nya fordon.¹²⁸ Kraven innebär att de genomsnittliga utsläppen från nya fordon som sätts på marknaden av fordonstillverkarna inte får överstiga en beslutad nivå och kan uppfyllas både genom elektrifiering och effektivisering av konventionella motorer. Andelen elektrifiering är störst hos personbilar, där andelen ökar från drygt 1 procent 2018 till knappt 60 procent 2050. Detta innefattar både elbilar och laddhybrider som framdrivs på både el och ett annat bränsle.

Scenariot Högre elektrifiering utgår från Trafikverkets scenario B, från rapporten Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter.¹²⁹ Trafikverkets scenario antar ett kraftfullare bonus-malus system (än dagens) som leder till att nya bilar minskar sina utsläpp med 50 procent till 2030 jämfört med 37,5 procent som är kravet inom EU i nuläget. Andelen elektrifiering hos personbilar ökar till 83 procent 2050. För tunga fordon antas en elektrifieringsgrad på 30 procent. Detta genererar omkring 2 miljoner laddbara personbilar, knappt 100 000 laddbara lätta lastbilar och omkring 5 000 laddbara tunga lastbilar till 2030.¹³⁰

Utvecklingen över el- och energianvändningen i transportsektorn visas i Figur 12.



Figur 12. Energi- och elanvändningen i transportsektorn 2018–2050, TWh, LE = Scenariot för Lägre Elektrifiering, HE = Scenariot för Högre Elektrifiering.

I båda scenarierna minskar energianvändningen inom transportsektorn. Denna minskning är främst en konsekvens av den ökade elektrifieringen av vägtransporter vilket i sig innebär en effektivisering då laddbara fordon¹³¹ använder mindre energi per sträcka

¹²⁸ *CO₂-krav för lätta fordon*: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/fakta-pm-om-eu-forslag/nya-co2-krav-for-latta-bilar_H506FPM33 (hämtad 2021-05-03)

CO₂-krav för tunga fordon: https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/fakta-pm-om-eu-forslag/co2-krav-for-tunga-fordon_H506FPM108 (hämtad 2021-05-03)

¹²⁹ *Scenarier för att nå klimatmålet för inrikes transporter*, 2020:080, Trafikverket

¹³⁰ Laddbara innebär rena elbilar och laddhybrider.

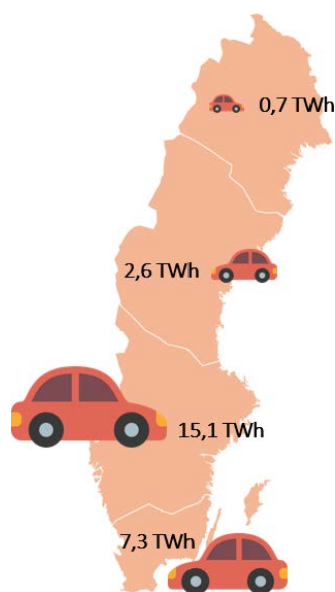
¹³¹ Laddbara fordon innefattar både helelektriska fordon och laddhybrider. Laddhybriderna kan framdrivas både på el och konventionellt bränsle och när de framdrivs på konventionellt bränsle innebär det ingen effektivisering jämfört med ett konventionellt fordon.

jämfört med konventionella fordon som framdrivs av flytande eller gasformiga drivmedel. Den största effektiviseringen och elektrifieringen sker fram till 2040, vilket är anledningen till att den största minskningen sker fram till dess. Därefter är en stor del av vägfordonsflottan elektrifierad vilket innebär att effektiviseringsvinsterna efter 2040 inte är lika stora.

I Högre elektrifiering ökar elanvändningen och hamnar på knappt 28 TWh 2050. Energianvändningen minskar i scenariot till 55 TWh till 2050.

I takt med att elanvändningen ökar i sektorn minskar även användningen av fossila bränslen där dock merparten av användningen inom sjöfarten och luftfarten fortsatt antas bestå av fossila bränslen. Biodrivmedelsanvändningen ökar fram till 2030 vilket är en konsekvens av reduktionsnivåer (som var aviserade vid scenariernas framtagande) inom reduktionsplikten för bensin- och diesel samt reduktionsnivåerna inom reduktionsplikten för flygfotogen.¹³² I Högre elektrifiering inkluderas detta vilket innebär att större andelar biodrivmedel blandas in i dessa drivmedel. Reduktionsnivåerna ökar dock bara till 2030 för att därefter antas konstanta vilket innebär att biodrivmedelsmängden därefter minskar i takt med en mindre efterfrågan på flytande drivmedel.

Elanvändningen är fördelad över landet som i Figur 13 och visar att den största elanvändningen enligt Högre elektrifiering sker i elområde 3 och att elanvändningen i övriga elområden är lägre.



Figur 13. Elanvändningen inom transportsektorn 2050 fördelad per elprisområde i scenariot för högre elektrifiering.

¹³² Promemoria Reduktionsplikt för bensin och diesel – kontrollstation, Reduktionsplikt för bensin och diesel – kontrollstation – Regeringen.se, I promemorian föreslås reduktionsnivåer fram till och med 2030. Efter framtagandet av scenarierna har prop 2020/21:180 Reduktionsplikt för bensin och diesel – kontrollstation 2019 beslutats. En skillnad i propositionen jämfört med det aviserade förslaget är att nu tillåts överföring av utsläppsminskning från diesel till bensin, vilket inte är med i scenarierna.

Osäkerheter inför framtiden

I scenarierna antas tillgången på infrastruktur, biodrivmedel och fordon vara obegränsad. I Högre elektrifiering ökar biodrivmedelsefterfrågan inom transportsektorn till 34 TWh 2030. Det innebär att det behöver finnas en tillgång på denna mängd biodrivmedel till transportsektorn för att detta ska vara en möjlig framtid. Tillgången på biodrivmedel påverkas både av den inhemska och globala produktionskapaciteten men också av konkurrensen om biomassan från andra sektorer inom Sverige och från andra länder. Likaså kräver den elektrifiering som sker i scenariot att infrastrukturen för att tillhandahålla denna el finns på plats vilket innebär att det krävs en utbyggnad av laddinfrastrukturen i Sverige samt att fordonstillverkarna har produktionskapacitet (inklusive batteritillgång) för att sätta den mängd laddbara fordon på marknaden som beskrivits ovan. Detta antagande görs i båda scenarierna.

Även trafikutvecklingen är en viktig osäkerhetsfaktor då scenarierna främst bygger på framskrivningar av historisk trafikutveckling kopplat till ekonomisk utveckling. Vägtrafikens trafikarbete ökar i scenarierna med knappt 40 procent över scenarioperioden där den största ökningen sker för lätta lastbilar. Större förändringar i synen på transporter och disruptiva beteendeförändringar som verkar för ett mer transporteffektivt samhälle finns således inte med i trafikutvecklingen. Trafikutvecklingen påverkar hur mycket energi som behövs för att genomföra de transporter som efterfrågas och påverkar därmed samtliga scenarier.

Andra studier över framtida utveckling

Det finns en rad andra studier rörande utvecklingen inom transportsektorn. Trafikanalys uppskattar nybilsförsäljningen av laddbara personbilar 2030 att uppgå till 60 procent.¹³³ Fossilfritt Sveriges färdplan för lätta fordon uppskattar andelen till mellan 30 och 80 procent av nybilsförsäljningen.¹³⁴ Scenarier från Trafikverket och Naturvårdsverket över den lätta fordonsflottan uppskattar att andelen elektrifiering av fordonsflottan kan vara mellan 30–45 procent för personbilar och 10–30 procent för lätta lastbilar 2030. I Högre elektrifiering består personbilsflottan av 40 procent laddbara fordon och lätta lastbilsflottan 14 procent laddbara fordon 2030. I Utfasningsutredningen¹³⁵, som kom under 2021, har två scenarier tagits fram där nya personbilar når nollutsläpp 2035 respektive 2030. Elektrifieringstakten i Högre elektrifiering är lägre än i Utfasningsutredningens scenarier.

För den tunga fordonsflottan gör Trafikanalys en uppskattning om att omkring 30 procent av försäljningen i Sverige 2030 består av laddbara fordon.¹³⁶ Den färdplan för tunga lastbilar som tagits fram inom Fossilfritt Sverige menar att denna andel kan uppgå upp till 50 procent.¹³⁷ Denna nybilsförsäljning motsvarar mellan 10–20 procent av tunga lastbilsflottan årligen fram till 2030. I första hand kommer troligtvis regionala godstransporter elektrifieras. I Högre elektrifiering antas en något försiktigare utveckling av tunga lastbilsflottan till fem procent 2030, efter 2030 sker dock en kraftigare elektrifiering av tunga lastbilsflottan.

¹³³ *Vägfordonsflottans utveckling till år 2030*, PM2020:7, Trafikanalys.

¹³⁴ *Fordonsindustrin – lätta fordon – Fossilfritt Sverige* (hämtad 2021-05-03).

¹³⁵ *SOU 2021:48, I en värld som ställer om – Sverige utan fossila drivmedel 2040*.

¹³⁶ *Vägfordonsflottans utveckling till år 2030*, PM2020:7, Trafikanalys.

¹³⁷ *Färdplan för tunga fordon BilSweden* (hämtad 2021-05-03).

7.3.2 Drivkrafter för ökad elektrifiering

Inom transportsektorn har elektrifieringen ökat snabbt de senaste åren. En starkt bidragande drivkraft till detta är styrmedel och regelverk som påskyndar elektrifieringen i syfte att nå nationella och globala klimatmål. Detta i sin tur leder både till ökat utbud av fordon och ökad konkurrens på dessa.

Utsläppskrav och andra styrmedel

Utvecklingen av laddbara fordon drivs inom de flesta fordonssegment inom vägtrafiken av styrmedel. Nationellt innefattar detta bland annat målet om minst 70 procent minskning av växthusgasutsläppen inom inrikes transporter (exklusive flyget) senast 2030 jämfört med 2010.

År 2020 var runt var tredje ny bil som såldes i Sverige laddbar vilket var den högsta andelen i EU.¹³⁸ Detta beror främst på EU:s krav som är formulerade som ökade CO₂-krav på fordonstillverkarens genomsnittliga försäljning av bilar.¹³⁹ Detta tillsammans med svenska styrmedel likt bonus-malus systemet¹⁴⁰ har lett till att en större mängd än EU-genomsnittet sålts till den svenska marknaden. EU-kraven på personbilar och lätta lastbilar kommer gradvis att skärpas ytterligare.¹⁴¹

Försäljningen av laddbara personbilar i Sverige påverkas också av nedsättningen av förmånsvärdet för till exempel laddbara bilar och bonus-malus systemet. Under 2021 ändrades dessa system¹⁴², vilket kan komma att påverka försäljningen. En faktor som sannolikt har en större påverkan på den svenska marknaden är huruvida andra EU-länder, framförallt stora länder med betydande fordonsflottor, väljer att utforma sina nationella incitamentsystem. Här har både Tyskland och Frankrike annonserat stödssystem för laddbara fordon vilket kan komma att påverka tillgången på laddbara fordon även i Sverige. Utbudet på kort sikt kan då minska i Sverige, medan det på lång sikt kan påverka fordonstillverkarnas planer på produktionskapacitet och då leda till ett ökat utbud.

Utvecklingen av styrmedel i andra länder och inom EU har således stor påverkan på utvecklingen av den svenska fordonsmarknaden. Ofta är marknaden i huvudsak regional, som inom EU och EES-området. Det gör att det kan vara svårt som enskild nation att avvika starkt från regionens allmänna utveckling. Exempel på viktiga globala fordonsmarknader där styrmedel och regelverk påskyndat elektrifieringen är, utöver EU, Kina och USA. Fokus är ofta på personbilar men i exempelvis Kina är elektrifierade stadsbussar en mycket mer utvecklad marknad än elektrifierade personbilar.

¹³⁸ *Market monitor: European passenger car registrations, January–December 2020* | International Council on Clean Transportation (theicct.org) (hämtad 2021-05-03).

¹³⁹ EU-kommissionen, CO₂ emission performance standards for cars and vans (2020 onwards) | Climate Action (europa.eu), (hämtad 2021-02-19).

¹⁴⁰ *Bonus-malus system för personbilar, lätta lastbilar och lätta bussar*. Bonus malus-system för personbilar, lätta lastbilar och lätta bussar – Transportstyrelsen (hämtad 2021-09-01).

¹⁴¹ Kraven på utsläppsminskning för nya lätta fordon är 15 procent 2025, vilket ökar till 37,5 procent 2030 och framåt jämfört med 2021. För tunga fordon är CO₂-kraven 15 procent 2025 och 30 procent 2030 jämfört med referensperioden 1 juli 2019 till 30 juni 2020. EU-kommissionen, Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles | Climate Action (europa.eu), (hämtad 2021-02-19).

¹⁴² Från 1 januari 2021 upphörde de tillfälliga extra nedsättningarna av förmånsvärdet för el-, laddhybrid- och gasbilar. Samma regler om nedsättning av förmånsvärdet för miljöbilar till det för motsvarande bil utan miljöteknik gäller då alla miljöbilar. Bilförmånsberäkningstjänsten tar hänsyn till detta automatiskt. För bonus-malus: 31 mars 2021 justerades nivån för att bilen åläggs med malus från 95 gCO₂/km till 90 gCO₂/km.

Ökat fordonsutbud och ökad konkurrens

Elektrifieringen av transportsektorn är ett område där det för närvarande sker betydande satsningar inom forskning, utveckling och lansering av nya produkter och tjänster. Det ökade marknadsutbudet och den ökade konkurrensen på fordon bidrar till mer gynnsamma förhållanden för användarna vilket i sin tur bidrar till en ökad efterfrågan av laddbara fordon.

Exempelvis kan det nämnas att stora bilföretag som Volkswagen och Volvo Cars tagit fram strategier om att övergå helt till eldrift. Volkswagen har angett 2050 som målfår för en fossilfri fordonsflotta medan Volvo siktar redan på 2030.^{143,144} Här är det dock viktigt att poängtera att Volvo producerar omkring 650 000 bilar årligen medan Volkswagens årsproduktion omfattar omkring 10 miljoner bilar.

Minskade utsläpp driver elektrifieringen inom fartyg, arbetsmaskiner och flygande farkoster

Elektrifiering sker idag även av fartyg, arbetsmaskiner¹⁴⁵ och i viss mån flygande farkoster där drivkrafterna liksom för vägfordonen också till stor del är minskade utsläpp. Utvecklingen går fort och kan till exempel påverka batterimarknaden. Statligt ägda Färjerederiet (Trafikverket) tog under 2019 sin sjunde elektriska färja i bruk¹⁴⁶ och har ett mål om att vara klimatneutrala 2045.¹⁴⁷ Elanvändningen inom inrikes sjöfart motsvarar dock i dagsläget endast en liten energimängd. I Högre elektrifiering står elektrifieringen av sjöfarten endast för 100 GWh 2050.

Dagens energianvändning inom inrikesflyget är relativt låg¹⁴⁸ och elanvändningen är idag obefintlig i Sverige, även om vissa forskningssatsningar finns som till exempel uppdraget Fossilfritt flyg 2045¹⁴⁹ där Energimyndigheten stödjer forskning på området. I Norge finns det tydligare målsättningar på området där man har ett mål om att alla inrikes flygresor ska ske med elflyg till 2040.

7.3.3 Utmaningar för elektrifiering inom sektorn

Elektrifieringen inom transportsektorn sker snabbt och drivs till stor del av styrmedel och andra incitament med fokus på att nå klimatmålen. För att elektrifieringen ska kunna uppnå den graden som beskrivits i scenarierna krävs dock att ett antal utmaningar och hinder blir lösta. Mycket av tekniken finns redan på plats och det handlar snarare om förbättringar som behöver göras för att underlätta vidare elektrifiering. Här finns en del faktorer som kan verka utmanande för elektrifieringen som omfattar bland annat laddning av fordon, batteritillgång, affärsmodeller och fordonsproduktionskapaciteten, vilket beskrivs vidare i detta avsnitt. För klimat- och energieffektivitet för fordon hänvisas till avsnitt 3.2.2.

¹⁴³ Slutet för förbränningsmotorn | Edit | Volvo Car Sverige (hämtad 2021-08-24).

¹⁴⁴ CO₂-neutral med Volkswagen ID. | Volkswagen Sverige (hämtad 2021-08-24).

¹⁴⁵ Arbetsmaskiners energianvändning ingår i industrisektorn respektive bostäder och service-sektorn.

¹⁴⁶ Färjerederiet, Färjerederiets årsrapport 2019, Årsrapporter Trafikverket Färjerederiet – Trafikverket (hämtad 2021-05-03).

¹⁴⁷ Omställning till fossilfrihet för statligt ägda fartyg – ett regeringsuppdrag, 2018:236, Trafikverket.

¹⁴⁸ Elflyg – början på en spännande resa, 2020:12, Trafikanalys.

¹⁴⁹ Fossilfritt flyg 2045 (energimyndigheten.se) (hämtad 2021-05-03).

Laddning av fordon

Tillgång på laddinfrastruktur

Den viktigaste laddningsplatsen är i regel den där fordonet parkerar mest. Ofta är detta ”hemma” eller ”på jobbet” (avser både arbetsplatsladdning och hemmaladdning för verksamhetsfordon). Hemmaladdning för verksamhetsfordon kan exempelvis vara sopbilar som laddas vid uppställningsplatsen när de inte är i drift. Sådan laddning beskrivs ofta som icke-publik då laddningsplatsen inte är allmänt tillgänglig utan i regel enskild. I nuläget sker ungefär 85–95 procent av laddningen av laddbara fordon vid icke-publika laddplatser.

Ofta beskrivs elbilen som en stadsbil då den minskar de lokala utsläppen i städerna och behovet av räckvidd troligen är lägre. En utmaning i städerna är dock att det är svårare och dyrare att etablera laddstationer på gatorna. Då det är en större utmaning att ladda sin bil för de som bor i lägenhet har EU tagit initiativ till en förändring av Direktivet om byggnaders energiprestanda.¹⁵⁰ Där införs det nu krav på att nya flerfamiljshus och lokaler som förses med mer än tio parkeringsplatser måste förbereda för laddning av laddbara bilar. Kraven gäller även vid vissa typer av renoveringar av befintliga flerfamiljshus och lokaler. Laddning på parkeringsytor vid sidan av gaturummet är i regel billigare och enklare att etablera under förutsättning att kostnaderna för parkeringsytorna i sig inte är för höga. De som bor i villa och har rådighet över sin egen parkeringsplats har oftast enklast att skapa möjligheter till laddning. Samma princip gäller för lastbilar, bussar och verksamhetsfordon där det beteende som dominerar är just hemmaladdning, även om det är viktigt att fortsätta följa hur laddningsmönstret utvecklas i takt med att andelen elektrifierade lastbilar och bussar ökar i samhället. I januari 2021 fick Energimyndigheten i uppdrag¹⁵¹ att analysera och föreslå åtgärder för bättre tillgång till laddinfrastruktur för hemmaladdning oavsett boendeform.

Möjligheten att enkelt kunna ladda för de som bor i flerfamiljshus, vare sig man har en parkeringsmöjlighet eller inte, är avgörande för hur stor marknaden för laddbara fordon blir. Detta gäller oavsett om bilen ägs av användaren eller är en bil i en delningstjänst. Speciellt avgörande är det hur stor del av marknaden som kan anordna en kostnads-effektiv laddningslösning.

Stöd för laddinfrastruktur

För privatpersoner finns det möjlighet att få skattereduktion för kostnaden för arbete och material vid installation av så kallad grön teknik. Det fungerar på liknande sätt som med rot- och rutavdrag, men är en egen skattereduktion.¹⁵² Bostadsrättsföreningar, organisationer och företag som vill installera laddpunkter som i huvudsak kommer användas av boende eller anställda kan söka bidrag hos Naturvårdsverket.¹⁵³

¹⁵⁰ Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda.

¹⁵¹ Uppdraget genomförs i samarbete med Boverket och Lantmäteriet och Sveriges Kommuner och Regioner ska ges möjlighet att komma med synpunkter. Uppdraget ska redovisas senast den 1 november 2021.

¹⁵² *Grön teknik*, Grön teknik – Privat | Skatteverket (hämtad 2021-10-11).

¹⁵³ *Ladda bilden*, Ladda bilen (naturvardsverket.se) (hämtad 2021-10-11).

Bidrag för investering i personbilsladdare som är öppna för vem som helst att använda, så kallade publika laddningsstationer, samt bidrag för att investera i laddningsplatser för andra fordonstyper såsom lastbil, båt, flyg etcetera oavsett om de är publika eller inte, kan sökas hos Naturvårdsverket genom Klimatklivet.¹⁵⁴

Regionala elektrifieringspiloter är ett nytt stöd från regeringen som kan gå till laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas. Det är, tillsammans med bland annat Klimatpremien, en del av regeringens satsning med att påskynda elektrifieringen av godstransporterna. Stödet hanteras av Energimyndigheten.¹⁵⁵

Trafikverket erbjuder investeringsstöd för utbyggnad av publika snabbladdstationer för laddfordon längs så kallade vita sträckor. Stödet gäller vissa platser i anslutning till större vägar som saknar snabbladdare. För att en vägsträcka ska vara vit ska den sakna likströmsladdning på 50 kW eller mer, och det ska vara mer än tio mil mellan befintliga snabbladdstationer.¹⁵⁶

Laddning tar tid

Laddningen av laddbara fordon tar längre tid än tankning av ett flytande bränsle. Det talas ofta om så kallad snabbladdning, men även den snabbaste snabbladdningen är 10–30 gånger långsammare på att överföra energi till fordonet än tankning av konventionella flytande bränslen.

Å andra sidan finns det möjlighet att ordna laddningsmöjligheter på många ställen där fordonet ändå parkerar. Eftersom laddningen kan ske oöväntat behöver inte fordonsanvändaren stå och vänta medan fordonet laddas utan kan använda tiden till att göra andra saker (äta, handla, vila, osv.). Snabbladdningen utvecklas successivt. På kort sikt kan det finnas lokala och regionala begränsningar i elnätet men de grundläggande begränsningarna i laddningshastigheten ligger främst hos fordonet (till exempel begränsar batterikemin hastigheten) och inte i överföringshastigheten från elnätet.

Omogen marknad för laddning

Att elbilen får sin energi från elnätet istället för en tankstation gör att mycket förändras. Exempelvis tillkommer många nya leverantörer av drivmedel till fordonen (el räknas som drivmedel) där fastighetsägare är ett tydligt exempel på leverantör som kan erbjuda laddning på fastigheternas parkeringsplatser.

För hushåll som inte har tillgång till egen parkeringsplats utan som i huvudsak parkerar på gatan kan drivmedelskostnaden bli väsentligt högre i relation till om laddningen sker via hemmaladdning. Den publika laddinfrastruktur som finns, till exempel på gatemark, har etablerats av marknadsaktörer som sin tur behöver ta ut ett högre pris för att få ihop sin affärsmodell. Detta kan medföra att den totala kostnaden (inklusive inköpskostnaden) att ha en laddbar bil i förhållande till en konventionell bil blir så stor att den utgör ett hinder när det gäller takten i omställningen.

¹⁵⁴ *Klimatklivet – stöd till klimatinvesteringar*, Klimatklivet – stöd till klimatinvesteringar (naturvardsverket.se) (hämtad 2021-10-11).

¹⁵⁵ *Regionala elektrifieringspiloter*, Regionala elektrifieringspiloter (energimyndigheten.se) (hämtad 2021-10-11).

¹⁵⁶ *Ansök om bidrag för snabbladdningsstationer för elfordon*, Ansök om bidrag till snabbladdningsstationer för elfordon – Trafikverket (hämtad 2021-10-11).

Marknaden för laddning är relativt ny och nya produkter och tjänster förväntas utvecklas. Några områden som diskuteras är till exempel sladdlös induktiv laddning och laddning som möjliggör att bilen kan föra över el till elnätet också i syfte att till exempel förstärka det lokala elnätets kapacitet. För den senare av dessa lösningar saknas idag standarder men arbete pågår och standard förväntas till 2025. Det kan innebära att investeringar i dagens laddningspunkter inte har så lång livslängd om annan teknik blir intressantare i framtiden. Det är viktigt att utbyggnaden av laddinfrastruktur bygger på ett marknadsbehov. Det måste finnas en (långsiktig) hållbar affärsmodell för att äga och driva laddpunkten. Utbyggnaden bör gå i takt med marknaden för fordon och dess teknikutveckling.

Marknaden för betallösningar är fortfarande under stark utveckling och det finns idag ingen tydlig branschstandard när det gäller betallösningar. En lösning som ser intressant ut för framtiden är att fordonet identifieras då det ansluts till laddningspunkten. Betalningen regleras via identifikationen vilket minskar behovet av speciella laddkort, appar eller kostsamma kortläsare.

Etablering och uppskalning av en ny värdekedja för fordon och batterier
Sedan 2019 har efterfrågan på laddbara personbilar överstigit tillgången i Sverige och väntetiderna för leverans av fordon har varierat mellan sex och tolv månader. Detta förhållande gäller även för stora delar av Europa. Styrmedlen, och den marknad de ger upphov till, tycks skapa ett underskott av fordon.

Batterier är en nyckel teknik för att elektrifiera transportsektorn. Den stora majoriteten litiumbatterier tillverkas idag utanför Sverige och EU. Kina är den största producenten följt av Sydkorea och Japan. Kina har även den största tillväxten i produktionskapacitet. I dagsläget är EU:s andel av den globala battericelltillverkningen cirka tre procent samtidigt som efterfrågan förväntas öka mycket snabbt globalt.¹⁵⁷

Att säkra tillgången till hållbart producerade batterier har blivit en geopolitiskt viktig fråga när det gäller att säkra batteriindustriens framtida konkurrenskraft och inom EU finns långt framskridna planer på flera storskaliga produktionsanläggningar där första redan är under byggnation. Enligt EU-kommissionen har EU:s medlemsstater en möjlighet att ta del av en global batterimarknad, varav enbart EU:s andel beräknas uppgå till 250 miljarder euro per år från 2025 och framåt. EU-kommissionen påtalar vikten av hållbarhet i hela batterivärdekedjan och som centralt i omställningen till ett fossilfritt samhälle (den Gröna given, råvarukommunikationen, handlingsplanen för cirkulär ekonomi och EU:s industristrategi).

Bloomberg genomför regelbundet en ranking över hur långt fram olika länder ligger i batterivärdekedjan. I dagsläget placerar sig Sverige på tionde plats och till 2025 bedöms Sverige klättra till plats fyra. Sverige anses här ha goda förutsättningar att utveckla en relativt sett hållbar batterivärdekedja. Energimyndigheten, tillsammans med Naturvårdsverket och Sveriges geologiska undersökning har tillsammans ett uppdrag¹⁵⁸ som syftar till att stödja utvecklingen av verksamheter i Sverige som kan

¹⁵⁷ European Commission, Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) 2019/1020.

¹⁵⁸ Uppdrag att utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier, uppdrag-om-myndighetssamverkan-for-batterier-till-energimyndigheten (regeringen.se) (hämtad 2021-10-11).

utgöra delar av en hållbar och konkurrenskraftig värdekedja för batterier i EU; från råvaruutvinning till produktion, till användning i fordon, elsystem och industri samt till återanvändning och återvinning.

Att konvertera fordonsflottan tar tid

Även om elektrifieringen av transportsektorn kan uppfattas som stark just nu är utbytetakt för personbilar på den svenska marknaden idag 16–17 år. Det finns idag inget som pekar på att utbytetakten skulle öka på grund av elektrifiering och därför relateras marknadsandelar för laddbara fordon på samma sätt som för till exempel dieselfordon. Det tar alltså tid att konvertera fordonsflottan. En tjänstefiering (övergång till affärsmodeller där konsumenten inte äger sin egen bil) av personbilsflottan kan teoretiskt påverka utbytetakten men det är osäkert exakt hur och mer studier behövs.

Utformning av styrmedel och minskade skatteintäkter

Laddbara personbilar har idag stöd vid inköp genom bonus-malus systemet. Marknadspriset blir på detta sätt lägre för nya såväl som för begagnade bilar. Som en effekt av detta, samt av växelkurs och styrmedel i andra länder, exporteras en del av de relativt nya laddbara fordonen till andra marknader. Det är en utmaning att formulera styrmedel som undviker detta.

Ytterligare en styrmedelsutmaning är det eventuella införandet av en avståndsbaserad och geografiskt differentierad vägskatt¹⁵⁹ istället för skatt på drivmedel. Intäkterna från drivmedelsskatter minskar för statskassan vid en ökad elektrifierad fordonsflotta. En bedömning från IVL menar på att en sådan förändring från drivmedelsskatt till vägskatt är tidskrävande att införa (7–12 år).¹⁶⁰ Beroende på om vägskatten är miljödifferierad eller ej kan detta påverka konkurrenskraften för laddbara fordon positivt eller negativt.

Transportsektorns påverkan på elnätets utveckling och anpassning

När transportsektorn elektrifieras sker det tillkommande behovet av el, i de flesta fall, inom befintliga elabonnemang. Här finns redan idag incitament att hushålla med effekt, dvs goda möjligheter och ekonomi i att styra effektuttaget.¹⁶¹ I de fall där fastighetens abonnemang inte räcker eller där det behövs nya abonnemang kan det kräva viss planering för nätbolaget.

Den procentuellt största ökningen av laster i elnätet kopplat till transportsektorn kommer att ske på lokalnätetsnivå då en stor del av laddningen av laddbara fordon kommer att ske i anslutning till människors hem. Det kan innebära att vissa lokala nät behöver förstärkas för att klara den ökade belastningen som användning av laddbara fordon kan innebära. Det är dock viktigt att detta inte frikopplas från andra anpass-

¹⁵⁹ Med en avståndsbaserad skatt betalas skatt på varje kilometer fordonet har drivits istället för den skatt som inkommer till staten via drivmedelsskatter.

¹⁶⁰ *Vägskatt för personbilar*, C469, IVL 2020.

¹⁶¹ De flesta har ett säkringsabonnemang dvs huvudsäkringarna är på 16A, 20A (ampere) eller mer. Läger man till en laddningsutrustning (eller många i ett flerfamiljshus eller lokal) måste man ibland antingen styra aktivt (manuellt eller automatiskt) eller så får man ”säkra upp”, dvs betala för en högre säkring. I regel är det billigare att styra än säkra upp om man gör det vid rätt tillfälle eller om styrmöjligheten redan finns i bilen. Men för i synnerhet flerfamiljshus och lokaler kommer man ibland till en gräns där man måste göra det ändå.

ningar som kan behöva göras på de lokala näten (vid utökad solelsproduktion, ökad bebyggelse etcetera) utan att man har ett helhetsperspektiv.

Utmaningarna på lokalnäten kommer generellt sett att bli mindre i bostadskvarter bestående av enfamiljshus (villakvarter) än i bostadskvarter bestående av flerfamiljshus. Detta eftersom det i kvarter bestående av flerfamiljshus oftare kommer krävas uppgradering av huvudsäkringarna för respektive fastighet vilket i sin tur kan leda till att lokalnäten också kommer att kräva förstärkning. Det kan även uppstå situationer där själva elbilsaddningen får plats i befintligt abonnemang men där den tillsammans med andra tillkommande laster (i närtid eller framtid) leder till att fastighetens huvudsäkring (och i vissa fall då även lokalnätets kapacitet) måste uppgraderas.

Vidare kan elektrifiering av tunga transporter kräva att elnäten förstärks på vissa strategiska platser där laddning av dessa fordon ska ske, så som depåer där laddning kan ske samtidigt som fordon lastas på eller av. Om en mycket snabb ökning av antalet laddbara tunga fordon sker med tillhörande utbyggnad av infrastruktur för detta kan det även ha påverkan på stamnät och regionnät. Idag finns studier som pekar på att det ofta är mer lönsamt att optimera användningen av fordon snarare än att optimera elnätet.¹⁶²

Störst ökning av elanvändning kommer främst att ske i de tre storstadsregionerna i Skåne, Stockholm och Västra Götaland. Skåne och Stockholms län har upplevt utmaningar med effektbrist som skulle kunna förvärras av en ökad andel laddbara fordon. Västra Götalands län har inte problem med effektbrist på regionnivå i dagsläget, men en stor ökning av antalet laddbara fordon skulle kunna leda till en effektbrist även här.

Huvudsakligen sker laddning av såväl personbilar som tunga fordon inom befintliga abonnemang inom bostads- och servicesektorn. I enstaka fall kan egna transportrelaterade abonnemang uppstå. Det finns flertalet studier som påpekar att laddningsmönstret, till exempel om privatpersoner laddar direkt när de kommer hem på eftermiddagen, kan vara utmanande för elnätet lokalt eller regionalt. Det finns också flertalet studier som pekar på att det finns goda styrningsmöjligheter som på så sätt kan undvika eller till och med helt avhjälpa eventuella problem för elnätet på grund av laddning. Hur stort problemet är och vad kan man i så fall göra för att minska detta på ett kostnadseffektivt sätt är inte klargjort. Det finns här ett behov av att studera laddfordons påverkan på elnätet i Sverige och ta reda på hur den nya elanvändningen sammanlagras sig med övrig elanvändning inom abonnemanget och vidare upp i elsystemet.

