

Potentiella områden för fossilfri energi

Delredovisning av uppdraget att kartlägga
områden med energipotential inom Sverige

Energimyndighetens publikationer kan laddas ner
eller beställas via energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, oktober 2024

ER 2024:22

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-190-2

Grafisk form: Energimyndigheten (omslag), Arkitektkopia AB (inläga)

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

År 2030 har Europeiska unionen som mål att uppnå minst 42,5 procent förnybar energi. Medlemsstaterna ska bidra till detta mål genom vägledande utvecklingsbanor. Enligt den beräkningsmodell som finns i förnybartdirektivet blir andelen förnybar energi för Sveriges del i bascenariot 67 procent år 2030. Energimyndighetens kartläggning visar på områden där det finns teknisk potential inom Sveriges territorium och ekonomiska zon för att tillgodose behovet av en snabbt ökad energiutvinning och för att nå andelen 67 procent. Den realiserbara potentialen är dock betydligt lägre på grund av de många aspekter som begränsar möjligheterna till utbyggnad.

Den här rapporten utgör den första delen i Energimyndighetens regeringsuppdrag att genomföra en kartläggning av Sveriges territorium och ekonomiska zon för att identifiera områden med potential för fossilfri energiproduktion och tillhörande energidistribution. I del två av uppdraget kommer Energimyndigheten bygga vidare på arbetet i den första delen och göra en översyn av myndighetens riksintressen för energiproduktion och energidistribution enligt miljöbalken 3 kap 8 §.

Genom kartläggningen visar Energimyndigheten på den stora tekniska potential för ny energiutvinning och energidistribution som finns på nationell nivå. Kartläggningen visar även vilka möjligheter Sverige har att bidra till EU:s mål på energi- och klimatområdet.

Kartläggningen utgör underlag för förnybartdirektivets krav på att medlemsstaterna ska ta fram accelerationsområden, vilket kommer att tas vidare av Regeringskansliet som i sin tur ska göra en egen redovisning till EU-kommissionen avseende kartläggningen i maj 2025 samt en redovisning avseende accelerationsområden i februari 2026. Det framtagna underlaget i denna rapport ska inte ses som ett färdigt planeringsunderlag, utan visar i första hand den övergripande potential för fossilfri energiutvinning och energidistribution som finns i Sverige enligt den analys som genomförts inom ramen för regeringsuppdraget.

I arbetet har Energimyndigheten samverkat med Försvarsmakten, Myndigheten för Samhällsskydd och Beredskap och Naturvårdsverket samt inhämtat synpunkter från andra relevanta myndigheter och aktörer. Vi tackar för alla synpunkter som delgetts under arbetets gång.

Caroline Asserup
Tillförordnad generaldirektör

Innehåll

| | |
|---|----|
| Sammanfattning | 4 |
| Begrepp | 6 |
| 1 Bakgrund till kartläggningen | 7 |
| 1.1 Uppdragets omfattning och avgränsningar | 7 |
| 1.2 Förnybartdirektivet kräver kartläggning | 8 |
| 1.3 Potentiella områden för utbyggnad | 8 |
| 1.4 Behov av energiutvinning och tillhörande energidistribution | 10 |
| 1.5 Energipolitisk inriktning | 11 |
| 1.6 Kopplingen till den nationella energi- och klimatplanen | 12 |
| 1.7 Den förnybara potentialen måste <i>minst</i> nå Sveriges andel av unionsmålet | 13 |
| 1.8 Underlag till accelerationsområden | 14 |
| 1.9 Inga avvägningar av motstående intressen | 14 |
| 2 Kartläggning fossilfri respektive förnybar elproduktion | 15 |
| 2.1 Kärnkraft | 15 |
| 2.2 Havsbaserad vindkraft | 21 |
| 2.3 Landbaserad vindkraft | 26 |
| 2.4 Solenergi | 35 |
| 2.5 Vattenkraft | 42 |
| 2.6 Övriga förnybara energikällor | 45 |
| 3 Kartläggning förnybar värmeproduktion | 53 |
| 3.1 Fjärrvärme och kraftvärme | 53 |
| 3.2 Värmepumpar | 58 |
| 4 Kartläggning förnybar energidistribution | 64 |
| 4.1 Drivmedel | 64 |
| 4.2 Elnät | 69 |
| 4.3 Vätgas | 73 |
| 5 Jämförelse av teknisk potential och behov av utbyggnad till 2030 för förnybar energi | 81 |
| 5.1 Landbaserad vindkraft | 83 |
| 5.2 Solenergi | 85 |
| 5.3 Kraftvärme | 86 |
| 5.4 Havsbaserad vindkraft | 88 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6 | Underlag till accelerationsområden för förnybar energi | 91 |
| 6.1 | Solenergi | 92 |
| 6.2 | Värmepumpar | 100 |
| 7 | Nästa steg | 103 |
| | Referenser | 106 |
| | Bilaga 1. Metod för kartbilder över teknisk potential | 115 |

Sammanfattning

I en europeisk kontext är Sveriges fysiska potential för ytterligare elproduktion, värmeproduktion och energidistribution mycket stor med tanke på relativt stora obebyggda ytor och långa kuststräckor vilka ger ett stort potentiellt utrymme för byggnation. Den realiserbara potentialen är dock mycket lägre på grund av många aspekter som begränsar möjligheterna till utbyggnad, såsom överföringskapacitet, elnätsanslutning, lönsamhet och acceptans för användandet av mark- och vattenområden.

Vid en exkludering av mark- och vattenområden som anses omöjlig att kombinera med en utbyggnation är energislagen med störst potential till utbyggnad: landbaserad vindkraft, havsbaserad vindkraft, kärnkraft, drivmedel (flytande och gasformiga biodrivmedel samt syntetiska bränslen och återvunna kolbränslen), vätgas, solenergi och kraftvärme.

De energislag som bedöms ha mindre potential för utbyggnation är vattenkraft, geotermisk energi, vågenergi, osmotisk energi, tidvatten- och tidvattenströmenergi, havsvärmekraft, värmepumpar och fjärrvärme.

Sammantaget finns det stora möjligheter för fossilfri energi att möta det behov av framför allt el på 335 TWh som Energimyndigheten enligt långsiktiga scenarier bedömt kommer att finnas till 2050. Landbaserad vindkraft, livstidsförlängning av befintlig kärnkraft, havsbaserad vindkraft och ny kärnkraft är de kraftslag som bedöms ha störst potential utifrån lönsamhet att på sikt möta behovet.

Finns det möjlighet att nå bidraget till unionsmålet för 2030?

Energimyndigheten bedömer att den tekniska potentialen för utbyggnation av förnybar energiproduktion (energiutvinning) och energidistribution som presenteras i rapporten vida överskrider Sveriges bidrag om 67 procent förnybar energi till år 2030. Utfallet påverkas dock i hög grad av vilka kriterier som används för att definiera vilken befintlig markanvändning som anses oförenlig med utbyggnad. Kriterierna kan också innebära ett större eller mindre bortfall av potentiella områden. Den tekniska potentialen behöver även relateras till vad som är möjligt att realiseras till år 2030, det vill säga vad som kan byggas ut i relation till de hinder och möjligheter som finns i närtid. Detta innebär att det med stor sannolikhet kommer att ske ett bortfall av den tekniska potentialen i senare skede av planerings- och utbyggnadsprocessen när projekten konkretiseras och tillståndsprövas.

Det kraftslag som bedöms kunna bidra mest till Sveriges bidrag av förnybar energi är landbaserad vindkraft. Med Energimyndighetens långsiktiga scenario om Högre elektrifiering som utgångspunkt i den uppdaterade nationella energi- och klimatplanen (NEKP) behöver vindkraften byggas ut med 35,4 TWh mellan 2022–2030. Det innebär ett totalt ytanspråk för projektområden för vindkraftsetableringar på cirka 1 600 km², varav cirka 3–5 procent av projektområdena kommer upptas av direkt markanvändning i form av fundament, uppställningsplatser, vägar och elnät.

Behovet av utbyggd Solenergi bedöms med hög elektrifiering som utgångspunkt vara en ökning på 7 TWh mellan 2022–2030 vilket innebär ett projektområdesanspråk på ungefär 80 km². De två kraftslagen enligt NEKP:n med mindre behov av ökad elproduktion till 2030 är havsbaserad vindkraft på 4,6 TWh och biokraft på 4 TWh. Det direkta markanvändningsbehovet för ytterligare biokraft väntas bestå av befintliga värmeverk där dessa konverteras

till kraftvärmeverk. För havsbaserad vindkraft innebär behovet ett totalt ytanspråk för projektområden på cirka 180 km² till havs, varav cirka 1–2 procent av denna yta kommer upptas av fundament, erosionsskydd och elnät.

Även om det finns en stor teknisk potential för flera energislag förekommer hinder mot att Sveriges bidrag av förnybar energi till år 2030 ska kunna nås. De mest återkommande hindren handlar om ekonomiska förutsättningar och investeringsvilja, möjligheten att få elnätsanslutning, långa tillståndsprocesser med låg förutsägbarhet samt behov av teknisk utveckling.

Samtidigt finns ett flertal möjligheter för att den utbyggnad som behövs för att Sveriges bidrag till unionsmålet för år 2030 ska kunna realiseras. För flera kraftslag finns ett starkt investeringsintresse med många pågående projekt vilka skulle kunna få tillstånd och förverkligas innan 2030. Även satsningar på forskning och utvecklingsarbete ger ökade förutsättningar för en snabb teknisk utveckling och minskade kostnader för kraftslagen. Utöver detta pågår förändringar kring regelverk i syfte att effektivisera och förkorta tillståndsprocesser vilket kan leda till en positiv påverkan på utbygganden av förnybar energi i Sverige.

Det är dock viktigt att poängtera att även om det finns ett behov av att öka produktionen av el är det också av betydelse att den används klokt. Kan användningen av el effektiviseras blir utbyggnadsbehovet av elproduktion och elnät lägre, liksom resursanvändning och negativa miljöeffekter. Möjligheter att minska effektoppar genom energieffektivisering eller efterfrågeflexibilitet kan dessutom underlätta en snabb elektrifiering. En flexibel och resurseffektiv elanvändning är därför en nödvändig del av ett hållbart energisystem.

Underlag till accelerationsområden för solenergi och värmepumpar

I rapporten redovisas underlag som kan användas i det fortsatta arbetet att peka ut accelerationsområden för solenergi och värmepumpar enligt de ramar som satts upp av förnybartdirektivet. För solenergi finns många möjliga typer av områden som kan pekas ut. Exempel på stora ytor finns under kategorierna nedlagda sluttäckta deponier, befintliga och nedlagda flygplatser, parkeringsytor, industriområden och lantbruk. Det finns också stor potential i befintliga takytor för olika typer av byggnader, det innebär dock mindre och ej sammanhängande områden men som kan summeras till en stor total yta med potential för förnybar energiutvinning.

För värmepumpar är möjligheterna att redovisa underlag lämpliga att peka ut som accelerationsområden mer begränsade med tanke på det stora antalet värmepumpar som redan i dagsläget finns installerade i den svenska bebyggelsen. En möjlig områdeskategori är ändå ytor där det finns potential för sammankoppling av restvärmeströmmar från industri till fjärrvärmenätet. Även småhus som har olja, gas eller direktverkande el som uppvärmningsform kan vara en kategori möjlig att peka ut som accelerationsområden. I sammanhanget finns det sannolikt mer ändamålsenliga styrmedel för att konvertera uppvärmningsformen för småhus än förnybartdirektivets accelerationsområden, eftersom det i grunden syftar till utbyggnad av större anläggningar för förnybar energi som i sin tur behöver hanteras inom den fysiska planeringen.

Begrepp

Förnybartdirektivet är ett EU-direktiv med syftet att fastställa bindande mål för andelen förnybar energi, reglera egenanvändningen och fastställa gemensamma regler för användningen av förnybar energi i el, värme och kyla samt transport¹.

Accelerationsområden är enligt förnybartdirektivet artikel 15c en undergrupp av områden som utsetts i den nationella kartläggningen från en eller flera typer av förnybara energikällor. I dessa områden får tillståndsförfarandet inte pågå längre än tolv månader för projekt för förnybar energi. För havsbaserad förnybar energi får tillståndsförfarandet inte pågå längre än två år. Accelerationsområdena ska utses senast den 21 februari 2026².

NEKP är en förkortning som står för nationell energi- och klimatplan. En sådan plan måste alla EU-länder ta fram. Den visar var medlemslandet befinner sig i förhållande till EU:s olika mål på energi- och klimatområdet. Regeringen lämnade in Sveriges uppdaterade plan till EU-kommissionen den 30 juni 2024³.

Riksintressen är nationellt betydelsefulla geografiska områden. Sådana anspråk kan utpekas i syfte att vara både bevarande och exploaterande eller att de används till något av särskild betydelse ur ett nationellt perspektiv. Energimyndigheten är en av tolv sektorsmyndigheter som har ansvar att peka ut mark- och vattenområden av riksintresse enligt miljöbalken 3 kap. Vid prövningar av ärenden bedömer den berörda prövningsmyndigheten, exempelvis kommuner och länsstyrelsernas miljöprövningsdelegationer om ett anspråk är av riksintresse eller inte i förhållande till andra riksintressen och annan mark- och vattenanvändning. Om fler riksintressen berör samma geografiska område och inte kan samexistera med ett annat riksintresse bedömer prövningsmyndigheten vid prövningen av ett ärende vilket riksintresse som ska ha företräde och anses vara av riksintresse i det aktuella området⁴.

Energi från förnybara energikällor eller förnybar energi: Energi från förnybara, icke-fossila energikällor, det vill säga vindenergi, solenergi (termisk solenergi och fotovoltaisk solenergi) och geotermisk energi, osmotisk energi, omgivningsenergi, tidvattensenergi, vågenergi och annan havsenergi, vattenkraft, biomassa, deponigas, gas från avloppsreningsverk samt biogas.⁵

Fossilfri energi: Förnybar energi är alltid fossilfri, men fossilfri energi är inte alltid förnybar. Kärnkraft är ett exempel på ett energislag som endast är fossilfri eftersom den inte använder fossila bränslen som energikälla. Kärnenergi utvinns genom naturresurser som inte ingår i ett kretslopp och som kan ta slut och räknas därmed som en icke-förnybar energikälla.

¹ European Union, Förnybar energi, 2024.

<https://eur-lex.europa.eu/SV/legal-content/summary/renewable-energy.html> (hämtad 2024-09-30)

² Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413, artikel 15 c.

³ Energimyndigheten, Ytterligare styrmedel behövs för att nå EU:s mål på energi- och klimatområdet, 2024.

<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ytterligare-styrmedel-behovs-for-att-na--eus-mal-pa-energi--och-klimatomradet/> (hämtad 2024-10-02)

⁴ Boverket, Riksintressen är nationellt betydelsefulla områden, 2022.

<https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/nationell-planering/riksintressen-ar-betydelsefulla-omraden/> (hämtad 2024-10-02)

⁵ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413, artikel 2.

1 Bakgrund till kartläggningen

Energimyndigheten har fått i uppdrag att genomföra en kartläggning av Sveriges territorium och ekonomiska zon för att identifiera områden med potential för utbyggnad av fossilfri energiutvinning och tillhörande energidistribution samt se över sina riksintresseanspråk.⁶

Första delen i uppdraget, kartläggningen, redovisas i denna rapport och beskriver områden med potential för utbyggnad av all fossilfri energiutvinning och energidistribution. Uppdraget följer av de skyldigheter som framgår av artikel 15b i förnybartdirektivet och rapporten innehåller därför särskilda redovisningar som syftar till att utgöra det underlag för kartläggning av förnybar energi som krävs enligt direktivet.

Redovisningen av områden med potential för utbyggnad av förnybar energi i rapporten ska vara på en nivå som möjliggör ett framtida utpekande av accelerationsområden för förnybar energi som föreskrivs i artikel 15c i förnybartdirektivet.

Kartläggningen har genomförts i samverkan med Naturvårdsverket, Försvarmakten och Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB). Därutöver har synpunkter hämtats från Havs- och vattenmyndigheten (HaV), Energimarknadsinspektionen (Ei), Riksantikvarieämbetet, Tillväxtverket, Sametinget, Statens jordbruksverk, Boverket, Skogsstyrelsen, länsstyrelser och kommuner, liksom från andra relevanta och berörda aktörer och myndigheter.

1.1 Uppdragets omfattning och avgränsningar

Alla områden som har potential för fossilfri energiutvinning och energidistribution ska identifieras och redovisas. Med det avses områden där en ny energiutvinning och -distribution skulle kunna anläggas under förutsättning att nödvändig infrastruktur och tekniska förutsättningar finns.

För uppdraget ska befintligt material, som exempelvis havsplaner och riksintresseanspråk för energiutvinning och energidistribution, samt kända samexistenslösningar, användas i så stor utsträckning som möjligt. Ett särskilt fokus för kartläggningen ska vara att visa hur värmepumpar och solenergi på befintliga konstgjorda ytor kan användas för att nå Sveriges nationella bidrag till unionsmålet för förnybar energi.

Uppdraget ska samordnas med arbetet att ta fram en nationell restaureringsplan enligt förordningen⁷ om restaurering av natur. Förordningen innebär att skadad natur ska restaureras i alla medlemsstater och innehåller bindande mål för restaurering av ekosystem, naturtyper och arter, med delmål för 2030, 2040 och 2050. Målen gäller många olika naturtyper och arter, både i havet, på land och i sötvatten. Hur målen ska nås och själva genomförandet av åtgärder planeras av varje land för sig. Medlemsländerna har två år på sig att ta fram en nationell restaureringsplan. Vid tiden för redovisningen av kartläggningsdelen i uppdraget hade inte arbetet med restaureringsplanen för Sverige inletts. Förordningen för restaurering

⁶ Regeringsbeslut KN2024/00663.

⁷ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2024/1991.

av natur kan påverka vissa av de områden som bedömts möjliga i kartläggningen, vilket stärker slutsatsen att detta kartläggningsunderlag behöver tas vidare för ytterligare lokala och regionala bedömningar.

1.2 Förnybartdirektivet kräver kartläggning

Enligt det reviderade förnybartdirektivet (RED3)⁸ ska medlemsstaterna senast den 21 maj 2025 genomfört en samordnad kartläggning för utbyggnaden av förnybar energi i syfte att bidra till unionsmålet för förnybar energi. Skyldigheten att genomföra kartläggningen följer av artikel 15b. Medlemsstaterna ska enligt artikeln:

”utföra en samordnad kartläggning för utbyggnaden av förnybar energi på sitt territorium för att identifiera den inhemska potentialen och de tillgängliga landområden (både ovan och under jord), havs- eller inlandsvattenområden som är nödvändiga för att uppföra anläggningar för förnybar energi, och tillhörande infrastruktur, såsom nät och lagringsanläggningar, inklusive värmelagring, som krävs för att de minst ska kunna uppfylla sina nationella bidrag till det övergripande till det övergripande unionsmål för 2030 för förnybar energi som fastställs i artikel 3.1 förnybartdirektivet. För detta ändamål får medlemsstaterna använda eller bygga vidare på sina befintliga dokument eller planer för fysisk planering, inbegripet havsplaner som upprättas enligt Europaparlamentets och rådets direktiv 2014/89/EU. Medlemsstaterna ska säkerställa samordning mellan alla relevanta nationella, regionala och lokala myndigheter och enheter, inbegripet nätoperatörer, vid kartläggningen av de nödvändiga områdena, i lämpliga fall.”

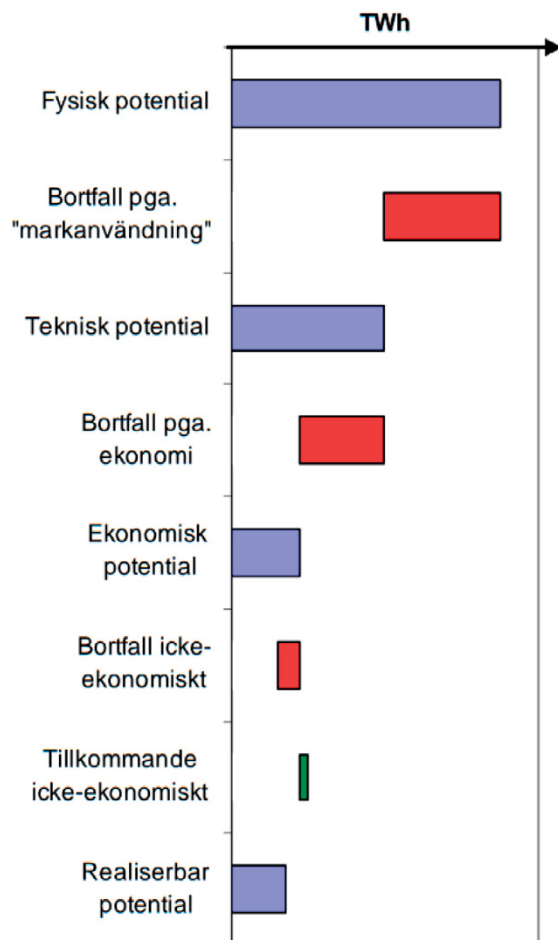
Den inhemska potentialen och identifierade tillgängliga landområden som den samordnade kartläggningen pekar ut ska stå i proportion till Sveriges nationella energi och klimatplan. Därmed ska uppskattad inhemsk utveckling och total planerad installerad kapacitet per teknik för förnybar energi motsvarande det som överlämnats enligt artiklarna 3 och 14 i förordning (EU) 2018/1999 om styrningen av energiunionen och av klimatåtgärder. Senaste redovisningen av Sveriges nationella energi och klimatplan beskrivs närmare i avsnitt 1.6.

1.3 Potentiella områden för utbyggnad

Bedömningar av om ett område har potential för energiutvinning och energidistribution är alltid kopplade till olika typer av begränsningar. Det kan handla om tillgängliga resurser eller begränsningar i den fysiska-, tekniska-, ekonomiska- eller realiserbara potentialen. Figur 1 visar den kumulativa effekten av olika begränsningar som slutligen leder fram till en realiserbar potential.

Exempelvis är den fysiska potentialen för vindkraft i Sverige väldigt stor till följd av Sveriges geografiska förutsättningar med stora obebyggda ytor, långa kuststräckor och höga medelvindhastigheter. Den fysiska potentialen för solkraft är framför allt kopplat till tillgängliga takytor samt markyta med god solinstrålning. I slutändan är den realiserbara potentialen betydligt lägre eftersom begränsningar, såsom tillgång till elnätet, överföringskapacitet, olika energiutvinningstekniker, lönsamhet eller acceptans för användande av land- och vattenområden, påverkar.

⁸ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413.



Figur 1. Principiell bild över hur olika "potentialer" förhåller sig till varandra utifrån olika begränsande faktorer.

Källa: Vindforsk⁹

Realiserbar potential är oftast problematisk att kvantifiera i och med att faktorer som påverkar förändras i takt med att energisystemet och samhället utvecklas över tid. Bland annat kan tekniska lösningar möjliggöra för elsystemet att hantera en högre andel variabel produktion eller nya samexistenslösningar som därmed möjliggör utbyggnad på ytor där det tidigare inte bedömts vara möjligt. Samtidigt är den aktuella lönsamheten central för i vilken omfattning elproduktionen faktiskt kan byggas ut. Lönsamhet är starkt sammankopplad med de faktorer som kategoriseras under den realiserbara potentialen eftersom den beror på systemfaktorer så som tillgänglighet till energiresursen och hur produktionen från energiresursen kan nyttjas och hur den värderas i systemet.

Energimyndigheten tolkar uppdraget som att det är den tekniska potentialen som definitions- mässigt ska användas.

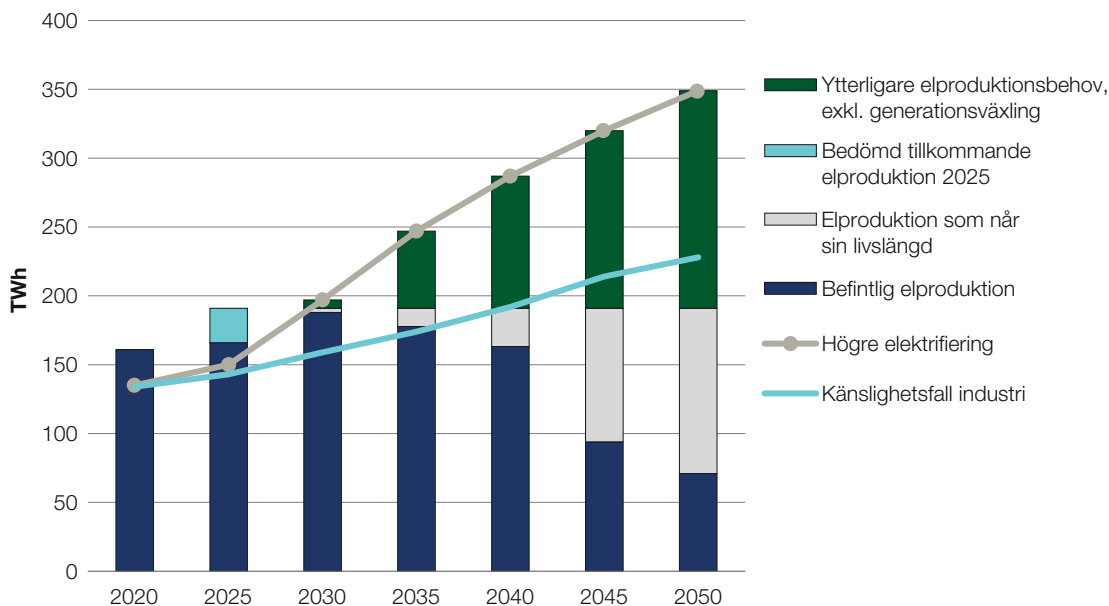
⁹ Vindforsk, *Vindkraft i framtiden Möjlig utveckling i Sverige till 2020*, 2008.

1.4 Behov av energiutvinning och tillhörande energidistribution

Energimyndighetens långsiktiga scenarier från 2023¹⁰ konstaterar en ökad efterfrågan. Den justerade elanvändningen för scenarierna är 335 TWh till 2050. För att tillgodose den stora efterfrågan på el behövs en mycket stor mängd ny elproduktion och elnät, samt en reinvestering i det befintliga elsystemet. Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion, elnätsutbyggnad och vilka förutsättningar de olika delarna har. Hur de utvecklas är avgörande för hur den framtida utvecklingen av elsystemet kommer att se ut.

På längre sikt finns många möjliga utvecklingsvägar för framtidens elproduktion. Alla kraftslag har sina för- och nackdelar. Den framtida elproduktionsmixen är starkt beroende av hur acceptansen i samhället ser ut för olika kraftslag. Sverige har en stor potential och bedöms ha en lönsamhet på sikt framför allt i landbaserad vindkraft, befintlig kärnkraft, havsbaserad vindkraft och ny kärnkraft. En kraftig elektrifiering är dock inte möjlig utan goda förutsättningar för samtliga fossilfria kraftslag.

Om Sverige ska bygga elproduktion för att möta ett ökat elbehov samtidigt som delar av befintlig elproduktion når sin livslängd innebär det ett stort behov av ny elproduktion och en historiskt hög årlig utbyggnadstakt. Figur 2 visar att delar av den befintliga elproduktionen försvinner löpande över perioden och framför allt omkring 2040 på grund av uppnådd livslängd. Behovet av ny elproduktion skiljer sig markant åt beroende på bedömning av framtida elbehov samt hur lång drifttid som antas för befintlig och ny elproduktion. I scenariot Högre elektrifiering ökar elbehovet mer än vad befintlig produktion kan klara av redan till 2030.



Figur 2. Energimyndighetens långsiktiga scenarier visar ökat elbehov till 2050, i jämförelse med befintlig elproduktion, antagande om elproduktion 2025 och ytterligare behov för att nå ett utfall med högre elektrifiering.

Källa: Energimyndigheten¹¹

¹⁰ Scenarier över Sveriges energisystem 2023, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

¹¹ Scenarier över Sveriges energisystem 2023, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

För att årlig elproduktion ska möta den högsta elanvändningen 2030 innebär det en utbyggnadstakt på drygt 3,5 TWh per år mellan 2021 och 2030. Under en 10-årsperiod är den högsta ökningen i elproduktion vi haft i Sverige cirka 5 TWh per år vilket hände under 1980-talet då kärnkraft byggdes i Sverige. Mellan 2030 och 2035 behöver utbyggnadstakten öka ytterligare, till omkring 12 TWh per år. Detta kan jämföras med den högsta ökningen i elproduktion vi har haft i Sverige under en 5-årsperiod vilket är ungefär 9 TWh per år. Även den ökningen skedde i samband med utbyggnaden av kärnkraft. Detta visar på utmaningarna redan på kort sikt avseende hur elproduktionen behöver möta elbehovet givet en kraftig elektrifiering.

Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och elnätutbyggnad. Varierande förutsättningar för de olika delarna och dess utveckling är avgörande för hur det framtida elsystemet kommer att se ut. Oavsett hur behovet av ny el tillgodoses kommer det att ta en viss tid för att fatta investeringsbeslut, få tillstånd, skapa acceptans, bygga nya elnät etcetera. Därför är även energieffektivisering en allt viktigare fråga för att kunna hantera den kraftiga utökningen på kort sikt. I ett perspektiv som sträcker sig till år 2030 finns en stor potential för att minska elanvändningen genom energieffektivisering och flexibel elanvändning. Energimyndigheten uppskattar att denna potential ligger mellan 20 och 25 TWh el¹².

1.5 Energipolitisk inriktning

I mars 2024 presenterade regeringen den nya energipolitiska inriktningspropositionen. Propositionen beslutades av riksdagen i slutet av maj 2024. Det innebär att Sverige får två nya energipolitiska mål kopplat till utvecklingen av elsystemet:

- *Planeringsmål för elsystemet:*
Planeringen av det svenska elsystemet ska ge förutsättningar för att leverera den el som behövs för en ökad elektrifiering och att möjliggöra den gröna omställningen. Regeringen ser för närvarande att Sverige bör planera för att kunna möta ett elbehov om minst 300 TWh år 2045. Behovet av el i olika geografiska områden bör tydliggöras för år 2030, 2035, 2040 och 2045 och följas upp vid regelbundna kontrollstationer, med start 2030.
- *Leveranssäkerhetsmål för elsystemet:*
Det svenska elsystemet ska ha förmågan att leverera el där efterfrågan finns, i rätt tid och i tillräcklig mängd, i den utsträckning det är samhällsekonomiskt effektivt. Omotiverade hinder i elsystemet ska undanröjas för att skapa förutsättningar för en effektiv marknad som främjar konkurrenskraftiga priser. Svenska kraftnät bör få ett övergripande ansvar för en regelbunden uppföljning av leveranssäkerhetsmålet och för att vidta eller föreslå nödvändiga åtgärder för att leveranssäkerhetsmålet uppnås. En fördjupad uppföljning bör ske vid regelbundna kontrollstationer med start 2030.

¹² Effektiv användning av energi, effekt och resurser, ER 2024:03.

1.6 Kopplingen till den nationella energi- och klimatplanen

Kartläggningsdelen som följer av förnybartdirektivet¹³ syftar till att bidra till Sveriges utförande av en samordnad kartläggning för utbyggnaden av förnybar energi på sitt territorium. Enligt direktivet ska medlemsstaterna ha utfört kartläggningen senast den 21 maj 2025 med syftet att bidra till unionsmålet för förnybar energi.

Varje medlemsstat står för bidrag till unionsmålet baserat på andel av energi från förnybara energikällor i den slutliga energianvändningen (brutto) 2030. Fram till 2030 ska den totala ökningen av andelen energi från förnybara energikällor följa en vägledande utvecklingsbana som utgår ifrån skillnaden mellan medlemsstatens bindande nationella mål för 2020 och dess bidrag till målet för 2030. Senast 2030 ska medlemsstaten nå eller överträffa det planerade bidraget.

I förordningen om styrningen av energiunionen och av klimatåtgärder, den så kallade Styrningsförordningen¹⁴, finns krav på att EU:s medlemsstater tar fram en integrerad nationell energi- och klimatplan (NEKP) med syfte att visa hur medlemsstaterna ska uppnå sina bidrag till EU:s mål (unionsmålet¹⁵) på energi- och klimatområdet. Planen ska tas fram vart tionde år, med start 2019.

Medlemsstaternas nationella bidrag till unionsmålet redovisas i respektive lands NEKP. I NEKP:en från 2019 användes Energimyndighetens långsiktiga scenarier som utgångspunkt och en andel förnybar energi i förhållande till bruttoenergianvändning på 65 procent 2030 som ett nationellt bidrag till unionsmålet. I NEKP:en som lämnades in juli 2024 uppdateras Sveriges vägledande utvecklingsbana¹⁶ för andel förnybar energi utifrån resultat i basscenariot från Energimyndighetens senaste scenarioanalys från 2023¹⁷. Det innebär ett nytt nationellt förnybart bidrag om 67 procent¹⁸.

Om EU-kommissionen kommer fram till att EU:s mål om total andel förnybar energi inte nås med summan av de nationella bidragen kommer de behöva se över vad som är ett rimligt nationellt bidrag från varje land enligt de så kallade objektiva kriterierna. Enligt dessa kriterier måste Sverige till 2030 öka den förnybara energins andel från 66 procent till 76 procent. I utredningen finns inte utrymme att invänta EU-kommissionens bedömning. Därför kommer utgångspunkten i uppdraget vara att minst uppnå ett förnybart bidrag på 67 procent.

Om befintliga svenska kärnkraftsreaktorer inkluderas i beräkningen väntas andelen fossilfri energi uppgå till 78 procent år 2030 vilket är i nivå med andelen på 76 procent som Sverige behöver nå enligt styrningsförordningens objektiva kriterier¹⁹.

¹³ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413.

¹⁴ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1999 ändrad av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413.

¹⁵ Andelen energi från förnybara energikällor inom unionens slutliga energianvändning år 2030 minst 42,5 procent.

¹⁶ Antaganden görs utifrån formel i Styrningsförordningen. (Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413)

¹⁷ *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

¹⁸ Bilaga till regeringsbeslut, KN2024/00362.

¹⁹ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1999 ändrad av Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413.

1.7 Den förnybara potentialen måste *minst* nå Sveriges andel av unionsmålet

Uttekandet av områden med potential för förnybar energiutvinning ska, enligt artikel 15b i förnybartdirektivet, minst uppnå Sveriges bidrag till unionsmålet för förnybar energi till 2030. Sverige rapporterade i *NEKP 2024* en indikativ målnivå till kommissionen på 67 procent.

Energimyndigheten bedömer att ett utpekande av områden som har en teknisk potential för utbyggnad av förnybar energiutvinning överskrider Sveriges indikativa målnivå. Dock kan valet av vilka kriterier som används för att definiera en befintlig markanvändning som anses oförenlig med utbyggnad komma att påverka resultatet och innebära ett större eller mindre bortfall av områden. Den tekniska potentialen behöver även relateras till vad som är möjligt att bygga till 2030, det vill säga de hinder och möjligheter som finns. Detta innebär att det från utredningsresultatet kommer att ske ett bortfall i senare skeden av planerings- och utbyggnadsprocessen.

Energimyndighetens utgångspunkt i uppdraget är att presentera ett underlag som minst möjliggör ett förnybart bidrag om 67 procent till 2030. Den absolut största ökningen för att nå detta bidrag kommer att behöva ske inom elproduktionssektorn. Bidraget till unionsmålet för 2030 motsvarar en installerad elproduktionskapacitet på 67 GW år 2030 enligt Energimyndighetens långsiktiga scenario *Högre elektrifiering*, vilket utgör basscenariot i NEKP. Se fördelning per kraftslag i Tabell 1. Den installerade effekten för kärnkraft bedöms kvarstå och påverkar därför inte bidraget till unionsmålet för 2030 på ett positivt eller negativt sätt.

Tabell 1. Installerad elproduktionskapacitet för alla fossilfria kraftslag år 2030 enligt scenariot *Högre elektrifiering* och nuläget från år 2022.

| Installerad kapacitet, GW | 2030 | Nuläge 2022 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| Vattenkraft | 17,2 | 16,3 |
| Kärnkraft | 6,9 | 6,9 |
| Kondenskraft + gasturbin | 5,5 | 2,2 |
| Kraftvärme | 3,4 | 2,8 |
| Industriellt mottryck | 1,5 | 1,6 |
| Vindkraft | 23,5 | 14,7 |
| Solkraft + övrigt förnybart | 9,1 | 2,4 |
| Summa | 67,0 | 46,9 |

Källa: Energimyndigheten²⁰

²⁰ Bilaga till regeringsbeslut KN2024/00362 med grund i Scenarier över Sveriges energisystem 2023, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

1.8 Underlag till accelerationsområden

Medlemsstaterna ska anta en eller flera av de planer som kartläggningen av områden kommit fram till krävs för att nå det nationella bidraget till unionsmålet 2030 enligt förnybart-direktivet artikel 15c.²¹ Inom planerna ska accelerationsområden för förnybar energi utses. Accelerationsområdena ska utses för en eller flera typer av förnybara energikällor. Medlemsstaterna får undanta förbränningsanläggningar för biomassa och vattenkraftverk.²²

Enligt uppdraget ska redovisningen av områden med potential för utbyggnad av förnybar energi göras på en nivå som möjliggör ett framtida utpekande av sådana accelerationsområden för förnybar energi som föreskrivs i direktivet. Energimyndigheten ska helst prioritera större sammanhängande områden, som skulle kunna pekas ut som accelerationsområden för i första hand solenergi och värmepumpar, till exempel bebyggda ytor som ligger i tätortsmiljöer, industriområden eller vid lantbruk.

Bedömningen är att accelerationsområden för solenergi och värmepumpar kan utgöra en delmängd av bidraget till unionsmålet. Vid behovet av ett högre bidrag från Sverige till målet kan det bli relevant att peka ut accelerationsområden även för andra typer av förnybar energi. Exempelvis kan landbaserad vindkraft som kan omfattas av generationsväxling i elprisområde 3 och 4 pekas ut som sådana områden.

1.9 Inga avvägningar av motstående intressen

Energimyndigheten ska i kartläggningen enbart exkludera områden där den befintliga markanvändningen anses vara omöjlig att kombinera med någon typ av energiutvinning eller -distribution. Detta innebär att inga avvägningar mot andra motstående intressen ska göras utan det ska enligt uppdraget avgöras senare i samband med exempelvis kommunens fysiska planering eller vid en prövning i det enskilda fallet.

Generellt är det svårt att ta hänsyn till intressen som består av många olika mindre områden som inte syns på en nationell skala. Den följande kartläggningen behöver betraktas i ljuset av detta. Avvägningarna kan bara vara övergripande och det är inte tänkt att bedömningen av potential ska föregå en miljöprövning där intressekonflikter utreds och avgörs på ett fullständigt sätt.

Vad som anses vara en befintlig markanvändning ”som omöjliggör” utbyggnad behöver definieras och kommer variera beroende på vilken typ av anläggning för energiutvinning eller -distribution som avses. Det kan exempelvis vara områden med intressen som innebär inga eller små möjligheter till samexistens som exempelvis områden med lagstadgat skydd som nationalparker, Natura 2000-områden, naturreservat samt områden som redan är ianspråktaga av samlad bebyggelse, större vägar, järnvägar med mera.

²¹ Det ska ske senast den 21 februari 2026.

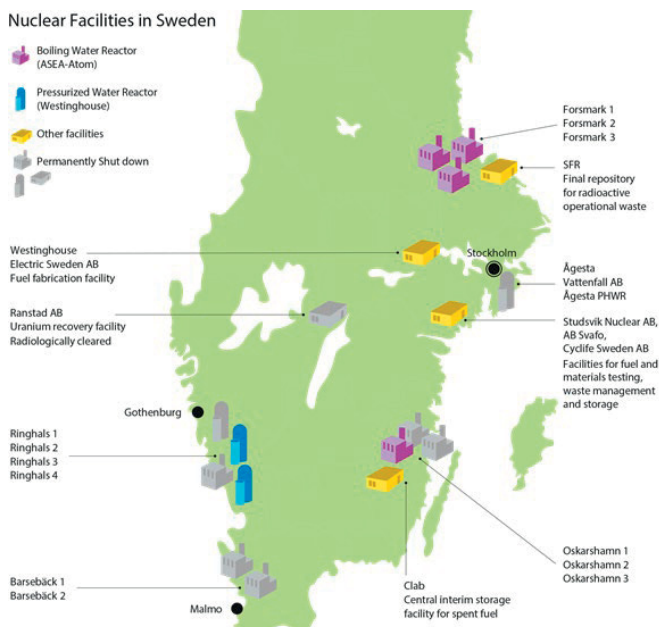
²² Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413, Artikel 15c.

2 Kartläggning fossilfri respektive förnybar elproduktion

Kartläggningen ska identifiera och redovisa alla områden som har potential för fossilfri energiutvinning och -distribution, givet att nödvändig infrastruktur och tekniska förutsättningar finns. Energimyndigheten har tolkat detta som att kartläggningen ska visa områden med teknisk potential enligt det potentialbegrepp som beskrevs i kapitel 1.3. Kartläggningen av teknisk potential innebär inte en avvägning mellan olika intressen utan redogör enbart för områden som på förhand bedöms omöjliggöra etablering av energiinfrastruktur. Följande kapitel beskriver nuläget, den tekniska potentialen och potentiella områden för fossilfri elproduktion samt förutsättningarna för utbyggnation till 2030 av förnybar elproduktion.

2.1 Kärnkraft

Sverige har idag sex kärnkraftsreaktorer i drift som tillsammans producerar ungefär en tredjedel av den el som används. Totalt har Sverige haft 12 kommersiella reaktorer i drift, men sex av dessa är numera tagnas ur drift och har avvecklats eller står under avveckling. Det finns även andra kärntekniska anläggningar runt om i landet, dels anläggningar för hantering och lagring av utbränt kärnavfall, dels för tillverkning av kärnbränsle. De reaktorer som är i drift är lokaliserade i Forsmark, Ringhals och Oskarshamn och har tillsammans en effekt på drygt 6 900 MW, se Figur 3.



Figur 3. Kärnkraftsanläggningar i Sverige.

Källa: Strålsäkerhetsmyndigheten.²³

²³ TPR 2023 Fire Protection: Swedish National Assessment Report, SSM 2023:13, 2023.

Samtliga svenska reaktorer i drift idag byggdes under 1970- och 80-talen och är av två typer: kokvattenreaktorer och tryckvattenreaktorer. Båda är av sorten lättvattenreaktorer och byggda som kondenskraftverk, vilket innebär att de enbart producerar el. Den varma ångan som lämnar ångturbinerna kyls ned med havsvatten i en så kallad kondensor. Havsvattnet värms då upp med cirka 10 grader innan det släpps ut i havet igen. Samtliga kärnkraftverk i Sverige använder havsvatten som kylmedel. Reaktorer av generation 3-typ (GIII) är i dag den vanligaste reaktortypen i storskaliga kärnkraftverk, och existerande svensk storskalig kärnkraft är av denna typ. Dessa är vidareutvecklade versioner av den andra generationens lättvattenreaktorer, där den teknologiska utvecklingen främst skett genom att livslängden förlängts och säkerhetssystemen förbättrats.

När de svenska kärnkraftverken byggdes var den planerade drifttiden 40 år, men efter moderniseringar har drifttiden för de befintliga verken förlängts och planeras nu till 60 år. En del effektökningar har gjorts i de reaktorer som idag är i drift. I juni 2024 meddelade ägaren till kraftverken i Forsmark och Ringhals ett inriktningsbeslut om förlängning av drifttiden till 80 år, vilket innebär elproduktion in på 2060-talet om slutligt investeringsbeslut fattas.²⁴ Även ägaren till Oskarshamn 3 bedömer att en driftsförlängning till 80 år är möjlig och tog i september 2024 ett inriktningsbeslut om att göra alla nödvändiga förberedelser och studier inför ett kommande investeringsbeslut.²⁵

Tabell 2. Nyckeltal för befintliga reaktorer.

| | Forsmark 1 ²⁶ | Forsmark 2 | Forsmark 3 | Oskarshamn 3 | Ringhals 3 | Ringhals 4 | Totalt |
|--------------------------------------|--------------------------|------------|------------|--------------|-------------------|------------|--------|
| Reaktortyp | BWR ²⁷ | BWR | BWR | BWR | PWR ²⁸ | PWR | |
| I kommersiell drift, år | 1980 | 1981 | 1985 | 1985 | 1981 | 1983 | |
| Anställningsår vid livslängd 60 år | 2040 | 2041 | 2045 | 2045 | 2041 | 2043 | |
| Avställningsår vid livslängd 80 år | 2060 | 2061 | 2065 | 2065 | 2061 | 2063 | |
| Installerad effekt, MWe | 1 040 | 1 120 | 1 172 | 1 400 | 1 081 | 1 130 | 6 943 |
| Produktion 2023 TWh | 7,8 | 7,4 | 9,2 | 9,2 | 7,7 | 5,4 | 47 |
| Produktion genomsnitt 2019–2023, TWh | 7,3 | 8,2 | 9,1 | 10 | 7,2 | 6,7 | 49 |

Källa: Uppgifter från bolagens offentliga uppgifter samt IAEA PRIS (Power reactor Information system).

²⁴ Vattenfall, Forsmark och Ringhals siktar på 80 års drifttid av befintliga kärnkraftreaktorer, 2024. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2024/forsmark-och-ringhals-siktar-pa-80-ars-drifttid-av-befintliga-karnkraftreaktorer> (hämtad 2024-10-03).

²⁵ Uniper, 80 blir det nya 60 – för kärnkraften, 2024. <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/80-blir-det-nya-60-for-karnkraften/> (hämtad 2024-10-03).

²⁶ Under 2024 genomförs en första effektökning till 1 070 MW. I ett andra steg höjs effekten till 1 120 MW vilket görs under hösten 2024, se: Vattenfall, Klartecken för en permanent effekthöjning på Forsmark 1, 2024. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2024/klartecken-for-en-permanent-effekthojning-pa-forsmark-1> (hämtad 2024-10-07)

²⁷ Boiling Water Reactor – kokvattenreaktor.

