



Hinder för utbyggnad av elproduktion

Underlag till rapport Utvecklingsvägar för
elproduktion – möjligheter och utmaningar
för att möta ett växande elbehov (ER 2023:18)

Bilaga till ER 2023:18



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

Statens energimyndighet, november 2023

Rapporten är en bilaga till ER 2023:18

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-131-5

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Sammanfattning

Energimyndigheten fick i juni 2022 i uppdrag att analysera utvecklingsvägar för befintlig och ny elproduktion. Analysen ska ta hänsyn till såväl ekonomiska som icke-ekonomiska faktorer och väsentliga hinder för marknadsdrivna investeringar ska belysas. Syftet med denna underlagsrapport är dels att ge en nulägesbeskrivning över olika kraftslags roll i det svenska elsystemet, dels att identifiera och kartlägga olika hinder och utmaningar som kopplar till utbyggnad av respektive kraftslag. Även hinder för systemövergripande aspekter som påverkar utbyggnaden av elproduktion, såsom av utbyggnad av elnät och realisering och implementering av flexibilitet.

Hindren inbegriper både hinder för marknads aktörer och utmaningar att beakta i styrningen. Analysen av relevanta hinder har utgått ifrån dagens regelverk och marknads-mässiga förutsättningar. Eftersom analysen blickar så långt fram som 2050 kan exempelvis teknikutveckling förändra förutsättningarna bortom vad denna analys kan fånga. I den uppdragsredovisande rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion*¹, ER 2023:18, har förslag på behovs- och åtgärdsområden lämnats utifrån de hinder som har identifierats i denna underlagsrapport. Notera att denna rapport är en underlagsrapport och bör därför inte läsas separat, utan ska ses i kontexten av den uppdragsredovisade rapporten *Utvecklingsvägar för elproduktion – möjligheter och utmaningar med ett växande elbehov*, ER 2023:18.

Utvecklingsvägarna för elproduktion till 2050 som undersökts i det här uppdraget inkluderar alla en storskalig utbyggnad av elproduktion. Hindersanalysen sammanfattar de viktigaste hindren kopplade till olika typer av elproduktion:

- Utbyggnad och effekthöjningar samt ökad flexibilitet från **kraftvärme**
- Drifftidsförlängning av befintlig **kärnkraft**, samt nybyggnad av såväl stora reaktorer samt små modulära reaktorer (SMR)
- Effekthöjningar och ökad flexibilitet samt produktion från **vattenkraft**
- Utbyggnaden av **vindkraft** – både landbaserad och havsbaserad
- Utbyggnaden av **solkraft** – både byggnadsintegrerade system samt solparker på mark

Utöver en kraftig utbyggnad av elproduktion är en förstärkning av dagens elnätinfrastruktur, högre flexibilitet i elanvändningen, samt energieffektivisering viktiga möjliggörare för elektrifieringen och omställningen till ett fossilfritt samhälle. Hindersanalysen inkluderar därför även hinder kopplade till:

- Utbyggnaden av **elnät** på olika spänningsnivåer
- Realisering av potentialer för **flexibilitet** inom elproduktion, efterfrågan på el samt användning av energilager

¹ Energimyndigheten 2023, *Utvecklingsvägar för elproduktion – Möjligheter och utmaningar för att möta ett växande elbehov*. ER 2023:18

Innehåll

1	Kraftvärme	3
1.1	Nulägesbeskrivning	3
1.2	Hindersanalys	5
2	Kärnkraft	8
2.1	Nulägesbeskrivning	8
2.2	Hindersanalys	18
3	Solkraft	30
3.1	Nulägesbeskrivning	30
3.2	Hindersanalys	37
4	Vattenkraft	45
4.1	Nulägesbeskrivning	45
4.2	Hindersanalys	48
5	Vindkraft	53
5.1	Nulägesbeskrivning	53
5.2	Hindersanalys	60
6	Utbyggnad av elnät	73
6.1	Nulägesbeskrivning	73
6.2	Hindersanalys	76
7	Flexibilitet	80
7.1	Nulägesbeskrivning	80
7.2	Hindersanalys	95
	Bilaga – Underlag till hinderanalys inom flexibilitet	102
B1	Flexibilitet inom elproduktion	102
B2	Flexibilitet inom efterfrågan på el	107
B3	Flexibilitet genom användning av energilager	112