Transportsektorns möjligheter att vara flexibel och effekterna av det finns beskrivet i avsnitt 8.6.

7.3.4 Möjliga alternativa utvecklingsvägar

Utöver den elektrifiering som beskrivs ovan finns det även alternativa utvecklingsvägar som skulle kunna minska utsläppen inom transportsektorn och ske parallellt med elektrifieringen. Dessa innefattar bland annat förnybara drivmedel, vätagasens roll inom transportsektorn och ett ökat fokus på transporteffektivt samhälle. I regel bör inte dessa möjliga utvecklingsvägar betraktas som helt separata spår, utan de kommer sannolikt till viss del utvecklas parallellt.

¹⁶² Grauers, A. *Vad kommer laddinfrastruktur för storskalig introduktion av elfordon att kosta och hur kommer den användas?*, Transportforum 2020.

Fossilfria alternativ till elektrifiering

Förnybara drivmedel

Elektrifiering är en viktig pusselbit för att uppnå klimatmålen, men el som drivmedel samverkar även med tillgången/utbudet av förnybara drivmedel. Förnybara drivmedel som biogas, etanol eller HVO säljs idag för direkt användning i fordon med egen infrastruktur men förnybara drivmedel integreras också i bensen och diesel genom reduktionsplikten. Förnybara flytande och gasformiga bränslen är därför alternativ till laddfordon. För de flesta av dessa bränslen behövs mer eller mindre el till dess produktion. Den del av de förnybara drivmedlen som kallas biodrivmedel har dock i regel låg elintensitet vid produktion och om dessa tar stor marknadsandel minskar därmed elbehovet.

Vätgas inom transportsektorn

Bränslen som däremot kräver mycket el för produktion är elektrobränslen och vätgas. Dessa bränslen kan kräva mer el per kilometer körd sträcka med ett fordon jämfört med ett helt eldrivet fordon (med el från elnätet). För mer information om produktion av elektrobränslen och vätgas och dess miljöeffekter hänvisas till avsnitt 3.2.1 och avsnitt 7.2.

Vätgasfordon kategoriseras ofta som elektriska fordon, eftersom drivlinan är elektrisk. Utifrån ett infrastrukturperspektiv bör vätgas snarare liknas vid konventionella drivmedel som produceras och sedan tillhandahålls på tankstationer.

I scenarierna inkluderas ingen elanvändning för framställning av vätgas och elektrobränslen för användning i transportsektorn. Användningen av elektrobränslen och vätgas kan komma att öka elanvändningen i sektorn i jämförelse med om direktelektrifiering och batteridrift används. Flytande elektrobränsle, också kallat Power-to-Liquid (P2L), har fördelen att direkt kunna ersätta bensen, diesel eller fotogen och användas för förbränningsmotorer utan behov av större förändring i systemet. Däremot krävs det stora mängder el i tillverkningen av P2L vilket är en nackdel. För att uppnå samma effekt kommer användningen av dessa bränslen att kräva cirka fem gånger mer total elproduktion än vad som skulle krävas för att driva ett eldrivet fordon. För lätta fordon är batteridrift som erbjuder en well-to-wheel¹⁶³ på cirka 69 procent mycket effektivare än P2L med motsvarande well-to-wheel på cirka 13 procent.¹⁶⁴ Verkningsgraden för P2L kan förbättras genom att tillvarata värmeförlusterna i de olika omvandlingsprocesserna (från el till vätgasproduktion via elektrolys till elektrobränsleproduktion från vätgas och koldioxid till förbränning av elektrobränslet i förbränningsmotor) exempelvis genom systemintegration och systemdesignoptimeringar.

Samtidigt finns utmaningar med direktelektrifiering och batteridrift för vissa tyngre och längre transporter där framdrift med hjälp av vätgas eller elektrobränslen kan vara avgörande för att kunna ställa om transportsektorn. De största fördelarna med att använda vätgas i transportsektorn finns främst för tunga och långväga transporter inom väg och sjöfart samt för kommersiell vägtrafik längs rutter med hög och förutsägbar förbrukning. Flytande elektrobränsle med kemiska egenskaper liknande fotogen kan

¹⁶³ Well-to-wheel (WTW) används för att beskriva vilka delar i kedjan som tagits med i beräkningen av klimatpåverkan från drivmedel. WTW tar hänsyn till hela kedjan från produktion, distribution och användning av drivmedlet.

¹⁶⁴ The future cost of electricity-based synthetic fuels, Agora, 2018, Agora_SynKost_Study_EN_WEB.pdf (hämtad 2021-10-11).

vara ett alternativ för luftfart där batteridrift inte klarar effektkraven på grund av vikt- och volymbegränsningar. Samma sak gäller för sjöfart där elektrobränsle som e-metanol och ammoniak ses som tänkbara alternativ, bland andra, till fossila bränslen.

Bränslecellsbussar har demonstrerats och validerats i verkliga miljöer. Produktionskostnaderna har sjunkit avsevärt de senaste åren och kan fortsätta sjunka när volymerna ökar. På lätta fordonssidan har flera globala biltillverkare börjat kommersialisera vätgasfordon i vissa regioner i världen bland annat i Japan, USA, Europa och Kina. För tunga fordon pågår fortfarande teknikutveckling hos flera fordonstillverkare, men storskalig utbyggnad förväntas starta under de närmaste åren.

Likt fallet med batteridrivna laddfordon kräver spridning av vätgasfordon en samordnad utrustning av infrastruktur, i detta fall vätgastankstationer. Krav som ställs på tankstationernas kapacitet och tankningstryck beror på typ och antal fordon som behöver kunna tanka där. Infrastruktur för vätgasproduktion och distribution är kapitalintensiv och är svår att rättfärdiga utan klar och långsiktig syn på vätgasefterfrågan och politiska åtagande som behövs för att säkerställa marknadsintroduktion och etablering på sikt. Storskaliga installationer av tekniklösningen är nödvändig för att uppnå skalfördelar och minska kostnaden för slutanvändare. Att säkra en kritisk volym för vätgasefterfrågan är en viktig tröskel för infrastrukturinvesteringar, men bristen på kommersiellt tillgängliga vätgasfordon är en flaskhals för tillhandahållande av vätgasinфраstruktur globalt, om än i varierande grad.

I EU:s lagstiftningspaket Fit for 55 finns föreslagna mål för infrastruktur för tankning av vätgas i vägfordon (AFIR-förordningen).¹⁶⁵ Energimyndigheten har även ett pågående uppdrag att ta fram en övergripande strategi för vätgas och elektrobränslets roll i det svenska energisystemet, ett uppdrag som ska redovisas senast 25 november 2021.¹⁶⁶

Ökat fokus på ett transporteffektivt samhälle

I SOFT-samarbetets rapport Strategisk plan för omställning av transportsektorn till fossilfrihet¹⁶⁷ beskrivs möjligheten till måluppfyllnad inom de tre benen; transporteffektivt samhälle, energieffektivare och fossilfria fordon samt förnybara drivmedel. Elektrifiering av transportsektorn verkar främst inom benet energieffektiva och fossilfria fordon, men det är viktigt att denna utveckling sker parallellt med i första hand ett mer transporteffektivt samhälle för att minska efterfrågan på resurser i transportsektorn, och att den kompletteras med förnybara drivmedel. Oavsett drivlina är dagens transportsystem ofta resurskrävande per utförd transportarbete (dvs per person- eller tonkilometer). Bilar som drivs på el innebär minskade klimatpåverkande utsläpp men de ger fortfarande upphov till energiförbrukning och klimat- och miljöpåverkan under såväl användning som sin hela livscykel, om än mindre än för fossildrivna personbilar. Rekyleffekter kan också uppstå om eldrivna bilar ersätter resor som annars skulle gjorts med exempelvis gång-, cykel- och kollektivtrafik.

¹⁶⁵ Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council, EUR-Lex – 52021PC0559 – EN – EUR-Lex (europa.eu)

¹⁶⁶ Uppdrag att ta fram förslag till en strategi för vätgas och elektrobränslen – Regeringen.se (hämtad 2021-09-01).

¹⁶⁷ *Strategisk plan för omställning i transportsektorn till fossilfrihet*, ER 2017:07, Energimyndigheten.

I SOFT-rapporten definieras ett transporteffektivt samhälle som ett samhälle där trafikarbetet med energiintensiva trafikslag som personbil, lastbil och flyg minskar. Det kan ske både genom överflyttning till mer energieffektiva färdmedel och trafikslag och genom att transporter effektiviseras, kortas eller ersätts helt. Effektivisering kan exempelvis ske genom ökad fyllnads- och belägningsgrad i gods- och personfordon eller att transporter kortas genom exempelvis en mer tät och funktionsblandad bebyggelse. Ersättning av transporter kan ske via bland annat resfria möten eller förändrade arbetsätt och konsumtionsval.

Generellt innehåller många bedömningar idag basprognoser för trafikarbetsutveckling, det vill säga ingen styrning mot ett mer transporteffektivt samhälle. I Högre elektrifiering baseras trafikutvecklingen på historiskt samband mellan trafikarbete respektive transportarbete och den ekonomiska utvecklingen. Ingen styrning mot ett mer transporteffektivt samhälle sker således i detta scenario.

Åtgärder för ett mer transporteffektivt samhälle är det av benen som bidrar till flest miljömål genom exempelvis minskat buller, mindre luftföroreningar och minskad resursförbrukning samtidigt som det också bidrar till flera andra samhällsmål som förbättrad folkhälsa genom minskat stillasittande hos befolkningen och förbättrad fördelning av samhällets resurser. Tillväxt och konkurrenskraft gynnas genom exempelvis möjlighet till effektiviserade godsflöden och digitaliseringens möjligheter till helt nya affärsidéer för tillgänglighet. Tyvärr är det också det av benen där utvecklingen går långsammast enligt kontrollstationen för SOFT som genomfördes under 2020.¹⁶⁸ Där konstateras att trots att energiintensiteten per trafikslag minskar så motverkas detta av såväl ökat trafikarbete som ökat transportarbete. Det behövs med andra ord ytterligare styrning inom det området för att dämpa det långsiktiga el- och energibehovet inom sektorn. Potentialen inom området begränsas av att lagar, regler och policys inte i tillräcklig utsträckning gynnar marknaden för attraktiva, transporteffektiva och resurseffektiva lösningar för både gods- och persontransporter. Trafikanalys konstaterar bland annat i rapporten Skatter, avgifter och stöd inom transportområdet – slutredovisning att ”Incitamenten är lägst för att minska utsläppen genom mindre trafikarbete”.¹⁶⁹

Det är viktigt att komma igång med åtgärder och investeringar kring ett transporteffektivt samhälle snarast för att bidra till att klimatmålen ska kunna nås. Flera åtgärder och styrmedel för ett mer transporteffektivt samhälle har också lång genomförandetid i form av infrastrukturinvesteringar (även digitala) och fysisk planering av ny bebyggelse. Eftersom tidsperspektivet i denna rapport är 2050 så finns goda möjligheter för att åtgärder inom planering av bebyggelse och transportinfrastruktur ska kunna få tydlig effekt och därmed minska energi- och elbehovet inom sektorn.

Det finns bedömningar som visar på betydande potential för minskat trafikarbete för åtgärder som flyttar över trafik från bil till järnväg, sjöfart, cykel och andra färdmedel men samtidigt finns studier som visar på mindre inverkan. Många åtgärder kan dock ändå vara viktiga att genomföra på grund av andra positiva samhällseffekter.¹⁷⁰ För att styra mot ett mer transporteffektivt samhälle räcker det inte med enstaka styrmedel

¹⁶⁸ *Kontrollstation för Strategisk plan för omställning av transportsektorn till fossilfrihet*, ER 2020:03, s 22, Energimyndigheten.

¹⁶⁹ *Skatter, avgifter och stöd inom transportområdet – slutredovisning*, rapport 2018:15, s 10, Trafikverket.

¹⁷⁰ *Kunskapsunderlag om energieffektivisering och begränsad klimatpåverkan*, s 10, Trafikverket

utan det krävs en kombination av samverkande styrmedel av både ”push” och ”pull”-karaktär. Pull-åtgärder syftar till att ”dra” trafikanterna till att välja andra färdssätt genom att göra gång, cykel och kollektivtrafik mer attraktivt. Push-åtgärder syftar till att ”knuffa” trafikanter till andra färdssätt genom att göra bilen till ett mindre attraktivt alternativ.¹⁷¹

Ett transporteffektivt samhälle handlar till stor del om förändrande beteenden och marknadsorganisering bland alla samhällets aktörer. Dessa kan förändras både snabbt och långsamt utifrån hur styrmedel, policys och normer utvecklas, vilket gör det svårt att räkna fram en tydligt definierad potential. Denna svårighet understryker behovet av att utveckla effektbedömningar för olika policyåtgärder inom ett transporteffektivt samhälle. Om dessa policyåtgärder utformas för att gynna affärsmodeller och lösningar som bidrar till ett mer transporteffektivt samhälle kan elbehovet inom sektorn hållas nere.

Övergången till mer resfri tillgänglighet¹⁷² är ett annat exempel på något som kan påverka trafikarbetet relativt snabbt. Resfri tillgänglighet och digitala möten förväntas få en kraftig skjuts som en följeffekt av Coronapandemin. I ett första steg påverkar det främst arbetspendling och tjänsteresor men på sikt kan det även komma att påverka områden som undervisning, vårdkontakter med mera. Hur stor effekten blir på trafikarbetet är svårbedömd och det är också svårt att bedöma risken och storlek på rekyleffekter genom att fler exempelvis bosätter sig längre från jobbet eller ökar sitt fritidsresande. En sådan rekyleffekt kan givetvis motverkas ifall den fysiska planeringen generell i och kring tätorter och städer inriktas på transportsnål bebyggelseutveckling genom lokal tillgänglighet, närhet, funktionsblandning och täthet.

Ytterligare ett område där utvecklingen går snabbt är inom så kallad mobilitet som tjänst eller MaaS (Mobility as a service). Regeringens definition av mobilitet som tjänst är ”ett koncept där en resenär köper eller prenumererar på en kombination av möjligheter till mobilitet istället för, eller som komplement till, att köpa eller äga egna transportmedel”.¹⁷³ Det innefattar ofta bilpool, kollektivtrafik och olika former av mikromobilitet (till exempel elsparkcyklar). Globalt satsas inom detta område stora mängder riskkapital och nya tjänster som kombinerar olika aspekter av detta dyker ständigt upp och försvinner ibland lika snabbt. För att få genomslag måste förutsättningarna för marknaden förändras och marknaden i sig måste mogna. Bland annat måste tjänsterna kombineras med styrmedel som också försvårar för biltrafiken utifrån det tidigare resonemanget kring ”push” och ”pull”-åtgärder. Om det går att hitta en lösning, i samverkan med det offentliga, som ger samma känsla av trygghet och tillgänglighet som egen bil utan att du äger bilen eller använder bilen lika mycket så menar flera aktörer inom branschen att det finns chanser till ett relativt stort genomslag, framförallt i storstadsområden.¹⁷⁴

¹⁷¹ *Kartläggning av styrmedel som främjar omvandling av trafikleder i städer*, ISBN 978-91-620-6978-0, Naturvårdsverket (2021).

¹⁷² Exempelvis digital undervisning, resfria möten och digital vård.

¹⁷³ *Uppdrag att genomföra informations- och kunskapshöjande insatser inom områdena Mobilitet som en tjänst respektive Medborgar- och trafikantinformation för ökad trafiksäkerhet i vägtrafiken*, Regeringen, 2019, <https://www.regeringen.se/4a6629/contentassets/a5f8bd2411de477793ff6e7a6e73e667/uppdrag-att-genomfora-informations--och-kunskapshojande-insatser-inom-omradena-mobilitet-som-en-tjanst-respektive-medborgar--och-trafikantinformation-for-okad-trafiksakerhet-i-vagtrafiken.pdf> (hämtad 2021-09-01)

¹⁷⁴ *En kartläggning av den svenska mobilitet som tjänst-marknaden*, DI Mobility Insight #3 https://images.red.bbmbonnier.se/Web/BonnierBusinessMediaAB/%7Bd4fa2208-ed1f-4d92-9cf8-f7908663f97c%7D_mobility_insight_03.pdf (hämtad 2021-09-01)

Att få till en fungerade affärsmodell är en av de stora utmaningarna och det tvingar fram nya samarbeten mellan aktörer som inte alltid är vana att samarbeta med varandra. För att underlätta för nya affärsmodeller krävs även en ändrad marknadsdesign som gynnar resurseffektivitet och cirkularitet. Det krävs dessutom en förbättrad delning av och tillgång till data och infrastruktur.

Förutom att minska trafikarbetet och antalet fordon skulle en ökad tjänstekonsumtion av mobilitet teoretiskt kunna underlätta för att skapa flexibilitetsmarknader i elsystemet. Om färre äger sina egna fordon kan tjänsteföretaget som äger många fordon sannolikt lättare bygga in flexibilitetstjänsten som en del i sin affärsmodell. Men det kräver att trygghet och tillgänglighet för kunden ändå kan garanteras och när varje fordon genom delning används mer kan det lika gärna riskera att skapa sämre förutsättningar för flexibilitetstjänster, särskilt på längre sikt kombinerat med självkörande fordon.

Utan förändrade styrmedel och incitament skulle utvecklingen för mobilitet som tjänst och delad mobilitet kunna göra att personer som i nuläget inte nyttjar bil får en ökad tillgång till bil, detta utan att vi samtidigt får till den önskade överflyttningen av andra bilägande grupper. Ett sådant scenario skulle verka i motsatt riktning och snarare öka trafikarbetet. Det behöver också utvecklas fler tjänster som fokuserar mer på villaområden och landsbygden för att verkligen få stor effekt på trafikarbetet.

Autonoma fordon

Autonoma fordon, eller självkörande fordon, är en annan utvecklingsväg som kan komma att påverka transportsektorn och ske parallellt med elektrifieringen. Redan idag genomförs tester på många områden i världen, exempelvis genomför Scania och Nobina tester med självkörande bussar i Stockholm. Även Volvo har olika satsningar på automation.¹⁷⁵ Autonoma fordon är sannolikt elektriska och dessa kan få nya ladd- och körmonster jämfört med idag. Autonoma fordon har möjlighet att vara delade på olika sätt i större utsträckning än fordon är idag. Detta beror på att fordonet på egen hand kan förflytta sig till platsen där behovet finns. Ett och samma fordon kan täcka ett större geografiskt område och samtidigt bidra till en bättre tillgänglighet jämfört med ett parkerat fordon som användaren ska ta sig till.

Autonoma fordons inverkan på trafikarbetet är oklar i nuläget. Det finns mycket som talar för att det kommer att öka trafikarbetet om inte det offentliga tydligt styr användningen utifrån en målbild av hur transportsystemet ska fungera. Går det att styra så att autonoma delade fordon kompletterar och kopplar ihop starka kollektivtrafikstråk och satsningar på gång, cykel och mikromobilitet så kan det få dämpande effekt på trafikarbetet. Om autonoma fordon släpps helt fritt riskerar de däremot att konkurrera ut kollektivtrafiken genom att vara ett bekvämare alternativ och möjliggöra längre pendlingsresor. Fullt automatiserade fordon riskerar även att öka trängseln i städerna genom söktrafik kopplat till parkering.

¹⁷⁵ Fokus på automation | Volvo Group, Volvo Cars skapar en självkörande testflotta tillsammans med DiDi, världens ledande transportteknikplattform – Volvo Car Sverige AB Newsroom (hämtad 2021-10-11)

7.4 Bostads- och servicesektorns elanvändning

I detta avsnitt beskrivs drivkrafter för utvecklingen samt utmaningar för elektrifieringen inom bostads- och servicesektorn och alternativa utvecklingsvägar som innehåller en mindre elektrifiering av sektorn. Den här sektorn skiljer sig till viss del från de andra användarsektorerna då användningen av fossila bränslen är låg och behovet av elektrifiering inte är lika stort.

Sammanfattning

- I scenariot för högre elektrifiering ökar elanvändningen till 83 TWh 2050 från 74 TWh 2019, där merparten av ökningen kommer från etablering av datacenter. I scenariot för lägre elektrifiering ökar elanvändningen till 79 TWh 2050.
- Drivkrafter bakom etablering av datacenter i Sverige är bland annat fossilfri el, hög leveranssäkerhet och låga elpriser. De låga elpriserna kan också vara en drivkraft bakom en ökad elektrifiering av uppvärmning inom bostäder och service.
- Styrmedel så som byggregler och ekodesignkrav dämpar elanvändningen inom sektorn.
- En möjlig alternativ utvecklingsväg är att värmepumpar blir mer konkurrenskraftiga och att det således blir en stor övergång från andra uppvärmningsätt.

Fakta och fördjupning

Om sektorn bostäder och service med mera

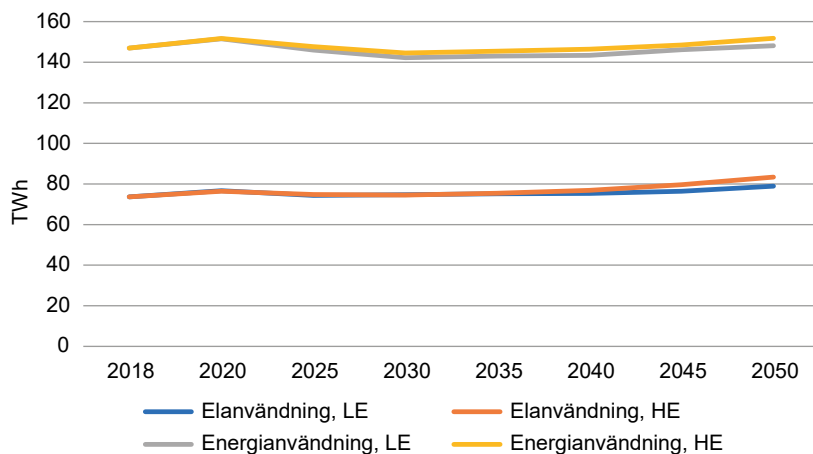
Sektorn består av hushåll, service, areella näringar och byggsektorn. Areella näringar inkluderar fiske, jordbruk och skogsbruk. I servicesektorn ingår även datacenter som potentiellt kan få en stor påverkan på den framtida energianvändningen i sektorn.

Hushållen står för 60 procent av sektorns energianvändning, service för 30 procent, areella näringar för 7 procent och byggsektorn för 2 procent. Energi för uppvärmning och till varmvatten i bostäder och lokaler står för cirka 55 procent av sektorns energianvändning. Detta varierar mellan olika år eftersom energianvändningen för uppvärmning påverkas av utomhustemperaturen. Energianvändning för hushållsel och driftsel är den näst största posten med cirka 30 procent. Resterande del går till olika arbetsmaskiner för jordbruk, skogsbruk och byggverksamhet.

Den slutliga energianvändningen i sektorn uppgick 2019 till 144 TWh. Elanvändningen för 2019 var 74 TWh.

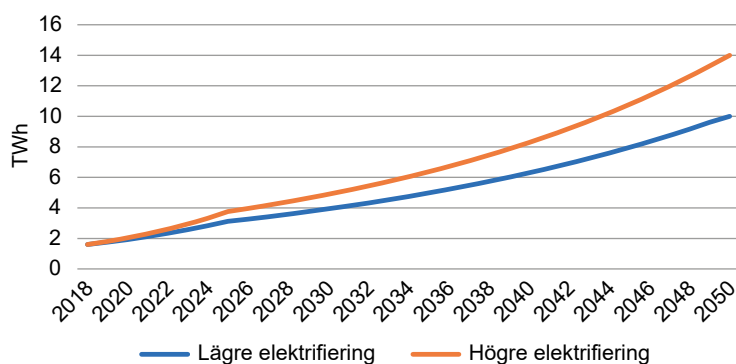
7.4.1 Bostads- och servicesektorns el- och energianvändning i scenarierna

Figur 14 visar utvecklingen över energi- och elanvändning i bostads- och servicesektorn.



Figur 14. Energi- och elanvändning i bostads- och servicesektorn 2018–2050, TWh, LE = Scenariot för Lägre Elektrifiering, HE = Scenariot för Högre Elektrifiering.

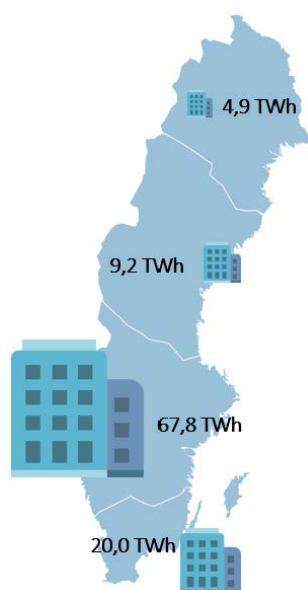
Den viktigaste skillnaden mellan scenarierna är att elanvändningen för datacenter skiljer sig åt se Figur 15. För Lägre elektrifiering antas elanvändningen för datacenter uppgå till cirka 10 TWh 2050. För Högre elektrifiering ökar elanvändning till knappt 14 TWh för datacenter till 2050.



Figur 15. Elanvändningen för datacenter 2018–2050.

I Lägre elektrifiering ökar elanvändningen från 74 TWh till 79 TWh 2050. Användningen av hushållsel/fastighetsel/verksamhetsel och el till datacenter gör att elanvändningen ökar, medan konverteringar från direktverkande el till andra uppvärmningssätt gör att elanvändningen minskar. Elanvändningen för uppvärmning och varmvatten halveras nästan i scenarierna. Det sker även en liten del elektrifiering av arbetsmaskiner som påverkar elanvändningen. Energianvändningen i Lägre elektrifiering är 148 TWh 2050. Högst blir den slutliga energianvändningen i Högre elektrifiering, på 152 TWh 2050, där en större utbyggnad av datacenter genomförs i Sverige. Elanvändningen i Högre elektrifiering landar på 83 TWh 2050.

Fördelningen av elanvändningen över Sverige kan ses i Figur 16. Störst är elanvändningen i SE3, vilket till stor del beror på den stora befolkningmängden här.



Figur 16. Elanvändning 2050 inom bostads- och servicesektorn fördelat per elprisområde i scenariot för högre elektrifiering.

Andra studier över utvecklingen för datacenter

I Energimyndighetens scenarier som ligger till grund för denna rapport ökar elanvändningen kopplad till datacenter med 8–12 TWh till 2050.¹⁷⁶ Det finns flera andra rapporter som undersökt utvecklingen för datacenter. En av dem från 2020 uppskattar den totala elanvändningen i Sverige av befintliga datacenter till 2,4 TWh på årsbasis eller en medel-effekt om 276 MW.¹⁷⁷ Enligt samma rapport bedöms elanvändningen nästan dubbleras till 2025. En studie av konsultbolaget COWI har bedömt att det finns en marknad att investera motsvarande elkapacitet på 280–580 MW för datacenter per år i de nordiska länderna fram till 2025.¹⁷⁸ Vid ett antagande att de fördelas jämnt mellan de fem nordiska länderna så blir det cirka 56–116 MW (cirka 2,5 till 5 TWh) per år i Sverige de närmsta åren.

Konsultbolaget Sweco prognostiserar ett tillskott till elanvändningen på 5–10 TWh till 2045 på grund av utbyggnad av datacenter.¹⁷⁹ Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA) bedömer samtidigt att, i tidsperspektivet 2030–2050, datacenters elanvändning kan öka med upp till 10 TWh.¹⁸⁰ Sammantaget ligger dessa rapporter således på samma storleksnivå som i Energimyndighetens scenarier.

¹⁷⁶ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER2021:6, Energimyndigheten.

¹⁷⁷ *Datacenter i Sverige 2020-2025*, Radar 2020.

¹⁷⁸ *Temaanalyser om Store Datacentre*, Cowi, 2018.

¹⁷⁹ *Sweco summerar elmarknadsåret 2019 och tar en titt i kristallkulan*. https://www.sweco.se/nyheter/press/_2019/sweco-summerar-elmarknadsaret-2019-och-tar-en-titt-i-kristallkulan/ (hämtad 2021-01-29).

¹⁸⁰ *Fem vägval för Sverige*, 2016, IVA.

7.4.2 Drivkrafter för ökad elektrifiering/elanvändning

Utbyggnaden av datacenter drivs av digitalisering, uppkopplade apparater och beräkningstunga tjänster

Efterfrågan för tjänster från datacenter¹⁸¹ växer just nu exponentiellt i hela världen. Totalt antal internetanvändare i världen förväntas öka från 3,9 miljarder människor 2018 till 5,3 miljarder 2023.¹⁸² Drivkraften bakom en ökad elanvändning från datacenter i Sverige, precis som i resten av världen, är digitaliseringen, uppkopplade apparater och nya beräkningstunga tjänster som tillkommer. Allt detta tillsammans genererar mer data. Datacenter använde världen över 200 TWh el 2019, vilket motsvarar ungefär en procent av det globala elbehovet.¹⁸³

Lokalisering av datacenter i Sverige drivs av klimatomställningen och stabila förutsättningar

Datacenterbranschen är relativt ny och växer idag kraftigt. Samtidigt blir omvärlden mer angelägen om att lösa klimatproblemen och efterfrågan på klimatsmarta lösningar ökar. Detta gör att vissa företag väljer att placera sina datacenter i länder med mindre koldioxidintensiv el som en del av sin hållbarhetsstrategi. Elanvändningen släpper i många länder ut tiotals gånger mer koldioxid per producerad kWh än i Sverige, vilket gör Sverige till ett attraktivt land för placering av datacenter. Andra faktorer som gör placering av datacenter i Sverige gynnsamma är lägre elpriser och lägre energiskatt¹⁸⁴ jämfört med andra länder, hög leveranssäkerhet, politisk stabilitet, låg risk för att utsättas för kriminalitet som till exempel vandalisering, kallare klimat som minskar behovet av eldriven kylning, tillgång till kompetent arbetskraft och mindre risk för naturkatastrofer som till exempel jordbävningar, bland annat.

I nuläget finns planer på etablering och genomförda etableringar både i norra Sverige och i området kring Mälardalen. Intresset för norra Sverige kan delvis drivas av att Facebooks etablering i Luleå varit framgångsrik och gett ringar på vattnet. Bland annat har Nodepole¹⁸⁵ i Luleå bildats, som hjälper energiintensiva företag, bland annat datacenter, att etablera sig i Sverige. Området kring Mälardalen är attraktivt genom närheten till Stockholm, på grund av att vissa kunder har särskilda behov av kort latenstid.¹⁸⁶

Sektorn har en nyckelroll för elektrifiering inom andra områden

Sammantaget är drivkraften för en ökad elanvändning begränsad från tillkommande nybyggnation och förändringar av befintligt byggnadsbestånd. Samtidigt som ökad befolkningsmängd och nybyggnation ökar elanvändningen så sker effektiviseringar som minskningar elanvändningen. Exempelvis äger hushållen allt fler elapparater, men eftersom apparaterna blir alltmer energieffektiva och att de byts ut successivt

¹⁸¹ En datahall eller ett datacenter avser ett rum eller en byggnad avsedd att inrymma serverdatorer och deras kringutrustning.

¹⁸² *Cisco Annual Internet Report, 2018–2023*, Cisco.

¹⁸³ Masanet, E. et al. (2020). *Recalibrating global data center energy-use estimates*, Science, 367(6481), 984-986.

¹⁸⁴ Sänkning av energiskatten för vissa datacenter till 0,5 öre/kWh (som för elintensiv industri) som infördes 2017 varit gynnsam för området.

¹⁸⁵ *Node Pole* <https://www.nodepole.com/> (hämtad 2021-01-29).

¹⁸⁶ Latenstiden anger hur lång tid det tar att skicka data från ett ställe till ett annat, och brukar mätas i millisekunder.

behöver det inte nödvändigtvis leda till ökat elbehov. Läs mer om drivkrafterna för energieffektivisering i avsnitt 7.4.3.

En drivkraft för ökad elanvändning inom sektorn är om elpriset blir så lågt att det stärker värmepumparnas konkurrenskraft gentemot andra uppvärmningssätt och energieffektivisering. En drivkraft för ökad elanvändning på detta område kan då också vara om egen soletproduktion kan användas för kyla eller uppvärmning i det egna hushållet.

För elektrifieringen i stort har dock sektorn en nyckelroll när det gäller att möjliggöra elektrifieringen av transportsektorn, flexibel elanvändning och ny soletproduktion. Mycket av den laddning av elbilar som kommer att ske i framtiden sker i anslutning till byggnaderna i denna sektor. Transportsektorn beskrivs mer under avsnitt 7.3. Bostäder och lokaler identifieras även i denna rapport som ett område där stor potential för efterfrågeflexibilitet finns, framförallt genom styrning av elbaserade uppvärmningssystem. Detta går att läsa mer om i avsnitt 8.7. Vidare kommer en stor mängd av produktionen från solet att vara kopplad till denna sektor och sektorns kopplingar till övriga elsystemet ökar således i betydelse.