²⁸ Pressurized Water Reactor – tryckvattenreaktor.

2.1.1 Teknisk potential

Drivkrafter och förutsättningar

Sverige har inte byggt ny kärnkraft sedan 1980-talet. Den främsta drivkraften var då som nu en storskalig elektrifiering i syfte att fasa ut fossila bränslen. Även om den totala elanvändningen i stort sett varit konstant sedan dess har det skett förändringar i elsystemet. Befolkningen har ökat med ungefär 2 miljoner sedan dess och därmed har antalet elanvändare och användningen av hushålls- och driftsel ökat. På senare år har även användningen av el i transportsektorn ökat. Mycket tyder på att elsystemet idag står inför omfattande förändringar där elektrifiering blir en förutsättning för flera sektorer i syfte att fasa ut fossila bränslen. Kärnkraft har potential att kunna tillgodose en stor andel av det enligt planeringsmålet ökande elbehovet till 2045, 300 TWh, att jämföra med de senaste 30 årens användning i medeltal, 145 TWh. Utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige innebär däremot en rad utmaningar eftersom kärnkraft är ett kraftslag med långa ledtider, vilket kräver riskhantering både kopplat till strålsäkerhet i drift och långsiktig hantering av kärnavfallet.

När kärnkraften byggdes ut förra gången skedde det inom ramen för ett statligt kärnkraftsprogram vilket innebar att staten tog kostnaderna och risken. På en avreglerad elmarknad konkurrerar kärnkraften på samma villkor som andra kraftslag. En investering i ny kärnkraft innebär en stor långsiktig investering och innefattar en större ekonomisk risk för de aktörer som ska investera eftersom återbetalningstiden också är lång. Politisk risk och höga kapitalkostnader påverkar finansieringsförutsättningarna för kärnkraft. På grund av de höga beloppen och långa ledtiderna från investering till första avkastning blir kapitalkostnaderna mycket höga. Höga kapitalkostnader tillsammans med politisk risk påverkar finansieringsförutsättningarna för investeringar i ny kärnkraft.

För att stärka förutsättningarna tillsattes en utredning i december 2023 för att ta fram förslag på en riskdelnings- och finansieringsmodell där staten delar risken. Utredningen *Finansiering och riskdelning vid investeringar i ny kärnkraft*²⁹ redovisades i augusti 2024. Förslagen handlar kortfattat om tre delar; statlig lånefinansiering, prissäkringsavtal och en risk- och vinstdelningsmekanism. Utredningens förslag är i nuläget ute på remiss till den 3 december.

Den nuvarande regeringen har tagit ett antal steg i syfte att röja hinder och skapa förutsättningar för en utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige. Regeringen har infört ett energipolitiskt mål om 100 procent fossilfri elproduktion till år 2040, samt lyft bort den tidigare begränsning av plats och antal i miljöbalken, vilket gör det tillåtet med nya reaktorer på andra platser än där de befintliga kärnkraftverken vid Forsmark, Ringhals och Oskarshamn finns, samt att fler än tio reaktorer får vara i drift samtidigt. I november 2023 presenterade regeringen en färdplan för ny kärnkraft i Sverige. Enligt färdplanen är målet att få till ny kärnkraft till 2035 med en effekt omkring 2 500 MW vilket motsvarar minst två storskaliga reaktorer. Till 2045 är ambitionen att en effekt motsvarande omkring tio storskaliga reaktorer ska tillkomma. Regeringen har även tillsatt en nationell kärnkraftssamordnare som bland annat ska stödja regeringen i etableringen av ny kärnkraft samt identifiera främjande åtgärder. I budgetpropositionen för 2024 infördes dessutom statliga kreditgarantier för lån som ska gå till investering av kärnkraft upp till 400 miljarder kronor.

²⁹ Promemoria, Fi 2023:F.

Det pågår för närvarande förstudier för etablering av ny kärnkraft i Sverige och en rad olika aktörer har publikt kommunicerat sina avsikter att undersöka möjligheterna:

- Vattenfall har för avsikt att ansöka om ny kärnkraft på Värö-halvön (vid den befintliga anläggningen Ringhals),
- Fortum, Blykalla samt Kärnfull Next har ingått samarbetsavtal med Studsvik om att undersöka möjligheterna till etablering av ny kärnkraft på befintlig förläggningsplats,
- LKAB utreder tillsammans med SSAB och Vattenfall kärnkraft runt befintliga verksamhetsplatser för att klara det stora elbehovet kopplat till projekt Hybrit,
- Även vissa kommuner har visat intresse för att undersöka möjligheterna till etablering av ny kärnkraft.

Potential för ny kärnkraft

Att bedöma potentialen för ny kärnkraft i Sverige är komplext utifrån ovanstående förutsättningar och drivkrafter. I uppdraget *Utvecklingsvägar för ny elproduktion*³⁰ antogs i scenariot *Ny kärnkraft* det möjligt att bygga reaktorer på fler platser utan ett begränsat antal och att regelverket även anpassades för inkludering av små modulära reaktorer, SMR. Scenariot byggde på en kraftigt ökad elanvändning till 2050. Även om regelverket öppnats för nya platser, vilka idag inte används för kärnkraft, bedömdes nya storskaliga reaktorer främst kunna byggas på platser där kärnkraft funnits tidigare. Storlek på en ny reaktor beror på flera faktorer, såsom elbehovet i elområdet och lönsamhetskalkyler. En ny reaktor har potential att vara i samma storleksklass som Oskarshamn 3 (1 400 MW) eller Olkiluoto 3 i Finland (1 600 MW). I scenariot sattes reaktorstorleken till 1 200 MW vilket gav ett utfall på 4 nya stora reaktorer, möjliga att bygga med befintlig reaktorteknik i elområde 3 mellan 2035–2050. För elområde 4 bedömdes Barsebäck vara tänkbar plats för återetablering av en ny stor reaktor på 1 400 MW i scenariot. Sammantaget visade scenariot möjligheten att investera i totalt 5 nya stora reaktorer summerat till 6 200 MW i installerad effekt. För scenariot ny kärnkraft antogs det även vara möjligt med livstidsförlängningar för samtliga av de befintliga reaktorerna.

SMR har främst en potential att byggas i närheten av stora industriprojekt vilket gör att de främst bedöms ha en potential i elområde 1 eller på befintliga platser i elområde 3. I rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion*³¹ användes ett förenklat antagande om att mellan 9–14 procent av tillkommande effektbehov i elområde 1 skulle kunna utgöras av SMR. Det innebär att potentialen i elområde 1 motsvarade maximalt 9 SMR eller totalt 2 700 MW mellan 2035 och 2050. I elområde 3 bedömdes 900 MW SMR kunna byggas mellan 2030–2050. Samtliga SMRer antogs vara av typen lättvattenreaktorer även om det kan komma nya aktuella tekniker i framtiden. Sammanfattat visade scenariot *Ny kärnkraft* en potential på maximalt 16 760 MW och 128 TWh kärnkraft fram till 2050 och utbyggnationen sker potentiellt i elområde 1, 3 och 4.

³⁰ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER 2023:18.

³¹ Ibid.

2.1.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) konstaterar att det enligt dagens regelverk krävs att den som söker tillstånd för ny kärnkraft visar att en (ny) förläggningsplats är lämplig ur strålsäkerhetssynpunkt för en specifik kärnteknisk anläggning med tillhörande verksamhet. Det kräver en komplex analys med många parametrar vilket gör det svårt att på förhand peka ut lämpliga nya förläggningsplatser, såväl på generisk nivå som om en specifik plats.

Fysiska resurser eller begränsningar

Kärnkraftverk är generellt stora anläggningar för produktion av el, detta förutsätter att det finns ett elbehov i regionen för avsättning av produktionen samt att det finns möjlighet att ansluta till stamnätet. Kärnkraftsreaktorer är även beroende av kylning, befintliga reaktortekniker är vanligtvis vattenkylda, i Sverige är samtliga reaktorer kylda med havsvatten. Befintliga reaktorerna ligger därför vid kusten i anslutning till en hamn, vilket också är en förutsättning för att transporten av det använda kärnbränslet ska kunna ske med sjöfart.

Valet av de befintliga förläggningsplatserna för kärnkraft är beskrivna i en tidigare statlig utredning³² från 1974. I utredningen pekades sex platser ut som lämpliga för anläggandet av kärnkraftverk, Brodalen, Ringhals, Barsebäck, Studsvik och Forsmark, markerade med blå cirklar i Figur 4.



Figur 4. Platser lämpliga för anläggning av kärnkraftverk.

Källa: Strålsäkerhetsmyndigheten³³

³² SOU 1974:56.

³³ Lämpliga platser enligt SOU 1974:56 samt befintliga förläggningsplatser där reaktor är eller har varit i drift. Karta skapad 2024 av Strålsäkerhetsmyndigheten.

Idag finns kärnkraftverk i drift vid Forsmark, Oskarshamn och Ringhals. Vid Barsebäck och Studsvik har två energiproducerande kokarvattenreaktorer respektive en forskningsreaktor avvecklats. Samtliga fem förläggningsplatser har tillstånd till kärnteknisk verksamhet som SSM utövar tillsyn över.

Det ligger på sökanden att visa att en plats är lämplig

Som ett led i ansökan för att bygga en ny kärnkraftsreaktor genomför sökanden platsundersökningar och platsvalet provas sedan enligt miljöbalken och strålskyddslagen. I Sverige finns inga generella föreskrifter kring vad som karakteriserar en lämplig plats eller utpekanden av lämpliga platser för kärnkraftsreaktorer. Det beror dels på att lagstiftningen hittills endast har medgett att nya kärnkraftsreaktorer byggs på befintliga förläggningsplatser. Dock innehåller SSM:s författningssamling krav kopplat till förläggningsplatsens påverkan på anläggningens utformning, samt anläggningens påverkan på platsen ur strålsäkerhetssynpunkt. Händelser och förhållanden vid en förläggningsplats som kan påverka reaktorn ska enligt gällande reglering identifieras och värderas. Värderingar av händelser och förhållanden ska genomföras för att med hög trovärdighet påvisa att reaktorns konstruktion är sådan att drift av denna inte leder till oacceptabla konsekvenser för arbetstagare, allmänhet och miljön. Värderingen måste vidare visa att verksamhetskonsekvenser från strålskyddssynpunkt för arbetstagare, allmänheten och miljö uppfyller gällande reglering med avseende på strålskyddsmässiga konsekvenser (till exempel i form av dosgränser). I en tillståndprocess ska sökanden lämna väl underbyggda och dokumenterade analyser av bland annat förläggningsplatsens fysiska förutsättningar. Spridningsförutsättningar, markanvändning, demografi, geologi är därför faktorer som kommer begränsa omfattningen av områden med potential för kärnkraft.

Oförenlig markanvändning

Begränsningar i miljöbalken

En geografisk begränsning finns i 4 kap. 4 § miljöbalken som innebär att nya kärntekniska anläggningar inte får komma till stånd inom större delen av kustområdena i södra Sverige, utom på platser där det redan finns kärntekniska anläggningar eller andra större industri-anläggningar. I den norra delen av östersjöområdet finns inte samma skydd för kusten. Även i 4 kap. 3 § miljöbalken finns en geografisk begränsning som utesluter etablering av kärnkraft i vissa kustområden. Detta innebär en begränsning av möjligheterna att etablera kärnkraft på nya platser utifrån gällande lagstiftning.

Beredskapsaspekter för nya kärnkraftsreaktorer

Beredskaps- och planeringszoner är områden förberedda för allmänhetens skydd vid en svensk kärnkraftsolycka. Zonernas placering och storlek regleras i förordningen (2003:789) om skydd mot olyckor. I grunden kommer troligen kravbilderna för haveriberedskap att vara densamma och tillämpas på samma sätt på SMR som för storskaliga GIII-reaktorer. I samband med eller inför en tillståndsprövning kan SSM behöva värdera om lokaliseringen, eller andra grundläggande skillnader mellan SMR och storskaliga GIII-reaktorer, kan innebära behov av att omarbete någon del av kravbilderna. En bredare involvering av andra myndigheter än SSM i haveriberedskapen, liksom för fysiskt skydd, är en utmaning som kommer att behöva hanteras av samhället i stort och av berörda myndigheter.

Acceptans för ny kärnkraft

Ett scenario med ny kärnkraft på nya platser förutsätter att målkonflikter kan lösas och att det finns en acceptans hos allmänheten. Det finns ett brett stöd hos allmänheten för kärnkraft i de kommuner där det idag finns reaktorer. Byggnation av kärnkraftsreaktorer på andra platser än idag förutsätter att det finns en lokal acceptans. Den lokala acceptansen är viktigt eftersom kärnkraft inte kan byggas utan godkännande från kommunen. Acceptans är tillsammans med säkerhet- och beredskapsfrågor, transport och logistik, anslutning till transmissionsnätet samt möjligheter till avsättning för kylvatten en av de faktorer som kan påverka förutsättningarna för antalet lämpliga platser för nya kärnkraftsreaktorer.

Avfallssystemet behöver dimensioneras om

Systemet för avfallshantering är dimensionerat utifrån det avfall som dagens reaktorer kommer generera under såväl drift som avveckling, det gäller också vid drifttidsförlängning. Nya reaktorer kräver ny dimensionering av avfallshantering och nya reaktorer kan också innebära nya aktörer. Avfallshantering behöver därför ses över för att nya aktörer ska kunna ingå i befintligt eller upprätta ett nytt system för hantering av kärnavfallet.

SMR skulle i framtiden kunna göra placeringen mer flexibel

Lokaliseringen av nya reaktorer kan bli mer flexibel med SMR-teknik. Till följd av den mindre storleken och den lägre effekten kan sådan teknik lämpa sig att installeras på fler tänkbara platser än storskaliga konventionella reaktorer. Det kan även vara möjligt med lägre krav kring tillgång till kylvatten eller tillgänglighet för stora transporter. Beredskapszoner för SMR skulle också kunna vara mindre vilket borde underlätta för användandet av värmeproduktionen i reaktorn om den kan förläggas närmare användaren. I den fråga kommer dock lokal acceptans spela en avgörande roll om reaktorer ska placeras i närheten av bebyggelse.

2.2 Havsbaserad vindkraft

Av den totala installerade effekten vindkraft i Sverige är 161 MW havsbaserad vindkraft³⁴. Den installerade effekten består av tre parker som tillsammans har 69 verk. Två av dessa parker befinner sig i elområde 4. Samtliga havsbaserade parker är belägna i svenskt territorialhav. Det finns även ytterligare verk placerade i insjön Vänern.

2.2.1 Teknisk potential

I tidigare arbeten från Energimyndigheten analyseras inte ”teknisk potential” i strikt mening. Oftast finns det antaganden om hur mycket utbyggnad som är möjligt utifrån andra begränsande faktorer som exempelvis ekonomi, vindförutsättningar och konkurrerande mark- och vattenanvändning.

Havsplanerna

Sveriges första havsplaner antogs 2022 efter ett förslag som arbetats fram av Havs- och vattenmyndigheten (HaV) tillsammans med flera andra statliga myndigheter. Områdena möjliggör en utbyggnad av vindkraft motsvarande cirka 23–31 TWh årlig produktionskapacitet, beroende på hur stor andel av områdena som kommer kunna användas med hänsyn

³⁴ Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se/> (hämtad 2024-06-20).

till andra intressen, exempelvis naturvård, totalförsvar och kulturmiljö. Antaganden om vindförhållanden, teknik och utformning av vindkraftsparkerna påverkar också utfallet av potentiell elproduktion.³⁵

I samband med att havsplanerna trädde i kraft 2022 beslutade regeringen om ett regeringsuppdrag att ta fram uppdaterade och mer expansiva havsplaner för havsbaserad vindkraft, vilka skulle möjliggöra 120 TWh energiutvinning per år. Uppdraget delades upp i två delar. I del 1 arbetade Energimyndigheten tillsammans med ett flertal berörda myndigheter för att uppnå samexistens och samverkanslösningar mellan energiutvinning och andra myndigheters sektorsintressen. Eftersom myndigheterna inte alltid kom överens om områdenas lämplighet pekades en större mängd potentiella områden ut utifrån tre olika områdesklassningar beroende på graden av möjlighet till samexistens i det aktuella området. Förslagen på områden för vindkraft i del 1 motsvarar totalt ungefär 411 TWh vindkraft vid 100 procent nyttjandegrad³⁶, vilket innebär en överplanerplanering men kan tolkas som en teknisk potential.

Del 2 av regeringsuppdraget att ta fram nya havsplaner hanteras av HaV inom ramen för havsplaneringsförordningen (2015:400) och kommer redovisas till regeringen senast den 31 december 2024. Än så länge har ett granskningsförslag presenterats som motsvarar 330 TWh vid 100 procent nyttjande i jämförelse med de 411 TWh som Energimyndigheten rapporterade till regeringen 2023 i grundförslaget. Övergripande gör HaV bedömningen att 15–20 procent av ytorna kommer utgöras av säkerhetsavstånd till sjöfartslederna. Om säkerhetsavståndet till sjöfartslederna räknas bort blir potentialen cirka 280 TWh havsbaserad vindkraft vid 100 procents nyttjandegrad.³⁷

Prognoser och scenarier

Det är svårt att uppskatta teknisk potential för havsbaserad vindkraft men i rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion*³⁸ antas en potential om 244 TWh per år från år 2050 i termer av produktionskapacitet. Potentialen utnyttjas dock inte fullt ut i någon av utvecklingsvägarna som analyseras i rapporten. Kostnadsläget för havsbaserad vindkraft är högre än för landbaserad vindkraft idag och kommer troligen vara så även i framtiden. Det är sannolikt faktorer så som teknisk risk och lönsamhet, snarare än den tekniska potentialen, som begränsar realiserbarheten för byggnation av havsbaserad vindkraft.

Utbyggnaden av havsbaserad vindkraft förväntas i Energimyndighetens prognoser ske först efter 2030.³⁹ I Energimyndighetens långsiktiga scenarier *högre elektrifiering*, *lägre elektrifiering* och *känslighetsfall industri* från 2023 redovisas ett spann mellan 21 och 57 TWh för den havsbaserade vindkraftsutbyggnaden till år 2050. Utbyggnaden i det *högre elektrifiering* minskade dock med 36 TWh när scenariot senare reviderades på grund av att elanvändning justerats, potentialen för kärnkraft ökat och subventionen av anslutningsavgiften för havsbaserad vindkraft tagits bort.⁴⁰

³⁵ *Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet*, Havs- och Vattenmyndigheten 2022.

³⁶ *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*, ER 2023:12.

³⁷ *Förslag till ändrade havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet Granskningsversion*, Diarienummer 2024-001194.

³⁸ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER2023:18.

³⁹ *Kortsiktsprognos vinter 2024*, ER 2024:10.

⁴⁰ *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

Svenska kraftnät uppdaterar regelbundet långsiktiga marknadsanalyser (LMA) för det svenska och nordeuropeiska kraftsystemet. Scenarierna används för att identifiera framtida utmaningar och behov i det svenska transmissionsnätet och för det synkrona nordiska kraftsystemet. I rapporten *LMA 2024* presenteras fyra scenarier som visar på olika utvecklingsvägar för kraftsystemet. I de förnybara scenarierna *Småskaligt förnybart* och *Elektrifiering förnybart* avvecklas kärnkraften, samtidigt som en högre potential för utbyggnad av förnybar produktion antas. I dessa scenarier beräknas en maximal potential för havsbaserad vindkraft till 120 TWh år 2035 liksom till år 2045 vilket är en betydligt högre nivå än i Energimyndighetens långsiktiga scenarier. I scenarierna *Elektrifiering planerbart* och *Färdplaner mixat* antas politiken styra kraftsystemet i en riktning som möjliggör driftförlängning av befintliga kärnkraftsreaktorer till 80 år och även byggnation av ny kärnkraft. I dessa scenarier beräknas en maximal potential av havsbaserad vindkraft till 90 TWh år 2035 liksom till år 2045.⁴¹

Ett annat sätt att uppskatta potential är att bevaka de projekt som är under utveckling i territorialhavet och Sveriges ekonomiska zon. Branschorganisationen Svensk Vindenergis sammanfattning⁴² från april 2024 visar att tillståndsgivna havsbaserade vindkraftparker potentiellt möjliggör cirka 9,5 TWh årsproduktion. Parker som tillståndsprövas möjliggör ungefär 209 TWh och projekt i samrådsfasen 234 TWh. Siffrorna innehåller delvis överlappande projekt och dubbelräknas därför i viss mån. Majoriteten av projekten är koncentrerade i elområdena 3 och 4. Även i elområde 1 och 2, i Bottenhavet och Bottenviken, finns projekt i alla faser från samråd till tillståndsgivna verk.

2.2.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Avsnittet beskriver de egenskaper som påverkar områdets potential för vindkraft till havs och utgår från regeringsuppdraget *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*⁴³ som Energimyndigheten redovisade 2023.

Fundament

Vattendjupet är huvudfaktorn när det gäller teknikval av fundament. Bottenfasta fundament kan användas upp till ett djup på cirka 60–70 meter medan ett större djup än så kräver flytande fundament. Flytande fundament används dock i mycket mindre utsträckning och befinner sig i en tidigare utvecklingsfas än bottenfasta fundament. Beroende på vilken teknik som är tillgänglig i framtiden blir olika områden till havs realiserbara. Om flytande teknik inkluderas finns det få fysiska begränsningar för havsbaserad vindkraft, men vissa bottenförhållanden kan vara mer tekniskt och ekonomiskt krävande för en etablering.

Vindförhållanden

Olika vindförutsättningar i de svenska havsområdena förändrar möjliga produktionspotentialer för vindkraftsetableringar. Generellt finns det goda vindresurser i svenskt territorialvatten och ekonomisk zon med bättre vindtillgång på Västkusten och i södra Östersjön och något sämre vindresurser i Bottenhavet och Bottenviken. I regel är vindhastigheten högre längre från kusten ute på öppet hav. Vindhastigheten är dock inte att betrakta som ett kriterium för uteslutning av vissa områden, flera olika samverkande faktorer kan göra att en vindkraftsetablering kan bedömas lönsam att uppföra trots relativt lägre vindresurser.

⁴¹ *Långsiktig marknadsanalys*, ärendenr 2023/4164, s.26–28.

⁴² Svensk Vindenergi, Statistik och prognos – Q1 2024, 2024. <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2024/04/Statistik-och-prognos-Q1-2024-2.pdf> (hämtad 2024-06-12).

⁴³ *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*, ER2023:12.

Nätanslutning

En etablering av havsbaserade vindkraftsprojekt kräver i regel en anslutning till det svenska transmissionsnätet för el, om inte anläggningen avser att koppla direkt till en industrianläggning, eller omvandla den producerade energin på plats till en annan energibärare, som till exempel vätgas. Principiellt är en elnätsanslutning inget absolut krav för en havsbaserad vindkraftspark, men infrastruktur som möjliggör transport av den producerade energin krävs. Sett till det fysiska anspråket kan det handla om en kabel eller en rörsträckning av något slag. Liksom för all annan nätanslutning behöver relevanta lagstiftningar följas och tillstånd sökas.

Motstående intressen

Att definiera vilka ytanspråk som havsbaserad vindkraft är oförenlig med är i hög utsträckning en värderingsfråga om i vilken utsträckning energiutvinning ska prioriteras i förhållande till andra intressen. Denna värderingsfråga har tydliggjorts sett till de utmaningar som uppkommit inom arbetet med havsplaneringen att ta fram nya havsplaner för att möjliggöra 120 TWh havsbaserad vindkraft. Avseende motstående intressen finns det ett antal områdestyper med starkt skydd för annan användning som i princip gör etablering av havsbaserade vindkraftparker mycket svår eller olämplig, exempelvis Natura 2000 områden, sjöfartens farleder och lekområden för hotade fiskarter. I vissa fall innebär kunskapsbrist att det på förhand inte går att bedöma effekterna av en havsbaserad vindkraftspark på dess omgivning. Exempelvis visar rapporten *Samexistens mellan havsbaserad vindkraft, yrkesfiske, vattenbruk och naturvård* på de utmaningar som finns avseende samexistens, men också att rätt tillämpningar gör att vindkraften kan samexistera med värdefulla naturvärden och stärka havens ekosystemtjänster.⁴⁴

Försvarsmakten och vindkraftsbranschen vill ofta verka på samma platser. Därmed krockar deras intressen. En studie från Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) har kartlagt motsättningsarna och lämnat förslag på hur de skulle kunna lösas. I rapporten studeras möjligheten till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft med syftet att ge förslag på hur en utökad utbyggnad av vindkraft ska kunna ske samtidigt som Försvarsmaktens intressen värnas. En av rapportens slutsatser är att myndigheter behöver genomföra mer planering för var vindkraft kan lokaliseras, ett arbete där Försvarsmakten bör involveras och delta.⁴⁵

Utifrån det försämrade säkerhetspolitiska läget beslutade riksdagen 2015 att återupprätta ett modernt totalförsvaret för att kunna hantera möjliga utmaningar och hot. Genom Sveriges inträde som fullvärdig medlem i försvarsalliansen Nato har det civila beredskapsarbetet blivit en central utgångspunkt för alliansens försvarsförmåga. Grundkraven för nationell motståndskraft omfattar bland annat en robust energiförsörjning samt resilienta transport- och kommunikationssystem. För att undvika särskild beredskapsplanering är det av vikt att ta hänsyn till totalförsvarets intressen tidigt i samhällsplaneringen. Vid planering av ny elproduktion och distribution är det viktigt att beakta planeringen av infrastruktur och placeringen av samhällsfunktioner i relation till varandra. Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) ger i sin vägledning stöd för hur hänsyn kan tas till totalförsvarets civila intressen i samhällsplaneringen.⁴⁶

⁴⁴ *Samexistens mellan havsbaserad vindkraft, yrkesfiske, vattenbruk och miljövärd – En kunskapssammanställning om förutsättningar och åtgärder*, Rapport 2023:2.

⁴⁵ Odell m.fl., *Möjligheter till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*, 2022.

⁴⁶ *Totalförsvarets civila intressen i samhällsplaneringen – med fokus på den fysiska planeringen enligt plan- och bygglagen*, MSB2370.

2.2.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som påverkar hur mycket havsbaserad vindkraft som kan byggas ut till 2030.⁴⁷

Hinder

Ekonomi

Havsbaserad vindkraft har idag en högre produktionskostnad än andra förnybara alternativ som exempelvis landbaserad vindkraft. Kostnaden skiljer sig mycket mellan olika projekt beroende på lokala förutsättningar. För befintliga tillstånd är det oklart om de kommer kunna realiseras på helt kommersiella grunder utan statligt stöd och riskdelning avseende exempelvis anslutning av parkerna till transmissionsnätet.⁴⁸

Regeländring ökar kostnaden för nätanslutning

Tidigare fanns ett tillägg i Svenska kraftnäts förordning att bygga ut transmissionsnätet till områden inom Sveriges sjöterritorium. Den skrivningen togs bort under 2023 i syfte att den som ansluter till elnätet ska stå för de kostnader som anslutningen orsakar. Ingen aktör hade hunnit teckna avtal om anslutning men för elproducenter till havs kan ändringen medföra att kostnader blivit högre än vad de först räknat med. Det kan medföra att färre parker realiseras trots att tillstånd har getts.⁴⁹

Teknik och kostnadsutveckling

Jämfört med landbaserad vindkraft är havsbaserad vindkraft fortfarande en mindre mogen teknik i Sverige i jämförelse med andra länder i Europa som kommit längre i utvecklingen. Teknikutveckling och i förlängningen kostnadsutvecklingen av den havsbaserade vindkraften kan förändra de ekonomiska förutsättningarna framöver, vilket har påverkan på projektens kostnadskalkyler och därmed vilka projekt som kan bli av med eller utan statlig riskdelning.

Komplexa och långa tillståndsprocesser

Den totala tillståndsprocessen för havsbaserad vindkraft i Sverige har enligt historiska data tagit lång tid, oftast kring 12–17 år. Det är därför inte realistiskt att nya projekteringar som ännu inte sökt tillstånd hinner bli tillståndsgivna, uppförda och driftagna innan utgången av 2030. I detta sammanhang ska det dock nämnas att den totala tiden för få alla nödvändiga tillstånd för en havsbaserad vindkraftsetablering för nyare projekt som tillkommit är betydligt kortare än den totala tiden för tillståndsprocessen för äldre projekt.

Det kommunala vetot gäller i territorialhavet

Etableringar inom territorialhavet behöver kommunal tillstyrkan vilket är den enskilt största faktorn för avslag av nya projekteringar inom territorialhavet.

⁴⁷ Se även *Hinder för utbyggnad av elproduktion Underlag till rapport Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*, ER:2023:18, s.56–68.

⁴⁸ Vattenfall anser till exempel att deras tillståndsgivna projekt ”Kriegers Flak” inte är lönsamt utan att stamnätet byggs ut till havs.

⁴⁹ Promemoria KN2023/03470.

Möjligheter

Befintliga tillstånd

Det finns idag ett stort antal projekteringar under utveckling och några av dessa har alla tillstånd klara för att börja byggas. En realisering av dessa projekt har potential att bidra med stora volymer av ny elproduktion till 2030 om investeringsbeslut kan fattas och byggnation påbörjas i god tid.

Olika typer av fundament

Den tekniska utvecklingen möjliggör för den havsbaserade vindkraften att etableras på allt djupare vatten. Även om fasta fundament dominerar idag börjar det också bli aktuellt med flytande fundament vilket möjliggör placeringar på djupare vatten som tidigare inte varit tillgängliga för utbyggnad av havsbaserad vindkraft. Detta gör så att parkerna kan etableras längre bort från land vilket innebär att det visuella avtrycket påtagligt minskar och chanserna att erhålla tillstånd kan öka.

En förbättrad tillståndsprocess och utbyggnad genom anvisningssystem

Den pågående utredningen om havsbaserad vindkraft ska bedöma och ta ställning till om Sverige på sikt bör övergå till tillståndsgivning för havsbaserad vindkraft genom ett anvisningssystem, liknande den typ av system som flera andra länder använder sig av.⁵⁰ Utredningen kommer att redovisas den 30 november 2024. Det är inte klarlagt om, eller hur snabbt, förslagen kommer att kunna implementeras, men syftet är att på sikt underlätta tillståndsgivningen för havsbaserad vindkraft och skapa bättre möjligheter att realisera potentialen för den havsbaserade vindkraften i Sverige.

2.3 Landbaserad vindkraft

Vindkraftens bidrag till den svenska elproduktionen finns sammanställd sedan början 1980-talet. Idag finns det vindkraftverk uppförda i 176 av Sveriges 290 kommuner⁵¹. I slutet av 2023 fanns det totalt 5 497 vindkraftverk med en installerad effekt på 16,2 GW i Sverige. Den totala elproduktionen från vindkraft uppgick under år 2023 till 34,1 TWh och utgjorde 21 procent av Sveriges totala elproduktion⁵². Under 2023 uppfördes och driftsattes 333 vindkraftverk. Den installerade effekten ökade med 1 946 MW vilket är ungefär i nivå med ökningen under åren 2021 och 2022. Sett till Sveriges fyra elområden har elområde 2 mest installerad effekt på 6 823 MW, följt av elområde 3 som har 3 969 MW vilket redovisas i Tabell 3.

⁵⁰ Tilläggsdirektiv 2024:33.

⁵¹ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/vindkraftsstatistik/?currentTab=0> (hämtad 2024-06-12).

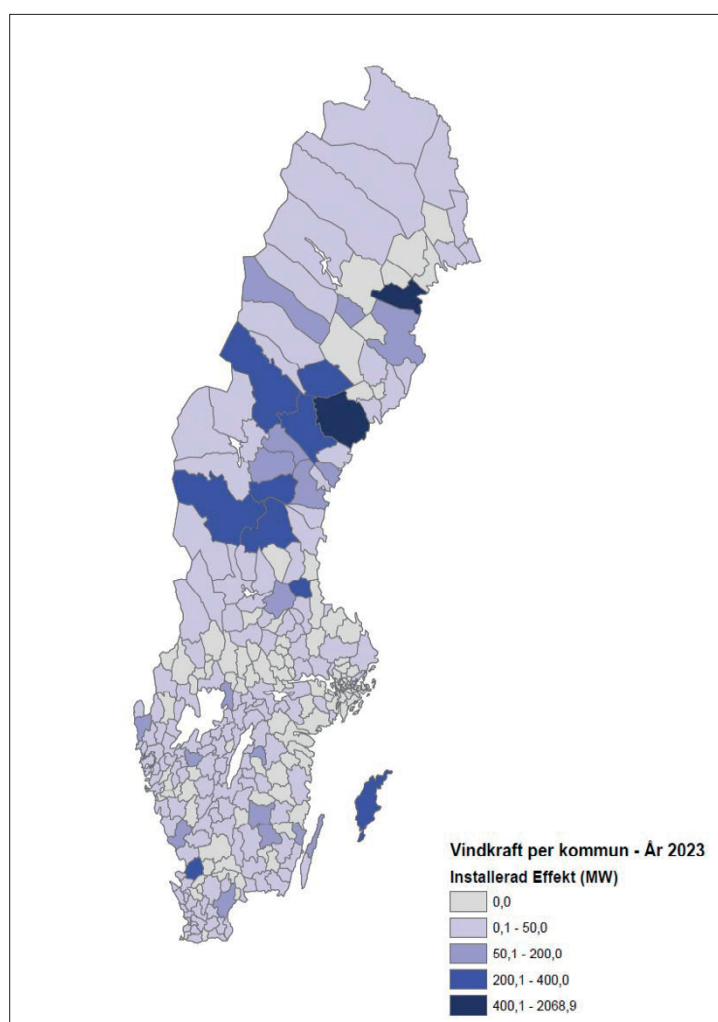
⁵² Energimyndigheten, Minskad elanvändning och elproduktion under 2023, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/minskad-elanvandning-och-elproduktion-under-2023/> (hämtad 2024-06-13).

Tabell 3. Den installerade effekten från vindkraft i Sveriges elområden.

| Elområde | Installerad effekt 2023 (MW) |
|----------|------------------------------|
| SE1 | 3 000 |
| SE2 | 6 823 |
| SE3 | 3 969 |
| SE4 | 2 431 |

Källa: Energimyndigheten⁵³

Det län som vid slutet av 2023 hade mest installerad effekt var Västernorrlands län med 2 983 MW följt av Norrbottens län med 2 459 MW. Piteå kommun, som ligger i Norrbottens län, var under 2023 den kommunen med mest installerad vindkraftseffekt med totalt 2 069 MW. Fördelning av effekt mellan Sveriges 290 kommuner visas i Figur 5.



Figur 5. Den installerade effekten från vindkraft i Sveriges kommuner [MW], 2023.

Källa: Energimyndigheten⁵⁴

⁵³ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/vindkraftsstatistik/?currentTab=0> (hämtad 2024-06-12).

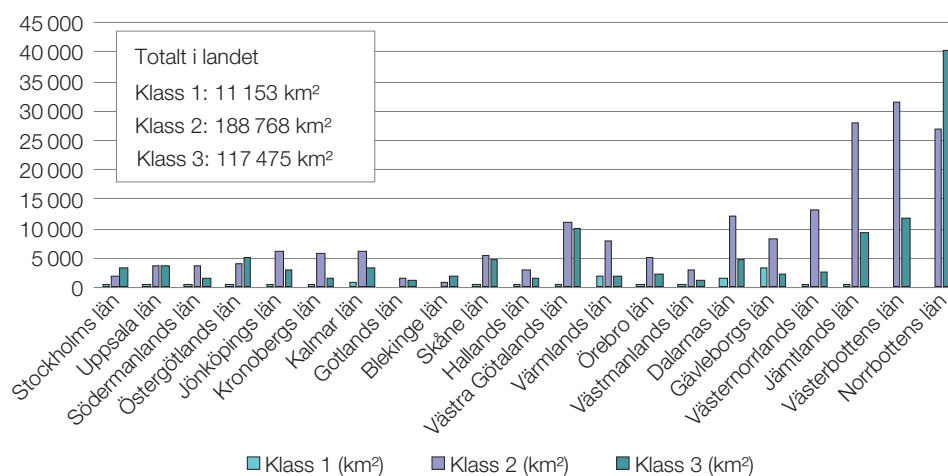
⁵⁴ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/vindkraftsstatistik/?currentTab=0> (hämtad 2024-06-12).

2.3.1 Teknisk potential

I tidigare arbeten från Energimyndigheten har inte teknisk potential analyserats i strikt mening. Oftast finns det antaganden om hur mycket utbyggnad som är möjligt utifrån andra begränsande faktorer inom exempelvis ekonomi, vindförsättningar och konkurrerande markanvändning.

Tidigare kartläggningar och riksintresseanspråk

År 2021 redovisade Energimyndigheten och Naturvårdsverket en översiktlig nationell geografisk analys av konfliktsituationen mellan vindkraft och andra markanvändningsintressen⁵⁵. Utifrån behovet av förnybar energi i den för tiden aktuella scenarioanalysen antogs ett nationellt utbyggnadsbehov på 80 TWh landbaserad vindkraft till 2040-talet. Utifrån det nationella utbyggnadsbehovet arbetades det fram ett regionalt utbyggnadsbehov och ett nationellt kartunderlag som ger en bild av intressekonflikter i olika storleksordningar och hur de fördelar sig över landet. Områdena delades in i tre olika klasser som alla uppfyller gemensamma storlekskriterier och vindkriterier, men vilka bedömdes ha olika möjligheter till samexistens. Områden som betecknades som klass 1-områden bedömdes i GIS-analysen som ”konfliktfria” områden eftersom inga markanvändningsintressen som ingick i analysen berördes, medan klass 2-områden bedömdes ha möjlighet till samexistens men att det krävdes närmare undersökning och utredning i regionala analyser för att avgöra detta. Klass 3-områden antogs ha inga eller små möjligheter till samexistens och betraktades därmed på ett övergripande plan som i princip omöjliga och olämpliga områden för byggnation av landbaserad vindkraft. Figur 6 visar den länsvisa fördelningen av områden i kvadratkilometer utifrån de tre olika klasserna.



Figur 6. Länsvis fördelning av klass 1, 2 och 3-typer enligt GIS-analysen (på 200 meters höjd och en medelvindeffekt på minst 400 W/m²).

Källa: Energimyndigheten och Naturvårdsverket⁵⁶

De riksintresseanspråk som pekar ut områden vilka anses vara särskilt lämpliga mark- och vattenområden för energiutvinning enligt 3 kapitel 8 § miljöbalken utgör också en viktig källa till tidigare genomförd kartläggning avseende vindkraft. Riksintresseanspråken ska skyddas mot åtgärder som kan försvåra tillkomsten eller nyttjandet av anläggningar för energiproduktion och energidistribution. Områden för riksintresse vindbruk ska per definition vara särskilt lämpliga för utvinning av elproduktion från vindenergi ur ett nationellt perspektiv. Riksintresset

⁵⁵ Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad, ER 2021:2.

⁵⁶ Ibid.

utgör ett statligt anspråk på marken. Det är dock först i samband med en prövning, och ett beslut om ändrad markanvändning, det blir fastställt om marken är ett riksintresse eller vilket riksintresseanspråk i det aktuella området som bedöms ha företräde.

De riksintressen som gäller idag pekades ut 2013 med ett mindre tilläggsbeslut år 2015. Se Tabell 4 för anspråkets nuvarande omfattning. Riksintresse vindbruk grundas på en GIS-analys där områden har identifierats genom uppställda kriterier kopplat till vindförhållanden, storlek på områden samt att vissa lagstadgade markanvändningsintressen har undantagits på förhand.⁵⁷

Tabell 4. Riksintresse vindbruk antal områden och area, 2013.

| | Antal | Area [km ²] |
|---------------|------------|-------------------------|
| Land | 284 | 3 507 |
| Vatten | 29 | 4 086 |
| Totalt | 313 | 7 593 |

Källa: Energimyndigheten⁵⁸

Prognoser och scenarier

Det här avsnittet visar på olika möjliga prognoser och scenarier för den landbaserade vindkraften från olika rapporter.

I rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion*⁵⁹ antas potentialer för landbaserad vindkraft på mellan 85 TWh och 165 TWh till år 2050, beroende på den utvecklingsväg som analyseras. Potentialantagandet baseras på antagande om olika maximala utbyggnadstakter per år beroende på utvecklingsväg.

De långsiktiga scenarierna högre elektrifiering, lägre elektrifiering och känslighetsfall industri från 2023 visar ett spann mellan 106 och 122 TWh till 2050 för den landbaserad vindkraftsutbyggnaden. De omkring 50 TWh vindkraft som förväntas vara på plats 2025 behöver dessutom ersättas med nya vindkraftverk när de befintliga turbinerna är uttjänta på grund av ålder.⁶⁰

Den senaste korttidsprognosen från Energimyndigheten visar på en kraftig utbyggnad av landbaserad vindkraft de kommande åren. Ökningen går från en total tillförsel på 33 TWh el från vindkraft 2022 till 53 TWh 2027.⁶¹

I Svenska Kraftnäs långsiktiga marknadsanalys (LMA2024) presenteras fyra scenarier som visar på olika utvecklingsvägar för kraftsystemet. I de förnybara scenarierna *Småskaligt förnybart* och *Elektrifiering förnybart* avvecklas kärnkraften, samtidigt som en högre potential för utbyggnad av förnybar produktion antas. I dessa scenarier beräknas en maximal potential för landbaserad vindkraft till 110 TWh år 2035 och 180 TWh till år 2045. I scenarierna *Elektrifiering planerbart* och *Färdplaner mixat* antas politiken styra kraftsystemet i en

⁵⁷ Energimyndigheten, *Riksintresse vindbruk 2013*, 2013.

⁵⁸ Ibid.

⁵⁹ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER2023:18.

⁶⁰ *Scenarier över Sveriges energisystem 2023*, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

⁶¹ *Kortsiktsprognois vinter 2024*, ER 2024:10.

riktning som möjliggör driftförlängning av befintliga kärnkraftsreaktorer till 80 år och även byggnation av ny kärnkraft. I dessa scenarier beräknas en maximal potential av landbaserad vindkraft till 85 TWh år 2035 och 100 TWh till år 2045.⁶²

Enligt Svensk Vindenergis prognos från april 2024 för vindkraftsutbyggnaden fram till 2026 kommer det ske en kraftig utbyggnad där normalårsproduktionen under 2026 kommer uppgå till 55 TWh. I prognosen sammanfattar Svensk Vindenergi att tillståndsgivna landbaserade vindkraftparker potentiellt möjliggör omkring 13 TWh årsproduktion, parker som tillståndsprövas cirka 22 TWh och projekt i samrådsfasen cirka 27 TWh.⁶³

Projekt under utveckling enligt Vindbrukskollen

Vindbrukskollens kartapplikation och databas visar en ögonblicksbild över planerad och etablerad vindkraft i Sverige. De landbaserade vindkraftsprojekteringar som är i en tillstånd-process respektive har beviljade tillstånd uppgår till 187 projekteringsområden med totalt 3 604 vindkraftverk.⁶⁴ Dessa har kommit olika långt i tillståndprocesserna fördelat enligt Tabell 5.

Tabell 5. Antal vindkraftverk under utveckling.

| Status | Antal verk | Antal projekteringsområden |
|--------------------|------------|----------------------------|
| Samråd | 1 487 | 67 |
| Under prövning | 570 | 32 |
| Beviljat tillstånd | 1 433 | 74 |
| Under överprövning | 138 | 13 |

Källa: Energimyndigheten och Länsstyrelserna⁶⁵.

Det saknas underlag kring hur stor installerad maxeffekt och beräknad årsproduktionen dessa projekteringar har eftersom informationen utgår från miljötillståndet där enbart totalhöjden anges. Mer än hälften av de tillståndsgivna projekteringarna har ett lagakraftvunnet tillstånd år 2000 eller tidigare och skulle kunna vara föremål för ansökan om ändringstillstånd, förlängning av igångsättningstid eller redan vara under byggnation. Det innebär även att det förekommer en del tillståndsgivna projekteringar med en maximal totalhöjd om 150 meter, uppskattningsvis ett 15-tal, som troligen inte kommer att byggas inom befintligt tillstånd på grund av olönsamhet. De 23 projekteringar som är under byggnation i dagsläget anges ha en planerad driftsättning mellan år 2024–2026.

Vindkraftverk uppförda runt 2010 och tidigare har en certifierad teknisk livslängd bedömt till 20 år⁶⁶. Den fysiska livslängden kan dock vara längre, varför det är brukligt att tala om en livslängd på 20–25 år. Det kan betyda att en fjärdedel av dagens driftsatta verk har nått sin certifierade tekniska livslängd fram till mellan år 2030–2035 och mer än hälften fram

⁶² Långsiktig marknadsanalys, ärendenr 2023/4164, s.26–28.

⁶³ Svensk Vindenergi, Statistik och prognos – Q1 2024, 2024. <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2024/04/Statistik-och-prognos-Q1-2024-2.pdf> (hämtad 2024-06-12).

⁶⁴ Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se> (hämtad 2024-10-08).

⁶⁵ Ibid.

⁶⁶ Återbruk och återvinning av vindkraftverk En förstudierapport om kommande generationer av vindkraft, ET 2016:18, s. 8.

till år 2035–2040. Majoriteten av verken är belägna i elprisområde SE3 följt av SE4. Det kan finnas möjligheter för så kallad generationsväxling för flera av dessa uppförda verk, det vill säga att byta ut till modernare och mer effektiva verk i samma geografiska område. Se fördelningen i Tabell 6.