1 Kraftvärme

Det här kapitlet beskriver kortfattat en nulägesbeskrivning av kraftvärmens roll i elsystemet och dess möjligheter att utvecklas. De mest väsentliga hindren för utbyggnad och effekthöjningar belyses. För en mer djupgående analys och beskrivning av kraftvärmens roll i elsystemet och dess utmaningar och möjligheter så hänvisar vi till Energimyndighetens arbete med att ta fram en fjärr- och kraftvärmestrategi.²

1.1 Nulägesbeskrivning

Kraftvärme, inkluderat industriella mottrycksanläggningar, producerar idag cirka 15,7 TWh³ el per år vilket procentuellt är en förhållandevis liten del jämfört med vattenkraft, kärnkraft och numera vindkraft. Vad gäller kraftvärme i fjärrvärmesystemen så har de dock viktiga egenskaper så som att de producerar mest el när det är kallt och elbehovet är stort samt att de oftast är placerade i eller nära städer och utgör ett viktigt tillskott av effekt i lokala näten. Eftersom produktionen av el är beroende av värmeunderlaget i fjärrvärmenät eller industriånga, samt att de använder bränslen så som biomassa och avfall med alternativa användningsområden, är de i större utsträckning än andra elproduktionskällor en direkt integrerad del av ett större energisystem. De ekonomiska fördelar som kraftslaget kan ha framöver, utifrån dess fördelar för elsystemet, ska vägas mot att det finns utmaningar kring bland annat fjärrvärmeunderlag, konkurrens om biomassa samt höga produktionskostnader inte minst kopplat till en ökad eller mer flexibel elproduktion.

1.1.1 Hur mycket kan kraftvärmens öka på kort sikt?

I Energimyndighetens rapport ER 2023:14⁴ bedömdes⁵ att ungefär 300–500 MW ytterligare effekt skulle kunna tillgängliggöras marknaden i existerande kraftvärmeanläggningar kalla vinterdagar då elpriserna är höga. Den primära anledningen till att anläggningarna inte körs på full effekt är kostnaden för att köra i gång en extra spetslastpanna då elproduktionen är dimensionerad efter värmeunderlaget och värmen prioriteras. Den största potentialen att öka elproduktionen från kraftvärmeanläggningar finns enligt de undersökningar som gjorts under vår-sommar-höst. Utmaningen då är framför allt att kunna producera mer el när det finns begränsningar i avsättningen för värmen i fjärrvärmenätet.

1.1.2 Hur mycket skulle kraftvärmens kunna öka långsiktigt?

Värmeunderlaget avgör hur mycket el som kan produceras med kraftvärme. Detta betyder att det finns en begränsning i hur mycket kraftvärmeproducerad el som kan fås genom investeringar i ny kraftvärme. Om det inte finns någon möjlighet att få avsättning för värmen i ett fjärrvärmenät (eller för annan användning eller genom att lagra den) så kan inte elproduktionen från kraftvärmens öka. Den totala fjärrvärmeproduktionen inklusive spillvärme uppgick till 62,3 TWh 2021. Hur produktionen skett visas i figur 1 där de