7.4.3 Faktorer som kan verka dämpande på ökad elanvändning och elektrifiering

Energieffektiviseringar och beräkningseffektiviseringar dämpar ökningen av elbehovet för datacenter

Elanvändningen växer globalt sett för datacenter, men inte i samma takt som mängden data som genereras.¹⁸⁷ Det här förklaras av att effektiviteten i energianvändningen ökar. Trenden går mot att många företag outsourcar sin serververksamhet till olika molntjänster och liknande. Det innebär stora effektiviseringar jämfört med servrar in-house genom stordriftsfördelar och möjlighet till anpassning av klimat specifikt för serverna. In-house-servrar kommer dock inte att försvinna, utan har en fortsatt viktig roll för företag, men också för edge-computing.¹⁸⁸ Generellt kan det nog antas att den exponentiella data-tillväxten globalt, på grund av digitaliseringen som sker och allt fler uppkopplade apparater och nya beräkningstunga tjänster som tillkommer, inte kommer att leda till samma exponentiella ökning av elbehov i datacenter.

Avsaknaden av goda anslutningsmöjligheter för överföring av data och lokal kapacitetsbrist i elnätet kan begränsa utbyggnaden av datacenter

Internationell sammankoppling för överföring av data är en viktig faktor för datacenters utveckling. Sverige har mindre internationella sammankopplingar jämfört med andra europeiska länder som Tyskland, Storbritannien, Frankrike och Irland där datacenterindustrin hittills framförallt etablerat sig. Dock finns det planer på utbyggnad av nya kablar från Norden till USA och Europa, samt kablar via polartrakten till Kina som skulle kunna förkorta latenstiden till Asien med hälften, vilket skulle attrahera fler investeringar för nya datacenter i Sverige.

¹⁸⁷ *Data centers and data transmission networks*, IEA, <https://www.iea.org/reports/tracking-buildings/data-centres-and-data-transmission-networks> (hämtad 2021-01-29).

¹⁸⁸ Edge-computing innebär att bearbetning av data sker ”i kanten av nätverket” på uppkopplade enheter i det lokala nätverket istället för centralt på servrar. Denna teknik kommer att vara viktig bland annat i IoT-sammanhang.

Lokala kapacitetsbrister i elnätet kan också innebära att det blir svårt att ansluta nya datacenter i vissa delar av Sverige. Datacenters vidareetablering i södra Sverige, framförallt runt storstäderna, kan kräva kapacitetsökningar i lokala elnät, vilket medför risker för investeringars tidsplan och kan dämpa utvecklingen.

Minskad boyta per person minskar elanvändningen

Befolkningsutvecklingen driver normalt sett behoven av ökade ytor både för bostäder och service. Om vi i framtiden däremot lever på mindre ytor för att öka resurseffektiviteten och anpassning till ökad urbanisering samt stigande bostadspriser kommer det att krävas mindre el för uppvärmning och omvänt. Enligt en rapport av Skanska, som bygger på data från Statiska Centralbyrån, så har snittstorleken på en och två-rumslägenheter minskat sedan 1980-talet.¹⁸⁹ I samma rapport presenteras en undersökning där det framgår att fyra av tio svenskar och varannan stockholmare tror att det kommer vara fler som bor i ännu trängre boendemiljöer än så i framtiden. Något som kan tala emot den utvecklingen är corona-pandemins långsiktiga effekter på arbetslivet. Blir det mer accepterat att jobba hemifrån kan det dels leda till ökad efterfrågan på boyta för kontorsplats, dels blir behovet att bo i nära anslutning till jobbet inte lika viktigt. Detta kan då även leda till minskad efterfrågan på kontorsytor i kommersiella lokaler.

Ekodesignkrav minskar elanvändningen från bland annat hushållsapparater
Ekodesigndirektivet sätter minimikrav på energiprestanda hos produkter och förbjuder de mest energi- och resurskrävande produkterna på EU-marknaden.¹⁹⁰ Ekodesigndirektivet trädde i kraft 2005 och implementerades i Sverige genom lagen om ekodesign som trädde i kraft 2008. Direktivet revideras sedan 2009 och utökades då från att gälla energianvändande produkter, till att gälla för alla energirelaterade produkter, som till exempel kranar och fönster. EU-kommissionen räknar med att de hittills beslutade ekodesign- och energimärkningskraven sparar 537 TWh el per år inom EU 2020. EU planerar att revidera ekodesigndirektivet som en del av sin nya handlingsplan för den cirkulära ekonomin som annonserades under 2020.¹⁹¹

Byggregler och energideklarationer minskar energianvändningen i framför allt nya byggnader

Byggreglerna bestämmer hur hög energianvändningen maximalt får vara i nybyggnation och ombyggnad. Byggreglerna har succesivt skärpts de senaste 15–20 åren. Reglerna ställer tre olika krav för att byggnaden ska ha god energihushållning, begränsad elanvändning, vilket inkluderar ett sammanlagt effektkrav på elektriska apparater för uppvärmning och tappvarmvattenproduktion samt ventilation, och tillräcklig värmeisolering. 2020 gav regeringen Boverket i uppdrag att i samverkan med Energimyndigheten utreda och föreslå kompletterande energikrav för byggnader. I uppdraget ingår även att utreda om det finns behov av att komplettera byggreglerna med ett krav för solvärmelast för att

¹⁸⁹ *Bostadsrapporten 2030 – en rapport om framtidens hem*, Skanska, 2020.

¹⁹⁰ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2009/125/EG av den 21 oktober 2009 om upprättande av en ram för att fastställa krav på ekodesign för energirelaterade produkter.

¹⁹¹ MEDDELANDE FRÅN KOMMISSIONEN TILL EUROPAPARLAMENTET, RÅDET, EUROPEISKA EKONOMISKA OCH SOCIALA KOMMITTÉN SAMT REGIONKOMMITTÉN En ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin För ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa COM/2020/98 final.

minska kylbehovet. Solvärmelast är den värme som tillförs byggnaden från solstrålning genom fönster eller glasfasader och dylikt (och som kan vara till fördel om den minskar uppvärmningsbehovet, men till nackdel om den ökar kylbehovet). Uppdraget ska redovisas senast den 19 november 2021.

Sverige införde 2006 energideklarationer för byggnader, som en del av implementering av EU:s direktiv om byggnaders energiprestanda. Direktivet syftar till att främja energi-effektiv energianvändning och säkerställa gott inomhusklimat i byggnader genom att ge information till den som ska köpa eller hyra en bostad om, bland annat, hur mycket energi som används i ett hus. Det ska även finnas energideklarationer för byggnader som ofta besöks av allmänheten. Energideklarationen används bland annat för att jämföra olika hus med varandra när det gäller energiklass, energiprestanda, värmesystem, eventuella åtgärdsförslag för att minska energianvändning.

EU:s Green Deal och renoveringsvågen effektiviserar befintliga byggnader
Energieffektivare byggnader är ett av de utpekade fokusområdena i EU:s åtgärds paket Green Deal (Den gröna given) som siktar på att ställa om den europeiska ekonomin för att bli klimatneutral 2050. Renoveringsvågen, EU:s strategi för att öka byggnaders energiprestanda och resurseffektivitet,¹⁹² siktar på att åtminstone fördubbla renoveringstakten under de kommande tio åren och främja energirenoveringar genom lagstiftning, finansieringsverktyg och instrument för tekniskt stöd, bland annat. En av åtgärderna i strategin är förslag till revidering av direktivet om byggnaders energiprestanda (2010/31/EU) för att höja kraven gällande energideklarationer och föra in minimikrav för energiprestanda för befintliga byggnader. Renoveringsvågen, med målet att fördubbla renoveringstakten de kommande tio åren, presenterades i oktober 2020.

Flera bedömningar pekar på att det finns en energieffektiviseringspotential i Sverige som inte utnyttjas.¹⁹³ Den stora potentialen finns i minskat uppvärmningsbehov men energieffektivisering skulle kunna även leda till minskningar i elanvändningen. När det gäller effektiviseringspotentialen för elanvändning berörs främst byggnader som värms upp med el på något sätt. Renoveringsvågen pekar ut ökad smarthet och digitalisering i byggnader som en nyckelåtgärd, vilket kan leda till effektivare elanvändning både för värme, kyla och ventilation men även fastighetsel. Digitalisering ger alltså ökade möjligheter att automatiskt styra energianvändningen. Ökad digitalisering kan samtidigt medföra viss potential för ökad elanvändning i befintliga byggnader genom installation av digitaliseringslösningar. Energigemenskapers framtidsutveckling kan också innebära bättre styrning och optimering av energianvändning på områdesnivå.¹⁹⁴

Det kan finnas barriärer mot användning av digitala lösningar som styr- och bevakningssystem i fastigheter och smarta apparater som möjliggör efterfrågeflexibilitet samt lösningar för lokal elproduktion och -lagring på grund av olika faktorer. Dessa faktorer kan vara bristande kunskap och osäkerhet om ny teknik, finansiella hinder, organisatoriska hinder, och delade incitament, vilket kan uppstå när den som bygger inte är den som

¹⁹² En renoveringsvåg för Europa – miljöanpassa våra byggnader, skapa jobb och förbättra liv {SWD(2020) 550 final, Renovation Wave Communication (europa.eu) (hämtad 2021-10-11)

¹⁹³ Se exempelvis: <https://webbutik.skr.se/bilder/artiklar/pdf/7585-381-9.pdf> och https://enveco.se/wp-content/uploads/2019/10/BeSmå-Energieffektiviseringspotential_slutrapport.pdf (besökt 2021-01-29).

¹⁹⁴ Energigemenskaper innebär att medlemmar i olika typer av föreningar och kooperativ går samman och producerar lokal förnybar energi tillsammans.

betalar energiräkningen. Vidare blir energieffektivisering ofta lönsamt när andra stora renoveringar ska genomföras. Då är det viktigt att fastighetsägaren samtidigt genomför energieffektiviserande åtgärder. I dessa situationer kan det finnas problem med både delade incitament och informationsbrist. Dock bör det understrykas att det oftast sker energieffektivisering vid renoveringar och ombyggnad, då material och produkter som används idag är bättre än dem som de ersätter.

Klimatförändringarna minskar uppvärmningsbehovet

Klimatförändringarna kan komma att påverka energianvändningen i bostads- och service-sektorn. I Energimyndighetens scenarier används underlag från SMHI:s scenarier över hur temperaturen förändras på grund av klimatförändringar.¹⁹⁵ På grund av temperaturförändringarna minskar uppvärmningsbehovet totalt med cirka 10 procent mellan 2018 och 2050.

För kylbehovet finns inte lika bra kunskap om denna marknad som för värme. Det finns flera svårigheter i dagsläget med att koppla kylbehovet till ett energibehov. Eftersom det inte finns samma slags infrastruktur för kyla som för värme är det inte heller självklart hur människor agerar när kylbehovet ökar. Detta kan man uttrycka som penetrationsgraden – det vill säga hur stor del av det faktiska kylbehovet som faktiskt kommer att resultera i ökad energianvändning.

7.4.4 Alternativa utvecklingsvägar

Värmepumpar blir mer konkurrenskraftiga och ökar elanvändningen

Prisutvecklingen för fjärrvärme, biobränsle, värmepumpar och el kommer att kunna påverka val av uppvärmningssystem i bostads- och servicesektorn. Fjärrvärme har hittills medfört lägre investeringskostnader jämfört med andra uppvärmningssätt. Fjärrvärmepriserna varierar ganska mycket mellan olika leverantörer inom landet, vilket gör att värmepumpar har bättre konkurrenskraft mot fjärrvärme i vissa delar av landet. Ökande fjärrvärmepriser skulle resultera i ökad användning av värmepumpar som uppvärmningssystem, framförallt för nya byggnader som använder mindre energi, och det kan resultera i att värmepumpar börjar konkurrera med fjärrvärme även i flerbostadshus och lokaler beroende på elprisutvecklingen.

Kraftiga klimatförändringar leder till en ökad elanvändning för kyla

Klimatförändringarna förväntas öka kylbehovet inom bostads- och servicesektorn. Värmeböljor blir troligen vanligare i Sverige i framtiden, vilket kan öka efterfrågan på värmepumpar som kan användas både för uppvärmning och kylning. Fjärrkyla kan också användas för kylning men används främst för kylning av kontors- och affärslokaler. Klimatförändringars utvecklingstakt och konsekvenser har betydelse här och kan leda till att kylbehovet inte ökar lika mycket, och därmed lägre elektrifiering, vid ökad global ambition för att minska växthusgasutsläpp jämfört med idag.

¹⁹⁵ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER 2021:6, Energimyndigheten.

8 Bakgrundsanalys – Potentialen för flexibel elanvändning

Ett flexibelt elsystem handlar om att kunna tillgodose efterfrågan på el när den behövs. I ett alltmer elektrifierat samhälle kommer det att bli ännu viktigare att ta tillvara samtliga flexibilitetsresurser, det vill säga flexibel elproduktion, lagring och efterfrågefleksibilitet.

I det här kapitlet undersöks potentialen för flexibel elanvändning för de olika användarsektorerna och hur den kan komma att utvecklas till 2050.

Sammanfattning

- Den tekniska potentialen uppgår till sammanlagt över 12 GW flexibel elanvändning. En stor del av den tillkommande elanvändning kommer behöva bli styrbar för att den potentialen ska kunna bli realiserbar.
- Automatisering och digitalisering krävs för att realisera efterfrågefleksibiliteten. Från transportsektorn och bostad- och servicesektorn består flexibilitetspotentialen av en mängd mindre flexibilitetsresurser som behöver aktiveras synkroniserat för att kunna bidra med nytta. För att detta ska möjliggöras behöver en mängd anslutningspunkter digitaliseras och information måste kunna överföras på ett effektivt sätt.
- Vätgas skulle kunna stå för en stor andel flyttbar last och har längre uthållighet än mycket annan efterfrågefleksibilitet. Vätgasens utveckling i industrin kommer spela en stor roll för hur mycket efterfrågefleksibilitet som frigörs. Det är ett fåtal aktörer som annonserat mycket stora projekt och osäkerheten kring utvecklingen är stor.
- Transporter samt bostad- och servicesektorn kan bidra stort. I takt med att transportsektorn elektrifieras finns en stor möjlighet för efterfrågefleksibilitet genom smart laddning. Datacenter, uppvärmning i bostäder och även värmepumpar i fjärrvärmenät har också stor potential att reagera på prissignaler.

8.1 Vad är flexibel elanvändning och efterfrågeflexibilitet?

Efterfrågeflexibilitet är ett begrepp som beskriver en förändring av elanvändningen. Ändringen kan vara ökad konsumtion, minskad konsumtion, att avstå från konsumtion samt motsvarande för produktion. Man kan också uttrycka det som en förändring av inmatning och/eller utmatning av el till elsystemet från uttagspunkten. Efterfrågeflexibilitet kan också bidra med ökat respektive minskat uttag av effekt och därigenom bidra till att hantera kapacitetsutmaningar både lokalt, regionalt och nationellt. En definition som betonar vikten av frivillighet är denna som Energimarknadsinspektionen formulerat:

Efterfrågeflexibilitet är en frivillig ändring av efterfrågad elektricitet från elnätet under kortare eller längre perioder till följd av någon typ av incitament¹⁹⁶

Flexibel elanvändning kan bidra med olika typer av nyttor beroende på när och hur den aktiveras. Både en ökad och minskad elanvändning kan bidra med nytta i ett system där vi ibland har överproduktion av el och ibland ett underskott av el. Den varierande tillgången på el kan till stor del bero på en större andel variabel kraftproduktion. Flexibel elanvändning kan också bidra med en upp- respektive nedreglering för att upprätthålla elnätets frekvens, motverka kapacitetsutmaningar i elnätet samt att upprätthålla rätt spänning i nätet.

8.2 Förutsättningar för att potentialen för efterfrågeflexibilitet ska frigöras

En flexibel elanvändning bidrar med samhällsnytta genom ett mer effektivt användande av resurser i elsystemet och bidrar därmed till ett mer effektivt upprätthållande av elsystemets funktion. Incitament för efterfrågeflexibilitet finns idag genom att elanvändare kan välja ett timavtal och därigenom få incitament för att justera sin användning beroende av tillgång och efterfrågan på den elproduktion som erbjuds på elbörserna. Elanvändaren kan då agera flexibelt på den konkurrensutsatta delen av marknaden – elhandelssidan. Elpriset framöver förväntas bli mer variabelt (läs mer i kapitel 9) och då kommer incitamenten att optimera sin elanvändning att öka.

Det finns också möjligheter att erbjuda flexibilitet på de marknader som Svenska kraftnät driver.¹⁹⁷ Kraven på budstorlek¹⁹⁸ begränsar dock möjligheten för mindre flexibilitetsresurser att delta, däremot finns ett flertal stora elanvändare som deltar på dessa marknader. Ersättningen på dessa marknader är ofta relativt hög¹⁹⁹, i vart fall jämfört med incitamenten på elhandelssidan i dagsläget.

En ökad digitalisering, uppkoppling och kommunikation mellan elnät, elmarknad och flexibilitetsresurser kommer vara nödvändigt för att efterfrågeflexibiliteten ska kunna tillgängliggöras. Elanvändaren behöver få möjlighet att erbjuda sin flexibilitet genom avtal om styrning av till exempel elbilen och värmepumpen. Denna styrning kan bygga på prissignaler från elbörsen, elnätet och en flexibilitetsmarknad. Om denna styrning

¹⁹⁶ Tjänster för efterfrågeflexibilitet, Ei R2020:10, Energimarknadsinspektionen.

¹⁹⁷ Flexibilitet kan erbjudas till FFR, så kallad snabb frekvensreserv samt aFRR och mFRR, så kallade frekvensåterställande reserver.

¹⁹⁸ Minsta volym för ett bud i Elområde 1, 2 och 3 är 10 MW. För bud i Elområde 4 är minsta volym 5 MW.

¹⁹⁹ Stödtjänster kostar Svenska kraftnät i nuläget närmare 2 MDR SEK per år, och kostnaderna förväntas öka, Svenska kraftnät (svk.se) (hämtad 2021-10-12).

automatiseras underlättar detta sannolikt för elanvändaren att bidra med sin flexibilitet. Det innebär till exempel att laddningen av elbilar eller uppvärmningen med värmepump automatiskt förskjuts vid högt elpris, vilket ger en möjlighet att utnyttja denna resurs mer optimalt än om förändringen av elanvändningen skulle ske manuellt.²⁰⁰ För att dessa resurser ska kunna aktiveras behöver elanvändaren ha gjort valet att delta med sin flexibilitet. En social acceptans för förändrad elanvändning är viktig för att denna sorts automatisering ska accepteras.

8.3 Nya och utvecklade marknader för flexibilitetsresurser

För att mindre flexibilitetsresurser ska kunna erbjudas på marknader lokalt, regionalt eller nationellt kommer sannolikt en mellanman i form av till exempel energitjänsteföretag eller aggregator att behövas som kan hjälpa elanvändaren att realisera nyttan av efterfrågefleksibiliteten.

En aggregator är en aktör som aggregerar mindre laster för att komma upp i tillräckliga budstorlekar som kan bjudas in på en flexibilitetsmarknad. Energimarknadsinspektionen har lämnat förslag på hur en aggregator²⁰¹ samt en så kallad oberoende aggregator²⁰² ska kunna verka på den svenska elmarknaden. Styrningen av flexibilitetsresurserna kan göras av en aktör som kan aggregera bidraget från flera enskilda mindre enheter och garanterar att flexibilitetsresursen aktiveras. Denna aktör kan vara en aggregator. En garanti för att flexibilitetsresursen aktiveras kan utgöras av till exempel direkt styrning.

Efterfrågefleksibilitet som en vara säljs sedan till flexibilitetsmarknader²⁰³, eller till nationella balansmarknader.²⁰⁴ Det finns också exempel på elanvändande produkter som optimerar sin elanvändning mot elpriset och därmed erhåller en lägre elkostnad. De tekniska lösningarna för detta finns tillgängliga idag och flera nya produkter så som värmepumpar och elbilar har möjligheter till automatiserad styrning. Lösningarna används fortfarande i begränsad utsträckning, men tekniken finns och ersättningsmodeller börjar komma på plats.

Efterfrågefleksibilitet kan bjudas in på marknaderna för balanseringstjänster på balanskraftmarknader som administreras av Svenska kraftnät. Behovet, och därmed efterfrågan av stödtjänster, har ökat senaste åren och omsättningen på dessa förväntas fortsätta att öka. För att kunna delta med sin resurs på dessa marknader behöver den vara av en viss storlek och det kan krävas en aggregator för att samla många små resurser i form av exempelvis värmepumpar eller elbilar för att utgöra en tillräckligt stor resurs för att handla med på marknaden. Aggregatorer kan få en stor roll för att frigöra flexibiliteten inom bostad- och servicesektorn samt transportsektorn.

²⁰⁰ Smart Grid Gotland 2012-2017 (energimyndigheten.se).

²⁰¹ *Ren energi inom EU – Ett genomförande av fem rättsakter*, Ei R2020:02, Energimarknadsinspektionen.

²⁰² *Oberoende aggregatorer: Förslag till nya regler för att genomföra elmarknadsdirektivet*, Ei R2021:03, Energimarknadsinspektionen.

²⁰³ En marknad där nätägare upphandlar flexibla resurser istället för att begära ett utökat abonnemang eller som alternativ/komplement till traditionell utbyggnad vid kapacitetsbegränsningar i elnäten.

²⁰⁴ Svenska kraftnäts balansmarknader, där balansansvariga köper resurser för att hålla frekvensen i elnätet på 50 Hz.

Flexibilitetsmarknader är en annan typ av marknad där efterfrågefleksibilitet handlas upp av lokala eller regionala nätägare för att motverka lokal kapacitetsbrist i elnäten. Dessa marknader är idag i pilotstadiet men det finns ett ökat antal samverkansformer regionalt som vill etablera flexibilitetsmarknader alternativt upphandla flexibilitets-tjänster. Ersättningsnivåerna för flexibilitetsresurserna varierar idag beroende på hur mycket som omsätts och hur ansträngda näten är.

Gemensamt för de olika marknaderna ovan är att det spelar roll *när i tid* efterfrågefleksibiliteten aktiveras, vilket bör avspeglas i hur elen prissätts för att uppmuntra användare att styra sin elanvändning, eller anlita företaget som kan styra användningen åt en.

En utmaning för flexibilitetsmarknader är att skapa en så kallad produktkatalog för vilken typ av flexibilitetsresurs som behövs, uthållighet och aktiveringstid. En del intressanta initiativ har inletts där nätägare arbetar med att fram standardiserade produktbeskrivningar. Utvecklingen av nya flexibilitetsmarknader följs idag av Energimarknadsinspektionen genom EFFEKT-dialogen som ett initiativ i regeringsuppdraget Kapacitetsutmaningen i elnäten.²⁰⁵

8.4 Sammanställning av potentialen för flexibel elanvändning

Kapitlet fokuserar på att kvantifiera hur stor andel av flexibel elanvändning som väntas aktiveras vid höga elhandelspriser. Bedömningar har gjorts av hur mycket elanvändning som kan flyttas till en annan tidpunkt när elen är billigare (flyttbar last) och möjligheten för vissa användare att minska sin elanvändning om priserna blir höga (förbrukningsreduktion). För att den potentialen ska frigöras behöver användarna ha incitament att vara aktiva och sänka samt öka sin elanvändning på ett sätt som många elanvändare inte gör idag. I bedömningen antas en stor utrullning av automatiserade lösningar för att kunna aktivera flexibilitetsresurser i hemmet, bilen och industrin.

En kvantitativ sammanställning av bedömningen av den tekniska potentialen i de olika användarsektorerna finns i Tabell 9. Tabellen innehåller en uppskattning av en teknisk potential för lastförskjutning med utgångspunkt i högre elektrifieringsscenariot. Siffrorna motsvarar flyttbar last och förbrukningsreduktion i MW. Flexibilitetsresurserna antas kunna vara flexibla under en timme, förutom den flyttbara lasten från Järn och stål och Petrokemi, som antas kunna vara flexibel i 48 timmar på grund av vätgaslager och markeras i tabellen med en asterisk.

²⁰⁵ Kapacitetsutmaningen i elnäten, Ei R2020:06, Energimarknadsinspektionen.

Tabell 9. Bedömningar av kvantitativ tillgång från olika sektorer, uppdelat på flyttbar last och förbrukningsreduktion i MW. Detta är inte heltäckande för hur elanvändningen förväntas bli, men ger en indikation på hur stor andel flexibel elanvändning olika delar av samhället kan ge upphov till utifrån vad vi vet idag.

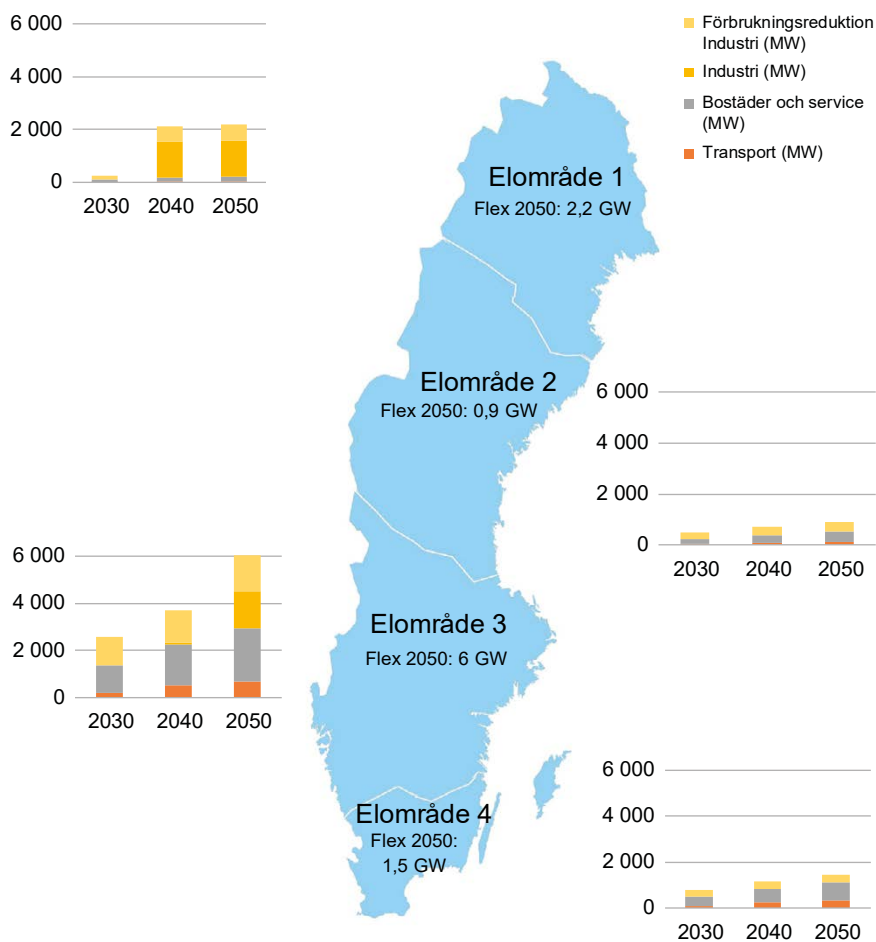
	2030	2040	2050
Flyttbar last			
Industri:			
Järn och stål	0	1362	1362
Petrokemi	0	90	1591
Transport:			
Lätta lastbilar	29	109	183
Personbilar	326	807	984
Bostäder och Service:			
Uppvärmning	573	890	1241
Värmepumpar i fjärrvärmenät	754	808	805
Ventilation	130	260	390
Kyla	176	351	527
Hushållsel	95	189	284
Datacenter	137	237	400
Förbrukningsreduktion			
Papper och massa	927	721	515
Aluminium	65	65	65
Järn och stål	43	514	514
Övrig industri	850	1 310	1 756

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

I avsnitten 8.5–8.7 finns kvalitativa resonemang som utgör grunden för de antaganden som gjorts inom varje sektor. Den kvantitativa analysen har enbart fokuserat på flyttbar energimängd, och inte övriga resurser som kan bidra med spänningsreglering, balansering eller flexibilitet för att hantera kapacitetsbrister i elnäten. Dessa antaganden, tillsammans med en sökning i befintlig litteratur, samtal med aktörer²⁰⁶ och samverkan med Energi-marknadsinspektionen, utgör tillsammans underlag för antaganden kring teknisk potential av flyttbar energimängd, och hur stor andel av potentialen som aktiveras. Denna potential ska inte ses som ett mål eller prognos, utan är bedömningar för några tänkbara utfall, för att undersöka hur ett elsystem med aktiva elanvändare kan se ut och vilka nyttor det kan bidra med till elsystemet. Industriprojekten hos LKAB och H2GS är inte inkluderade i denna analys. Antaganden utgör basen för hur stor andel flexibel elanvändning som inkluderas i Högre elektrifiering med aktiva användare. Hur potentialen inkluderats modelltekniskt i scenarierna beskrivs i avsnitt 9.1.2.

I Figur 17 visas en sammanställning av hur möjligheterna till flexibel elanvändning är fördelat per elområde samt i vilken användarsektor resursen finns. För industrin visas även potentialen för förbrukningsreduktion. Underlaget presenteras även i Bilaga 1 under rubriken Efterfrågefleksibilitet.

²⁰⁶ Energibolag, branschorganisationer, industrier och aktörer representerade i workshops och hearings, Vätgas för flexibelt och robust energisystem (energimyndigheten.se), (hämtad 2021-10-12).



Figur 17. Potential för flexibel användning, uppdelat per elområde, i scenariot för *Högre elektrifiering med aktiva användare*.

Källa: Antaganden av Energimyndigheten

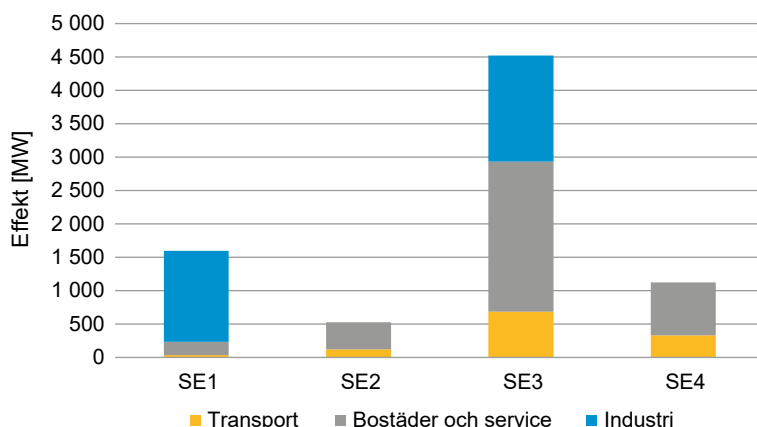
Den största potentialen för flexibel elanvändning finns i SE3 och det är framförallt inom industrisektorn och bostads- och servicesektorn. SE3 är det elområde som har den största befolkningstätheten och det är även där flest industrier finns etablerade.

Flyttbar last

Hur den flyttbara lasten i Högre elektrifiering med aktiva användare fördelar sig per elområde och sektorer presenteras i Figur 18. Uthålligheten till den flyttbara lasten från bostads- och servicesektorn och transportsektorn antas vara en timme.

Den flyttbara lasten från industrin kommer till stor del från elektrolysörer kopplade till produktion av vätgas. Denna kapacitet förväntas i Högre elektrifiering kunna ha en uthållighet på upp till 48 timmar. Hur länge denna elanvändning kan förskjutas är dock beroende av hur stor lagerkapacitet för gas som finns i anslutning till vätgasproduktionen. Om lagringskapaciteten tillåter skulle elanvändningen kunna skjutas under längre tid, där tidsskalan veckor inte är omöjligt. I Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalys 2021²⁰⁷ har en veckas uthållighet till exempel antagits.

²⁰⁷ Långsiktig marknadsanalys 2021, Svk 2019/3305, Svenska kraftnät.



Figur 18. Antagen potential av flyttbar last per sektor och elområde, Högre elektrifiering med aktiva användare 2050.

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

Bostads- och servicesektorn är den sektor med störst flexibilitetspotential när det gäller flyttbar last. Potentialen kommer till stor del från uppvärmning från el i bostäder men även värmepumpar i fjärrvärmenäten, ventilation och kyla i servicesektorn, hushållsel samt datacenter. Tillgänglig flexibilitet från denna sektor beror till stor del på om resurserna är aktiva och därmed kan kopplas från. Vi har förenklat variationen och tagit ett medelvärde av resursens tillgänglighet under ett år. För uppvärmning har vi räknat med att all eldriven uppvärmning är flexibel 2050 och att utvecklingen är linjär för hur stor andel av resursen som har möjlighet att vara flexibel. Detta arbete innehåller inte en analys av när det är för kallt för att värmeresurser ska kunna stängas av, men vi har antagit en timmes uthållighet för när flexibla resurser kan aktiveras utan att komfort eller funktion påverkas allt för negativt.