Tabell 6. Vindkraftverk som uppförts fram till år 2015 som kan vara aktuella för generationsväxling.

| Antal verk | År för uppförande | Beräknad utgång av certifierad teknisk livslängd |
|------------|-------------------|--|
| 514 | 2004 och tidigare | Redan uppnådd – 2029 |
| 832 | 2005–2010 | 2025–2035 |
| 1 618 | 2011–2015 | 2031–2040 |

Källa: Energimyndigheten och Länsstyrelserna.⁶⁷

2.3.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

I det följande avsnittet resoneras kring vilka områden som har potential för utbyggnad av landbaserad vindkraft. Först ges en översiktlig beskrivning av vilken konkurrerande markanvändning som exkluderats i analysen och därefter beskrivs andra viktiga förutsättningar för utbyggnad.

Motstående intressen och konkurrerande markanvändning

Potentialbedömningarna har sin utgångspunkt i arbetet med Vindkraftsstrategin. Klassningen av de motstående intressena har uppdaterats, ändrats och kompletteras eftersom GIS-analysen inom strategin genomfördes 2020. Det har även gjorts anpassningar av den tidigare analysen för att klassningen ska följa det här uppdragets inriktning. Endast områden ”som omöjliggör” en utbyggnad har exkluderats i potentialbedömningen. I Vindkraftsstrategin motsvarades detta av de så kallade klass 3-områdena, i den analys som genomförts inom ramen för detta uppdrag har dock en annan definition av ”omöjliga” områden gjorts än den klassning som användes i den GIS-analys som genomfördes inom ramen för arbetet med Vindkraftsstrategin.

Generellt är det svårt att i en kartläggning ta hänsyn till intressen som består av många olika mindre områden som inte syns på karta i nationell skala. Den följande klassningen behöver betraktas i ljuset av detta. Avvägningarna kan i denna typ av översiktlig GIS-analys bara vara övergripande och det är inte tänkt att bedömningen av potential ska föregå en miljöprövning där intressekonflikter utreds och avgörs på ett fullständigt sätt.

Följande markområden har i den genomförda GIS-analysen bedömts vara omöjlig markanvändning för vindkraft på land:

- **Försvar** – Rikssintressen i havet och på land samt stoppområden för vindkraftverk. Det finns ytterligare intressen som kan innehålla höjdbegränsningar men dessa bedöms inte omöjliggöra utbyggnad eftersom det i praktiken finns många vindkraftverk etablerade inom sådana områden i dagsläget.
- **Infrastruktur** – All markanvändning som redan är bebyggd undantas. Det gäller all fysisk infrastruktur, tätorter, småorter, bostäder, fritidshusområden, vägar, järnvägar, elnätsinfrastruktur, med mera. Vidare bedöms befintlig markanvändning som gör en etablering fysisk

⁶⁷ Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se> (hämtad 2024-09-18).

svårt att genomföra som omöjliga, till exempel grustäkter, gruvområden, torvtäkter, och så vidare.

- **Naturskydd och kulturmiljö** – Områden som har starkt skydd i miljöbalken och andra (internationella) regelverk kan göra att en etablering av vindkraftverk blir svår att realisera. Detta gäller till exempel Natura 2000-områden, nationalparker, naturreservat, obrutet fjäll, kulturresevat, med flera.

En del av den konkurrerande markanvändning behöver dessutom en buffertzona. Det gäller till exempel områden som är nära platser där människor bor och vistas (tätorter, småorter, bostäder, fritidshusområden med mera) och där vedertagna ljud och skuggningsgränser behöver uppfyllas. Även viss infrastruktur är i behov av skyddsavstånd som till exempel elnätinfrastruktur. Gällande buffertzonernas storlek används i första hand de bedömningar som användes inom arbetet med Vindkraftsstrategin. De buffertzoner med störst påverkan är:

- tätort, småort, fritidshusområden och andra byggnader för bostad (800 m)
- vägnät (större vägar), järnvägsnätet och transmissionsnätet (250 m)

Försvarsmakten och vindkraftsbranschen vill ofta verka på samma platser. Därmed krockar deras intressen. En studie från Totalförsvarets forskningsinstitut (FOI) har kartlagt motsättningarna och lämnat förslag på hur de skulle kunna lösas. I rapporten studeras möjligheten till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft med syftet att ge förslag på hur en utökad utbyggnad av vindkraft ska kunna ske samtidigt som Försvarsmaktens intressen värnas. En av rapportens slutsatser är att myndigheter behöver genomföra mer planering för var vindkraft kan lokaliseras, ett arbete där Försvarsmakten bör involveras och delta.⁶⁸

I avsnittet om havsbaserad vindkraft beskrivs att det är viktigt att beakta planeringen av infrastruktur såsom ny energiproduktion, energidistribution och placering av andra viktiga samhällsfunktioner i relation till varandra ur ett totalförsvarsperspektiv. Detsamma gäller för landbaserad vindkraft. I arbetet med upprustning av totalförsvaret kan den civila beredskapsstrukturen komma att förändras och påverka vad som bedöms vara förenlig markanvändning idag. Den här kartläggningen har inte gjort avvägningar utifrån totalförsvarets civila delar annat än att beaktat de riksintressen och områden av betydelse som MSB har pekat ut som omöjlig markanvändning.

Vindförhållanden

Ett områdes vindförutsättningar är avgörande för hur mycket energi en vindkraftsanläggning kan omvandla. Vindförhållandena har därmed ett stort inflytande på ett projekts produktionskostnader samt hur många likartade vindkraftverk som behövs för att producera en viss mängd el per år och påverkar därmed ett projekts totala kostnadskalkyl. Vindhastigheten är dock inte att betrakta som ett kriterium för uteslutning av vissa områden, flera olika samverkande faktorer kan göra att en vindkraftsetablering kan bedömas lönsam att uppföra trots relativt lägre vindresurser.

Elnätsanslutning

I likhet med all elproduktion är vindkraft på land beroende av en avsättning för den producerade elen och därmed beroende av en elnätsanslutning. Inom områden där det finns utbyggt nät med ledig kapacitet utgör det ett mindre hinder men inom områden där det motsatta

⁶⁸ Odell m.fl., *Möjligheter till samexistens mellan Försvarsmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*, 2022.

gäller och där nätet behöver byggas ut innebär det ofta en utmaning. Om produktion och elanvändning inte ligger inom samma geografiska områden kan dessutom förstärkningar inom transmissionsnätet utöver den direkta anslutningen av vindkraftsanläggningarna behövas.

2.3.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket landbaserad vindkraft som kan byggas ut till 2030.

Hinder

Begränsningar i elnäten

Transmissions- och regionnäten är idag till stor del redan fullt nyttjade vilket skapar begränsningar vid anslutning av ny elproduktion.

Ej ianspråktagna tillstånd

Det finns ett antal äldre tillståndsgivna projekteringar där höjdbegränsningen i tillståndet gör att projekten inte längre är lönsamma att etablera. Även om det är möjligt att söka ändringstillstånd för dessa projekteringar behöver det föregås av en ny tillståndsprövning och kommunal tillstyrkan, vilket kan medföra ett avslag eller att parken inte driftsätts innan 2030.

Kommunala vetot

I rapporten *Vindkraftens tillstånd 2021*⁶⁹ framgår att det kommunala vetot är enskilt största hindret för etablering av vindkraft. Eftersom kommunen kan lägga in sitt veto när som helst under tillståndspröven finns det risk att flera av de pågående tillståndsprövningarna inte kommer få kommunal tillstyrkan.

Ytanspråk och målkonflikter

Det krävs samexistenslösningar mellan vindkraft och andra intressens markanvändning för en fortsatt hållbar utbyggnad av vindkraften. Intressen som konkurrerar om samma mark som vindkraften eller riskerar att bli störda är bland annat naturvård, kulturmiljö, totalförsvarsintressen och renskötsel.⁷⁰

När det gäller generationsväxling⁷¹ av äldre verk finns utmaningar med att uppföra högre verk på platsen på grund av konflikter med andra intressen och behovet av att söka nya tillstånd. Ägandeskapet av den tidiga vindkraften är mer uppdelat än den som tillkommit senare, vilket kan försvåra framtida investeringar och processen för att genomföra generationsväxling.

Tillgång till kompetens

Inom energibranschen finns det en oro för den egna kompetensförsörjningen och elektrifieringen i stort. Vindkraftsbranschen är inte isolerad utan konkurrerar om kompetenser från närliggande branscher som verkar inom energiomställningen där konkurrensen om nödvändiga

⁶⁹ *Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30*. ER 2022:16, s. 38.

⁷⁰ *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*, ER2021:02.

⁷¹ Energimyndigheten och Naturvårdsverket, *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling*, 2021, s. 10.

kompetenser är hög. Efterfrågade kompetenser är främst ingenjörer, projektledare, planerare, jurister och analytiker.⁷²

Möjligheter⁷³

Befintliga projekteringar

Etablering av landbaserad vindkraft har potential att bidra med ett stort tillskott av elproduktion till år 2030 utifrån förhållandevis korta etableringstider, inarbetade arbetssätt, låga kostnader och ett stort antal projekt i olika faser i etableringsprocessen. Många projekt är redan nära att erhålla alla nödvändiga tillstånd för att kunna påbörja byggnation.

Generationsväxling

Det kommer oundvikligen bli aktuellt med generationsväxling av en stor andel befintlig vindkraft omkring år 2030. Möjligheterna och potentialen att nyttja befintlig infrastruktur och mark vid redan etablerade platser i stället för att etablera motsvarande ny vindkraft på andra oexploaterade platser behöver kunna tas tillvara i högre utsträckning i Sverige. Det behöver därför utvecklas förutsättningar för en generationsväxling av vindkraft som genomförs mer effektivt och därmed möjliggör en resurseffektiv, robust och långsiktig modernisering av elsystemet.

Rapporten *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling*⁷⁴ visar möjligheterna och hur stor påverkan på elproduktionen generationsväxling kan ha, framför allt i södra Sverige där vindkraften byggdes i ett relativt tidigt skede. De cirka 1 500 vindkraftverk som enligt rapporten är aktuella för generationsväxling under 2020, 2025 och 2030 har en total installerad effekt på cirka 2 GW och en sammanlagd årsproduktion på cirka 4,5 TWh. Rapporten visar att den snabba teknikutvecklingen med större turbiner och högre torn innebär att en generationsväxling med bibehållen eller högre elproduktionen kan nå genom att 100 nya verk kan ersätta 1 500 äldre vindkraftverk.

Energiplanering

Det kommunala vetot är den enskilt största anledningen till att nya vindkraftsprojekteringar samt ändringsbeslut av äldre projekt avseende högre totalhöjd blir avslagna. Stärkt energiplanering är i detta sammanhang en möjliggörare för lokal och regional utveckling och har potential att underlätta för lokala och regionala beslutsfattare i deras långsiktiga utvecklingsarbete. För att åstadkomma en stärkt energiplanering finns det ett behov av vägledning, tillhandahållande av planeringsunderlag, kompetenshöjning och kunskapsstöd samt utveckling av regionala och mellankommunala samarbeten kring att planera för den framtida elförsörjningen. Ett led i en stärkt energiplanering är den vägledning för kommunal energiplanering Energimyndigheten tagit fram och som lanserades i juni 2024⁷⁵.

⁷² Svensk Vindenergi, *Kompetensförsörjning för vindkraftsbranschen. Industrin vill se snabbt utbyggd vindkraft*, 2023.

⁷³ Se även *Hinder för utbyggnad av elproduktion Underlag till rapport Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*, ER 2023:18, s. 60–61.

⁷⁴ Energimyndigheten och Naturvårdsverket, *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling*, 2021, s. 28.

⁷⁵ Energimyndigheten, *Vägledning för kommunal energiplanering*, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/samhallsbyggnad-och-energiplanering/vagledning-for-kommunal-energiplanering/> (hämtad 2024-08-27)

2.4 Solenergi

Solenergianläggningar i form av solfångare och solcellspaneler har olika förutsättningar i Sverige. Elproduktion från sol i form av anläggningar med solceller har ökat kraftigt de senaste åren och kommer troligtvis att fortsätta öka. Däremot är solvärme från solfångare en marknad som till stor del avstannat i Sverige. En förklaring till utvecklingen är att investeringsstödet år 2011 inriktades mot att enbart stödjade installation av solceller och inte solfångare. Beskrivningen av kartläggningskriterier för solenergi återspeglar främst potentialen för solkraft.

I nuläget uppgår den totala installerade effekten solkraft till ungefär 3,9 GW för Sverige som helhet⁷⁶. Sveriges solkraftproduktion är fortfarande relativt liten jämfört med andra kraftslag. År 2023 producerades 3 TWh solkraft i Sverige vilket motsvarade 1,9 procent av den totala elproduktionen.

De fem mest solcellstäta kommunerna sett till installerad effekt per landareal (Watt per kvadratkilometer) är Sundbyberg, Solna, Malmö, Burlöv och Stockholm. Sammanlagt fanns det 15 kommuner i landet med mer än 200 kilowatt per kvadratkilometer 2023.

Totalt fanns det strax över 250 000 solcellsanläggningar i Sverige 2023. Fördelningen mellan olika effektklasser för nätanslutna solcellsanläggningar beskrivs i Tabell 7.

Tabell 7. Nätanslutna solcellsanläggningar, antal och installerad effekt per effektklass, 2023.

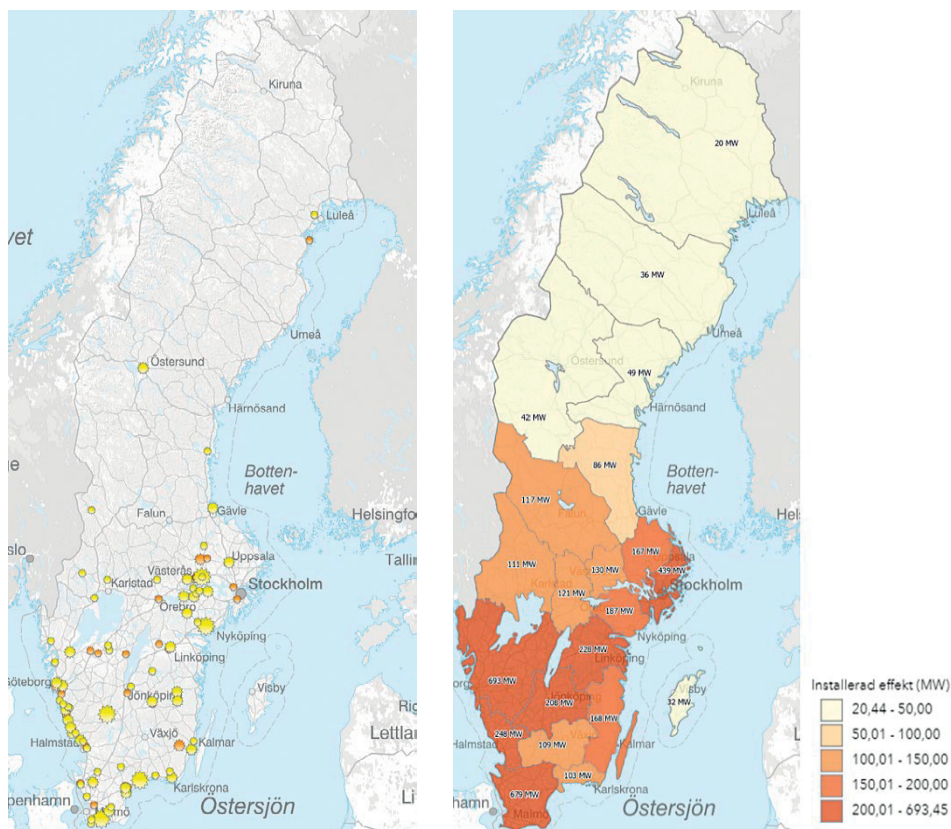
| Effektklass | Antal | Installerad effekt [MW] |
|------------------|---------|-------------------------|
| < 20 kW | 228 262 | 2 400 |
| 20 kW – 1 000 kW | 23 265 | 1 308 |
| > 1 000 kW | 99 | 263 |
| Totalt | 251 626 | 3 973 |

Källa: Energimyndigheten⁷⁷

Ungefär 60 procent av den installerade effekten finns i mindre anläggningar med en installerad effekt på under 20 kW. Dessa rör sig främst om anläggningar på villatak. Endast 7 procent av total installerade effekten utgjordes av större solcellsparker (över 1 MW) år 2023. Av den totala installerade effekten är det flesta av uppförda anläggningarna installerade i södra Sverige. Uppgifter om uppförda solcellsanläggningars fördelningar över landet samt installerad effekt per län visualiseras i Vindbrukskollen och visas i Figur 7.

⁷⁶ Energimyndigheten, Över 250 000 installerade solcellsanläggningar i Sverige, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/over-250-000-installerade-solcellsanlaggningar-i-sverige/> (hämtad 2024-06-14).

⁷⁷ Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/natanslutna-solcellsanlaggningar/> (hämtad 2024-10-07)



Figur 7. Uppförda solcellsanläggningar över 0,5 MW på marken (gul sol) och på tak (orange sol) och installerad effekt per län.

Källa: Energimyndigheten och Länsstyrelserna⁷⁸

2.4.1 Teknisk potential

El från solceller är en av de förnybara teknikerna som går snabbast att bygga ut. I Energi-myndighetens rapport *Utvecklingsvägar för elproduktion*⁷⁹ gjordes uppskattningar kring potential för solkraft med utgångspunkt i tidigare potentialuppskattningar samt formulerade strategiska mål såsom det i REpowerEU⁸⁰ i EU-strategin för solenergi⁸¹. Utbyggnaden av solkraft sker både byggnadsintegrerat (tak och fasad) på villor, kommersiella och offentliga fastigheter, samt på mark (solparker). Dessa ytor skiljer sig i inte bara i teknisk potential (olika typer av ytor) men även i form av drivkrafter och regelverk när det gäller installation, samt kostnader och tekniska aspekter. Hur mycket av den tekniska potentialen som är praktisk genomförbar, och inom vilka tidsramar, beror på ett flertal olika faktorer.

⁷⁸ Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se> (hämtad 2024-09-18).

⁷⁹ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER2023:18.

⁸⁰ Europeiska kommissionen, Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Europeiska rådet, rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén Planen REPowerEU, 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0230> (hämtad 2024-10-03). (Presenterades av EU-kommissionen den 18 maj 2022 med anledning av Rysslands krig mot Ukraina.)

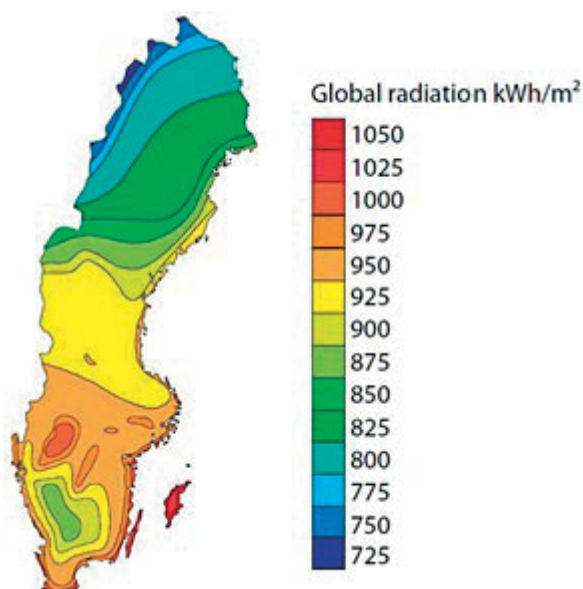
⁸¹ Europeiska kommissionen, Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén En EU-strategi för solenergi, 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221> (2024-10-03) (I strategin föreslås installationstakten för solcellsanläggningar inom EU öka med målet att över 320 GW solenergi ska vara i drift senast 2025 och nästan 600 GW senast 2030.)

Några av de faktorer som påverkar är:

- Solinstrålning
- Lutning och väderstreck
- Verkningsgrad
- Systemdegradering
- Systemförluster

Solinstrålning

Globalstrålningen (direkt och indirekt solinstrålning) i Sverige skiljer sig relativt mycket mellan olika delar av landet.⁸² Figur 8 visar att medlet för globalstrålningen över Sverige under ett år varierar mellan 725–1 050 kWh/m². Normalvärdet för utbytet solelproduktion för svenska förhållanden är 850–950 kWh/kWp.⁸³



Figur 8. Medel globalstrålning i Sverige över ett år.

Källa: SMHI⁸⁴, bearbetat av International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme⁸⁵

Även instrålningen över året varierar väldigt mycket. Sommarmånaderna juni och juli har betydligt högre instrålning än vintermånaderna december och januari. Däremot är verkningsgraden för solceller högre vid lägre omgivningstemperaturer (vårvinter och höst) vilket gör att skillnaden i elproduktion över året är mindre än skillnaden i instrålning. Sammantaget kan skillnaderna i solinstrålning påverka möjligheterna för vart utbyggnation av solkraft är lönsam att placera.

⁸² Hinder för utbyggnad av elproduktion Underlag till rapport Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov, ER 2023:18, s. 32.

⁸³ Kilowatt peak (kWp) eller kilowatt topp effekt (kWt) är topp effekten för en solcellsanläggning och summan av märkeffekten på alla solcellsmoduler som ingår i anläggningen.

⁸⁴ SMHI, Klimatindikatorer – solinstrålning, 2023. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841> (hämtad 2024-10-03)

⁸⁵ International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, *National Survey Report of PV power applications in Sweden 2023, 2024*, s.30.

Lutning och väderstreck

Energiutbytet för solceller påverkas av panelernas lutning och orientering vilket i sin tur påverkar potentialen. Solceller som vetter åt söder har generellt störst energiutbyte men även öst- och västligt orienterade solceller kan vara fördelaktiga för ett energiutbyte matchat mot samhällets elanvändning.

Störst potential generellt har solpaneler placerade i söderläge med en vinkel på mellan 30–50 grader. Den optimala lutningen skiljer sig beroende på var i landet anläggningen är placerad eftersom solinstrålningens vinkel är olika från norra till södra Sverige. Dock påverkar lutning och väderstreck den tekniska potentialen relativt lite utifrån att solcellsinstallationen kan anpassas utifrån de mark- och solinstrålningsförhållanden som gäller för platsen. Lutning och väderstreck är snarare aspekter som kan påverka den ekonomiska potentialen, om platsens förutsättningar innebär att kostsamma anpassningar av anläggningen behöver ske.

Verkningsgrad

Modulverkningsgraden anger solcellernas effektivitet. Den kan skilja sig mellan solcellstekniker men kan även variera för solceller baserade på samma teknik. Verkningsgraden förändras över tid med utvecklingen av tekniken. Standard kiselsolceller har en verkningsgrad kring 20 procent.

Systemdegradering

En solcellsmodul som uppfyller de kvalitetskrav som finns har minst 30 års livslängd, dock sker en minskning av verkningsgraden till följd av åldring med ungefär 0,3–0,5 procent (relativt) per år. För en solcellsmodul med 20 procents verkningsgrad är det rimligt att anta en verkningsgrad efter 30 år på 17 procent⁸⁶.

Vårt nordiska klimat, med lägre instrålning och temperatur, är dock en fördel när det kommer till livslängd. Hög temperatur och hög instrålning är de två mest avgörande faktorerna som gör att en solcellsmodul åldras. Antagandet om 0,5 procent reduktion av verkningsgraden per år baseras på erfarenheter från betydligt soligare och varmare länder än Sverige och är därför troligen i överkant. Solcellerna i en svensk anläggning kan därför fungera väl betydligt längre än 30 år.⁸⁷

Systemförluster

Förlusterna för solcellssystemet som helhet omfattar främst förluster i kablage, växelriktare, snö eller smuts, samt skuggning av paneler.

2.4.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Svenska kraftnät konstaterar i sin Långsiktiga marknadsanalys att även om solkraften kan vara ett viktigt komplement i elproduktionen är potentialen i Sverige begränsad på grund av den låga produktionen under vinterhalvåret. Begränsningen minskar dock om den industriella elanvändningen tar fart vilket ökar behovet av el även under sommarhalvåret.

⁸⁶ $(20 \times (1 - 0,005 \times 30))$

⁸⁷ RISE, *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*, 2019.

Studier⁸⁸ har visat relativt stora skillnader i tidigare potentialutredningar bland annat på grund av vilka typer av ytor som inkluderas eller exkluderas. Det innebär att potentialspannet blir stort, 40 TWh – 120 TWh. Sammantaget har det bedömts finnas tillgängliga ytor motsvarande en kapacitet av 60 GW solkraft eller mer, beroende på tidshorisont och teknisk tillämpning. Det motsvarar en årlig elproduktion på omkring 60 TWh. Dock är det i praktiken mer komplext och målkonflikter och andra samhällsförutsättningar kan begränsa en storskalig utbyggnad av solkraft i Sverige.

I rapporten *utvecklingsvägar*⁸⁹ för elproduktion uppskattade Energimyndigheten utbyggnadstakten fram till 2050 utifrån två möjliga utvecklingsvägar. Den första visade en utbyggnadstakt för installerad effekt som kan tillgodose runt 12 procent av efterfrågan på el. Den andra motsvarar potentiell andel installerad effekt för Sverige för att möta det föreslagna strategiska målet inom REpowerEU. Sveriges andel av utbyggnadsmålen antogs utifrån landets andel av den totala installerade solkraftseffekten inom EU år 2020. I Tabell 8 redovisas utbyggnadstakterna för de olika utvecklingsvägarna tillsammans med fördelningen av installerad effekt i respektive elområde i Sverige. Den understryker att merparten av solkraften finns och kommer finnas i elområde 3 (Stockholm) och elområde 4 (Malmö).

Tabell 8. Solkraftens installerade effekt och elproduktion per elområde i Sverige år 2023, samt exempel på utbyggnadstakt 2030 utifrån två utvecklingsvägar.⁹⁰

| Elområde | Installerad effekt [MW] 2023 | Elproduktion [GWh] 2023 | REpowerEU [MW] mål 2030 | 12 procent Andel av efterfrågan [MW] 2030 |
|---------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| SE1 | 29 | 14 | 53 | 85 |
| SE2 | 204 | 110 | 835 | 1 331 |
| SE3 | 1 863 | 1 907 | 3 558 | 5 676 |
| SE4 | 1 877 | 1 067 | 3 581 | 5 713 |
| Totalt | 3 973 | 3 098 | 8 027 | 12 805 |

Källa: Energiföretagen⁹¹ och Statistikmyndigheten SCB⁹²

Tekniskt lämpliga tak och andra byggnadsytor

När det kommer till potentialen för tak, är den tekniska potentialen att betrakta som den tillgängliga potentialen eftersom en stor del av de befintliga takytorna inte är tillgängliga för solesinstallationer av olika skäl, exempelvis skuggning och fysiska hinder. Även byggnadstyp och omgivningsrestriktioner, takets utformning, ålder, beläggning och infästning är aspekter som påverkar lämpligheten att installera solceller på ytan.

I rapporten *Utbyggnad av sol i Sverige* summeras Sveriges totala potential för takmonterade solceller till ungefär 50 GW, vilket motsvarar omkring 49 TWh el per år som kan installeras

⁸⁸ Se exempelvis Energiforsk, *Utbyggnad av sol i Sverige*, 2017.

⁸⁹ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER2023:18.

⁹⁰ Fördelningen över elområden gjorts utifrån andel av installerad kapacitet vilket inte är den bästa metoden för att uppskatta potentialen för utbyggnad i norra Sverige. Historisk har utbyggnadstakten varit långsammare i Elområde 1 och 2 men potentialen för solkraft är förmodligen högre än vad historiska siffror visar.

⁹¹ Energiföretagen, *Energiåret 2023 Tabeller*, 2023. https://www.energiforetagen.se/496178/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/2023/energiaret-2023_tabeller.pdf (hämtad 2024-10-07)

⁹² Statistikmyndigheten SCB, *Elproduktion och elanvändning efter elområde*. Månad 2021M01-2024M07. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0108__EN0108A/EIEO/ (hämtad 2024-10-07)

på en nettoyta på ca 300 km². Solelinstallationer på byggnader behöver inte begränsas till enbart tak utan kan även integreras i byggnader på annat sätt, såsom i väggar, balkonger och i glas, vilket ökar potentialen ytterligare.

Anläggningar på mark

För en bedömning av teknisk potential för solcellsanläggningar på mark behöver en utgångspunkt vara vilken typ av markyta som kan betraktas som lämplig för att placera en solcellsanläggning på. Med liknande metodik som för byggnader kan ytor plockas bort där det finns hinder av olika slag. Exempelvis markytor som används för andra ändamål som skogsbruk eller jordbruk kan betraktas som mindre lämpliga men samtidigt finns det både underkategorier av marktyper och tekniker som gör att sådan mark inte helt bör uteslutas. Den tillgängliga ytan i Sverige är enorm, även om det införs avsevärda begränsningar.

I rapporten *Utbyggnad av sol i Sverige* konstateras att vid ett förenklat antagande som innebär att endast 1 procent av den totala ytan för ”Naturligt gräsbevuxen mark” (cirka 3,2 miljoner km²) är tillgänglig för fristående solcellsinstallationer kan en installerad effekt på ungefär 15 TWh nås. Ett liknande exempel för så kallade marginalmarker som är mark med lågt alternativvärde⁹³ visade att det finns ungefär 3 160 km² mark som är möjlig för markbaserad sol. Det motsvarar kring 120 TWh i årsproduktion.

Även om inte all yta lämpar sig för solceller på mark ger det en indikation på att markyta inte är en begränsande faktor.

Behov av elnät

Närhet till befintlig infrastruktur exempelvis elnät och vägar påverkar främst den ekonomiska potentialen för solenergianläggningar (både på tak och mark) eftersom det generellt gör att installationskostnaderna kan hållas nere. Kostanden för anslutning till elnätet blir högre ju längre dragningen till en elnätsanslutning behöver vara.⁹⁴

För att integrera solkraft i stor skala i energisystemet behöver sammanlagringseffekterna mellan solkraft och vindkraft nyttjas och solkraften behöver kompletteras med energilager och förbrukningsflexibilitet. Svenska kraftnät har fått in många ansökningar om anslutning av solkraftparker till elnätet och därför startat ett projekt med att ta fram en solkraftstrategi för anslutning⁹⁵. Arbetet startade i maj 2024 och syftar till att få fram en ändamålsenlig och effektiv hantering som möjliggör anslutning av solkraft till elnätet på ett samhällsekonomiskt sätt och med fortsatt hög driftsäkerhet.

För ärenden om anslutning till elnätet behövs i första hand dialog med och ansökan till lokalnät-/regionnätägare i området där anslutning önskas. Om regionnätägaren ser behov av att ansöka om ökad inmatning/uttag till stamnätet för att anslutning ska vara möjligt behöver regionnätägaren inkomma med ansökan till Svenska kraftnät.

⁹³ Mark som inte kan brukas för annat ändamål, exempelvis mark i träda, mark i närheten av vindkraftparker, deponier och nedlagda flygfält.

⁹⁴ *Metod för fastställande av skäligen anslutningsavgifter för uttag 16–25 A*, Ei PM2013:03.

⁹⁵ Svenska Kraftnät, Anslutning av solkraft, 2024. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/anslutning-av-solkraft/> (hämtad 2024-10-03)

Solvärme i mindre fjärrvärmenät

I en studie som Energimyndigheten publicerade 2022⁹⁶ visades att det fanns störst potential för storskalig solvärme i mindre fjärrvärmenät. I studien bedömdes mängden solvärme i det svenska fjärrvärmesystemet utifrån lönsamhet. Flera fall med olika förutsättningar modellerade potentiell solvärmeproduktion per år. Årsproduktionen av solvärme i basfallet uppgick till 170 GWh, vilket är en relativt liten del av fjärrvärmeproduktionen. Utfallet konstaterades kunna bli väsentligt större med rätt förutsättningar (för solvärme), som mest gav modellberäkningarna en total solvärmeproduktion som översteg 6 TWh per år. Faktorerna som påverkar är till stor del investeringskostnaderna för solvärme, men i lika hög grad handlar det om förutsättningarna för den övriga fjärrvärmeproduktionen.

2.4.3 Förutsättningar fram till 2030⁹⁷

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket solkraft som kan byggas ut till 2030.

Hinder

Solinstrålning

Beroende på belägenhet samt säsong skiljer sig globalstrålningen relativt mycket mellan olika delar av landet. Det kan påverka möjligheterna för vart utbyggnation av solkraft är lönsam att placera.

Planering

Kommuner och länsstyrelser behöver få stöd i frågor kring energiomställning och solkraft för att planeringen av utbyggnaden ska bli förutsägbar. Genom kommunal energiplanering och eventuellt utpekande av potentiella områden skulle det vara gynnsamt för framtida produktionsutveckling.

Motstående intressen

Anläggningar på mark kan möta motstånd om den påverkar andra intressen i anslutning till etableringsområdet. Det rör sig om bland annat totalförsvarets riksintressen och områden av betydelse för livsmedelsproduktion och skogsbruk samt höga miljö-, natur- och kulturvärden.

Ju mer tekniskt flexibel placeringen av en solcellspark är desto mindre är risken att den behöver placeras där den konkurrerar med alternativa markanspråk. Detta ger förutsättningar för att etablera solcellsanläggningar på ytor där behovet av att bygga annan infrastruktur är lågt.

Möjligheter

Korta ledtider

Utbyggnad av solkraft har hittills kunnat ske relativt snabbt jämfört med andra förnybara kraftslag. Takbaserade anläggningar möter sällan på motstånd och kan driftsättas relativt snabbt. Inom detaljplanerade områden kan det krävas bygglov för solenergianläggningar på byggnader. Tidsfristen för handläggning av dessa ärenden är korta jämfört med tillståndsansökningar för större elproduktionsanläggningar. För takbaserade anläggningar utanför

⁹⁶ *Solvärme i Sverige*, ER 2021:32.

⁹⁷ Se även *Hinder för utbyggnad av elproduktion Underlag till rapport Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*, ER 2023:18, s. 30–39.

detaljplanerade områden krävs det normalt inte bygglov men det kan finnas en utökad lovplikt i områdesbestämmelserna.

Ökad investeringstakt

Genom sjunkande kostnader för material, ett ökat intresse av att sänka sina elkostnader genom egen elproduktion samt styrmedelsförändringar finns goda möjligheter att fortsätta utbyggnaden av solelproduktion i landet.

Reglering av solenergi i byggnader

Utöver de krav som kommer i förnybartdirektivet och åtgärder som kommer av REpowerEU-planen finns andra regler från EU som syftar till att accelerera solenergi. I direktivet⁹⁸ (2024/1275) om byggnaders energiprestanda (EPBD) fastställs bland annat att hela byggnadsbeståndet ska uppnå nollutsläppsbyggnadskriterierna till 2050 och att medlemsländerna ska säkerställa en viss renovering av befintliga lokal- och bostadsbyggnader till 2030 och framåt. Direktivet innehåller även särskilda bestämmelser om solenergi i byggnader som innebär att medlemsstaterna ska säkerställa att vissa byggnader konstrueras så att deras solenergi-producerande potential optimeras. Exempelvis ska det säkerställas en utbyggnad av lämpliga solenergiinstallationer på byggnaders tak där det är tekniskt lämpligt och ekonomiskt och funktionellt genomförbart för:

- nya offentliga och lokalbyggnader
- befintliga offentliga byggnader
- befintliga lokalbyggnader som genomgår en större renovering eller annan åtgärd som kräver administrativt tillstånd
- nya bostadsbyggnader
- takförsedda bilparkeringar som angränsar till en byggnad

2.5 Vattenkraft

Vattenkraftens roll har varit relativt oförändrad sedan slutet av 1900-talet. Under ett år produceras med normal vattentillrinning cirka 65 TWh. De senaste trettio åren har vattenkraftens årsproduktion som högst varit cirka 79 TWh och lägst drygt 51 TWh, beroende på varierad tillrinning mellan åren. Idag är vattenkraften det kraftslag som i huvudsak bidrar till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom produktionen är möjlig att snabbt reglera. Den totala installerade effekten ligger på 16,4 GW men eftersom inte alla vattenkraftverk kan nyttjas fullt ut samtidigt är den totala momentana effekten cirka 13–14 GW, se Tabell 9.

En stor andel, cirka 92 procent, av den svenska vattenkraftskapaciteten finns i storskalig vattenkraft belägna i våra största älvar (från Luleälven i norr och Göta älv i söder). Det finns drygt 2 000 vattenkraftverk varav drygt 250 kraftverk bidrar med ungefär 98 procent av den installerade effekten.

Vattenkraft i form av pumpkraft har inte samma utbredning i Sverige. Totalt har det funnits fem pumpkraftverk, av dessa är två⁹⁹ aktiva idag med en installerad effekt på drygt 90 MW.

⁹⁸ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2024/1275.

⁹⁹ Lettens kraftstation (36 MW) och Kymmens kraftstation (55 MW) i Värmland.

Tabell 9. Vattenkraftens installerade effekt och elproduktion totalt och per elområde i Sverige år 2022.

| Elområde | Installerad effekt (GW) | Elproduktion (TWh) |
|----------|-------------------------|--------------------|
| SE1 | 5,4 | 22,6 |
| SE2 | 8,1 | 38,8 |
| SE3 | 2,6 | 7,6 |
| SE4 | 0,3 | 1,0 |
| Totalt | 16,4 | 70,0 |

Källa: Energimyndigheten och Statistikmyndigheten SCB¹⁰⁰

2.5.1 Teknisk potential

Den största potentialen för utbyggnad av vattenkraft i Sverige finns framför allt i national-älvarna¹⁰¹, vilka är skyddade enligt miljöbalken. Miljöbalkens skydd är ett tydligt exempel på hur en målkonflikt har hanterats på ett bestående sätt, där värdet av fritt strömmande vatten i de skyddade älvarna anses vara högre än andra samhällsvärden. Totalt skyddas 42 vattendrag mot vattenkraftsutbyggnad i miljöbalken.¹⁰² Utbyggnad av ytterligare vattenkraft kan därför anses begränsad av miljöbalkens nuvarande bestämmelser. Till viss del begränsar även det gällande regelverket och befintliga vattendomar vattenkraftens potential till vidareutveckling i form av effektivisering och effektutbyggnad i befintliga vattenkraftverk.

Effekthöjningar i befintlig vattenkraft

Det finns en potential för effekthöjningar och effektivisering av den befintliga vattenkraften. Enligt en analys av Sweco från 2016¹⁰³ finns potential för effektutbyggnad på omkring 3–4 GW i redan utbyggda älvräckor. Effekthöjningspotentialen utgår ifrån att kraftverken i en älvräcka kan anpassas efter ett dimensionerande kraftverk i älven och samköras på ett sådant sätt att alla aggregat körs för fullt utan att spilla vatten. Det ökade behovet av flexibilitet i elsystemet gör effekthöjningspotentialen i befintlig vattenkraft mer intressant än tidigare.

Effekthöjningsprojekt inom befintlig vattenkraft är kapitaltunga projekt med relativt långa ledtider vilket gör dem svåra att realiseras på kort sikt. Effektiviseringar kan ofta genomföras under ett halvår medan större effektutbyggnader kräver betydligt mer tid för byggnation. Det ökade behovet av balansering till följd av mer variabel elproduktion och förändrade förbrukningsmönster kan dock förbättra de ekonomiska incitamenten för att genomföra investeringar i effekthöjande åtgärder.

Det finns idag flera exempel på projekt som har kommit olika långt i processen. Vid Rengård kraftverk i Skellefteälven pågår byggnation av en ny produktionsenhet som planeras att tas i drift under 2024. Kraftverkets effekt kommer då att öka från 35 MW till cirka 70 MW.¹⁰⁴ Bland annat i Umeälven och Indalsälven finns projekt med ansökningar i domstol för olika

¹⁰⁰ Energimyndigheten och Statistikmyndigheten SCB, Bruttoproduktion, installerad effekt samt antal anläggningar fördelat på elområde. År 2015–2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105__EN0105A/AnlInstEffBrProd/ (hämtad 2024-10-07)

¹⁰¹ Torne älv, Kalixälven, Pite älv och Vindelälven. Vid Freden i Sarek år 1961 enades Naturvårdsdelegationen och Vattenfall om vilka älvar som kunde byggas ut och vilka som skulle bevaras.

¹⁰² 4 kap 6 § Miljöbalken.

¹⁰³ SWECO. *Rapport Effektutbyggnad Vattenkraft*, 2016

¹⁰⁴ Skellefteå Kraft, Satsning på Rengård för det förnybara energisystemet, 2024. <https://www.skekraft.se/om-oss/verksamhet/vattenkraft/rengard/> (hämtad 2024-09-17)

typer av utbyggnads- och effektiviseringsprojekt motsvarande ökning på cirka 100 MW.¹⁰⁵ I Luleälven har fler förstudier inletts för effektökning upp till 340 MW, om de slutligen genomförs kan de realiseras med början 2026 fram till 2032.¹⁰⁶

Pumpkraft

Pumpkraft är en energilagringsteknik som innebär att vatten pumpas upp till ett magasin när det finns ett överskott på el, där lagras sedan vattnet som lägesenergi för att vid tillfällen vid underskott på el släppas ned till en lägre nivå via en turbin. Fördelarna med pumpkraftverk är att tekniken är väletablerad, kan lagra el i stor skala och har en relativt hög verkningsgrad. Det finns flera likheter med pumpkraftverk och vanliga vattenkraftverk. Pumpkraftverk kan också användas för att tillhandahålla samma typ av flexibilitet. Detta innefattar systemtjänster som reglerkraft, frekvenshållning och rotationsenergi. Globalt är pumpkraften den energilagringsteknik som används mest, andelen är ungefär 90 procent av världsmarknaden.¹⁰⁷

På grund av geografiska förutsättningar har utbyggnaden av pumpkraftverk varit begränsad i Sverige. I Sverige har det funnits 5 pumpkraftverk, varav 2 är aktiva idag. Det största pumpkraftverket i Juktan (upp till 315 MW, cirka 30 GWh lagringskapacitet) är idag ombyggt till ett vanligt kraftverk, ägaren Vattenfall tittar dock på möjligheterna att åter ta pumpkraftverket i drift.¹⁰⁸ Pumpkrafttekniken utvecklas just nu för att utnyttja övergivna gruvor som energilager genom att lagra vatten och med hjälp av höjdskillnaden i gruvan producera el.¹⁰⁹ Potentialen skulle kunna vara stor i Sverige eftersom det finns flera övergivna gruvor och lösningen underlättas även av låg miljöpåverkan på lokala ekosystem.¹¹⁰

2.5.2 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket vattenkraften kan öka till 2030.

Hinder

Tillståndsprövningar

Möjlighet till effektökning i befintliga vattenkraftverk finns genom installation av turbiner med högre verkningsgrad och kapacitet att hantera mer vatten. Ett hinder för moderniseringar är begränsningar i befintliga vattendomar. Dessutom begränsas förändringar i befintlig vattenkraftsverksamhet av bestämmelser i 5 kap. 4 § miljöbalken vilka innebär att inga åtgärder tillåts som kan försämra vattenmiljön på ett otillåtet sätt eller äventyra möjligheter att uppnå miljö kvalitetsnormen (icke-försämringskravet). Ofta krävs en ny tillståndsprövning vilket ställer krav på samråd och miljökonsekvensbeskrivning.

¹⁰⁵ Uniper, Omfattande investering i Umeälven på 865 miljoner SEK för effektivare vattenkraft och stabilare svensk elförsörjning, 2022. <https://www.mynewsdesk.com/se/uniper/pressreleases/omfattande-investering-i-umeaelven-paa-865-miljoner-sek-foer-effektivare-vattenkraft-och-stabilare-svensk-elfoersorjning-3167642> (hämtad 2024-09-17)

¹⁰⁶ Vattenfall, Vattenfall planerar för ny vattenkraft i Sverige, 2023. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/vattenfall-planerar-for-ny-vattenkraft-i-sverige> (hämtad 2024-10-04)

¹⁰⁷ Power Circle AB, *Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser*, 2022.

¹⁰⁸ Vattenfall, Vattenfall tar Juktans pumpkraftverk till nästa steg, 2023. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/vattenfall-tar-juktans-pumpkraftverk-till-nasta-steg> (hämtad 2024-09-17)

¹⁰⁹ Wennberg, Mine Storage och Mälarenergi samarbete kring energilager. Energinyheter, 2022-09-10.

¹¹⁰ Power Circle AB, *Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser*, 2022.

Kapitaltunga investeringar

Effekthöjande åtgärder i kraftverk är relativt kapitalintensiva investeringar. Turbin- och generatorbyten sker med ungefär 50-årsintervall och normalt finns inga incitament för kraftverksägare att göra investeringar innan livslängden har uppnåtts.

Möjligheter

Ökade ekonomiska incitament för vattenkraftens förmågor

Vattenkraft fyller en viktig funktion i dagens och framtidens elsystem genom att leverera flexibel elproduktion och reglering på olika tidsskalor samt olika systemtjänster. Potentiellt kan nya ekonomiska incitament och ökat efterfråga på systemtjänster gynna utbyggnaden av vattenkraftseffekt i Sverige.

2.6 Övriga förnybara energikällor

Utöver de vanligast förekommande förnybara energislagen i Sverige omnämns även geotermisk energi, osmotisk energi, tidvattensenergi, vågenergi och annan havsenergi i förnybarhetsdirektivet. Den totala andelen tillförd energi från dessa förnybara energikällor till det svenska energisystemet är i nuläget obefintlig eller försumbar.

