

Ett system i förändring

– konsekvenser och påverkan när elförsörjningen utvecklas



Region Stockholm, ansvarar och arbetar för en hållbar utveckling av Stockholmsregionen.

Visionen är att länet ska vara Europas mest attraktiva storstadsregion, både för dig som lever och verkar här och för våra besökare.

Vårt regionala utvecklingsarbete grundas på kvalificerat underlag och analys. Genom samverkan med kommuner, näringsliv, universitet och högskolor, andra myndigheter och organisationer bidrar vi till att det finns en gemensam målbild för regionens utveckling. Vi tar initiativ till, skapar förutsättningar och bidrar till att visioner, mål, strategier och åtaganden i den regionala utvecklingsplanen för Stockholmsregionen, RUF5, kan förverkligas.

Vi bevakar systematiskt utvecklingen i regionen och omvärlden och presenterar regelbundet kunskapsunderlag, analyser, scenarion, kartläggningar, utvärderingar, statistik och rekommendationer för regionens utveckling. Rapporterna tas fram av forskare, utredare, analytiker och konsulter på uppdrag av Region Stockholm.

Citera gärna innehållet i rapporten men uppge alltid källan. Att återge bilder, foto, figurer och tabeller (digitalt eller analogt) är inte tillåtet utan särskilt medgivande.

Region Stockholm
Regionledningskontoret
Box 30215, 104 25 Stockholm
Besöksadress:
Lindhagensgatan 98
Telefon: 08-123 100 00
registrator.rlk@regionstockholm.se
www.regionstockholm.se

Ansvarig handläggare: Helena Näsström och Peter Karnung
Konsulter: WSP, projektledare Johanna Sundelöf

Omslagsfoto: Håkon Grimstad, Unsplash

Dnr: RS 2023-0656

Innehåll

Sammanfattning	4
Inledning	5
Bakgrund	5
Centrala begrepp	6
Nulägesbeskrivning av elsystemet i Sverige	7
Så fungerar ett elsystem	7
Översikt över det svenska elsystemet	7
Produktionskapacitet	10
Pågående elektrifiering av samhället	11
Nulägesbeskrivning av elförsörjning i Stockholms län	12
Nätinfrastruktur och överföringskapacitet	12
Lokal produktionskapacitet	12
Pågående elektrifiering i Stockholms län	14
Förändringar i det svenska elsystemet	16
Förändrade produktions- och konsumtionsmönster nationellt påverkar Stockholms läns elförsörjning	16
Ökande stabilitetsutmaningar för framtidens elnät	20
Klimatförändringarnas betydelse för Sveriges elförsörjning	25
Betydelsen av nya elområden för Stockholms läns utveckling	28
Regional tillväxt	31
Slutsatser	33
Referenser	34

Sammanfattning

Elbehovet i Stockholms län och Sverige kommer att öka väsentligt med den elektrifiering som krävs för den gröna omställningen. Redan idag är situationen i elförsörjningen ansträngd i Stockholms län, och situationen kan förvärras, vilket kan leda till betydande fördröjningar av storskaliga nyanslutningar till elnätet. Detta skapar begränsade möjligheter för nya företag att etablera sig i Stockholmsregionen, vilket i sin tur hotar tillväxten och påverka sysselsättningen. Även bostadsbyggande och utbyggnad av transportinfrastruktur riskerar att stoppas eller fördröjas. I ljuset av klimatförändringar och en osäker situation i omvärlden, som påverkar el- och energiförsörjningen, blir behovet av en mer robust elförsörjning alltmer påtaglig.

Elförsörjningen står inför en tvådelad utmaning, vilket den här rapporten försöker beskriva. Den ena delen av utmaningen är det kraftigt ökade elbehovet som följer av den gröna omställningen och elektrifieringen. Det innebär att både elnät och elproduktion behöver byggas ut betydligt i landet. Norra Sverige har traditionellt producerat mer el än vad som använts, medan södra delen har kämpat med underskott. Med de nya gröna industrisatsningarna i norr kommer mönstren för elproduktion och konsumtion att förändras. Mindre el kommer kunna skickas söderut. Det får konsekvenser för Stockholms län som är beroende av el som producerats norröver. Den lokala elproduktionen, främst i form av kraftvärmeverken, utgör endast en tiondel av regionens elbehov. Även om länets elproduktion skulle öka kommer det fortsatt behövas import av el till Stockholmsregionen.

Det är därför viktigt att transmissionsnät och underliggande regionnät och lokalnät kan byggas ut och uppgraderas för att möta det ökade behovet. Det finns planer för att bygga ut och uppgradera näten på alla nivåer till i början på 2030-talet, för att möta den ökade efterfrågan, men utmaningar och målkonflikter i en tätbebyggd storstadsregion är många och det behövs samsyn och samarbete för att hitta lösningar för att projekten ska kunna genomföras i tid.

Den andra delen av utmaningen är den förändringen av elsystemet som sker med mer vindkraft och storskalig solkraft, men också då mikroproducenter vill mata in el till näten. Dessutom är det svenska elnätet hopbyggt med elnätet i norra Europa och fungerar på en gemensam europeisk marknad, vilket sätter ramarna för hur systemet kan regleras och styras. Delar av rapporten behöver därför vara ganska teknisk till sin karaktär för att kunna beskriva konsekvenserna av olika val avseende elsystemet.

Inledning

Bakgrund

Stockholms län och Sverige står inför en betydande elektrifiering som kommer att ha konsekvenser för elsystemets uppbyggnad och samhällsplaneringen. Elförsörjningen håller på att förändras i grunden med nya konsumtions- och produktionsmönster och därför finns många frågetecken kring hur det nya systemet ska kunna ge el och eleffekt där det behövs, när det behövs. Förändringen kräver att flera professioner höjer sin kunskapsnivå kring frågan för att kunna hantera den på ett bättre sätt, både för systemet i sig och för nyttjandet av det fysiska rummet. Ambitionen med rapporten är att bidra med fördjupad kunskap om utvecklingen av elsystemets olika delar för att öka medvetenheten om konsekvenserna av vad de olika vägvalen innebär för elsystemet och investering och planering som krävs. Vissa delar av rapporten är därför medvetet av teknisk karaktär.

Utöver den här rapporten har ytterligare ett kunskapsunderlag tagits fram med kompletterande perspektiv; *Samexistens mellan solparker och annan markanvändning*¹.

¹ Diarienummer 2023-0656

Centrala begrepp

Elproduktion är processen där elenergi genereras från olika källor, såsom vattenkraft, kärnkraft eller solkraft, för att möta samhällets elektriska energibehov. **Effekt** är den mängd elenergi som måste tillföras systemet för att möta efterfrågan av el vid en viss tidpunkt. Effekt mäts i watt (W) och i denna rapport återkommer ofta enheten megawatt (MW), vilket motsvarar en miljon watt.

Elbrist kan uppstå av tre orsaker: brist på elenergi, effektbrist och kapacitetsbrist.

Elenergi uppstår när mängden producerad elenergi inte motsvarar den efterfrågade elenergin över en viss tidperiod, oftast ett år, medan **effektbrist** uppstår när tillgänglig effekt i elproduktionen vid ett givet tillfälle (timme) inte är tillräcklig för att möta behovet. Under vintern när det är kallt och industrin går för fullt är behovet av effekt som störst i Sverige. Därför kan effektbrist uppstå vid ett visst tillfälle trots att det inte råder brist på elenergi över året.

Kapacitetsbrist uppstår när det finns fysiska begränsningar som gör att inte tillräckligt med effekt kan överföras mellan där el produceras och där el används i den omfattning som efterfrågas.

Planerbar energiproduktion är energikällor där vi kan bestämma när och hur mycket energi som ska produceras. Exempel på dessa är kärnkraft, vattenkraft och fjärrvärmeverk/kraftvärmeverk (fjärrvärmeverk som även kan producera el).

Intermittent (väderberoende) elproduktion kommer från källor som vi inte kan kontrollera, så som vinden och solen.

Nulägesbeskrivning av elsystemet i Sverige

Så fungerar ett elsystem

För att elsystemet ska fungera måste det hela tiden, dygnet runt, råda balans mellan produktion och användning, och det måste finnas tillräcklig överföringskapacitet i elnätet. När elbehovet växer behöver både elproduktion och överföringskapacitet växa i takt med behovet för att upprätthålla balansen.

Historiskt sett har den svenska elproduktionen bestått av en stor andel planerbar el från vattenkraft och kärnkraft på några få platser i Sverige. Den var spridd geografiskt för att elen i större utsträckning skulle produceras närmare där den konsumerades - vattenkraft i norr och kärnkraft i söder. Med utbyggnaden av vindkraft och nedläggningen av kärnkraftsreaktorer går elsystemet mot allt mer intermittent elproduktion i elmixen, samtidigt som elen måste transporteras längre sträckor. Det här innebär att det vid vissa tidpunkter blir svårare att upprätthålla lika mycket produktion som konsumtion runtom i landet.

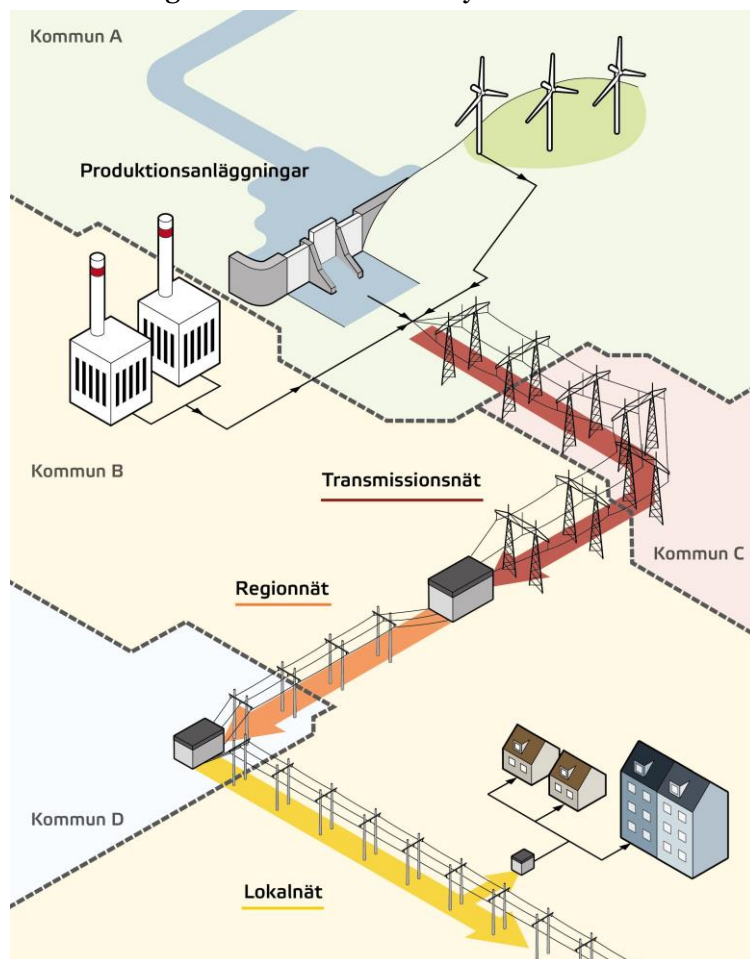
Översikt över det svenska elsystemet

Sverige är indelat i fyra elområden, från SE1 i norr till SE4 i söder. Stockholms län tillhör elområde 3 (SE3), som innefattar södra Mellansverige. Sett till konsumtion är SE3 det klart största elområdet. Gränserna mellan elområdena baseras på kända flaskhalsar i elnätet, som begränsar överföringskapaciteten. Elpriset bestäms individuellt för varje elområde baserat på regionalt utbud, regional efterfrågan och tillgänglig överföringskapacitet mellan elområdena. Elområden med högre konsumtion än produktion (nettokonsumtion) får därför ofta ett högre elpris än elområden med nettoproduktion. Syftet med elområdessystemet är både att höja driftsäkerheten och att främja investeringar där de gör som störst nytta för elsystemet. Traditionellt sett har norra Sverige haft produktionsöverskott på grund av goda förutsättningar för vattenkraft och låg regional elkonsumtion, medan södra Sverige haft produktionsunderskott.