Antagandet om mängden flyttbar last från transportsektorn bygger på elanvändningen från personbilar och lätta lastbilar i Högre elektrifiering fördelat per elområde. Kapacitetsuttaget från sektorn över ett år har tagits fram utifrån en lastprofil för elbilsaddning. Värdena som redovisas i Tabell 9 är ett medelvärde av denna lastprofil och ett antagande om att 50 procent av alla bilar som laddar samtidigt har möjlighet att förskjuta sin last med en timme. Här kan det resoneras kring en större andel av personbilstransporterna kan vara flexibla. I flexibilitetspotentialen ingår här enbart lätta lastbilar och personbilar. En djupare analys av flexibilitetspotentialen i transportsektorn är ett intressant område att titta vidare på.

Förbrukningsreduktion

Elanvändning från elintensiva industrier som har möjlighet att reglera ned sin elanvändning vid högre elpriser har inkluderats. Historiskt har detta främst skett inom pappers- och massaindustrin. I potentialen ingår ett antagande om att fler industrier kan styra sina processer utan att processen stoppas upp. Även industrier med ugnar som drivs på el antas ha möjlighet att reglera ned sin elanvändning vid höga priser. I Högre elektrifiering med aktiva användare antas industrier ha stort intresse och förutsättningar att vara flexibla med sin elanvändning. Antagandet utgår från att ett brett antal industriprocesser från olika industrisektorer kan börja reglera ner sin elanvändning vid vissa högpristimmar. Förbrukningsreduktion kan innebära en minskad produktivitet för industrin, vilket behöver tas hänsyn till. När all denna flexibilitet avropas så är det av nytta för

elsystemet, men innebär en kostnad för processinnehavaren som måste ersättas för att förbrukningsreduktion ska aktiveras. Det har inte analyserats ur ett samhällsekonomiskt perspektiv i denna rapport.

8.5 Flexibel elanvändning i industrisektorn

Industrisektorn har historiskt sett varit en tillgång när det kommer till flexibel elanvändning, där speciellt pappers- och massaindustrin har bidragit med efterfrågeflexibilitet till effektreserven.²⁰⁸ Vilka industrier som kan bidra med efterfrågeflexibilitet håller dock på att förändras, då flera pappers- och massabruk har meddelat att de kommer läggas ned. Samtidigt har nya industriprojekt annonserats och det finns flera pågående byggnationer av fabriker och pilotanläggningar. Sedan detta arbete initierades har bland annat Ortvikens och Kvarnsvedens pappersbruk annonserat nedläggning medan LKAB har annonserat en plan för hur de ska direktreducera sin järnmalm. H2GS är en privat aktör som annonserar en ny satsning på fossilfritt stål. PREEM har annonserat en satsning på förnybara bränslen istället för att bygga ut det befintliga raffinaderiet.

Den sammantagna bilden är att svensk industri, och även Sveriges grannländers industrier, befinner sig i en stor omställning vilket gör det svårt att göra sannolika bedömningar av hur industrin kommer se ut på 2040-talet och på vilket sätt de kommer bidra med flexibilitet. I det här arbetet antas att industrin kommer att ha stora möjligheter att bidra med flexibel elanvändning om rätt incitament finns. I detta avsnitt följer resonemang om på vilket sätt industrin kan bidra med flyttbar last och förbrukningsreduktion.

Vätgas som flexibilitetsresurs

Med en ökad elektrifiering av industrier dyker nya möjligheter och utmaningar upp. Mot 2040-talet förväntas vätgasproduktion genom elektrolys utgöra en stor användare av el. Vätgasproduktion genom elektrolys är en mycket elintensiv process, och tillgången till el med konkurrenskraftiga elpriser kommer vara en viktig pusselbit för att den produktionen ska kunna tillkomma. Vätgasen blir betydligt billigare att produceras när elpriset är lågt, vilket är en naturlig drivkraft mot att producera mer vid låga elpriser och mindre när priserna på el är högre.

Det finns även hinder kring att ansluta elanvändare av denna skala, som kopplar till begränsningar i elnät, på lokal till nationell nivå. Om vätgasproducenterna kan vara flexibla med elanvändningen underlättar detta möjligheten för anslutning inom befintlig elnätskapacitet, eller utan att göra allt för stora förstärkningar. För de riktigt stora projekten, som industriomställningen i norra Sverige, kan det finnas ett behov av att vara flexibel för att undvika att hela elsystemet blir överbelastat. Det finns vinster att göra för både industrier och samhällsnytta för elsystemet om produktionen anpassas på ett systemvänligt sätt.

I den här studien är utgångspunkten några genomgående antaganden kring vätgasproduktion och flexibel elanvändning. Vätgasproduktion som kombineras med lagring och en överkapacitet i elektrolysörer har en möjlighet att vara flexibel och koppla bort

²⁰⁸ Effektreserven skapas genom avtal mellan Svenska kraftnät och ett antal elproducenter och vissa stora elförbrukare. Avtalen ger Svenska kraftnät befogenhet att med kort varsel dels beordra ökad elproduktion i vissa anläggningar som normalt inte används, dels att reducera elförbrukningen hos vissa stora elförbrukare i industrin.

lasten från elektrolysörerna när det blir höga elpriser.²⁰⁹ Investeringen i extra elektrolysör- och lagringskapacitet måste dock vara motiverad. Här antas företaget göra en kostnadsanalys baserat på intäkter genom att optimera sin elanvändning utifrån varierande elpriser eller intäkter från att bidra med balanstjänster.²¹⁰ I Högre elektrifiering med aktiva användare antas att all elanvändning som tillkommer från vätgas kan vara flexibel på detta sätt. I scenarierna antas en ökad elanvändning från vätgas främst komma från omställningen av järn- och stålindustrin i norra Sverige (se avsnitt 7.2 för vilka projekt som inkluderats) samt för produktion av vätgas kopplat till petrokemisk industri i västra Sverige.

Flyttbar last

Järn och stål

Järn- och stålindustrin har under de senaste åren annonserat stora satsningar för att ställa om sin industri och minska sina utsläpp av koldioxid. Elanvändningen förväntas öka markant utifrån detta och en stor del av elanvändningen kommer gå till vätgasproduktion. Elanvändningen till anläggningarna kan dimensioneras efter en överkapacitet i elektrolysörer och lager för att ha en möjlighet att absorbera överskottsenergi under lågpristimmar och därmed minska sitt eluttag under bristtimmar då elpriset är högt. Storleken på lager och hur stor överkapacitet som investeras i kommer dimensioneras efter industriernas möjligheter att producera så billig vätgas som möjligt för att slutprodukten ska bli så billigt stål som möjligt. Elpriset är en stor del av kostnaderna för vätgasproduktion och har uppskattats till mellan 70–75 procent.²¹¹ Därmed kan det finnas ett stort värde för industrin att undvika att använda el när den är som dyrast.

Uthålligheten för denna flexibilitetsresurs varierar utifrån vilken storlek lagret är dimensionerat till. Pilotprojektet i HYBRIT bygger just nu ett småskaligt vätgaslager med tekniken Lined Rock Cavern (LRC) på cirka 100 kubikmeter²¹², men i stor skala kan detta lager bli ungefär 1 000 gånger större²¹³ och bidra med en substantiell reglerresurs. I denna studie har 48 timmars flexibel elanvändning varit en utgångspunkt, med ett känslighetsfall där vi undersökt hur 96 timmars uthållighet påverkar (se avsnitt 9.2.7). Här finns stora osäkerheter och resultaten från pilotprojektet kommer kunna ge en tydligare bild av dessa möjligheter.

Elektrobränslen från petrokemin

I Högre elektrifiering antas en ökning i elanvändning från petrokemin motsvarande 15 TWh elanvändning. En stor del av denna tillkommande elanvändning väntas komma från vätgasproduktion. Den flexibla elanvändningen från petrokemin kan komma från att elektrolysörerna kan kopplas ifrån vid höga elpriser. Förutsättningarna att bygga

²⁰⁹ *Hydrogen steelmaking for a low-carbon economy*: A joint LU-SEI working paper for the HYBRIT project. EESS report 109, vol. EESS, 109.

²¹⁰ Vogl et al, Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking, *Journal of cleaner production*, Volume 203, 1 December 2018, Pages 736-745, Assessment of hydrogen direct reduction for fossil-free steelmaking – ScienceDirect (hämtad 2021-10-11).

²¹¹ *Strategi för fossilfri konkurrenskraft – vätgas*, *Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf* (fossilfrittsverige.se) (hämtad 2021-09-01).

²¹² *HYBRIT: 200 miljoner satsas på pilotanläggning för lagring av fossilfri vätgas i Luleå* (lkab.com), (hämtad 2021-09-01).

²¹³ *Vatgasstrategi-for-fossilfri-konkurrenskraft-1.pdf* (fossilfrittsverige.se).

lagringskapacitet skiljer sig dock åt, och det är inte säkert att en buffert liknande LRC²¹⁴-lagret kan vara möjligt i anslutning till all produktion. I Högre elektrifiering med aktiva användare har det antagits att även denna vätgasproduktion har möjlighet att vara flexibel med sin användning. Den tillkommande elanvändningen från petrokemin väntas hamna i SE3, i anslutning till petrokemiska kluster där, men vi har under 2021 även sett annonseringar för satsningar i SE2. Var elanvändningen från elektrobränslen och nya petrokemiska produkter hamnar är fortfarande en osäkerhetsfaktor, där elpris och tillgång till elnätanslutning blir viktiga aspekter för lokaliseringen.

Förbrukningsreduktion

Vid höga elpriser väntas vissa industrier reglera ner sin elanvändning. Bedömningar har gjorts kring hur stor andel pappers- och massaindustrin, elektrolys från aluminiumindustrin och ljusbågsugnar till stålindustrin kan reglera ned. Även antaganden kring en andel förbrukningsreduktion från övrig industri, där Verkstad, Cement, Gruvor med flera inkluderas. Industrierna väntas reglera ner sin användning vid höga elpriser, om det finns en ersättning att få. Vid vilka tidpunkter industrin reglerar ner beror på flera faktorer såsom vilken ersättning som finns, vilka deras löpande kostnader är samt risker som uppstår när de stannar upp sin industriella process. Mer om ersättningsnivåer och aktivering av industrin i avsnitt 9.1.2.

Papper och massa

Historiskt sett är detta den bransch som har använt mest el och även kunnat bidra med mest efterfrågeflexibilitet. Flera aktörer har deltagit i effektreserven genom att sänka sin förbrukning, främst från mekanisk massaproduktion som kan startas och stoppas inom några få minuter.²¹⁵ Den mekaniska massaproduktionen förväntas dock minska i Sverige och det sker även en energieffektivisering inom denna industrisektor. En minskning av bidraget från pappers- och massaindustrin till flexibel elanvändning fram till 2050 har antagits.

Järn och stål

Av den direktverkande el som används i de nya fossilfria reduktions- och smältprocesserna för järn och stål förväntas nästan en fjärdedel gå till en ljusbågsugn för att ersätta masugnsprocessen. Denna elförbrukning hamnar i SE3 för att ersätta masugnen i Oxelösund vid 2025 och i SE1 för reduktionsprocess 2030. Ljusbågsugnar kräver stor effekt och olika modeller har olika möjligheter att vara flexibel med sin elanvändning. Tidigare har ljusbågsugnar deltagit med förbrukningsreduktion på störningsreserven²¹⁶, men hur lång uthållighet och låg risk det är att stanna upp processen påverkas av hur isolerade ugnarna är, samt vilket material som ugnarna matas med (malm eller stålskrot). Övrig stålindustri kan enligt vissa studier inte minska sin användning utan att störa processerna, men enligt andra studier ha en möjlighet att sänka delar av sin användning mellan 0,5 och 3 timmar beroende på hur välplanerat det är. I Högre

²¹⁴ *Lined Rock Cavern: HYBRIT: SSAB, LKAB and Vattenfall building unique pilot project in Luleå for large-scale hydrogen storage investing a quarter of a billion Swedish kronor* – Vattenfall, (hämtad 2021-09-01).

²¹⁵ *Förbrukningsreduktion – Ett alternativ till gasturbiner som snabb aktiv störningsreserv?* 1402_Jonas_Alterbeck.pdf (uu.se) (hämtad 2021-09-01)

²¹⁶ 1402_Jonas_Alterbeck.pdf (uu.se)

elektrifiering med aktiva användare antas främst ljusbågsugnar ha möjlighet att reducera sin elanvändning under vissa timmar med höga elpriser. Vi antar i detta arbete en timmes förbrukningsreduktion utan att processen störs.

Aluminium

Aluminiumindustrin använder en elektrolytisk process som är mycket elintensiv för att omvandla aluminiumoxid till aluminium och syre. I Sundsvall finns en stor aluminiumproducent och enligt undersökningar finns möjligheten att minska förbrukningen med 25 procent under vissa timmar.²¹⁷ Processen är nästan kontinuerlig på grund av högt investeringspris och kan inte ersättas av produktion vid ett senare tillfälle. Därmed är aluminiumproduktionen inkluderad som förbrukningsreduktion. Priset för aktivering varierar utifrån aluminiumpriser och risker med nedregleringen. En timmes reduktion kan antas vid nedreglering utan att processen störs.

Övrig industri

Verkstad

Verkstadsindustrier, där ibland Northvolt, förväntas öka elanvändningen med 2,5 TWh i Högre elektrifiering med aktiva användare. Det kan dock komma att bli ännu högre i och med nya annonserade satsningar under våren 2021. Dessa fabriker och verkstäder har mycket direktverkande el i sina processer. Historiskt sett har verkstadsindustrin inte varit lika energiintensiv i relation till sitt förädlingsvärde som övriga industrier. I en jämförelse av andel av förädlingsvärde och elanvändning per SNI-kod²¹⁸ stod verkstadsindustrin för 50 procent av förädlingsvärdet 2012, men endast för 11 procent av elanvändningen. Massa och papper stod för 6 procent av förädlingsvärdet men 43 procent av elanvändningen. Historiskt sett har det varit mer kostnadseffektivt att dra ner elanvändningen inom andra industrier. Men när elanvändningen till sektorn ökar framöver ökar även potentialen för flexibel elanvändning. Hur tillgänglig resursen blir beror på många faktorer, däribland hur stor ersättning industrin kan få och hur enkel processen är att stoppa och starta.

Cement

Den största ökningen av elanvändningen inom cementindustrin väntas vara Cemzero. Cementindustrin har inte samma begränsningar som verkstadsindustrin i och med att förädlingsvärdet per process är lägre, men andra processrelaterade hinder kan uppstå. Vi har inte gjort en bedömning av hur stor andel av Cementas elförbrukning som väntas vara flexibel, utan använt en schablon för övrig industri där cementindustrin ingår.

Gruvor

Gruvdriften elektrifieras, vilket till stor del består av elektrifierade arbetsmaskiner. Om dessa är batteridrivna, vilket är huvudspåret i dagsläget²¹⁹ finns det en möjlighet till flexibel användning. Vi har inte gjort en enskild bedömning av på vilket sätt gruvindustrin kan vara flexibel med sin elanvändning, utan sektorn inkluderas under Övrig industri.

²¹⁷ *Samhällsekonomiska kostnader och nyttor av smarta elnät*, DNV GL – Rapportnr. 208978, DNV GL-Samhällsekonomiska-kostnader-och-nyttor-av-smarta-elnet.pdf (ei.se) (hämtad 2021-09-01).

²¹⁸ *Elanvändningen i Sverige 2030 och 2050*, NEPP, Elanvändningen_i_Sverige_2030_2050.pdf (nepp.se) (hämtad 2021-09-01).

²¹⁹ *Färdplan för en konkurrenskraftig och fossilfri gruv- och mineralnäring*, 2019, SveMin, Färdplan för en konkurrenskraftig och fossilfri gruv- och mineralnäring – Svemin (hämtad 2021-10-12).

8.6 Flexibel elanvändning inom transportsektorn

Elektrifierade transporter är en potentiellt stor källa till efterfrågefleksibilitet. Den är dock beroende av flera aspekter, däribland hur utvecklingen av affärsmodeller och standarder för kommunikation mellan fordon, elmätare och elnät utvecklas.

Smart laddning

Den största potentialen för att styra sin elanvändning i transportsektorn antas i denna studie vara en möjlighet att kontrollera bilens eluttag från nätet, så kallad smart laddning. I dagsläget finns det smart laddning som styr mot att den totala effekten inte överstiger det abonnemang som bilen är ansluten till. Det finns även viss styrning mot elpriser, speciellt om konsumenten har ett elavtal med timpris. Här erbjuder flera elhandlare med timdebitering en smart styrning mot elpriset för att kunden ska kunna minska sin kostnad. I dagsläget är det ett fåtal kunder som har debitering per timme och därmed når inte prissignalen ända fram till kunden. Detta kan ändras om det blir vanligare och enklare att styra sin elanvändning samtidigt som elpriserna blir mer och mer volatila. Dynamiska elnätstariffer skulle kunna vara ett annat styrmedel som påverkar laddningen på ett liknande sätt men som inte är beroende av att kunden ska välja ett specifikt abonnemang.

Vehicle to grid

En teknik som ännu inte implementerats i stor skala är överföring av el från laddfordon tillbaka till elnätet, så kallad Vehicle to grid (V2G). Det pågår flera stora pilotprojekt som utnyttjar tekniken och de tekniska lösningarna börjar nå marknaden. Potentialen för denna teknik är lika stor som för smart laddning och kan bidra med fler nyttor till elnätet än enbart smart laddning, däribland minskade kostnader för övriga energilager eller planerbara resurser som skulle krävas för balansering på dygns- och flerdygns skala.²²⁰ Frågor kring ersättning och standardisering, samt kommunikationsprotokoll måste komma tillrätta innan vi ser en storskalig implementering.

Personbilar

Hur stor del av fordonsflottan som kan bidra med effekt från batteriet, antingen passivt genom att undvika uttag, eller aktivt som V2G, påverkas av hur stor del av bilarna som är parkerade och kopplade mot nätet. Vi har utgått från antagandet att vid varje given timme är 40 procent av alla privata fordon parkerade vid sin hemadress.²²¹ Effektuttaget till transportsektorn varierar på dygns, vecko- och årsbasis. Tillgången på styrbar effekt i stunden kommer bero på när elfordonen är inkopplade, samt hur laddat batteriet är (state of charge). Den stora andelen flyttbar elanvändning i denna studie kommer från smart laddning och antagandet att 50 procent av effektuttaget av transportsektorn kan skjutas fram en timme.²²²

²²⁰ Taljegård Maria, *Electrification of Road Transportation – Implications for the Electricity System* (chalmers.se), Chalmers 2019.

²²¹ Taljegård, *Electrification of Road Transportation – Implications for the Electricity System* (chalmers.se), Chalmers 2019.

²²² Effektuttaget har tagits från en användarprofil från elmarknadsmodellen TheMa.

Det finns även en drivkraft i scenarierna mot att persontransporter används mer effektivt framöver. När effektiviteten ökar i transportsektorn, genom till exempel bildelning eller andra insatser för att öka användningsgraden av varje fordon, minskar möjligheten att vara flexibel.²²³

Lätta lastbilar och bussar

I bedömningen av tillgänglig flexibilitet från transportsektorn fokuserar vi främst på persontransporter, men även lätta lastbilar. Av kommersiella transporter har lätta lastbilar inkluderats i flexibilitetspotentialen, då det är en tydligare trend att dessa transporter direktelektrifieras. Övrig kommersiell transport har inte inkluderats på grund av osäkerheter kring körmönster och på vilket sätt transporterna väntas minska sina utsläpp.

Kollektivtrafiken framhäver att de har ett behov av ständigt fulladdade fordon, varav de kommer att ha ett mer kontinuerligt laddbehov än persontransporter. I dagsläget laddar en stor andel bussar vid depå, vilket främst leder till uttag nattetid, och även vissa timmar på dagen. Exempel på flexibel elanvändning i denna sektor kan vi se redan idag, däribland på vilka abonnemang som tilldelas större elanvändare så som bussladdningsdepåer. Bland annat i Uppsala²²⁴ och i Malmö²²⁵ finns exempel på laststyrning och innovativa avtal för att kunna bygga och drifva anläggningarna på effektiva sätt.

8.7 Flexibel elanvändning i bostads- och servicesektorn

Idag nyttjas möjligheterna till flexibel elanvändning i bostads- och servicesektorn i mycket begränsad utsträckning. Men i sektorn finns potential från både bostäder och lokaler att agera flexibelt. I sektorn inkluderas även datacenter som redan idag deltar med flexibilitet och där det på sikt kan finnas en stor potential i takt med en fortsatt etablering av fler datacenter.

Byggnader förväntas spela en mer aktiv roll i framtidens elsystem genom ökad lokal elproduktion, el- och värme- och kylagring samt flexibel elanvändning. Det finns även studier som har tittat på möjligheterna att kombinera nätverk för el, fjärrvärme och fjärrkyla för att bidra till förnybara energikällors integrering i energisystemet, som till exempel genom att lagra värme i fjärrvärmenätverk vid elöverskott genom användning av värmepumpar.²²⁶ En ökad mängd elbilsladdning i fastigheter i framtiden innebär också vissa möjligheter att styra laddning och urladdning, vilket kan bidra till ökad efterfrågefleksibilitet i sektorn. Efterfrågefleksibilitetsfrågor tillsammans med integrering av laddinfrastruktur i fastigheter är aktuella idag, bland annat inom Energimyndighetens nätverk Bebo, Belok och Besmå.²²⁷

²²³ *Innovation outlook – Smart charging for electric vehicles*, 2019, IRENA_InnovationOutlook_EVSmartCharging.indb (hämtad 2021-09-01).

²²⁴ Andersson J, Bernström V, *Elektrifiering av Uppsalas stadsbussar: Lösningar för att hantera kapacitetsbristen i en växande region*, Examensarbete, Uppsala universitet, juni 2019, 1906_Jonas_Andersson_Vendela_B.pdf (uu.se) (hämtad 2021-10-11).

²²⁵ *Nordens största elbussdepå står klar i Malmö våren 2021* | ENERGINyheter.se (hämtad 2021-09-01).

²²⁶ Lund, et al., *4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*, Energy, Volume 68, 2014, Pages 1-11 och Lund, et al., *The status of 4th generation district heating: Research and results*, Energy, Volume 164, 2018, Pages 147-159.

²²⁷ Energimyndigheten finansierar olika beställargrupper som arbetar med energieffektivisering i byggnader. Bebo, Belok och Besmå är tre av dessa.

Uppvärmning

Inom bostads- och servicesektorn är uppvärmning en av de källor som använder mest el och därmed har störst potential för flexibel elanvändning. Elbehovet för uppvärmning antas dock minska från cirka 21 TWh 2018 till cirka 11 TWh 2050 i scenarierna i denna rapport, vilket innebär att även potentialen för flexibel elanvändning från uppvärmning minskar. Det används dock fortfarande en stor del el för uppvärmning 2050 och det utgör fortfarande den enskilt största källan till flexibilitet inom sektorn. Att vara flexibel handlar om att utnyttja de överskott och marginaler som finns. Att energieffektivisera bidrar ofta till att minska dessa marginaler, men det är viktigt att poängtera att energieffektivisering är en viktig faktor när vi elektrifierar samhället. Syftet med flexibel elanvändning handlar om att utnyttja befintliga nät och använda resurser så effektivt som möjligt, och där energieffektivisering bidrar till att minska påverkan och utnyttjandegraden av de resurser som finns. Det är även viktigt att poängtera att det inte alltid finns en motsättning mellan energieffektivisering och flexibilitet. En effektiv värmepump kan fortfarande styras och prioritera under vilka timmar den ska använda mest eller minst el för att även bidra med systemnytta.

Eftersom värmebehovet är så starkt kopplat till utomhustemperaturen så varierar denna potential med temperaturen över året och kan prognostiseras. Energimarknadsinspektionen har tidigare uppskattat potentialen för flexibel elanvändning inom hushållens uppvärmning till 5 500 MW vintertid och 1 500 MW sommartid, samt 2 000 MW i medeltal.²²⁸ Vi har i denna studie utgått från medeltalet och med det minskade elbehovet för uppvärmning antagit att potentialen blir cirka 1 200 MW till 2050.

En fördel med effektstyrning av elanvändningen för uppvärmning är att elanvändningen kan stängas av under begränsade tidsperioder utan att inomhuskomforten påverkas. Det rör sig om tidsperioder upp till några timmar. Vi har i den här studien antagit en timme. Samtidigt kan det finnas en risk att styrningen kan leda till nya effekttoppar eftersom det leder till att behovet behöver tas igen senare. I perioder med mycket kallt väder kommer även uthålligheten vara begränsad då värmesystemet går för full effekt under en längre tid. Det kan även vara så att en del hushåll har en värmepump som inte ensam klarar hela uppvärmningsbehovet de kalla dagarna utan kompletteras av någon annan typ av uppvärmning. Möjligheten att använda flexibilitet från uppvärmning kan därför vara mer begränsad under de kallaste dagarna. Vi har i scenarioanalysen antagit en linjär utveckling mot 2050 då vi antar att all elanvändning för hushållens uppvärmning är styrbar.

Fjärrvärmens flexibilitetspotential

Förutom potentialen att lagra energi i byggnader så finns det också stor potential att lagra energi i distributionssystemen för fjärrvärme och fjärrkyla, samt i energilager anslutna till dessa. Fjärrvärme- och fjärrkylasystemen kopplar samman många olika tekniska komponenter och många olika sektorer. Det är en viktig infrastruktur som också möjliggör kraftvärme (en flexibel produktionskälla, som också kan hjälpa till att hantera effekt- och kapacitetsutmaningar) och koldioxidavskiljning genom bio-CCS. Det blir därför ett komplext optimeringsproblem att försöka utnyttja så stor del av flexibilitetspotentialen som möjligt. Idag styrs systemen i huvudsak för att optimera det momen-

²²⁸ *Åtgärder för ökad efterfrågeflexibilitet i det svenska elsystemet*, Ei R2016:15, Energimarknadsinspektionen.

tana fjärrvärmebehovet. Men det finns ett flertal initiativ där man genom forskning och demonstrationer istället försöker optimera flexibilitetspotentialen och utreda hur stor denna potential är.²²⁹ Digitaliseringen är en möjliggörare för denna utveckling då det krävs både övervakning och insamling av en mängd data och även kontrollalgoritmer som kan automatisera och styra systemet på ett effektivt sätt.

I scenarierna i den här studien investeras det både i stora värmepumpar och elpannor i fjärrvärmesystemen. Att utnyttja stora värmepumpar/elpannor i fjärrvärmenäten tillsammans med lagring har en stor potential²³⁰ att ta vara på överskottsenergi och att vara en ”uppregerande” resurs. Vi har antagit att hela kapaciteten av storskaliga fjärrvärmepumpar kan vara flexibla, vilket uppgår till cirka 800 MW 2050.

Värmelager kopplade till fjärrvärme- och fjärrkylainfrastrukturen kan vara ett kostnads-effektivt lagringsalternativ för att skapa flexibilitet i elsystemet, inte minst för att bidra till att utnyttja situationer med stora överskott i elproduktion. Lagringsalternativen²³¹ omfattar olika lösningar med lagring i medium som inte genomgår fasomvandling (sensibla lager) så som ackumulatortank, akvifer²³², borrhål, bergrum och groplager.²³³ Dessa utgör alla beprövade lösningar, men det finns också mer innovativa alternativ som utvecklas och prövas i pilotanläggningar. Detta inkluderar lager som utnyttjar fasomvandling (latent lager²³⁴) och lager som utnyttjar kemiska reaktioner (termokemiska lager²³⁵).

Ventilation

El som används för ventilation kan också styras och flera aktörer har utvecklat styrsystem med möjlighet att aktivera energiresurser i bland annat köpcentrum.²³⁶ Därav antar vi att en potential för flexibel elanvändning finns inom ventilation i bostads- och service-sektorn. På samma sätt som för uppvärmning så finns det en möjlighet att styra ventilationen under tidsperioder utan allt för stor påverkan på komforten. Även här handlar det om en elanvändning som förflyttas i tid och som behöver tas igen senare. Det är inte alltid möjligt att stänga av ventilation för en längre tid, vilket skulle kunna ha påverkan på komfort. Men det finns möjlighet att snabbt reglera ventilation upp eller ner och därmed bidra med stödtjänster till elnätet, som till exempel frekvensreglering.

För servicesektorn inkluderas ventilation och uppvärmning i en uppskattning av den styrbara elanvändningen inom sektorn. Ventilationsbehovet varierar över dygnet i förhållande till den verksamhet och aktivitet som bedrivs och pågår i lokalerna. Vi har antagit en potential till flexibel elanvändning för ventilation och uppvärmning i service-sektorn till cirka 400 MW, med en timmes uthållighet.

²²⁹ Se exempelvis projektet Flexi-sync <https://www.flexisync.eu/>.

²³⁰ *Flexible Nordic Energy Systems, Flx4Res*, https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2019/09/Flex4RES_Policy-Brief-2019.pdf (hämtad 2021-09-01).

²³¹ J. Kuylenstierna, *Termisk energilagring i fjärrvärmenät*, TRITA-ITM-EX 2019:73.

²³² Geologisk bildning av grundvatten under marken.

²³³ En grävd grop som vattenfylls och övertäcks för att fungera som värmelager.

²³⁴ Se exempelvis www.azelio.com

²³⁵ Se exempelvis SaltX Technology – Energy storage with nano coated salt. www.saltxtechnology.com

²³⁶ *Siemens bygger Sveriges första virtuella kraftverk tillsammans med Skandia Fastigheter* | Press | Company | Siemens (hämtad 2021-09-01).

Precis som för uppvärmning och kyla är den faktiska potentialen beroende av automatiserad styrning. På samma sätt finns även här de tekniska lösningarna tillgängliga idag och det pågår försök och demonstrationer på olika håll. Vi antar samma utveckling över tid för styrbarheten av ventilation som för uppvärmning och kylning.

Kylning

Kylbehovet väntas öka till 2050, men utifrån svenska förhållanden är det en svåruppskattad sektor då kartläggningen av energibehov för kyla inte är lika dokumenterat som för värme. Kyla kan dock antas vara en källa till flexibel elanvändning då det finns termisk tröghet även i denna elanvändning.

Kyla har liknande tröghet som värme och antas därför kunna kopplas bort i kylanläggningar. På samma sätt har också antaganden gjorts om graden av styrbarhet till 2030 och 2050 och ett linjärt ökande antal anläggningar som har möjlighet att styra sin elanvändning. Vårt antagande för potentialen att styra elanvändningen för kyla uppgår till cirka 500 MW med en timmes uthållighet.

Hushållsel

Det kan finnas betydande flexibilitetsmöjligheter för el som används inom hushållet och i takt med att fler apparater som använder el får internetuppkoppling skapar detta också möjlighet för aggregerad laststyrning av dessa. Förutsättningarna för denna laststyrning varierar beroende vilken apparat det handlar om. Men generellt handlar det om en förflyttning i tid i storleksordningen timmar. I hushållsel inkluderas här apparater för rengöring, så som tvättmaskiner, torktumlare och diskmaskiner. Den tekniska potentialen har bedömts till cirka 300 MW styrbar elanvändning.²³⁷ Vi har antagit en timmes uthållighet och en linjär ökning av utnyttjandet till den fulla potentialen 2050.

Datacenter

Datacenter är stora användare av el och är känsliga mot störningar. De investerar därför ofta i reservkraft för att undvika strömavbrott, så kallade UPS (uninterrupted power supply) system. Dessa system, som består av batterier eller svänghjul, kan bidra med systemtjänster när de inte används av datacentret själv. Datacenteraktörer har redan idag börjat delta på Svenska kraftnäts marknader för balanstjänster genom att förändra sin elanvändning och utnyttja sina reservsystem.²³⁸ UPS system kommer antagligen kunna bidra med korta frekvensregleringstjänster och reglering på uppemot en timme.

Datacenter kan också vara flexibla i sin elanvändning genom att omfördela när i tiden olika beräkningar i datacentren görs. Genom att identifiera vilka beräkningsuppgifter som är okänsliga för när de genomförs så kan datacentren påverka sin elanvändning.²³⁹ En studie har uppskattat att datacenter bör kunna vara flexibla med 35 procent av sin maxkapacitet.²⁴⁰ En bottom-up approach har vidare uppskattat den teoretiska möjlig-

²³⁷ *Samhällsekonomska kostnader och nyttor av smarta elnät*, DNV GL – Rapportnr. 208978, DNV GL-Samhällsekonomska-kostnader-och-nyttor-av-smarta-elnät.pdf (ei.se) (hämtad 2021-09-01).

²³⁸ *Så blev FCR en hållbar win-win för datacentret Boden Technologies* (vattenfall.se) (hämtad 2021-05-03).

²³⁹ *Our data centers now work harder when the sun shines and wind blows* (blog.google) (hämtad 2021-05-03).

²⁴⁰ Clausen A, Ghatikar G, Norregaard Jorgensen B, *Load management of data centers as regulation capacity in Denmark* – IEEE Conference Publication (hämtad 2021-09-01).

heten till förbrukningsflexibilitet från datacenter 2030 till mellan 38–80 procent.²⁴¹ Vilka tjänster som datacentret ska bidra med och hur stort incitament det finns att vara flexibel, kommer påverka utfallet av styrbar elanvändning i sektorn framöver. Vi har i denna studie antagit att mängden styrbar last från datacenter uppgår till 25 procent av elanvändningen med en timmes uthållighet. Flexibiliteten uppgår då till 400 MW 2050.