Av de uppräknade energislagen i det föregående stycket är idag enbart geotermi representerat i det svenska energisystemet. Anledningen till frånvaron av de övriga förnybara energikällorna kan i många fall förklaras av en låg teknikmognad (TRL¹¹¹), dålig lönsamhet, miljöfaktorer, begränsad fysisk potential inom Sveriges territorium och ekonomiska zon eller en kombination av flera anledningar. Det pågår däremot aktivt forskning inom flera av ovan nämnda områden, med Energimyndigheten som medfinansier. Bland annat avseende demonstrationsprojekt för havsenergitekniker samt kartläggningar av potentialen av exempelvis vågenergi och osmotisk energi. Svenska företag bedriver även ett antal projekt i andra länder inom dessa tekniker.¹¹²

2.6.1 Geotermisk energi

Gunnesboverket i Lund med en nominell effekt på 47 MW har varit i drift sedan 1985¹¹³. Det är idag den enda aktiva geotermiska anläggningen i Sverige. I anläggningen pumpas vatten upp via borrhål från en akvifär, som är belägen på cirka 700 meters djup. Det varma vattnet i värmekällan förser två värmepumpar med energi som tillförs till fjärrvärmenätet.¹¹⁴ Därefter pumpas det avkylda vattnet tillbaka nedströms i akvifären.¹¹⁵ År 2010 bidrog geotermi med 250 GWh till fjärrvärmenätet i Lund, vilket utgjorde 25 procent av den totala produktionen av värmeenergi på 1 000 GWh. Bidraget har varierat mellan åren vilket bland annat beror på förändrad akvifärtemperatur och att fler energikällor bidrar till fjärrvärmeproduktionen.¹¹⁶ År 2016 låg värmeeffekten från geotermianläggningen på 33 MW.¹¹⁷

¹¹¹ Förkortning för *Technology Readiness Level*.

¹¹² PRIMRE, Marine Energy Projects Database, 2024. https://openei.org/wiki/PRIMRE/Databases/Projects_Database (hämtad 2024-06-26)

¹¹³ Alm, Longtime Study of Geothermal Data From a Low Enthalpy Geothermal Heat Plant, i *Stanford Geothermal Workshop. Workshop Proceedings*, 1999, s. 1–2.

¹¹⁴ Gehlin, Andersson och Rosberg, Country Update for Sweden 2020, i *World Geothermal Congress. Congress Proceedings*, 2021, s. 3.

¹¹⁵ Krafringen, Gunnesboverket. <https://www.krafringen.se/om-krafringen/om-oss/vara-anlaggningar/gunnesboverket/> (hämtad 2024-10-08)

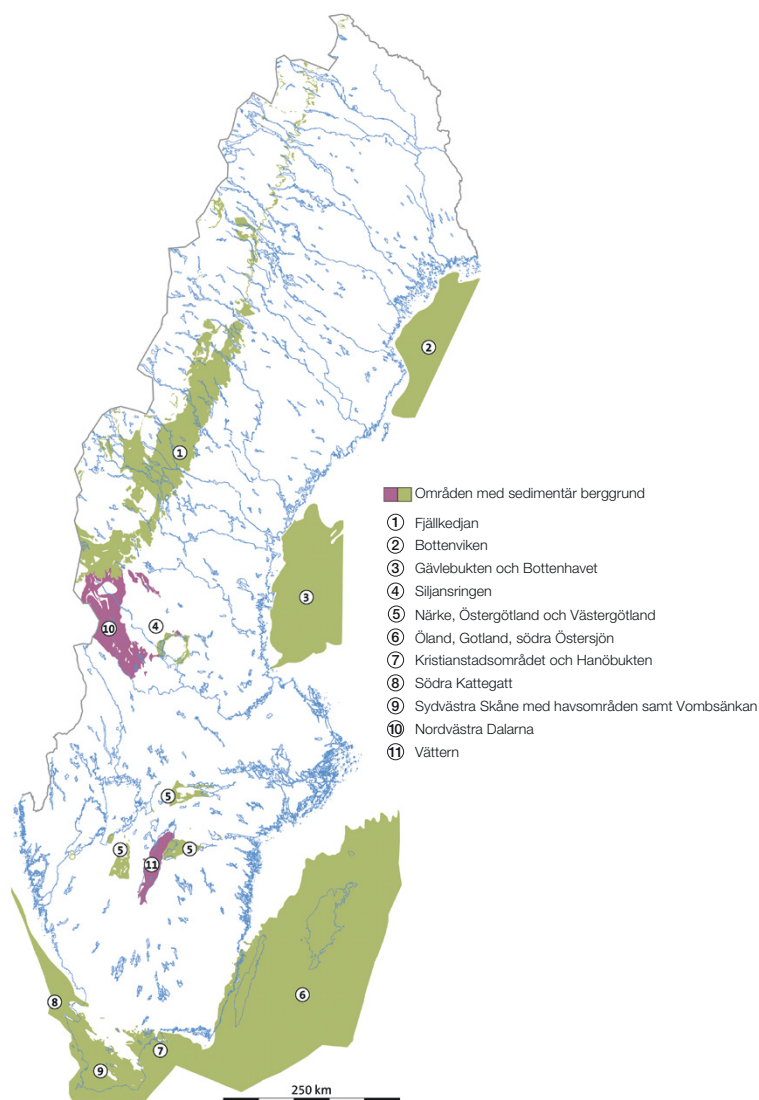
¹¹⁶ Alm, Reservoir Cooling After 25 Years of Heat Production in the Lund Geothermal Heat Pump Project, i *World Geothermal Congress. Congress Proceedings*, 2010, s. 5.

¹¹⁷ Wirtén, Lund får värme från djupet, *Svensk Geoenergi*, nr. 1 (2016), s. 16–17.

Teknisk potential

Geotermisk energi kan nyttjas både för uppvärmning såväl som för elproduktion. Beroende på typen av applikation som avses för uppvärmning kan värmen omhändertas med eller utan en värmepump. För elproduktion krävs temperaturer på över 120 °C. Avgörande är den tillgängliga temperaturen i berggrunden, som i Sverige ökar mellan 15–30 °C per kilometer enligt Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)¹¹⁸. Potentialen är därför direkt beroende på det geologiska underlaget och borrhjupet eftersom högre temperaturer uppnås vid ett större djup.

I nuläget är det svårt att estimerera potentialen för geotermi i Sverige. Förutsättningarna beror på lokala geologiska egenskaper som därutöver behöver finnas i närhet till exempelvis fjärrvärmenät eller värmeintensiv industri. Dessutom måste hänsyn tas till skyddade områden. Platser med sedimentär berggrund med djupt liggande akvifärer identifieras dock som gynnsamma.¹¹⁹ Skåne, Gotland samt Siljansområdet skulle därför kunna tillhöra dessa områden då sedimentär berggrund återfinns på dessa platser, se Figur 9, men ytterligare undersökningsunderlag krävs för att kunna dra några slutsatser.



Figur 9. Områden i Sverige med sedimentär berggrund.

Källa: Sveriges Geologiska Undersökning.¹²⁰

¹¹⁸ Erlström m. fl., *Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt*, 2016, s.6.

¹¹⁹ Ibid., s. 12.

¹²⁰ Ibid., s. 16.

Temperaturgradienten i Sverige är relativt låg, vilket är varför det krävs stora djup för att kunna producera el via geotermi som i sig medför teknisk komplexitet och höga investeringskostnader.¹²¹ I närtid bedöms därför inte geotermisk energi för elproduktion ha någon teknisk potential, men det är inte uteslutet att värmeutvinning för fjärrvärmesystem från geotermiska energikällor kan vara en möjlighet i framtiden.¹²²

2.6.2 Vågenergi

Idag finns inga aktiva vågkraftverk som producerar el i Sverige. Däremot är utvecklingen och kompetensen inom vågkraft i framkant.¹²³ Bland annat har Uppsala universitet bedrivit en forskningsanläggning i Lysekil sedan 2004 där olika aspekter kopplat till vågkraft, tekniska såväl som miljömässiga, har undersökts.¹²⁴ Ett tiotal vågkraftbaserade generatorer har under åren kunnat testats under verkliga förutsättningar, men ingen el levereras i nuläget till elsystemet. Det har även tidigare funnits en pilotanläggning för vågkraftverk i Sotenäs som utvecklades av företaget Seabased i samarbete med Fortum. Projektet delfinansierades av Energimyndigheten och bestod av 36 vågkraftverk. Projektet avslutades emellertid i förtid vilket bland annat förklaras av ogynnsamma miljöförhållanden för den valda tekniken samt tekniska begränsningar i utförandet.¹²⁵

Teknisk potential

I nuläget finns ingen vedertagen metod för att beräkna den tekniska potentialen av vågkraft eftersom tekniken ännu inte är kommersiell.¹²⁶ Några studier har estimerat den tillgängliga vågenergin i Sverige¹²⁷, men olika antaganden, avgränsningar och metoder begränsar jämförbarheten mellan resultaten.¹²⁸ I rapporten *Wave energy in Europe: current status and perspectives* estimeras den tekniskt tillgängliga vågenergin i Sverige till mellan 5–10 TWh per år. Västkusten som angränsar mot Nordsjön, Östersjön vid Öland och Gotland identifieras där som gynnsamma områden.¹²⁹ En enkel beräkning baserat på vågornas kraftflöde längs västkusten mellan Göteborg och gränsen till Norges ger en teoretisk tillgänglig energimängd på 6 TWh per år.¹³⁰ Dock visar det här bara den fysiska potentialen då ingen hänsyn till markanspråk görs. En annan studie estimerar potentialen för vågkraft i den del av Östersjön som tillhör den svenska ekonomiska zonen till 8 TWh per år.¹³¹

¹²¹ Ibid., s. 6.

¹²² Gehlin, Andersson och Rosberg, Country Update for Sweden 2020, i *World Geothermal Congress. Congress Proceedings*, 2021, s. 2.

¹²³ Energimyndigheten, Havsenergi. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/elssystem/havsenergi/> (hämtad 2024-10-08)

¹²⁴ Uppsala universitet, Lysekilsprojektet. <https://www.uu.se/institution/elektroteknik/samverkan/popularvetenskapliga-presentationer/lysekilsprojektet> (hämtad 2024-06-24)

¹²⁵ Energimyndigheten, *Projekt Sotenäs*, 2017, s. 68.

¹²⁶ Engström m.fl., Energy absorption from parks of point-absorbing wave energy converters in the Swedish exclusive economic zone, *Energy Science & Engineering*, vol. 8 (2019), s. 38–49. doi: <https://doi.org/10.1002/ese3.507>

¹²⁷ Vad som beskrivs som den tillgängliga potentialen av vågenergi i genomförda studier kan skilja sig från den definition av teknisk potential som används i denna rapport.

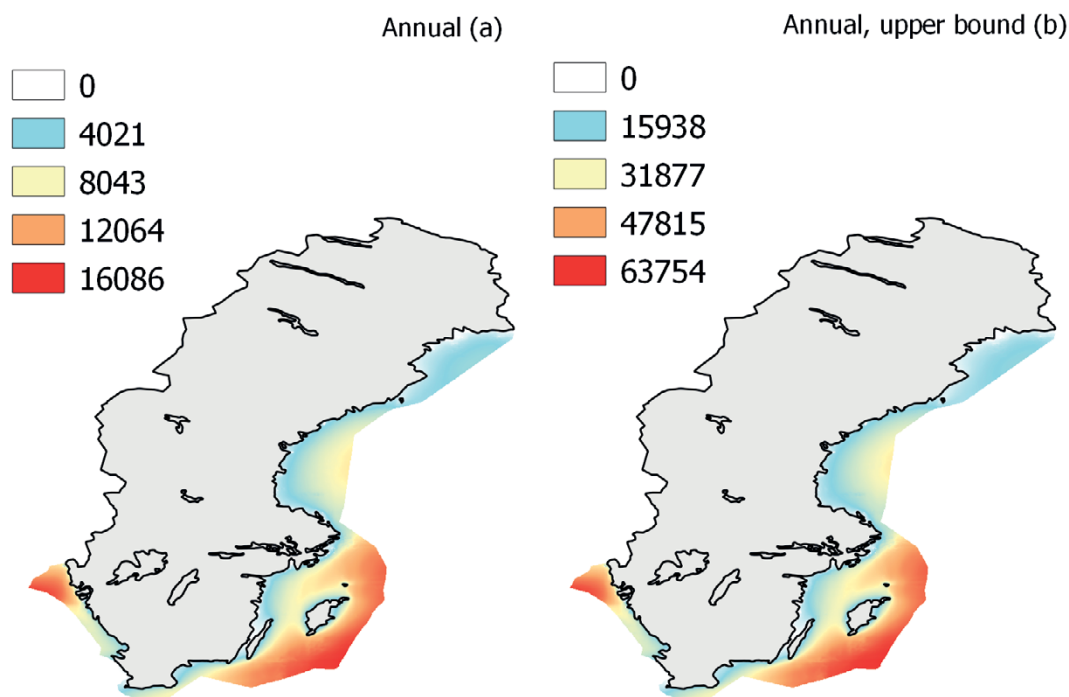
¹²⁸ Holmberg m.fl., *Wave Power: Surveillance study of the development*, 2011, s. 11.

¹²⁹ Clément m.fl., Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6 (2002), s. 405–431. doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00009-6)

¹³⁰ Holmberg m.fl., 2011, s. 11

¹³¹ Bernhoff m.fl., Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea, *Renewable Energy*, vol. 31 (2006), s. 2164–2170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.10.016>
Resultatet utgår från att den ungefärliga delen av Östersjön som ingår i den svenska ekonomiska zonen som år 1999 hade en medelvåghöjd på över 1,6 m nyttjas.

I en artikel som publicerades inom projektet *Kartläggning av förutsättningar för havsbaserad vågenergiomvandling i svensk exklusiv ekonomisk zon*, finansierat av Energimyndigheten, identifierades Skagerak samt vissa områden runt Gotland och Öland som områden med teknisk potentialen för vågkraft.¹³² Detta med avseende på en hög och stabil produktion för årets olika säsonger. Studien har simulerat kluster av vågkraftverk på en yta av cirka en kvadratkilometer och visar att den genomsnittliga absorberade vågenergin är 16 GWh per år i dessa områden. Samtidigt beräknas den teoretiska gränsen för absorberad energi för samma områden till 63,7 GWh per år, se Figur 10. Kartläggningen summerar dock inte potentialen för hela den ekonomiska zonen.



Figur 10. Beräknad genomsnittlig teknisk (a) och teoretisk (b) energiabsorption i MWh för vågkraft inom Sveriges ekonomiska zon.

Källa: Engström m.fl., 2020.¹³³

2.6.3 Osmotisk energi

Idag finns inga kraftverk i Sverige som framställer el från osmotisk energi (även kallat saltkraft). Tekniken bedöms fortfarande vara för dyr och kan i nuläget inte konkurrera med andra energislag ur ett ekonomiskt perspektiv. Potentialen för energikällan förväntas dock förbättras på sikt.¹³⁴

Teknisk potential

Saltkraft kan utvinnas från antingen naturliga eller konstgjorda källor, där både *reverse electrodialysis* (RED) samt *pressure-retarded osmosis* (PRO) har identifierats som lovande tekniker. Naturliga källor innefattar platser där en naturligt förekommande sötvattenkälla

¹³² Engström m.fl., 2020, s. 38–49.

¹³³ Ibid.

¹³⁴ Europeiska kommissionen m.fl., *The potential of osmotic energy in the EU : final report*, 2024, s. 33. doi: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/360619>

möter saltvatten, i Sveriges fall Nordsjön och Östersjön. Konstgjorda källor är vattenflöden som uppstår från skapade processer, exempelvis reningsverk eller industrier. Den utvinningsbara energin beror på mängden användbart vattenflöde, skillnaden i salthalt mellan de två vattenmassorna (saltgradienten) samt teknikval.¹³⁵ I denna rapport presenteras två olika studier som har gjort estimat på den tekniska potentialen¹³⁶ av saltkraft i Sverige.

I en rapport utgiven av Europeiska unionens publikationsbyrå estimeras den teoretiska och tekniska potentialen till cirka 2 284 MW respektive 205,6 MW, se Tabell 10. Energimängden i tabellen är baserad på den tekniska potentialen per år.

Tabell 10. Potentialen för saltkraft från naturliga källor i Sverige.

| Flod | Teoretisk potential [MW] | Teknisk potential [MW] | Energimängd [GWh] |
|-----------------|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Ätran | 76,9 | 6,9 | 55,4 |
| Lagan | 112,3 | 10,1 | 80,9 |
| Motala ström | 44,2 | 4,0 | 31,8 |
| Norrström | 77,1 | 6,9 | 55,5 |
| Ljusnan | 88,4 | 8,0 | 63,6 |
| Ljungan | 45,2 | 4,1 | 32,5 |
| Indalsälven | 117,8 | 10,6 | 84,8 |
| Ångermanälven | 184,1 | 16,6 | 132,6 |
| Umeälven | 131,7 | 11,9 | 94,8 |
| Skellefteälven | 33,7 | 3,0 | 24,3 |
| Piteälven | 28,5 | 2,6 | 20,5 |
| Luleälven | 95,2 | 8,6 | 68,6 |
| Kalixälven | 57,3 | 5,2 | 41,3 |
| Torne älv | 68,3 | 6,1 | 49,2 |
| Göta älv | 982,3 | 88,4 | 707,2 |
| Dalälven | 140,9 | 12,7 | 101,4 |
| Total potential | 2 283,9 | 205,6 | 1 644,4 |

Källa: Data från rapporten *The potential of osmotic energy in the EU : final report*.¹³⁷

En kartläggning av saltkraftens potential i Sverige, ett projekt som har finansierats av Energimyndigheten, estimerar den totala teoretiska potentialen från naturliga källor till 2 611 MW, och den tekniska potentialen mellan 1 044–1 825 MW beroende på olika tekniska och miljömässiga hinder. Från konstgjorda källor är potentialen därtill 17 MW.¹³⁸ Kartläggningen inkluderar dock 87 potentiella platser för utvinning till skillnad från de 17 platser som presenterats i tabellen ovan.

¹³⁵ Essalhi m.fl., The potential of salinity gradient energy based on natural and anthropogenic resources in Sweden, *Renewable energy*, vol. 215 (2023), s. 1–2. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118984>

¹³⁶ Vad som beskrivs som den tillgängliga potentialen av saltkraft i genomförda studier kan skilja sig från den definition av teknisk potential som används i denna rapport.

¹³⁷ Europeiska kommissionen m.fl., 2024, s.48.

¹³⁸ Essalhi m.fl., 2023, s. 1.

2.6.4 Övrig havsenergi

Idag finns det metoder för att utvinna energi från havet, utöver vågenergi och osmotisk energi, som är under utveckling. Internationella byrån för förnybar energi (IRENA) har identifierat tekniker inriktade på tidvatten- och tidvattenströmen energi samt havsvärmekraft som lovande. Än så länge finns inga kommersiella tekniker.¹³⁹ Sverige har idag ett havsströmkraftverk på 7,5 kW som ligger i Söderfors och är placerat i Dalaälven.¹⁴⁰ Kraftverket bedrivs som försöksstation.¹⁴¹

Teknisk potential

I Sverige är inte tidvatten- och tidvattenströmen energi samt havsvärmekraft aktuella för exploatering i närtid eftersom den tekniska potentialen bedöms vara mycket låg. Landets kustlinjer saknar bland annat energitäta havsströmmar där kraftverk skulle kunna anläggas. Med anledning av att teknikerna för både tidvatten- och tidvattenströmen energi samt havsvärmekraft ännu inte är fullt utvecklade förfaller incitamenten att satsa på dessa framför andra energislag till år 2030.

Det finns inga tydliga belägg för att havsvärmekraft skulle kunna vara ett gångbart alternativ i Sverige, vilket kan härledas av att temperaturdifferensen över året inte är beständigt hög i svenska vatten. Tekniken nyttjar vanligen en skillnad i vattentemperatur på över 20 °C och lämpar sig i mer tropiska vatten som har hög medelyttemperatur och ett havsdjup med en i princip konstant låg temperatur.¹⁴²

Inom Sveriges ekonomiska zon är förutsättningarna för tidvatten- och tidvattenströmen energi begränsad. Den teoretiska energin i exempelvis Öresund, där strömmarna kan uppvisa relativt höga rörelsemängder jämfört med andra strömmar i Sverige, har estimerats vara i storleksordningen på någon hundra TWh. Följaktligen är den utvinningsbara energin lägre.¹⁴³

2.6.5 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Idag kan inga områden rekommenderas för utvinning av geotermisk energi, osmotisk energi, tidvattensenergi, vågenergi eller havsvärme till 2030. Detta eftersom teknikerna som utvinna havsenergi och saltkraft inte är kommersiella ännu, samt att det saknas underlag på lokal nivå för att kunna bedöma potentialen för geotermi. Även om potentiellt intressanta områden har presenterats i denna rapport för de olika förnybara energikällorna är det inte möjligt att dra några slutsatser kring dessa. Däremot kan områdena som belysts vara av intresse för framtida utredningar.

¹³⁹ IRENA, Ocean energy, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Ocean-energy> (hämtad 2024-10-08)

¹⁴⁰ Tethys, Söderfors Project. <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/soderfors-project> (hämtad 2024-10-09)

¹⁴¹ Uppsala universitet, Förnybar elproduktion. <https://www.uu.se/institution/elektroteknik/forskning/elektricitetslara/fornybar-elproduktion> (hämtad 2024-10-09)

¹⁴² Kempener och Neumann, *Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief 1*, 2014, s. 5.

¹⁴³ Ringesten, *Energi ur havsströmmar*, 1977, s. 9. Chalmers Tekniska högskola.

2.6.6 Förutsättningar fram till 2030

Sammantaget är hindren större än möjligheterna för de övriga förnybara energislagen. Även om sannolikheten är låg i dagsläget kan det dock inte uteslutas helt att kraftverk som baseras på dessa energislag har potential att etableras fram till 2030. Exempelvis skulle forskning och teknikutveckling, tydliga politiska riktlinjer, ekonomiska incitament kunna påverka utsikterna framöver.

Hinder

Tekniska och ekonomiska barriärer

En gemensam nämnare för de övriga förnybara energikällorna, förutom geotermi, är att teknikerna för att ta vara på tillgångarna inte är tillräckligt utvecklade för att de ska kunna tas i bruk i större skala fram till 2030. De är i nuläget inte kommersiellt gångbara. Även om det till viss del finns pilotdemonstrationer av tekniker som utvinner energi från dessa är till exempel den genomsnittliga kostnaden av framställd energi för hög för att kunna konkurrera med andra alternativ eller att etableringen av anläggningarna är för tekniskt komplex.

Geografi

Geotermi, vågenergi och osmotisk energi och övrig havsenergi har tydliga krav på förutsättningar för att kunna nyttjas. Exempelvis krävs rätt berggrund för geotermi, tillräcklig potentiell energi i vågorna för vågkraft, samt rätt förankring i havsbotten tillsammans med samplacering av söta och salta vattendrag för osmotisk energi för att saltkraftverk ska kunna etableras. Möjligheten att realisera anläggningar som nyttjar dessa energislag är således direkt beroende av vilka resurser som är tillgängliga och i vilken utsträckning dessa finns inom Sveriges ekonomiska zon. Därtill spelar det roll huruvida dessa specifika platser konkurrerar med andra markanspråk eller -intressen.

Tillstånd

Det finns få dokumenterade fall av tillståndprocesser för anläggningar såsom geotermi eller vågkraftverksparker vilket kan medföra komplicerade och utdragna processer för nya anläggningar av dessa slag.

Miljöaspekter

Påverkan på bland annat marina ekosystem av teknik för havsbaserade energislag och påverkan av grundvattenkvaliteten av geotermiska anläggningar har identifierats som en risk gällande både etablering och drift av dessa. Utöver att grundläggande förutsättningar som att fysisk potential uppfylls måste det därför även säkerställas att etablering av dessa inte har en negativ påverkan på miljön.

Konkurrerande resurser

Den tekniska potentialen kan minska i samband med utbyggnaden av andra tekniker om de olika resurserna delar markanspråk.

Politisk vision och regelverk

Det finns i dagsläget ingen nationell politisk strategi för övriga förnybara energislag som ännu inte är kommersiellt gångbara. En strategi skulle potentiellt kunna bidra till konkreta handlingsplaner med syfte att i närtid satsa på utveckling och implementering av teknik som baseras på dessa energislag.

Möjligheter

Finansiering av energiforskning

Statlig finansiering stödjer utvecklingen av omogna, outvecklade eller dyra energitekniker vilket minskar den ekonomiska barriären för att dessa kan kommersialiseras. Genom ytterligare forskning och demonstrationsprojekt kan fungerande koncept eller billigare tekniska lösningar och komponenter tas fram för att göra dem mer konkurrenskraftiga. Finansierade studier för kartläggning av teknisk potential kan ytterligare bidra till att snabba på en framtida implementering eftersom det kan underlätta valet av möjliga områden för etablering samt öka förståelsen för teknikernas behov.

Outnyttjade resurser

El från saltkraft och värme från geotermi representerar möjligtvis energi som inte har tydliga konkurrenter när det kommer till markanspråk och skulle därav kunna utgöra komplement till andra förnybara energislag.

Aktiva aktörer

Det finns idag flera svenska aktörer och forskare som utvecklar teknik kopplat till exempelvis vågkraft. Även om de flesta demonstrationer inte sker på svenska vatten är det fortsatt ett aktivt område som stärker förutsättningarna för tekniken.

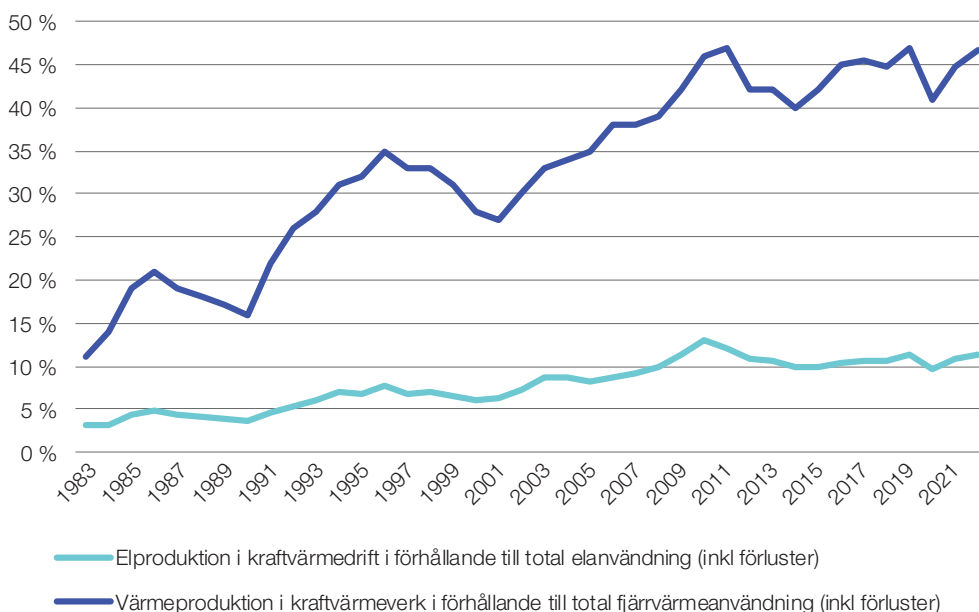
3 Kartläggning förnybar värmeproduktion

Kartläggningen ska identifiera och redovisa alla områden som har potential för fossilfri energiutvinning och -distribution, givet att nödvändig infrastruktur och tekniska förutsättningar finns. Energimyndigheten har tolkat detta som att kartläggningen ska visa områden med teknisk potential enligt det potentialbegrepp som beskrivs i avsnitt 1.3. Kartläggningen av teknisk potential innebär inte en avvägning mellan olika intressen utan redogör enbart för områden som på förhand bedöms omöjliggöra etablering av energiinfrastruktur. Följande kapitel beskriver nuläget, den tekniska potentialen, potentiella områden och förutsättningarna för utbyggnation till 2030 av förnybar värmeproduktion.

3.1 Fjärrvärme och kraftvärme

Fjärrvärme har funnits i Sverige sedan 1950-talet och finns idag i 285 av Sveriges 290 kommuner och levereras genom cirka 550 fjärrvärmenät. Mer än hälften av alla bostäder och lokaler i Sverige värms med fjärrvärme, bland flerfamiljshus är andelen omkring 90 procent.

Tidigare producerades fjärrvärme framför allt i värmeverk men över tid har andelen fjärrvärme som produceras i kraftvärmeverk ökat. Numera produceras cirka hälften av fjärrvärmen i kraftvärmeverk. I kraftvärmeverk produceras förutom värme även el motsvarande ungefär 10 procent av användningen i Sverige, se Figur 11.

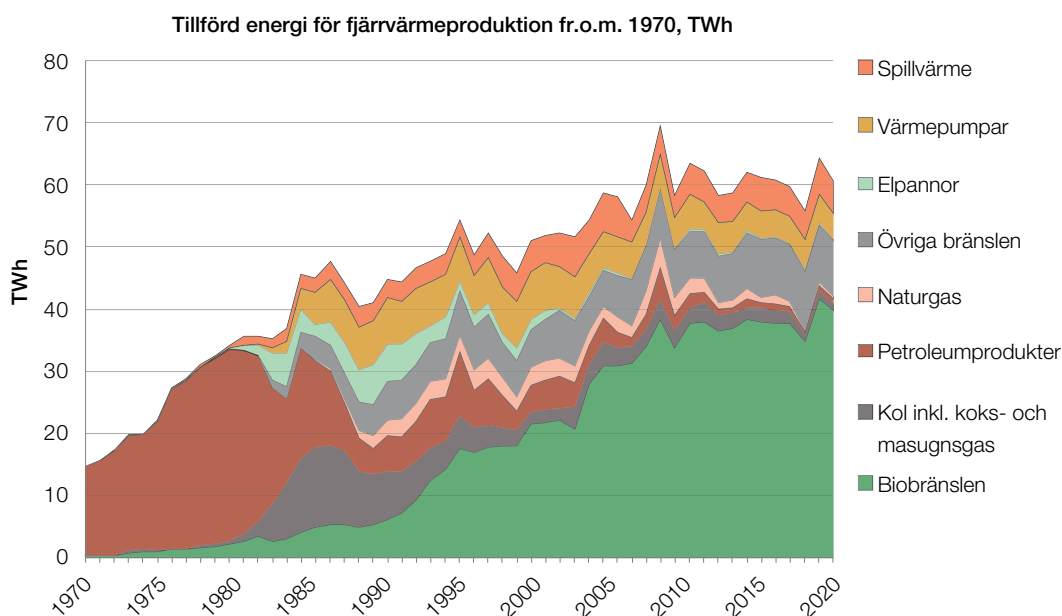


Figur 11. El- respektive värmeproduktion i kraftvärmeverk i förhållande till landets totala el och fjärrvärmeanvändning (inklusive förluster), 1983–2022, procent.

Källa: Energimyndigheten¹⁴⁴

¹⁴⁴ Energiindikatorer 2024, Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål, ER 2024:16, Energiindikatorer i siffror 2024 (kalkylblad). <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopier&id=a5f848e5781f440bb7baecec23cc1cf2&l=t&cat=%2FEnergiindikatorer&lstqty=1> (hämtad 2024-10-08).

Över tid har det bränsle som används för att producera fjärrvärme förändrats kraftigt, från närmast uteslutande användning av fossila bränslen till användning av i huvudsak biobränslen och avfall. I dagsläget utgör de fossila bränslena olja, kol och naturgas mindre än fem procent av tillfört bränsle i värmeverk och kraftvärmeverk.¹⁴⁵ Dock är cirka hälften av det avfall som används, vilken utgör cirka 30 procent av insatt bränsle, av fossilt ursprung.¹⁴⁶ Figur 12 nedan visar utvecklingen av tillförd energi för fjärrvärmeproduktion över tid. Förutom bränsle används spillvärme och stora värmepumpar.



Figur 12. Tillförd energi för fjärrvärmeproduktion, 1970–2022, TWh.

Källa: Energimyndigheten¹⁴⁷

Den svenska fjärr- och kraftvärmens har, genom skifte av insatsbränsle, historiskt haft stor betydelse för att minska utsläppen av växthusgaser från värmesektorn. Det medför att Sverige sticker ut både jämfört med andra länder med utbyggd fjärrvärme och andra länders uppvärmningssektorer.

3.1.1 Teknisk potential

Att bedöma den tekniska potentialen för ytterligare utbyggnad av fjärr- och kraftvärme i Sverige är svårt. Som tidigare nämnt finns fjärrvärme i alla utom en handfull av Sveriges kommuner och fjärrvärme har en stor del av värmemarknaden, särskilt bland flerbostadshus. Generellt beror en möjlig ökning av fjärrvärmens andel av värmemarknaden på dess konkurrenskraft gentemot andra uppvärmningsslag samt av hur värmebehovet utvecklas, vilket kan påverkas av energieffektiviseringsåtgärder i byggnadsbeståndet och andra regleringar.

¹⁴⁵ Statistikmyndigheten SCB, Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), 2023. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arligen-energistatistik-el-gas-och-fjarr-varme/> (hämtad 2024-10-07) (Avser tillfört bränsle i fristående värmeverk och kraftvärmeverk.)

¹⁴⁶ Se även kapitel 7 i *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans*, ER 2023:27.

¹⁴⁷ Energimyndigheten, Energiläget i siffror, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energilaget/> (hämtad 2024-10-08)

I maj 2024 trädde det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda (EPBD) i kraft. Direktivet, som är en del av Fit for 55-paketet, syftar till att förbättra energiprestandan och fasa ut användningen av fossila bränslen från EU:s byggnadsbestånd till 2050. Det innehåller därmed långtgående krav som kommer att ha en påverkan på fjärr- och kraftvärmesektorn på sikt, men exakt utfall för sektorn beror på hur den nationella implementeringen sker.¹⁴⁸

Trots att det är svårt att bedöma den tekniska potentialen för *ytterligare* utbyggnad, sker återkommande investeringar i kraftvärme i takt med att äldre anläggningar behöver tas ur drift. Generellt ses tillskott av eleffekt från kraftvärme som viktig lokalt och regionalt. Detta är generellt belyst vid re- eller nyinvesteringar i kraftvärme, branschen ser dock fortsatt ett behov av att det lokala och regionala värdet fjärr- och kraftvärmens tillför bättre speglas i ersättningsmodeller.¹⁴⁹ Som tidigare nämnt har den fjärrvärme som produceras i kraftvärmeverk ökat sin andel jämfört med den som produceras i värmeverk, ungefär hälften av fjärrvärmens produceras i kraftvärmearnläggningar.

Energimyndigheten tog 2023 fram ett förslag till en långsiktigt hållbar utveckling av fjärr- och kraftvärmesektorn. I en delrapportering av uppdraget uppskattades potentialen i att uppgradera biovärmeverk till biokraftvärmeverk genom att en ORC-turbin (Organic Rankine Cycle) kopplas på. På så sätt kan överskottsvärme användas för att göra el. Enligt Energiföretagen finns cirka 300 mindre värmeverk i Sverige som saknar elproduktion, vilka kan vara aktuella för påkoppling av en turbin med eleffekt i storleksordningen 30–2 500 kW. I dagsläget har ett 30-tal svenska värmeverk den typen av lösning.¹⁵⁰ Förutom ORC-turbiner kan även biovärmeverk konverteras till större biokraftvärmeverk vid nyinvesteringar eller utökning av produktionskapaciteten av befintliga kraftvärmeverk, givet att en efterfrågan för värmen samt elen finns.

Branschorganisationen Svebio presenterar varje år en överblick¹⁵¹ över fjärrvärmenät och kraftvärmearnläggningar i Sverige som levererar biovärme¹⁵². Antalet fjärrvärmenät ger en indikation på den tekniska potentialen för utökad kraftvärmeproduktion eftersom ny kraftvärmeproduktion behöver få avsättning för fjärrvärmens i något av de fjärrvärmenät som finns. År 2021 fanns 558 fjärrvärmenät som levererade biovärme.

3.1.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Fjärr- och kraftvärmens är, som nämnts i tidigare avsnitt, i väldigt hög grad utbyggd i Sverige. Det finns en potential att uppdatera mindre biovärmeverk till biokraftvärmeverk genom så kallade ORC-turbiner. I dagsläget har ungefär 10 procent¹⁵³ genomfört den typen av uppdatering och det finns ett fortsatt intresse. ORC-turbinerna innebär i första hand ett minskat behov för anläggningarna att köpa el från elnätet, vilket avlastar elnätet lokalt, men innebär inte något större tillskott av effekt nationellt.

¹⁴⁸ *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans*, ER 2023:27; se även Energiföretagen, Slutanalys av EU:s reviderade direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD), 2024. <https://www.energiforetagen.se/48f7b3/globalassets/dokument/eu/2023/slutanalys-av-reviderade-eu-direktivet-om-byggnaders-energi-prestanda-jan.-2024.pdf> (hämtad 2024-10-07)

¹⁴⁹ *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans*, ER 2023:27, kapitel 3.

¹⁵⁰ Ibid; se även Energiföretagen, Slutanalys av EU:s reviderade direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD), 2024. <https://www.energiforetagen.se/48f7b3/globalassets/dokument/eu/2023/slutanalys-av-reviderade-eu-direktivet-om-byggnaders-energi-prestanda-jan.-2024.pdf> (hämtad 2024-10-07)

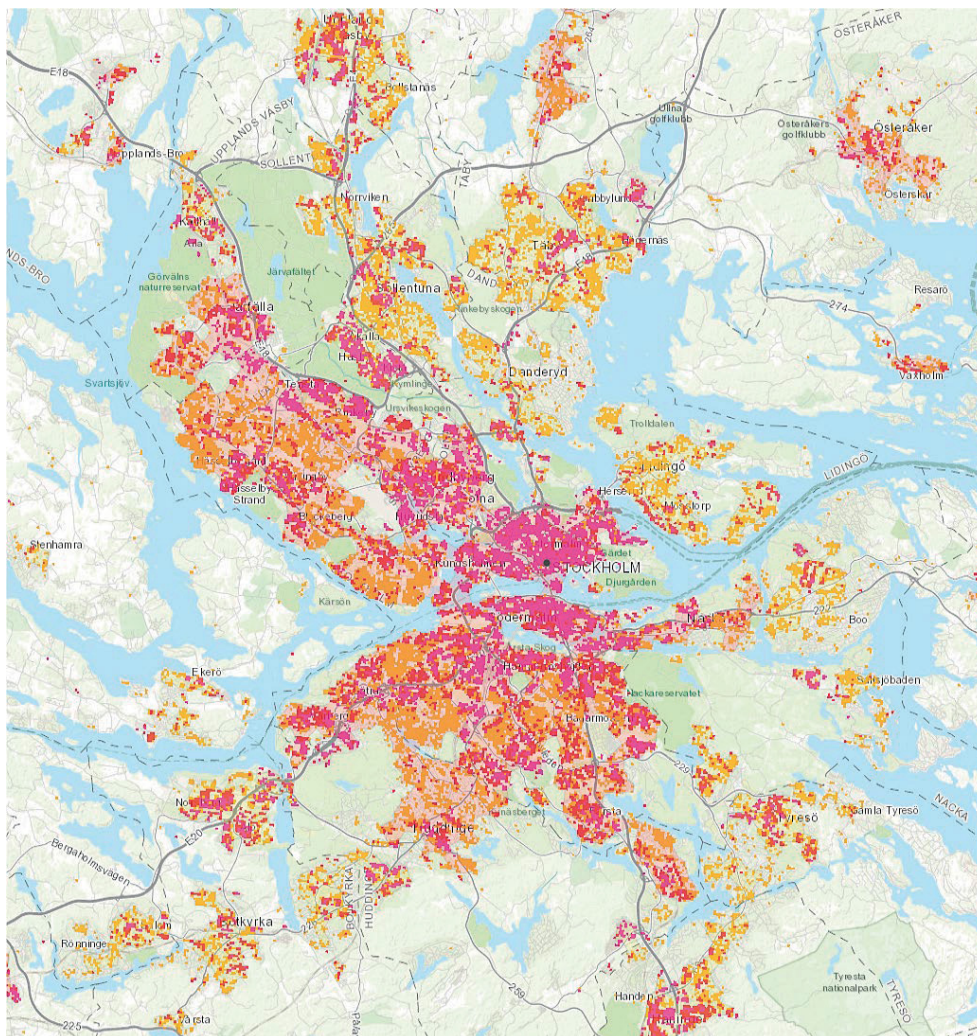
¹⁵¹ Biovärmekarta för året.

¹⁵² Fjärrvärme som producerats med biobränsle, avfall och biotorv.

¹⁵³ 30 anläggningar av potentiellt 300.

I flera städer sker betydande investeringar i nya anläggningar.¹⁵⁴ Aktörer i branschen gör affärsmässiga bedömningar när de överväger att bygga ut sina nät, vilket exempelvis kan ske vid byggandet av nya bostadsområden.

De områden som i första hand är aktuella för fjärr- och kraftvärme är platser där det redan finns fjärrvärmenät, alternativt där det finns ett tillräckligt stort värmeunderlag, vilket underlättar att bedöma fjärrvärme som konkurrenskraftig av investerare. Störst värmeunderlag finns i tätbebyggda områden, som städer. Värmeunderlaget kan illustreras i en värmekarta över värmedensitet, även kallat värmetäthet. Inom EU-projektet, *Heat Roadmap Europe*, har interaktiva värmekartor tagits fram för att underlätta planering av fjärrvärme. Kartorna syftar till att ge ett beslutsunderlag för hållbara investeringar i uppvärmning (och kylning) i fjärr- och kraftvärme. I Figur 13 visas ett exempel på värmekarta över Stockholm.



Figur 13. Värmedensitet och utbredning av fjärrvärmenät i Stockholm, data från 2015.

Källa: Heat Roadmap Europe¹⁵⁵

¹⁵⁴ Se exempelvis: Göteborg Energi och Mölndal Energi bygger ny fjärrvärme. *Dagens Industri Energimarknaden*. 2024-05-02 samt Luleå Energi Investerar 25 miljoner i ny fjärrvärmepanna. *Dagens Industri Energimarknaden*. 2024-04-24.

¹⁵⁵ Heat Roadmap Europe, Resources by Country. <https://heatroadmap.eu/resources-by-country/> (hämtad 2024-10-08)

3.1.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket kraft- och fjärrvärme som kan byggas ut till 2030.

Hinder

Långsiktiga spelregler

En grundförutsättning för kraft- och fjärrvärmens utveckling på längre sikt är långsiktiga spelregler som gör att branschen vågar investera. Detta gäller inte minst utformningen av skatter. Koldioxidskatten för värmeproduktion ändrades flertalet gånger under relativt kort tid, vilket försvårade för aktörer, innan den avskaffades 1 januari 2023.

Konkurrens med andra tekniker

Även konkurrensen från andra tekniker för uppvärmning som värmepumpar är avgörande för fjärrvärmens och på längre sikt. Individuella värmepumpar har gjort stora steg på uppvärmningsmarknaden, inte minst i småhusbeståndet, och hur marknaden för värmepumpar utvecklas kommer att påverka fjärrvärmens. Även konkurrensen från bioraffinaderier och andra sektorer som kan efterfråga biobränsleresurser för att ersätta användning av fossila bränslen, i och utanför Sverige, kan påverka. Högre bränslepriser innebär att fjärrvärme som uppvärmningsform blir mindre konkurrenskraftig i relation till värmepumpar.

Energimyndigheten har genomfört en modellanalys (härefter benämnd som modellanalysen från 2024) av den ekonomiska potentialen hos ett flertal tekniker för värme och kyla, däribland fjärr- och kraftvärme. I modellen analyseras möjliga utvecklingsvägar av hela energisystemet fram till år 2050, utifrån indata byggs lösningarna med lägst kostnader ut. Resultaten visar att fjärrvärmeleveranserna minskar över tid, vilket till stor del är en effekt av ökade bränslepriser, men det är också en effekt av energieffektiviseringar i byggnadsbeståndet och generellt varmare klimat.¹⁵⁶

Möjligheter

Fjärrvärme för att tillvarata spillvärme

Energiomställningen och samhällets digitalisering kan medföra spillvärmemängder som kan tas tillvara för fjärrvärme. Bioraffinaderier, som konkurrerar med fjärrvärmens om biobränsleresurser, är möjliga leverantörer av spillvärme till fjärrvärme. Även elektrolysanläggningar för produktion av vätegas utgör möjliga spillvärmekällor och detsamma gäller datorhallar. Den påverkan branschen upplever från ökade priser på biobränslen kan eventuellt motverkas med ett större användande av spillvärme. Ökad spillvärmeanvändning och minskat behov av bränsleanvändning kan genomföras genom sammankopplingar av fjärrvärmensät, investering av den typen kan få stöd av Klimatklivet. Det har redan genomförts sammankopplingar av fjärrvärmensät, men det finns potentiellt ytterligare möjligheter att koppla samman.

Kraftvärmens har stor betydelse lokalt

Bidraget från kraftvärme består i ett betydande lokalt och regionalt samt tätortsnära tillskott av eleffekt i ett systemperspektiv. Kraftvärmens möjligheter bestäms därför av till vilken grad den kan bidra med systemtjänster lokalt och hur dessa prissätts. Modellanalysen från 2024 visar på en stor potential för användning av högttempererad och lågttempererad spillvärme

¹⁵⁶ Energimyndigheten, *Underlag till genomförande av artikel 25.1-25.5 i direktivet om energieffektivitet, RU 17, 2024.*

(den senare måste uppgraderas med värmepumpar innan den kan användas som fjärrvärme) men realisering av potentialen beror till stor del på lokaliseringen. Energimyndigheten lämnade 2023 förslag till en strategi för en långsiktigt hållbar utveckling av fjärr- och kraftvärmesektorn, *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi*¹⁵⁷ (i korthet benämnt fjärr- och kraftvärmestrategi). I strategin föreslogs bland annat att lagen om kostnadsnyttoanalys ska kompletteras med en lokaliseringsaspekt när den revideras.¹⁵⁸

3.2 Värmepumpar

Sverige har i motsats till stora delar av Europa redan en stor andel värmepumpar installerade i bostads- och servicesektorn.¹⁵⁹ År 2023 uppskattades antalet installerade värmepumpar till cirka 1,7 miljoner, varav ungefär 96 procent finns i småhus. Antalet småhus beräknades samtidigt till omkring 2 miljoner, vilket innebär att uppskattningsvis 83 procent av alla småhus har en värmepump. Det kan jämföras med cirka 68 procent år 2018 och cirka 42 procent år 2010 (dock kan ett hus ha fler än en värmepump). Utöver det finns värmepumpar även i fritidshus där nära hälften uppskattas ha en värmepump.¹⁶⁰ Som framgår av Tabell 11 finns färre installationer av värmepumpar i flerbostadshus och lokaler. Det kan förklaras av att i de byggnadstyperna står fjärrvärme för 80–90 procent av energianvändningen för uppvärmning och varmvatten vilket gör att det inte finns behov av värmepumpar i byggnaden.