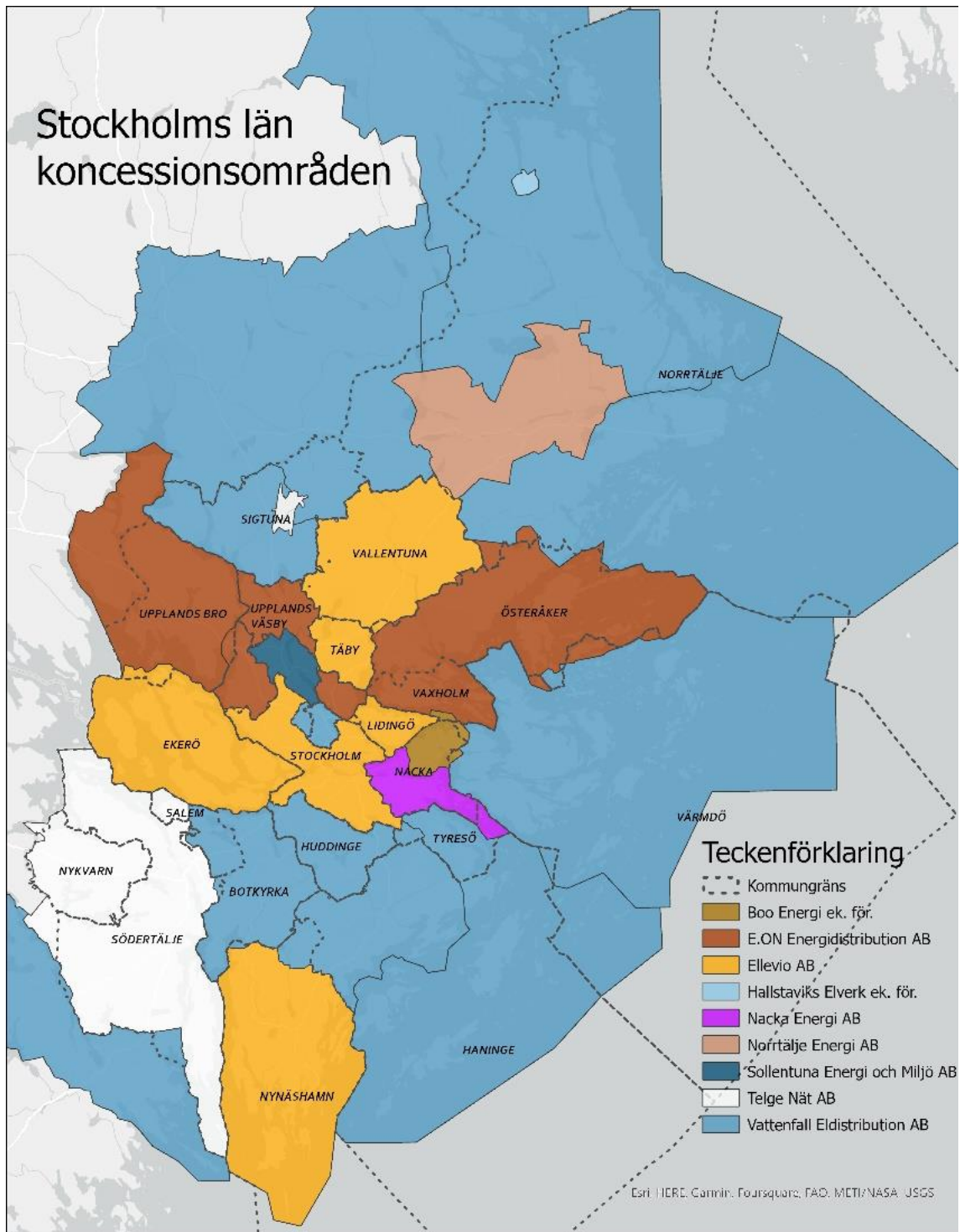


Figur 1: Karta över elområden i Sverige. Bildkälla: Svenska kraftnät.

Sveriges elnät är uppbyggt av transmissionsnät, regionnät och lokalnät. Transmissionsnätet är ryggraden i elnätet och transporterar stora mängder el över långa sträckor. Transmissionsnätet ägs av svenska staten och förvaltas och utvecklas av myndigheten Svenska kraftnät, som också är systemansvarig för elöverföringssystemet. Investeringar i transmissionsnätet drivs av behovet att transportera el mellan elområden eller att ansluta mycket stora producenter och konsumenter. Region- och lokalnätens syfte är att vidare distribuera el mellan konsumenter, producenter och transmissionsnätet. Regionnäten ägs och drivs till största delen av tre bolag: Vattenfall Eldistribution, Ellevio och Eon. Dessa utgör också de tre största lokalnätsägarna. Övriga lokalnät ägs och drivs av många olika energibolag eller av kommuner (se bilaga 1). Investeringarna drivs av att kunna ansluta små och medelstora producenter och konsumenter till elnätet.



Figur 2: Illustration över elnätets olika delar och nivåer. Källa: Boverket



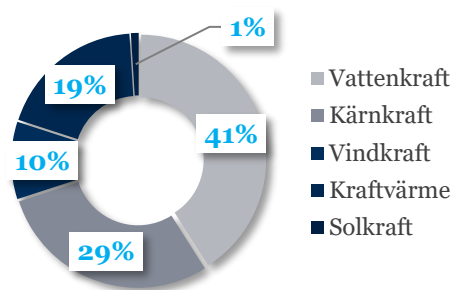
Figur 3: Bild över länets olika lokalnät. Källa: Region Stockholm.

Produktionskapacitet

Svensk elproduktion utgörs redan idag nästan uteslutande av fossilfria energikällor som vattenkraft, kärnkraft, vindkraft och biobaserad kraftvärme. I en global eller europeisk kontext sticker Sverige ut som ett av de länder med högst andel fossilfri elproduktion, och toppade exempelvis listan över EU-länder med lägst andel fossil elproduktion år 2022². Samtidigt har Sverige länge haft ett relativt lågt elpris jämfört med övriga Europa vilket har skapat konkurrensfördelar för svenska industrier.

Under år 2022 uppgick den totala elproduktionen i Sverige till 170 TWh och elanvändningen till 137 TWh. Förnybara energikällor stod för över hälften, närmare bestämt 69 procent, av den totala elproduktionen. Den mest dominerande bland dessa förnybara källor var vattenkraften, vilken svarade för cirka 69,7 TWh, motsvarande 41 procent av Sveriges samlade elproduktion. Produktionen av vattenkraft är nära förknippad med mängden nederbörd i form av regn och snö. Det innebär att under perioder med mindre nederbörd minskar produktionen, medan ökade nederbördsnivåer kan generera en högre produktion. På årsbasis genererar vattenkraften normalt sett cirka 65 TWh el, men detta kan variera med omkring 15 TWh beroende på nederbörds mängden³.

Kärnkraften utgjorde en betydande del av elproduktionen under 2022 och stod för 49,3 TWh, vilket motsvarar 29 procent av den totala elproduktionen i Sverige. Vattenkraften och kärnkraften kompletterades av andra hållbara energiformer, inklusive vindkraft och kraftvärme som svarade för 32,3 TWh respektive 17 TWh av den totala elproduktionen. Slutligen svarade solkraft för 1,7 TWh, motsvarande 1 procent av den totala elproduktionen⁴.



Figur 4: Sveriges elproduktion år 2022 fördelat per energilag.

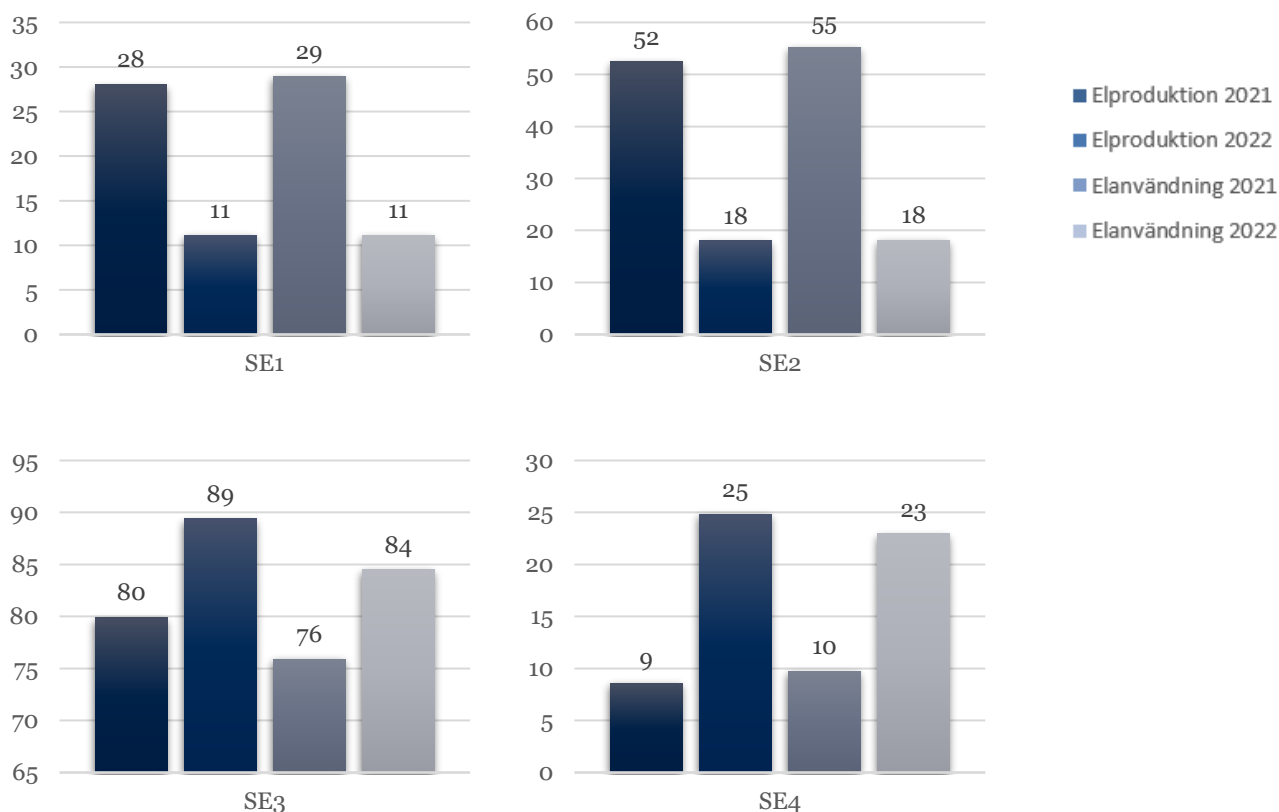
Vid behov eller överskott importeras respektive exporteras el från grannländerna Norge, Finland, Danmark, Tyskland och Polen. Sverige har under 2023 fortsatt att ha ett överskott av el, med en nettoexport på 26,7 TWh. Det innebär att Sverige har exporterat mer el än importerat under det året. Importen av el uppgick till 6,1 TWh, medan exporten var betydligt högre och uppgick till 32,8 TWh.

Det är värt att notera att behovet av elimport ökar under vintertiden, när elförbrukningen ökar markant jämfört med resten av året. Trots det ökade behovet under vintern har Sverige kunnat upprätthålla sitt elöverskott sett över hela året. Det är nu det 13:e året i rad som Sverige har haft en nettoexport av el på årsbasis.

² (Europeiska rådet, 2023)

³ (Statistiska centralbyrån, 2023)

⁴ (Statistiska centralbyrån, 2023)



Figur 5: Elproduktion och användning i TWh per elområde år 2021 och år 2022.

Pågående elektrifiering av samhället

För att klara klimatmålen⁵ är experterna överens om att världen i hög grad måste elektrifieras. Det betyder att nuvarande energikonsumenter behöver ställa om från att använda fossila bränslen till att i stället använda fossilfri el, samt att den fossilfria elproduktionen behöver byggas ut för att möta den växande efterfrågan.

Kombinationen av fossilfri el och låga elpriser skapar goda förutsättningar för att genomföra gröna industrisatsningar. Det pågår idag stora satsningar på utbyggnad av både elproduktion och elnät, men projekten har långa ledder och kan i vissa fall försvåra industrisatsningarna. Samtidigt måste lokala intressen vägas in och ställas mot de globala och ekonomiska drivkrafterna.

Utöver industrin är transportsektorn i stort behov av elektrifiering. Vägtransporter står för en femtedel av EU:s koldioxidutsläpp och från 2035 ska alla nya bilar som säljs inom EU vara utsläppsfria. I stor utsträckning väntas dagens bensin- och dieslbilar ersättas med batteridrivna fordon (BEV), men även andra lösningar som vätgas eller e-bränslen finns med i diskussionen⁶.

⁵ Enligt det nationella klimatmålet för 2045 ska Sverige vara klimatneutralt för att sedan ha negativa utsläpp.

⁶ (Europaparlamentet, 2023)

Nulägesbeskrivning av elförsörjning i Stockholms län

Nätinfrastruktur och överföringskapacitet

Elnätet i Stockholmsområdet är uppbyggt med två huvudsakliga regionnät, förvaltade av Ellevio och Vattenfall, som ansvarar för distributionen av elektricitet inom sina respektive områden. I nätbolagens effektprognoser framträder en tydlig indikation på en markant ökning av effektbehovet under de kommande åren. Enligt prognoserna förväntas effektbehovet öka med cirka 25–30 procent under kommande tioårsperiod, med start från år 2022⁷.

Ellevio äger regionnätet som täcker Stockholms stad och har ett abonnemang hos Svenska kraftnät på 1 635 MW. Utöver detta har Ellevio ett tolvårigt avtal från 2019 med Stockholm Exergi, som garanterar tillgänglig elproduktion från kraftvärme på 320 MW. Totalt innebär uttagsabonnemang och produktionsgarantin att Ellevio kan möta ett behov på 1 955 MW. Trots tillräcklig tillgänglig kapacitet de senaste åren, indikerar minskande marginaler att det prognosticerade högsta effektbehovet kommer att överstiga den tillgängliga kapaciteten från och med 2026⁸. Detta kräver framtida åtgärder för att frigöra eller tillfälligt öka kapaciteten inom nätområdet.