En intressant aspekt av datacenters elanvändning är även att de som driver datacenter med utspridd geografisk lokalisering kan styra sina beräkningar geografiskt och därmed lokaliseringen av elanvändningen. På så vis möjliggörs en geografisk flytt av kapacitet mellan elinfrastrukturen och datainfrastrukturen.

Laddning av elfordon

Det tillkommande elbehovet för elektrifiering av fordon redovisas under transport-avsnittet (avsnitt 7.3). Området hamnar rent statistiskt inte under bostads- och service-sektorn, men en stor del av elanvändningen hamnar under bostädernas elabonnemang. Användningen tillkommer till stor del i områden som har kapacitetsbrist idag. Det kommer att vara särskilt viktigt att laddningen av elfordon sker på ett sätt som säkerställer att det kapacitetsbegränsade nätet används på ett effektivt sätt. Det kommer därför vara viktigt med styrning för att säkerställa en kontrollerad laddning av alla elfordon. Beroende på hur och mot vilken systemnivå tillkommande elanvändning från transportsektorn kommer att optimeras, kommer detta också påverka hur elanvändningen och dess profil utvecklas. I dagsläget kan en trend vara att användningen optimeras mot de befintliga elabonnemang som laddningen kopplas upp emot. Om prissignalerna för detta elabonnemang inte samspelar med vilka behov det övriga systemet har, finns här en risk för suboptimering.

Batterierna i elfordonen kan också utgöra en tillgänglig lagringsresurs för att optimera den lokala fastighetens elanvändning och produktion. Läs mer i avsnittet om energilager samt i avsnittet om potentialen för flexibilitet i transportsektorn (avsnitt 8.6).

Energilager

Prisvariationerna på elmarknaden gör att incitamenten till bostads- eller fastighetsägare att investera i energilager fortfarande är relativt låga. Men den tekniska utvecklingen och kostnadsminskningen av tekniker för både lokal ellagring (batterier) och elproduktion (solceller) går snabbt framåt. För fastigheter med lokal elproduktion ges bättre förutsättningar att delta mer aktivt på elmarknaden, och bidra med tjänster mot elnätet om de också kompletteras med lokala energilager. Den tekniska utvecklingen i kombination med en utveckling mot större variation i elpriser kommer att förbättra investeringskalkylen i lokala energilager. Potentialen till lokal optimering av elproduktion, lagring och användning gör också att vi sannolikt kommer se utvecklingen av dessa lösningar gå hand i hand framöver. Den lokala elproduktionen och ellagringen inom bostads- och servicesektorn är fortfarande på en relativt låg nivå (särskilt avseende lagring), men den förväntas fortsätta öka.²⁴² Flexibilitetspotentialen från lokala energilager har inte inkluderats i denna studie.

²⁴¹ Koronen C, Åhman M, Nilsson L, *Energy efficiency* 13, 129-144 (2020) Data centres in future European energy systems—energy efficiency, integration and policy | SpringerLink (hämtad 2021-09-01).

²⁴² Utvecklingen har också stöttats av ekonomiska incitament i form av investeringsstöd till både solceller och energilager. Från 2021 ges fortsatt stöd till privatpersoner för såväl solceller, som energilager och laddboxar för elbilar (skatteavdrag för grön teknik).

9 Bakgrundsanalys – Hur påverkas elsystemet av en ökad elektrifiering och flexibel elanvändning?

I följande kapitel analyseras elektrifieringens påverkan på elsystemet. Då det sker stora förändringar på både användarsidan med den ökade elektrifieringen och på produktionsidan med en ökad andel variabel förnybar elproduktion blir användarna en tydligare del av framtidens elsystem. Här analyseras hur en högre elanvändning och graden av efterfrågeflexibilitet påverkar elsystemet utifrån parametrar som elpriser, el- och effektbalans, handel med andra länder, balansreglering och systemstabilitet.

Sammanfattning

- En ökad elektrifiering av samhället skapar både utmaningar och möjligheter. Behovet av balansering i elsystemet väntas öka med en ökad elektrifieringsgrad. Samtidigt kan det leda till fler möjligheter och ökade incitament för flexibilitet.
- Scenarierna visar på mer volatila elpriser och större säsongsvariationer. Både situationer med nollpriser och knapphetspriser förekommer. En förändrad prisbild kan leda till ändrat beteende på både producent- och användarsidan i elsystemet.
- En hög grad av flexibilitet i elsystemet väntas underlätta för en ökad elektrifiering och kan ge flera nyttor, som minskat behov av nätinvesteringar och mindre volatila priser. Det blir därför viktigt att ge rätt incitament för detta. Ökad digitalisering och automatiserat utnyttjande av flexibilitetsresurser kan möjliggöra en aktivering av flexibilitetspotentialen.
- Scenarierna utforskar bara några möjliga utvecklingsvägar. Det är mycket möjligt att batterier och vätgastekniker får en större roll i elsystemet och skapar nya förutsättningar. Havsbaserad vind kan också få ett större genomslag med andra förutsättningar.
- Noggrann planering och uppföljning blir avgörande för att möjliggöra en hållbar elektrifiering. Utvecklingen av elanvändningen behöver matchas med elproduktion, överföringskapacitet och systemtjänster för balansering som svarar upp mot behoven, vid rätt tid och plats.

9.1 Modellering av elsystemet

9.1.1 Generell metodbeskrivning

I det här kapitlet modelleras de tre scenarierna som beskrevs i kapitel 2 samt ett känslighetsfall.

Antaganden kring elanvändning och elproduktion

Total elanvändning samt elproduktion per kraftslag bygger på resultat från rapporten *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*.²⁴³ Hur scenarierna i den här analysen hänger samman med tidigare scenarier visas i Tabell 10. Elanvändningen i användarsektorer beskrivs närmare i kapitel 7.

Tabell 10. Sammanfattning av scenarierna samt hur de hänger samman med scenarier i Energimyndighetens långsiktiga scenarier 2020.

	Lägre elektrifiering	Högre elektrifiering med passiva användare	Högre elektrifiering med aktiva användare
Elproduktionsmix	Bygger på Referens EU i EM:s långsiktiga scenarier	Bygger på Elektrifiering i EM:s långsiktiga scenarier	Bygger på Elektrifiering i EM:s långsiktiga scenarier
Total elanvändning	Bygger på Referens EU i EM:s långsiktiga scenarier	Bygger på Elektrifiering i EM:s långsiktiga scenarier	Bygger på Elektrifiering i EM:s långsiktiga scenarier
Geografisk fördelning elanvändning (elområde)	Liknande idag	Fördelning efter vart projekten inom industrin planeras samt efter vart befolkning finns	Fördelning efter vart projekten inom industrin planeras samt efter vart befolkning finns
Flexibilitet i användning	Liknande idag	Marginellt högre än i Lägre elektrifiering drivet av den förändrade efterfrågan.	Antaganden om mer tillgänglig flexibilitet på användarsidan.

I analysen har total elanvändning och elproduktion fördelats på elområden för att närmare kunna undersöka hur elsystemet påverkas av en ökad elektrifiering. Allmänna förutsättningar och indata till analyserna beskrivs närmare i Bilaga 1 och fördelningen av elanvändning och elproduktion per elområde visas i Figur 22 (i avsnitt 9.2.1). För analyserna har elmarknadsmodellen TheMA använts. Då elmarknadsmodellen på elområdesnivå används, och vissa mindre skillnader i antaganden finns, kan elanvändning och elproduktion variera något och skilja sig från den totala nivån i de långsiktiga scenarierna.

Elproduktionen i scenarierna bygger på Energimyndighetens långsiktiga scenarier (enligt Tabell 10) och blir totalt 216 TWh i Lägre elektrifiering och omkring 280 TWh i Högre elektrifiering med aktiva användare och något lägre med passiva användare. I samtliga fall sker livstidsförlängningar av tre kärnkraftsreaktorer och i Högre elektrifiering sker även nyinvesteringar i kärnkraft. En annan stor skillnad är vindkraftsproduktionen som är betydligt högre i Högre elektrifiering. Skillnaderna mellan scenarierna drivs av elpriserna, som i stor utsträckning påverkas av efterfrågan på el.

²⁴³ *Scenarier över Sveriges energisystem 2020*, ER 2021:6, Energimyndigheten.

Antaganden för elektrifiering i omvärlden

Att elektrifiering ses som ett möjligt sätt att minska användningen av fossila bränslen är inte en nationell företeelse och i Högre elektrifiering antas även omvärlden elektrifieras i högre grad. I stor uträkning har ländernas egen bedömning av elektrifiering använts, se Bilaga 1, där det redovisas hur elanvändningen utvecklas i de nordiska länderna samt Tyskland i scenarierna. I Tyskland ökar exempelvis elanvändningen från 562 TWh 2020 till 685 TWh 2050 i Lägre elektrifiering och till 860 TWh i scenarierna med Högre elektrifiering för samma år.

Antaganden för efterfrågefleksibilitet

För Högre elektrifiering med aktiva användare har den antagna efterfrågefleksibiliteten fördelats proportionerligt efter elanvändningen i relevant sektor, se Figur 17 (i kapitel 8). Flexibel elanvändning från transporter utgår från penetrationsgraden av persontransporter och lätta lastbilar i varje elområde. I de fall då det finns säkrare information om var flexibel elanvändning hamnar så har vi utgått ifrån detta. Så som att tillkommande elanvändning från elektrolysörer har placerats i SE1 och SE3 utifrån att det är i dessa elområden produktionen väntas tillkomma utifrån informationen som finns i dagsläget. Uppvärmning och annan flexibel användning från bostads- och servicesektorn följer elanvändningen i dessa områden. Stora värmepumpar i fjärrvärmenäten följer också denna fördelning.

Känslighetsfall för ytterligare efterfrågefleksibilitet

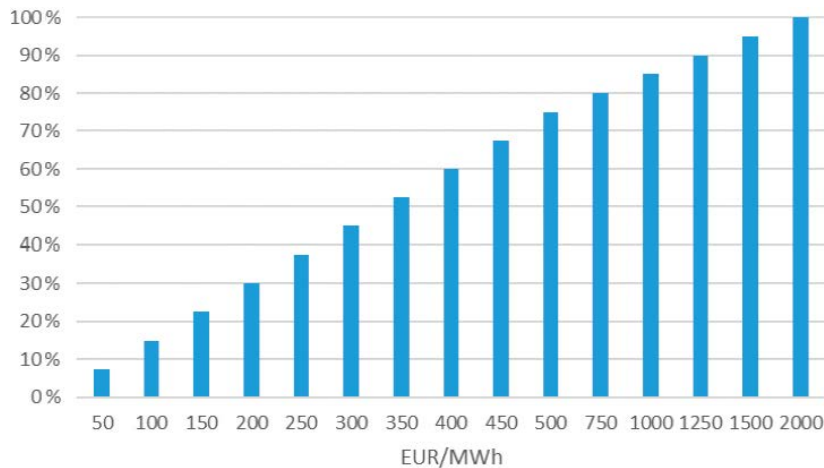
Fokus i den här studien är den elektrifiering som i dagsläget pågår och planeras för och hur den påverkar elsystemet. Flexibilitet på användarsidan kommer kunna bidra till balansering i framtidens elsystem. För att undersöka ytterligare hur olika tidsskalor för flexibilitetens uthållighet påverkar elsystemet har även ett känslighetsfall gjorts på scenariot Högre elektrifiering med aktiva användare där flexibilitetsresursen har längre uthållighet, Högre elektrifiering med aktiva användare med annan uthållighet i flexibilitet, mer om det i avsnitt 9.2.7 Känslighetsanalys.

9.1.2 Metod för modellering av flexibel elanvändning

I detta avsnitt beskrivs hur efterfrågefleksibiliteten har modellerats i elmarknadsmodelleringen. En sammanställning av flexibilitetspotentialen och resonemang kring hur elanvändare kan vara flexibla med sin elanvändning beskrivs i kapitel 8.

Förbrukningsreduktion

Ett övergripande antagande har gjorts vilket innebär att den styrbara lasten (flexibilitetsresursen) kopplas från vid en pristrappa för att motsvara brytpunkter när fränkopplingen innebär en förlust för företagen, se Figur 19. Trappan börjar vid 50 €/MWh och slutar på 2 000 €/MWh. Vid elpriser på 2 000 €/MWh är hela resursen, som motsvarar bedömningen av industriresursers nedregleringspotential, aktiverad. Observera att det kan finnas företag som har högre löpande kostnader än 2 000 €/MWh, de förväntas i sådant fall inte aktiveras enligt denna pristrappa.



Figur 19. Andel av resursen förbrukningsreduktion som aktiveras vid olika prisnivåer i TheMA. Källa: Energimyndighetens antaganden.

Flytt av last

Flytt av last innebär att last troligen förskjuts från en tidpunkt med höga elpriser till en tid med låga elpriser. Flyttbar last modelleras som ett batteri med olika uthållighet beroende på scenario och användare. Det finns en transaktionskostnad i form av förluster för att resursen ska flyttas men metoden utgår ifrån att utnyttja skillnader i elpris för att resursen ska aktiveras. Detta kan jämföras med en automatiserad flytt av last, där det kan antas att även små vinster i pris gör att flexibilitetsresursen aktiveras.

Teknisk potential som modellerats som flyttbar last inkluderar elvärme i bostäder och fjärrvärme, ventilation och uppvärmning i servicesektorn och smart laddning av elektrifierade transporter. Vätgasproduktion genom elektrolys inkluderas också som flytt av last i modellen, där lagringskapacitet i anslutning till elektrolysören fylls på när elpriserna är lägre. Lasten som motsvarar elektrolysören kopplas från när priserna är höga. Som tidigare nämnts modelleras den flyttbara lasten som ett batteri vilket måste laddas upp för att kunna användas igen. Då ökar effektuttaget vilket kan jämföras med en resurs som avvaktar med sin elanvändning, till exempel skjuter upp sin elbilsladdning eller uppvärmning, men sedan behöver använda mer kapacitet för att åstadkomma samma nytta när elnätet inte är ansträngt.

Modellen utgår från en optimering där alla flexibilitetsresurser har information om när det kommer vara ett billigt eller dyrt elpris under årets alla timmar. Denna vetskap gör att resurserna har all tillgänglig information kring när det är lönsamt att aktiveras. Detta leder till att resurserna aktiveras mer aggressivt än vad som kan förväntas av konsumenter i verkligheten där det finns osäkerheter kring externa faktorer som bland annat vädret och i sin tur elprisets utveckling.

Osäkerheter

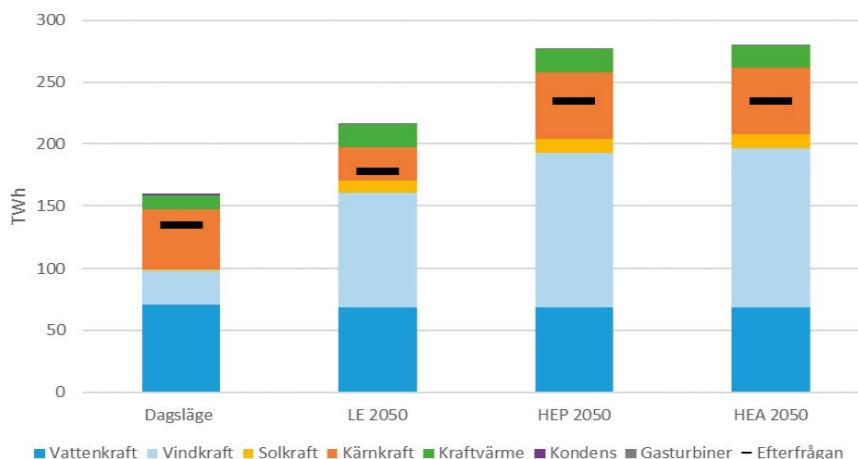
Ett syfte i elmarknadsanalysen har varit att modellera scenarier med tillräckligt stora skillnader i flexibel elanvändning för att kunna studera hur efterfrågeflexibilitet påverkar utvecklingen. Metoderna för hur efterfrågeflexibilitet har kunnat implementeras i modellen har varit begränsade och hänsyn har inte tagits till korttidsreglering och stödtjänster. Framöver kommer antagligen förändringar ske inom området vad gäller såväl teknisk utveckling som regelverks- och marknadsmässiga förändringar.

9.2 Resultat av elsystemmodelleringen

I följande avsnitt redovisas resultat från elsystemmodelleringen. Scenarierna har fått förkortningar i figurerna: Lägre elektrifiering (LE), Högre elektrifiering med passiva användare (HEP) och Högre elektrifiering med aktiva användare (HEA).

9.2.1 Elbalansen stärks med en ökad elektrifiering

Med elbalans menas grovt sett skillnaden mellan producerad och använd el på årsbasis. I Figur 20 ses elproduktionen och elanvändningen 2050 i respektive scenario.

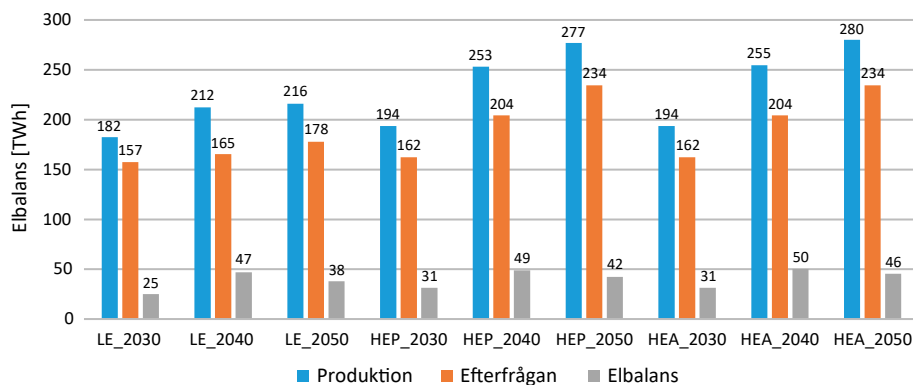


Figur 20. Elanvändning och elproduktion per kraftslag i Sverige 2020 samt i respektive scenario 2050, TWh.

Källa: Resultat från TheMa-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

I modellsimuleringarna stärks elbalansen för Sverige till 2050 jämfört med dagens situation trots en ökad elanvändning. Sammantaget beror det på att den förnybara elproduktionen, främst landbaserad vind, ökar samtidigt som kärnkraften finns kvar genom livstidsförlängningar och nyinvesteringar vilket blir aktuellt i de båda scenarierna Högre elektrifiering. Även elproduktionen från solkraft antas öka och uppgår till 10–11 TWh 2050 beroende på scenario.

Det kan också noteras att den ökande prisvolatiliteten i de båda högre elektrifieringsfallen innebär att det blir lönsamt att investera i nya gasturbiner för att möta efterfrågan i de timmar då lasten är mycket hög. Även om denna elproduktion är liten så är gasturbinerna i modellen fossilbaserade, men utifrån rådande målsättningar om att fasa ut fossila bränslen är det inte sannolikt att dessa investeringar kommer att ske. Tanken är att de i modellen representerar en flexibel elproduktionsresurs som till exempel skulle kunna drivas med biometan eller biogas. I Figur 21 redovisas elbalansen för Sverige för alla scenarier. Mer detaljerad information per elområde redovisas i Bilaga 1.



Figur 21. Elbalans för Sverige i alla scenarier 2030, 2040 och 2050, TWh.

Källa: Resultat från TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

I scenarierna sker inga investeringar i havsbaserad vindkraft utifrån de förutsättningar som antagits. Det finns dock gott om projekt samt förslag på styrmedel som påverkar lönsamhetsbedömningen för havsbaserad vind om de genomförs. Om utvecklingen skulle bli en annan än i scenarierna och det börjar att byggas ut havsbaserad vindkraft under 2020-talet är det möjligt att el- och effektbalansen stärks i södra Sverige.

Reflektion

Utvecklingen för havsbaserad vindkraft

Den tekniska utvecklingen för havsbaserad vindkraft har gått snabbt de senaste åren och resulterat i kraftigt minskade kostnader för elproduktionen. I Europa ökar den havsbaserade vindkraften i relation till den landbaserade vindkraften, men det finns fortfarande runt tio gånger mer landbaserad vindkraft (utifrån installerad kapacitet).

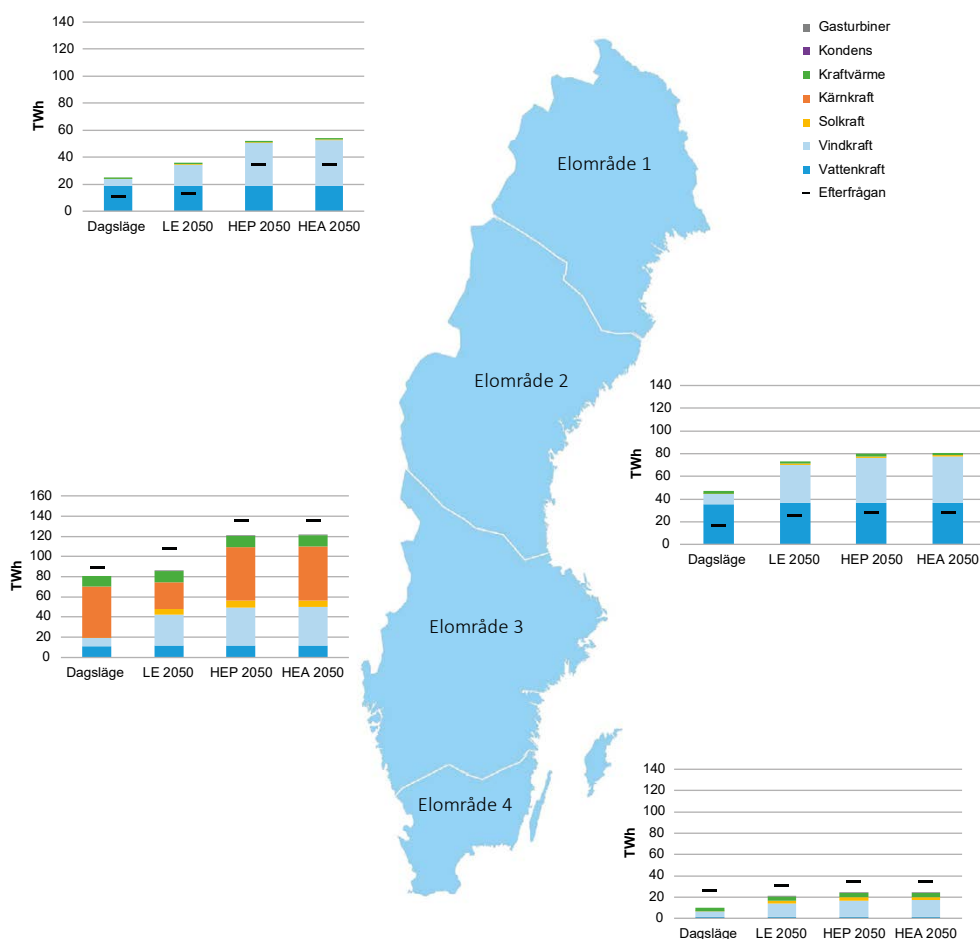
Under 2020-talet är det dock möjligt att utbyggnaden av vindkraft till havs ökar även i Sverige. Svenska kraftnät har fått in stora volymer av ansökningar för att ansluta projekt och länsstyrelserna har även fått in en stor volym av tillståndsansökningar. Större delen av dessa ansökningar är dock i ett tidigt stadiet. Det finns dock undantag som Vattenfalls tillståndsansökan för en vindkraftspark på den svenska delen av Kriegers flak i södra Östersjön. Den tillståndsansökan har kommit relativt långt i processen och om slutligt besked kommer inom kort beräknar Vattenfall att installation kan ske runt 2026–2028. Parken beräknas kunna leverera 2,5 TWh el.

Havsbaserad vindkraft bedöms än så länge inte vara lönsam att byggas ut på egna meriter, men regeringen har lagt ett förslag som gör att kostnaderna för nätanslutning för vindkraft till havs kan minska, vilket skulle kunna öka utbyggnadstakten. Regeringens förslag har varit ute på remiss under våren 2021.²⁴⁴

Vidare har Havs- och vattenmyndigheten tagit fram förslag till havsplaner för Sverige. Tanken med havsplanerna är att de ska vägleda myndigheter, kommuner och domstolar när de beslutar, planerar eller ger tillstånd för verksamhet till havs. I planerna finns det utpekade områden för elproduktion. Dessa områden bedömer Energimyndigheten kan leda till 20–30 TWh havsbaserad vindkraft. Havsplanerna har lämnats på förslag till regeringen, men beslut har inte fattats.

²⁴⁴ Promemoria: Minskade anslutningskostnader för elproduktion till havs, Infrastrukturdepartementet, 2021

Trots att elanvändningen ökar kraftigt i SE1 efter 2040 i elektrifieringsscenarierna så fortsätter elbalansen att vara positiv och även något starkare 2050 jämfört med idag, vilket kan ses i Figur 22. Detta då ny elproduktion, främst i form av landbaserad vindkraft, byggs i området. Elbalansen stärks mer i SE2 där elanvändningen inte ökar lika mycket men där elproduktionen också ökar.



Figur 22. Elanvändning och elproduktion per kraftslag och elområde 2020 samt i respektive scenario 2050, TWh.

Källa: Energimyndighetens antaganden.

SE3 och SE4 har istället fortsatt negativ elbalans i scenarierna. För SE3 är elbalansen något sämre 2050 jämfört med idag trots att det sker livstidsförlängningar och nyinvesteringar i kärnkraft i området. I SE4 blir elbalansen något bättre jämfört med idag även om den är fortsatt negativ.

Reflektion

Påverkar flexibel elanvändning den årliga elbalansen?

Efterfrågefleksibiliteten påverkar inte elbalansen direkt i denna studie, då elbalansen slås ut över ett år, och flexibel elanvändning påverkar hur elen används mellan perioder med höga och låga priser. En ansträngd elbalans kan leda till högre volatilitet i elpriserna, vilket är något som flexibel elanvändning delvis kan motverka. Det kan ses i jämförelsen mellan Högre elektrifiering med aktiva respektive passiva användare, där det i fallet med aktiva användare inte blir lönsamt att investera i gasturbiner i SE3.

Flexibel elanvändning kan dock påverka elbalansen indirekt genom att stimulera till investeringar i ny elproduktion, då flexibilitet påverkar erhållet elpris för kraftproducenter. Elproducenter som kan planera och kan förlägga sin produktion till timmar då elpriset är högre erhåller en högre ersättning för sin produktion. Flexibel elanvändning utnyttjar på liknande sätt denna prisskillnad och flyttar sin last mellan timmar med lågt pris och högt pris för att optimera sin kostnad. Detta kan jämna ut elpriset, och leder generellt till en utjämning mellan högpris- och lågpristimmar, vilket är en fördel främst för de kraftproducenter som producerar el när spotpriset är lågt. Detta kan öka lönsamheten i att investera i dessa kraftslag och ge utslag på hur kraftsammansättningen till scenarierna ser ut. Denna studie har dock inte som mål att undersöka dessa effekter, och produktionsmixen i de olika scenarierna har varit delvis konstanta.

9.2.2 Effektbalansen försvagas över tid men kan stärkas av efterfrågefleksibilitet

För att undersöka hur robust det svenska elsystemet är kan man titta på hur effektbalansen påverkas i framtiden. Med statisk effektbalans avses balansen mellan den momentana elproduktionen (effekt) och efterfrågan (last) i den timmen under året där efterfrågan är som högst. En positiv effektbalans innebär att Sverige bör kunna hantera utmanande effektsituationer, exempelvis på grund av en köldknäpp, utan att förlita sig på import. Ett annat sätt att analysera effektsituationen är att titta på effektbalansen över mer lokala och regionala områden, till exempel hur de södra elområdena i Sverige samspelar med Danmark. Här pratar man om en probabilistisk effektbalans vilket resulterar i att knapphetspriser uppstår när effektsituationen är ansträngd i dessa områden, se avsnitt 9.2.4.

Lasten påverkas i stort av konjunktur och temperatur. Då el används för uppvärmning i Norden påverkas lasten av förändringar i temperatur. På utbudssidan påverkas effektbalansen av hur den installerade effekten utvecklas och vilken typ av kapacitet som tillförs systemet. Detta beror på att olika elproduktionsslag har olika tillgängligheter under toppplastimmen. För vindkraft visar statistiken att tillgängligheten är högre under vintertid jämfört med andra delar av året. Vid riktigt kalla timmar, då elanvändningen i Sverige är som störst, avtar emellertid tillgängligheten för vindkraft. Eftersom syftet med en effektbalans är att analysera elsystemets förmåga att hantera momentana extremhändelser, exempelvis effekttoppar, är den tillgängliga effekten, snarare än den installerade effekten, av intresse. För antagen tillgänglighet se Tabell 11.

Tabell 11. Antagen tillgänglighet för beräkning av den statistiska effektbalansen.

Teknologi	Tillgänglighetsfaktor [%]
Vattenkraft	82
Kärnkraft	90
Vindkraft	9
Gasturbiner	90
Kondenskraft	90
Kraftvärme	77
Solkraft	0

Källa: Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2020, Svenska kraftnät.

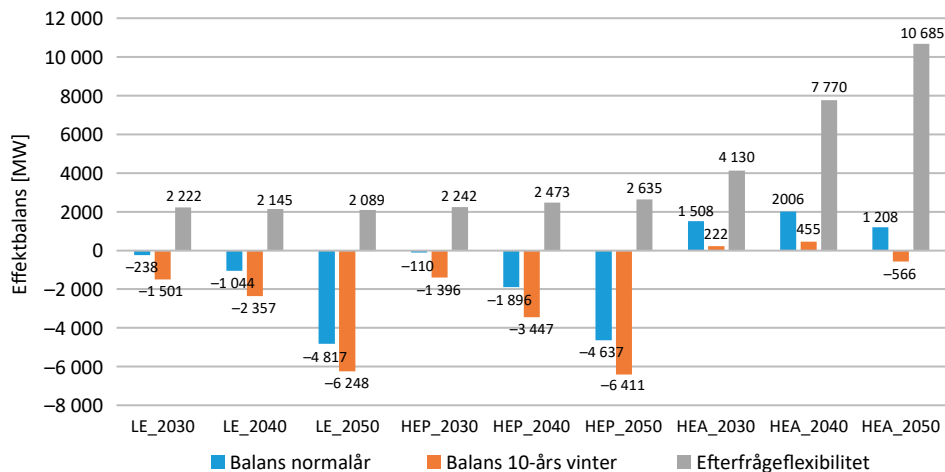
I följande redovisning av effektbalansen har Energimyndigheten följt Svenska kraftnäts redovisningsmetod som inte inkluderar handel eller störningsreserv.²⁴⁵ Effektreserven ingår däremot i Svenska kraftnäts beräkningar av den statistiska effektbalansen idag. Effektreservens framtid är osäker och nu upphandlad till vintern 2024/25 så i denna studie har därför effektreserven utelämnats. Detta är endast ett antagande och utgör ingen bedömning av hur länge effektreserven kommer att finnas kvar.

I redovisningen av effektbalansen ingår även modellbaserade investeringar i gasturbiner och kärnkraft vilka tillkommer om det är lönsamt. Utan dessa investeringar hade effektbalansen varit svagare. Det bör noteras att det är frågan om en statisk effektbalans vilket bland annat innebär att beräkningarna endast har utgått från ett väderår och där lasten baseras på ett normalår alternativt en 10-års vinter.²⁴⁶ Därför bör resultaten tolkas med försiktighet.

Utifrån de antaganden som har gjorts gällande den framtida installerade kapaciteten, efterfrågan samt modellbaserade investeringar kan det konstateras att den statistiska effektbalansen försvagas över tid för alla scenarier. I Figur 23 redovisas den totala effektbalansen för respektive scenario och år. Den ljusare grå stapeln visar effektbalansen eller skillnaden mellan antagen tillgänglig effekt och vilken effekt som bedöms användas under en normal vinter medan den mörkare grå stapeln visar motsvarande sak men under en 10-års vinter. En negativ stapel visar på ett effektunderskott. Den bruna stapeln visar hur mycket efterfrågefleksibilitet som finns i respektive scenario och år och som stärker effektbalansen.

²⁴⁵ Kraftbalansen på den svenska elmarknaden, rapport 2020, 2020/334, Svenska kraftnät.