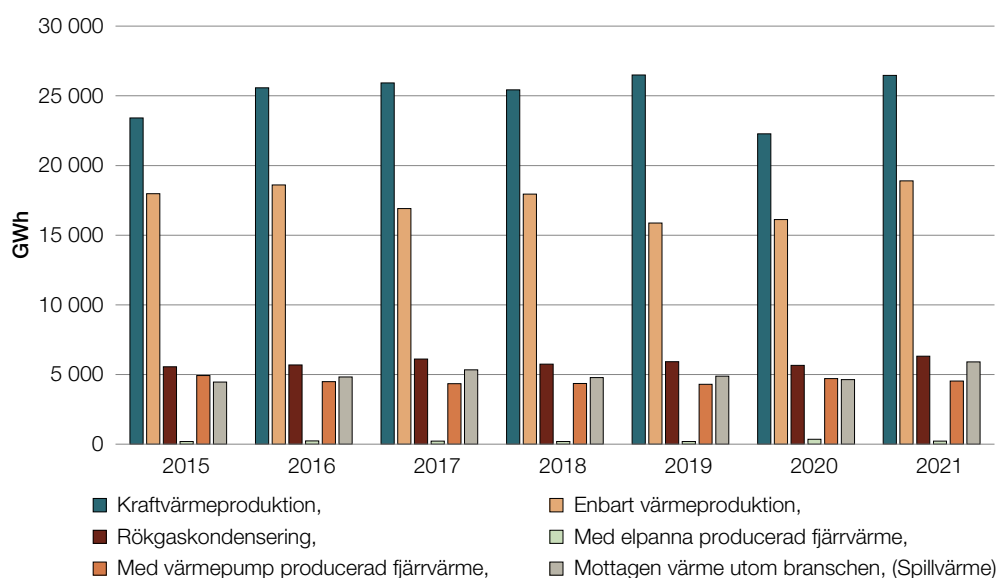
² Energimyndigheten. Fjärr- och kraftvärmestrategi. Energimyndigheten. Fjärr- och kraftvärmestrategi (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-21)

³ Energimyndigheten, Årlig energibalans, Årlig energibalans (energimyndigheten.se) (Hämtad 2022-12-06)

⁴ Förslag till en strategi för fjärrvärme och kraftvärme, ER 2023:14

⁵ Utifrån resultat från enkätundersökningar, intervjuer och bearbetning av andra undersökningar

orangea staplarna visar att fjärrvärmeproduktionen från rena värmeverk uppgick till 19 TWh. Kraftvärmens möjlighet att expandera genom att värmeverk uppgraderas eller ersätts med kraftvärmeverk begränsas alltså till dessa 19 TWh. Förutsatt att spillvärmeleveranserna och värmepumparna antas ligga på samma nivå framöver. År 2021 producerades även 26,5 TWh fjärrvärme från kraftvärme (exklusive rök-gaskondensering) och 15,7 TWh el varav 6,9 TWh inom industrin.



Figur 1. Fjärrvärmeproduktion fördelat på tekniker.

Källa: SCB och Energimyndigheten.⁶

Som kan ses i tabell 1 beror den tekniskt möjliga tillkommande elproduktionen från kraftvärme på dels vilken teknik som antas användas, dels på om man antar en nyinvestering i en kraftvärmeanläggning eller om man kopplar på en turbin och utgår från existerande bränsleanvändning. Spannet är därmed ganska stort och en mer noggrann uppskattning kommer att göras i slutleveransen av Energimyndighetens förslag till en fjärrvärme- och kraftvärmestrategi⁷ med leverans den 15 december 2023.

Tabell 1. Elproduktionsmöjligheter från ny kraftvärme baserat på existerande värmeunderlag och teknik.

		Värme (TWh)	Elutbyte	El
Uppgradera existerande värmeverk med turbin	Biokraftvärme	12,35	0,35	6,65
	Gaskombicycle	8,55	0,55	10,45
	ORC-turbiner	15–17	0,1–0,2	1,9–3,8
Nyinvestering i kraftvärmeanläggning som täcker hela värmebehovet	Biokraftvärme	19	0,35	10,23
	Gaskombicycle	19	0,55	15,5
	ORC-turbiner	19	0,1–0,2	2,1–4,75