Tabell 11. Antal använda värmepumpar efter byggnadstyp för år 2023, [1 000 tal].

| | Berg/jord/sjö- värmepump | Luftvatten/frånluft- värmepump | Luftluft- värmepump | Summa |
|----------------|-----------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------|
| Totalt | 510 | 466 | 756 | 1 732 |
| Småhus | 478 | 443 | 745 | 1 667 |
| Flerbostadshus | 20 | 15 | 2 | 37 |
| Lokaler | 13 | 7 | 8 | 28 |

Källa: Energimyndigheten¹⁶¹

¹⁵⁷ *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans*, ER 2023:27

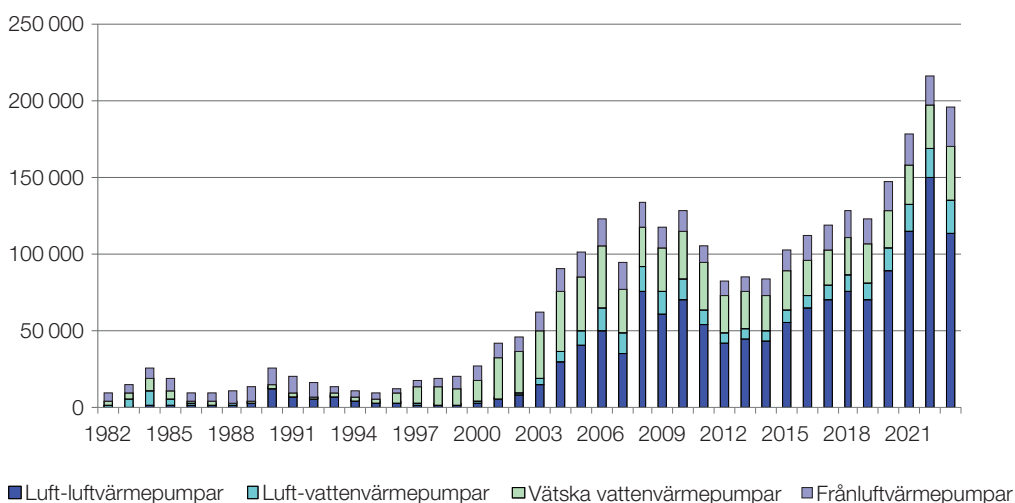
¹⁵⁸ I enlighet med nya krav i Energieffektivitetsdirektivet (EED) som innebär att kostnadsnyttoanalysen ska omfatta fler aktörer samt säkerställa lägre trösklar.

¹⁵⁹ Enligt den europeiska branschorganisationen för värmepumpar är det bara Norge och Finland i EU som har fler installerade värmepumpar per 1 000-tal småhus.

¹⁶⁰ Enligt ny energistatistik för fritidshus, publicerad i oktober 2024, finns det i Sverige 544 000 fritidshus varav 247 000 uppskattas ha en värmepump. Energimyndigheten, Ny energistatistik för fritidshus, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ny-energistatistik-for-fritidshus/> (hämtad 2024-10-08)

¹⁶¹ Energimyndigheten, Ny energistatistik för byggnader, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ny-energistatistik-for-byggnader/> (hämtad 2024-10-08)

Figur 14 visar att värmepumpsförsäljningen varit hög under en lång tid och har ökat de senaste åren. Under rekordåret 2022 såldes cirka 215 000 värmepumpar i landet.



Figur 14. Värmepumpsförsäljningen i Sverige 1982–2023.

Källa: Svenska kyl & värmepumpsföreningen¹⁶²

Storskaliga värmepumpar används även i fjärrvärmenäten, men har gradvis minskat i betydelse. Mellan tioårsperioden 2003 och 2012 stod värmepumpar för i genomsnitt 10 procent av tillförd energi för fjärrvärmeproduktion, medan motsvarande siffra för tioårsperioden 2013–2022 var mindre än 8 procent.¹⁶³

3.2.1 Teknisk potential

Som framgick i nulägesbeskrivningen är användningen av värmepumpar utbredd bland småhus. I flerbostadshus och lokaler är användningen av värmepumpar betydligt mindre utbredd, där används i stället fjärrvärme.

År 2023 användes uppskattningsvis 0,3 TWh olja respektive 0,2 TWh naturgas för uppvärmning och varmvatten i småhus. Omkring 25 000 småhus använde olja för uppvärmning och ytterligare cirka 16 000 använde naturgas. Utöver det använde cirka 125 000 småhus direktverkande el.¹⁶⁴ Sammantaget (olja, naturgas, direktverkande el) motsvarar det 8 procent av småhusen i Sverige, olja och naturgas utgjorde ensamma 2 procent. Det finns en potential för värmepumpar att ersätta den olja, gas och direktverkande el som används i småhusbeståndet. Ökningen i försäljningsstatistiken är en indikation på värmepumpars konkurrenskraft på uppvärmningsmarknaden. Jämfört med potentialen generellt i Europa är Sveriges potential för en betydande utbyggnation av värmepumpar betydligt mindre. Däremot finns svensk erfarenhet i sektorn och en tillverkningsindustri som skulle kunna möta upp mot den europeiska potentialen.

¹⁶² Svenska kyl & värmepumpsföreningen, Värmepumpsförsäljningen, 2024. <https://skvp.se/nyheter-o-statistik/statistik/varmepumpforsaljningen> (hämtad 2024-10-08)

¹⁶³ En mer fullständig nulägesbild av marknaden för värme och kyla ges i: Energimyndigheten, *Underlag till genomförande av artikel 25.1-25.5 i direktivet om energieffektivitet*, RU 17, 2024.

¹⁶⁴ Avser småhus med enbart direktverkande el eller enbart vattenburen elvärme utan värmepump och trivseleddning.

I Energimyndighetens fjärr- och kraftvärmestrategi¹⁶⁵ uppmärksammades tillvaratagandet av spillvärme för fjärrvärme mot bakgrund av energiomställningen och den pågående elektrifieringen. Mängden spillvärme, exempelvis från bioraffinaderier och elektrolysanläggningar, kan komma att öka men mängden som kan tillvaratas för fjärrvärme beror till stor del på om dessa nya anläggningar lokaliseras på ett sådant sätt som gör tillvaratagandet möjligt. Spillvärmens ingångstemperatur kan exempelvis behöva höjas med hjälp av värmepumpar efter transport så att den kan användas i fjärrvärmenät. Det gör dock spillvärmens även relevant ur ett värmepumpsperspektiv.

I modellanalysen från 2024 av den långsiktiga utvecklingen på marknaden för värme och kyla framgår att värmepumpar kan komma att användas i allt högre grad i framtiden. Det förklaras av en ökad tillgång och användning av spillvärme för fjärrvärme, bland annat från bioraffinaderier, elektrolysanläggningar och datahallar.¹⁶⁶

Som nämnt i avsnittet om fjärrvärme och kraftvärme hänger realisering av spillvärmepotentialer till stor del på lokaliseringsaspekten av anläggningar. Det finns därför ett behov av att lagen om kostnadsnyttoanalys kompletteras med en lokaliseringsaspekt.¹⁶⁷

3.2.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Det finns en potential för värmepumpar att ersätta den användning av olja, gas och direktverkande el som används i 8 procent av småhusbeståndet. Enligt den länsfördelning som görs i energistatistiken för småhus sker den största användningen av naturgas och olja för uppvärmning i södra Sverige. Användningen är högst i Skåne län.¹⁶⁸

I Tabell 12 nedan visas antal småhus per län med direktverkande el samt vilken andel dessa småhus utgör av alla småhus i länet. På grund av för få underliggande observationer är uppgifterna prickade i flera län, tabellen ger dock en indikation över var den största potentialen att ersätta direktverkande el med värmepumpar finns i landet. Liksom för de fossila bränslena är antalet småhus med direktverkande el högst i Skåne län. Även i storstadslänen Stockholm och Västra Götaland finns många småhus med direktverkande el.¹⁶⁹

Det finns en potential att olja, naturgas, direktverkande el som uppvärmningssätt för småhus byts ut mot värmepumpar. Av Tabell 12 framgår att det finns ett antal län där andelen småhus med direktverkande el är högre än i andra län. Särskilt länen i södra Sverige är sårbara vad gäller höga elpriser (elprisområde 4) jämfört med länen i norra Sverige. Sedan juli 2023 finns ett bidrag för energieffektivisering av el- eller gasuppvärmda småhus, vilket lanserades av regeringen för att minska småhusbeståndets elbehov i ljuset av de höga energipriser som rådde under vintern 2022–2023. Bidraget kan användas för en rad värmesystemsåtgärder, däribland installation av olika typer av värmepumpar (samt även för anslutning till ett fjärrvärmenät).¹⁷⁰

¹⁶⁵ Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans, ER 2023:27.

¹⁶⁶ Energimyndigheten, Underlag till genomförande av artikel 25.1-25.5 i direktivet om energieffektivitet, RU 17, 2024.

¹⁶⁷ Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans, ER 2023:27

¹⁶⁸ Energimyndigheten, Energistatistik för småhus, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/official-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/energistatistik-for-smahus/> (hämtad 2024-10-07)

¹⁶⁹ Uppgifterna för Blekinge län och Gotlands län har prickats på grund av för få observationer.

¹⁷⁰ Ansökan om bidrag görs i Boverket e-tjänst men det är länsstyrelsen i respektive län som handlägger ansökningar och beslutar om bidrag. Bidrag ges för högst 50 procent av materialkostnaderna för åtgärderna, dock högst 30 000 kronor för värmesystemsåtgärder och högst 30 000 kronor för klimatskämsåtgärder.

Tabell 12. Antal småhus per län med direktverkande el.

| Län | Antal småhus i 1 000-tal | Procent av totalt antal småhus |
|----------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Blekinge län | .. | .. |
| Dalarnas län | .. | .. |
| Gotlands län | .. | .. |
| Gävleborgs län | 3 | 5 |
| Hallands län | .. | .. |
| Jämtlands län | 1 | 4 |
| Jönköpings län | 5 | 6 |
| Kalmar län | 4 | 5 |
| Kronobergs län | .. | .. |
| Norrbottens län | 5 | 10 |
| Skåne län | 28 | 10 |
| Stockholms län | 26 | 9 |
| Södermanlands län | 4 | 7 |
| Uppsala län | 7 | 8 |
| Värmlands län | .. | .. |
| Västerbottens län | 2 | 3 |
| Västernorrlands län | 3 | 6 |
| Västmanlands län | .. | .. |
| Västra Götalands län | 22 | 13 |
| Örebro län | 3 | 9 |
| Östergötlands län | .. | 9 |
| Riket | 125 | 11 |

Källa: Energimyndigheten¹⁷¹

Värmepumpars ställning som det främsta uppvärmningsslaget för småhus indikerar stark konkurrenskraft, försäljningsstatistiken pekar också på fortsatt stort intresse för värmepumpar. Det är dock viktigt att ett systemperspektiv beaktas vid övergången av uppvärmningssätt för att värmepumpar inte ska gynnas på bekostnad av fjärrvärme, särskilt i områden där fjärrvärme finns att tillgå som uppvärmningsalternativ.

Vad gäller storskaliga värmepumpar i fjärrvärmenäten som led i energiomställningen finns som tidigare nämnt en stor potential för att ta vara på spillvärme från exempelvis bio-raffinaderier och elektrolysanläggningar. Även digitaliseringen innebär möjligheter att ta vara på spillvärme från datahallar.¹⁷² Enligt branschorganisationen Energiföretagen finns industriella spillvärmesamarbeten i minst 82 fjärrvärmenät med minst 100 leverantörer, men antalet leverantörer kan vara fler eftersom flera företag inte redovisar spillvärme om den behöver uppgraderas med värmepumpar.¹⁷³ I rapporten *Regionala fjärrvärmesamarbeten – Drivkrafter och framgångsfaktorer* från Energiforsk beskrivs spillvärmesamarbeten mer

¹⁷¹ Energimyndigheten, Energistatistik för småhus, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/energistatistik-for-smahus/> (hämtad 2024-10-07)

¹⁷² *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans*, ER 2023:27, kapitel 10.

¹⁷³ Baserat på uppgifter mottagna från Energiföretagen genom e-postmeddelande i augusti 2024.

konkret. Rapporten identifierade potentialen för sammankoppling av fjärrvärmenät utifrån ett antal urvalskriterier, avstånd mellan näten samt tillgång till industriella spillvärmekällor var två viktiga kriterier. Rapporten identifierade även tio möjliga samarbeten att undersöka vidare potentialen för.¹⁷⁴ Sedan rapporten publicerades 2015 har tre av tio samarbeten förverkligats och ytterligare ett samarbete utreds. De sammankopplingar av fjärrvärmenät som skett har möjliggjorts med investeringsstödet Klimatklivet. Förutom de möjligheter som identifierades av Energiforsk kan det finnas fler potentiella sammankopplingar där värmepumpar behövs för att höja spillvärmetemperaturen innan den används i fjärrvärmenät. Det är viktigt att sådana möjligheter beaktas givet fjärrvärmens utmaningar med allt högre bränslepriser.¹⁷⁵

3.2.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket värmepumpar kan byggas ut till 2030.

Hinder

Nackdelar på systemnivå vid konkurrens med fjärrvärme

Baserat på ökningstakten av värmepumpar i småhusbeståndet föreligger inget väsentligt hinder för värmepumpar på uppvärmningsmarknaden. I ett fall då värmepumpar tar marknadsandelar från fjärrvärme i områden där kraft- och fjärrvärme finns kan det leda till mindre bra utfall på systemnivå om kraft- och fjärrvärmens värmeunderlag minskar och därmed kraftslagets lokala effekttillskott.

Olika lokala förutsättningar för omhändertagande av spillvärme

Användandet av värmepumpar för att växla upp spillvärme för fjärrvärme förutsätter att spillvärmekällorna är lokaliserade på ett avstånd från fjärrvärmenätet som gör tillvaratagande ekonomiskt försvarbart. Alternativet är att det finns stöd till investeringar som möjliggör transmissionsledningar för spillvärme om lokalisering nära fjärrvärmenät och bebyggelse är olämplig.

Anmälan till kommunen

Vad som krävs för att installera en värmepump beror på typen av värmepump som ska installeras. För installation av värmepumpsanläggningar för berg- eller jordvärme eller för utvinning av värme ur grund- eller ytvatten krävs en anmälan till den kommun där anläggningen är belägen. För större värmepump- eller kylanläggningar med en uttagen eller tillförd effekt av mer än 10 MW krävs en anmälan enligt miljöprövningsförordningen, även dessa anmälningsärenden handläggs av kommunen.¹⁷⁶ Installation av luftvärmepump kräver inte någon anmälan.

¹⁷⁴ Energiforsk, *Regionala fjärrvärmesamarbeten – Drivkrafter och framgångsfaktorer*, Fjärrsyn, rapport, 2015.

¹⁷⁵ Energimyndigheten, *Underlag till genomförande av artikel 25.1-25.5 i direktivet om energieffektivitet*, RU 17, 2024.

¹⁷⁶ Energimyndigheten, Anmälan och tillstånd för värmepump, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/tillstand-och-provning/tillstandsprocesser/tillstand-for-varmepump/> (hämtad 2024-10-07)

Möjligheter

Stöd och korta ledtider för installation

Värmepumpar är en mogen teknik som fått stort marknadsgenomslag i Sverige. Totalt cirka 1,7 miljoner värmepumpar finns i dagsläget installerade i Sverige, varav den största andelen finns installerad i småhus.

Tack vare att det är en mogen teknik är ledtider för att installera individuella värmepumpar i regel korta. Investeringskostnaden för att installera en värmepump är också i regel inte så hög, och värmepumpslösningar erbjuds på en marknad av många aktörer. Sedan i mitten på förra året finns också ett bidrag riktat mot el- eller gasuppvärmda småhus som kan användas för installation av värmepump.

Stor ekonomisk potential

Modellanalysen för 2024¹⁷⁷ visar att det finns mycket stor ekonomisk potential för användning av individuella värmepumpar. Resultaten från modellen visar en ökad andel på värmemarknaden till år 2030 och ytterligare till år 2050. Bakgrunden till modellresultaten är, bland annat, utfasningen av den nuvarande användningen av olja och gas för småskalig uppvärmning. Modellresultaten bekräftar värmepumpars konkurrenskraft på uppvärmningsmarknaden.

Behov av värmepumpar för att växla upp spillvärme

I modellanalysen för 2024 visas även att värmepumpar som används i fjärrvärmesystem för att växla upp lågtempererad spillvärme ökar, dock inte i samma utsträckning som individuella värmepumpar. Det är först efter 2030 som modellberäkningarna indikerar att potentialen för spillvärme som kräver uppgradering av värmepump tar fart, vilket är en effekt av när industrisatsningar bedöms tas i drift. Det ska dock understrykas att hur mycket spillvärme som faktiskt kommer att kunna tas tillvara i verkligheten beror på att industrisatsningar som kan leverera spillvärme blir av samt att de lokaliseras nära fjärrvärme så att spillvärmen kan nyttjas. Därför har Energimyndigheten bedömt att det finns behov av att komplettera lagen om kostnadsnyttoanalys med en lokaliseringsaspekt.¹⁷⁸

¹⁷⁷ Energimyndigheten, *Underlag till genomförande av artikel 25.1-25.5 i direktivet om energieffektivitet, RU 17, 2024.*

¹⁷⁸ *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi – Slutleverans, ER 2023:27.*

4 Kartläggning förnybar energidistribution

Kartläggningen ska identifiera och redovisa alla områden som har potential för fossilfri energitvinning och -distribution, givet att nödvändig infrastruktur och tekniska förutsättningar finns. Energimyndigheten har tolkat detta som att kartläggningen ska visa områden med teknisk potential enligt det potentialbegrepp som beskrevs i kapitel 1.3. Kartläggningen av teknisk potential innebär inte en avvägning mellan olika intressen utan redogör enbart för områden som på förhand bedöms omöjliggöra etablering av energinfrastruktur. Följande kapitel beskriver nuläget, den tekniska potentialen, potentiella områden och förutsättningarna för utbyggnation till 2030 av förnybar energidistribution.

4.1 Drivmedel

Drivmedel inkluderar i det här sammanhanget flytande och gasformiga biodrivmedel samt syntetiska bränslen¹⁷⁹ och återvunna kolbränslen¹⁸⁰ men inte drivmedel i form av energibäraren elektricitet. Befintlig produktionskapacitet för fossilfria drivmedel existerar både i form av fristående produktionsanläggningar och integrerade i oljeraffinaderier som producerar drivmedel. Exempel på det förstnämnda är ett fåtal produktionsanläggningar för biodiesel och etanol, men också ett större antal biogasanläggningar med kapacitet att uppgradera biogasen till fordonsgaskvalitet. Det sistnämnda inkluderar St1 raffinaderiet i Göteborg samt Preems raffinaderier i Göteborg och Lysekil. Totalt sett uppgår den befintliga produktionskapaciteten för fossilfria drivmedel till drygt 10 TWh, se Tabell 13.

Det pågår även utbyggnad av ytterligare produktionskapacitet för förnybara drivmedel i Preems raffinaderi i Lysekil¹⁸¹ där idrifttagning är planerad till 2024 med en produktionskapacitet på 900 000 kubikmeter, vilket motsvarar drygt 8 TWh. Liquid Wind är en annan aktör som projekterar ett antal anläggningar för produktion av syntetisk metanol avsedd för användning inom sjöfart. Det mest långt framskridna projektet Flagship One i Örnsköldsvik har dock stannat av eftersom danska Ørsted som var en av huvudfinansiärerna drog sig ur projektet med hänvisning till otillräcklig efterfrågan. Planer finns också på produktion av syntetiska flygbränslen, exempelvis SkyFuelH2 i Långsele som Energimyndigheten finansierade inom industriklivet 2023.

¹⁷⁹ Exempelvis bränslen som baseras på vätgas framställd genom elektrolys som använder fossilfri el.

¹⁸⁰ Exempelvis bränslen som är baserade på återvunna kolkällor såsom uttjänta bildäck.

¹⁸¹ Preem, SYNSAT-projektet – Vi utökar produktionen av förnybar diesel, 2024.
<https://www.preem.com/om-oss/projekt/synsat-projektet/> (hämtad 2024-09-16)

Tabell 13. Sammanställning över ett urval befintliga anläggningar som producerar fossilfria drivmedel.

| Anläggning | Typ | Årlig kapacitet |
|--------------------------------|--|-----------------|
| Adesso Bioproducts | Biodiesel | 1,2 TWh |
| Ecobränsle | Biodiesel | 0,6 TWh |
| Lantmännen Biorefineries | Etanol | 1,3 TWh |
| Preemraff Lysekil och Göteborg | Co-processing och HEFA (HVO, SAF, biobensin) | 3,8 TWh |
| St1 Göteborg | HEFA (SAF, HVO och biobensin) | 2 TWh |
| Biogasanläggningar | Uppgraderad biogas | 1,5 TWh |
| Total | | 10,4 TWh |

Källor: F3 innovationskluster för hållbara drivmedel¹⁸², Argus Media Group¹⁸³ och Preem¹⁸⁴.

4.1.1 Teknisk potential

Anläggningar för produktion av fossilfria drivmedel kan jämföras med andra industriella verksamheter. Några exempel på faktorer som begränsar den tekniska potentialen är:

- Energitillförsel i form av exempelvis elektricitet, bränslen eller värme,
- råvarutillgång i form av exempelvis biomassa eller insamlad koldioxid,
- tillgång till infrastruktur som understödjer distribution och lagring av bränslen,
- möjlighet till finansiering och långsiktiga spelregler.

Tillgången till lämpliga platser för produktion och distribution av fossilfria drivmedel är dock inte en begränsande faktor. Tvärtom är platser där förutsättningar finns ofta väl lämpade för industriella produktionsanläggningar. Befintliga produktionsanläggningar och framtida satsningar lokaliseras nära hamnar, depåer och i anslutning till energiutvinningsanläggningar samt andra industriella verksamheter, inklusive raffinaderier och kemiindustri.

Förnybartdirektivet, ReFuelEU Aviation (ställer krav på andel förnybar energi) och FuelEU Maritime (ställer krav på minskade växthusgasutsläpp) är centrala styrmedel för fossilfria drivmedel inom EU. De premierar biodrivmedel som är producerade av restprodukter och avfall, samt elektronbränslen baserade på el och infångad koldioxid. Utbyggnad av ny produktionskapacitet för biodrivmedel som använder biomassa i form av primära jordbruksgrödor är osannolik¹⁸⁵. Därför är det mer intressant att utvärdera den tekniska potentialen för restprodukter från jord- och skogsbruket och insamlad koldioxid.

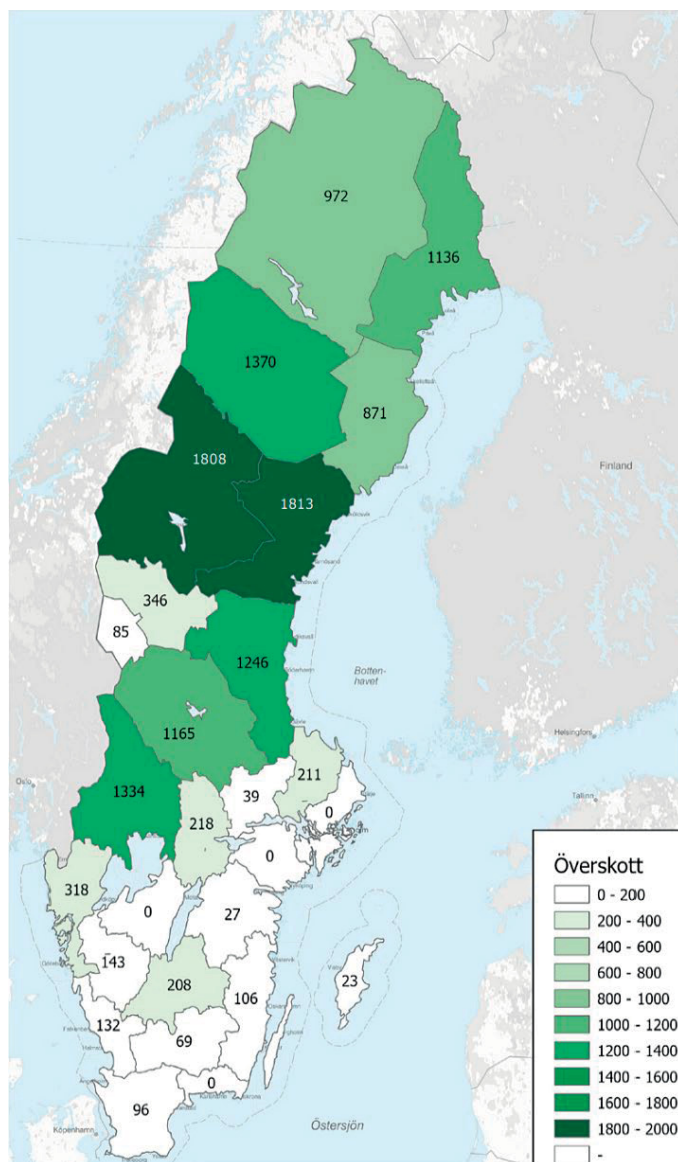
¹⁸² F3 innovationskluster för hållbara drivmedel, Befintlig och planerad produktion av förnybara drivmedel i Sverige, 2023. https://f3centre.se/app/uploads/f3_Fakta_Produktionsanlaggningar_2023_08_Final-1.pdf (hämtad 2024-09-17)

¹⁸³ Argus Media Group, St1 and SCA start SAF, HVO production in Sweden, 2024. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2556277-st1-and-sca-start-saf-hvo-production-in-sweden> (hämtad 2024-09-27)

¹⁸⁴ Preem, I år fördubblar vi produktionen av förnybara drivmedel, 2024. <https://www.preem.se/en-battere-resa/vi-fordubblar-var-fornybara-produktion/> (hämtad 2024-09-27)

¹⁸⁵ Förnybartdirektivets lista över råvaror som ska premieras innefattar dock jordbruksgrödor som odlas på skadad mark och mellangrödor som inte leder till ökat behov av markanvändning i det fall de används till att producera flygbränsle.

Skogforsk¹⁸⁶ har sammanställt potentialen för ökat uttag av grot från skogsbruket, se Figur 15. Den sammanställningen visar att det nuvarande uttaget på 7,4 TWh skulle kunna hållbart utökas till 21,1 TWh, vilket ger en möjlig ökning med 13,7 TWh. Potentialen är större i vissa län än andra och begränsas av att grot är kostsamt att transportera vilket gör att den realiserbara potentialen sannolikt blir mycket lägre.



Figur 15. Karta som visar potentialen att hållbart öka uttaget, i GWh fördelat på region och beräknat på ingångsvärden från 2020. Summan uppgår till cirka 13 700 GWh eller 13,7 TWh.

Källa: Skogforsk¹⁸⁷

¹⁸⁶ Skogforsk, FAKTA oktober 2023 SKOGSBRÄNSLE, 2023.

https://www.skogforsk.se/cd_20231116162027/contentassets/3cac6b78890d467bb033cac1bac7df28/fakta-sammanstallning-grot_20231025_press.pdf (hämtad 2024-10-07)

¹⁸⁷ Ibid, s.4.

Elektrobränslen kan produceras med hjälp av vätgas och insamlad koldioxid. Eftersom Sverige har många stora punktsläpp av förnybar koldioxid¹⁸⁸ och en hög andel fossilfri elproduktion¹⁸⁹ finns det goda förutsättningar för produktion av sådana bränslen. Energimyndigheten har i förslag till nationell vätgasstrategi konstaterat att det kan bli aktuellt med elektrolysörkapacitet på ungefär 5 MW el till 2030, vilket motsvarar 20 TWh vätgasproduktion per år¹⁹⁰. Det är dock bara en mindre del av den vätgasen som förväntas användas för drivmedel inom exempelvis Liquid Wind, Preem och olika projekt för produktion av flygbränsle. Sammantaget bedöms den tekniska potentialen för produktion av fossilfria elektrobränslen kunna uppgå till omkring 0,5 TWh till 2030.

4.1.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Områden för produktion av fossilfria drivmedel behöver ha vissa förutsättningar för att vara lämpliga, exempelvis tillgång till:

- Energitillförsel i form av elektricitet, bränslen eller värme,
- råvaror i form av biomassa eller insamlad koldioxid,
- infrastruktur som understödjer distribution och lagring av drivmedel.

Platser som har dessa förutsättningar kan vara i anslutning till kraftvärmeanläggningar, raffinaderier och industrier som har strömmar av restprodukter vilka kan användas som råvaror och överskottsvärme i processerna. I de fall det handlar om elektrobränslen är tillgången till elanslutning med stort effektuttag särskilt viktigt, liksom tillgången till biogen koldioxid eller kväve för vidare bearbetning till exempelvis metanol eller ammoniak. För att elen ska kunna betraktas som förnybar krävs också att det finns tillräcklig tillgång till förnybar elproduktion i samma eller angränsande elprisområde.

Hamnar har ofta bra förutsättningar för distribution och lagring av drivmedel. Där finns också ett lokalt behov av drivmedel för fartyg. Flygplatser är ett annat exempel där det finns lokal efterfrågan på drivmedel. Att inte behöva distribuera drivmedel långa sträckor via fartyg, tåg eller tankbil minskar kostnaderna och även miljöpåverkan för drivmedlet. Det förutsätter dock att placeringen inte innebär ett motsvarande tillkommande behov av att frakta råvaror till anläggningen.

Samtantaget bedömer Energimyndigheten att det inte föreligger något behov att utse accelerationsområden för produktion av fossilfria drivmedel. Motiveringen är att de tillståndprocesser som accelerationsområden avser snabba på inte bedöms vara en avgörande faktor för hur snabbt utbyggnaden av fossilfri drivmedelsproduktion går. Energimyndigheten konstaterar att det förslag till styrmedel för ny drivmedelsproduktion¹⁹¹ som lämnades som delbetänkande i utredningen om en Bioekonomistrategi skulle ge en mer betydande påverkan på ökad produktion av fossilfria drivmedel än att utse accelerationsområden.

¹⁸⁸ SOU 2020:4.

¹⁸⁹ *Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak*, ER 2021:34.

¹⁹⁰ Beräkning vid antagande om 70 procent kapacitetsutnyttjande för elektrolysör och 65 procent verkningsgrad.

¹⁹¹ SOU 2023:15.

4.1.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket andelen av förnybar energi i drivmedel kan öka till 2030.

Hinder

Minskat behov av drivmedel

Nya produktionsanläggningar för drivmedel kräver stora investeringar. En förutsättning är därför att det finns marknadsmässiga grunder för att sälja produkterna under en relativ lång framtid. Elektrifieringen av vägtransporter har accelererat i Sverige och flera andra europeiska länder på senare år, vilket innebär att behovet av drivmedel för förbränningsmotorer kommer att minska på sikt. Drivmedel bedöms dock ha en fortsatt viktig roll för sjöfart och luftfart liksom som för totalförsvaret.

Teknikutveckling krävs för att ersätta fossila drivmedel

Det är inte alltid möjligt att använda förnybara drivmedel som direkt ersättning av fossila bränslen. Fartyg behöver exempelvis konverteras för att kunna drivas med metanol, ammoniak eller vätgas. Det krävs också mer tankutrymme eftersom bränslena har lägre energidensitet jämfört med fossila bränslen. Vätgas har infrastrukturella utmaningar och kräver kryogen lagring eller andra typer av lagringstankar som kan hantera extremt höga tryck. Ammoniak är starkt korrosivt och giftigt, vilket också gör hanteringen av bränslet utmanande.

Utmaningarna utgör ett hinder för rederier att investera i konvertering för sina befintliga fartyg, vilket i sin tur innebär att efterfrågan på alternativa bränslen blir begränsad.

Kostsam certifiering av biobränslen

Biobränslen har inte de hinder som beskrivits för metanol, ammoniak och vätgas ovan utan kan ofta användas som direkt ersättning för fossila bränslen i fartygsmotorer.

Även för luftfart kan biobränslen användas för inblandning i flygfotogen, men det krävs att produktionstekniken och råvaran är certifierade enligt standarden ASTM D1655-22a, vilket är både kostsamt och tidskrävande.

Möjligheter

Styrmedel för att främja förnybara drivmedel

Flera styrmedel har tillkommit på EU-nivå för att främja en ökad användning av förnybara drivmedel. Utöver att kraven på andel förnybart till transportsektorn har skärpts i förnybart-direktivet har ett inblandningskrav för förnybart i flygbränsle (ReFuelEU Aviation)¹⁹² samt ett utsläppsminskningskrav för fartygsbränslen (FuelEU Maritime)¹⁹³ tillkommit under fit-for-55 paketet. Dessutom utvidgas EU:s utsläppshandelssystem till att även omfatta transporter. Det kommer att innebära en ökad efterfrågan på förnybara drivmedel.

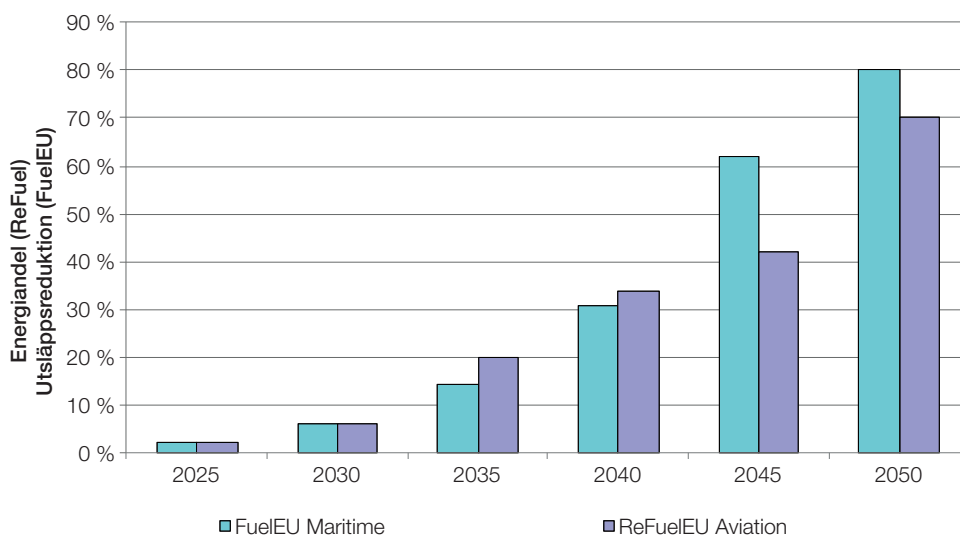
Ur ett svenskt perspektiv innebär inblandningskravet för flygbränsle att den svenska reduktionsplikten tas bort från 1 januari 2025, vilket innebär att efterfrågan på den svenska marknaden minskar. På EU-nivå totalt sett blir resultatet dock en ökad efterfrågan.¹⁹⁴ Även

¹⁹² Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405.

¹⁹³ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1805.

¹⁹⁴ Se *Kontrollstation för reduktionsplikten 2022*, ER 2022:15 för mer information om övergången till ReFuelEU Aviation.

sjöfarten har fått ett särskilt styrmedel på EU nivå, FuelEU Maritime,¹⁹⁵ vilket ställer krav på att rederier ska vidta åtgärder för att minska utsläppen av växthusgaser i livscykelperspektiv från den energi som används för fartyg. Figur 16 visar utvecklingen för FuelEU Maritime och ReFuelEU Aviation.



Figur 16. Utveckling av krav inom FuelEU Maritime och ReFuelEU Aviation.¹⁹⁶

Källa: Förordning(EU) 2023/1805 och förordning (EU) 2023/2405.

Regeringen har remitterat SOU 2023:84 En hållbar bioekonomistrategi samt delbetänkandet SOU 2023:15 Förnybart i tanken, varav den sistnämnda utgör ett förslag på styrmedel för ökad produktion av biodrivmedel och mellanprodukter från vissa råvaror. Styrmedlet är utformat som ett CCfD-program¹⁹⁷ som innebär att de aktörer som kan producera förnybart drivmedel med liten merkostnad jämfört med motsvarigheter ska få stödet.

4.2 Elnät

Elnät delas generellt in i transmissionsnät- och distributionsnät. I Sverige utgörs distributionsnätet i sin tur av regionnät och lokalnät. Transmissionsnätet löper genom hela landet och transporterar el med hög spänning, 220 eller 400 kV. Spänningen är hög för att minimera överföringsförluster när elen transporteras långa sträckor från stora kraftproducenter vidare till distributionsnäten. Regionnäten distribuerar sedan elen med mellanspänning (50–130 kV) vidare till industrier och lokalnät som i sin tur distribuerar till hushåll och företag.

Elproduktionsanläggningar kan beroende på storlek vara anslutna till alla tre nivåer. För att få ansluta en anläggning direkt till transmissionsnätet krävs Svenska kraftnäts godkännande av tillståndsansökan¹⁹⁸. Ansökan görs via lokal- eller regionalnätsföretag. Bara producenter och användare med inmatning eller uttag över 100 MW kan vara anslutna till 220 kV-nätet. För 400 kV-nätet krävs minst 300 MW. De produktionsslag som idag är direktanslutna till

¹⁹⁵ Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1805.

¹⁹⁶ ReFuelEU Aviation ställer krav på andel förnybar energi, medan FuelEU Maritime ställer krav på minskade växthusgasutsläpp.

¹⁹⁷ Carbon Contracts for Difference

¹⁹⁸ Svenska Kraftnät, Anslutning till transmissionsnätet, 2022. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/anslutning-till-transmissionsnatet/> (hämtad 2024-06-10)

transmissionsnätet är kärnkraft, vattenkraft och större vindkraftsanläggningar. Till regionnätet kan alla kraftslag över 10 MW ansluta. Till lokalnätet kan småskalig produktion ansluta, exempelvis solceller på hustak.

Elnätsägare har monopol på elnätet men för att få äga och driva elnät krävs särskilt tillstånd, så kallad nätkoncession. Transmissionsnät och regionnät byggs i regel med stöd av nätkoncession för linje. Lokalnät byggs i huvudsak med stöd av nätkoncession för område. Även regionnät kan byggas utifrån så kallad områdeskoncession¹⁹⁹. Det är Energimarknadsinspektionen (Ei) som efter ansökan beviljar koncession för elnät. Ansökan om nätkoncession ska bland annat innehålla en redogörelse för samverkan mellan sakägare, myndigheter och allmänhet samt en miljökonsekvensbeskrivning. En nätkoncession för linje får endast beviljas om anläggningen är lämplig ur allmän synpunkt och får inte strida mot gällande detaljplaner eller områdesbestämmelser.

Energimarknadsinspektionens öppna data innehåller tekniska data kring Sveriges elnät på transmissions-, regions- och lokalnätsnivå. Tabell 14 sammanfattar längden av luftledning och jordkabel inom dessa kategorier för År 2022.

Tabell 14. Ledningslängd inom olika typer av nät, år 2022²⁰⁰

| | Luftledning [km] | Jordkabel [km] |
|------------------------------|------------------|----------------|
| Transmissionsnät | 15 500 | 1 500 |
| Regionnät | 29 581 | 2 098 |
| Lokalnät – Lågspänning | 46 393 | 286 408 |
| Lokalnät – Högspänning | 62 900 | 148 033 |
| Övriga linjer ²⁰¹ | 221 | 482 |

Källa: Öppna data, Ei^{202,203}

4.2.1 Teknisk potential

Nät på transmissions- och regionnivå är idag till stor del redan fullt nyttjade och det råder under topplasttimmar brist på tillgänglig elnätskapacitet i flera områden. Det betyder att de flesta ansökningar om utökad kapacitet för anslutning av en ny anläggning (för produktion eller användning) kräver systemförstärkande åtgärder. Med systemförstärkande åtgärder avses exempelvis reinvestering av befintlig ledning, byggnation av en ny station och byte av begränsande komponenter. I andra fall behöver en helt ny ledning byggas vilket generellt innebär längre ledtider och en längre process som inkluderar allt från första nätplanering till färdigställd ledning. Tillståndprocessen, det vill säga väntan på beslut om nätkoncession för linje och nödvändiga samtycken, är dimensionerande för hur lång tid det tar innan kunden får ansluta.

¹⁹⁹ Vad som krävs vid uppförande av nät utifrån områdeskoncession kan komma att ändras. I Promemoria KN2023/04664 föreslås en anmälningsplikt.

²⁰⁰ Energimarknadsinspektionen, Tabellförklaring till sammanställningarna av resultaträkning, balansräkning och särskild rapport. <https://ei.se/download/18.212631aa18bcc1823056ede/1700562010241/Tabellf%C3%B6rklar%C3%A5rsrapporter-eln%C3%A4t.pdf> (hämtad 2024-06-11)

²⁰¹ Övriga linjer avser enligt Ei ”uppgifter för nätföretag vars nät omfattas av definitionen av regionnät men som primärt syftar till att överföra el från en viss punkt, t.ex. en vindkraftspark, till en annan punkt.”

²⁰² Energimarknadsinspektionen, Öppna data, 2024. <https://ei.se/om-oss/statistik-och-oppna-data/oppna-data> (hämtad 2024-06-11)

²⁰³ Energimarknadsinspektionen, Tekniska uppgifter – elnät, 2023. <https://www.ei.se/sv/statistik/statistik-inom-omradet-el/Statistik-om-elnat/tekniska-uppgifter-om-elnatsforetagens-verksamhet/> (hämtad 2024-06-11)

4.2.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Behovet av utbyggnad och förstärkning av elnätet på olika spänningsnivåer påverkas av förändringar i elbehov och elproduktion. Nya anslutningar för såväl ny förbrukning som ny produktion, samt tillgång till flexibilitet inom elsystemet vid olika tidpunkter påverkar elsystemets drift. Förstärkning och nybyggnad av nät förväntas vara nödvändigt inom olika delar av landet för att möjliggöra för en storskalig elektrifiering och omställning av energisystemet.

Ett flertal förstärkningar i transmissionsnätet med nya ledningar och stationer är planerade, exempelvis för att möjliggöra den industriella omställningen i norra Sverige, för att förstärka transmissionsnätet i Stockholmsområdet och för att förstärka gränsen mellan elområdena 2 och 3.²⁰⁴

Riksintresse transmissionsnät

MSB har föreslagit att stamnätet ska utgöra ett riksintresse för totalförsvarets civila anläggningar. I MSBs förslag pekas samtliga ledningar och stationer i transmissionsnätet för el samt ledningarna i distributionsnätet för el mellan fastlandet och Gotland med tillhörande stationer ut som områden som är av riksintresse, på grund av att de behövs för totalförsvarets anläggningar enligt 3 kap. 9 § miljöbalken. Förslaget skickades på remiss till Boverket samt samtliga riksintressemyndigheter och länsstyrelser mellan 11 januari och 12 april 2024.

En av de synpunkterna på MSB:s förslag som inkommit var att det inte bedöms finnas stöd för att peka ut samtliga ledningar och stationer i transmissionsnätet för el samt distributionsnätet för el mellan fastlandet och Gotland med tillhörande stationer som ett riksintresseområde för totalförsvaret. Inkomna synpunkter behöver bearbetas av MSB innan ett eventuellt beslut om riksintresse för transmissionsnätet kan fattas. Exempel på synpunkter som inkommit är att ett omfattande utpekande av riksintresseanspråk riskerar att komplicera för olika aktörer inom den fysiska planeringen medan ett relevant utpekande kan stärka totalförsvaret.

4.2.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket elnät som kan byggas ut till 2030.

Hinder

Sett till landet som helhet har Sverige ett produktionsöverskott av el på årsbasis. Det uppstår dock prisskillnader mellan Sveriges elområden när elnätets kapacitet inte är tillräcklig för att överföra all kraft som efterfrågas från norr till söder. Lokalt förekommer det även nätkapacitetsbrist. Framöver växer behovet av överföringskapacitet i elnätet i takt med att elbehovet ändras. Med ändrade flöden kommer också risken för nätkapacitetsbrist att öka och uppstå på fler ställen i landet. För att möta energiomställningen och den ökande efterfrågan på el i alla delar av landet så behöver elnätet förstärkas och byggas ut. I underlaget till rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion*²⁰⁵ listades några av de förutsättningar som krävs för elnätets fortsatta utveckling.

²⁰⁴ Svenska Kraftnät, Transmissionsnätsprojekt, 2024. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnatet/transmissionsnatsprojekt/> (hämtad 2024-06-10)

²⁰⁵ *Hinder för utbyggnad av elproduktion – Underlag till rapport Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*, ER 2023:18.

- **Långsiktiga spelregler** – Nätbolagen vill se långsiktighet och politisk enighet i energifrågorna.
- **Helhetsbilden saknas** – En helhetsbild av elnätets utveckling på alla nivåer behövs för en proaktiv utbyggnad. Alla aktörer i energibranschen behöver samverka för att skapa en bild som kan vara ett stöd i valet av plats för etablering av nätförstärkningar, produktion och användning.
- **Ledtider** – De långa tiderna för varje del i processen behöver kortas och överklagande-processen ses över.
- **Acceptans för luftledningar** – Luftledning är oftast det bästa teknikvalet, men projekt-ering av nya luftledningar möter ett hårt motstånd. För att minska konflikter krävs tydlig styrning genom regelverk och informationsinsatser som skapar förståelse hos allmänheten för teknikval och utbyggnad.
- **Kompetens** – Många yrken med rekryteringsbehov gör att kompetensbehovet behöver tydliggöras för att säkra personal. framöver.