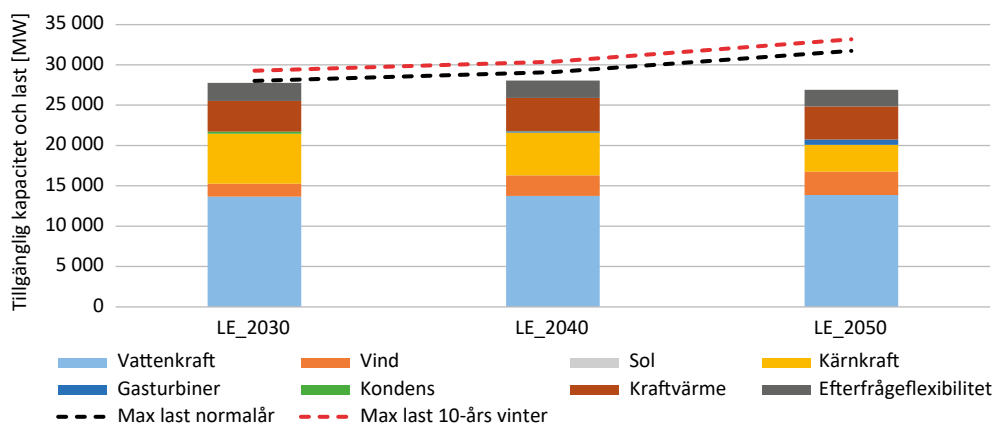
²⁴⁶ Ett normalår representerar det genomsnittliga klimatet (temperatur, tillrinning, vindhastighet, solinstrålning) under en period, exempelvis 30 år. En 10-års vinter representerar en kallare vinter som återkommer i genomsnitt en gång per tio år.



Figur 23. Utvecklingen av effektbalansen uppdelat på normal-10-års vinter samt efterfrågeflexibilitet, tillgänglig effekt, MW.

Källa: Resultat från TheMa-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

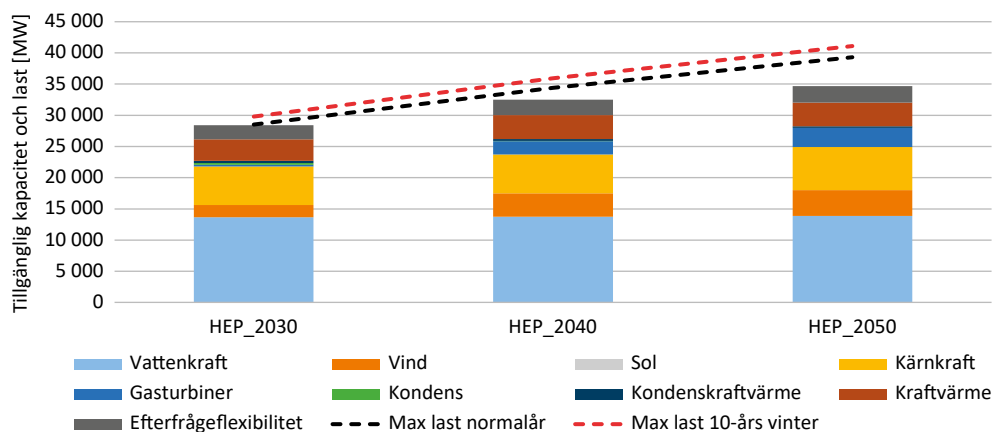
Lägre elektrifiering (LE) uppvisar den svagaste effektbalansen för 2050 jämfört med de andra scenarierna och underskottet är då $-4\,800$ MW för en normal vinter trots att scenariot har en lägre last vilket ses i Figur 24. Två större skillnader mot övriga scenarier är att det i detta scenario inte sker några nyinvesteringar i kärnkraft och att antagen efterfrågeflexibilitet är lägre än i Högre elektrifiering.



Figur 24. Utvecklingen av effektbalansen i Lägre elektrifiering, MW.

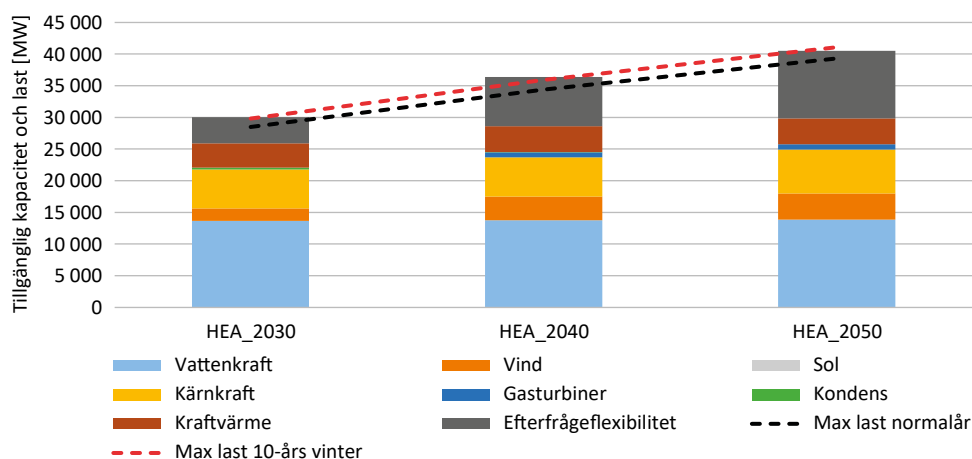
Källa: Resultat från TheMa-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

Figur 25 visar att effektbalansen även är svag i Högre elektrifiering med passiva användare (HEP) för 2050 där den uppgår till $-4\,600$ MW. Försvagningen drivs av en snabbt ökande efterfrågan (last) som inte kan mötas då nyinvesteringar primärt sker i variabel elproduktion med en lågt bedömd tillgänglig effekt.



Figur 25. Utveckling av effektbalansen i Högre elektrifiering med passiva användare, MW. Källa: Resultat från TheMa-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

I Högre elektrifiering med aktiva användare (HEA) motverkas försvagningen av effektbalansen i hög grad genom en ökad antagen flexibilitet i form av lastreduktion samt lastförskjutning vilket ses i Figur 26. För 2050 uppvisar scenariot en positiv effektbalans i ett normalår uppgående till 1 200 MW.



Figur 26. Utvecklingen av effektbalansen i Högre elektrifiering med aktiva användare, MW. Källa: Resultat från TheMa-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

Det bör dock noteras att effektbalansen stärks i båda scenarierna Högre elektrifiering av nyinvesteringar i kärnkraft och med gasturbiner. Utan detta tillskott hade effektbalansen varit väsentligt svagare. I sammanhanget är det intressant att notera att antagandet om en ökad efterfrågeflexibilitet i HEA-scenariot innebär att väldigt lite nyinvesteringar i gasturbiner sker.

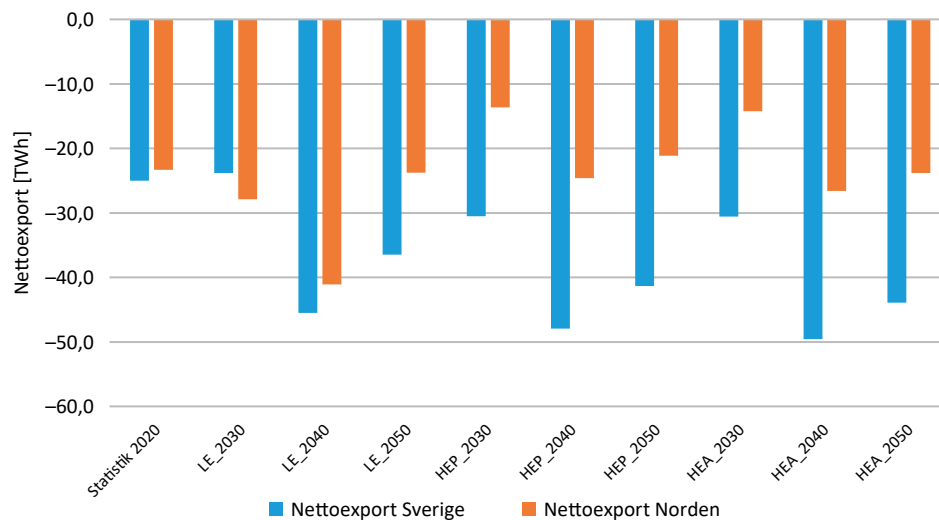
Som nämnts tidigare ingår inte handeln i den statiska effektbalansen och om handel, dvs import, inte kan täcka effektunderskottet måste effektbalansen stärkas med hjälp av en kombination av ny produktion, efterfrågeflexibilitet samt lager vilket är något som vi inte studerat vidare i denna analys. Här behöver olika resurser som kan vara uthålliga

över olika tidsskalor kombineras för att skapa ett resilient elsystem. Denna sammansättning kommer att påverkas av den framtida kostnadsutvecklingen för exempelvis flexibilitet samt av den generella marknadsutformningen av elmarknaden. Modernare vindturbiner och havsbaserad vindkraft har potentiellt en högre tillgänglighet den kallaste timmen än de nio procent som antas idag vilket på sikt kan stärka effektbalansen både nationellt och regionalt.

9.2.3 Sverige fortsätter att nettoexportera el

Den svenska och nordiska elbalansen förstärks fram till 2040 i alla scenarier. Detta drivs av att den förnybara elproduktionen expanderar samtidigt som kärnkraften finns kvar. Mer specifikt innebär det sistnämnda att kärnkraften finns kvar i Sverige genom livstidsförlängningar i samtliga scenarier samtidigt som nyinvesteringar sker i Högre elektrifiering. Tillförsel av ny produktion med låga rörliga marginalkostnader tillsammans med utbyggnader av den interna transmissionskapaciteten samt överföringskapacitet mellan de nordiska länderna och kontinenten leder till ökad elexport.

Efter 2040 försvagas dock elbalansen i både Sverige och Norden vilket beror på att tillväxten av förnybar elproduktion i scenarierna inte riktigt håller jämna steg med ökningen av elanvändningen. I Figur 27 nedan redovisas nettohandel från Sverige samt nettohandel från Norden till kontinenten.



Figur 27. Svensk och nordisk nettohandel 2020 samt i scenarierna för 2030, 2040 och 2050, TWh/år. Nettoexport (-) och nettoimport (+).

Källa: SKM samt resultat från TheMA-modellen.

Sverige blir nettoexportör till alla grannländer i alla scenarier förutom till Norge i Lägre elektrifiering. Sett ur ett nordiskt perspektiv sker det en export mot kontinenten samt Storbritannien. Danmark blir ett transitland för norsk och svensk elexport mot Tyskland och i viss mån Nederländerna. Prisskillnader mellan Norge och Storbritannien samt mellan Norge och Tyskland genererar en nettoexport mot Storbritannien när de nya överföringsförbindelserna mellan länderna kommer på plats 2021. Detta kraftflöde förstärks till viss del av svensk nettoexport till Norge i båda scenarierna Högre elektrifiering.

Överföringen av el ökar mellan norra och södra Sverige för åren 2030, 2040 samt 2050 i alla scenarier jämfört med dagens situation. Detta beror på att SE3 har störst elanvändning samtidigt som en stor del av ny vindkraft byggs i norra Sverige. I Lägre elektrifiering för 2050 sker den största överföringen mellan SE2 till SE3 och är 52 TWh. I de båda scenarierna Högre elektrifiering uppgår motsvarande elöverföring till 49–50 TWh. Detta kan jämföras med 2020 då kraftflödet från SE2 till SE3 uppgick till 43 TWh vilket i sin tur var 12 TWh högre än under 2019.

Det bör påpekas att modellen inte fångar vissa tekniska begränsningar i elnätet. Det är exempelvis viktigt att produktion och konsumtion av reaktiv effekt sker på rätt ställen (lokalt) i näten för att överföringskapacitet och driftsäkerhet ska kunna garanteras, vilket är något som modellen inte fångar. Spänningen i stamnätet har historiskt sett bland annat reglerats av anslutna synkrongeneratorer, exempelvis kärnkraftverk. Utifrån de scenarier som har presenterats i denna studie är den installerade kärnkraftskapaciteten i SE3 i de båda högre elektrifieringsscenarierna ungefär densamma 2050 som 2020 medan den installerade effekten mer än halveras i Lägre elektrifiering. Utan ytterligare åtgärder kan den lägre reaktiva effekten i det sistnämnda scenariot innebära svårigheter att föra över el från de norra delarna till SE3.

Reflektion

Handel och efterfrågefleksibilitet

Även om den svenska nettoexporten är stor, sett över året, betyder det inte att det gäller årets alla timmar. Under vissa timmar eller perioder kan Sverige vara nettoimportör av el. Det sker en intensiv handel mellan Sverige och omkringliggande länder varje timme där riktningen förändras beroende på elprisskillnader mellan olika elområden och länder. Sverige kan till exempel importera och exportera el samtidigt från olika elområden.

Flexibel elanvändning kan i vissa fall minska behovet av både export och import genom att använda mer el när förnybara källor producerar och elpriset är lågt, och dra ner sin användning av el när den är dyr och skulle importerats. Vid dessa situationer används ofta all överföringskapacitet. Att motverka import eller export har inte ett egenvärde, men den flexibla användningen kan bidra till att nät kan användas mer effektivt.

Modellresultaten visar på att exporten ökar i scenariot med aktiva användare. Detta är troligen en situation som uppkommer när förnybara källor producerar el, så exporterar Sverige så mycket som överföringen tillåter. Men i fallet med aktiva användare utnyttjas även de lagringsmöjligheter som finns genom att de energilagrar som finns fylls upp. Vid efterföljande period av låg förnybar elproduktion, och höga elpriser i Sverige, men med ännu högre elpriser i omkringliggande länder finns det i scenariot med aktiva användare en större möjlighet att exportera el än i scenariot med passiva användare.

9.2.4 Elprisets utveckling

Allmänt om elpriser

Elpriserna styrs av den kortsiktiga marginalkostnaden för att producera el i en timma, det vill säga den rörliga produktionskostnaden för det dyraste kraftslaget som just då används för att möta efterfrågan. Den kortsiktiga marginalkostnaden påverkas bland annat av utvecklingen av bränslepriser, utsläppspriser, fyllnadsgraden i den nordiska vattenkraften samt efterfrågan. Reglerbar vattenkraft är många gånger prissättande i det nordiska elsystemet då den prissätts utifrån alternativkostnaden det vill säga vilka framtida intäkter som förloras om man producerar idag snarare än i framtiden. Eftersom el är en viktig energibärare inom uppvärmning i Norden (Norge, Sverige samt Finland) varierar efterfrågan och därmed den kortsiktiga marginalkostnaden över året beroende på förändringar i utomhustemperaturen.

På lång sikt, när efterfrågan har stigit och/eller äldre avskriven kapacitet har lagts ned och ersatts med nyare investeringar, måste dyrare produktion användas allt oftare vilket innebär att de kortsiktiga marginalkostnaderna kommer att stiga. När de kortsiktiga marginalkostnaderna har stigit så att de är i paritet med den långsiktiga marginalkostnaden för det billigaste kraftslaget blir det lönsamt att bygga ny elproduktion. I en sådan situation täcks även kapitalkostnaden för det kraftslaget som utgör det långsiktigt marginalproducerande kraftslaget.

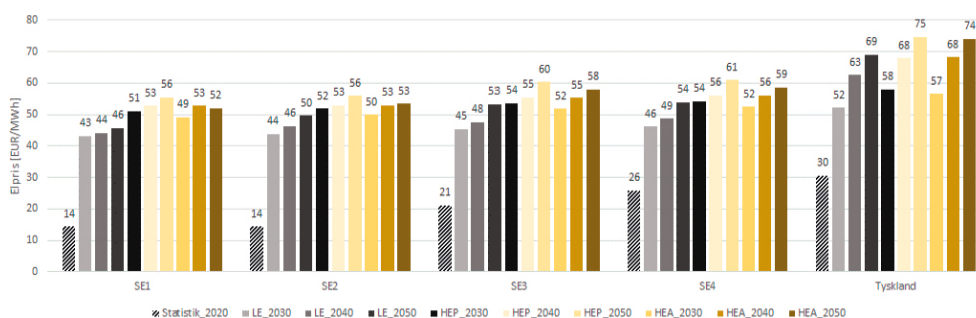
Bristande överföringskapacitet, så kallade flaskhalsar, mellan olika områden kan ge upphov till olika priser inom olika delar av Norden samt mellan Norden och omkringliggande områden. Nord Pool beräknar först ett gemensamt systempris vilket är ett artificiellt pris som baseras på att det finns oändlig överföringskapacitet mellan de nordiska elområdena. I de fall då dessa överföringar inte är möjliga, givet existerande överföringsbegränsningar, delas marknaden upp och olika priser beräknas för de olika elområdena. I sådana fall uppstår sålunda flera olika prisområden.

Det pris som en elkund betalar för sin el består förutom av elhandelspriset också av elnätsavgifter, skatter och andra avgifter samt moms.

Genomsnittliga spotpriser

I Figur 28 redovisas faktiska elpriser för 2020 för de svenska elområdena och Tyskland samt simulerade priser för 2030, 2040 samt 2050 i de olika scenarierna för ett normalt väderår. Elpriserna 2020 var både ovanligt låga och uppvisade större prisskillnader mellan elområden än tidigare år.

Elpriserna ökar över tid i alla scenarier förutom i SE1 i Högre elektrifiering med aktiva användare (HEA_2050) där priset sjunker marginellt 2050 jämfört med 2040. På ett generellt plan drivs prisutvecklingen av ökade utsläppsriktpriser och ökade bränslepriser. Ökad sammankoppling mot kontinenten genom större överföringskapacitet innebär att prisutvecklingen i Norden påverkas mer av utvecklingen av marginalkostnaden i fossileldade kraftverk som finns i grannländerna.



Figur 28. Genomsnittliga spotpriser per elområde och år för 2020 samt alla scenarier, löpande 2020 priser för 2020 samt 2018 års priser för scenarierna, EUR/MWh.

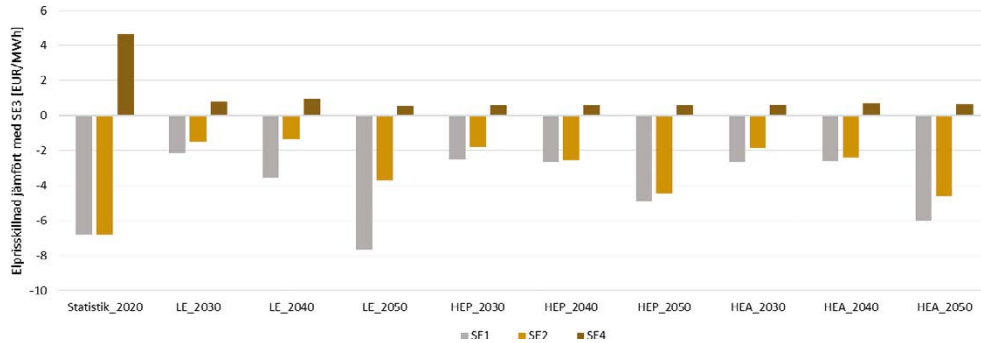
Källa: Nord Pool samt resultat från TheMa.

Trots en starkt elbalans stiger priserna i det mest nordliga elområdet, SE1, 2050 jämfört med 2030 i Lägre elektrifiering. Detta drivs av ökade utsläppsriktpriser och bränslepriser samt en ökad uppkoppling mellan Norden och kontinenten. Vattenvärdet, det vill säga alternativkostnaden för att spara vattnet eller inte, som i hög grad styr marginalprissättningen inom Norden, påverkas av import från kontinenten. I de båda scenarierna Högre elektrifiering försvagas elbalansen något i SE1 och priserna stiger. Som tidigare nämnts sjunker priserna marginellt i Högre elektrifiering med aktiva användare mellan 2040 och 2050 vilket primärt beror på att mer uthållig flexibilitet i form av flexibel vätgasproduktion genom elektrolys har antagits komma in i elområdet. Detta gör att både antalet nollpriser minskar samtidigt som antalet mycket höga elpriser minskar. Att antalet timmar med väldigt höga elpriser minskar har en stor påverkan på genomsnittspriset som sjunker.

I SE2 stärks elbalansen över tid i alla scenarier när 2050 jämförs med 2030. Att priserna ändå ökar beror på, liksom i SE1, att området har en stor mängd installerad vattenkraft vars vattenvärde påverkas av ökade utsläppsriktpriser och bränslepriser samt en ökad uppkoppling mellan Norden och kontinenten. I Högre elektrifiering med aktiva användare innebär den ökade mängden flexibilitet att antalet nollpriser minskar. Detta påverkar också vindkraftsproduktionen som ökar något.

I SE3 uppgår elpriserna 2050 som lägst till 53 EUR/MWh i Lägre elektrifiering och som högst, 60 EUR/MWh i Högre elektrifiering med passiva användare. Elbalansen i detta elområde försvagas över tid i alla scenarier. I SE4 ligger priserna marginellt över priserna i SE3 för 2040 och 2050 i alla scenarier.

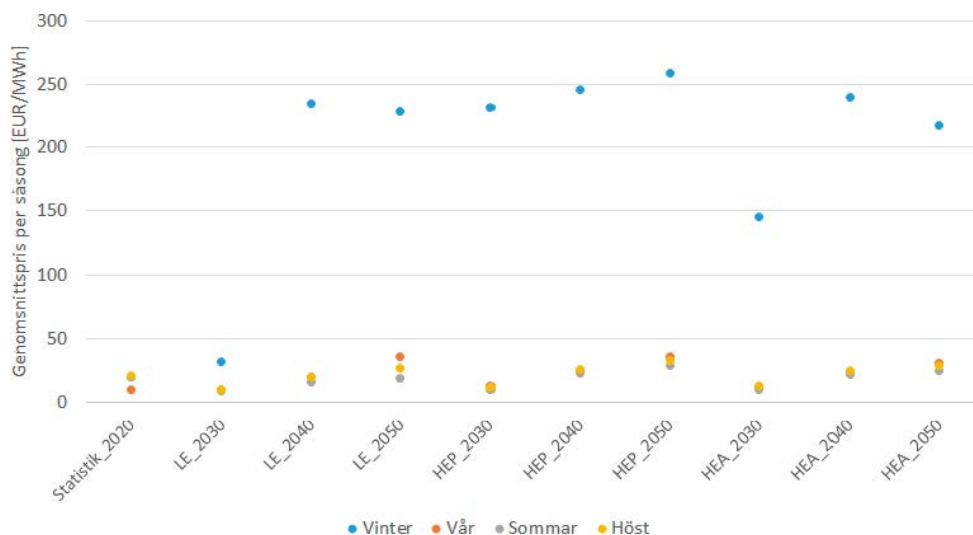
Figur 29 nedan visar, som tidigare nämnts, att elpriserna i de norra elområdena, SE1 och SE2, är lägre än i SE3 och SE4. Detta beror på att elbalansen är starkare i norr än i söder då alltmer vindkraftsproduktion antas förläggas i norr samtidigt som ingen produktion av betydelse avvecklas.



Figur 29. Elprisskillnad jämfört med SE3, löpande 2020 priser för 2020 samt 2018 års priser för scenarierna, EUR/MWh.

Källa: Nord Pool samt resultat från TheMa.

Figur 30 redovisar det genomsnittliga elpriset per säsong och scenario för SE3. Resultatet indikerar att medan vattenkraftens kapacitet lyckas jämna ut säsongsprisskillnaderna i Lägre elektrifiering för 2030 i SE3 blir detta svårare därefter. I de högre elektrifierings-scenarierna räcker inte vattenkraften för att reglera och därmed jämna ut elpriserna redan 2030 och denna tendens förstärks över scenarioperioden. Det beror på att effektbalansen försvagas över tid vilket stundtals innebär mycket höga elpriser under vintersäsongen. I Högre elektrifiering med aktiva användare sjunker genomsnittspriset under vintersäsongen jämfört med scenariot med passiva användare. Detta beror på antagandet om en väsentligt större efterfrågefleksibilitet vilken, trots mindre nyinvesteringar i gasturbiner, förstärker effektbalansen i SE3.



Figur 30. Genomsnittspris per säsong för SE3, löpande 2020 priser för 2020 samt 2018 års priser för scenarierna, EUR/MWh.

Källa: Nord Pool samt resultat från TheMa.

Reflektion

Ökade elpriser under vintern

Att elpriset blir mycket högre under vinterhalvåret kan få betydande konsekvenser för Sverige och närliggande länder som har en stor elanvändning under vintern. Vi använder en stor del el till vårt värmebehov samtidigt som vi är vana vid ett elpris som inte har allt för stora säsongsvariationer. Även om det idag är vanligt att ha fasta elpris som sträcker sig över ett eller flera år kommer dessa också att börja avspegla de höga vinterpriserna eftersom elleverantörer inte kan sälja el till förlust. I Högre elektrifiering är elvärmen nära halverad utifrån dagens nivå.

Om elpriset under längre tid är upp mot tio gånger så högt under vintern som på sommaren kommer det dock sannolikt leda till strukturella förändringar i elsystemet. Det behöver inte nödvändigtvis vara flexibilitet som sådan utan snarare att elanvändningen och/eller elproduktionen anpassas. Exempel kan vara att både direktverkande el och värmepumpar har svårare att konkurrera med exempelvis fjärrvärme och att kraftvärme, som naturligt sett producerar mer el under vintern, får mer konkurrensfördelar. Det kan också finnas andra affärslösningar som växer fram, inte minst i kombination med de många timmar med mycket låga elpriser som ökar och beskrivs nedan. I sammanhanget bör det påpekas att de höga genomsnittspriserna under vintern drivs av ett relativt fåtal timmar där elpriserna är mycket höga.

Nollpriser

I Tabell 12 redovisas antal timmar med nollpriser per elområde och scenario. Resultaten visar bland annat att antalet timmar med nollpriser ökar över tid vilket har att göra med att produktionen från primärt vindkraften momentant överstiger efterfrågan i vissa timmar. Detta är speciellt märkbart i Högre elektrifiering med passiva användare 2050 där antalet timmar uppgår till nästan 1 900 i SE3. Flest timmar med nollpriser inträffar dock i de norra elområdena där en stor del av den installerade vindkraftskapaciteten finns. Även om antalet timmar med nollpriser fortfarande är stort i Högre elektrifiering med aktiva användare minskar dock antalet timmar märkbart genom att konsumtion flyttas till lågpristimmar.

Tabell 12. Antal timmar med nollpriser per elområde och scenario.

	Statistik	Lägre elektrifiering			Högre elektrifiering med passiva användare			Högre elektrifiering med aktiva användare		
		2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040
SE1	2	195	1 123	1 384	257	1 859	2 348	264	1 498	1 925
SE2	2	195	1 132	1 408	257	1 859	2 286	264	1 636	1 895
SE3	2	195	1 129	1 395	253	1 622	1 880	259	1 468	1 447
SE4	2	195	1 174	1 598	253	1 665	2 059	259	1 513	1 736

Källa: Resultat från TheMA.

Reflektion

Hur reagerar marknaden på nollpriser?

Modellresultatet visar att det uppstår nollpriser runt 20 procent av årets timmar i de flesta scenarierna.

Nollpriser och negativa priser är framförallt förknippade med länder som har (omfattande) stödsystem kopplat till sin elproduktion, ibland utan någon koppling till elmarknaden. Scenarierna i den här studien har utvecklats utan stödsystem och elmarknadens aktörer kommer sannolikt att reagera på elpriser i de här nivåerna, vilket får konsekvenser för hur både produktion och användningen utvecklas. Vissa aktörer inom sol- och vindkraft kanske väljer att inte investera, andra kanske väljer turbiner med lägre installerad maxeffekt men med högre fullasttimmar. Andra kanske väljer att reglera ned sin kraft om alternativkostnaden är för stor.

På kundsidan uppstår möjligheter att nyttja el till ett mycket lågt pris. Vilka konsekvenser detta kan få på utbudet och efterfrågan på el, och i slutändan elpriset, har inte undersökts i detalj i denna studie. Det finns dock en potential för strukturella förändringar i elsystemet fram till 2050 med utgångspunkt från den kraftigt förändrade prisstrukturen vi ser i modellen jämfört med den vi har idag.

Knapphetspriser

I Tabell 13 redovisas antalet timmar med knapphetspriser fördelat per scenario och elområde. Med knapphetspriser avses att utbud och efterfrågan inte möts, det vill säga det råder brist på el. En sådan situation kan avhjälpas med mer produktion, överföringskapacitet och/eller ökad efterfrågefleksibilitet samt lagringsmöjligheter. I modellsimuleringarna är knapphetspriser definierade som priser högre eller lika med 3 000 EUR/MWh.²⁴⁷

Sammanfattningsvis kan det konstateras att antalet timmar med knapphetspriser ökar över tid och endast inträffar i SE3 och SE4. Det sistnämnda är en konsekvens av att effektbalansen i de södra elområdena är relativt svag. Vidare inträffar de flesta timmar med knapphetspriser i SE3 i Högre elektrifiering med passiva användare. Den extra flexibilitet som antas i scenariot med aktiva användare motverkar uppkomsten av knapphetspriser i SE3.

Att inga timmar med knapphetspriser uppkommer i de norra elområdena beror på att de har en stark effektbalans där reglerbar vattenkraft utgör en viktig komponent.

Att antalet timmar med knapphetspriser inte sjunker i SE4 2050 i Högre elektrifiering och aktiva användare jämfört med Lägre elektrifiering och passiva användare orsakas primärt av två anledningar. Dels utgörs den antagna ökningen av efterfrågefleksibilitet främst av lastförflyttning med begränsad flexibilitet. Den andra anledningen är av mer modellteknisk natur. Mer specifikt har det antagits att flexibiliteten har ökats i hela Europa i högre elektrifieringsscenariot med aktiva användare vilket reducerar lönsamheten och därmed behovet av modellbaserade investeringar i ny spetskapacitet i omkringliggande länder/områden.

²⁴⁷ I Nord Pool området är knapphetspriser definierade som 3000 EUR/MWh och högre, se Curtailment, price thresholds and decoupling | Nord Pool (nordpoolgroup.com)

Tabell 13. Antal knapphetspriser per elområde och scenario.

	Statistik	Lägre elektrifiering			Högre elektrifiering med passiva användare			Högre elektrifiering med aktiva användare		
		2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040
SE1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SE3	0	0	0	2	0	5	6	0	0	4
SE4	0	0	0	2	4	6	5	3	4	5

Källa: Resultat från TheMA.

Reflektion

Knapphetspriser och konsekvenser av detta

Knapphetspriserna är på samma sätt som nollpriserna ett resultat av de antaganden som gjorts i scenarierna.

Till skillnad från nollpriserna är dock knapphetspriserna väldigt få till antalet men dess konsekvenser är mer omfattande då situationer av elbrist uppstår i systemet, och mer eller mindre kontrollerad frånkoppling av förbrukning skulle kunna bli aktuell för att undvika skador på elsystemet. Att knapphetspriserna är få och samtidigt i praktiken ganska oförutsägbara kan även innebära att det inte är lika sannolikt att någon marknadsaktör vill ta en risk att investera i en teknisk lösning. Investeringsviljan kommer också bero på hur ofta det även uppstår andra höga elpriser.

Det finns ett behov av att utvärdera vilken säkerhet som behövs för att säkerställa elsystemets funktion vid alla tillfällen, och i en tid med förändrade roller och ett elsystem i stor förändring är det viktigt att bevaka dessa frågor och ansvarsfördelningar för att undvika oplanerade strömavbrott.

9.2.5 Behovet av balansreglering ökar

När andelen variabel kraft i elsystemet ökar så kommer behovet av att balansera systemet att öka i samband med att nettolasten ökar. Med nettolast avses lasten (efterfrågan) minus produktion från vind- och solkraft.²⁴⁸

Sammantaget bedöms den maximala nettolasten öka med knappt tio procent (från 26 GW 2030 till 28 GW 2050) i Lägre elektrifiering. I båda scenarierna med högre elektrifiering ökar däremot nettolasten med närmare 35 procent (från 26 GW till 35 GW) under samma tidsperiod.

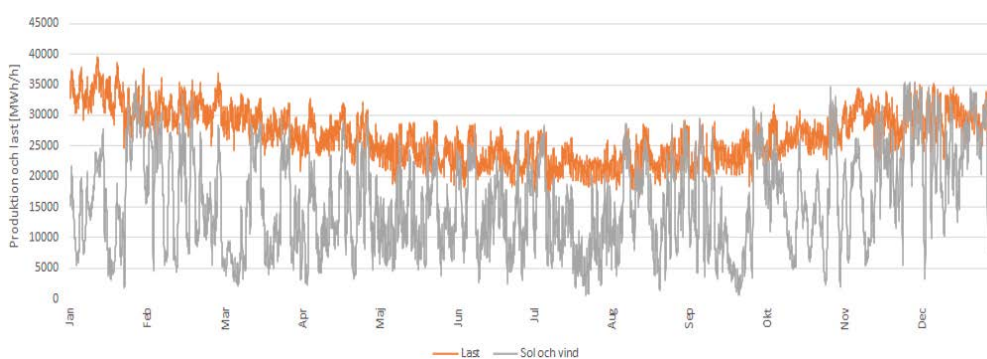
Samtidigt är nettolasten lägre 2050 i Lägre elektrifiering över större delen av årets timmar vilket felaktigt kan tolkas som om utmaningarna med att möta nettolasten är mindre. Elsystemets möjligheter att möta denna last är inte nödvändigtvis enklare 2050 eftersom produktionskapacitet i form av kärnkraft delvis är avvecklad. Utmaningen att

²⁴⁸ Nettolasten motsvarar den efterfrågan som det övriga kraftsystemet måste hantera. Nettolasten möts primärt med reglerbar kraftproduktion som vattenkraft eller termiska anläggningar.

möta nettolasten i scenarierna med Högre elektrifiering underlättas av det effekttillskott som ny kärnkraft utgör. Det kan också noteras att nettolasten, när den summeras över årets alla timmar, är lägre i Högre elektrifiering med aktiva användare än i scenariot med passiva användare. Det är en konsekvens av att produktionen från vind är högre i Högre elektrifiering med aktiva användare vilket i sin tur beror på att den högre efterfrågeflexibiliteten minskar förekomsten av nollpriser vilket främjar vindkraften.