Källa: Energimyndighetens beräkningar

⁶ SCB. Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme). Årlig energistatistik (el, gas och fjärrvärme) (scb.se) (Hämtad 2023-06-22)

⁷ Energimyndigheten. Fjärr- och kraftvärmestrategi. Energimyndigheten. Fjärr- och kraftvärmestrategi (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-21)

1.2 Hindersanalys⁸

När det gäller potentialen för ökad elproduktion från kraftvärme så är det viktigt att ha med sig att elproduktionen tidigare mer setts som en ”biprodukt” av fjärrvärme-produktionen. Bidraget från kraftvärmen har emellertid blivit allt viktigare i takt med stigande elpriser, elektrifiering, behov av stödtjänster och lokal effekt samt ett ökat fokus på beredskap och försörjningstrygghet. För att få till stånd investeringar krävs stabila spelregler och marknadsförutsättningar liksom en korrekt värdering av kraftvärmens nyttor. På kortare sikt beror potentialen främst på möjligheten att öka flexibiliteten i elproduktionen i existerande anläggningar genom att de blir mer oberoende av värme-underlaget. På vintern handlar det framför allt om möjligheten att köra i gång en extra spetslastpanna (eller använda lager) för att slippa ”backa på elen”. Varmare årstider handlar det främst om ökade kylmöjligheter. Några viktiga åtgärder för att värna om och utveckla kraftvärmen är:

- Långsiktiga spelregler är en förutsättning för att branschen ska våga investera. Inte minst när det gäller utformningen av skatter (ex. koldioxidskatten) men även när det gäller stödtjänster och mothandel där branschen efterfrågar längre kontrakt än 1 år i taget.
- För att öka kraftvärmens möjlighet att bidra till ökad elproduktion och flexibilitet behöver möjligheterna att kyla bort värme när fjärrvärmenätet inte räcker till ses över. En ökad kylförmåga genom kylning i vattendrag skulle kunna öka elproduktionen under varmare årstider högst väsentligt när elpriserna är höga (exempelvis som de var augusti och september 2022). Detta kräver emellertid en förändring av miljötillstånden.
- En åtgärd för att snabbare få elkapacitet från kraftvärme på plats är att förkorta installationstiden för mikrokraftvärme genom att underlätta för ORC-turbiner (Organic Rankine Cycle). Energimyndigheten förslår därför att en anmälan i stället för en ansökan om nytt miljötillstånd skulle vara tillräcklig för mindre åtgärder i syfte att öka elproduktion. Ett exempel är installationer av ORC-turbiner som då kan komma på plats snabbare.

1.2.1 Lönsamhet och ekonomiska förutsättningar

Ersättning för installerad effekt

I samtal med kraftvärmeägare lyfter de vikten av att få betalt för att tillhandahålla kapacitet och att elmarknaden inte bara bör vara en energimarknad utan även en marknad som prissätter effekt vilket de anser inte görs i tillräcklig utsträckning idag. Här finns emellertid ett förslag om kapacitetsmekanismer⁹ som i skrivande stund är ute på remiss.

Värmelager

Ett sätt att minska värmeberoendet och öka flexibiliteten är att bygga ett värmelager i anslutning till kraftvärmeanläggningen. Vid uppreglering av elproduktionen kan på så sätt den ökade värmeproduktionen sparas för att matas in i fjärrvärmesystemet vid ett senare tillfälle. Detta kan då bidra med ökad elproduktion om kraftvärmeanläggningen

⁸ Hindersanalysen baseras på Energimyndighetens delrapportering av *Förslag till en fjärrvärme och kraftvärmestrategi*, ER 2023:14, Energimyndigheten

⁹ Svenska kraftnät (2023), *Framtidens kapacitetsmekanism för att säkerställa resurstillräcklighet på elmarknaden*, Svk 2022/3774

slipper backa på elen när det är riktigt kallt. Olika former av värmelager inkluderar värmeackumulatorer eller mer långvariga lager såsom groplager eller bergrum. Hindret för att bygga värmelager är främst ekonomiskt och de lokala förutsättningarna är viktiga (exempelvis tillgång till ett bergrum).