Möjligheter

Ny teknik kan vara ett komplement till att långsiktigt bygga ut och förstärka elnätet. Nya tekniska lösningar kan även hjälpa till att möta utmaningar i kraftsystemet inom de närmaste åren. Exempel på det är Dynamisk ledningskapacitet (på engelska Dynamic Line Rating, DLR) eller energilager vilka nämns som kompletterande åtgärder för att hantera brist på överföringskapacitet.²⁰⁶

Planerad nätutveckling

De flesta elnätsföretagen omfattas av skyldigheten att upprätta och rapportera in en nätutvecklingsplan till Ei. Nätutvecklingsplanen ska uppdateras och rapporteras in till Ei vartannat år med start 31 december 2024.²⁰⁷

Syftet med nätutvecklingsplanerna är att synliggöra vilka planerade investeringar som företaget ser framför sig de kommande 5 till 10 åren, samt att skapa transparens kring behov av flexibilitetstjänster i elnätet på medellång och lång sikt. Planerna ska ge särskild tonvikt på den huvudsakliga distributionsinfrastruktur som krävs för att ansluta ny produktionskapacitet och nya förbrukare inklusive laddningsstationer för elfordon. Detta för att underlätta integreringen av anläggningar som producerar el från förnybara energikällor, främja utvecklingen av energilagringsanläggningar och elektrifieringen av transportsektorn.²⁰⁸

Nätutvecklingsplanerna ska vara ett verktyg i arbetet med elektrifieringen och energiplaneringen för att uppnå Sveriges energi- och klimatmål. Mottagare av planerna är bland annat aktörer som arbetar med regional energiplanering. För dessa aktörer kan planerna bidra med nytta genom att belysa behovet av utbyggnad och förstärkningsbehovet för elnätet lokalt.

²⁰⁶ Svenska Kraftnät, *Nätutvecklingsplan 2024–2033*, 2023.

²⁰⁷ Energimarknadsinspektionen, *Nätutvecklingsplan*, 2024. <https://ei.se/bransch/rapportera-in-uppgifter-till-ei/natutvecklingsplan> (hämtad 2024-10-07)

²⁰⁸ Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2019/944, artikel 32.3.

4.3 Vätgas

I en delrapport inom uppdraget att samordna arbetet med vätgas i Sverige, publicerad i mars 2024 gav Energimyndigheten en överblick av vätgasens nuläge och potentiella framtid i Sverige.²⁰⁹ Idag sker en övervägande majoriteten av produktionen av vätgas på västkusten där den utgör en viktig råvara inom delar av processindustrin, framför allt inom raffinaderier och kemisk industri. Produktionen sker genom ångreforming av naturgas, vilket leder till fossila utsläpp om denna produktionsmetod inte kombineras med koldioxidinfångning och lagring, vilket den inte gör i dagsläget. Flera projekt pågår dock inom dessa industrier för att minska de fossila utsläppen från verksamheten. Uppskattningsvis cirka 6,4 TWh vätgas (motsvarande 192 kiloton vätgas per år) produceras och används årligen inom processindustrin²¹⁰. Utöver detta producerar Ovako fossilfri elektrolytisk vätgas i sin 20 MW elektrolysöranläggning i Hofors. Anläggningen har en maximal produktionskapacitet på 3 380 kubikmeter per timme. Planen är att utöka produktionskapaciteten i framtiden för att även kunna försörja en vätgastankstation i närheten anläggningen med fossilfri vätgas.

Utöver *nuvarande* produktion och användning av vätgas pågår cirka 60 projekt i Sverige, exklusive tankstationer, som involverar produktion och/eller användning av vätgas. Bland projekten finns såväl små som stora anläggningar, men tyngdpunkten är på vätgas producerad genom elektrolys från fossilfri elektricitet (i motsats till dagens ångreforming av naturgas). Projekten är i olika stadium mot förverkligande, vilket betyder att de befinner sig i ett brett spann mellan förstudie och pågående konstruktion. I några enstaka fall är anläggningen i projektet redan driftsatt. I delrapporten beskrivs tre kluster i olika delar av landet utifrån en geografisk koncentration av verksamheter: norra Sverige, Mellansverige och Västsverige. Figur 17 ger en överblick över vätgasprojekt i Sverige.

De mest konkreta publika planerna för produktion och användning av vätgas finns i Norrbotten och norra Lappland och är kopplade till järn- och stålindustrin. Utgångspunkten är att fossilfri vätgas, producerad genom elektrolys, ska användas för direktreduktion av järnmalm, vilken genom vidareförädling kan ge stål med väsentligt lägre klimatavtryck. I dagsläget finns en pilotanläggning för direktreduktion i Luleå. Större kommersiella anläggningar är också långt gångna i Boden och Gällivare, med beräknat idrifttagande innan 2030.²¹¹ I norra Sverige finns även flera projekt som syftar till att producera fossilfri vätgas för att därefter använda den som insatsvara för produktion av e-metanol samt för produktion av fossilfri ammoniak som i sin tur används för produktion av kvävegödsel. Flera anläggningar för produktion av e-metanol planeras runt om i Sverige. I anslutning till kraftvärmeverket i Luleå planeras det för en stor fabrik för konstgödsel. På flera platser finns även ett uttalat intresse för vätgasproduktion från befintliga och planerade vindkraftsparker på land och till havs.²¹² Tabell 15 visar nyckeldata för några pågåendevätgasprojekt i Sverige.²¹³

²⁰⁹ *Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet: delrapport inom arbetet att samordna arbetet med vätgas i Sverige*, ER 2024:07.

²¹⁰ Edvall m.fl., *Vätgas på västkusten*, 2022.

²¹¹ För mer detaljerad beskrivning se *Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet: delrapport inom arbetet att samordna arbetet med vätgas i Sverige*, ER 2024:07 samt *Industrin – nuläge och förutsättningar för omställning: en nulägesanalys inom Industriklivet*, ER 2023:22.

²¹² Se exempelvis: Nohrstedt, *Trots skrotade projekt – de satsar på vätgasfabriker i havet*, *NyTeknik*, 2024-09-19.

²¹³ En mer detaljerad genomgång kommer att göras till Energimyndighetens slutrapportering av vätgas-samordningsuppdraget i december 2024.



Figur 17. Överblick över vätgasprojekt i Sverige.
Källa: Energimyndigheten

Tabell 15. Vätgasprojekt i Sverige i urval.

| Projekt | Process | Lokalisering | Status (meddelad driftstart) | Elektrolysstorlek |
|-----------------------|------------------------------------|--------------|--------------------------------------|-------------------|
| Ovako | Uppvärmning av stål inför valsning | Hofors | I drift | 20 MW |
| H2 Green Steel | Direktreduktion järnmalm | Boden | Under konstruktion (2026/2027) | 700 MW |
| Hybrit Demoanläggning | Direktreduktion järnmalm | Gällivare | Tillståndsprövning (2028/2029) | |
| Project Air | Vätgas för produktion av e-metanol | Stenungssund | Miljötillstånd beviljat (2026) | 30 MW |
| Flagship Two | Vätgas för produktion av e-metanol | Sundsvall | Miljötillstånd beviljat (2026) | 140 MW |
| Power-to-Earth | Vätgas för produktion av ammoniak | Luleå | Planläggning/tillståndssökt (2030 >) | 600 MW > |

Parallellt med projekt för produktion av vätgas finns tidiga planer på infrastruktur i form av vätgasledningar i syfte att knyta samman användare och producenter. Nordion Energi som är transmissionsnätoperatör (TSO) för naturgasnätet i Västsverige, samarbetar med bland annat Gasgrid Finland (TSO för gasnätet i Finland) om en cirka 1 000 km lång vätgasledning runt Bottenviken med en förgrening mot Kiruna.²¹⁴ Det finns även planer på en ledning till havs som förbinder Sverige och Finland med Kontinentaleuropa.²¹⁵ I april 2024 godkändes²¹⁶ de två ovan nämnda projekten av EU-parlamentet och Europeiska rådet som projekt som EU anser vara av särskild betydelse för unionens energimarknad, så kallade PCI-projekt (Project of Common Interest).²¹⁷ PCI-status ger projektägare möjlighet att söka särskilda EU medel för att underlätta finansieringen.²¹⁸

4.3.1 Teknisk potential

Vätgasproduktion i Sverige kommer på kort sikt främst vara elektrolysbaserad. Det finns dock planer för produktion av förnybar och koldioxidsnål vätgas genom bland annat ångreformer- ing av metan och biogas med CCS, förgasning av biomassa, samt förgasning av avfall med CCS. Den tekniska potentialen för svensk vätgasproduktion är starkt beroende av tillgången till fossilfri el för elektrolysbaserad produktion, tillgång till råmaterial som biogas och bio- massa, samt naturgas och avfall för produktion av förnybar respektive koldioxidsnål vätgas.

²¹⁴ Projektet går under namnet Nordic Hydrogen Route (NHR).

²¹⁵ Projektet går under namnet Baltic Sea Hydrogen Collector (BHC).

²¹⁶ Nordion Energi, Nordion Energis vätgasprojekt godkända av EU-parlamentet och Europeiska rådet, 2024. <https://nordionenergi.se/nyheter/2024-04-19-nordion-energis-vatgasprojekt-godkanda-av-eu-parlamentet-och-europeiska-radet> (hämtad 2024-10-07)

²¹⁷ PCI-ramverket är inte begränsat till vätgas men i den senaste sammanställningen av projekt daterad till november 2023, som upprättas av kommissionen och därefter godkänns av parlamentet och rådet, är cirka 65 av 165 projekt kopplade till vätgas.

²¹⁸ Avser fonden för ett sammanlänkat Europa, CEF, Connecting Europe Facility.

Efterfrågan på vätgas väntas öka med tiden både genom redan annonserade industriprojekt och nya projekt. En ökad efterfrågan innebär även att elsystemet måste byggas ut i relation till vätgasefterfrågan. Efterfrågan förväntas vara störst i elområde 1 följt av elområde 3, 2 och 4. För att få en uppfattning om omfattningen av den elsystemutbyggnad som behövs (totala efterfrågan på el till lägsta kostnad) under perioden 2030–2050 har SWECO utfört en teknoekonomisk modellering²¹⁹ på uppdrag av Energimyndigheten. I modelleringen tillåts utbyggnad av elproduktion från land- och havsbaserad vindkraft i samtliga elområden samt investering i kärnkraft i elområde 1 och livstidsförlängning av kärnkraftreaktorer i elområde 3. Modellen investerar inte i utbyggnad eller effekthöjning av vattenkraft, samt investerar minimalt i solenergi. Även om analysen är baserad på vissa antaganden och innehåller vissa osäkerheter, kan modellresultaten vara intressanta och ses som indikativa. Tabell 16 visar indata om el- och vätgasefterfrågan för perioden 2030–2050.

Tabell 16. Modellerad el- och vätgasefterfrågan för perioden 2030–2050.

| År | 2030 | 2035 | 2040 | 2045 | 2050 |
|---|------|------|-------|-------|-------|
| Total efterfrågan på el (TWh) | 183 | 223 | 277 | 313 | 353 |
| Efterfrågan på el exkl. efterfrågan från elektrolysörer (TWh) | 159 | 187 | 216 | 230 | 245 |
| Efterfrågan på el från elektrolysörer (TWh) | 24 | 36 | 61 | 83 | 108 |
| Vätgasefterfrågan (kiloton vätgas) | 719 | 922 | 1 409 | 1 896 | 2 382 |

Källa: Indata till SWECOs²²⁰ modell.

Efterfrågan på fossilfri el ökar både för elektrolytisk vätgasproduktion och övriga elbehov vid en ökad elektrifiering i olika sektorer. Till 2050 kräver elektrolytisk vätgasproduktion omkring 108 TWh år vilket är ungefär en tredjedel av det totala elbehovet. Tabell 17 visar modellerad elproduktionskapacitet för olika kraftslag år 2050. Teknisk potential av den omfattning som visas för kraftslagen finns, men kräver investeringar och en stegvis utbyggnad av elsystemet, samt samplanering med byggnation av vätgassystemet.²²¹

Tabell 17. Modellerad elproduktionskapacitet år 2050, TWh.

| Landbaserad vindkraft | Havsbaserad vindkraft | Kärnkraft ²²² | Solkraft | Vattenkraft ²²³ |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------|----------|----------------------------|
| 161,7 | 50 | 59 (92,4) | 3,4 | 76,2 |

Källa: Sweco.²²⁴

²¹⁹ SWECO, *Analys av vätgasinfrastuktur – Analysstöd för Energimyndigheten* (dnr 2023-201973), 2024

²²⁰ Ibid.

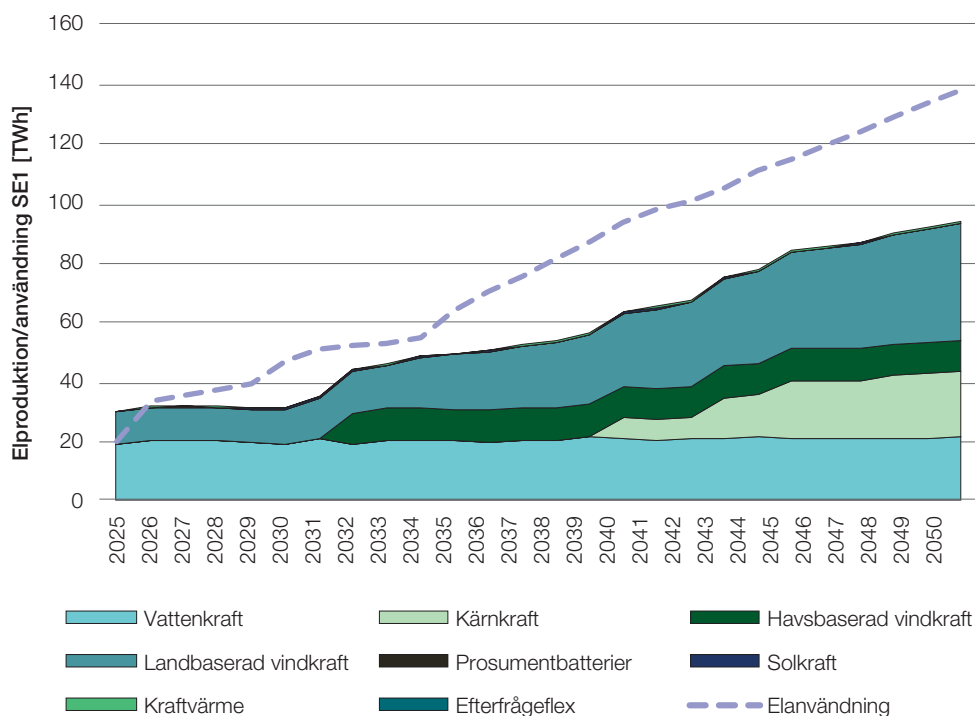
²²¹ Ibid

²²² Ökad kärnkraftskapacitet med 30 TWh i SE1 och ca 3 TWh i SE3 i en känslighetsanalys

²²³ Befintlig kapacitet.

²²⁴ SWECO, *Analys av vätgasinfrastuktur – Analysstöd för Energimyndigheten*, dnr 2023–201973, 2024.

Figur 18 visar modellerad elanvändning- och produktion från 2025 till 2050 för elområde 1 (det elområde där efterfrågan förväntas vara störst) från referensscenariot²²⁵. Som framgår av figuren kommer elområde 1 (SE1) att behöva el eller vätgasöverföring från ett annat område, exempelvis från elområde 2 (SE2) som förväntas ha ett överskott på el. Alternativ är ökad produktion i området, med modellantagande om installation av kärnkraft i elområde 1 uppnås balans mellan elproduktion och elanvändning vid cirka 4 GW.



Figur 18. Modellerad elproduktion och användning i referensscenario för elområde 1.

Källa: Sweco.²²⁶

Modellen missar dock efterfrågan på vätgas från vägtransporter som kan vara i storleksordning 40–60 kiloton per år efter 2030, samt delvis efterfrågan från sjöfart och flyg. Den tar inte heller hänsyn till behovet från reservkraft²²⁷ eller energiberedskap (inklusive totalförsvarets behov). Det behövs ytterligare ökning i elproduktionen på 105 TWh (exempelvis med 40 TWh från solkraft, 20 TWh från havsbaserad vindkraft samt 45 TWh från kärnkraft) för att det ska vara möjligt att producera ytterligare 2 000 kiloton fossilfri vätgas per år. Först då är utbudet nära den efterfrågan som annonserade projekt beräknas ha till 2050. Den tekniska potentialen för produktion av vätgas genom andra metoder kan öka produktionskapaciteten ytterligare.

²²⁵ Baserad på högelektrifieringsscenariot i Energimyndighetens långsiktiga scenarier, 2024.

²²⁶ SWECO, *Analys av vätgasinfrastuktur – Analysstöd för Energimyndigheten*, dnr 2023–201973, 2024.

²²⁷ System som idag drivs med fossila bränslen och används för att generera el till samhällsviktiga verksamheter när normal strömförsörjning faller bort.

4.3.2 Områden med potential och behov av tillhörande energidistribution

Produktion av fossilfri vätgas planeras att ske i nära anslutning av användningen i majoriteten av de annonserade vätgasprojekten. Det kan förklaras av bristen på infrastruktur för vätgas-transmission och -lagring i Sverige. Det finns dock projekt som planerar att producera vätgas i anslutning till både landbaserade och havsbaserade vindkraftverk och transportera vätgasen till slutanvändare. Vid stora volymer vätgas innebär det att vätgasledningar kommer behöva byggas medan lastbilar står för transporten av mindre volymer, exempelvis till vätgastankstationer. Ett sådant projekt är Lhyfe vätgasanläggning i Trelleborg där producerad fossilfri vätgas ska distribueras vidare till vätgastankstationer i Trelleborg²²⁸. Ett annat exempel är Vattenfalls samarbete med St1 där Vattenfall utvecklar infrastrukturen för vätgasförsörjning från havsbaserad vindkraft på västkusten, medan St1 är köpare och användare av den fossilfria vätgasen för sin produktion av elektrobränsle (primärt avsett att användas som hållbart flygbränsle).²²⁹

Elområde 2 har potential för produktion av fossilfri vätgas och överföring via vätgasledningar till både elområde 1 och elområde 3, där efterfrågan finns. Både LKAB och Fertiberia planerar att bygga vätgasledningar för att överföra vätgas från produktionsanläggning till användningsanläggning.

Idag produceras cirka 192 kiloton vätgas per år (motsvarande 6,4 TWh per år) genom ångreformerings av metan vid raffinaderier och kemiindustrier på västkusten, samt en liten andel i elområde 4 (motsvarande 20 kiloton). I ett framtidsscenario²³⁰ kan behov av vätgas på västkustens öka till 14 TWh. Ett sådant behov skulle kunna tillgodoses med produktionen från vattenelektrolys i anslutning till industrier i området eller i en centraliserad produktionsanläggning som försörjer industrins behov av fossilfri vätgas. I scenario distribueras vätgasen med hjälp av en cirka 120 km lång vätgasledning mellan industrier i västkustens kluster (Göteborg, Stenungssund och Lysekil). Det befintliga gasnätet som används för transmission av naturgas från Danmark till västkustens industrier kan anpassas för vätgastransmission när industrierna ställer om till fossilfrihet. Ledningar kan även användas för transmission av biometan.

När det gäller naturlig förekommande lager som passar för storskalig underjordisk vätgaslagring är möjligheterna begränsade i Sverige. Det finns dock saltvatten akviferer längs den skånska kusten som skulle kunna passa bra för vätgaslagring, men dessa pekats i första hand ut för koldioxidlagring²³¹. Vätgas kan potentiellt lagras i utarmade oljelager efter efterbehandling och anpassning för säker användning. I Gävle Hamn har ett existerande lager för petroleumprodukter undersökts för möjligheten att lagra vätgas²³². Inklädda berggrum kan vara en lösning för säsongslager även om det är en kapitalintensiv teknik. Tekniken har demonstrerats i Hybrit projektet och LKAB planerar att klä in ett större berggrum för lagring. I nuläget finns inga ytterligare kända projekt med berggrumslager.

²²⁸ Thulin, Lhyfe har fått stöd från Klimatklivet för vätgasanläggning i Trelleborg, 2024-06-24.

²²⁹ St1, Vattenfall och St1 ingår nytt partnerskap inom fossilfritt e-flygbränsle, 2022. <https://www.st1.se/vattenfall-och-st1-i-nytt-fossilfritt-samarbete> (hämtad 2024-10-07)

²³⁰ Edvall m.fl, *Vätgas på västkusten*, 2022.

²³¹ Ormegard och Sämbratt, *Förnybar vätgas i Skåne – En utvärdering av praktiskt genomförbar potential ur ett energisystemperspektiv*, 2020.

²³² Langels och Syrjä, *Hydrogen Production and Storage Optimization based on Technical and Financial Conditions A study of hydrogen strategies focusing on demand and integration of wind power*, 2021.

4.3.3 Förutsättningar fram till 2030

Det här avsnittet ger exempel på de hinder och möjligheter som kan påverka hur mycket vätgasen kan öka till 2030.

Hinder

Infrastrukturella utmaningar

Många vätgasaktörer planerar att själva producera den fossilfria vätgas de behöver nära användningen i sina anläggningar, vilket eliminerar behovet av vätgastransport. För en bredare vätgasproduktion och användning krävs dock en omfattande uppbyggnad av infrastruktur för produktion, transport, distribution och lagring av vätgas, för att tillgodose behoven inom andra sektorer, såsom transportsektorn, reservkraft och beredskap. Byggnationen av infrastruktur kräver stora investeringar samt omfattande tillstånds- och planeringsprocesser, vilket innebär att den sannolikt inte kan vara på plats före 2030.

Tekniska och ekonomiska barriärer

Många av de tekniska lösningarna för produktion, lagring och distribution av vätgas är fortfarande under utveckling och saknar tillräcklig erfarenhet av storskalig drift. Detta gör det svårt att attrahera finansiering, vilket bromsar utbyggnaden av infrastrukturen. Vidare förorsakar vätgasen säkerhetsutmaningar i och med sina brandfarliga och explosiva egenskaper. Säkerhetsaspekten kräver avancerade material, designlösningar, samt ytterst strikta säkerhetskrav och standarder, vilka tar flera år att utveckla och implementera. Detta driver sannolikt upp kostnaderna, vilket ytterligare försvårar utbyggnaden av värdekedjan för fossilfri vätgas.

Därtill är kostnaden för att producera vätgas genom vattenelektrolys avsevärt högre än för traditionella metoder, vilket gör det svårt för elektrolytisk vätgas att konkurrera med fossil alternativ. Sannolikheten att fossilfri vätgas når kostnadsparitet med fossil vätgas till 2030 är mycket låg. Den låga efterfrågan på fossilfri vätgas och den begränsade infrastrukturen bidrar dessutom till osäkerhet bland investerare. Det är svårt för producenter att säkra långsiktiga köpavtal och finansiering. Risker att tidiga investeringar blir föråldrade i takt med teknikutvecklingen avskräcker ytterligare investeringar, vilket kan leda till en ond cirkel av låg investeringstakt och fördröjd utveckling.

Institutionella och sociala hinder

En av de största utmaningarna för en snabb utbyggnad av värdekedjan för fossilfri vätgas är fragmenterade regelverk och bristande samordning. Sverige, liksom många andra länder, saknar ett sammanhängande och heltäckande regelverk för vätgassektorn. Detta skapar osäkerhet och förvirring för företag som vill investera i vätgaslösningar. Bristande samordning mellan offentliga aktörer och den privata sektorn leder till ineffektivitet och förseningar i projekt, vilket även resulterar i högre kostnader. Att ta fram ett sammanhängande regelverk för vätgas kommer sannolikt att ta flera år och fördröja den nödvändiga uppbyggnaden av infrastruktur vilket kan hämma utvecklingen av vätgasmarknaden.

Samhällets medvetenhet och förståelse för vätgasens potential och säkerhet är fortfarande låg. Detta bromsar marknadens tillväxt. Samtidigt finns det risk att förväntningarna på vätgasens roll i energiomställningen blir orealistiskt höga. Det kan leda till felriktade investeringar som inte är förankrade i faktiska tekniska och marknadsmässiga förutsättningar.

Möjligheter

Politisk vision och regelverk

För att säkerställa framgång för vätgassektorn krävs en tydlig politisk vision och en långsiktig strategi, stödd av lagstiftning och reglering. Genom att skapa en harmoniserad och förutsägbar regelmiljö (både nationellt och internationellt) kan osäkerheten för investerare och företag minskas. Det inkluderar även att främja samarbete mellan länder för att harmonisera standarder, säkerhetsprotokoll och handelsregler för vätgas.

Forskning och utveckling

Investeringar i forskning och utveckling är avgörande för att övervinna tekniska barriärer och utveckla nya, kostnadseffektiva lösningar för produktion, lagring och transport av vätgas. Det är också viktigt att utveckla standardiserade säkerhetsprotokoll och designlösningar som underlättar en bredare användning av vätgas. Genom att bygga upp en stark teknisk kompetens och utbilda framtida experter inom vätgasteknik kan företag snabba upp implementeringen av vätgassystem.

Infrastruktur och investeringar

För att möjliggöra en snabbare övergång till fossilfri vätgas krävs omfattande investeringar i infrastruktur, såsom elektrolysanläggningar, vätgasledningar och lagringsfaciliteter. Offentligt stöd till tidiga projekt kan bidra till att skapa en marknad för fossilfri vätgas, vilket i sin tur kan stimulera privat finansiering och tillväxt. Initiativ som riktade köpavtal och stöd för industriella användare av vätgas kan också bidra till att skapa en stabil efterfrågan, vilket minskar investeringsrisken och möjliggör storskalig produktion.

Partnerskap och medvetenhet

Genom att främja partnerskap mellan offentliga och privata aktörer kan resurser mobiliseras och risker delas, vilket ökar investerarnas förtroende och accelererar utbyggnaden av vätgassektorn. Det är också viktigt att öka allmänhetens medvetenhet om vätgasens fördelar och säkerhet genom informationskampanjer och utbildningsprogram. Detta kan bidra till att minska sociala barriärer och skapa bredare acceptans för vätgas som en del av framtidens energisystem.

5 Jämförelse av teknisk potential och behov av utbyggnad till 2030 för förnybar energi

För att bedöma om områdena med teknisk potential räcker till för att Sverige minst ska nå bidraget om 67 procent förnybar energianvändning till 2030 behöver ytan av dessa områden jämföras med ytan som bedöms behövas enligt scenariot Högre elektrifiering.

Den tekniska potentialen för de olika energi- och distributionsslagen beskrivs i tidigare kapitel och metoden för att ta fram de kartbilder som visas i detta kapitel presenteras i bilaga 1. Det är viktigt att komma ihåg att det kommer ske ett bortfall, av den tekniska potential som presenteras i kartbilderna, i senare skeden av planerings- och utbyggnadsprocessen. Anledningarna till bortfall beskrivs närmare i avsnitt 1.3 men beror bland annat på konkurrerande markanspråk eller motstående intressen inom områdena. I uppdraget ingår inte att ta ställning till vilket intresse eller markanspråk som ska ha företräde, det är en prövning som behöver göras i varje enskilt fall. Den potential som visas i kartbilderna är därför högst beroende av valet av de kriterier som använts för att definiera vilken befintlig markanvändning som anses oförenlig med utbyggnation av ett specifikt energislag.

Den tekniska potentialen behöver även relateras till vad som är möjligt att bygga till 2030, det vill säga de hinder och möjligheter som finns, vilket beskrivs i tidigare kapitel för respektive energi- och distributionsslag. Detta innebär återigen att det kommer att ske ett bortfall och att stora delar av den tekniska potentialen som presenteras inte är realistisk att bebygga.

I den uppdaterade nationella energi- och klimatplanen används Energimyndighetens scenario Högre elektrifiering²³³ med benämningen basscenariot som utgångspunkt för ett förnybart bidrag på 67 procent till 2030²³⁴. För att detta bidrag ska uppnås är det till störst del landbaserad vindkraft som är möjligt att bygga ut till 2030, men även solkraft, havsbaserad vindkraft, värme och kyla, samt biokraft.

I Tabell 18 redovisas den ökning av elproduktion som enligt scenariot Högre elektrifiering motsvarar att bidraget till unionsmålet för 2030 nås samt den projekteringsyta som energislaget bedöms behöva för att detta ska kunna ske. Underlagen som används för respektive kraftslag är exempel på den yta som krävs för ett projekt, den kan i hög grad påverkas av antaganden kring installerad effekt, drift och underhåll. För havsbaserad vindkraft antas en turbinstorlek på 12 MW och en densitet av 20 vindkraftverk per TWh och för landbaserad vindkraft antas 6 MW turbiner med en densitet på 50 vindkraftverk per TWh.

²³³ Scenarier över Sveriges energisystem 2023, ER 2023:07. Rev. Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

²³⁴ Bilaga till regeringsbeslut KN2024/00362.

Tabell 18. Ökning av elproduktion som behövs för att nå bidraget till unionsmålet för 2030 samt behovet av yta för projekteringsområden per energislag.

| Energislag | Behov av utbyggnad mellan 2022 och 2030 [TWh] | Area intensitet, projekteringsområden [km ² /TWh] | Behov av projekteringsyta för utbyggnad till 2030 [km ²] |
|-----------------------|---|--|--|
| Havsbaserad vindkraft | 4,6 | 39 | 179 |
| Landbaserad vindkraft | 35,4 | 45 | 1 593 |
| Solenergi | 7 | 11,9 | 83 |

Källa: Regeringen²³⁵, Energimyndigheten och Naturvårdsverket²³⁶, och WWF²³⁷.

Ytanspråk och samexistens med befintlig markanvändning och värden

En naturlig konsekvens av elektrifieringen är att fler mark- och vattenområden behöver tas i anspråk för utbyggnad av elproduktion och överföring av el. Det ökade ytanspråket kan påverka befintliga naturmiljöer som ersätts av nya typer av miljöer, människors livsmiljö och pågående mark- och vattenanvändning. Ett ökat ytanspråk kan därmed ge en miljöpåverkan och ge upphov till konflikter om hur landskapet ska användas och se ut. I den inneboende konflikten ligger aspekterna:

- Vilken grad av hänsyn och anpassning ny elinfrastruktur ska tas till den befintliga markanvändningen?
- I vilken omfattning andra intressen och värden kan, och ska, anpassa sig till nya förutsättningar?

Utvecklad planering och arbete för samexistens och fleranvändning gör att förutsättningar för utbyggnad av elinfrastruktur kan kombineras med en hållbar utveckling av energiproduktion, genom att möjliggöra val mellan tekniker och geografiska placeringar. Omfattningen på behovet av ny elinfrastruktur medför ett stort behov av avvägningar och anpassningar hos befintliga intressen.²³⁸

²³⁵ Bilaga till regeringsbeslut KN2024/00362, s.230.

²³⁶ Energimyndigheten och Naturvårdsverket, *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling*, 2021, s. 18.

²³⁷ WWF, Technical Annex: Building a Nature-Positive Energy Transformation, 2023, s. 6.
https://files.worldwildlife.org/wwfmsprod/files/Publication/file/8ath2y428z_Technical_Annex_Nature_Positive_Energy_Transformation_Nov_2023.pdf (hämtad 2024-09-25).

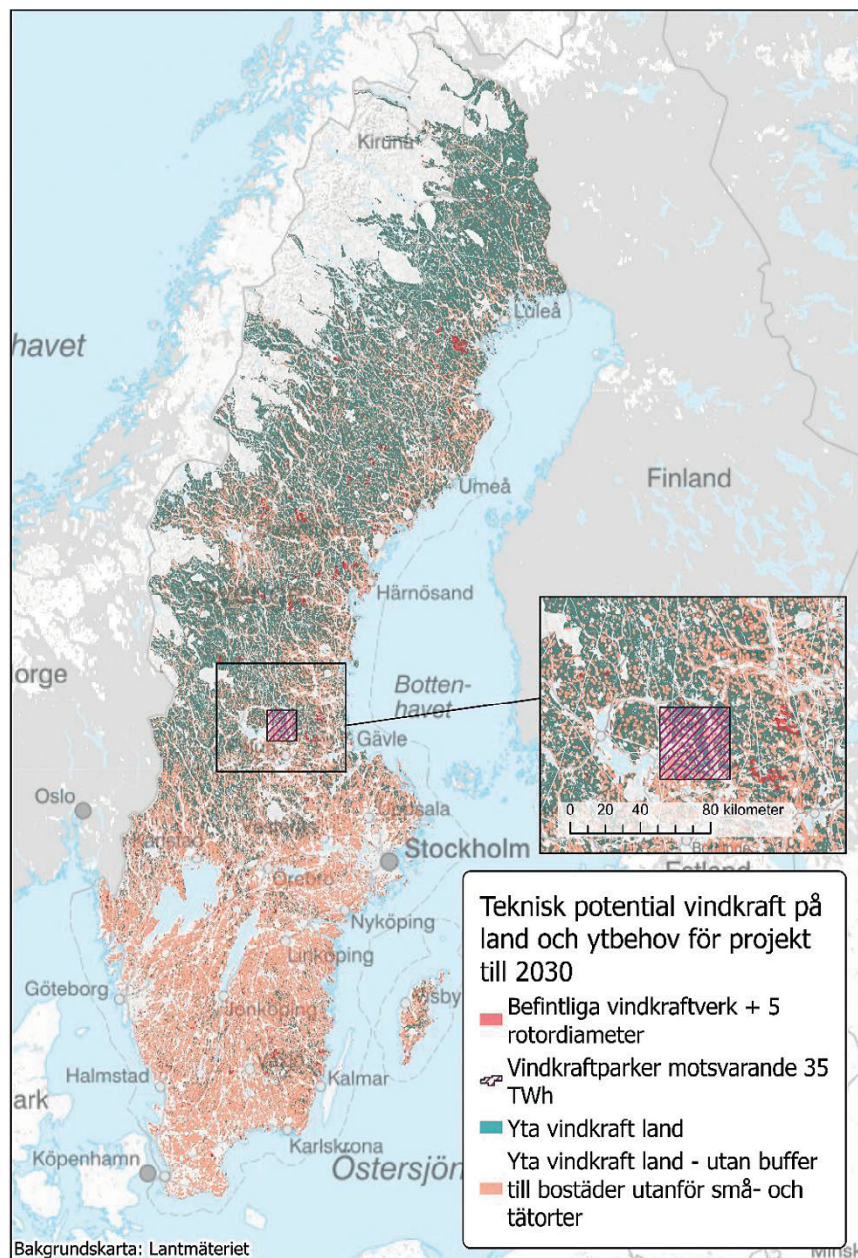
²³⁸ *Utvecklingsvägar för elproduktion*, ER 2023:18.

5.1 Landbaserad vindkraft

Den tekniska potentialen för landbaserad vindkraft i Sverige är stor men inte oändlig, det blir tydligt i kartbilden i Figur 19. Gul och grön färg visar områden som identifierats i GIS-analysen med teknisk potential för etablering av vindkraft. Resterande ytor har bedömts innehålla en markanvändning som omöjliggör för etablering av vindkraft enligt den definition som används inom ramen för detta uppdrag. I bilaga 1 listas de markområden som bedömts vara omöjliga. I avsnitt 2.3.2 beskrivs resonemanget bakom kategoriseringen av möjliga och omöjliga områden. Kvadraten med röda streck i figuren visar den proportionerliga yta för projekteringsområden som skulle behöva driftsättas mellan 2022 och 2030 för att motsvara det nationella bidraget om 35,4 TWh landbaserad vindkraft utifrån scenariot Högre elektrifiering. Rutan kan jämföras med den totala tekniska potentialen som finns utpekad som de gröna och gula områdena i kartan. Storleken på kvadraten för det totala behovet av projekteringsområden för landbaserad vindkraft är 1 593 km². Begränsning av potential orsakas främst av att inte kunna anlägga vindkraftverk för nära bostäder utifrån lagstadgade bestämmelser i form av vindkraftverkens ljudutbredning till bostäder. Gula områden i kartan visar hur mycket den tekniska potentialen skiljer sig (från gröna områden) med ett schablonavstånd av 800 meter kring bostäder som buffertzona. Det blir tydligt att södra delen av Sverige har störst utmaningar med att få utrymme för större sammanhängande vindkraftsetableringar med hänsyn tagen till ljudutbredning och buffertzona. Det utesluter dock inte vindkraftsetableringar helt, mindre etableringar anpassade för bebyggelsen och bestående av platseffektiva vindkraftverk har teknisk potential att rymmas även i landskapen i södra Sverige. Utmaningen med att få plats med större vindkraftsetableringar kan särskilt bli ett problem vid generationsväxling i områden med begränsningar, eftersom generationsväxling generellt innebär ett utbyte av befintliga verk till större verk. De röda områdena i kartan markerar platser där det står vindkraftverk idag inklusive en buffertzona på 5 gånger rotordiametern.

Mark- och ytanspråk för vindkraft kan bedömas för projektområde respektive direkt markanvändning. Markanspråket kan även anges som ett påverkansområde vilket varierar stort beroende på typ av påverkan som avses, exempelvis påverkansområden utifrån totalförsvarets intressen eller påverkansområden utifrån vindkraftverkens synlighet i förhållande till kulturmiljöer. Direkt ytanspråk utgörs av den faktiska ytan som fundament, uppställningsplatser, vägar och elnät tar upp. Det ytanspråket är förhållandevis litet och motsvarar cirka 3–5 procent av ett projektområde för landbaserad vindkraft, samt 1–2 procent för havsbaserad vindkraft.²³⁹

²³⁹ Utvecklingsvägar för elproduktion, ER 2023:18.



Figur 19. Teknisk potential för landbaserad vindkraft projekteringsytan motsvarande bidraget till unionsmålet för utbyggnation av landbaserad vindkraft till 2030.

Källa: Producerad av Energimyndigheten för denna rapport.

5.2 Solenergi

Den tekniska potentialen för energiutvinning från solcellsanläggningar i Sverige är mycket stor. Kartbilden i Figur 20 visar teknisk potential för markbaserade solcellsanläggningar samt områden som anses vara omöjliga att uppföra anläggningar på. Omöjlig markanvändning redovisas i Tabell 21 i bilaga 1. En stor andel av markanvändning som bedöms omöjliggöra utbyggnad är skyddade områden för natur- och kulturmiljö. Kvadraten i figuren omfattar ett områdesanspråk på 83 km² och visar storleken på totala yta som skulle behöva bli driftsatt fram till 2030 för att motsvara det nationella bidraget om 7 TWh solenergi i scenariot Högre elektrifiering. Utbyggnaden av solceller i scenariot är inte särskilt stort i jämförelse med den tekniska potentialen i sin helhet. Jordbruksmark betraktas inte som markanspråk som omöjliggör utbyggnad i den här kartläggningen. Det är dock värt att nämna att Jordbruksverket fått i uppdrag²⁴⁰ att tydliggöra i vilken omfattning solcellsparkar eventuellt kan uppföras i samexistens med annan användning på jordbruksmark.

Det finns ytterligare potential för solenergiproduktion som inte redovisas i kartbilden, i form av installerade solcellsanläggningar på tak. Beräkning av potentialen kräver en mer noggrann analys på lokal nivå utifrån förutsättningar som bland annat solinstrålning, lutning och taktyper. Att bygga solcellsanläggningar på tak har en fördel eftersom ny mark inte behöver tas i anspråk, att etablering av elproduktion sker i nära anslutning till där behovet finns, samt att befintlig infrastruktur ger förutsättningar för elnätsanslutning.

²⁴⁰ Regeringsbeslut LI2024/01686.



Figur 20. Teknisk potential för markbaserade solparker och projekteringsytan motsvarande bidraget till unionsmålet för utbyggnation av solenergi till 2030.

Källa: Producerad av Energimyndigheten för denna rapport.

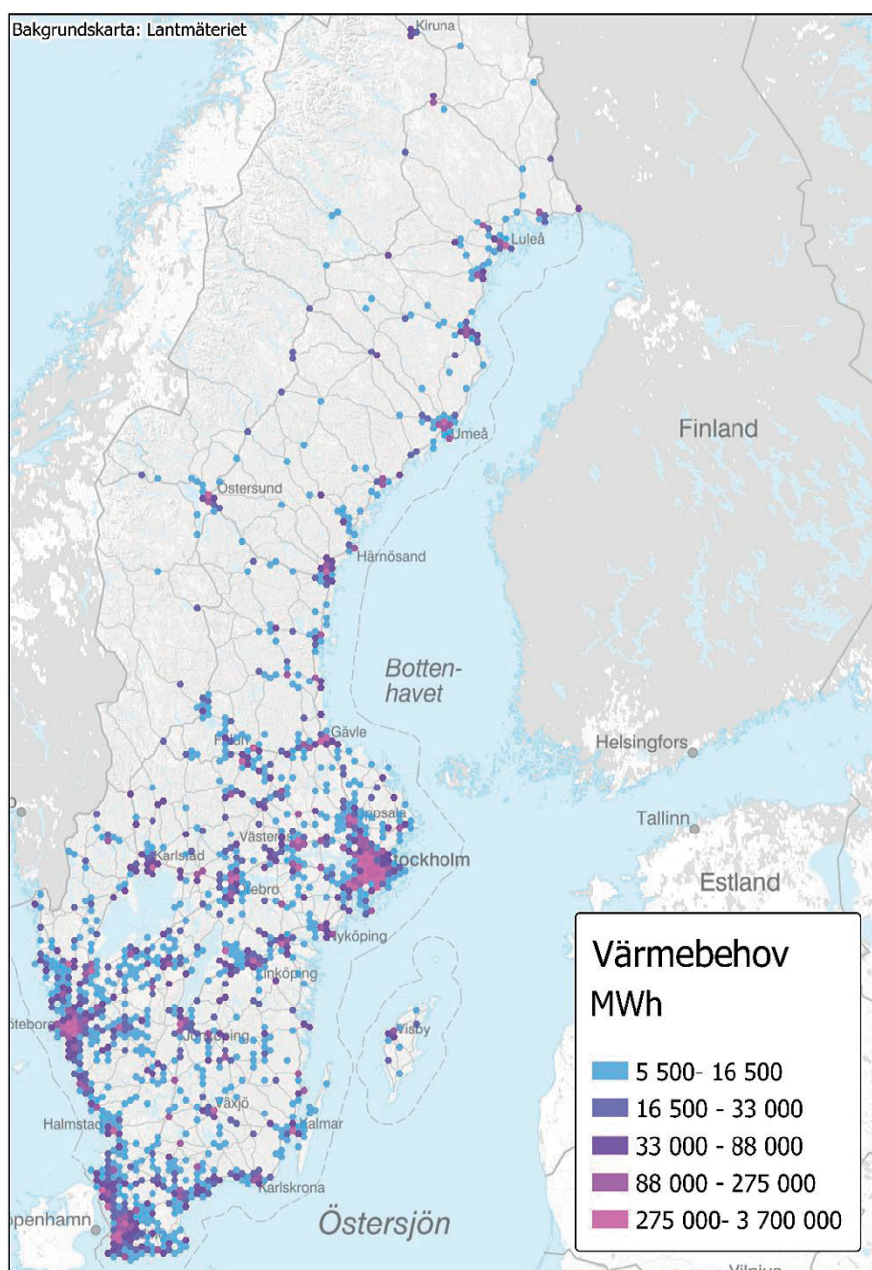
5.3 Kraftvärme

Den tekniska potentialen för kraftvärme begränsas inte av tillgänglig mark utan av behovet av värme, vilket beskrivs i avsnitt 3.1. Därför redovisas inte en kartbild över befintlig markanvändning som omöjliggör utbyggnad, utan i stället visar Figur 21 det sammanlagda värmebehovet i MWh för sektorerna service och bostäder per år visat per 50 km² polygoner. Kartbilden ger därmed en bild över i vilka områden det finns potential för ny- eller återinvesteringar i kraftvärmen som skulle kunna möjliggöra att det nationella bidraget till 2030 nås.

Bedömningen av ytterligare förnybar energi för värme och kyla är 21 TWh mellan 2020 och 2030, där bland annat sektorerna industri, bostäder och service samt fjärrvärmeproduktion är inräknade. För biokraft bedöms det nationella bidraget motsvara ytterligare elproduktion

på 4 TWh från 2022 till 2030. För värmepumpar motsvarar scenariot Högre elektrifiering en ökning av förnybar energi på 4 TWh till 2030.

De beskrivna ökningarna i förnybar energi i form av kraftvärme, biokraft och värmepumpar bedöms inte behöva ske på ett sådant sätt att betydande mängd mark tas i anspråk. Ökningarna förväntas kunna tillgodoses genom att befintliga värmeverk konverteras om till kraftvärmeverk eller genom bränslebyten, såsom beskrivet i avsnitt 3.1.



Figur 21. Sammanlagda värmebehovet i MWh för sektorerna service och bostäder per år visat per 50 km² polygoner.