Vattenfall äger regionnätet för hela länet utanför Stockholms stad och har abonnemang hos Svenska kraftnät på 1 400 MW för Stockholm Norra och 900 MW för Stockholm Södra. Inom Vattenfall Eldistributions regionnätsområde finns även lokal elproduktion från kraftvärmeverk, vindkraft och solenergi.

Lokal produktionskapacitet

Elproduktionen i Sveriges regioner rapporteras officiellt av Statistiska Centralbyrån och Energimyndigheten^{9,10}. Den årliga elproduktionen från anläggningar i Stockholms län uppgår till cirka 2 TWh, motsvarande ungefär en tiondel av regionens totala elbehov.

Kraftvärmeverk är den dominerande källan för elproduktion, med en installerad eleffekt på cirka 670 MW. Dessa kraftvärmeverk finns utspridda i sex av länets kommuner. Elproducerande kraftvärme är särskilt viktig för länets elsystem, eftersom den är förutsägbar, lokalt tillgänglig och producerar el under högbelastningstider. Den utgör den enda lokalt styrbara energikällan för länet och är därmed av grundläggande betydelse för regionens elförsörjning.

För närvarande finns det tre **vattenkraftverk** i länet med en sammanlagd installerad effekt på 0,5 MW. Under 2021 uppgick den totala elproduktionen från dessa

⁷ (Regionalt elförsörjningsforum Stockholms län (REST), 2023)

⁸ (Regionalt elförsörjningsforum Stockholms län (REST), 2023)

⁹ (Statistiska centralbyrån, 2023)

¹⁰ (Energimyndigheten, 2023)

vattenkraftverk till 1,4 GWh (0,0014 TWh) och utgör därmed en mindre del av den totala elproduktionen.

En mindre andel av Stockholms läns elproduktion kommer från **vindkraft**. I länet återfinns för närvarande 26 landbaserade vindkraftverk med en sammanlagd installerad effekt på 61 MW, vilka genererade en total produktion av 0,164 TWh under det gångna året. Även om dess bidrag är begränsat jämfört med andra energikällor, spelar landbaserad vindkraft en viktig roll för att öka mångfalden inom elproduktionen och främja hållbarhetsmålen. Expansionen av landbaserad vindkraft står dock inför utmaningar relaterade till markkonkurrens och intressekonflikter. Med begränsad tillgänglig mark på land har fokus riktats mot havet, där störst potential för ökad vindkraftsproduktion identifierats i fem lämpliga områden i Stockholms läns närområde. Regeringen har dock avslagit alla ansökningar om vindparker i Östersjön med hänvisning till negativ påverkan på försvarsintresset. Utan teknisk utveckling eller förändrad syn på Försvarets behov anses möjligheten till havsbaserad vindkraft i länets närområde minimal¹¹.

Solenergi i länet är huvudsakligen småskalig, men det finns en starkt ökande trend med etablering av storskaliga solcellsparker. Under 2022 fanns 17 684 nätanslutna solcellsanläggningar med en installerad effekt på 270 MW och en årsproduktion på cirka 0,24 TWh. Denna utveckling bidrar till diversifieringen av elproduktionen och möjliggör en gradvis minskning av beroendet av konventionella energikällor. Trots den positiva potentialen att öka elproduktionen från solceller, står sektorn inför flera utmaningar och intressekonflikter. En central konflikt uppstår kring markkonkurrens mellan solcellsparker och livsmedelsproduktion på jordbruksmark. Dessutom genererar solceller mest el under sommarhalvåret, vilket inte täcker vinterperiodens höga effektbehov (för vidare läsning om solekens potential i länet, se rapporten *Samexistens mellan solparker och annan markanvändning*, dnr RS 2023-0656).

Trots potentialen för utbyggd elproduktion i länet står man inför betydande hinder och osäkerhetsfaktorer. Import av el förväntas fortsatt vara nödvändig för Stockholms län, och förekomsten av elproduktion utanför länet är en grundläggande förutsättning för elförsörjningen.

Kärnkraftverket Forsmarks tre reaktorer spelar en avgörande roll i Sveriges elproduktion. Med en daglig produktion på cirka 75 GWh, motsvarande en sjättedel av landets totala elproduktion, är Forsmark en stabil och pålitlig leverantör. Under 2022 genererade Forsmarks kärnkraftverk 25,5 TWh el. Denna kapacitet är av synnerligen stor betydelse för att säkerställa en stabil och omfattande elförsörjning för Stockholms län.

Hösten 2023 presenterade regeringen en ny färdplan för kärnkraft i Sverige fram till 2045. Planen innebär att minst 2 500 MW ny kärnkraft, motsvarande minst två storskaliga reaktorer, ska vara i drift senast 2035. En omfattande utbyggnad av kärnkraft planeras också till 2045, där antal och typ av reaktorer beror på faktorer som elsystemets behov, utbyggnadstakt och teknikutveckling. Den geografiska placeringen av ny konsumtion och produktion påverkar också besluten¹². Som ett ytterligare pågående initiativ har Vattenfall nyligen slutfört en förstudie om möjligheten att bygga SMR på

¹¹ (Regeringen, 2024)

¹² (Klimat- och näringslivsdepartementet, 2023)

Väröhalvön nära Ringhals. Förstudien presenteras för styrelsen i februari 2024, men på grund av konfidentiell affärsinformation kommer den inte att offentliggöras. Slutsatserna delges efter att Vattenfall har beslutat nästa steg i planeringen för ny kärnkraft¹³. Eftersom dessa initiativ befinner sig i de tidiga stadierna av utredningsfasen är det svårt att förutse konsekvenserna för elförsörjningen i Stockholms län, eller rättare sagt i elområde 3.

Pågående elektrifiering i Stockholms län

Region Stockholm strävar mot att vara fossilfritt och klimatpositivt år 2045¹⁴. I samband med detta förväntas stockholmarnas elbehov öka med 30 procent fram till 2030. En av de främsta anledningarna till att elbehovet ökar kraftigt är ökad befolkningstillväxt och det ökade bostadsbyggandet, vilket driver upp elkonsumentionen. Dessutom står Stockholms län inför en snabb elektrifiering av fordonsflottan och den mest omfattande tunnelbaneutbyggnaden sedan 1970-talet. Även elektrifiering av Stockholms Hamnar bedöms öka effektbehovet markant. Det totala eleffektbehovet för hamnarna uppskattas uppgå till 200 MW fram till 2030¹⁵. En stor del av det ökade behovet, ungefär 70 procent, förväntas hänföras till kryssningstrafiken. Ökad efterfrågan på serverhallar kommer ytterligare påverka kapacitets- och effektbehovet, drivet av behovet för ständig uppkoppling, 5G-utbyggnad och ökande antal uppkopplade enheter som bilar - faktorer som är viktiga för stadens utveckling. För att stödja den gröna omställningen och möta det ökade elbehovet är det av yttersta vikt att elsystemet fungerar effektivt. Redan idag är elnätet i Stockholms län belastat, och risken för effektbrist är huvudsakligen kopplad till kapacitetsbegränsningar i transmissionsnätet.

Pågående elnätsprojekt

Elnätet i Stockholms län står inför en omfattande expansions- och förstärkningsprocess. Svenska kraftnät ansvarar för att förstärka transmissionsnätet genom de övergripande programmen Stockholm Ström och Storstockholm Väst. Projekten genomförs i samarbete med regionnätsägarna och omfattar implementeringen av nya ledningar, fördelnings- och transformatorstationer samt andra infrastrukturprojekt. Förstärkningen av transmissionsnätet i Stockholmsområdet utgör en central insats för att bibehålla driftsäkerheten och säkra elförsörjningen i länet. Den sammanlagda kostnaden beräknas till 20 miljarder kronor och omfattar ett femtiotal projekt. Elnätsförstärkningarna förväntas avsevärt öka överföringskapaciteten fram till 2030, med en förväntad fördubbling av kapaciteten till cirka 7 000 MW vid projektens avslut kring år 2030. Dock kvarstår viss osäkerhet kring tidplanerna, med tanke på den komplexa karaktären och ömsesidiga beroendet mellan projekten¹⁶.

Utöver regionala förstärkningar kommer länets elförsörjning att stärkas av NordSyd-programmet, som ska öka överföringskapaciteten över snitt 2 (mellan SE2 och SE3) från 7 300 MW till mer än 10 000 MW 2040. Totalt kommer investeringar för cirka 75

¹³ (Vattenfall AB, 2023)

¹⁴ (Region Stockholm, 2016)

¹⁵ (Transportföretagen, 2023)

¹⁶ (Länsstyrelsen Stockholm, 2020)

miljarder kronor genomföras, vilket innefattar cirka 2 000 km nya ledningar och omkring 35 nya/förnyade stationer.

Utöver Svenska kraftnäts investeringar i transmissionsnätet pågår även förstärkningar av underliggande region- och lokalnät. Exempelvis har Vattenfall ett motsvarande program som kallas Kapacitet Stockholm, där 20 mil av nätet ska uppgraderas för att kunna ta emot elen från transmissionsnätet till en kostnad av ungefär 1,8 miljarder kronor.

Utmaningar och konsekvenser av försenad utbyggnad

Att genomföra planer utan förseningar är en utmaning på grund av komplexiteten och de ofta uppstående nya hindren i projekten. Osäkerhetsfaktorer, som överklaganden, nya krav eller förseningar i tillstånds- och byggprocesser, målkonflikter med andra intressen och resursbrist, kan försena nätförstärkningar. Den nödvändiga kapacitetsökningen riskerar därför att komma för sent i förhållande till behovet, vilket skapar en långvarig och ansträngd situation¹⁷.

Det ansträngda läget i länets elsystem kan fördröja storskaliga nyanslutningar till elnätet, som exempelvis elektrifiering av fordonsflottor, gröna initiativ inom industrier, företagsetableringar och infrastrukturprojekt. Detta kan också skapa fördröjningar i kommunal utveckling, inklusive detaljplaner och exploateringsprojekt, vilket i sin tur påverkar länets bostadsförsörjning. Risker för sådana fördröjningar är påtaglig och kan få betydande konsekvenser för länets klimatomställning, tillväxt och attraktivitet. Det är viktigt att notera att målen inom försörjningstrygghet, konkurrenskraft och ekologisk hållbarhet kan vara svåra att uppnå. Risker för störningar eller avbrott i elförsörjningen för dagens användare och aktuellt effektbehov är dock låg, tack vare strikta leveranssäkerhetskrav¹⁸.

¹⁷ (Regionalt elförsörjningsforum Stockholms län (REST), 2023)

¹⁸ (Regionalt elförsörjningsforum Stockholms län (REST), 2023)

Förändringar i det svenska elsystemet

Förändrade produktions- och konsumtionsmönster nationellt påverkar Stockholms läns elförsörjning

Ökad efterfrågan skapar behov av investeringar

I Fossilfritt Sveriges *Färdplan el* förväntar man sig att Sveriges elbehov ska öka från 140 TWh år 2020 till 190 TWh år 2045. Ökningen motiveras främst med elektrifiering av industri och transporter, samt etablering av ny elintensiv industri som datahallar¹⁹. Energimyndigheten förutspår än högre elbehov och prognostiserar i sin rapport *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifieringen 2050* ett elbehov om 225–350 TWh 2050²⁰. Även om nivån skiljer sig åt mellan olika aktörer råder enighet om att Sverige måste elektrifieras för att klara sina klimatmål, och att elbehovet kommer öka kraftigt närmsta decennierna. De flesta studier som genomförts sträcker sig till 2045 eller 2050 på grund av klimatmålens löptid, men samma trender kommer troligtvis fortsätta även till 2060.

Södra Sverige (SE3 och SE4) som traditionellt haft ett underskott av elproduktion har länge varit beroende av import från norra Sverige (SE1 och SE2). Men när gröna industrisatsningar nu radar upp sig för att etablera sig i norra Sverige är det inte längre givet att norra Sverige kommer behålla sitt produktionsöverskott. Energimyndigheten förutspår en betydande ökning av elförbrukningen i norra Sverige till år 2050. I SE1 förväntas den öka från 10,9 TWh till 125 TWh, medan SE2 förutspås öka från 17,3 TWh till 43 TWh. Det innebär en över tiofaldig respektive fördubbling av den nuvarande elanvändningen under den tidsperioden. Denna förändring kan påverka norra Sveriges tidigare produktionsöverskott.

Svenska kraftnät redovisar sina prognoser över framtida energibalanser i sin långsiktiga marknadsanalys som publiceras vartannat år (senast 2024). År 2025 väntar sig Svenska kraftnät se ett underskott av 10 respektive 15 TWh i SE3 och SE4. Framtida produktionsunderskott är dock svåra att förutspå vilket visas i det stora spann som ges mellan de olika scenarierna som presenteras i rapporten. SE3 spås 2045 ha ett underskott på 13–40 TWh medan SE4 spås kunna få ett underskott på 4–12 TWh²¹.

För att möta samhällets ökande behov av fossilfri el krävs att stora investeringar görs i ny elproduktion. En stor del av den nya produktionen förväntas vara intermittent, vilket i detta fall syftar till att produktionen är väderberoende. Sol- och vindkraft är de två främsta exemplen på intermittent produktion och förväntas utgöra en allt större del av svensk elproduktion. Andelen vindkraft förväntas av Energimyndigheten öka från 19 till 26 procent av Sveriges årsproduktion mellan 2022 och 2025, för att därefter fortsätta öka i något avstannande tempo²². Utbyggnaden av solkraft går också snabbt, även om den utgår från betydligt lägre utgångsnivåer.