Marginalkostnad för spetslast

Detta är ett rent ekonomiskt hinder som åtminstone delvis undanröjts med den aviserade lägre (avskaffade) koldioxidskatten på värmeproduktion som trädde i kraft den 1 januari 2023. Framför allt innebär avskaffandet att det är lönsammare att inte backa på elen även vid lägre elpriser.

Tillgång på och kostnad för biooljor

Efter höjningen av koldioxidskatten 2019 drabbades även biooljorna vilket i sin tur gjorde att biooljepannor lades ner eller att investeringsplaner stoppades. Detta gjorde att utbudet minskade drastiskt och att det idag fortfarande är svårt att hitta biooljor samt att priset är väsentligt högre än för fossila bränslen (trots priset på utsläppsrätter).

1.2.2 Miljötillstånd

Miljötillstånd för kylning och kondensdrift

Det finns en ganska stor potential för ökad elproduktion under vår-sommar-höst eftersom de flesta kraftvärmeanläggningar saknar kylförmåga. Ett hinder för utökad kondensdrift är då ifall kylning inte kan ske i vattendrag på grund av begränsningar i miljötillstånden. Dessa miljötillstånd ser också ofta olika ut från länsstyrelse till länsstyrelse. I kristider kan man tänka sig att marginalerna för hur mycket man får kyla kan utökas vilket kan bidra med ökad kondensproduktion. Hur mycket en anläggning får köra i kondensdrift, exempelvis en industri, kan också vara begränsat av miljötillstånd. Förutom kylning i vattendrag kan även kyltorn installeras vilket framför allt är ett ekonomiskt hinder men kan även vara ett acceptanshinder.