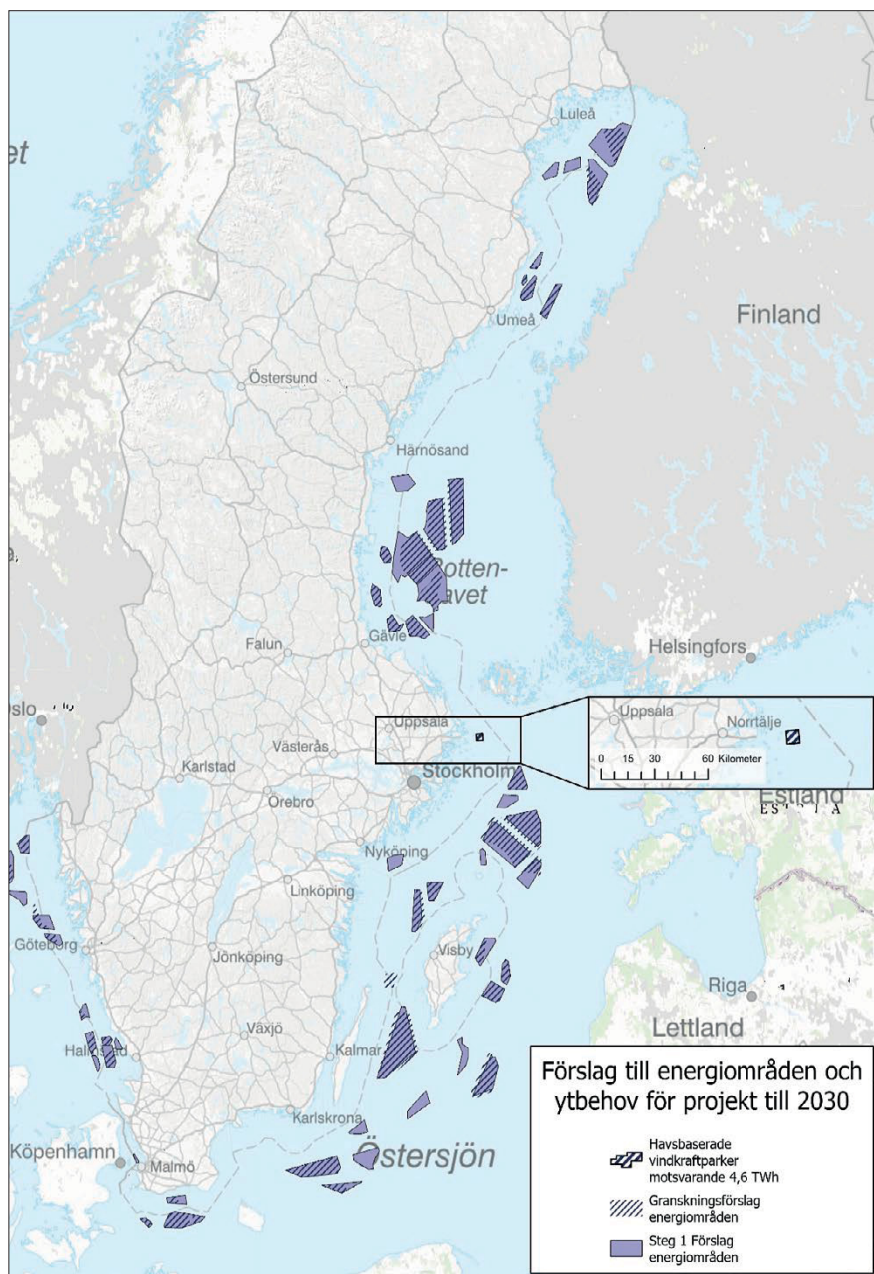
Källa: Heat Roadmap Europe²⁴¹, bearbetad av Energimyndigheten för denna rapport.

²⁴¹ Heat Roadmap Europe. Pan-European Thermal Atlas 4.3, <https://heatroadmap.eu/peta4/> (hämtad 2024-10-09).

5.4 Havsbaserad vindkraft

Kartläggning av områden för havsbaserad vindkraft pågår genom HaV:s uppdrag att uppdatera havsplanerna. Därför görs ingen potentialbedömning baserad på omöjliga områden i det här uppdraget. I Figur 22 visas en kartbild med HaV:s granskningsförslag samt Energimyndighetens förslag till områden för havsbaserad vindkraft som togs fram i havsplaneringsuppdragets första del. Kvadraten i kartan visar en uppskattning av det totala ytbehov för projektområden som behöver bli driftsatt till 2030 för att motsvara elproduktionen från havsbaserad vindkraft i scenariot Högre elektrifiering. Enligt scenariot kan havsbaserad vindkraft uppgå till 4,6 TWh år 2030, motsvarande en projekteringsyta på 179 km².

Granskningsförslaget till nya havsplaner visar på stora möjligheter för havsbaserad vindkraft i territorialhavet samt inom Sveriges ekonomiska zon, vilket mycket väl kan innebära att utbyggnationen till 2030 motsvarar nivån i scenariot Högre elektrifiering. I Figur 23 visas befintliga projekt samt projekt som fått tillstånd. De tre tillståndsgivna projekteringarna Galene, Kattegatt syd och Kriegers flak är belägna i Sveriges ekonomiska zon och har en gemensam beräknad årsproduktion om 9,4 TWh. Dessa kan bli driftsatta till 2030 om investeringsbeslut fattas och byggnation startar i god tid. Många av de befintliga projekteringar som tillståndsprövas motsvarar till stor del ytorna i Energimyndighetens förslag i del 1 av havsplanuppdraget samt de nya energiområdena som presenterats i HaV:s granskningsförslag till nya havsplaner. Det innebär att det finns en stor potential för havsbaserad vindkraft i Sverige på medellång och lång sikt.



Figur 22. Teknisk potential för havsbaserad vindkraft och projekteringsytan motsvarande bidraget till unionsmålet för utbyggnation av havsbaserad vindkraft till 2030.

Källa: Producerad av Energimyndigheten för denna rapport.



Figur 23. Havsbaserade vindkraftsprojekt som är uppförda, har beviljat tillstånd eller där tillståndsansökan är inlämnad.

Källa: Vindbrukskollen²⁴², bearbetad av Energimyndigheten för denna rapport.

²⁴² Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se/> (hämtad 2024-10-09).

6 Underlag till accelerationsområden för förnybar energi

Inom de kartlagda områdena ska Sverige peka ut accelerationsområden för förnybar energi. Energimyndighetens redovisning behöver enligt uppdragstexten vara på en nivå som möjliggör ett framtida utpekande av sådana accelerationsområden.

Accelerationsområden är enligt förnybartdirektivet artikel 15c en undergrupp av områden som utsetts i den nationella kartläggningen från en eller flera typer av förnybara energikällor. I dessa områden ska tillståndprocessen vara tidsbegränsad. Accelerationsområdena ska utses senast den 21 februari 2026 vilket lämnar utrymme för Regeringskansliet att ta vidare det arbete som Energimyndigheten redovisar i det här uppdraget. I utdragen från direktivet nedan beskrivs accelerationsområdenas tidsbegränsningar för tillståndprocessen:

”Artikel 16a.1, Medlemsstaterna ska säkerställa att det tillståndsförfarande som avses i artikel 16.1 inte pågår längre än tolv månader för projekt för förnybar energi i accelerationsområden för förnybar energi. För projekt för havsbaserad förnybar energi får emellertid inte tillståndsförfarandet pågå längre än två år. När det är vederbörligen motiverat på grund av exceptionella omständigheter, får medlemsstaterna förlänga endera av dessa perioder med högst sex månader. Medlemsstaterna ska tydligt informera projektexploatören om de exceptionella omständigheter som motiverar en sådan förlängning.

Artikel 16a.2, Tillståndsförfarandet för uppgradering av kraftverk för förnybar energi, för nya anläggningar med en elkapacitet på mindre än 150 kW, för samlokaliserad energilagring, inbegripet anläggningar för el och värme, samt för anslutningen av dem till nätet, när de är belägna i accelerationsområden för förnybar energi, får inte pågå längre än sex månader. För projekt för havsbaserad vindkraft får emellertid inte tillståndsförfarandet pågå längre än tolv månader. När det är vederbörligen motiverat på grund av exceptionella omständigheter, såsom tvingande säkerhetsrelaterade skäl där uppgraderingsprojektet har en påtaglig effekt på elnätet eller på anläggningens ursprungliga kapacitet, storlek eller prestanda, får medlemsstaterna förlänga perioden på sex månader med högst tre månader och perioden på tolv månader för projekt för havsbaserad vindkraft med upp till sex månader. Medlemsstaterna ska tydligt informera projektexploatören om de exceptionella omständigheter som motiverar en sådan förlängning.”

Uppdragsbeskrivningen anger att redovisningen ska prioritera större sammanhängande områden som skulle kunna pekas ut som accelerationsområden. Det gäller i första hand solenergi och värmepumpar, till exempel bebyggda ytor som ligger i tätortsmiljöer, industriområden eller vid lantbruk. Energimyndigheten menar dock att vindkraft och andra förnybara kraftslag inte måste undantas i utpekande av accelerationsområden även om dessa inte är i fokus i uppdragsbeskrivningen och den här redovisningen. Tidigare resultat från Energimyndighetens Vindkraftstrategi och resultaten från pågående havsplanering skulle exempelvis kunna utgöra underlag för att peka ut ytterligare accelerationsområden i framtiden.

Vid utpekandet av accelerationsområden uppstår frågan om hur förnybartdirektivet kan kombineras med det svenska planmonopolet och miljöbalkens bestämmelser om tillstånd för miljöfarlig verksamhet. Det kommunala planmonopolet innebär att bara kommunen har

befogenhet att anta en detaljplan²⁴³ och enligt miljöbalken 2 kap. 6 § får tillstånd eller dispens inte ges i strid med den. När det gäller vindkraft innebär miljöbalken 16 kap. 4 § att tillstånd till en anläggning endast får ges om den aktuella kommunen tillstyrkt det. Dessa faktorer gör det svårt utifrån gällande lagstiftning att på nationell nivå peka ut områden där det går att garantera att tillståndsprcessen kan hållas inom förnybardirektivets tidsramar för accelerationsområden. Att peka ut fler kraftslag än solceller och värmepumpar som accelerationsområden skulle enligt Energimyndighetens bedömning kräva förändringar i miljöbalken och det kommunala planmonopolet.

Redovisningen ska även visa hur värmepumpar och solenergi på befintliga konstgjorda ytor kan användas för att nå det nationella bidraget till unionsmålet. Eftersom bidraget på 67 procent förnybar energi är baserat på ett scenario vilket har beaktat rimligheten i att få till tillräcklig utbyggnad bedömer Energimyndigheten att bidraget kan nås även utan utpekade accelerationsområden.

I följande stycken diskuteras möjligheter och begränsningar med att peka ut de olika typer av markanvändning som ska prioriteras för solenergi och värmepumpar enligt förnybartdirektivet 15.1.a.i. Detta ska ses som en övergripande fingervisning i vilka områden som bör fortsätta utredas som accelerationsområden och inte som ett skarpt förslag till utpekande av accelerationsområden. De områden som här diskuteras är på så pass lokal och detaljerad nivå att de är svåra att hantera på en övergripande nationell nivå och är även svåra att ens urskilja i en nationell översiktskarta. Att hantera denna typ av lokala och detaljerade områden i ett nationellt övergripande arbete är dels svårt att hantera rent visuellt och dels även resursmässigt komplext och krävande. Energimyndighetens ser därför ett stort behov att arbetet med accelerationsområden tas vidare på lokal och regional nivå där denna typ av arbete bäst hanteras i den fysiska planeringen i rätt sammanhang. I vår redovisning presenterar vi i stället exempel och hänvisningar till underlag i det vidare arbetet med accelerationsområden.

6.1 Solenergi

Solcellsanläggningar på naturmark kräver utrymme och kan påverka befintliga verksamheter och intressen vilket kräver anmälan om samråd till länsstyrelsen senast sex veckor innan åtgärden påbörjas. För större anläggningar kan det finnas fördelar att ansöka om ett frivilligt tillstånd enligt 9 kap. miljöbalken om det kan finnas flera motstående intressen på platsen. Vid frivillig tillståndsansökan behöver en miljökonsekvensbeskrivning göras för att kunna bedöma om anläggningen har en betydande miljöpåverkan. Det påverkar hur mycket underlag som behöver lämnas in till prövningsmyndigheten och hur lång handläggningstiden blir. Utifrån länsstyrelsernas webbdarium har miljöprövningsdelegationerna det senaste halvåret beslutat om totalt sex solcellsanläggningar i Halmstads, Skånes och Västra Götalands län.²⁴⁴ Från kungörelse till beslut var spannet mellan 16 och 25 veckor med ett medelvärde på 21,5 veckor. Beslut är möjliga att överklaga men en beräkning av handläggningstid för överprövning är inte inräknade här.

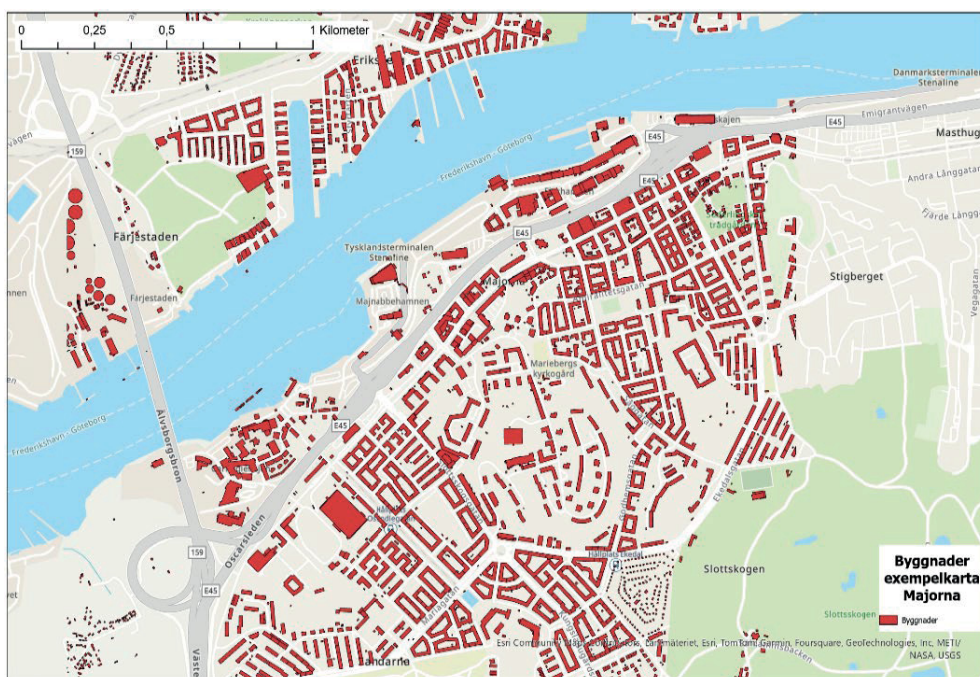
²⁴³ Boverket, Kommunalt planmonopol, 2023. <https://www.boverket.se/sv/kommunernas-bostadsforsorjning/kommunens-verktyg/kommunalt-planmonopol/> (hämtad 2024-10-03)

²⁴⁴ Sammanställning efter sökning gjord på ärendemening ”Ansökan om tillstånd till miljöfarlig verksamhet” för respektive länsstyrelse. Avslutade eller beslutade ärenden finns tillgängliga sex månader efter beslut, se: Länsstyrelserna, Länsstyrelsernas diariar. <https://diarium.lansstyrelsen.se> (hämtad 2024-10-07)

6.1.1 Byggnader

Byggnader innanför och utanför detaljplanerade områden skulle vara lämpliga för utpekande av accelerationsområden. Även om områden utanför detaljplanerade områden generellt inte kräver bygglov och således kan verka mest lämpliga så bedöms tiden för att få bygglov innanför detaljplanerade områden ändå kunna falla inom accelerationsområdenas tidsram utifrån plan- och bygglagen om byggnadsnämndens handläggningstider²⁴⁵. Dessutom är avståndet från solcellsanläggningen till en elnätsanslutning generellt kortare i detaljplanerade områden. Det är en förutsättning som kan underlätta för en kort anslutningsprocess i vissa fall och försvåra i de situationer när flera producenter vill ansluta till nätet ungefär samtidigt eller i områden med kapacitetsbrist.

Det är svårt att visa på relevanta byggnader i en nationell karta, det krävs snarare kartor på kommunal detaljplanenivå. Från 2022 krävs att de detaljplaner som antas finnas tillgängliga digitalt. Det finns dock inget krav på att äldre detaljplaner digitaliseras. För att få en överblick av detaljplanerade områden i Sverige krävs en insamling av kartor från de 290 kommunerna. Lantmäteriet har påbörjat en sådan insamling men kartorna är inte nedladdningsbara²⁴⁶. För kartor över samtliga byggnader finns det dock kartor att använda som kräver licens.²⁴⁷ I Figur 24 visas en demokarta som innehåller byggnader i stadsmiljö, Majorna i Göteborg.



Figur 24. Demoexempel för byggnader, Majorna, Göteborg.

Källa: Lantmäteriet²⁴⁸

²⁴⁵ SFS 2010:900, 9 kap. 27§

²⁴⁶ Lantmäteriet, Detaljplaner, 2024. <https://www.lantmateriet.se/sv/kartor/vara-karttjanster/detaljplaner/> (hämtad 2024-09-18)

²⁴⁷ Lantmäteriet, Topografi 10 Nedladdning, vektor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-10-nedladdning-vektor/> (hämtad 2024-10-02)

²⁴⁸ Lantmäteriet, Topografi 10 Nedladdning, vektor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-10-nedladdning-vektor/> (hämtad 2024-10-02)

Detaljplanerade områden

Kommunernas detaljplaner reglerar hur mark och vatten ska användas och hur bebyggelse ska se ut²⁴⁹. Solfångare och solceller på en byggnad kan vara bygglovspliktiga inom detaljplanerat område. Lovplikt gäller om anläggningen innebär att byggnaden byter färg, fasadbeklädnad, taktäckningsmaterial eller avsevärt påverkas på annat sätt. Från bygglovsplikten finns dock vissa undantag. Fristående solfångare och solcellspaneler kräver normalt inte bygglov inom varken områden med detaljplan eller områdesbestämmelser. Bygglov kan dock krävas om energiproduktionsanläggningen i sig anses vara en byggnad. Kommunen får i en detaljplan bestämma att bygglov krävs för bygglovsbefriade solfångare och solcellspaneler. Det innebär att undantaget från lovplikt för solenergianläggningar inte gäller för det område som planbestämmelsen omfattar. Det innebär dock inte att alla solenergianläggningar som monteras utanpå en byggnads fasadbeklädnad eller taktäckningsmaterial kräver bygglov utan endast de som avsevärt påverkar byggnadens yttre utseende.²⁵⁰

Utanför detaljplanerat område

Utanför detaljplanerat område krävs det normalt inte bygglov för solceller eller solfångare på byggnader om inte kommunen har beslutat om områdesbestämmelser. I områdesbestämmelser kan det införas bygglovsplikt vid byte av färg, fasadbeklädnad, taktäckningsmaterial eller åtgärder som avsevärt påverkar byggnadens yttre utseende. Det kan även gälla ändringar i områden med historiskt, kulturhistoriskt, miljömässigt eller konstnärligt värde. För områden som varken omfattas av detaljplan eller områdesbestämmelser krävs det aldrig bygglov för solceller eller solfångare. Därför kan sådana områden lämpa sig för accelerationsområden. Det gäller även om bebyggelseområden är särskilt värdefulla från historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt. Det gäller även för byggnader som ligger inom olika typer av riksintresseområden. Fristående solfångare och solcellsanläggningar kräver normalt inte bygglov utanför områden med detaljplan eller områdesbestämmelser.²⁵¹

När solceller sätts upp på naturmark finns det risk att den väsentligt ändrar naturmiljön. Sådana åtgärder har Länsstyrelsen ansvar för att granska genom samråd enligt 12 kapitlet 6 § miljöbalken. För större anläggningar som planeras där det finns fler motstående intressen kan företagen ansöka om frivilligt tillstånd enligt 9 kapitlet i miljöbalken. Länsstyrelsen bereder då ansökan och sedan beslutar Miljöprövningsdelegationen.²⁵²

²⁴⁹ Boverket, Detaljplanering, 2022. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/kommunal-planering/detaljplanering/> (hämtad 2024-09-18)

²⁵⁰ Boverket, Solfångare och solcellspaneler, 2022. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/anmalningsplikt/bygglovsbefriade-atgarder/sol/> (hämtad 2024-09-18).

²⁵¹ Ibid.

²⁵² Länsstyrelsen Västra Götaland, Solceller på mark, 2024. <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/miljo-och-vatten/energi--och-klimatomställning/solceller-pa-mark.html> (hämtad 2024-09-18)

6.1.2 Elnät

För att etablera solcellsparker krävs närhet till elnätsanslutning. Enligt förnybart-direktivet 16.1 ingår även anslutningen till elnätet i den utsatta tidsbegränsningen som ska gälla för tillståndprocessen inom ett accelerationsområde. Eftersom befintliga elnät är utformade för den elförbrukning som finns i ett område kan nätets dimensionering visa sig vara mer eller mindre lämpad för nya anslutningar. För att ändra dimensioneringen kan nya nätstationer behövas byggas alternativt att befintliga behöver byggas ut. Även ledningsnätet kan behöva byggas ut. Det blir ofta svårare ju längre ifrån tätbebyggt område solcellsparken planeras. Mindre solcellsparker brukar ansluta till lokalnät medan större ansluter sig till regionnät eller transmissionsnät.²⁵³

Att avgränsa utpekandet av accelerationsområden till områden utanför detaljplanerat område kan göra det mer utmanande att hitta närliggande anslutningspunkter. I stället skulle det vara bättre att fokusera på områden där det finns behov av effekt och där det finns utrymme i nätet. För att hitta platser där det finns ett effektbehov kan det vara lämpligt att använda sig av effektkartor. Det finns inte effektkartor för hela Sverige men ett exempel på ett projekt som jobbar med sådana prognoser i kartor är Skånes effektkommission²⁵⁴.

För att bättre kunna förutsäga kapaciteten i elnätet inför etablering av nya anläggningar kan kapacitetskartor underlätta för att hitta lämpliga platser. En kapacitetskarta är en applikation som visar geografisk information om vart det finns tillgänglig kapacitet för uttag och inmatning i elnätet. Det finns flera exempel på kapacitetskartor från andra länder men det finns ännu ingen nationell kapacitetskarta för Sverige. Svenska Kraftnät gav, i rapporten *Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet*, sig själva ansvaret för att ta fram en kapacitetskarta med information om bedömd tillgänglig kapacitet i dialog med nätföretag och andra aktörer.²⁵⁵

6.1.3 Nedlagda sluttäckta deponier

Intresset för att använda sluttäckta deponier till solcellsparker växer. I dagsläget används majoriteten av sådan områden till rekreation men de kan inte användas till bostadsbyggande. Fördelarna med att anlägga solceller på tätortsnära deponier är att där ofta finns infrastruktur såsom vägar och elnät. Dessutom behöver generellt inte elen transporteras långt för att nå elanvändaren. En del entreprenörer upplever dock nedlagda deponier som riskfyllda och krävande eftersom det ställs höga krav på kontroll och skötsel vilket leder till högre försäkringar och kostnader. Det går inte att anta att alla sluttäckta deponier lämpar sig för solcellsparker. Till exempel måste området vara tillräckligt stor för att det ska vara lönsamt och sedan måste solinstrålningen vara passande.²⁵⁶ Det står dock klart att nedlagda deponier har lågt alternativvärde. Exempel på parker där solceller samlokaliseras med deponier är Megalos i Mossberg utanför Arvika och Skelahed deponi i Halmstad.²⁵⁷

I dagsläget saknas en sammanställning av hur många nedlagda deponier det finns i Sverige. Sveriges geotekniska institut (SGI) uppskattar att det finns tusentals.²⁵⁸ Enligt Länsstyrelsernas kartor över förorenade områden (EBH-karta) går det att finna 51 objekt över identifierade

²⁵³ Solmarken, 2022:32, s.6–8.

²⁵⁴ Region Skåne, Skånes effektkommission, 2024. <https://utveckling.skane.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/energiforsorjning/skanes-effektkommission/#329416> (hämtad 2024-10-01).

²⁵⁵ *Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet*, SvK 2022/2276, s.36.

²⁵⁶ Solmarken, 2022:32, s.9–11.

²⁵⁷ Blomqvist och Unger, *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige*, 2018.s. 25–27.

²⁵⁸ Statens Geotekniska Institut, Nedlagda deponier, 2022. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/deponi/nedlagda-deponier/> (hämtad 2024-09-19)

potentiellt nedlagda deponier²⁵⁹ som har inventerats och identifierats enligt MIFO-modellen²⁶⁰. Dock ger det ingen heltäckande bild utan mer information behöver sökas hos andra myndigheter och kommuner.

6.1.4 Befintliga och nedlagda flygplatser

Internationellt finns det flera exempel på solcellsparkar på flygplatsmark. I Sverige finns det markbaserade anläggningar på de nedlagda flygplatserna Säve flygplats utanför Göteborg och längs den tidigare landningsbanan på Tågarp flygplats utanför Trelleborg. På befintliga flygplatser har takmonterade solceller installerats på Jönköping Airport, Ängelholm Helsingborg Airport och Göteborg Landvetter Airport.

Flygplatser kan omfattas av miljötillstånd utifrån hur stor påverkan på omgivningen verksamheten har enligt miljöprövningsförordningen (2013:251). Om solcellsanläggning ska byggas på flygplatsen behöver verksamhetsutövaren informera tillsynsmyndigheten för bedömning av anläggningens påverkan. Bedömningen kan avgöra om en anmälan om ändring av verksamheten behöver lämnas in.

Befintliga flygplatser ska inneha Transportstyrelsens drifttillstånd för att bedriva sin verksamhet. Villkoren i dessa ser olika ut för respektive flygplats men det kan ställas krav som ska förhindra eventuell fara²⁶¹ för luftfarten och som försvårar etablering av solcellsanläggningar. Större befintliga flygplatserna som Malmö, Kristianstad och Ängelholm är dessutom vanligen EU-certifierade vilket innebär att för de platserna kan det även finnas regler i EU-förordningen och underliggande regelverk att förhålla sig till. Bland annat finns det reglerat vart objekt får placeras inom flygplatsområdet för att det inte ska utgöra ett hinder.

Flera myndigheter har identifierat radiostörningsproblematik kopplat till solcellsinstallationer. Luftfartsverket gick år 2020 ut med en rekommendation om ett avstånd på tre kilometer mellan solcellsanläggningar och luftfartens flygledningssystem om inte analyser bevisar att anläggningen inte genererar störningar som påverkar flygledningssystemen.²⁶²

Solcellsanläggningar på beredskapsflygplatser skulle kunna innebära en intressekonflikt. Beroende på villkor, krav och regler för respektive beredskapsflygplats kan det vara oförenligt med installation av solcellsanläggningar inom flygplatsens område. En beredskapsflygplats är en certifierad eller godkänd instrumentflygplats som har beredskap för att dygnet runt kunna öppna upp vid akuta lägen eller för andra prioriterade flygtransporter. Regeringen beslutar om hur många flygplatser som ska ingå överenskommelse om att vara beredskapsflygplatser och det kan förändras givet det säkerhetspolitiska läget.²⁶³

Flygplatser finns bland annat utpekade i Lantmäteriets kartor²⁶⁴.

²⁵⁹ Länsstyrelsernas geodatakatalog, EBH-kartan, <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c> (hämtad 2024-09-02).

²⁶⁰ Naturvårdsverket, Inventering av förorenade områden, 2024. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/fororenade-omraden/inventering-av-fororenade-omraden/> (hämtad 2024-09-19).

²⁶¹ Vad som kan utgöra fara för luftfarten beskrivs i luftfartsförordningen (2010:770).

²⁶² Elinstallatören, Luftfartsverket: Inga solceller inom 3 km, tack, 2020. <https://www.elinstallatoren.se/2020/05/luftfartsverket-inga-solceller-inom-3-km-tack/> (hämtad 2024-09-30).

²⁶³ Regeringsbeslut LI2023/03890, s. 1–2.

²⁶⁴ Lantmäteriet, Topografi 50 Nedladdning, vektor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-50-nedladdning-vektor/#anchor-1> (hämtad 2024-10-02).

6.1.5 Bebyggda ytor i tätortsmiljöer, industriområden och lantbruk

Sverige är ett glesbefolkat land med en landareal på 41 miljoner hektar där andelen bebyggd mark uppgår till 1,3 miljoner hektar enligt 2020 års beräkning. Den bebyggda marken består till största del av infrastruktur för vägar, järnvägar och flygplatser (38 procent) och mark för bostäder (36 procent)²⁶⁵. Generellt kan det vara en fördel med att peka ut accelerationsområden för redan bebyggda ytor där toleransen för ytterligare byggnation möjligtvis skulle kunna vara acceptabel utifrån att lokaliseringen prövats utifrån gällande lagar, regleringar och målkonflikter.

Parkeringsytor

Fördelarna med att placera solceller över parkeringsplatser är att marken redan är anlagd. Större parkeringsytor som tätortsnära pendelparkeringar och köpcentrumparkeringar har en närhet till elnätanslutning där det ofta förekommer både belysning och laddstationer. Ett hinder för en utbyggnad av solceller över parkeringar kan vara den höga kostnaden att bygga en tillräckligt hög konstruktion som medger att underhållsfordon kan komma åt parkeringen för bland annat snöröjning.²⁶⁶

I Sverige finns ingen befintlig större solelproduktion över parkeringsplatser men ett exempel är IKEA Baltimore i USA där installation skett år 2021 och planer på att bygga vid ytterligare sju varuhus.²⁶⁷ Den franska regeringen instiftade en ny lag i november 2022 om att alla befintliga och nya större parkeringsytor, med plats för minst 80 parkeringsplatser, måste täckas med minst hälften av ytan med solpaneler. Den franska regeringen uppskattar att det på sikt ska generera upp till 11 GW.²⁶⁸

Industriområden och industrimark

Vissa miljöfarliga verksamheter har anmälnings- eller tillståndsplikt enligt miljöprövningsförordningen (2013:251) och delas in i A-, B- och C-verksamheter utifrån hur stor påverkan på omgivningen verksamheten har. Stora industrier (A- eller B-verksamhet) måste inneha ett miljötillstånd för att bedriva sin verksamhet på en viss fastighet eller inom en del av en fastighet. Dessa områden har ofta begränsade öppna ytor och används vanligtvis till logistikändamål eller som tillfälliga uppställningsplatser vilket kan medföra att det enbart är mindre ytor som kan bebyggas. Verksamhetsutövaren bör informera tillsynsmyndigheten om solceller ska installeras på en tillstånds- eller anmälningspliktig verksamhet. Myndigheten bedömer om anläggningens påverkan medför att verksamhetsutövaren bör anmäla om ändring av verksamhet.

²⁶⁵ Statistikmyndigheten SCB, Marken i Sverige, 2023. <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/marken-i-sverige/> (hämtad 2024-10-03).

²⁶⁶ ”Jordbruksverket: Bygg solceller över parkeringsplatser”, *P4 Väst*, (radioprogram), Sveriges Radio, 2024. <https://sverigesradio.se/artikel/jordbruksverket-bygg-solceller-over-parkeringsplatser> (hämtad 2024-09-19)

²⁶⁷ IKEA, IKEA Retail U.S. opens its first solar car park in Baltimore, announces plans for seven more, 2021, <https://www.ikea.com/us/en/newsroom/corporate-news/ikea-retail-u-s-opens-its-first-solar-car-park-in-baltimore-announces-plans-for-seven-more-pub020bd9b7> (hämtad 2024-09-19)

²⁶⁸ Lawson, France to require all large car parks to be covered by solar panels, *The Guardian*, 2022-11-09.

Tillväxtverket gör just nu en översyn av områden av riksintressen för industriell produktion²⁶⁹. Översynen kan medföra att ytterligare områden av riksintresse för industriell produktion aktualiseras. Sådana områden ska så långt som möjligt skyddas mot åtgärder som försvårar nyttjandet av anläggningarna.

Lantbruk

Inom lantbruket kan det vara aktuellt med solelproduktion på icke brukningsvärd mark. Begreppet brukningsvärd mark ska inte förväxlas med jordbruksmarkens produktivitet eftersom lågavkastande jordbruksmark eller jordbruksmark som enbart lämpar sig för bete oftast är att anse som brukningsvärd jordbruksmark enligt lagstiftningen. Brukningsvärd jordbruksmark definieras som mark som är lämpad för jordbruksproduktion med hänsyn till läge, beskaffenhet och övriga förutsättningar. Exempel på omständigheter som kan innebära att jordbruksmarken inte är brukningsvärd enligt lagstiftningen är:

- Liten yta som är avgränsad från annan jordbruksmark och som inte går att bruka med betesdjur eller jordbruksmaskiner.
- Marken är tydligt svår att nå genom att vara instängd mellan vägar, järnväg eller andra brukningshinder.
- Marken har inte brukats med betesdjur eller jordbruksmaskiner på så pass länge att det växer sly eller andra oönskade växter på platsen.
- Marken består till stor del av berg.
- Marken är detaljplanerad för något annat än jordbruk.

Plan för fortsatt brukade av jordbruksmarken eller en planerad solcellsanläggnings utbredning och tekniska utformning avgör om etableringen kan innebära en ändrad markanvändning.²⁷⁰ Det finns generellt få studier kring den tekniska potentialen för solceller på mark. I en rapport nämns en uppskattad potential till över 120 TWh för solelproduktion på mark som inte bedöms tas i bruk igen. De begränsningar som identifierats med solelproduktion inom jordbruksmark är avståndet till lämplig inkopplingspunkt för el samt kapacitetsbegränsningar i elnätet. Andra begränsningar kan vara skuggning, starkt kuperad mark och otillgänglig mark.²⁷¹

Det finns potential för takmonterade solceller på ekonomi- och komplementbyggnader inom lantbruket. Enligt äldre statistik och olika antaganden finns ungefär 150 km² tillgängliga ytor på lantbruksbyggnader.²⁷² Dessa har skiftande användningsområden och skick och kan ses som en begränsning om det krävs betydande renovering för att möjliggöra byggnation.

Jordbruksverket har nyligen fått i uppdrag att analysera behovet av och möjligheterna att stärka skyddet av jordbruksmark. I uppdraget ska de också analysera om livsmedelsproduktion eller biologisk mångfald bör främjas ytterligare i samband med att mark används för solcellsparker. Uppdraget ska redovisas senast 1 mars 2025 och kan komma att tydliggöra synen på hur jordbruksmark bör användas²⁷³.

²⁶⁹ Tillväxtverket, Riksintressen för industriell produktion, 2024. <https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/omtillvaxtverket/varauppdrag/allauppdrag/riksintressenforindustriellproduktion.2572.html> (hämtad 2024-10-02)

²⁷⁰ Länsstyrelsens vägledning om solceller på jordbruksmark, 2024, s. 7.

²⁷¹ Blomqvist och Unger, *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige*, 2018, s. 16.

²⁷² Norberg m.fl., *Solel i lantbruket – realiserbar potential och nya affärsmodeller*, 2015, s. 11.

²⁷³ Regeringsbeslut LI2024/01686.

6.1.6 Samlokalisering vindkraft

I rapporten *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige* anses samlokalisering mellan solceller och vindkraft som lämpligt utifrån att infrastrukturen som behövs för markbaserade solceller redan är på plats. Förutsättningarna bland de befintliga parkerna kan dock både vara bättre och sämre när det kommer till solinstrålning, skuggor, markförutsättningar och motstående intressen. Det är heller inte lämpligt att samtliga vindkraftsparker ska byggas ut med solelproduktion eftersom mindre vindkraftverk ofta ligger avsides.²⁷⁴ Det finns kartunderlag för både befintlig och planerad vindkraft i Sverige i kartapplikationen Vindbrukskollen, men vidare bedömningar behöver göras utifrån respektive vindkraftparks förutsättningar innan det går att avgöra om markbaserade solceller kan samlokaliseras med parken. Se exempel på en samlokalisering i Figur 25.

Längst motorvägen E6 utanför Tvååker finns en solcellspark i anslutning till ett vindkraftverk. Platsen valdes bland annat utifrån det befintliga vindkraftverket som medgav en färdig infrastruktur.²⁷⁵



Figur 25. Markbaserad solcellsanläggning i anslutning till vindkraftverk.

Källa: Energimyndigheten och Länsstyrelserna²⁷⁶

6.1.7 Olämpliga accelerationsområden

Banvallar och vägkanter tas inte med som förslag till accelerationsområden. Det beror på att väglagen 47 § anger att det inte får utföras anläggningar inom tolv meter från ett vägområde utan dispens från länsstyrelsen. Tolv meter gör det begränsade området runt vägen så pass brett att det inte längre kan anses vara bebyggd mark och kan oftast vara ockuperat av annan markanvändning såsom skog och jordbruksmark. Trafikverket har undersökt möjligheterna att bygga markbaserade solcellsanläggningar i anslutning till statliga vägar. Trafikverkets slutsats är att en större solelproduktion i vägområdet inte är möjlig varken i egen regi eller genom utomstående aktör. Banvallar ingick inte i studien eftersom framkomligheten bedömdes som låg.²⁷⁷

²⁷⁴ Blomqvist och Unger, *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige*, 2018, s. 18.

²⁷⁵ Varberg Energi, Varberg Energi tog hem "Årets solenergipris", 2024. <https://www.varbergenergi.se/om-oss/var-koncern/articles/solenergipris/> (hämtad 2024-09-19).

²⁷⁶ Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se/> (hämtad 2024-09-30).

²⁷⁷ *Solceller i väganläggningen*, 2021:179, s. 19–20.

6.2 Värmepumpar

I följande avsnitt diskuteras aspekter som kan användas i ett fortsatt arbete kring accelerationsområden för värmepumpar. Precis som för solenergi är det högst lokala områden som diskuteras och som därför inte anpassar sig väl till att presenteras i kartor på nationell nivå. Det saknas även underlag för att kunna presentera mer specifika områden i kartbilder.

I sammanhanget är det viktigt att poängtera att Sverige inte har samma beroende av fossila bränslen när det kommer till uppvärmning som övriga Europa. Till exempel kan en ökad etablering av värmepumpar leda till konkurrens med fjärr- och kraftvärme som redan drivs av förnybara bränslen i stor utsträckning. Därför behöver ett framtida utpekande av accelerationsområden för värmepumpar särskilt beaktas ur ett systemperspektiv.

6.2.1 Småhus med uppvärmning från olja, gas och direktverkande el

Kartläggningen i avsnitt 3.2 har visat att småhus vars uppvärmning sker med olja, gas och direktverkande el finns i hela landet, men att störst antal finns i storstadslänen. För dessa småhus skulle nuvarande uppvärmningsform kunna bytas ut mot individuella värmepumpar. Kartläggningen visar också att uttrullningen av värmepumpar i småhusbeståndet varit stark, vilket bidragit till att antalet småhus med småskalig fossil uppvärmning samt småhus med direktverkande el minskat kraftigt över tid. För att minska sårbarhet mot höga energipriser för småhusägare med småskalig fossil uppvärmning eller direktverkande el, finns sedan 2023 ett bidrag²⁷⁸ som stödjer installation av värmepump eller anslutning till fjärrvärmenät.

Installationen av en individuell värmepump är inte förknippad med någon större regelbörda, vilket även försäljningen vittnar om. Energimyndigheten har genomfört modellanalyser²⁷⁹ om den framtida utvecklingen på marknaden för värme och kyla. Modellresultaten visar att individuella värmepumpar får en ökande andel på värmemarknaden på grund av ökad konkurrenskraft mot andra uppvärmningsalternativ. Därför förväntas den nuvarande småskaliga användningen av fossila bränslen vara utfasad till 2030.

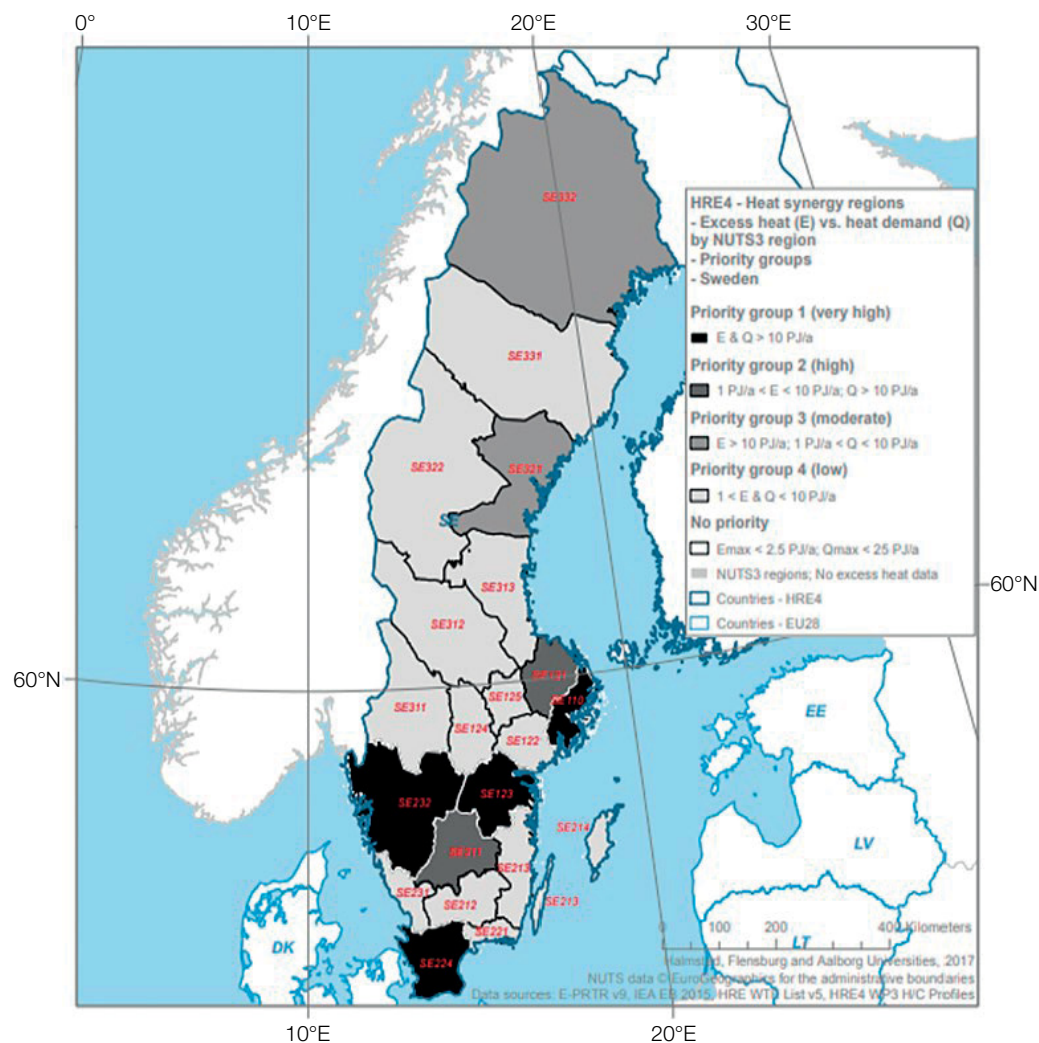
6.2.2 Industriområden med spillvärme nära fjärrvärmenät

Vad gäller storskaliga värmepumpar kan energiomställningen och digitaliseringen leda till spillvärmemängder som kan tas tillvara för fjärrvärme. Det finns flera exempel i närtid på fjärrvärmenät på olika orter som byggts eller håller på att byggas ihop, bland annat för att bättre kunna ta vara på spillvärme.

Inom ramen för ett EU-finansierat projekt genomfördes en kartläggning av spillvärmepotential i flera EU-länder, däribland Sverige, se Figur 26. Kartläggningen baseras i huvudsak på data från 2015 men figuren nedan ger ändå en bild av regioner som bedöms ha störst möjligheter att använda spillvärme.

²⁷⁸ Boverket, Bidrag för energieffektivisering i småhus, 2024. <https://www.boverket.se/sv/bidrag--garantier/bidrag-for-energieffektivisering-i-smahus/> (hämtad 2024-10-07)

²⁷⁹ Underlag till Sveriges implementering av artikel 25.1–25.5 i direktivet om energieffektivitet (EED)



Figur 26. Områden med synergier mellan restvärme och värmebehov.

Källa: Heat Roadmap Europe²⁸⁰

Fjärrvärmebolag söker generellt efter möjligheter att ta vara på spillvärme. Mer detaljerad lokaliseringarna av dessa möjligheter, där källor av spillvärme också geografiskt befinner sig nära ett fjärrvärmenät, kan lämpa sig för utpekande av accelerationsområden. Att tänka på är att nya industrietableringar och nya energiföretag kan förändra bilden ovan, exempelvis byggandet av nya datacenter eller elektrolysanläggningar.

²⁸⁰ Heat Roadmap Europe, Map of the heat synergy regions and the cost to expand district heating and cooling in all 14 MS, 2017, s.31.

6.2.3 Olämpliga accelerationsområden

Med utgångspunkt i diskussionerna ovan om befintliga styrmedel och behovet av ett systemperspektiv är det tydligt att ett eventuellt utpekande av accelerationsområden för värmepumpar inte bör göras schablonmässigt. Det finns rimligtvis andra metoder som kan användas för att exempelvis konvertera uppvärmningsformen i de småhus som beskrivs ovan än att peka ut dessa som accelerationsområden. Det faktum att accelerationsområdena i grunden syftar till att främja utbyggnad av större anläggningar för förnybar energi (som vanligtvis behöver hanteras inom den fysiska planeringen) talar också emot generella utpekanden för småskaliga värmepumpar.

Dessutom bedömer Energimyndigheten att bidraget för energieffektivisering av småhus är tillräckligt för att konvertera uppvärmningen i småhus. Det är dock viktigt att bidraget inte fokuserar på en specifik uppvärmningsteknik utan kan användas för olika sådana för att inte snedvrider konkurrensen.

7 Nästa steg

Energieffektivisering är ett första steg

Det finns ett ömsesidigt beroende mellan användning, produktion och elnätutbyggnad. Varierande förutsättningar för de olika delarna och dess utveckling är avgörande för hur det framtida elsystemet kommer att se ut. Oavsett hur behovet av ny el tillgodoses kommer det att ta en viss tid för att fatta investeringsbeslut, få tillstånd, skapa acceptans, bygga nya elnät etcetera. Därför är det viktigt att poängtera att energieffektivisering och efterfrågefleksibilitet i hög grad är möjligheter här och nu. Med rätt incitament på plats kan efterfrågefleksibilitet i samverkan med energieffektivisering leda till en mer effektiv användning av effekt och minskad elanvändning.