¹⁹ (Fossilfritt Sverige, 2020)

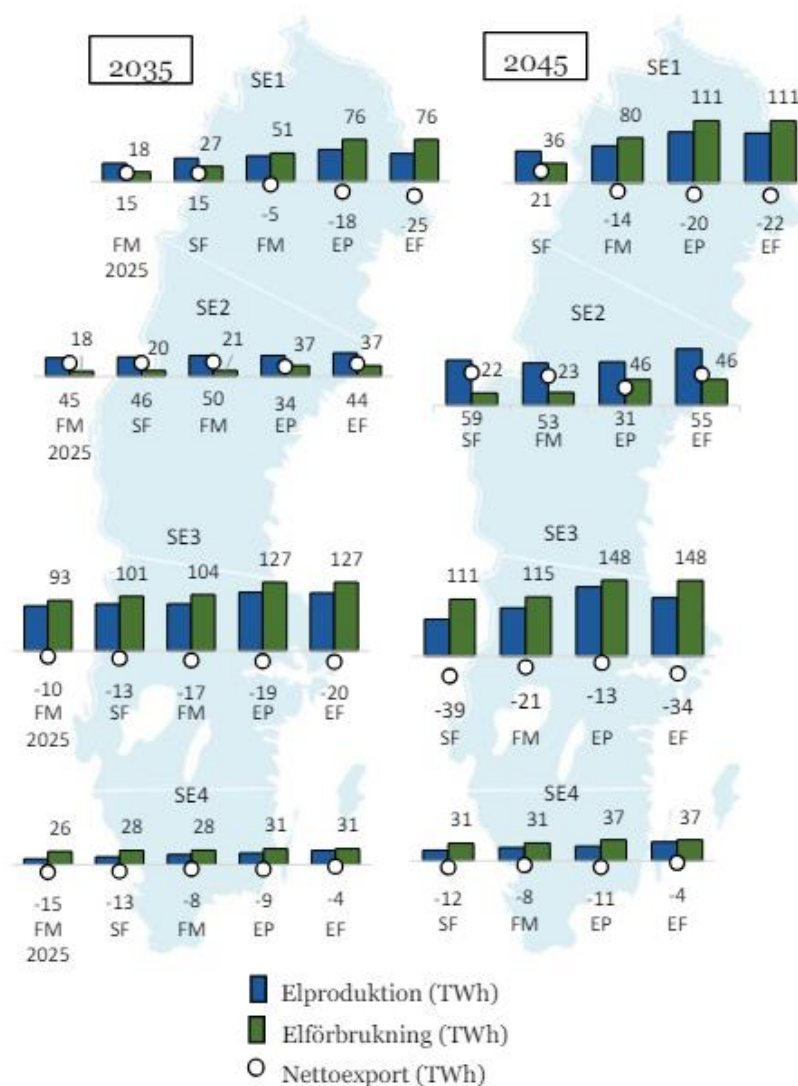
²⁰ (Energimyndigheten, 2023)

²¹ (Svenska kraftnät, 2024)

²² (Energimyndigheten, 2023)

Förändrade handelsflöden till följd av samhällets elektrifiering

Den ökande efterfrågan, kombinerat med att intermittenta energikällor som sol- och vindkraft väntas utgöra en allt större del av Sveriges elmix, väntas leda till förändrade handelsmönster. I Svenska kraftnäts senaste långsiktiga marknadsanalys går exempelvis SE1 från att vara nettoexportör till att bli nettoimportör redan år 2035, i tre av fyra scenarion. SE3, där Stockholms län befinner sig, förblir dock nettoimportör i samtliga scenarion 2045, men med varierande importbehov. Troligast är dock att importbehovet för SE3 ökar markant, vilket tre av fyra scenarion förutspår²³.



Figur 6: Årsmedelvärden för produktion, förbrukning och nettoexport för Sveriges elprisområden. Värden för förbrukning anges ovanför staplarna, och nettoexporten under staplarna. Källa: Svenska kraftnät.

²³ (Svenska kraftnät, 2024)

En stor faktor bakom de förändrade handelsflödena som förutspås är elektrifieringen av basindustrin, med projekt som Hybrit och H2 Green Steel i spetsen. Ofta planeras sådana industrisatsningar i norra Sverige på grund av de historiskt låga elpriserna, men det finns gott om gröna industrisatsningar även i andra delar av landet. Om stora mängder konsumtion tillkommer påverkas handeln mellan elområdena, vilket vi ser resultatet av i Svenska kraftnäts prognoser.

För att möta den ökande efterfrågan planeras en betydande mängd förnybar elproduktion. Intresset är stort för att bygga vindkraft, solkraft visar snabb tillväxt och samtidigt har nuvarande regering gett stöd till investeringar i ny kärnkraft. Långa och komplicerade tillståndsprocesser gör dock att utbyggnaden riskerar att fördröjas, vilket skapar utmaningar för den växande efterfrågan. Utöver tillståndsprocesser innebär den förändrade användningen av elförsörjningssystemet att elnätet behöver byggas om, vilket kräver tid och resurser²⁴. Om inte elproduktionen klarar av att möta efterfrågan kommer detta bidra till stigande elpriser, både i Sverige och i Norden.

Det viktigt att ha med sig att handelsflödena bestäms på en fri marknad och att lokal efterfrågan inte har förtur att köpa el (så vida inte kapacitetsbegränsningar i elnätet begränsar handeln). Stockholmsregionen kommer därför fortsatt kunna importera el från andra delar av Sverige och Norden i samma utsträckning som tidigare, men med ökad konkurrens från andra konsumenter riskerar priserna att trissas upp. Det som begränsar länets elimport är således konsumenternas betalningsförmåga och elnätets överföringskapacitet.

Stigande elpriser slår dock hårt mot priskänsliga konsumenter och riskerar att hämma regionens tillväxt. För områden med produktionsunderskott är det därför viktigt att investera i ny elproduktion och förstärkt elnätsinfrastruktur.

Är planerbar elproduktion en förutsättning för stabil elförsörjning?

För att elnätet ska vara i balans behöver hela tiden samma mängd el produceras som konsumeras. Traditionellt sett har Sveriges elförsörjning till största del bestått av kärnkraft och vattenkraft där kärnkraft fungerat som basproduktion och vattenkraften bidragit med regleringsförmåga genom att anpassa sin produktion efter rådande efterfrågan. Den traditionella produktionsmixen har tjänat Sverige väl och länge bidragit till att Sverige haft en fossilfri och pålitlig elförsörjning, men det systemet genomgår idag en förändring. Möjligheten att bygga ny vattenkraft är begränsad och den splittrade opinionen rörande ny kärnkraft har bidragit till en låg investeringsvilja. I stället har vindkraft etablerat sig som en betydande andel av svensk elproduktion, samtidigt som solkraft visar stark tillväxt, om än från låga nivåer.

I takt med att andelen vindkraft och solkraft ökar minskar dock produktionssidans förmåga att möta efterfrågan. När vinden blåser och solen skiner produceras mycket el, och vid vindstilla och mörka förhållanden produceras desto mindre. Vid överproduktion av el inträffar allt oftare så kallade negativa elpriser. Utan lagringsmöjligheter för

²⁴Exempel: När konsumenterna också producerar el, som är fallet med solpaneler på villor, behöver elnätet ibland byggas om för att kunna ta omhand produktionen.

att omhänderta överproduktionen skapas en så kallad kannibaliseringseffekt²⁵, vilket minskar investeringsviljan för vind- och solesproduktion, men även för planerbara produktionslag²⁶. Vid tillfällena av stor väderberoende kraftproduktion finns också risken den behöver kopplas bort vid soliga och/eller blåsiga dagar för att bevara nätstabiliteten. Detta har väckt en debatt huruvida planerbar elproduktion är ett måste för att tillgodose den växande efterfrågan. Utan möjligheten till storskalig lagring av el har den planerbara elproduktionen avgörande betydelse, då den kan generera elektricitet på ett förutsägbart och jämnt sätt. Exempel på sådan elproduktion inkluderar kärnkraft och kraftvärme.

Genom att välja planerbara energikällor elimineras den påverkan som vädermässiga förhållanden kan ha på produktionen, vilket skapar en stabil och pålitlig elförsörjning. Konsekvent tillgänglighet av el är avgörande för att möta samhällets energibehov och säkerställa kontinuitet i olika sektorer såsom industri, hushåll och företag. Planerbar elproduktion bidrar också naturligt till att stabilisera elpriset och höja leveranstryggheten. Brist på planerbar elproduktion kan kompenseras med andra lösningar, som energilagring eller flexibel elkonsumention, vilka behandlas i senare delar av rapporten. Ett stabilt elförsörjningssystem kan se ut på olika sätt, med olika fördelar och nackdelar som behöver hanteras med olika stora kostnader till följd.

Sammantaget kommer många olika tekniker behövas för att behålla en stabil elförsörjning samtidigt som samhället elektrifieras. Investeringar i planerbar elproduktion är en av dessa, och kommer med många fördelar för elsystemet. För regioner med nettounderskott av elproduktion kan investeringar i planerbar elproduktion vara av särskilt stort värde, eftersom det då permanent frigörs plats i inkommande elledningar.

Sveriges importbehov och risken för import av fossil el

Sverige har länge varit en nettoexportör av el. Det betyder att Sverige över ett år producerar mer el än vad som förbrukas och att överskottet säljs till våra grannländer. År 2023 var exempelvis Sveriges nettoexport 26,7 TWh, vilket motsvarar 16 procent av den totala elproduktionen. Trots att Sverige länge varit en nettoexportör finns det tillfällena under året då el importeras. År 2023, samma år som Sverige nettoexporterade 26,7 TWh, importerades samtidigt 6,1 TWh el²⁷.

Handelsflödena styrs av de aktuella prisskillnader som råder mellan angränsande elområden, och varierar över årets timmar. De tillfällena då angränsande länder har lägre elpriser kommer Sverige att importera el, och övriga timmar kommer Sverige att exportera el. Vissa timmar kan Sverige både importera och exportera samtidigt, på grund av flaskhalsar i nätet. Den öppna europeiska elmarknaden bidrar till ett effektivt nyttjande av elnät och elproduktion, och minskar genom det risken för höga elpriser eller manuell fränkoppling av konsumenter.

En minskad nettoproduktion eller ett mer volatilt elpris, kan leda till fler timmar när Sveriges elpriser är högre våra grannländers, och därmed fler timmar med

²⁵ Kannibaliseringseffekten innebär att exempelvis vindkraften slår undan benen på sin lönsamhet när det blåser kraftigt och alla kraftverk producerar samtidigt.

²⁶ (Energiföretagen, 2024)

²⁷ (Energimyndigheten, 2023)

importflöden. När Sverige importerar el finns en risk att elen är av fossilt ursprung och om importflödena skulle komma att öka kan det leda till en ökad mängd fossil el i Sveriges elförsörjning.

För att minska risken att importera fossil el är det viktigt att Sverige investerar i fossilfri och ekonomiskt konkurrenskraftig elproduktion i takt med att efterfrågan ökar. På den öppna elmarknaden finns inga garantier för att Sverige aldrig kommer att importera fossil el, men med högre nettoproduktion, tekniska landvinningar som energilager och efterfrågefleksibilitet minskar risken. Särskilt fördelaktigt är investeringar i de elområden som har produktionsunderskott, det vill säga SE3 och SE4.

Ökande stabilitetsutmaningar för framtidens elnät

Orsakerna bakom elnätets stabilitetsutmaningar

Det svenska elsystemet har de senaste decennierna förändrats med mer vind- och solkraft och minskad andel kärnkraft. Det leder till ökad instabilitet i nätet då den så kallade svängmassan minskar. Detta beror på att vindkraft och solceller är anslutna till nätet via elektriska enheter snarare än tunga roterande maskiner, såsom exempelvis vatten- och kärnkraft. Det innebär en utmaning för det framtida elsystemet eftersom svängmassan som maskinerna bidrar med fungerar som en buffert vid eventuella fel. Det sker när svängmassan ändrar sin rotationshastighet långsamt, vilket ger systemet tid att vidta felavhjälpanande åtgärder. Med den pågående förändringen i Sveriges elmix måste stabiliteten och tillförlitligheten säkerställas på nya sätt, och det är här så kallad syntetisk svängmassa kommer in.

Syftet med syntetisk svängmassa är att så fort som möjligt ersätta produktionsbortfall för att förhindra att fel breder ut sig och orsakar strömavbrott. Skillnaden mellan naturlig svängmassa och syntetisk svängmassa ligger i reaktionstiden. Naturlig svängmassa agerar enligt fysikens lagar utan fördröjning, medan syntetisk svängmassa har en viss reaktionstid. Ett exempel på syntetisk svängmassa är att öka eller minska rotationsenergin i vindkraftverkens turbiner med hjälp av kraftelektroniken som är ansluten till elnätet. Ett annat exempel innefattar användningen av högspänd likström (HVDC) för att distribuera systemtröghet till andra synkronområden, främst på den europeiska kontinenten. Denna potential används redan i befintliga HVDC-förbindelser men kan ytterligare utvecklas. Batterier som är anslutna till kraftsystemet utgör ett tredje exempel. Balansmarknaderna som har etablerats de senaste åren via Svenska kraftnät svarar till stor del på den minskade svängmassan. Att komplettera systemtrögheten med omriktarstyrd produktion från vindkraft, HVDC-förbindelser och batterier framstår som lovande vägar och kräver ytterligare utforskning och undersökning²⁸. Behovet av stöd-tjänster har ökat markant de senaste åren. En större balansmarknad innebär större kostnader för Svenska kraftnät, som slutligen finansieras av kundkollektivet²⁹.