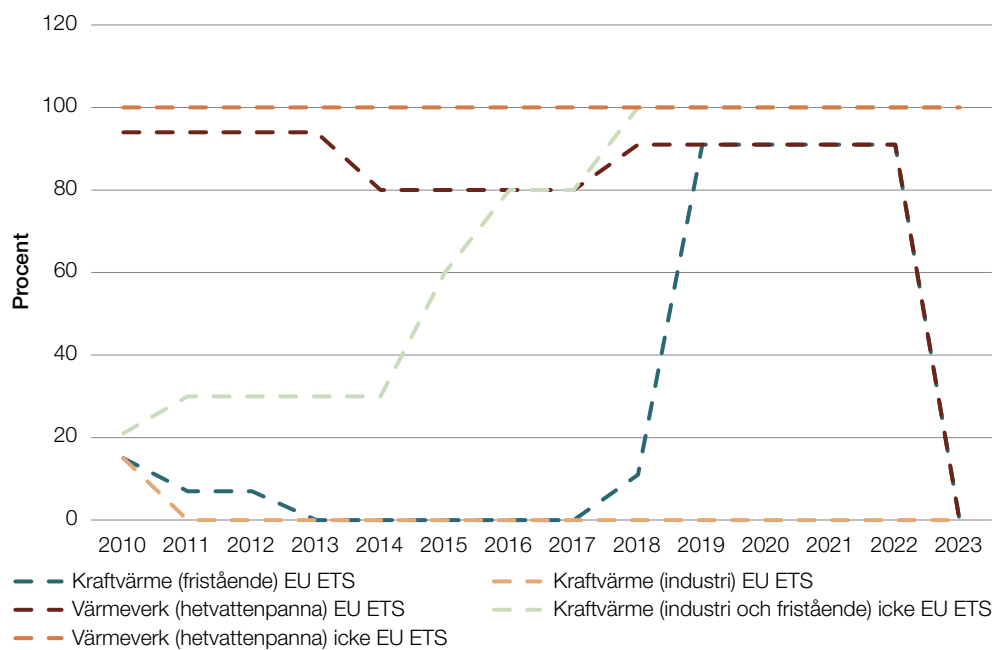
Miljötillstånd för ny utbyggnad

Ett hinder kopplat till miljötillstånd är begränsningar i utbyggnad av befintliga anläggningar då de redan maxar produktionen enligt det miljötillstånd som finns. Att ansöka och få godkänt för nytt miljötillstånd uttrycks av några företag som både svårt och tidskrävande. Ett sätt att åtgärda detta och få en ökad elproduktion på plats snabbare vore ifall det var tillräckligt för en anläggning att skicka in en anmälan då det gäller mindre åtgärder. Ett exempel är installationer av en turbin av mindre storlek, såsom en ORC-turbin.

1.2.3 Långsiktiga spelregler

För att branschen ska kunna planera sina investeringar långsiktigt krävs stabila spelregler på marknaden och en politiskt långsiktig målbild. Detta är också ett återkommande tema som många aktörer lyft fram i diskussion med Energimyndigheten. Ett exempel ses i figur 2 som visar hur koldioxidskatten åkt berg och dalbana över tiden vilket försvårat för branschen att planera sina investeringar i tid. Den blåstreckade linjen är koldioxidbeskattningen av värme som produceras i kraftvärmeverk. Den plötsliga höjningen av

skatten 2019 från 11 till 91 procent innebar att flera fossileldade kraftvärmeverk, inklusive spetslastpannor, inte kunde köra vidare som planerat.¹⁰ Sänkningen (avskaffandet) av skatten den 1a januari 2023 innebär heller inte per automatik att investeringar i spetslastpannor eller igångsättning av fossilbränsleeldade kraftvärmeverk kommer att ske. Detta eftersom det är oklart vad som händer med beskattningen framåt i avsaknad av en långsiktig strategi som är politiskt förankrad.



Figur 2. Koldioxidbeskattning av värmeproduktion.

Källa: Energimyndigheten (2023).¹¹

¹⁰ Se även energimyndighetens kapacitetssupplett Uppföljning av det gemensamma initiativet avseende effekten för elförsörjningen i Malmö och Stockholm, Regeringsbeslut I2020/03358

¹¹ Energimyndigheten (2023), *Energiindikatorer 2023*, ER 2023: 15

2 Kärnkraft

Kapitlet inleds med en nulägesbeskrivning över kärnkraft i Sverige och omvärlden. Nuvarande förutsättningar för kärnkraft i Sverige beskrivs, vilken även inkluderar drifttidsförlängning av befintliga reaktorer. Därefter redogörs för de hinder som identifierats för utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige, även på nya platser och med nya reaktortekniker.

2.1 Nulägesbeskrivning

Sverige har idag sex kärnkraftsreaktorer i drift som tillsammans producerar ungefär en tredjedel av den el som används. Reaktorerna är lokaliserade i Forsmark, Ringhals och Oskarshamn och har tillsammans en effekt på drygt 6 800 MW, se tabell 2. 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. Reactorer 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.

Tabell 2. Befintliga reaktorer under 2022.

	Forsmark 1	Forsmark 2	Forsmark 3	Oskarshamn 3	Ringhals 3	Ringhals 4	Totalt
Reaktortyp	BWR	BWR	BWR	BWR	PWR	PWR	
I kommersiell drift, år	1980	1981	1985	1985	1981	1983	
Avställning om livslängd 60 år	2040	2041	2045	2045	2041	2043	
Installerad effekt, MWe	990	1 120	1 172	1 400	1 074	1 103	6 859
Produktion 2021, TWh	7,9	8,6	9,0	11,0	6,6	8,2	51,3
Produktion, genomsnitt 2017–2021, TWh	7,5	8,2	8,9	10,0	7,3	7,9	49,7

Anm: BWR = Boiling Water Reactor – kokvattenreaktor, PWR = Pressurized Water Reactor – tryckvattenreaktor