Över tid och i takt med att andelen väderberoende produktion ökar kommer också nettolasten att variera över ett större spann. Detta beror på två faktorer. Dels ökar lasten över tid i och med att elanvändningen ökar, dels ökar den installerade effekten från vind- och solkraft vars produktion varierar över ett större spann i absoluta termer. Nettolasten är framförallt negativ under ett antal timmar 2040 och 2050. Detta innebär att elproduktionen från vind- och solkraft överstiger lasten i Sverige som helhet. Under sådana timmar krävs att det finns lagrings- eller exportmöjligheter för att undvika att produktion behöver spillas. Att Högre elektrifiering med aktiva användare uppvisar fler timmar med negativ nettolast jämfört med scenariot med passiva användare beror på en högre produktion från vindkraft vilket i sin tur beror på att den ökande flexibiliteten minskar antalet nollpriser.

I Figur 31 redovisas last och produktion från vind- och solkraft i Högre elektrifiering med aktiva användare för 2050.²⁴⁹ Utifrån figuren kan det ses att produktionen från vind- och solkraft överstiger lasten (negativ nettolast) i ett antal timmar under året. Detta drivs primärt av den stora mängden installerad vindkapacitet vars elproduktion under vissa blåsiga timmar överstiger lasten. Det bör noteras att lasten har justerats för efterfrågeflexibilitet (lastreduktion och lastförflyttning).



Figur 31. Last och produktion från vind- och solkraft i Högre elektrifiering med aktiva användare 2050, MW.

Källa: Resultat från TheMa.

Genom att beräkna förändringen av nettolasten över tid kan behovet av flexibilitet uppskattas. I detta avsnitt har behovet av flexibilitet uppskattats på timbasis. Med reglerkraftbehovet per timma menas den maximala variationen av nettolasten över en timma sett över året. Detta är sålunda en indikator för hur mycket flexibilitet som behövs för att hantera variationen inom en timma. Eftersom nettolastens förändring är starkt beroende av vilken typ av väderår som inträffar bör resultaten tolkas försiktigt. Detta beror på att modellsimuleringarna endast utgår från ett väderår.

²⁴⁹ Motsvarande figurer för övriga scenarier redovisas i Bilaga 1 Förutsättningar.

I Tabell 14 redovisas den maximala förändringen av nettoefterfrågan över en timme fördelat per scenario. Här bör det noteras att lasten har justerats för efterfrågefleksibilitet (lastreduktion och lastförflyttning). Utifrån tabellen kan det ses att reglerkraftbehovet 2050 på timbasis är som störst i Högre elektrifiering med passiva användare. Behovet uppgår till 8 200 MW vilket nästan motsvarar tre gånger den balansreglering som krävs när 2020 simuleras. Den stora mängden flexibilitet som antas tillkomma efter 2040, speciellt lastförflyttning, påverkar behovet av balansreglering i Högre elektrifiering med aktiva användare, vilket minskar relativt det andra högre elektrifieringsscenariot. Att reglerkraftbehovet är som störst 2050 i de båda högre elektrifieringsscenarierna beror på en större installerad vindkrafteffekt samtidigt som lasten är högre. Som tidigare nämnts bör resultaten tolkas med försiktighet då simuleringarna endast baseras på ett väderår.²⁵⁰

Tabell 14. Timvis förändring av nettoefterfrågan (balansreglering) per scenario, MW.

Scenario	Balansreglering timme
Lägre elektrifiering	
2020	2 941
2030	4 180
2040	5 418
2050	6 001
Högre elektrifiering passiva användare	
2030	4 802
2040	7 562
2050	8 232
Högre elektrifiering aktiva användare	
2030	4 714
2040	7 472
2050	7 121

Källa: Energimyndighetens beräkningar utifrån TheMA-modellen.

9.2.6 Systemstabilitet

Utifrån modellresultaten (och antaganden om olika kraftslags tröghetskonstanter²⁵¹) kan man göra en grov uppskattning om förändringar i tillgänglig rotationsenergi (även kallad svängmassa) i det nordiska synkrona systemet, vilket utgörs av Sverige, Norge, Finland samt DK2 (elområde 2 i Danmark). Det är en indikator på hur systemet kan motstå störningar som påverkar frekvensen. En lägre rotationsenergi innebär att en störning i elproduktionen får större konsekvenser på frekvensen då det finns mindre rotationsenergi som kan motverka frekvensändringen. Några resultat från modell-simuleringarna som kan vara värda att ta upp utgörs av:

²⁵⁰ Ett mer stabilt resultat hade troligtvis erhållits om medelvärdet hade beräknats utifrån simuleringresultat från många olika väderår.

²⁵¹ En generators motstånd benämns tröghet. Denna anges med dess tröghetskonstant, H , vilken definierar generatorns svängmassa som uttrycks i MWs. Den inneboende trögheten (rotationsenergi eller svängmassa) i anslutna generatorer innebär att det inte är fysikaliskt möjligt att momentant förändra deras rotationshastighet. Att det finns en inbyggd tröghet i kraftsystemet mot förändringar i generatorernas rotationshastighet utgör en första viktig balansering av kraftsystemet och fundamentalt för att upprätthålla systemets frekvensstabilitet. Se Svenska kraftnät, *Anpassning av Elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion*, December 2015.

- Den minimala rotationsenergin i en enskild timma minskar över tid. Detta beror på att en ökande andel vind i kraftsystemet genererar ett ökande antal nollpriser/låga priser som understiger den rörliga marginalkostnaden för termisk elproduktion (främst kärnkraft) samt vattenkraft. Under dessa timmar blir det inte lönsamt att köra dessa kraftverk vilka bidrar med tröghet till systemet. Det kan också noteras att den minimala rotationsenergin i de högre elektrifierings-scenarierna är lägre än i Lägre elektrifiering. Detta beror på den högre förekomsten av nollpriser/låga priser.
- Att den maximala rotationsenergin i en enskild timme ökar över tid beror på att ny produktion i form av kärnkraft, spetslastkapacitet samt vattenkraft (Norge) tillkommer. Detta är speciellt märkbart i de båda högre elektrifierings-scenarierna där den installerade kärnkraftskapaciteten samt spetslastkapacitet (gasturbiner) ökar.

Reflektion

Framtida utmaningar med att balansera elsystemet

Utifrån resultaten här kan man konstatera att det framtida elsystemet kommer att bli svårare att balansera med betydligt större variationer i nettolasten än idag. En sjunkande rotationsenergi kommer också vara utmanande för vår möjlighet att hålla en stabil frekvens i elnätet. Detta hänger dock mer samman med den förändrade elproduktion än med elektrifieringen i sig även om en ökad elanvändning ökar sannolikheten för mer variabel kraft.

Rotationsenergi har alltid spelat en mycket viktig roll för att hålla frekvensen i systemet. I takt med att vi dock kopplar in mer och mer anläggningar för både elproduktion och elanvändning som har AC/DC-omriktare så som batterier, vindkraft, solceller samt HVDC-kablar skapas möjlighet med andra typer av mycket snabba frekvenssvar. Digitalisering skapar också möjlighet att redan idag koppla ihop många mindre anläggningar (via aggregatorer) till betydande bidrag. Vi kan alltså behöva vänja oss vid ett nytt sätt att hålla frekvensen i nätet som inte är lika beroende av rotationsenergi.

9.2.7 Känslighetsanalys

I syfte att fördjupa analysen av hur flexibilitet påverkar elsystemet har även ett känslighetsfall gjorts baserat på Högre elektrifiering med aktiva användare. I känslighetsscenarioet Högre elektrifiering med aktiva användare och annan uthållighet flexibilitet (HEAAUF) har uthålligheten inom lastförskjutning antagits öka. I Högre elektrifiering med aktiva användare har uthålligheten för lastförskjutning antagits vara en timma för de flesta sektorer medan uthålligheten för vätgasproduktion och elektrobränslen har antagits vara 48 timmar. I känslighetsfallet antas uthålligheten till två timmar för alla sektorer utom vätgasproduktion och elektrobränslen där den antas uppgå till 96 timmar. I känslighetsscenarioet ändras bara uthålligheten i lastförskjutningen, övriga antaganden som exempelvis installerad kapacitet, elefterfrågan samt bränslepriser etc är desamma som i Högre elektrifiering med aktiva användare.

Den mer uthålliga lastförskjutningen i känslighetsscenarioet påverkar elpriserna 2050 vilka sjunker med cirka 1 EUR/MWh i SE1, SE3 samt SE4. Detta redovisas i Tabell 15 nedan.

Tabell 15. Elpriser i scenariot Högre elektrifiering med aktiva användare samt känslighets-scenariot Högre elektrifiering med aktiva användare och annan uthållighet flexibilitet, 2018 års prisnivå, EUR/MWh.

	Högre elektrifiering med aktiva användare			Högre elektrifiering med aktiva användare och annan uthållighet i flexibilitet		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050
SE1	49	53	52	49	53	51
SE2	50	53	53	50	53	53
SE3	52	55	58	52	55	57
SE4	52	56	59	52	56	58

Källa: Resultat från TheMA-modellen.

Den mer uthålliga flexibiliteten innebär också att antalet nollpriser minskar jämfört med Högre elektrifiering med aktiva användare. Det bör dock påpekas att minskningen är marginell. Vidare reduceras antalet bristpriser 2050 i SE3 från fyra i Högre elektrifiering med aktiva användare till noll i känslighetsscenarioet. Att antalet bristpriser i SE4 inte förändras beror primärt på att lastförskjutningen, som är relativt liten i termer av installerad kapacitet, endast utgörs av lastförskjutning med två timmars uthållighet, främst från transport och bostäder och service, med de förutsättningar som har antagits.

9.3 Utmaningar för elsystemet med en ökad elektrifiering

9.3.1 Elektrifieringen påverkas av många olika faktorer

Mycket tyder på att elektrifieringstrenden inom flera sektorer kommer att fortsätta, men eftersom det är många faktorer som både samverkar och påverkar varandra är det svårt att förutsäga precis hur utvecklingen kommer att se ut. Efterfrågan på el från användarsidan påverkar elpriset och tvärtom. Elpriset och användarmönster spelar in på lönsamheten för olika elproduktionsslag och därmed hur elproduktionsmixen kommer att utvecklas. Användarsidan och produktionsmixen avgör i sin tur förutsättningarna för och behovet av flexibilitet i elsystemet. Givet de komplexa samband som finns mellan olika påverkansfaktorer bör de scenarier som valts ut och studerats ses som exempel på möjliga utvecklingsvägar snarare än prognoser, där det väsentliga är att studera vilka effekter skillnaderna i scenarierna medför och dra lärdomar av dessa för att öka förutsättningarna för en hållbar utveckling av elsystemet.

Samtidigt är det viktigt att komma ihåg att elektrifieringstrenden är global och att samma påverkanssamband mellan elanvändningen och andra faktorer finns även i omvärlden. Utvecklingen i framförallt de länder Sveriges elsystem är sammanlänkat med kommer att ha en betydande inverkan på hur det framtida elsystemet i Sverige kommer att se ut, oavsett vilka vägval som görs nationellt. Ur ett bredare energisystemperspektiv sker det också flera förändringar. Användningen av biodrivmedel i transportsektorn väntas öka med reduktionsplikten, fler datacenter kommer troligen byggas i takt med att digitaliseringen fortgår och befolkningsmängden väntas öka. Fortsatta kostnadsminskningar och effektivisering av dagens tekniker tillsammans med att nya tekniker blir mer konkurrenskraftiga ger nya förutsättningar för elsystemet såväl som för energisystemet i stort. Omställningen som pågår är betydande och behöver löpande utvärderas för att utvecklingen ska få de bästa förutsättningarna för att ske på ett hållbart och kostnadseffektivt sätt.

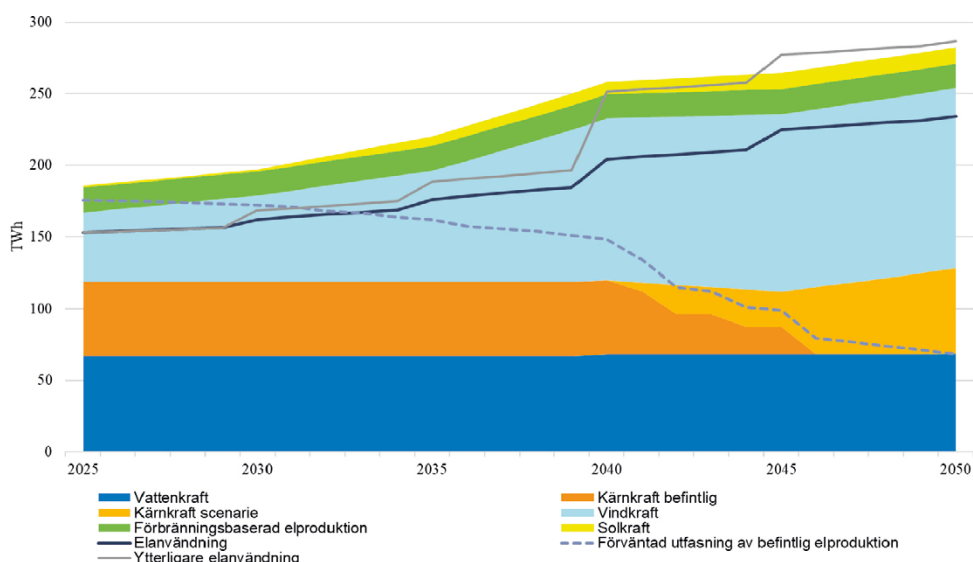
Det går naturligtvis att argumentera för att det förmodligen skulle krävas en ännu högre grad av elektrifiering än vad som antagits i scenarierna för att nå klimatmålen. Det är

också möjligt att elkrävande tekniker som produktion av elektrobränslen och vätgas kommer att få större genomslag och leda till en högre elanvändning än vad som antagits. Även olika tekniker för energilagring och lastförflyttning som batterier eller olika tillämpningar av vätgas kan tänkas få ett större genomslag vilket påverkar förutsättningarna. Samtidigt är det inte säkert att alla de elintensiva industriprojekt som planerats kommer till stånd av olika anledningar vilket kan leda till en lägre elanvändning än i scenarierna. Det är också mycket möjligt att den framtida elproduktionsmixen skiljer sig från modellresultaten, genom att till exempel havsbaserad vindkraft får ett större genomslag om förutsättningarna förändras.

9.3.2 Ökade krav på uppföljning och planering

Omställningen av elsystemet i Sverige kommer att leda till en förändring av hur, var och när el produceras och används. Det är inte självklart när i tiden dessa förändringar kommer att ske och hur snabbt utvecklingen kommer att gå.

Den ökade elanvändningen kommer delvis i en jämnare takt då elbilar introduceras bil för bil men även i större trappsteg då enskilda industrier kommer att öka elanvändningen mycket vid ett tillfälle. I Figur 32 visas utvecklingen över en högre elanvändning än antagen i scenarierna samt även en förväntad utfasning av befintlig elproduktion.²⁵² Även om det sker investeringar i både livstidsförlängning i befintliga reaktorer och nya reaktorer i Högre elektrifiering är utvecklingen naturligtvis förenat med stora osäkerheter. Stora produktionsbortfall i befintlig elproduktion och stora öknings av elanvändning riskerar att sammanfalla under samma relativt korta tidsperiod (2040 och 2050). I en sådan stor omställning på kort tid uppstår utmaningar för marknadsaktörer både vad gäller ledtider och att prognostisera detta och det kommer att kräva mycket resurser under en kort tid för både utbyggnad av elproduktion och andra anpassningar av elsystemet.



Figur 32. Elproduktion och elanvändning i Högre elektrifiering, förväntad utfasning av befintlig elproduktion om kärnkraften antas ha 60 års livslängd (streckad linje) samt ytterligare elanvändning enligt aviserade elektrifieringsplaner som inte ingår i scenarierna till 2050, TWh. Anm: De ytterligare elektrifieringsplanerna motsvarar omkring 52 TWh utöver de 234 TWh som ingår Högre elektrifiering för 2050.

²⁵² 100 procent förnybar el-scenarier, vägval och utmaningar, ER 2019:6, Energimyndigheten.

I Figur 32 visar den ljusgrå linjen en ännu högre elanvändning (Ytterligare elanvändning) som motsvarar de planer som aviserats inom industrin men som inte är inkluderade i de scenarier som analyserats i denna rapport. Viktigt att poängtera är att den elproduktion som syns i figuren är modellerad utifrån elanvändningen i scenariot och kommer att ändras om nya scenarier görs med den ytterligare elanvändningen. Den ljusgrå linjen illustrerar dock ungefär i tiden när en ytterligare ökad elanvändning kan komma.

Behovet av att elsystemet utvecklas i takt ökar framöver och även att ett samspel mellan elproduktion, elanvändning, distribution, flexibilitet och effektivisering behöver ske i framtiden. För att klara omställningen av elsystemet är det viktigt att dess aktörer är förberedd på de potentiellt större trappstegen av förändringar som sker.

Det blir allt viktigare att planera och samverka tätare kring utvecklingen av de lokala och regionala näten, men också i relation till överliggande transmissionskapacitet. I det nya elmarknadsdirektivet²⁵³, som är en del av EU-lagstiftningen Ren energi för alla, finns ett krav på att elnätsföretag ska ta fram nätutvecklingsplaner. Planerna kan bli ett viktigt verktyg för att identifiera var brister i nätet kan vara och för att i ett tidigt skede kunna planera för hur dessa ska åtgärdas genom utbyggnad av infrastruktur eller flexibilitetsresurser. Energimarknadsinspektionen har lämnat ett förslag²⁵⁴ om att införa en bestämmelse i ellagen som anger att systemansvariga för distributionssystem ska vara skyldiga att ta fram nätutvecklingsplaner. Kompetens att ta fram nätutvecklingsplaner, och att kunna använda dessa för en holistisk planering kommer bli viktigt för elnätsföretagen, speciellt mindre elnätsföretag framöver.

9.3.3 Tillförlitlighet i elnäten blir allt viktigare

I takt med att samhället blir mer elberoende så blir det också viktigare med säkra leveranser av el. Det finns inte en ensam indikator att följa för att avgöra om framtidens elsystem är leveranssäkert. Systemstabiliteten i elnätet påverkas av flera faktorer, där förändringar i frekvensstabilitet (rotationsenergi) och spänningsstabilitet (reaktiv effekt) är två viktiga faktorer. Den minimala rotationsenergin i en enskild timma minskar över tid i scenarierna vilket indikerar ett mindre stabilt elsystem. Detta beror främst på en ökande andel vindkraft i produktionsmixen som tidvis producerar ett överskott av el vilket leder till låga elpriser med följd att elproduktionslag som bidrar med mer stabiliteten då minskar sin produktion. Spänningen i stamnätet har historiskt sett bland annat reglerats av anslutna synkrongeneratorer, exempelvis kärnkraftverk. Det finns dock flera alternativa lösningar till systemstabilitet så som att nyttja rotationsenergin i vindkraft eller använda batterier och HVDC-kablar för mycket snabb effektökning. Det är också möjligt att behålla rotationsenergi i elsystemet genom att låta stora generatorer fortsatt vara synkront inkopplade på elnätet och låta dessa rotera med trots att de inte producerar el.

Kärnkraftskapaciteten i de båda scenarierna med högre elektrifiering är ungefär densamma 2050 som 2020 medan den installerade effekten från kärnkraften mer än halveras i Lägre elektrifiering. Utan ytterligare åtgärder kan den lägre reaktiva effekten i det sistnämnda scenariot innebära svårigheter att överföra el från de norra till de södra delarna av landet. Hur stora de kompensatoriska åtgärder måste vara, vad de väntas

²⁵³ 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.

²⁵⁴ *Ren energi inom EU – Ett genomförande av fem rättsakter*, Ei R2020:02, Energimarknadsinspektionen.

kosta eller när rotationsenergin sjunker till minimumnivåer eller en lägre reaktiv effekt kan inte besvaras rakt av utifrån de elmarknadssimuleringar som har gjorts för detta arbete. För mer djupgående analyser av systemstabilitet hänvisas till Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalyser.²⁵⁵

En ökad elanvändning innebär också att effektbalansen kan försvagas. Den statiska effektbalansen försvagas i alla scenarier och även regionalt i de södra elområdena, vilket tydliggörs av att knapphetspriser uppstår vid några tillfällen. Här är det viktigt att notera att det elsystem som modelleras endast hanterar ett väderår vilket betyder att vind-, sol- och vattentillgång i realiteten kan skilja mycket mellan åren och därmed skapa större eller mindre utmaningar. En ökad elektrifiering ökar lasten, det vill säga den effekt som krävs av användarsidan, jämfört med idag. Möjligheten att hantera lasten under ansträngda perioder beror på den tillgängliga elproduktionen och möjligheten till elhandel med sammankopplade länder, men även tillgången på efterfrågeflexibilitet och lagring. Vad gäller beslut om investeringar i olika typer av lösningar kan det dock vara det genomsnittliga elpriset som är den avgörande faktorn snarare än förekomsten knapphetspriser, vilket kan vara en utmaning för investeringsviljan.

9.3.4 Nya prismönster skapar både utmaningar och möjligheter

Graden av elektrifiering, elproduktionsmixen och elsystemets egenskaper kommer att påverka hur elpriserna utvecklas. Elpriset påverkas dock även av priset på bränsle och utsläppsrätter, som båda antas öka, vilket därmed bidrar till generellt ökade elpriser. I scenarierna förekommer, förutom generella prisökningar, även mer volatila prismönster och större säsongsvariationer, där priserna är märkbart högre under vintermånaderna. Förändrade prismönster kan medföra nya beteenden för både elkunder och elproducenter för att anpassa sig till prisvariationerna samtidigt som olika tekniker och åtgärder för flexibilitet kan få större genomslag genom nya intjäningsmöjligheter. I Högre elektrifiering med aktiva användare minskar timmarna med nollpriser jämfört med Högre elektrifiering med passiva användare eftersom aktiva elanvändare kan förlägga mer av sin elanvändning till när priset är lågt (och tvärtom), vilket har en utjämnande effekt på prisbildningen och de över- eller underskottssituationer som de indikerar.

Om elpriserna blir väsentligt högre under vinterhalvåret kan det få betydande effekter i Sverige och närliggande länder som har en stor elanvändning under vintermånaderna. Även om det idag är vanligt med fast elprisavtal som sträcker sig över ett eller flera år så kommer förmodligen de fasta prisnivåerna att börja avspegla de högre vinterpriserna om de ökar kraftigt eftersom elleverantörer inte kan sälja el till förlust.

Om de säsongsvisa prisskillnaderna är väsentligt högre, som upp mot tio gånger så högt under de kallaste månaderna jämfört med sommaren, under flera år så kommer det sannolikt att leda till strukturella förändringar i elsystemet. Exempelvis kan uppvärmning med direktverkande el eller värmepumpar få svårare att konkurrera med andra uppvärmningsslag. Kraftvärmens som vanligtvis producerar mer el under vintermånaderna kan få konkurrensfördelar. Nya affärlösningar på elmarknaden kommer troligtvis också att skapas för att utnyttja både de säsongsvisa och mer momentana prisvariationerna. I sammanhanget bör det påpekas att de höga genomsnittspriserna under vintern i scenarierna drivs av ett relativt fåtal timmar där elpriserna är mycket höga.

²⁵⁵ *Långsiktig marknadsanalys 2021*, Svk 2019/3305, Svenska kraftnät.

9.3.5 Flexibilitet blir en viktig del av elektrifieringen

Utifrån de modellsimuleringar som har gjorts kan det ses att både behovet och nyttan av flexibilitet över tid ökar i takt med att elanvändningen och den icke-planerbara elproduktionen ökar. Det finns flera möjliga åtgärder som kan bidra till flexibilitet i elsystemet och den tekniska potentialen förväntas öka med en ökad grad av elektrifiering i olika sektorer. I vilken utsträckning olika flexibilitetslösningar kommer att utnyttjas är dock osäkert och påverkas bland annat av incitament i form av hur lönsamt det är för aktörerna att bidra med flexibilitetsresurser. En välfungerande elmarknad är en grundförutsättning för att flexibilitet används när det är mest kostnadseffektivt. I takt med en ökad digitalisering och automation ökar möjligheterna för automatisk och smart styrning i flera sektorer som inte kräver aktiva insatser av de som vill delta vilket kan frigöra mer flexibilitetsresurser.

Alla tekniker för flexibilitet är dock inte undersökta fullt ut i det här arbetet, exempelvis olika tillämpningar av vätgas och till viss del batterier. Inom båda dessa områden pågår en intensiv utveckling och det förväntas en snabb teknisk utveckling. För vätgastechniker har flexibilitet främst undersökts i anslutning till stora förbrukare i industrin eller stora produktionsanläggningar, men det finns möjlighet även för mer distribuerade lösningar för fordon och bostäder. Batteriteknik har också potential att spela en större roll för elsystemet både genom lösningar för distribuerade enheter eller som direkta komponenter i elsystemet. I modelleringarna kommer det in en hel del batterier i elsystemet framförallt på kontinenten kring 2050 där elpriset är högre. I modellresultaten förekommer inga batterier i elsystemet i Sverige eftersom det inte blir lönsamt givet de antagna ingångsvärdena. Det finns dock redan batterier i det svenska elsystemet och fler är under planering, men dessa syftar främst till att lösa kapacitetsbrister och bidra med frekvensreglering snarare än att fungera som flexibilitetsresurs.

I Energimarknadsinspektionens rapport Kapacitetsutmaningen i elnäten²⁵⁶ finns ett förslag om att kapacitetsbrist som kan åtgärdas med andra samhällsekonomiskt motiverade åtgärder än utbyggnad av nätet inte utgör tillräckligt med skäl att neka anslutning till nätet för en elektrisk anläggning. Detta innebär att om en lösning som bygger på flexibel användning eller elproduktion kan användas för att hantera kapacitetsbristen ska lösningen utnyttjas (om den är samhällsekonomiskt motiverad). En sådan lösning kan underlätta för olika anläggningar att ansluta till nätet, även i situationer då nätet är ansträngt. Det blir även en tydlig drivkraft att utveckla lösningar för flexibel elanvändning, eller andra källor till ökad flexibilitet i elsystemet, till exempel energilagring då det blir ökade krav på att använda dessa lösningar om de är motiverade. I denna rapport undersöks inte hur flexibla resurser kommer att prioritera sin användning mellan att bidra till att ändra sin elanvändning efter elpriset eller om det är mer lönsamt att bidra med nytta till elnätet. Det finns här en risk för målkonflikt mellan att bidra med nytta för balansen mellan elsystemets förbrukning/användning, eller att optimera användningen av elnäten. För jämförelser mellan samhällskostnader av flexibilitet eller att bygga ut nät hänvisas till Energimarknadsinspektionens rapport kring samhällsekonomiska kostnader och nyttor och smarta elnät.²⁵⁷

²⁵⁶ *Kapacitetsutmaningen i elnäten*, Ei R2020:06, Energimarknadsinspektionen

²⁵⁷ *Utvärdering av kostnader och nyttor av smarta elnät*, Ei R2021:06, Energimarknadsinspektionen

Flexibel användning kan optimeras mot olika systemnivåer. Ett exempel är att tillkommande elanvändning från både transporter och elanvändning i bostadssektorn kan optimeras mot hushållssäkringen. En av tankarna med reformen att införa smarta mätare är att de nya mätarna ska kunna kommunicera med en styrenhet i fastigheten. Då kan till exempel laddning av fordon och drift av värmepumpar eller varmvattenberedare kommunicera och se till att användningen inte överskrider det egna abonnemanget.

Om styrenheten bidrar med att styra de uppkopplade resurserna mot ett elpris, så optimeras fastighetens system mot en högre nivå. Att kunna optimera resurser mot denna högre nivå kan leda till att minska risken för effektbrist och utjämna elpriser, samt öka användningen av el när den produceras från förnybara källor. Detta kan vara en drivkraft i länder där inte elproduktionen kommer från både förnybara och fossila källor. Styrenheten kan också kopplas upp mot en nättariff, eller flexibilitetsmarknad för att näten ska kunna användas på mer effektiva sätt än idag. Det finns alltså många sätt att styra elanvändningen på och med olika syften. Beroende på hur flexibilitetsresursen tillåts användas, vem som styr och hur detta paketeras kan intäktsströmmar och affärsmöjligheter se olika ut.

Bilaga 1 Förutsättningar

Allmänt

Simuleringarna från ett normalt väderår. I övrigt förutsätts att perfekt konkurrens råder på elmarknaden.

Bränslepriser

Antagna bränslepriser för EU ETS, kol och gas kommer från de priser EU-kommissionen levererar som förutsättningar till Energimyndighetens långsiktiga scenarier.

Tabell 16. Antagna bränslepriser, 2018 års prisnivå.

Bränsle	Enhet	2020	2030	2040	2050
EU ETS	EUR/ton	25	30	53	91
Råolja	USD/fat	42	89	103	126
Kol	USD/ton	53	86	98	105
Naturgas	EUR/MWh	14	20	27	31

Källa: EU-kommissionen.

Efterfrågan på el

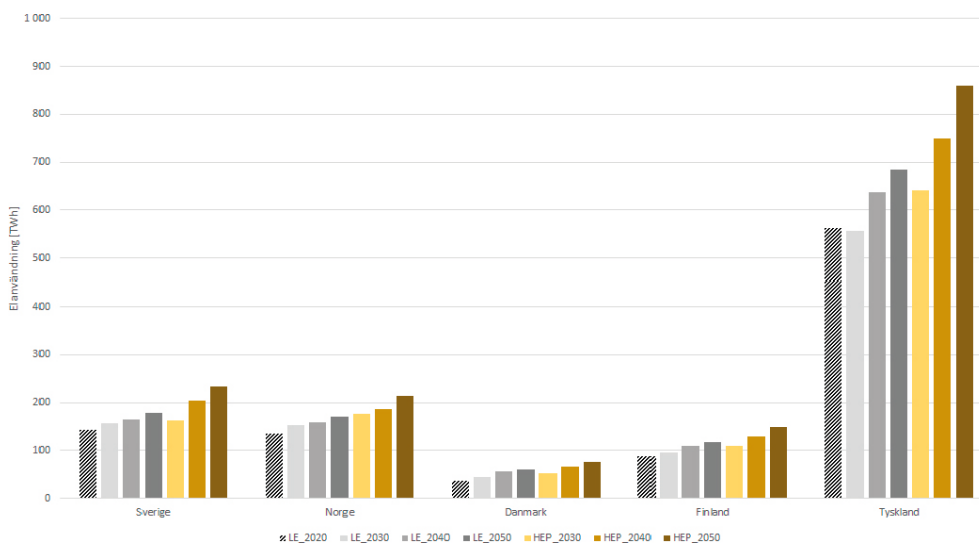
I Lägre elektrifiering ökar elanvändningen till totalt 178 TWh 2050 och i Högre elektrifiering ökar den till 234 TWh. Fördelningen på elområden redovisas i tabell nedan.

Tabell 17. Antagen efterfrågan per elområde inklusive nätförluster, TWh.

	Lägre elektrifiering			Högre elektrifiering		
	2030	2040	2050	2030	2040	2050
SE1	13	13	13	13	34	35
SE2	23	25	26	24	26	28
SE3	95	100	108	97	113	136
SE4	26	28	31	28	31	35
Totalt	157	165	178	162	204	234

Källa: Antaganden Energimyndigheten.

Efterfrågan av el i omkringliggande länder antas också öka enligt Figur 33. Dessa antaganden är samstämmiga med Energimyndighetens långsiktiga scenarier. I Tyskland ökar exempelvis elanvändningen till 685 TWh 2050 i Lägre elektrifiering och till 860 TWh i scenarierna med Högre elektrifiering för samma år.



Figur 33. Efterfrågan i de nordiska länderna och Tyskland för respektive scenario, TWh.
Källa: Antaganden Energimyndigheten.

Efterfrågeflexibilitet

I tabellerna nedan redovisas bedömningen av möjlig förbrukningsreduktion av elanvändningen i industrier samt antaganden kring hur stor del av lasten som kan flyttas.

Tabell 18 Antagen potential för flexibel användning, uppdelat i lastflyttning och förbrukningsreduktion per elområde, Högre elektrifiering med aktiva användare, MW.

	2030	2040	2050
SE 1			
Transport	10	27	34
Bostäder och service	97	144	199
Industri	0	1 362	1 362
Förbrukningsreduktion Industri	135	585	610
SE 2			
Transport	36	93	118
Bostäder och service	187	286	406
Industri	0	0	0
Förbrukningsreduktion Industri	270	360	400
SE 3			
Transport	208	537	685
Bostäder och service	1 162	1 703	2 247
Industri	0	90	1 591
Förbrukningsreduktion Industri	1 200	1 370	1 505
SE 4			
Transport	100	259	330
Bostäder och service	418	602	793
Industri	0	0	0
Förbrukningsreduktion Industri	280	295	335

Källa: Antaganden Energimyndigheten.