Elprisets volatilitet och stabiliserande åtgärder

Elpriset har legat relativt stabilt de senaste 10 åren men analyser från Svenska kraftnät visar att framtidens elprisnivåer kan komma att variera kraftigt beroende på

²⁸ (Karlsson D., Power G., Nordling A., 2016)

²⁹ (Tidningen Näringslivet, 2024)

utvecklingen av elsystemet i stort. Faktorer som kommer att ha en stor påverkan är vilka kraftslag som byggs ut och vart, hur elanvändningen kommer utvecklas samt hur elnätet byggs ut. Med detta i åtanke visar analyserna generellt att på lite längre sikt kommer den förväntade ökade elanvändning trycka upp elpriserna, medan den större andelen väderberoende elproduktion kommer öka prisvariationerna³⁰. Vid de tillfällen då vinden blåser och solen skiner samtidigt som elanvändningen är låg kommer elpriset att tryckas ned, medan priset trycks upp i det omvända scenariot.

För att lyckas stabilisera elpriset behövs troligen flera lösningar. Planerbar och reglerbar produktion har en fundamentalt stabiliserande effekt. Med den ökade andelen väderberoende elproduktion blir flexibilitet inom elsystemet avgörande för att kunna temporärt förflytta både elkonsumention och elproduktion. Denna flexibilitet kan realiseras genom energilagring och efterfrågefleksibilitet. Energilagring fungerar som "energi-banker" som kan flytta och spara energi under olika tidsperioder. Exempel på korttidslösningar inkluderar batterier, som kan lagra och frigöra energi över några timmar. För längre perioder finns det alternativ som pumpkraftverk, som kan lagra energi i veckor, och vätgaslager, som möjliggör lagring under månader. Dessa teknologier ger flexibilitet i hanteringen av energiresurser och bidrar till att anpassa elsystemet efter varierande behov över olika tidsramar. Vätgasens roll som energilagring ligger enligt Svenska kraftnäts scenarier i Sverige nordligaste elområde SE1 och syftar till att fylla industrin behov av vätgas. Den bidrar således med möjligheten att dra ner på den elintensiva vätgasproduktionen så länge den är flexibel. Det finns dock inga utsikter för vätgaslager för att bidra med ytterligare effekt och elproduktion.

Efterfrågefleksibilitet har en stabiliserande effekt likt batterier, det vill säga flytta energianvändning mellan timmar. Därför är det troligt att en kombination av planerbar produktion, reglerbar produktion, energilagring och efterfrågefleksibilitet kommer att vara nödvändig för att långsiktigt stabilisera Sveriges elpriser. Dessa olika strategier möjliggör en mer anpassningsbar och pålitlig elförsörjning över tid.

Behovet av storskaliga lagringsmöjligheter i ett intermittent elsystem

Storskalig energilagring är inte ett krav i ett elsystem med hög andel intermittent el – det som är ett krav är kostnadseffektiva flexibilitetstjänster. Det finns fyra huvudsakliga flexibilitetsalternativ, varav energilagring är en. De övriga tre är flexibel elgeneration, ökad överföringskapacitet samt efterfrågefleksibilitet. Alla fyra fyller samma funktion, att se till att det vid varje givet tillfälle produceras lika mycket el som det förbrukas i systemet. Flexibel elgeneration innebär att man kan stänga av och sätta på elproduktionen snabbt för att matcha konsumtionen, ökad överföringskapacitet innebär att elledningar i landet och Europa byggs ut och förbättras för att elen snabbare ska kunna transporteras över längre sträckor med färre flaskhalsar, och efterfrågefleksibilitet betyder att elkonsumenter blir mer flexibla i sin elanvändning för att matcha elproduktionen. Dessa alternativ är relativt utbytbara då de fyller samma funktion och det går inte att på förhand säga att någon av de är att föredra. Som med många frågor behövs en kombination av alla lösningar och sannolikt kommer en utveckling inom alla dessa

³⁰ (Svenska kraftnät, 2021a; Svenska kraftnät, 2022)

fyra områden framöver, även om energilagring är den lösning som oftast nämns i den offentliga debatten.

I Svenska kraftnäts senaste långsiktiga marknadsanalys fram till 2045 undersöker man fyra scenarier med varierande total elanvändning och elmix³¹. De tre kraftslagen som varierar mest i de olika scenarierna är sol-, vind- och kärnkraft. Rapporten konstaterar att ett elsystem med högre andel intermittent elproduktion än dagens kräver ökad flexibilitet, bland annat i form av energilagring. De tre huvudsakliga flexibilitetstyperna i de olika scenarierna för 2045 är mängden el som används för vätgasframställning (13–87 TWh), installerad batterikapacitet (141–245 GWh) och andel elbilar som antas kunna laddas flexibelt (60–75 procent). Observera att den vätgas som produceras i första hand förväntas användas i industrier och inte som energilagring. Vätgasen är dock fortfarande relevant av två anledningar. För det första kan vätgasproducenter anpassa sin vätgasproduktion genom att producera mer när elpriserna är låga och stänga av när elpriserna är för höga. På detta sätt bidrar de med efterfrågefleksibilitet. För det andra kan industrierna behöva lagra vätgasen och dessa lager kan kopplas till elsystemet för att bidra till dess stabilitet och därmed utgöra ett energilagring. Hur stor andel av den vätgas som produceras i landet som används som energilagring framgår emellertid inte i rapporten.

De olika scenarierna visar på att ökad andel intermittent el inte automatiskt resulterar i högre andel batterikapacitet, vätgas eller elbilar kopplade till nätet. Istället är det en kombination av olika lösningar som är avgörande. Resultatet är dock behäftat med en stor osäkerhet och rapportförfattarna sammanfattar det hela med att ” *Modellresultaten i marknadsanalysen visar att flexibilitet är nödvändigt för ett fungerande elsystem 2045, men de antaganden som görs är osäkra. Det visar hur svårt det är att uppskatta behovet av flexibilitet kvantitativt, och det gäller även lagring.* ”

Sammanfattningsvis är elsystemet högst komplext och det finns inte ett rakt svar på frågan hur mycket intermittent el ett system klarar utan storskaliga lagringsmöjligheter. Ytterligare faktorer som inte nämnts i texten ovan är att den ökade sammankopplingen med Europa samt potentialen från havsbaserad vindkraft förväntas öka stabiliteten i systemet.

Lösningar för att balansera intermittent elproduktion

Investeringar i energilagring kan bidra till att balansera obalanser mellan utbud och efterfrågan. Tekniker som batterier och vätgas diskuteras flitigt, men det finns många olika lösningar som passar bra för olika användningsområden. I dagsläget är det svårt att nå lönsamhet genom endast energi-arbitrage (köpa billigt och sälja dyrt) på grund av de höga investeringskostnaderna, men i ett scenario där kostnaderna sjunker och elpriset blir mer volatilt kan lönsamheten förbättras. Många energilagringstekniker är också väl lämpade för att delta på Svenska kraftnäts balansmarknader där de handlar upp stödtjänster, som i dagsläget anses mycket lukrativa. Deltagare på balansmarknaderna bidrar till att bibehålla stabiliteten i elnätet om något fel skulle inträffa, men bidrar endast i begränsad utsträckning till att stabilisera elpriset.

³¹ (Svenska kraftnät, 2024)

Incitament till flexibel elkonsumention kan till exempel handla om att få fler hushåll och företag att byta till spotprisbaserade elavtal (de som ofta kallas timpris), eller att ge ersättning till konsumenter som erbjuder sig att minska sin konsumtion vid behov. De senaste åren har ett antal pilotprojekt genomförts där konsumenter fått möjlighet att bidra med flexibilitet. Studierna har visat goda resultat och stort engagemang bland konsumenter³².

Tekniska lösningar för storskaliga lagringsmöjligheter

Vätgas

Enligt Energigas Sverige finns det i dagsläget ingen officiell statistik för vätgasproduktion i Sverige³³. Nästan all vätgas som produceras i landet används nära den plats där den produceras, och det finns i dagsläget ingen storskalig lagring av vätgas i Sverige. I Fossilfritt Sveriges rapport Vätgasstrategi för fossilfri konkurrenskraft konstateras att priset på elektrolysörer följer prisutvecklingen på förnybar el. Detta har ökat intresset för vätgas inom industri, transportsektor samt för att balansera elnätet. Rapporten hävdar också att vätgas baserad på förnybar el förväntas bli billigare än fossilt baserad vätgas före 2030 och att utbyggnaden av infrastrukturen kan påskyndas genom etablerandet av sektoröverskridande lokala och regionala vätgaskluster.

Energimyndigheten har föreslagit ett mål om att ha 15 GW elektrolysrkapacitet år 2045³⁴, medan Fossilfritt Sverige föreslår ett planeringsmål på 8 GW till samma år³⁵. Den här vätgasen kommer dock i första hand användas som bränsle inom industri- och transportsektorn, även om vätgaslager som balanserar elsystemet också nämns. Ett konkret mål för hur stort vätgaslagret ska vara 2045, eller 2060, finns alltså inte i dagsläget. Tekniken för produktion, transport och lagring av vätgas är inte komplicerad och används redan globalt inom industrier på kommersiell skala. Det ekonomiska incitamentet för lagring har tidigare varit begränsat, men med ökad användning av intermittent el pekar trenderna mot en ökad betoning på vätgaslagring. Energimyndigheten uppskattar att elbehovet för elektrolysörerna skulle innebära en årlig ökning på mellan 60–126 TWh, jämfört med dagens årliga elbehov på 140 TWh.

Batterier

Utvecklingen och installationstakten av batterier fortsätter att öka och drivs i huvudsak av transportsektorn. Mellan 2010 och 2019 minskade kostnaden för litiumjonbatterier, som förväntas vara den främsta formen av energilagring och dominera utbyggnaden i Sverige de kommande fem åren, med 87 procent. Svenska kraftnäts höjda ersättning för stödtjänster har också avsevärt förkortat återbetalningstiden, vilket ökar intresset för batterier från olika aktörer. Litiumjonbatterier används vanligtvis för att lagra el med förmågan att leverera full effekt i en tidsperiod mellan en och fyra timmar. Energi-lager i form av batterier har potential att erbjuda olika fördelar inom elsystemet, både på kort och lång sikt. De kommande åren förväntas en betydande mängd batteribase-rade energilager integreras i elsystemet, särskilt av flera kraft- och energiföretag.

³² (Svenska kraftnät, 2023)

³³ (Energigas Sverige, 2021)

³⁴ (Energimyndigheten, 2022)

³⁵ (Fossilfritt Sverige, 2021)

I dagsläget saknas officiell statistik över energilagring i Sverige, men enligt uppskattningar från Svenska kraftnät ligger den totala installerade batterikapaciteten på cirka 80–100 MW hos kraftbolag, 10–15 MW vid större fastigheter och industrier, samt 35 MW vid villor³⁶. Över 500 MW förväntas installeras de kommande två åren, och drivkraften bakom denna utveckling är främst intresset att delta på den svenska balansmarknaden³⁷.

Vehicle-to-grid (V2G)

World Economic Forum prognostiserar att ungefär 90 procent av den installerade batterivolymen förväntas vara placerad i olika fordon år 2030³⁸. En del av dessa fordon kommer att kunna bidra med flexibilitet i elnätet genom så kallad V2G. Genom att ansluta batterierna till elnätet kan en smart laddstolpe ladda ur batteriet när det behövs el för att stabilisera elsystemet. Fastighetsbatterier som säljs till villamarknaden har för närvarande en lagringskapacitet på 10–15 kWh, medan batterierna i vanliga elbilar varierar mellan 40 kWh (Nissan Leaf) och 100 kWh (Tesla Model S Long Range) vilket visar på potentialen som finns.

I dagsläget är V2G emellertid inte en etablerad teknik på marknaden. Ett ytterligare problem är bristen på laddstolpar för V2G i dagsläget. De befintliga laddstolparna saknar funktionalitet för att dra nytta av den möjlighet som V2G erbjuder, vilket innebär att de inte kan ladda ur el från elbilsbatterierna och matas in i elnätet. Tekniken för detta finns tillgänglig, men den är för närvarande kostsam och avancerad jämfört med konventionella laddare. De elbilar som för närvarande konstrueras utan anpassning för V2G kommer troligtvis inte kunna bidra med funktionen i en framtid när laddstolps-tekniken har mognat. Osäkerheten kring om och när V2G kommer att få kommersiellt genomslag är dock stor. För närvarande är V2G den minst etablerade tekniken bland de tre som diskuteras här.

En viktig aspekt kopplat till elbilar som inte nämns i rapporten, men som kan vara betydande, är möjligheten att anpassa laddningen av elbilar till elproduktionen (ibland kallat V1G). Smarta system kan säkerställa att elbilen laddas när elsystemet överproducerar eller när det egna hushållet underkonsumerar, vilket kan jämna ut effektuttaget och stabilisera elnätet.