I dag är även reaktorer av SMR-typ (små modulära reaktorer) på väg ut på marknaden. SMR är en mycket bred definition och inkluderar både reaktorkoncept av lättvattentyp, liknande större GIII-reaktorer och koncept med radikalt annan konstruktion, till exempel salt- eller blykylda reaktorer. Western European Nuclear Regulator's Association (WENRA) ger följande definition¹²:

- Elektrisk uteffekt på maximalt ungefär 300 MW.
- Konstruerad för kommersiell användning för elproduktion, avsaltning, fjärrvärme eller processvärme.
- Konstruerad för att tillåta uppförande av ett flertal enheter eller moduler i nära anslutning till samma infrastruktur.
- Kan byggas och monteras i fabrik i större utsträckning än traditionella kärnreaktorer, och kan fraktas till kund och installeras allteftersom behov uppstår.
- Dessutom kännetecknas vissa SMR:er av nya konstruktionslösningar som inte i någon större utsträckning tidigare analyserats eller tillståndsprövats av myndigheter.
- Passiva kylsystem.

2.1.1 Kärnkraft i omvärlden

Under andra hälften av 1900-talet skedde utbyggnaden av kärnkraft globalt framför allt i Europa och Nordamerika och cirka 65 procent av alla kärnkraftsreaktorer i världen finns idag i dessa två regioner.¹³ På grund av faktorer som höga kostnader för nya projekt, långa byggtider, ogynnsamma marknadsvillkor och i vissa fall starkt motstånd från allmänheten så har investeringarna i ny kärnkraft i avancerade ekonomier däremot stagnerat under de senaste två decennierna. Utbyggnaden av kärnkraft har på senare år skett i tillväxtländer, framför allt i Asien, som satsat på kärnkraft för att kunna tillmötesgå ett snabbt växande energibehov. Medelåldern för reaktorerna i Nordamerika och Europa är idag 36 respektive 38 år vilket kan jämföras med en medelålder på 5 år i Kina och 15 år i Indien.¹⁴ International Energy Agency (IEA)¹⁵ uppskattar att de avancerade ekonomiernas andel av den installerade kapaciteten skulle kunna minska med en tredjedel fram till 2030. Många reaktorer i dessa regioner kommer då att nå slutet på sin förväntade livslängd, alternativt kommer att avvecklas i förtid på grund av politiska eller ekonomiska skäl. Fokus inom avancerade ekonomier som USA, Frankrike, Storbritannien och Kanada förväntas därför de kommande åren till stor del ligga på att möjliggöra generationsskiftet för befintliga kärnkraftsanläggningar samt att förlänga den operationella livslängden för övriga anläggningar så långt som möjligt.

I oktober 2022 fanns det sammanlagt 437 kärnkraftsreaktorer i totalt 32 länder världen över. Den globala installerade kapaciteten för reaktorer i drift var vid samma tidpunkt nära 395 GWe. USA har världens största installerade kärnkraftskapacitet och står idag för ca 24 procent av den globala kapaciteten, följt av Frankrike (16 procent), Kina

¹² Applicability of the Safety Objectives to SMRs (WENRA, 12 januari 2021)