Tabell 19. Antagen förbrukningsreduktion per elområde och scenario, MW.

	Lägre elektrifiering				Högre elektrifiering passiva användare			Högre elektrifiering aktiva användare		
	2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
SE1	80	95	95	95	95	110	130	135	585	610
SE2	135	145	160	1 160	150	215	240	270	360	400
SE3	770	785	815	830	790	880	975	1 200	1 370	1 505
SE4	200	200	175	175	200	215	240	280	295	335
Totalt	1 185	1 225	1 245	1 260	1 235	1 420	1 585	1 885	2 610	2 850

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

Tabell 20. Antagen potentiell lastförskjutning per elområde och scenario, MW.

	Lägre elektrifiering				Högre elektrifiering passiva användare			Högre elektrifiering aktiva användare		
	2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040	2050
SE1	52	53	50	45	54	61	64	100	1 522	1 577
SE2	148	158	147	134	160	177	185	244	412	568
SE3	607	575	516	452	577	565	533	1 381	2 348	4 556
SE4	199	191	173	153	192	196	191	493	821	1 064
Totalt	1 006	977	886	784	983	999	973	2 218	5 103	7 765

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

Tabell 21. Andel av resursen som i elmarknadsmodellen bedöms sänka sin användning vid olika prisnivåer, EUR/MWh och procent.

Steg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pris €/MWh	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	750	1 000	1 250	1 500	2000
Andel resursen sänker sin användning, %	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0

Källa: Antaganden Energimyndigheten.

Transmissionskapacitet

Transmissionskapaciteten mellan olika elområden i Sverige redovisas i Tabell 22. De förändringar som sker är den förstärkning som byggs mellan SE2 och SE3 på 3 200 MW i båda riktningar samt ökningen mellan SE3 och SE4 på 1 200 MW.

Tabell 22. Transmissionskapacitet mellan elområden i Sverige och scenarier, MW.

Export	Import	Lägre elektrifiering				Högre elektrifiering		
		2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050
SE1	SE2	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
SE2	SE1	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300	3 300
SE2	SE3	7 300	8 100	10 500	10 500	8 100	10 500	10 500
SE3	SE2	7 300	8 100	10 500	10 500	8 100	10 500	10 500
SE3	SE4	5 400	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600
SE4	SE3	2 000	3 200	3 200	3 200	3 200	3 200	3 200

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

Transmissionskapacitet mellan Sveriges olika elområden och angränsande länder redovisas i Tabell 23. Den tillkommande kapaciteten utgörs bland annat av Hansa Powerbridge mellan Tyskland och SE4 på 700 MW som planeras vara i drift 2026. Mellan SE1 och Finland planeras en ledning på motsvarande 800 MW som beräknas vara i drift 2025. Även mellan SE2 och Finland tillkommer det 800 MW.

Tabell 23. Transmissionskapacitet mellan elområden i Sverige och omkringliggande länder, MW.

Export	Import	Samtliga scenarier			
		2020	2030	2040	2050
SE1	Finland	1 500	2 000	2 000	2 000
Finland	SE1	1 100	2 000	2 000	2 000
SE1	NO4	600	600	600	600
NO4	SE1	700	700	700	700
SE2	Finland	0	0	800	800
Finland	SE2	0	0	800	800
SE2	NO3	1 000	1 000	1 000	1 000
NO3	SE2	600	600	600	600
SE2	NO4	300	300	300	300
NO4	SE2	250	250	250	250
SE3	NO1	2 095	2 095	2 095	2 095
NO1	SE3	2 145	2 145	2 145	2 145
SE3	Finland	1 200	1 200	800	800
Finland	SE3	1 200	1 200	800	800
SE4	DK2	1 300	1 300	1 300	1 300
DK2	SE4	1 700	1 700	1 700	1 700
SE4	Litauen	700	700	700	700
Litauen	SE4	700	700	700	700
SE4	Tyskland	615	1 315	1 315	1 315
Tyskland	SE4	615	1 315	1 315	1 315
SE4	Polen	600	600	600	600
Polen	SE4	600	600	600	600

Källa: Antaganden av Energimyndigheten.

Bilaga 2 Resultattabeller

Nettohandel

Tabell 24. Nettohandel från Sverige samt nordisk nettohandel till Kontinenten, TWh/år, nettoexport (-) och + nettoimport (+).

Statistikår/scenario	Svensk nettoexport	Nordisk nettoexport
Statistik 2020	-25,0	-23,3
Lägre elektrifiering		
2030	-23,8	-27,9
2040	-45,5	-41,1
2050	-36,5	-23,7
Högre elektrifiering med passiva kunder		
2030	-30,5	-13,6
2040	-47,9	-24,6
2050	-41,3	-21,1
Högre elektrifiering med aktiva kunder		
2030	-30,6	-14,2
2040	-49,6	-26,6
2050	-43,9	-23,8

Källa: Statistik från Nord Pool samt resultat från TheMA-modellen.

Elproduktion och elbalans

Tabell 25. Elbalans för Sverige, statistikår samt alla scenarier, TWh per år.

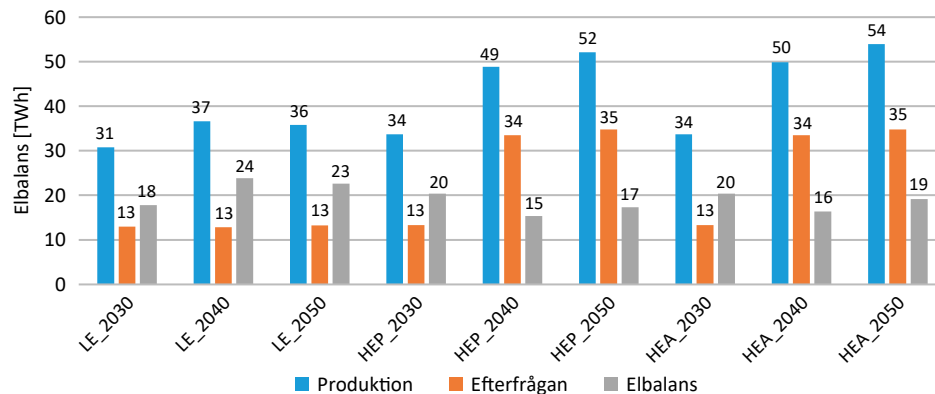
	Statistik	Lägre elektrifiering			Högre elektrifiering med passiva användare			Högre elektrifiering med aktiva användare		
		2020	2030	2040	2050	2030	2040	2050	2030	2040
Vattenkraft	71,2	67,1	68,1	68,6	67,1	68,1	68,6	67,1	68,1	68,6
Vindkraft land	27,6	51,4	80,5	91,6	62,7	113,2	123,6	62,7	114,8	127,3
Vindkraft hav¹		0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7	0,8	0,7	0,7
Solkraft	0,8	1,2	7,7	9,7	1,2	8,7	11,4	1,2	8,7	11,4
Kärnkraft	47,3	44,9	37,2	26,6	44,8	43,8	53,3	44,8	44,0	53,3
Kraftvärme	11,7	17,0	18,2	18,7	17,0	18,2	18,7	17,0	18,2	18,6
Kondens	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gasturbiner	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	0,6	0,0	0,2	0,2
Batterier	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Övrigt	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	160	182,4	212,4	216,0	193,8	253,2	276,9	193,7	254,7	280,1
Efterfrågan	135	157,4	165,4	177,9	162,3	204,4	234,5	162,3	204,4	234,5
Balans	-25,0	-25,0	-47,0	-38,1	-31,5	-48,9	-42,4	-31,4	-50,4	-45,6

Källa: Resultat från TheMA-modellen, Energimyndighetens antaganden samt SCB.

¹ För 2020 ingår havsbaserad vindkraft under posten Vindkraft land.

² SCB månadsstatistik särredovisar inte solkraft.

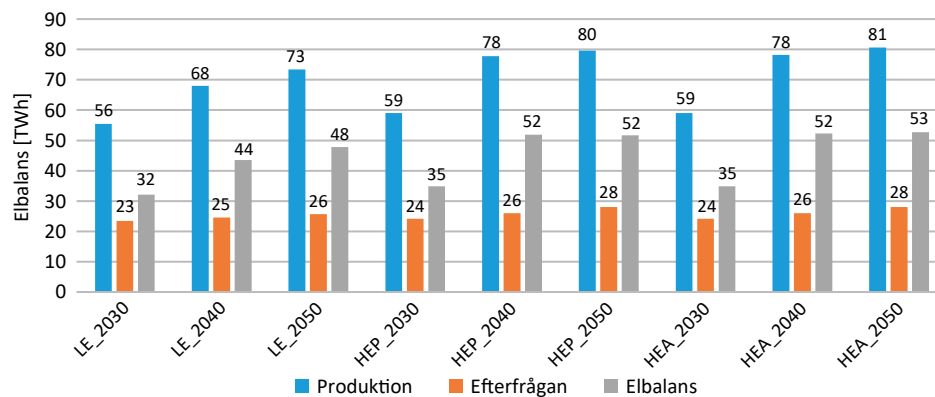
Fram till 2040 sker det en förstärkning av elbalansen i elområdet (SE1) i Lägre elektrifiering jämfört med 2030 vilket kan ses i de bruna staplarna i Figur 34. Detta beror på att produktionen från ny landbaserad vindkraft ökar snabbare än elanvändningen. Efter 2040 försvagas elbalansen marginellt. I Högre elektrifiering försvagas elbalansen fram till 2040 i SE1 på grund av att elanvändningen ökar starkt vilket i sin tur primärt beror på att ett antal större industriprojekt antas genomföras. Denna trend möts inte av en lika stor ökning av elproduktion. Därefter stärks elbalansen något i området även om den fortfarande är svagare än 2030.



Figur 34. Elbalans för SE1 i alla scenarier 2030, 2040 och 2050, TWh.

Källa: Resultat från TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

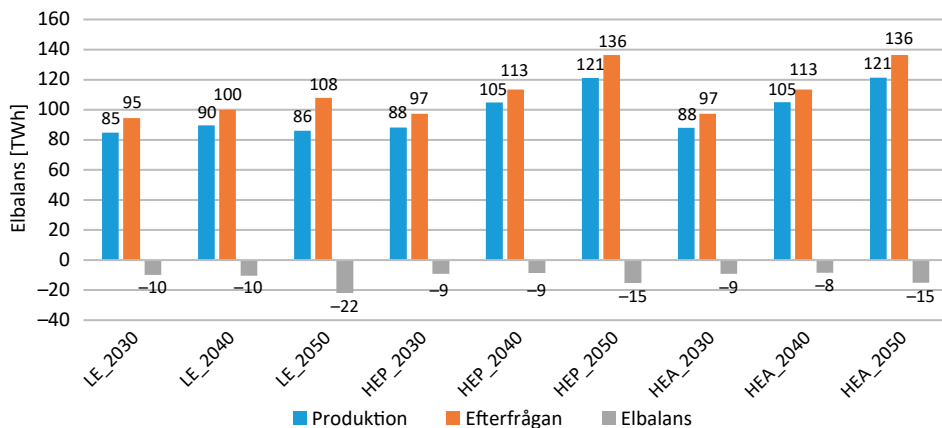
I SE2 stärks elbalansen i Lägre elektrifiering fram till 2050. Detta beror på att vindkraftsproduktionen ökar i mycket högre grad än elanvändningen. I de båda elektrifieringsfallen stärks elbalansen fram till 2040 för att därefter ligga på ungefär samma nivå, se Figur 35.



Figur 35. Elbalans för SE2 i alla scenarier 2030, 2040 och 2050, TWh.

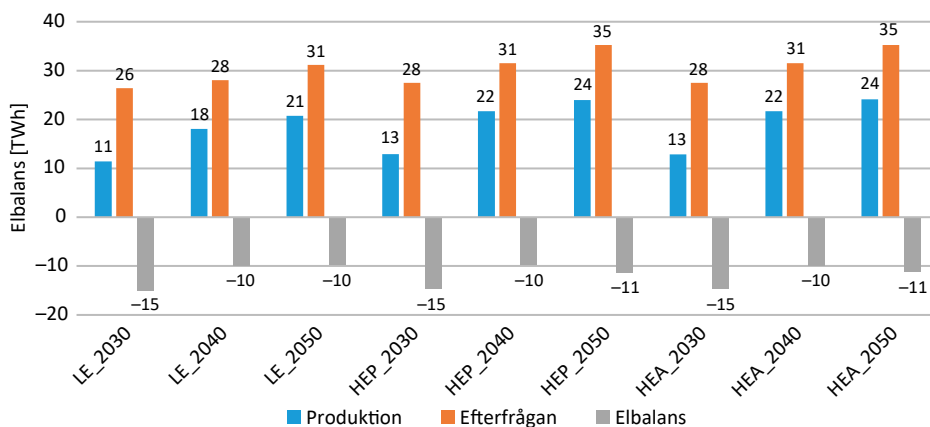
Källa: Resultat från TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

I de södra elområdena (SE3 och SE4) är elbalansen svag och negativ under hela scenario-perioden i alla scenarier vilket ses i Figur 36 och Figur 37. Trenden skiljer sig dock mellan elområdena. I SE3 försvagas elbalansen kontinuerligt i alla scenarier vilket kan ses i Figur 36. Att elbalansen 2050 i de båda elektrifieringsfallen är starkare än i Lägre elektrifiering, trots väsentligt högre elanvändning, kan tyckas vara kontrainuitivt men beror på att det i modellen sker nyinvesteringar i kärnkraft samtidigt som landbaserad vindkraft expanderar starkt. Elbalansen stärks i SE4 i alla scenarier mellan 2030 och 2050.



Figur 36. Elbalans för SE3 i alla scenarier 2030, 2040 och 2050, TWh.

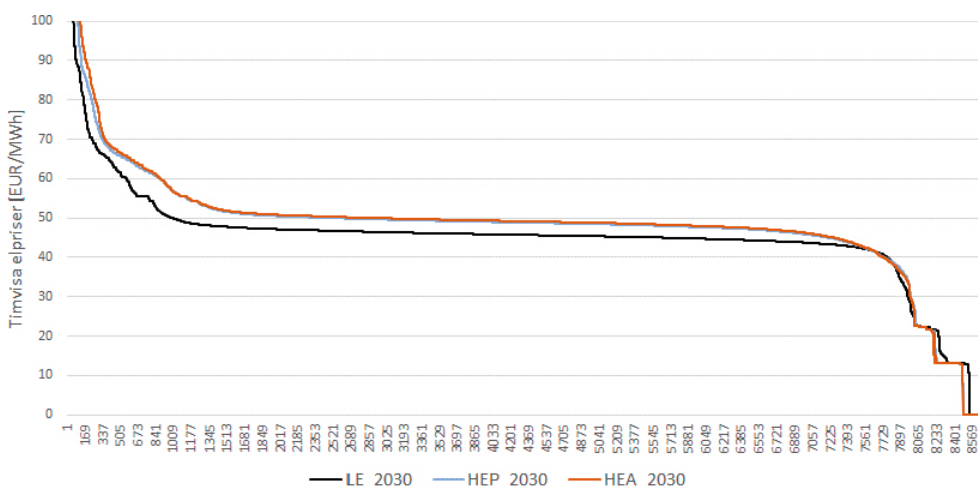
Källa: Resultat från TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.



Figur 37. Elbalans för SE4 i alla scenarier 2030, 2040 och 2050, TWh.

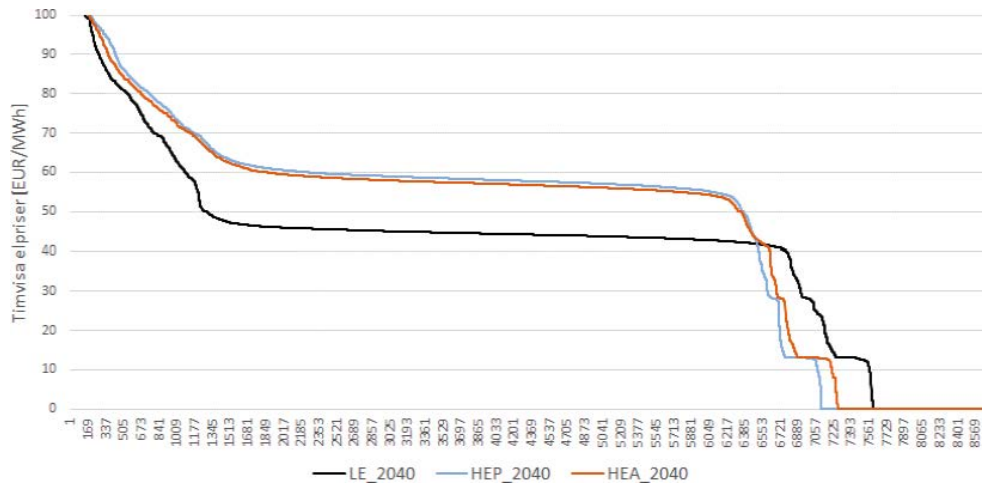
Källa: Resultat från TheMA-modellen samt Energimyndighetens antaganden.

Varaktighetskurvor elpriser i SE3



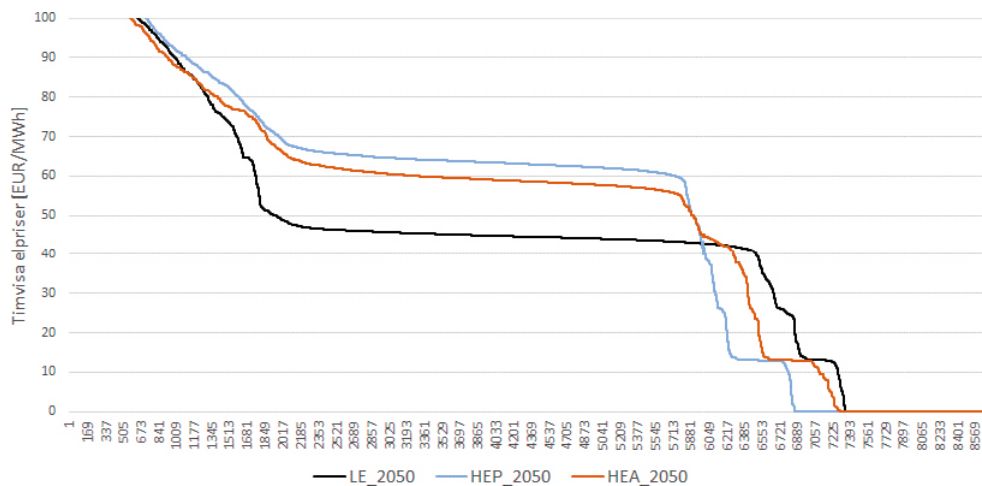
Figur 38. Timvis varaktighetskurva för SE3 år 2030, trunkterad skala till 100 EUR/MWh, 2018 års priser. EUR/MWh.

Källa: Resultat från TheMA.



Figur 39. Timvis varaktighetskurva för SE3 år 2040, trunkterad skala till 100 EUR/MWh, 2018 års priser, EUR/MWh.

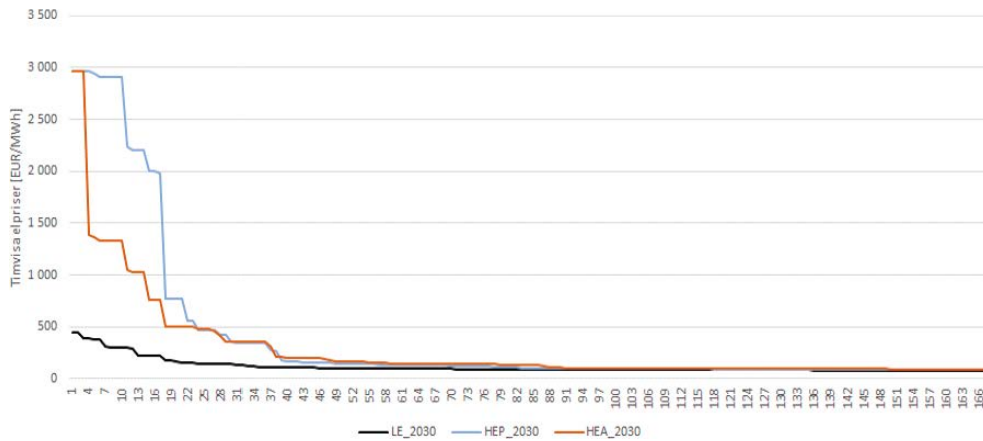
Källa: Resultat från TheMA.



Figur 40. Timvis varaktighetskurva för SE3 år 2050, trunkterad skala till 100 EUR/MWh, 2018 års priser, EUR/MWh.

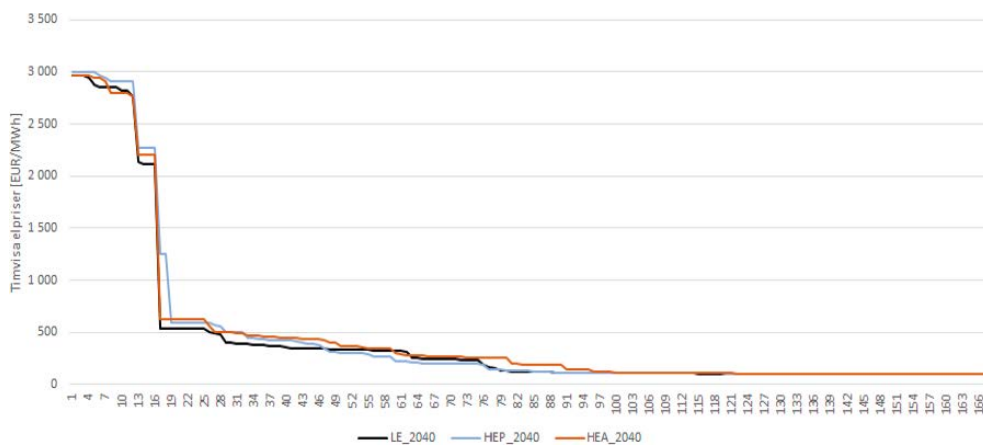
Källa: Resultat från TheMA.

I Figur 41 till Figur 43 redovisas varaktighetskurvor för SE3 i samtliga scenarier för de högsta priserna under 168 timmar. Det kan noteras att Högre elektrifiering med aktiva användare uppvisar färre timmar med mycket höga elpriser jämfört med Högre elektrifiering med passiva användare vilket är en konsekvens av mer antagen flexibilitet.



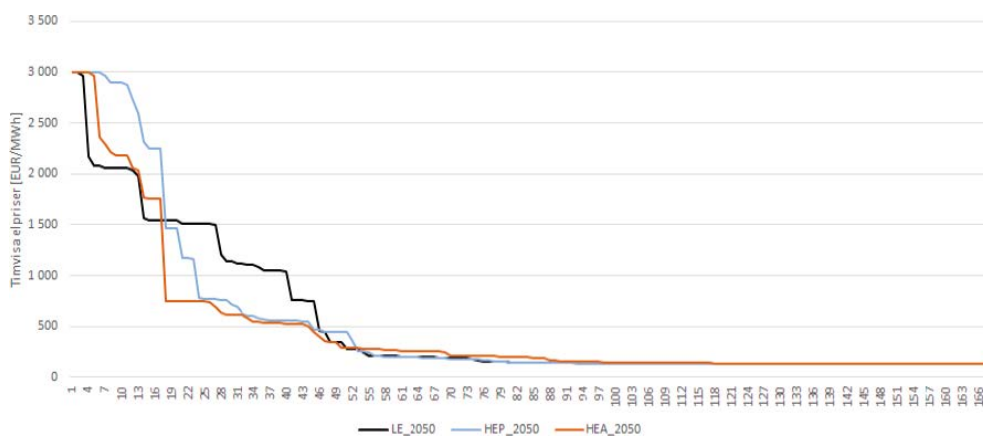
Figur 41. Varaktighetskurva för SE3 år 2030 i alla grundscenarier med de högsta priserna under 168 timmar, 2018 års prisnivå, EUR/MWh.

Källa: Resultat från TheMA.



Figur 42. Varaktighetskurva för SE3 år 2040 i alla grundscenarier med de högsta priserna under 168 timmar, 2018 års prisnivå, EUR/MWh.

Källa: Resultat från TheMA.

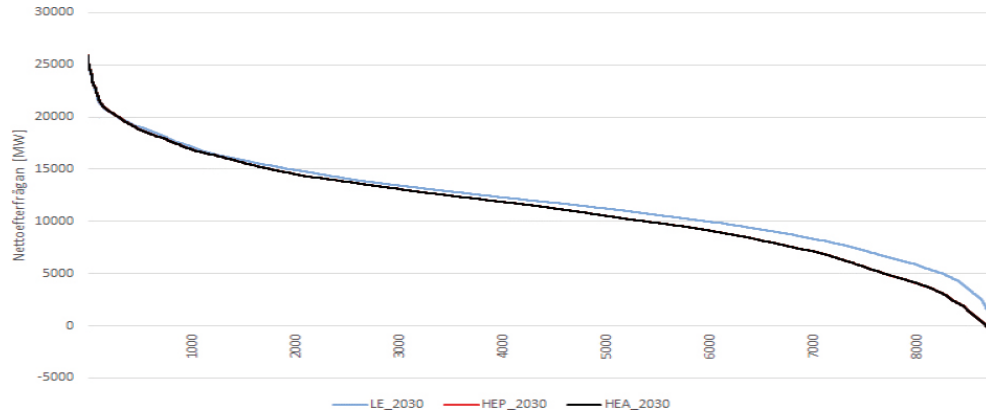


Figur 43. Varaktighetskurva för SE3 år 2050 i alla grundscenarier med de högsta priserna under 168 timmar, 2018 års prisnivå, EUR/MWh.

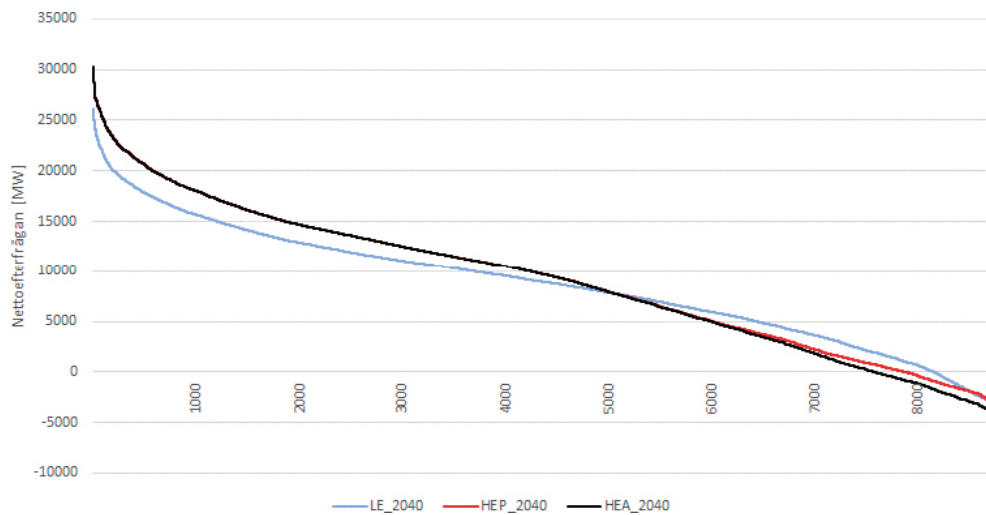
Källa: Resultat från TheMA.

Varaktighetskurvor nettolast

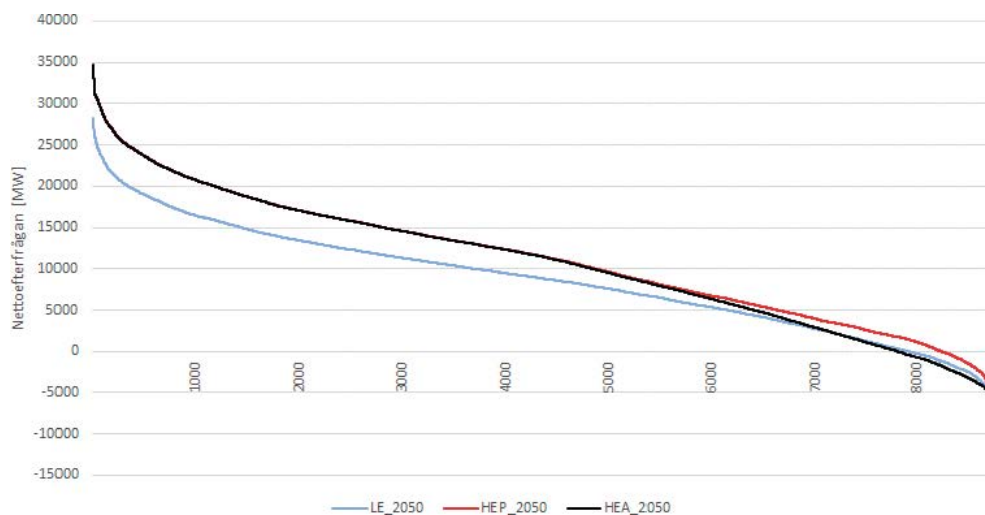
I Figur 44 – Figur 46 redovisas varaktighetskurvor för nettoefterfrågan i Sverige för alla scenarier uppdelat på åren 2030, 2040 samt 2050.



Figur 44. Varaktighetskurva för nettoefterfrågan i Sverige år 2030 i samtliga scenarier, MW. Källa: Resultat från TheMA.

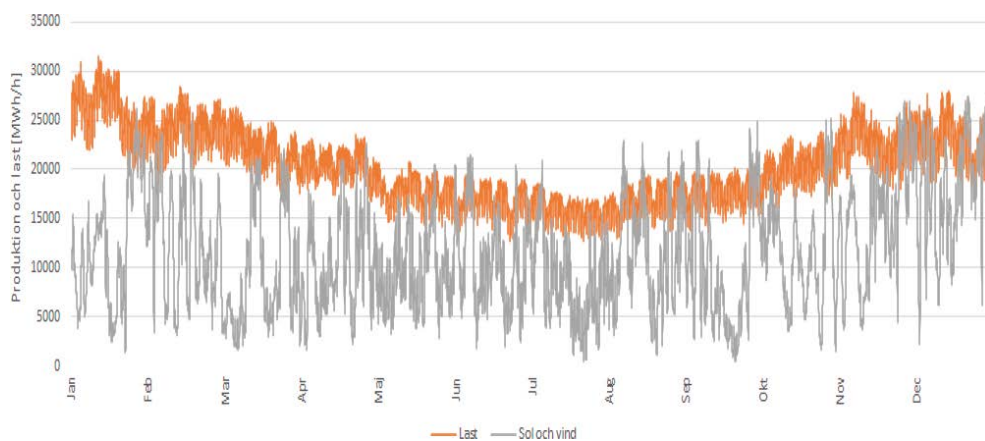


Figur 45. Varaktighetskurva för nettoefterfrågan i Sverige år 2040 i samtliga scenarier, MW. Källa: Resultat från TheMA.

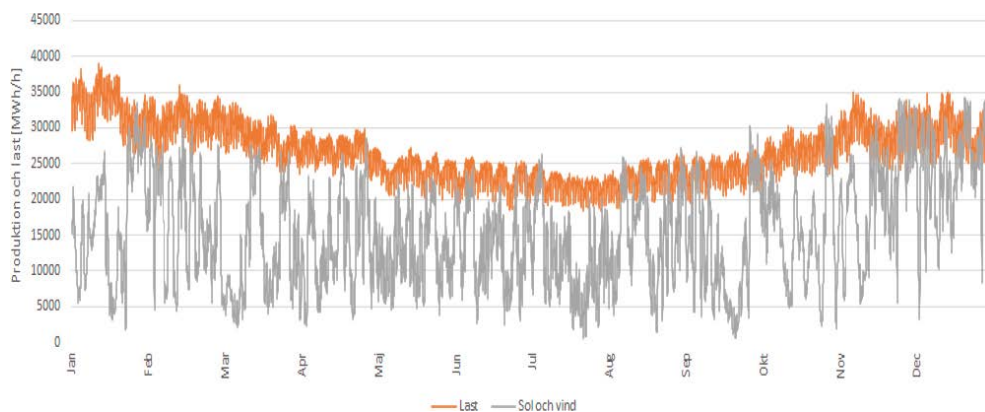


Figur 46. Varaktighetskurva för nettoefterfrågan i Sverige år 2050 i samtliga scenarier, MW. Källa: Resultat från TheMA.

Nettolast



Figur 47. Last och produktion från vind- och solkraft i *Lägre elektrifiering* 2050, MW. Källa: Resultat från TheMA.



Figur 48. Last och produktion från vind- och solkraft i *Högre elektrifiering med passiva användare* 2050, MW. Källa: Resultat från TheMA.

Hållbar energi för alla

Energimyndigheten leder samhällets omställning till ett hållbart energisystem.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens fordon och bränslen, förnybara energikällor och smarta elnät får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se