I uppdraget om effektiv användning av energi, effekt och resurser bedömde Energi-myndigheten den samhällsekonomiska potentialen för minskad elanvändning genom energi-effektivisering som stor.²⁸¹ Hur stor den är beror på i vilken mån samhället ställer om och om det är lätt att göra energibesparande åtgärder. Dock står det klart att en effektiv användningen av el minskar utbyggnadsbehovet av elproduktion och elnät liksom resursanvändning och negativa miljöeffekter. Möjligheter att minska effektoppar genom effektivare energianvändning kan, liksom flexibilitet i användning, underlätta en snabb elektrifiering. En flexibel och resurseffektiv elanvändning är en nödvändig del av ett hållbart energisystem.

Områden för riksintressen

Rapporten är en delredovisning av Energimyndighetens uppdrag att genomföra en kartläggning av Sveriges territorium och ekonomiska zon för att identifiera områden med potential för fossilfri energiutvinning och tillhörande energidistribution samt att se över myndighetens riksintresseanspråk. I den andra delen i uppdraget ska Energimyndigheten ta fram kriterier och annat nödvändigt underlag för bedömning av vilka områden som kan vara särskilt lämpliga som riksintressen för fossilfri energiutvinning och -distribution.

Regional och lokal nivå behöver involveras

En viktig utgångspunkt för att tolka resultatet av uppdraget är att en nationell kartläggning av den typ som redovisas i rapporten bara utgör en översiktlig nationell analys och övergripande bedömning av potentiella områden för energiutvinning och energidistribution. En liknande slutsats gjorde Energimyndigheten av erfarenheterna med arbetet inom Vindkraftsstrategin. Därför är det viktigt att poängtera att den regionala och lokala nivån måste involveras i fortsatt arbete. Det är på den nivån långsiktiga, relevanta och väl förankrade planeringsunderlag behöver tas fram.

²⁸¹ Effektiv användning av energi, effekt och resurser, ER 2024:03.

Det krävs en ny typ av nationell fysisk planering

Inom Miljömålsrådets programområde *Ramverk för nationell planering*²⁸² har behovet av och former för en utvecklad nationell fysisk planering och dess koppling till regional och kommunal fysisk planering undersökts. En bokstavsutredning om nationell fysisk planering²⁸³ som presenterades i september 2023 har utrett förutsättningarna för en utvecklad nationell fysisk planering i Sverige. En viktig slutsats som Energimyndigheten kan dra i det regeringsuppdraget som här delredovisas är att det krävs en ny typ av nationell fysisk planering i Sverige som samverkar med den regionala och lokala nivån för att kunna genomföra målet och syftet med detta regeringsuppdrag samt de krav som förnybartdirektivet ställer på medlemsstaterna i artikel 15b och 15c. Även Boverkets nyligen inrättade *Planråd* pekar på behovet och vikten av en utvecklad nationell fysisk planering. Planrådet syftar till långsiktig samverkan mellan statliga myndigheter i strategiska frågor om mark- och vattenanvändning samt om samhällsplanering. Målsättningen är att planrådet ska bidra till ett robust samhälle, genom en mer sammanhållen nationell fysisk planering.²⁸⁴ De slutsatser som dragits inom Miljömålsrådets programområde, slutsatserna från utredningen om nationell fysisk planering tillsammans med pågående arbete inom planrådet bör i detta sammanhang kunna ligga till grund för en sådan typ av nationell fysisk planering.

Ytterligare behov för att stärka lokal och regional energiplanering

För att stärka en energiplanering som möjliggör för storskalig elektrifiering behöver energiområdet i plan- och bygglagen²⁸⁵ förtydligas och stärkas. Under förutsättningen att vi är på väg mot ett dubbelt så stort elsystem måste regelverket stötta nya behov av fysisk planering vilka innebär nya typer av mark- och vattenanspråk. Energimyndigheten har tagit fram en vägledning till lagen om kommunal energiplanering²⁸⁶ vilken ger bättre förutsättningar för energiplanering på lokal nivå. Vägledningen betonar behovet av att peka ut lämpliga områden för ny elproduktion.

Energimyndigheten har även fått ett energiplaneringsanslag som bland annat syftar till att utveckla kommuners, och andra organisationers, arbete med energiplanering, grön omställning och ökad försörjningstrygghet. Under 2024, 2025 och 2026 kommer ett större antal projekt att drivas i olika delar av landet. Projekten kan exempelvis syfta till att främja utbyggnad av elproduktion eller åstadkomma möjligheter för samexistens mellan elproduktion och andra intressen (som exempelvis Försvarsmaktens verksamhet eller samers intressen). Med syftet att synliggöra behov och vilka förflyttningar samhället behöver göra inom energiområdet har Energimyndigheten dessutom utarbetat ett metodstöd för att på länsnivå få fram scenarier för framtida efterfrågan på el.

I sammanhanget fysisk planering bör det övervägas att införa en regional fysisk planering inom energiområdet kopplat till det regionala utvecklingsarbetet. Ett viktigt argument för en regional planering är att energiplanering i sin karaktär ofta är mer beroende av ett regionalt perspektiv och samordning, vilket är svårare att uppnå för den kommunala

²⁸² Boverket, Utvecklad nationell planering i Sverige, 2022. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/nationell-planering/ramverk-for-nationell-planering/> (hämtad 2024-10-04) samt Sveriges Miljömål, Miljömålsrådet, 2024. <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/vem-gor-vad-i-miljomalssystemet/miljomalsradet/> (hämtad 2024-10-04).

²⁸³ Ds 2023:28.

²⁸⁴ Boverket, Boverket bildar ett planråd, 2024. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/uppdrag/boverket-bildar-ett-planrad/> (hämtad 2024-10-04).

²⁸⁵ Plan- och bygglag (2010:900).

²⁸⁶ Lag (1977:439) om kommunal energiplanering.

energiplanen. Den geografiska utbredningen hos kommuner är dessutom ofta begränsad i relation till utbyggnaden av exempelvis vindkraft som inbegriper ett större geografiskt perspektiv. Dessa faktorer kan hämma en utvecklings mot ett dubbelt så stort elsystem. Länsstyrelsernas påbörjade arbeten med att ta fram regionala handlingsplaner för elektrifiering behöver därför samordnas med kommunernas arbete i energiplaneringsprojekt eller arbete med framtagning av energiplaner. I detta avseende behöver även regionernas arbete med regionala utvecklingsstrategier (RUS) involveras och samordnas med länsstyrelsernas och kommunernas arbete med energiplanering och energiomställning.

Behov av att planera för kravet på energiberedskap

Energiförsörjningen utgör ett kritiskt beroende för resten av samhället där störningar eller avbrott medför konsekvenser på förmågan att upprätthålla samhällsviktig verksamhet. Både omfattande decentralisering och centralisering av elproduktion kan utgöra sårbarheter mot kraftsystemet. Omfattande decentralisering kan göra det svårare att hålla effektbalansen på transmissionsnätet. Samtidigt borgar många små elproducenter för en ökad lönsamheten på marknaden och kan därmed bidra till att göra de stora anläggningarna kostnadsineffektiva. En centralisering av större elproducenter kan utgöra en sårbarhet i kraftsystemet givet att ett bortfall av en anläggning är svår att väga upp i systemet. Det kan vara ett problem att upprätthålla effektbalansen om anläggningar läggs ner, oavsett storlek, även om avbrott i större produktionskällor som kärnkraften i regel har en större påverkan både på kort och lång sikt. Konsekvensen riskerar alltid att bli betydande om det redan är ett ansträngt läge inom elförsörjningen eller om möjligheterna till import av el är begränsade. Otillräcklighet i både nätkapacitet och effekt utgör också grundläggande sårbarheter som behöver beaktas i samhällets energiplanering.

I en myndighetsgemensam rapport om riskbilden för sektorn energiförsörjning tas reglering och krav samt systemhot mot kraftsystemet upp som sårbarheter.²⁸⁷ Hot och riskbilden tar även upp otillräckliga planer som en sårbarhet och konstaterar att på vissa områden inom energiförsörjningen saknas planer samt att vissa befintliga planer är otillräckliga.

I uppdragets andra del med översyn av riksintresseanspråken för fossilfri energiproduktion och energidistribution ska enligt uppdragsbeskrivningen ett av kriterierna för bedömningen vara om nyttjandet av områden kan bidra till att stärka totalförsvaret.

Sverige behöver uppfylla kraven i förnybartdirektivet

Delredovisningen i uppdraget är underlag som syftar till att Sverige ska uppfylla de krav som kommer av förnybartdirektivets artikel 15b och 15c. Underlaget kommer efter denna redovisning behandlas av regeringen och vara del i Sveriges genomförande av kraven i förnybartdirektivet:

- Senast den 21 maj 2025 ska medlemsstaterna utföra en samordnad kartläggning för utbyggnaden av förnybar energi på sitt territorium i syfte att bidra till unionsmålet för förnybar energi (artikel 15b).
- Senast den 21 februari 2026 ska medlemsstaterna säkerställa att behöriga myndigheter antar en eller flera planer för accelerationsområden för förnybar energi från en eller flera typer av förnybara energikällor (artikel 15c).

²⁸⁷ Energimyndigheten, Svenska kraftnät, Strålsäkerhetsmyndigheten och Energimarknadsinspektionen, *Hot- och riskbild Sektor energiförsörjning*, 2024.

Referenser

Alm, Per-Gunnar, Longtime Study of Geothermal Data from a Low Enthalpy Geothermal Heat Plant, i *Stanford Geothermal Workshop. Workshop Proceedings*, s. 1–2. Stanford Geothermal Workshop. 1999, California. Stanford University, 1999.

Alm, Reservoir Cooling After 25 Years of Heat Production in the Lund Geothermal Heat Pump Project, i *World Geothermal Congress. Congress Proceedings*, s. 5. World Geothermal Congress. 2010, Bali. IGA, 2010.

Argus Media Group, St1 and SCA start SAF, HVO production in Sweden, 2024. <https://www.argusmedia.com/en/news-and-insights/latest-market-news/2556277-st1-and-sca-start-saf-hvo-production-in-sweden> (hämtad 2024-09-27)

Bernhoff, Hans m.fl, Wave energy resources in sheltered sea areas: A case study of the Baltic Sea, *Renewable Energy*, vol. 31 (2006), s. 2164–2170.
doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.10.016>

Bilaga till regeringsbeslut KN2024/00362, *Sveriges uppdaterade nationella energi- och klimatplan för 2021–2030*.

Blomqvist Peter och Unger Thomas, *Teknisk-ekonomisk kostnadsbedömning av solceller i Sverige*, Göteborg: Profu, 2018.

Boverket, Bidrag för energieffektivisering i småhus, 2024. <https://www.boverket.se/sv/bidrag--garantier/bidrag-for-energieffektivisering-i-smahus/> (hämtad 2024-10-07)

Boverket, Boverket bildar ett planråd, 2024. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/uppdrag/boverket-bildar-ett-planrad/> (hämtad 2024-10-04)

Boverket, Detaljplanering, 2022. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/kommunal-planering/detaljplanering/> (hämtad 2024-09-18)

Boverket, Kommunalt planmonopol, 2023. <https://www.boverket.se/sv/kommunernas-bostadsforsorjning/kommunens-verktyg/kommunalt-planmonopol/> (hämtad 2024-10-03)

Boverket, Riksintressen är nationellt betydelsefulla områden, 2022. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/nationell-planering/riksintressen-ar-betydelsefulla-omraden/> (hämtad 2024-10-02)

Boverket, Solfångare och solcellspaneler, 2022. <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/anmalningsplikt/bygglovbefriade-atgarder/sol/> (hämtad 2024-09-18)

Boverket, Utvecklad nationell planering i Sverige, 2022. <https://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/sa-planeras-sverige/nationell-planering/ramverk-for-nationell-planering/> (hämtad 2024-10-04)

Clément, Alain m.fl, Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6 (2002), s. 405–431.
doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00009-6)

Ds 2023:28, *Nationell fysisk planering*.

Edvall, M., Eriksson, L., Harvey, S., Kjärstad, J. och Larfeldt, J. *Vätgas på västkusten*, RISE rapport: 2022:31, Göteborg: RISE och Chalmers, 2022.

Effektiv användning av energi, effekt och resurser, ER 2024:03, Eskilstuna: Statens Energimyndighet, 2024.

Energiforsk, *Regionala fjärrvärmesamarbeten – Drivkrafter och framgångsfaktorer*, Fjärrsyn, Rapport 2015:102, 2015.

Energiforsk, *Utbyggnad av sol i Sverige*, Rapport 2017:376, 2017.

Energiföretagen, *Energiåret 2023 Tabeller*, 2023. https://www.energiforetagen.se/496178/globalassets/energiforetagen/statistik/energiaret/2023/energiaret-2023_tabeller.pdf (hämtad 2024-10-07)

Energiföretagen, Slutanalys av EU:s reviderade direktiv om byggnaders energiprestanda (EPBD), 2024. <https://www.energiforetagen.se/48f7b3/globalassets/dokument/eu/2023/slutanalys-av-reviderade-eu-direktivet-om-byggnaders-energi-prestanda-jan.-2024.pdf> (hämtad 2024-10-07)

Energiindikatorer 2024, Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål, ER 2024:16, Energiindikatorer i siffror 2024 (kalkylblad), Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2024. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=a5f848e5781f440bb7baecec23cc1c-f2&I=t&cat=%2FEnergiindikatorer&Istqty=1> (hämtad 2024-10-08)

Energimarknadsinspektionen, Nätutvecklingsplan, 2024. <https://ei.se/bransch/rapportera-in-uppgifter-till-ei/natutvecklingsplan> (hämtad 2024-10-07)

Energimarknadsinspektionen, Tabellförklaring till sammanställningarna av resultaträkning, balansräkning och särskild rapport. <https://ei.se/download/18.212631aa18bcc1823056ede/1700562010241/Tabellf%C3%B6rklaringar-%C3%A5rsrapporter-eln%C3%A4t.pdf> (hämtad 2024-06-11)

Energimarknadsinspektionen, Tekniska uppgifter – elnät, 2023. <https://www.ei.se/sv/statistik/statistik-inom-området-el/Statistik-om-elnat/tekniska-uppgifter-om-elnatsforetagens-verksamhet/> (hämtad 2024-06-11)

Energimarknadsinspektionen, Öppna data, 2024. <https://ei.se/om-oss/statistik-och-oppna-data/oppna-data> (hämtad 2024-06-11)

Energimyndigheten, Anmälan och tillstånd för värmepump, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/tillstand-och-provning/tillstandsprocesser/tillstand-for-varmepump/> (hämtad 2024-10-07)

Energimyndigheten, Energiläget i siffror, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/nulaget-i-energisystemet/energilaget/> (hämtad 2024-10-08)

Energimyndigheten, Energistatistik för småhus, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/energistatistik-for-smahus/> (hämtad 2024-10-07)

Energimyndigheten, Havsenergi. <https://www.energimyndigheten.se/forskning-och-innovation/forskning/elsystem/havsenergi/> (hämtad 2024-10-08)

Energimyndigheten, Långsiktiga scenarier, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/energisystem-och-analys/framtidens-energisystem/langsiktiga-scenarier/> (hämtad 2024-10-03)

Energimyndigheten, Minskad elanvändning och elproduktion under 2023, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/minskad-elanvandning-och-elproduktion-under-2023/> (hämtad 2024-06-13)

Energimyndigheten, Ny energistatistik för byggnader, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ny-energistatistik-for-byggnader/> (hämtad 2024-10-08)

Energimyndigheten, Nätanslutna solcellsanläggningar, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/natanslutna-solcellsanlaggningar/> (hämtad 2024-10-07)

Energimyndigheten, *Projekt Sotenäs*, 2017, s. 68. Eskilstuna: Energimyndigheten, 2017.

Energimyndigheten, Riksentresse vindbruk 2013, dnr 2010–5138, 2013.

Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/statistik/officiell-energistatistik/tillforsel-och-anvandning/vindkraftsstatistik/?currentTab=0> (hämtad 2024-06-12)

Energimyndigheten, Ytterligare styrmedel behövs för att nå EU:s mål på energi- och klimatområdet, 2024. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/ytterligare-styrmedel-behovs-for-att-na-eus-mal-pa-energi-och-klimatomradet/> (hämtad 2024-10-02)

Energimyndigheten och Naturvårdsverket, *Regionala utbyggnadsbehov och generationsväxling: Underlag till nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*, 2021.

Energimyndigheten och Statistikmyndigheten SCB, Bruttoproduktion, installerad effekt samt antal anläggningar fördelat på elområde. År 2015–2022. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0105__EN0105A/AnlInstEffBrProd/ (hämtad 2024-09-17)

Energimyndigheten och Länsstyrelserna, Vindbrukskollen, 2024. <https://vbk.lansstyrelsen.se/> (hämtad 2024-09-16)

Energimyndigheten, Svenska kraftnät, Strålsäkerhetsmyndigheten och Energimarknadsinspektionen, *Hot- och riskbild Sektor energiförsörjning*, 2024.

Engström, Jens m.fl, Energy absorption from parks of point-absorbing wave energy converters in the Swedish exclusive economic zone, *Energy Science & Engineering*, vol. 8 (2019), s. 38–49. doi: <https://doi.org/10.1002/ese3.507>

Erlström Mikael, Mellqvist Claes, Schwarz Gerhard, Gustavsson Mattias och Dahlqvist Peter, Geologisk information för geoenergianläggningar – en översikt, SGU-rapport 2016:16, Uppsala: Sveriges geologiska undersökning, 2016.

Essalhi, Mohamed m.fl, The potential of salinity gradient energy based on natural and anthropogenic resources in Sweden, *Renewable energy*, vol. 215 (2023), s. 1–2. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118984>

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 (elmarknadsdirektivet)*

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2023/2413, *av den 18 oktober 2023 om ändring av direktiv (EU) 2018/2001, förordning (EU) 2018/1999 och direktiv 98/70/EG vad gäller främjande av energi från förnybara energikällor, och om upphävande av rådets direktiv (EU) 2015/652.*

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2018/1999, *av den 11 december 2018 om styrningen av energiunionen och av klimatåtgärder samt om ändring av Europaparlamentets och rådets förordningar (EG) nr 663/2009 och (EG) nr 715/2009, Europaparlamentets och rådets direktiv 94/22/EG, 98/70/EG, 2009/31/EG, 2009/73/EG, 2010/31/EU, 2012/27/EU och 2013/30/EU samt rådets direktiv 2009/119/EG och (EU) 2015/652 och om upphävande av Europaparlamentets och rådets förordning (EU) nr 525/2013 (Text av betydelse för EES).*

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/1805, *av den 13 september 2023 om användning av förnybara och koldioxidsnåla bränslen för sjötransport och om ändring av direktiv 2009/16/EG.*

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2023/2405, av den 18 oktober 2023 om säkerställande av lika villkor för hållbar lufttransport (ReFuelEU Aviation).

Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2024/1275, av den 24 april 2024 om byggnaders energiprestanda (omarbeting) (Text av betydelse för EES).

Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2024/1991, av den 24 juni 2024 om restaurering av natur och om ändring av förordning (EU) 2022/869.

Europeiska kommissionen m.fl., *The potential of osmotic energy in the EU : final report*, Bryssel: Europeiska unionens publikationsbyrå, 2024.

doi: <https://data.europa.eu/doi/10.2833/360619>

Europeiska kommissionen, Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Europeiska rådet, rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén Planen REPowerEU, 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0230> (hämtad 2024-10-03)

Europeiska kommissionen, Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, Rådet, Europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén En EU-strategi för solenergi, 2022. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022DC0221> (2024-10-03)

Eurostat, Energy Additional data. [https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Short%20assessment%20of%20renewable%20energy%20sources%20\(SHARES\)](https://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/database/additional-data#Short%20assessment%20of%20renewable%20energy%20sources%20(SHARES)) (hämtad 2024-10-08)

F3 innovationskluster för hållbara drivmedel, Befintlig och planerad produktion av förnybara drivmedel i Sverige, 2023. https://f3centre.se/app/uploads/f3_Fakta_Produktionsanlaggningar_2023_08_Final-1.pdf (hämtad 2024-09-17)

Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak, ER 2021:34, Eskilstuna: Statens Energimyndighet, 2021.

Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna, ER 2023:12, Eskilstuna: Statens Energimyndighet, 2023.

Förslag till ändrade havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet Granskningsversion, Diarienummer 2024–001194, Göteborg: Havs- och Vattenmyndigheten, 2024.

Gehlin Signhild, Andersson Olof, Rosberg Jan-Erik, Country Update for Sweden 2020, i *World Geothermal Congress. Congress Proceedings*, s. 2–3. World Geothermal Congress. 2021, Reykjavik. IGA, 2021.

Göteborg Energi och Mölndal Energi bygger ny fjärrvärme. *Dagens Industri Energi-marknaden*. 2024-05-02.

Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet, Havs- och Vattenmyndigheten, 2022.

Heat Roadmap Europe, *Map of the heat synergy regions and the cost to expand district heating and cooling in all 14 MS*, 2017.

Heat Roadmap Europe. Pan-European Thermal Atlas 4.3, <https://heatroadmap.eu/peta4/> (hämtad 2024-10-09)

Heat Roadmap Europe, Resources by Country. <https://heatroadmap.eu/resources-by-country/> (hämtad 2024-10-08)

Hinder för utbyggnad av elproduktion. Underlag till rapport: Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov, ER 2023:18, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2023.

Holmberg, Per m.fl, *Wave Power: Surveillance study of the development*, Elforsk rapport 11:02, Stockholm: Elforsk, 2011

IKEA, IKEA Retail U.S. opens its first solar car park in Baltimore, announces plans for seven more, 2021, <https://www.ikea.com/us/en/newsroom/corporate-news/ikea-retail-u-s-opens-its-first-solar-car-park-in-baltimore-announces-plans-for-seven-more-pub020bd9b7> (hämtad 2024-09-19)

International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, *National Survey Report of PV power applications in Sweden 2023*, 2024.

IRENA, Ocean energy, <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Ocean-energy> (hämtad 2024-10-08)

Jordbruksverket: Bygg solceller över parkeringsplatser”, *P4 Väst*, (radioprogram), Sveriges Radio, 2024. <https://sverigesradio.se/artikel/jordbruksverket-bygg-solceller-overparkeringsplatser> (hämtad 2024-09-19)

Kempener och Neumann, *Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief 1*, IRENA, 2015.

Kortsiktsprognos vinter 2024, ER 2024:10, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2024.

Krafttringen, Gunnesboverket. <https://www.krafttringen.se/om-krafttringen/om-oss/vara-anlaggningar/gunnesboverket/> (hämtad 2024-10-08)

Langels och Syrjä, *Hydrogen Production and Storage Optimization based on Technical and Financial Conditions A study of hydrogen strategies focusing on demand and integration of wind power*, Examensarbete, Uppsala: Uppsala Universitet, 2021.

Lantmäteriet, Detaljplaner, 2024. <https://www.lantmateriet.se/sv/kartor/vara-karttjanster/detaljplaner/> (hämtad 2024-09-18)

Lantmäteriet, Topografi 10 Nedladdning, vektor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-10-nedladdning-vektor/> (hämtad 2024-10-02)

Lantmäteriet, Topografi 50 Nedladdning, vektor. <https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/topografi-50-nedladdning-vektor/#anchor-1> (hämtad 2024-10-02)

Lawson, Alex, France to require all large car parks to be covered by solar panels, *The Guardian*, 2022-11-09.

Luleå Energi Investerar 25 miljoner i ny fjärrvärmepanna. *Dagens Industri Energimarknaden*. 2024-04-24.

Långsiktig marknadsanalys, Ärende nr 2023/4164, Sundbyberg: Svenska Kraftnät, 2024.

Länsstyrelsens vägledning om solceller på jordbruksmark – reviderad utgåva maj 2024, Mariestad: Länsstyrelsen Västra Götaland, 2024.

Länsstyrelsen Västra Götaland, Solceller på mark, 2024. <https://www.lansstyrelsen.se/vastra-gotaland/miljo-och-vatten/energi--och-klimatomstallning/solceller-pa-mark.html> (hämtad 2024-09-18)

Länsstyrelserna, Länsstyrelsernas webbdarium. <https://diarium.lansstyrelsen.se> (hämtad 2024-10-07)

Länsstyrelsernas geodatakatalog, EBH-kartan, <https://ext-geoportal.lansstyrelsen.se/standard/?appid=ed0d3fde3cc9479f9688c2b2969fd38c> (hämtad 2024-09-02)

Metod för fastställande av skäliga anslutningsavgifter för uttag 16–25 A, Ei PM2013:03, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen, 2013.

Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad, ER 2021:2, Eskilstuna: Statens Energimyndighet & Naturvårdsverket, 2021.

Naturvårdsverket, Inventering av förorenade områden, 2024. <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/fororenade-omraden/inventering-av-fororenade-omraden/> (hämtad 2024-09-19)

Nohrstedt, Linda, Trots skrotade projekt – de satsar på vätgasfabriker i havet, *NyTeknik*, 2024-09-19.

Norberg, I, Pettersson, O. m.fl. *Solel i lantbruket – realiserbar potential och nya affärsmodeller*. Rapport 433, Lantbruk & Industri. Uppsala: JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, 2015.

Nordion Energi, Nordion Energis vätgasprojekt godkända av EU-parlamentet och Europeiska rådet, 2024. <https://nordionenergi.se/nyheter/2024-04-19-nordion-energis-vatgasprojekt-godkanda-av-eu-parlamentet-och-europeiska-radet> (hämtad 2024-10-07)

Odell Anders, Bernland Anders, Eriksson Gunnar, Grahn Per, Mårtensson Tomas, Norin Lars, Olsén Mari, Reichel Beatrice, *Möjligheter till samexistens mellan Försvarmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*, FOI-R--5293—SE, FOI, 2022.

Ormegard, Erik och Särnbratt, Mirjam, *Förnybar vätgas i Skåne – En utvärdering av praktiskt genomförbar potential ur ett energisystemperspektiv*, Examensarbete, Lund: Lunds Tekniska Högskola, 2020.

Power Circle AB, *Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser*, 2022

Preem, SYNSAT-projektet – Vi utökar produktionen av förnybar diesel. <https://www.preem.com/om-oss/projekt/synsat-projektet/> (hämtad 2024-09-16)

Preem, I år fördubblar vi produktionen av förnybara drivmedel, 2024. <https://www.preem.se/en-battre-resa/vi-fordubblar-var-fornybara-produktion/> (hämtad 2024-09-27)

PRIMRE, Marine Energy Projects Database, 2024. https://openei.org/wiki/PRIMRE/Databases/Projects_Database (hämtad 2024-06-26)

Promemoria Fi 2023:F, Finansdepartementet, *Finansiering och riskdelning vid investeringar i ny kärnkraft*.

Promemoria KN2023/03470, Ändring i förordningen (2007:1119) med instruktion för Affärsverket svenska kraftnät.

Promemoria KN2023/04664, *Ytterligare steg för att för bättre genomförandet av MKB-direktivet*.

Regeringsbeslut KN2024/00663, *Uppdrag att genomföra en kartläggning av Sveriges territorium och ekonomiska zon för att identifiera områden med potential för fossilfri energiproduktion och tillhörande energidistribution samt att se över sina riksintresseanspråk*.

Regeringsbeslut LI2023/03890, *Uppdrag att förhandla och ingå överenskommelser om att flygplatser ska vara beredskapsflygplatser under 2024*.

Regeringsbeslut LI2024/01686, *Uppdrag att analysera behovet av möjligheterna att stärka skyddet av jordbruksmark och att analysera om livsmedelsproduktionen eller biologisk mångfald bör främjas ytterligare i samband med att mark används för solcellsparkar*.

Region Skåne, Skånes effektkommission, 2024. <https://utveckling.skane.se/regional-utveckling/verksamhetsomraden/energiforsorjning/skanes-effektkommission/#329416> (hämtad 2024-10-01)

Ringesten, *Energi ur havsströmmar*, Report Series B:4, Göteborg: Chalmers Tekniska högskola, 1977.

RISE, *Marknadsöversikt för solcellsmoduler, växelriktare, infästningsanordningar och kompletta system*, 2019.

Samexistens mellan havsbaserad vindkraft, yrkesfiske, vattenbruk och naturvård – En kunskapssammanställning om förutsättningar och åtgärder, Rapport 2023:2, Göteborg: Havs- och vattenmyndigheten, 2023.

Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – Med fokus på elektrifiering 2050, ER 2023:07, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2023.

Skellefteå Kraft, Satsning på Rengård för det förnybara energisystemet. <https://www.skekraft.se/om-oss/verksamhet/vattenkraft/rengard/> (hämtad 2024-09-17)

Skogforsk, FAKTA oktober 2023 SKOGSBRÄNSLE, 2023. https://www.skogforsk.se/cd_20231116162027/contentassets/3cac6b78890d467bb033cac1bac7df28/faktasammanstallning-grot_20231025_press.pdf (hämtad 2024-10-07)

SMHI, Klimatindikatorer – solinstrålning, 2023. <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/klimatindikatorer/stralning-1.17841> (hämtad 2024-10-03)

Solceller i väganläggningen, 2021:179, ISBN: 978-91-7725-934-3, Borlänge: Trafikverket, 2021.

Solmarken, 2022:32, Länsstyrelsen Skåne & Solar Region Skåne.

Solvärme i Sverige, ER 2021:32, Eskilstuna: Energimyndigheten, 2021.

SOU 1974:56, *Närförläggning av kärnkraftverk*.

SOU 2020:4, Klimatpolitiska vägvalsutredningen, *Vägen till en klimatpositiv framtid*.

SOU 2023:15, Delbetänkande av Bioekonomiutredningen, *Förnybart i tanken Ett styrmedelsförslag för en stärkt bioekonomi*.

St1, Vattenfall och St1 ingår nytt partnerskap inom fossilfritt e-flygbränsle, 2022. <https://www.st1.se/vattenfall-och-st1-i-nytt-fossilfritt-samarbete> (hämtad 2024-10-07)

Statens Geotekniska Institut, Nedlagda deponier, 2022. <https://www.sgi.se/sv/vagledning-i-arbetet/deponi/nedlagda-deponier/> (hämtad 2024-09-19).

Statistikmyndigheten SCB, Elproduktion och elanvändning efter elområde. Månad 2021M01-2024M07. https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__EN__EN0108__EN0108A/EIEO/ (hämtad 2024-10-07)

Statistikmyndigheten SCB, Marken i Sverige, 2023, <https://www.scb.se/hitta-statistik/sverige-i-siffror/miljo/marken-i-sverige/> (hämtad 2024-10-03).

Statistikmyndigheten SCB, Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme), 2023. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/energi/tillforsel-och-anvandning-av-energi/arlig-energistatistik-el-gas-och-fjarrvarme/> (hämtad 2024-10-07)

Strategisk handlingsplan för ökad flexibilitet, SvK 2022/2276, Sundbyberg: Svenska Kraftnät, 2023.

Svensk Vindenergi, Kompetensförsörjning för vindkraftsbranschen. Industrin vill se snabbt utbyggd vindkraft, 2023.

Svensk Vindenergi, Statistik och prognos – Q1 2024, 2024. <https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2024/04/Statistik-och-prognos-Q1-2024-2.pdf> (hämtad 2024-06-12)

Svenska Kraftnät, Anslutning av solkraft, 2024. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnätet/anslutning-av-solkraft/> (hämtad 2024-10-03)

Svenska Kraftnät, Anslutning till transmissionsnätet, 2022. <https://www.svk.se/om-kraftsystemet/om-systemansvaret/verktyg-for-systemdrift/anslutning-till-transmissionsnätet/> (hämtad 2024-06-10)

Svenska Kraftnät, *Nätutvecklingsplan 2024–2033*, 2023.

Svenska Kraftnät, Transmissionsnätprojekt, 2024. <https://www.svk.se/utveckling-av-kraftsystemet/transmissionsnätet/transmissionsnätprojekt/> (hämtad 2024-06-10)

Svenska kyl & värmepumpsföreningen, Värmepumpsförsäljningen, 2024. <https://skvp.se/nyheter-o-statistik/statistik/varmepumpsforsaljningen> (hämtad 2024-10-08)

Sveriges Miljömål, Miljömålsrådet, 2024. <https://www.sverigesmiljomal.se/sa-fungerar-arbetet-med-sveriges-miljomal/vem-gor-vad-i-miljomalssystemet/miljomalsradet/> (hämtad 2024-10-04)

SWECO, *Rapport Effektutbyggnad Vattenkraft*, 2016.

SWECO, *Analys av vätgasinfrastuktur – Analysstöd för Energimyndigheten*, dnr 2023–201973, 2024.

Tethys, Söderfors Project. <https://tethys.pnnl.gov/project-sites/soderfors-project> (hämtad 2024-10-09)

Tillväxtverket, Riksintressen för industriell produktion, 2024. <https://tillvaxtverket.se/tillvaxtverket/omtillvaxtverket/varauppdag/allauppdag/riksintressenforindustriellproduktion.2572.html> (hämtad 2024-10-02)

Tilläggsdirektiv 2024:33, *Tilläggsdirektiv till Utredningen om havsbaserad vindkraft*.

Thulin, Magnus, Lhyfe har fått stöd från Klimatklivet för vätgasanläggning i Trelleborg, *Vätgasbloggen*, 2024-06-24. <https://vatgasbloggen.se/lhyfe-har-fatt-stod-fran-klimatklivet-for-vatgasanlaggning-i-trelleborg/> (hämtad 2024-10-07)

Totalförsvarets civila intressen i samhällsplaneringen – med fokus på den fysiska planeringen enligt plan- och bygglagen, MSB2370, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2024.

TPR 2023 Fire Protection: Swedish National Assessment Report, SSM 2023:13, Strålsäkerhetsmyndigheten, 2023.

Uniper, 80 blir det nya 60 – för kärnkraften, 2024. <https://www.uniper.energy/sverige/nyheter/80-blir-det-nya-60-for-karnkraften/> (hämtad 2024-10-03)

Uniper, Omfattande investering i Umeälven på 865 miljoner SEK för effektivare vattenkraft och stabilare svensk elförsörjning, 2022. <https://www.mynewsdesk.com/se/uniper/pressreleases/omfattande-investering-i-umeaelven-paa-865-miljoner-sek-foer-effektivare-vattenkraft-och-stabilare-svensk-elfoersorjning-3167642> (hämtad 2024-09-17)

Uppsala universitet, Förnybar elproduktion. <https://www.uu.se/institution/elektroteknik/forskning/elektricitetslara/fornybar-elproduktion> (hämtad 2024-10-09)

Uppsala universitet, Lysekilsprojektet, 2024. <https://www.uu.se/institution/elektroteknik/samverkan/popularvetenskapliga-presentationer/lysekilsprojektet> (hämtad 2024-06-24)

Utvecklingsvägar för elproduktion, ER 2023:18, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2018.

Vattenfall AB, Vattenfall tar Juktans pumpkraftverk till nästa steg, 2023.

<https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/vattenfall-tar-juktans-pumpkraftverk-till-nasta-steg> (hämtad 2024-09-17)

Vattenfall, Forsmark och Ringhals siktar på 80 års drifttid av befintliga kärnkraftreaktorer, 2024. <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2024/forsmark-och-ringhals-siktar-pa-80-ars-drifttid-av-befintliga-karnkraftreaktorer> (hämtad 2024-10-03)

Vattenfall, Klartecken för en permanent effekthöjning på Forsmark 1, 2024.

<https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/nyheter/2024/klartecken-for-en-permanent-effekthojning-pa-forsmark-1> (hämtad 2024-10-07)

Vindforsk, *Vindkraft i framtiden Möjlig utveckling i Sverige till 2020*, Elforsk rapport 08:17, 2008.

Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30, ER 2022:18, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2022.

Vätgas och vätgasinfrastruktur i det svenska energisystemet: delrapport inom arbetet att samordna arbetet med vätgas i Sverige, ER 2024:07, Eskilstuna: Statens energimyndighet, 2024.

Wennberg, Annette, Mine Storage och Mälarenergi samarbete kring energilager. *Energinyheter*, 2022-09-10.

Wirtén, Lars, Lund får värme från djupet, *Svensk Geoenergi*, nr. 1 (2016), s. 16–17.

WWF, Technical Annex: Building a Nature-Positive Energy Transformation, 2023.

https://files.worldwildlife.org/wwfcmprod/files/Publication/file/8ath2y428z_Technical_Annex_Nature_Positive_Energy_Transformation_Nov_2023.pdf?_ga=2.81462034.406134370.1700036792-431824161.1700036792 (hämtad 2024-09-25).

Bilaga 1. Metod för kartbilder över teknisk potential

Enligt uppdraget till Energimyndigheten ska enbart områden där den befintliga markanvändningen anses vara omöjlig att kombinera med någon typ av energiutvinning eller -distribution exkluderas från potentialbedömningen. Detta innebär att inga avvägningar mot andra motstående intressen ska göras. De kartbilder som visas i kapitel 5 utgår därför ifrån kartunderlag som har ansetts vara omöjliga att bebygga för ett specifikt energislag. Detta är inte en slutgiltig eller fullständig analys av omöjliga markanvändningar utan en sådan bedömning behöver avgöras senare i samband med exempelvis kommunens fysiska planering eller vid en prövning i det enskilda fallet. Följande tabeller visar på de markanvändningar som exkluderats från den tekniska potentialen i kartorna i kapitel 5.

Landbaserad vindkraft

Tabell 20. Omöjlig markanvändning för landbaserad vindkraft.

| Markanvändning | Buffertzoon [m] | Källa |
|--|-----------------|---|
| Försvarmakten – Riksintrasse i havet | | https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/forsvarsmakten-i-samhallet/samhallsplanering/riksintressen/ |
| Försvarmakten – Riksintrasse på land | | https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/forsvarsmakten-i-samhallet/samhallsplanering/riksintressen/ |
| Försvarmakten – Stoppområde för vindkraft | | https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/forsvarsmakten-i-samhallet/samhallsplanering/riksintressen/ |
| Avfalls- och återvinningsanläggningar | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Byggnader för bostad eller sjukhus | 800 | Licens för användning av resurs krävs, Lantmäteriet. |
| Enskilda byggnader | 70 | Licens för användning av resurs krävs, Lantmäteriet. |
| Campingplats | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Flygplatsområde | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Golfbana | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Grus-, berg- och mineraltäkter | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Gruvområde | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |

| Markanvändning | Buffertzoon [m] | Källa |
|--|-----------------|---|
| Koloniområde | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Kyrkogårdar och begravningsplatser | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Motorbanor | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Övrig sport- och idrottsanläggning | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Skidbackar | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Torvtäcker | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Vägnätet enskilda vägar | 5 | https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/basemap-visning-inspire/ |
| Fritidshusområde | 80 | https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/fritidshusomraden/ |
| Järnvägsnätet | 250 | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Riksintresse för flyghinder och influensområde | | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Riksintresse för flygplats | | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Riksintresse järnväg | 250 | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Riksintresse vägnät | 250 | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Småort | 800 | https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/smaorter/ |
| Elledningar stamnätet | 250 | https://www.geodata.se/geodataportalen/srv/swe/catalog.search;jsessionid=0FD4A784A4CDE-6D4F527F43B4F8EF009#/metadata/08ec56a0-6b5c-4f83-b29e-375e6f1a34b9 |
| Stationsområden stamnätet för el | 250 | https://www.geodata.se/geodataportalen/srv/swe/catalog.search;jsessionid=0FD4A784A4CDE-6D4F527F43B4F8EF009#/metadata/08ec56a0-6b5c-4f83-b29e-375e6f1a34b9 |
| Tätort | 800 | https://www.scb.se/vara-tjanster/oppna-data/oppna-geodata/tatorter/ |
| Vägnätet | 250 | https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/basemap-visning-inspire/ |

| Markanvändning | Buffertzoon [m] | Källa |
|--|-----------------|---|
| Biotopskyddsområden | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/c3dd73b1-1c82-4db5-aac3-c8c6f240fa25 |
| Biotopskyddsområde Skogsstyrelsen | | https://geodpags.skogsstyrelsen.se/geodataport/feeds/biotopskydd.xml |
| Djur- och växtskyddsområden | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/b4bb8837-8980-4093-be7e-c09f650df996 |
| Interimistiskt förbud | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/03e6e0d2-9ff8-4234-8dba-1a1ef88cb1ad |
| Kulturresevat | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/03e6e0d2-9ff8-4234-8dba-1a1ef88cb1ad |
| Nationalpark | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=14059&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Natura 2000-områden, Art- och habitatdirektivet | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/945e918f-8426-4155-8fd6-3f780a85dd8f |
| Natura 2000-områden, Fågeldirektivet | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=13989&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Naturminne | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/c6b02e88-8084-4b3f-8a7d-33e5d45349c4 |
| Naturresevat | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=13993&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Naturvårdsavtal Naturvårdsverket | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/3a5790ff-8cd3-45ea-bbee-28cf2c1b6b06 |
| Naturvårdsavtal Skogsstyrelsen | | https://www.skogsstyrelsen.se/sjalvservice/karttjanster/geodata/tjanster/nerladdning-av-geodata/ |
| Naturvårdsområde | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=14083&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Ramsarområde | | https://ext-geodatakatalog-forv.lansstyrelsen.se/PlaneringsKatalogen/GetMetaDataById?id=f-2d8691f-8b75-4a62-8d94-7cb1982ccee_C |
| Riksintresse obruten kust | | https://ext-geodatakatalog-forv.lansstyrelsen.se/PlaneringsKatalogen/GetMetaDataById?id=2b5b141f-a9a4-433a-8dc7-bf983acdb859_C |
| Riksintresse obrutet fjäll | | https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/srv/api/records/GetMetaDataById?id=b1d59cb0-2e71-4c08-b99d-e4cc7507cb92 |
| Världsarv | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/f57de73f-0ce0-4be0-a638-5778bec38cde |

Solenergi

Tabell 21. Omöjlig markanvändning för markbaserade solceller.

| Markanvändning | Buffertzoon [m] | Källa |
|--|-----------------|---|
| Djur- och växtskydds-områden | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/b4bb8837-8980-4093-be7e-c09f650df996 |
| Elledningar stamnätet | 50 | https://www.geodata.se/geodataportalen/srv/swe/catalog.search;jsessionid=0FD4A784A4CDE-6D4F527F43B4F8EF009#/metadata/08ec56a0-6b5c-4f83-b29e-375e6f1a34b9 |
| Försvarmakten – Riksentresse på land | | https://www.forsvarsmakten.se/sv/information-och-fakta/forsvarsmakten-i-samhallet/samhallsplanering/riksintressen/ |
| Golfbana | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Grus-, berg- och mineraltäkter | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Järnvägsnätet | 5 | https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/basemap-visning-inspire/ |
| Kulturresevat | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/03e6e0d2-9ff8-4234-8dba-1a1ef88cb1ad |
| Kyrkogårdar och begravningsplatser | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Landskapsbildskydds-områden | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/bf435698-15a4-4b0b-85ec-727605a0a6ba |
| Nationalpark | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=14059&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Nationalstadspark MB 4 kap. 7 § | | https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/srv/api/records/GetMetaDataById?id=f9d7ab76-424a-48ff-9951-d03b9789d3c3 |
| Natura 2000-områden, Art- och habitatdirektivet | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/945e918f-8426-4155-8fd6-3f780a85dd8f |
| Natura 2000-områden, Fågeldirektivet | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=13989&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Naturresevat | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=13993&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |
| Naturvårdsområde | | https://opnadata.naturvardsverket.se/dataportal-details.html#esc_entry=14083&esc_context=-69&esc_-org=http%3A%2F%2Fdataportal.se%2Forganisation%2FSE2021001975 |

| Markanvändning | Buffertzoon [m] | Källa |
|---|-----------------|---|
| Ramsarområde | | https://ext-geodatakatalog-forv.lansstyrelsen.se/PlaneringsKatalogen/GetMetaDataById?id=f-2d8691f-8b75-4a62-8d94-7cb1982ccee_C |
| Riksintresse järnväg | | https://bransch.trafikverket.se/for-dig-i-branschen/Planera-och-utreda/samhallsplanering/Riksintressen/trafikverkets-beslutade-riksintressen/ |
| Riksintresse obruten kust | | https://ext-geodatakatalog-forv.lansstyrelsen.se/PlaneringsKatalogen/GetMetaDataById?id=2b5b141f-a9a4-433a-8dc7-bf983acdb859_C |
| Riksintresse obrutet fjäll | | https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/srv/api/records/GetMetaDataById?id=b1d59cb0-2e71-4c08-b99d-e4cc7507cb92 |
| Riksintresse rörligt friluftsliv MB 4 kap 2 § | | https://ext-geodatakatalog.lansstyrelsen.se/GeodataKatalogen/srv/api/records/GetMetaDataById?id=072b6b36-2cf6-4717-a616-bbf3fddea83d |
| Skidbackar | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Stationsområden stamnätet för el | 50 | https://www.geodata.se/geodataportalen/srv/swe/catalog.search;jsessionid=0FD4A784A4CDE-6D4F527F43B4F8EF009#/metadata/08ec56a0-6b5c-4f83-b29e-375e6f1a34b9 |
| Torvtäkter | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/4162afae-c657-4367-a813-7b3a760e3852 |
| Vattenskyddsområden | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/ae8d79d2-a799-4e1b-b500-05747a428816 |
| Vägnätet enskilda vägar | 12 | https://www.lantmateriet.se/sv/geodata/vara-produkter/produktlista/basemap-visning-inspire/ |
| Världsarv | | https://geodatakatalogen.naturvardsverket.se/geonetwork/srv/swe/catalog.search#/metadata/f57de73f-0ce0-4be0-a638-5778bec38cde |

Hållbar energi för alla

Energimyndighetens uppdrag är att förena ekologisk hållbarhet, konkurrenskraft och försörjningstrygghet i energisystem, som är hållbara och kostnadseffektiva med en låg påverkan på hälsa, miljö och klimat.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens energisystem och teknik 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 stödsystem så som elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter. Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.

Energimyndigheten är också beredskapsmyndighet och sektorsansvarig myndighet inom energiområdet.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00
E-post registrator@energimyndigheten.se
energimyndigheten.se