Artificiell intelligens och andra tekniker för ökad tillförlitlighet

Samtidigt som det ökande användandet av AI konsumerar stora mängder energi, förutspår dagens experter med hög sannolikhet att AI kommer att spela en positiv roll för att öka tillförlitligheten i vårt elsystem. Vattenfall menar att AI kan samordna produktion, konsumtion, och lagring av energi på ett mer optimalt sätt än vad som görs idag. Flera pågående pilotprojekt testar och utvecklar dessa tekniker med målet att skapa en smartare och mer flexibel elkonsumention.

AI har potential att ta fram bättre prognoser kring hur elproduktionen kommer att se ut inom en viss framtid genom att hitta mönster i stora mängder mätdata. Ju mer data,

³⁶ (Svenska kraftnät, 2022)

³⁷ WSP:s egna analys i ej publicerad rapport

³⁸ (World Economic Forum, 2019)

desto bättre slutsatser kan dras av tidigare erfarenheter³⁹. Genom att förutse hur el kommer att användas kan befintlig infrastruktur utnyttjas mer effektivt, vilket minskar behovet av nyutbyggnad. Ett annat område där AI kan vara till nytta är skapandet av så kallade energigemenskaper, där industrier eller bostadsområden som själva producerar el, exempelvis med solceller, kan köpa och sälja el direkt till varandra. AI kan då skapa en automatiserad elmarknad, vilket minskar belastningen på det nationella elnätet⁴⁰.

Enligt EU förväntas investeringar digital teknik, såsom smarta enheter och mätare inom Internet of Things (IoT), 5G- och 6G-konnektivitet, ett molnbaserat alleuropeiskt energidataområde samt digitala tvillingar inom energisystemet, underlätta övergången till ett mer hållbart system. Dessa teknologiska framsteg möjliggör visualisering av energiförbrukningsmönster i realtid och ger individuella råd om effektivisering av energikonsumtion. Förhoppningen är att genom ökad medvetenhet och välgrundade konsumentval, baserade på tillgängliga data, kunna kapa effekttoppar⁴¹. Det är dock viktigt att betona att ökad digitalisering medför en ökad sårbarhet för cyberattacker, vilket riskerar att minska tillförlitligheten av systemet.

Klimatförändringarnas betydelse för Sveriges elförsörjning

I Energimyndighetens rapport Scenarier över Sveriges Energisystem konstateras att ett varmare klimat kommer att få tydliga konsekvenser för energisystemet⁴². Den mest uttömmande rapporten på ämnet publicerades 2021 av Energiforsk: *Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet*⁴³. Utöver påverkan på energisystemet kan ett förändrat klimat påverka hur vi använder energi under året.

Enligt rapporten påverkas produktionspotentialen för flera energislag, särskilt förnybara som vattenkraft, vindkraft och solel, redan idag av väder- och klimatförhållanden. Små förändringar i klimatet kan signifikant påverka elproduktionen. Vid ökad havsvattentemperatur kan även kärnkraftens elproduktion minska, men det finns möjliga åtgärder för att mildra påverkan. Däremot gynnas inte investeringar i kraftvärme av ett varmare klimat, då värmeunderlaget minskar. Trots detta blir kraftvärme och andra lokalt styrbara effekter alltmer nödvändiga, särskilt med tanke på utmaningar med elnätsutbyggnaden i takt med urban tillväxt.

Inom ramen för denna omfattande studie identifierades energislag där produktionspotentialen bedöms vara mest sårbar för klimatförändringar, och framstående bland dessa är vattenkraft, fjärrvärme (inklusive kraftvärme) och bioenergi. Nedan följer mer ingående hur varje enskilt energislag kan komma att påverkas.

Vattenkraft

Vattenkraft som kraftslag är i sig anpassningsbar och kan hantera variationer och förändringar. Dagens förändringar i nederbördsmönster och tillrinning kräver att

³⁹ (Vattenfall, 2022)

⁴⁰ (RISE)

⁴¹ (Europeiska kommissionen, 2023)

⁴² (Energimyndigheten, 2023)

⁴³ (Energiforsk, 2021)

vattenkraften anpassas till skiftande säsonger, med ökade höstflöden och en något mindre men utdragen vårflod. Teoretiskt sett skulle en mer utjämnad variation och ökad nederbörd över hela året kunna innebära möjligheter till ökad elproduktion. Det är dock i dagsläget osäkert om ökad tillrinning kan utnyttjas för elproduktion på grund av skärpta krav på miljöanpassningsåtgärder för vattenkraft samt ökat behov av reglerkapacitet i en mer intermitterande elkraftsstruktur, vilket kan påverka minskningen.

Vid kraftiga skyfall kan ökningen av sediment och partiklar i vattnet på lång sikt orsaka skador och slitage på turbiner, vilket kräver ökad underhållsfrekvens för att bibehålla kraftverkens funktionalitet och effektivitet⁴⁴.

Solenergi

Klimatförändringen kan potentiellt öka värdet på solen av två huvudsakliga skäl. För det första kan förändringar i tillrinningsmönster öka vattenkraftproduktionen under vintertid, vilket kan skapa ökat behov av el från andra källor. Solen kan då fylla detta gap och bidra till att möta det ökade efterfrågebehovet. För det andra förväntas en ökad efterfrågan på el för kylning under sommarmånaderna som en följd av högre temperaturer till följd av klimatförändringen.

Vindkraft

För vindkraften förväntas klimatförändringen få relativt små konsekvenser eftersom den viktigaste parametern, vindhastighet, bedöms påverkas obetydligt. Resultaten av simuleringarna är dock osäkra och bör studeras vidare. Den tydligaste klimatsignalen som påverkar vindkraften som identifierats i projektet är att förutsättningarna för isbildning kommer att förändras vid ett varmare klimat. Problematiken med isbildning under vintersäsongen kommer att öka i norra och delar av mellersta Sverige. Detta kan verka kontraproduktivt eftersom klimatförändringar generellt associeras till högre temperaturer. Prognoser visar dock att det kommer leda till ökad bildning av vattenånga i dessa regioner, varför isbildning blir ett större problem, medan risken för isbildning minskar i södra Sverige.

Kärnkraftverk

Klimatförändringens påverkan på kärnkraften kan och bör diskuteras utifrån två parametrar – dess påverkan på elproduktionen, och dess påverkan på den övergripande säkerheten. Vad gäller det sistnämnda bedömer Energiforsk att den nordiska kärnkraften är väl rustad mot konsekvenser av den pågående klimatförändringen, åtminstone fram till en bra bit bortom 2050⁴⁵.

När det gäller påverkan på driften kan ett varmare hav dels i extrema fall leda till effektreducering eller till och med tillfällig nedstängning av kärnkraftverken, dels ge upphov till fler incidenter med marina organismer som i viss utsträckning kan sätta igen kylvattenintagen. Trots dessa exempel på driftstörningar är Energiforsks slutsats att det rör sig om en ytterst liten påverkan på produktionen över ett helt år. Med tanke på att samtliga nordiska kärnkraftverk ligger vid kusterna är även havsnivåökningen en

⁴⁴ (Energiforsk, 2021)

⁴⁵ (Energiforsk, 2021)

faktor att beakta. Baserat på de studier Energiforsk har haft tillgång till ser det dock inte ut att kräva extra förebyggande åtgärder fram till slutet av 2000-talet.

Bioenergi

Det är troligt att bioenergisektorn kommer att påverkas av klimatförändringen. En förlängd vegetationsperiod innebär potential för ökad skogstillväxt. Detta möjliggör ett ökat biomassauttag och indirekt därmed också ökad tillgång till biobränslen. Ett varmare klimat gynnar även skadedjur vilket också kan leda till att en större del av skogsavverkningen går till förbränning. Samtidigt finns flera faktorer som motverkar ökad tillväxt. Torka kan exempelvis minska tillväxten i skogen vissa år och även skogsbränder samt viltskador kan påverka tillväxten negativt. Även om skogsbränder påverkar skogstillväxten negativt kan de tillfälligt öka tillgången till biobränslen när skadat virke inte kan användas för andra ändamål i skogsindustrin.

Kraftvärme

Högre temperaturer är den aspekt av klimatförändringar som har störst betydelse för fjärrvärmens och fjärrkylan. Högre temperaturer innebär att värmebehovet minskar och kylbehovet ökar. Detta minskar i sin tur behovet för kraftvärme, vilket innebär att kraftvärmeproduktionen enligt projektets beräkningar minskar. Kylbehovet kommer öka och detta riskerar att öka elanvändningen i samhället. Fjärrkyla kan vara ett mindre elintensivt alternativ än eldrivna kyllösningar och det kan även vara ett viktigt komplement till energiföretagens fjärrvärmeaffär då fler byggnader kommer behöva både värme och kyla.

Elnätet

Att klimatsäkra elledningar är en pågående process som fick ökad uppmärksamhet efter stormen Gudrun år 2005. Denna händelse markerade tydligt sårbarheterna i elsystemet och ledde till åtgärder för att öka dess motståndskraft. Företag som E.ON och Vattenfall har aktivt investerat i att säkra elledningar genom att främst gräva ner en betydande andel av lokalnätets luftledningar under marken^{46,47}.

Flera faktorer som ökad nedisning och snömängd har potentialen att orsaka nedhäng av ledningar, problem med isolatorer samt risker med träd som faller över ledningarna. Dessa utmaningar förväntas öka i norra Sverige, medan prognoserna pekar på en minskning i södra Sverige. Skogsbränder betraktas som ett av de mest betydande hoten mot elnätet och kan orsaka långa avbrott, skada ledningar och försämra prestandan hos elnätsutrustning. Värmeböljor utgör också en riskfaktor med liknande konsekvenser för elledningarna och skulle kunna leda till försämrade överföringskapacitet till Stockholms län. Åska utgör för närvarande en vanlig orsak till fel i elsystemet och kan leda till överslag och bränder. Denna typ av händelser kräver kontinuerlig övervakning och skyddsåtgärder för att minimera risken för skador och avbrott i eldistributionen⁴⁸.

⁴⁶ (E.ON, 2023)

⁴⁷ (Vattenfall)

⁴⁸ (Energiforsk, 2021)

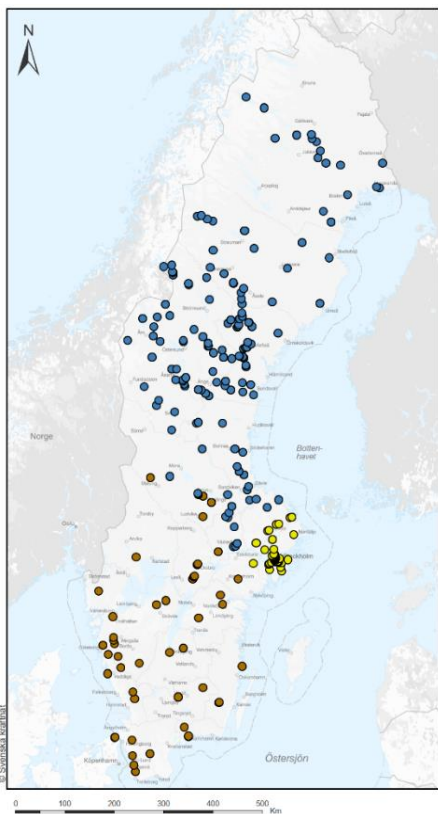
Betydelsen av nya elområden för Stockholms läns utveckling

Översyn av elområdesindelningen

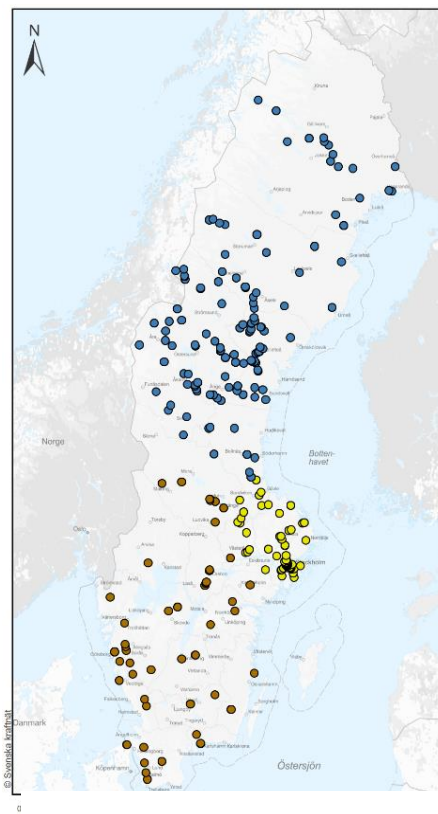
Den pågående omställningen inom det svenska elsystemet innebär en övergång från ett tidigare statiskt system med förutsägbara elflöden och överföringskapaciteter, till ett mer dynamiskt och väderberoende system. Samma utveckling sker för närvarande i andra europeiska länder. För att hantera dessa förändringar och främja en integrerad europeisk elmarknad har EU:s byrå för samarbete mellan energitillsynsmyndigheter (ACER) beslutat att genomföra en gemensam översyn av elområdesindelningen i Europa. Svenska kraftnät ansvarar för översynen i Sverige och har i uppgift att ge rekommendationer till regeringen om att antingen behålla eller ändra de befintliga elområdena. Enligt den förskjutna tidplanen ska det finnas ett färdigt förslag på ny elområdesindelning i slutet av 2024. Om beslut fattas om att ändra elområden kan detta tidigast genomföras under 2027.

För Sveriges del står fyra alternativa indelningar som föremål för vidare utredning (se figur 2). De alternativa förslagen tar utgångspunkt i var det finns strukturella flaskhalsar i nätet år 2025. I samtliga förslag föreslås en utvidgning av de södra delarna av landet, vilka för närvarande tillhör elområde SE4. Dessa områden föreslås att integreras med stora delar av övriga elområde SE3. I två av de föreslagna fallen övervägs även sammanslagning av dagens elområden SE1 och SE2. Samtliga fyra förslag har en påverkan på Stockholms län, som ingår i det nya elområdet O3. Det saknas dock en tydlig geografisk avgränsning på vad som utgör elområdet. I denna rapport baseras definitionen av elområde O3 på Stockholms län samt en sammanslagning av Stockholms län och Uppsalas län tillsammans med städerna Västerås och Gävle.

Figur 7: Förslagen till nya elområden framtagna av ACER.



Alternativ 1: O1, O2 och O3 är de tre nydefinierade elområden.

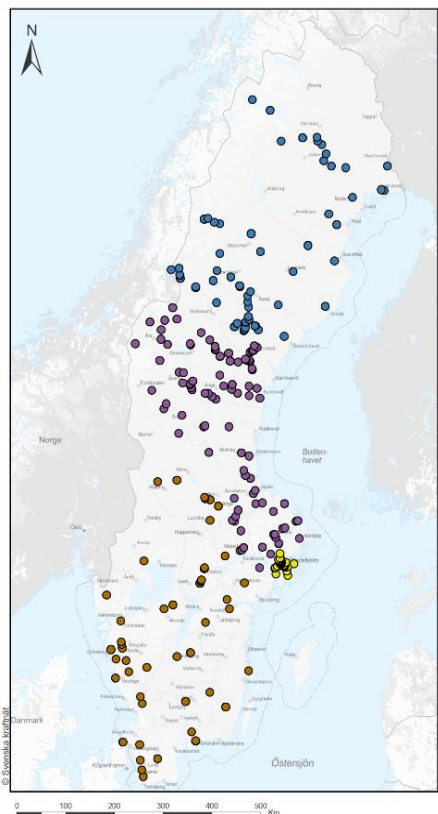


Alternativ 2: O1, O2 och O3 är de tre nydefinierade elområden.

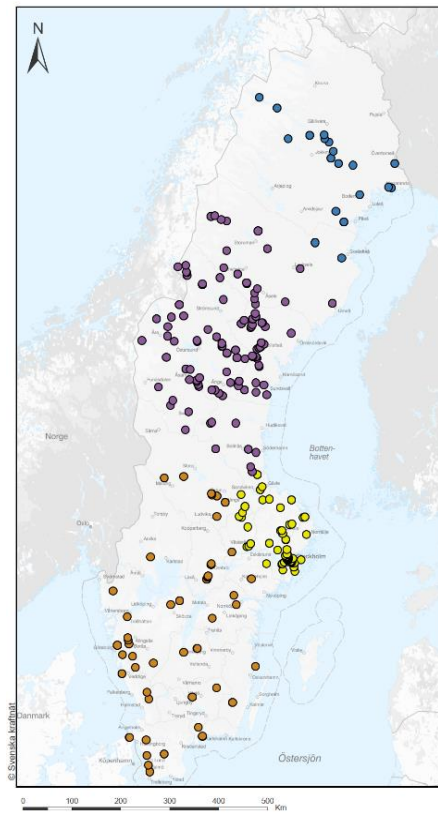
Teckenförklaring

Noder tillhörande alternativ elområdeskonfiguration

●	O1
●	O2
●	O3
●	O4



Alternativ 3: O1, O2, O3 och O4 är de fyra nydefinierade elområden.



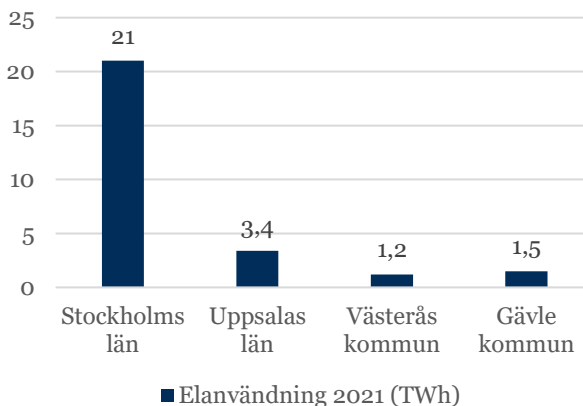
Alternativ 4: O1, O2, O3 och O4 är de fyra nydefinierade elområden. Elområde O2 motsvarar befintliga elområde SE1.

Forsmarks kärnkraftverk inverkan och betydelse för elnätet

I alternativ 1 och 3 utgör elområde O3 endast av ett Stockholms län utan kärnkraftverk. En övergång till ett elområde utan kärnkraftverk skulle innebära att regionen i huvudsak förlitar sig på sin lokala elproduktion, där kraftvärmeverk dominerar. Om den lokala produktionen inte räcker för att möta efterfrågan, särskilt under hög belastning, kan elbrist uppstå. Det kan leda till prispikar och högre elpriser under tider av ökad efterfrågan. För att kompensera för kärnkraftens frånvaro kan det finnas en ökad efterfrågan på och investeringar i förnybara energikällor som sol- och vindkraft för att säkerställa en hållbar elproduktion. Investeringskostnaderna för dessa förnybara energikällor kan initialt vara högre, men på lång sikt kan de bidra till en mer hållbar och diversifierad elproduktion.

I alternativ 2 och 4 av de föreslagna elområdena skulle Forsmarks kärnkraftverk inkluderas i elområde O3, vilket potentiellt kan ge Stockholms län flera fördelar. Forsmarks kärnkraftverk utgör en betydande hörnsten i den svenska elproduktionen genom att producera cirka 75 GWh dagligen, vilket motsvarar ungefär en sjättedel av Sveriges totala elproduktion. År 2022 stod Forsmarks tre reaktorer för en total elproduktion på 25,5 TWh. Det utgör 94 procent av den totala elförbrukningen inom den geografiska omfattningen av det föreslagna elområdet O3, som uppgick till 27,1 TWh under 2021. För att sätta detta i perspektiv svarade Stockholms län ensamt för en betydande del av denna förbrukning, nämligen 21 TWh.

Dessa siffror understryker den avgörande roll som Forsmark spelar i att säkerställa en stabil och omfattande elförsörjning för en av landets mest betydelsefulla och tätbefolkade region. Ett elområde med Forsmarks kärnkraftverk integrerat skulle öka säkerheten och pålitligheten i elförsörjningen i Stockholms län genom en betydande ökning av den lokala elproduktionskapaciteten. Vilket är särskilt viktigt för länet, vars elbehov förväntas öka med 30 procent fram till 2030.



En sådan förstärkning kan minska risken för strömavbrott och säkerställa en stabil elförsörjning för både samhället och näringslivet. En ytterligare betydande fördel skulle vara ökad prisstabilitet på elmarknaden. Genom att minska regionens beroende av importer kan prissvängningar minimeras, vilket potentiellt leder till fördelaktigare och mer förutsägbara elpriser för konsumenterna i Stockholmsregionen. Den lokala elproduktionen kan även ge möjlighet till lägre elkostnader genom att minska behovet av långväga transport av el. Det är också troligt att elområde O3 kommer att agera som en nettoexportör under större delen av året, med undantag för under vintertid då elförbrukning går upp avsevärt jämfört med resten av året.

Som tidigare nämnt erbjuder lagring av energi flera fördelar för framtidens energisystem. I Stockholms län exemplifieras detta av Stockholm Exergi, som har beslutat att

investera i ett batterilager med en kapacitet på 100 MW med fokus på att tillhandahålla stödtjänster. Likaså visar Boo Energis investering i ett mindre batterilager på 2 MW att även mindre anläggningar kan vara kostnadseffektiva för att möta växande effektbehov på lokal nivå. Detta batterilager tillför flexibilitet på lokal nivå, vilket möjliggör hantering av kortvariga effekttoppar i det lokala elnätet utan att överstiga effektuttaget från det överliggande regionnätet^{49,50}.

Begränsad priseffekt av ett eget elområde

Enligt simuleringar framtagna av Swecos elmarknadsmodell Apollo skulle införandet av ett eget elområde för Stockholms län för närvarande ha en begränsad påverkan på elpriset⁵¹. Huvudsakligen beror detta på att kapacitetsbristen endast uppstår under ett begränsat antal timmar per år. Elbehovet i Stockholms län ligger för närvarande vid gränsen för vad importkapaciteten till regionen kan hantera. En ökning av behovet fram till 2025 och 2030 kan emellertid skapa en mer ansträngd situation, särskilt under perioder med hög efterfrågan och kyligare temperaturer. Under dessa perioder domineras priseffekten av ett fåtal timmar med extremt höga priser. Därmed kan prispåverkan begränsas genom åtgärder som vidtas under dessa specifika timmar. Samtidigt minskar incitamenten för åtgärder som ökar utbudet eller minskar efterfrågan av el, såsom expansion av planerbar elproduktion eller ökad efterfrågefleksibilitet, eftersom lönsamheten är koncentrerad till dessa få timmar förenad med stor osäkerhet.

Regional tillväxt

Som tidigare framgått är elsystemet i Stockholms län under en ansträngd situation, och konsekvenserna av införandet av ett eget elområde är svåra att förutsäga, förutom ökad risk för tillfällen med mycket höga elpriser för länets elanvändare. Det förväntas även att Stockholm kommer fortsätta att vara beroende av elimport från angränsande elområden även vid övergången till ett eget elområde. Faktum är att behovet av el i Stockholm är ökande både för nuvarande och framtida användning. Utmaningen ligger både i att transmissionsnätet kräver utbyggnad och att produktionen behöver öka för att möta regionens energibehov.

Den mest sannolika konsekvensen av den ansträngda situationen inom länets elsystem är att storskaliga nyanslutningar till elnätet fördröjs avsevärt. De kommande åren kommer ökat uttag av el från transmissionsnäten till de regionala distributionsnäten att vara stoppat⁵². Detta skapar begränsade möjligheter för nya företag att etablera sig i Stockholmsregionen, vilket i sin tur riskerar att hämma tillväxten.

Stockholms Handelskammare har tillsammans med WSP i "Elbrist kortsluter Sverige – så hindras jobben, bostäderna och den gröna omställningen av elbristen," analyserat kapacitets- och effektbristen i Stockholms län⁵³. Studien visar att transmissionsnätet som levererar effekt till länet inte förväntas vara fullt utbyggt förrän närmare 2030 samtidigt som befolkningen förväntas öka med 11 procent under de kommande tio åren. Kapacitetsbegränsningar har identifierats som ett av de främsta hindren för att

⁴⁹ (Stockholm Exergi, 2023)

⁵⁰ (Boo Energi)

⁵¹ (Sweco, 2022)

⁵² (Länsstyrelsen Stockholm, 2020)

⁵³ (WSP, 2020)

möjliggöra den förväntade kraftiga ökningen av elektrifieringen inom industri- och transportsektorn. Det är inte bara transmissionsnätet som behöver förstärkas. Även underliggande regionnät och lokalnät behöver utvecklas för att kunna ta emot el från transmissionsnätet. Att öka tillgången på el till slutkonsument är en komplex kedja av delprojekt i alla nät, där förseningar på ett håll får konsekvenser för övriga delprojekt.

Beroende på antaganden om utbyggnadstakten i transmissionsnätet utifrån tre alternativa scenarier bedöms elbristen kunna resultera i ett produktionsbortfall i Stockholmsregionen på 200 till 900 miljarder kronor. Huvuddelen, cirka 80 procent, förväntas ske i regionkärnan. Detta beror inte på en mer elintensiv tillväxt jämfört med andra delar av länet, utan snarare på den minimala effektbufferten från början och det faktum att regionkärnan förväntas stå för cirka 60 procent av länets samlade produktionsökning fram till 2040.

I det mest realistiska scenariot, att utbyggnaden försenas med två år, förväntas produktionen inom byggverksamhet minska med nästan 26 procent år 2027, medan det samlade produktionsfallet för länet stannar på knappt 8 procent. Fördröjda detaljplaner och exploateringsprojekt kan sätta en kommuns utveckling på paus, vilket påverkar mål för bostadsförsörjning och har potentiellt betydande konsekvenser för länets klimatomställning, tillväxt och övergripande attraktivitet.

De beräknade effekterna på sysselsättningen följer i stort sett samma mönster som produktionsbortfallet, med en koncentration till regionkärnan och byggverksamhet. Elbristen förväntas leda till mellan 200 000 och 800 000 färre årsarbetstillfällen, där cirka 80 procent kan kopplas till regionkärnan och där byggverksamhet ensamt står för nästan var tredje förlorat jobb. Under det år då gapet mellan efterfrågad och tillgänglig effekt är som störst, förväntas antalet sysselsatta vara 87 000 till 155 000 eller 6 till 10 procent färre jämfört med en utvecklingsbana utan elbrist, vilket innebär en betydande påverkan på arbetsmarknaden och den ekonomiska dynamiken i regionen.

Slutsatser

Den här rapporten har ambitionen att öka kunskapen om elsystemets utveckling bland nyckelaktörer i denna förändring, samt vilka konsekvenser den kan ha för Stockholms län.

Stabiliteten i elsystemet:

- För att möta den förväntade dubbleringen av elanvändningen ökar andelen väderbaserad elproduktion. Ett system med större andel vindkraft (men även solkraft) kräver utvecklade stödtjänster och energilager för att det ska vara stabilt. Energilager på storskalig nivå i form av exempelvis vätgas har ännu inte realiserats.
- En ökning av den planerbara elproduktionen är ett annat sätt att upprätthålla ett stabilt elsystem. Den bidrar med både förutsägbar elproduktion och den så kallade svängmassan som är viktig för att möta upp bortfall i elproduktionen. Det finns dock utmaningar att öka den planerbara produktionen. Vattenkraften är i stort utbyggd, kraftvärmens potential är begränsad till kundunderlaget för fjärrvärme och Sverige har inte byggt kärnkraft på lång tid.

Ett stabilt elsystem kan se ut på olika sätt men för att kunna ta beslut om rätt utveckling behövs förståelse av konsekvenserna av olika vägval. Det krävs kunskap om mög- nadsgraden som olika tekniker har för att inte ytterligare öka instabiliteten i elnätet. För att möta det ökade elanvändandet kommer det krävas ökad elproduktion från alla fossilfria källor, men elmixen behöver följa fysikens lagar och den mest samhällsekon- omiska lösningen.

Stockholmregionens förutsättningar och utmaningar:

- Länet importerar runt 90 procent av elen som konsumeras. På grund av den låga graden av lokal elproduktion och den förväntade ökningen av elanvänd- ningen är utbyggnaden av transmissions-, region- och lokalnäten avgö- rande.
- Den pågående översikten av nya elområden kan få stora konsekvenser för Stockholms län. Om Forsmark inkluderas i samma område som länet kom- mer importbehovet till elområdet vara betydligt mindre än om kärnkraftver- ket hamnar utanför.
- Kapacitetsbristen i elnäten in till och i Stockholms län riskerar hindra ut- vecklingen i form av försenad grön omställning (elektrifiering av klimatpå- verkande sektorer) samt uteblivna etableringar av verksamheter. Även bo- stadsområden och infrastruktursatsningar är beroende av el och riskerar försenas.

Tillgången till el är direkt avgörande för länets utveckling och roll som tillväxtmotor i Sverige, samt i konkurrensen mellan andra huvudstadsregioner i Europa. Elbehovet går att tillgodose på att antingen öka kapaciteten för import av el eller öka elproduktionen inom elområdet. Utöver detta kan energieffektivisering utgöra en betydande del. Tidig- ast 2027 kommer de nya elområdena implementeras, det kommer att tydliggöra vilken spelplan länet och dess aktörer har att förhålla sig till.

Referenser

- Boo Energi. (u.d.). *För ett flexiblare elnät*. Hämtat från <https://www.booenergi.se/energilagrar>
- E.ON. (den 14 07 2023). *Elnät*. Hämtat från <https://www.eon.se/om-eon/verksamhetsomraden/elnaet>
- Ellevio. (den 03 09 2021). *Kapacitet i elnäten*. Hämtat från <https://www.ellevio.se/om-ellevio/det-har-gor-vi/elen-framtiden/kapacitet-i-elnaten/>
- Energiforsk. (2021). *Klimatförändringarnas inverkan på elnätet. Rapport 2021:740*. Energiforsk AB.
- Energiforsk. (2021). *Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet. Rapport 2021:738*. Energiforsk AB.
- Energiforsk. (2021). *Klimatförändringarnas inverkan på energisystemet. Sammanfattande slutrapport. Rapport 2021:738*. Energiforsk AB.
- Energiföretagen. (07 2024). *Halvårsstatistik: Lägre elpriser med mer vatten, vind och sol*. Hämtat från <https://www.energiforetagen.se/pressrum/nyheter/2024/juli/halvarsstatistik-lagre-elpriser-med-mer-vatten-vind-och-sol/>
- Energigas Sverige. (den 20 05 2021). *Statistik om vätgas*. Hämtat från <https://www.energigas.se/fakta-om-gas/vatgas/statistik-om-vatgas/>
- Energimyndigheten. (2022). *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak. ER 2021:34*. Energimyndigheten.
- Energimyndigheten. (den 20 04 2023). *Fortsatt snabb utbyggnad av vindkraften krävs för omställning*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/fortsatt-snabb-utbyggnad-av-vindkraften--kravs-for-omstallning/>
- Energimyndigheten. (den 27 februari 2023). *Minskad elanvändning under 2022*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/minskad-elanvandning-under-2022-i-sverige/>
- Energimyndigheten. (den 31 03 2023). *Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt, från år 2016 -*. Hämtat från https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/N%c3%a4tanslutna%20solcellsanl%c3%a4gningar/-/ENO123_1.px/

- Energimyndigheten. (2023). *Officiell energistatistik*. Hämtat från <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/>
- Energimyndigheten. (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 - Med fokus på elektrifieringen 2050*. Energimyndigheten. Hämtat från <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=213739>
- Energimyndigheten. (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 - Med fokus på elektrifieringen 2050*. Hämtat från <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=213739>
- Energimyndigheten. (2023). *Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050. ER 2023:07*. Statens Energimyndighet.
- Europaparlamentet. (den 04 juli 2023). *EU:s förbud mot försäljning av nya bensin- och dieslbilar från 2035 förklarar*. Hämtat från <https://www.europarl.europa.eu/news/sv/headlines/economy/20221019STO44572/eu-s-forbud-mot-forsaljning-av-nya-bensin-och-dieslbilar>
- Europeiska kommissionen. (den 07 07 2023). *Digitalisering av det europeiska energisystemet*. Hämtat från <https://digital-strategy.ec.europa.eu/sv/policies/digitalisation-energy>
- Europeiska rådet. (den 10 maj 2023). *European Council: Infographic - How is EU electricity produced and sold?* Hämtat från <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/how-is-eu-electricity-produced-and-sold/>
- Fossilfritt Sverige. (2020). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - Elbranschen*. Energiföretagen. Hämtat från <https://fossilfritt sverige.se/roadmap/elbranschen/>
- Fossilfritt Sverige. (2020). *Färdplan för fossilfri konkurrenskraft - Elbranschen*. Hämtat från <https://fossilfritt sverige.se/roadmap/elbranschen/>
- Fossilfritt Sverige. (2021). *Strategi för fossilfri konkurrenskraft: Vätgas*. Statens offentliga utredningar. Hämtat från <https://fossilfritt sverige.se/strategier/vatgas/>
- Karlsson D., Power G., Nordling A. (2016). *Svängmassa i elsystemet: En underlasstudie. IVA-projektet Vägval el*. Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA).
- Klimat- och näringslivsdepartementet. (den 16 11 2023). *Regeringen lanserar en färdplan för ny kärnkraft i Sverige*. Hämtat från <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/11/regeringen-lanserar-en-fardplan-for-ny-karnkraft-i-sverige/>

- Länsstyrelsen Stockholm. (2020). *Kartläggning och analys av elförsörjningssituationen i Stockholms län*. Stockholm: Länsstyrelsen Stockholm.
- Regeringen. (den 04 11 2024). *Avslag på 13 havsbaserade vinkraftsparker i Östersjön*. Hämtat från Regeringen.se:
<https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2024/11/avslag-pa-13-havsbaserade-vindkraftsparker-i-ostersjon/>
- Region Stockholm. (2016). *Klimatfärdplan*. Hämtat från Region Stockholm:
<https://www.regionstockholm.se/495dfo/siteassets/om-region-stockholm/om-region-stockholm/styrande-dokument/regional-utveckling/klimatfardplan-2050-for-stockholmsregionen.pdf>
- Regionalt elförsörjningsforum Stockholms län (REST). (2023). *Elförsörjning i Stockholms län: En lägesbild av kapaciteten för samhällets elektrifiering*. Stockholm.
- RISE. (u.d.). *Digitalisering skapar möjligheter och utmaningar för energisystemet*. Hämtat från <https://www.ri.se/sv/berattelser/digitalisering-skapar-mojligheter-och-utmaningar-for-energisystemet>
- Schmidt, D. O., & Stafell, D. I. (2023). *Monetizing Energy Storage. A Toolkit to Assess Future Cost and Value*. Oxford University Press.
- Statistiska centralbyrån. (den 13 09 2023). *Elproduktion och förbrukning i Sverige*. Hämtat från <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/elektricitet-i-sverige/>
- Statistiska centralbyrån. (den 24 02 2023). *Elproduktion och bränsleanvändning (MWh), efter län och kommun, produktionssätt samt bränsletyp. År 2009 - 2021*. Hämtat från https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0203__EN0203A/ProdbrEl/
- Stockholm Exergi. (den 14 03 2023). *Stockholm Exergi och Polar Capacity satsar på batteriparker i Stockholm – 20 MW tillförs redan i år*. Hämtat från <https://www.stockholmexergi.se/nyheter/stockholm-exergi-och-polar-capacity-satsar-pa-batteriparker-i-stockholm-20-mw-tillfors-redan-i-ar/>
- Svenska kraftnät. (2021). *Långsiktig marknadsanalys 2021. Scenarier för elsystemets utveckling fram till 2050*. Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät. (2021a). *Långsiktig marknadsanalys 2021*. Svenska kraftnät. Hämtat från <https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2021/langsiktig-marknadsanalys-2021.pdf>

- Svenska kraftnät. (den 19 april 2021b). *NordSys*. Hämtat från <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/nordsyd/>
- Svenska kraftnät. (2022). *Kortsiktig marknadsanalys*. Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät. (2022). *Lagring av el - omvärldsanalys. Utveckling, potential och behovet av lagring av el och andra flexibilitetstjänster kopplat till drift, systemansvar och utbyggnad av transmissionsnät för en väl fungerande elmarknad*. Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät. (den 20 juni 2023). *Förstärkningar Stockholm*. Hämtat från <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/forstarkningar-stockholm/>
- Svenska kraftnät. (den 24 maj 2023). *sthlmflex*. Hämtat från <https://www.svk.se/sthlmflex>
- Svenska kraftnät. (2024). *Långsiktig marknadsanalys 2024*. Svenska kraftnät.
- Sweco. (den 10 08 2022). *Konsekvenser av ett eget elområde för Storstockholm*. Hämtat från <https://www.mynewsdesk.com/se/stockholmshandelskammare/documents/konsekvenser-av-eget-elprisomraade-foer-stockholm-punkt-pdf-424623>
- Söder, L. (2021). *System and Integration Costs in Wind and Solar Energy: Definitions and analysis*. Energiforsk AB.
- The Royal Society. (2023). *Large-scale electricity storage*. The Royal Society.
- Tidningen Näringslivet. (2024). *Sexdubblad miljardnota för att balansera elsystemet - du får betala*. Hämtat från <https://www.tn.se/naringsliv/34915/sexdubblad-miljardnota-for-att-balansera-elsystemet-du-far-betala/>
- Transportföretagen. (2023). *Eleffektbehoven för Sveriges hamnar år 2030*. Hämtat från Transportföretagen: <https://www.transportforetagen.se/globalassets/rapporter/hamn/eleffektbehov-sveriges-hamnar-2030.pdf?ts=8db7ed7c585b600>
- Vattenfall. (den 13 09 2022). *AI kan bidra till smartare elanvändning*. Hämtat från <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/ai-kan-bidra-till-smartare-elanvandning#download-page>
- Vattenfall. (den 02 05 2022). *Vind och sol kan ge mest energi för pengarna*. Hämtat från <https://energyplaza.vattenfall.se/blogg/vind-och-sol-kan-ge-mest-energi-for-pengarna>

- Vattenfall AB. (den 30 08 2023). *Vattenfalls förstudie om SMR vid Ringhals – "Nucelate West"*. Hämtat från <https://group.vattenfall.com/se/varverksamhet/vara-energislag/karnkraft/smr-vid-ringhals>
- Vattenfall. (u.d.). *Storm gav säkrare el*. Hämtat från <https://historia.vattenfall.se/stories/hela-sverige-blir-elektriskt/storm-gav-sakrare-el>
- Vattenfall. (u.d.). *Vattenfall*. Hämtat från Vattenfall: <https://www.vattenfalleldistribution.se/varverksamhet/projekt/samrad/ort/kapacitet-stockholm/>
- Vätgas Sverige. (den 06 09 2023). *Invigning av Sveriges största anläggning för fossilfri vätgas*. Hämtat från (Energigas Sverige, 2021)
- World Economic Forum. (2019). *A Vision for a Sustainable Battery Value Chain in 2030: Unlocking the Full Potential to Power Sustainable Development and Climate Change Mitigation*. World Economic Forum.
- WSP. (den 22 10 2020). *Elbrister kortsluter Sverige - så hindras jobben, bostäderna och den gröna omställningen av elbristen*. Hämtat från https://stockholmshandelskammare.se/wp-content/uploads/2021/04/190x250_elbrist_kortsluter_sverige_final.pdf