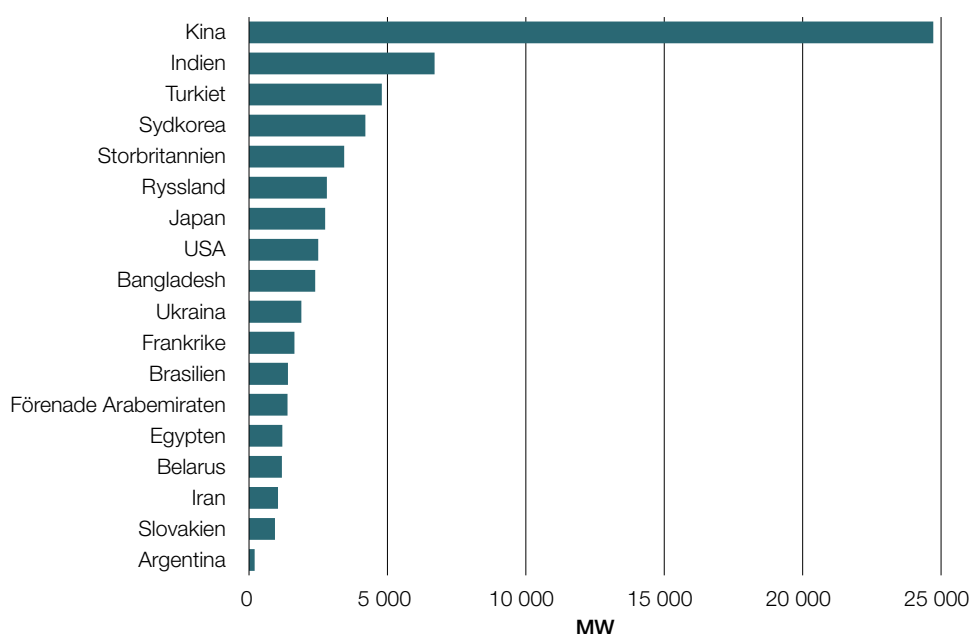
¹³ World Nuclear Association 2022, *World Nuclear Performance report 2022* World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx (Hämtad 2023-06-21)

¹⁴ World Nuclear Association 2022, *World Nuclear Performance report 2022* World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx (Hämtad 2023-06-21)

¹⁵ IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, OECD

(13 procent), Japan (8 procent) och Ryssland (7 procent). Sveriges andel utgör samtidigt ca 2 procent. Totalt sett svarar kärnkraften för ca 10 procent av den globala elproduktionen.¹⁶ I IEA:s senaste World Energy Outlook (2022)¹⁷ förväntas kärnkraften ligga på en stabil nivå runt 10 procent fram till 2050 i alla scenarier som presenteras i rapporten.

I oktober 2022 var 59 reaktorer med en sammanlagd kapacitet på över 65 GWe under konstruktion i totalt 18 länder medan ytterligare 100 reaktorer med en sammanlagd kapacitet på över 100 GWe befann sig i planeringsstadiet i totalt 16 länder. De östra (Kina, Japan¹⁸, Sydkorea) och södra (Indien, Bangladesh, Pakistan) delarna av Asien utgör de starkaste tillväxtmarknaderna för ny kärnkraft och står i dagsläget för ca 63 procent av kapaciteten för reaktorerna som håller på att byggas samt 56 procent av kapaciteten för de planerade reaktorerna. Av de 39 reaktorerna vars konstruktion påbörjats sedan starten av 2017 byggs majoriteten (20) i Kina, följt av Turkiet (4), Indien (4), Ryssland (3), Bangladesh (2), Storbritannien (2), Sydkorea (2), Egypten (1) och Iran (1).¹⁹



Figur 3. Kapacitet för reaktorer under konstruktion.

Källa: Data från World Nuclear Association.²⁰

De främsta drivkrafterna för anläggning av nya reaktorer i Europa och Nordamerika är idag stärkandet av energisäkerheten, möjliggörandet av klimatomställningen och bibehållandet av befintlig kärnkraftskapacitet. Den sistnämnda är särskilt relevant för de stora kärnkraftsländerna USA, Frankrike och Storbritannien vars nybyggnationer

¹⁶ World Nuclear Association 2022, *World Nuclear Performance report 2022* World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx (Hämtad 2023-06-21)

¹⁷ IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, OECD

¹⁸ Sveriges Television, 2022, Japan satsar på ny kärnkraft | SVT Nyheter (Hämtad 2023-06-09)

¹⁹ World Nuclear Association 2022, *World Nuclear Performance report 2022* World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx (Hämtad 2023-06-21)

²⁰ World Nuclear Association 2022, *World Nuclear Performance report 2022* World-Nuclear-Performance-Report-2022.pdf.aspx (Hämtad 2023-06-21)

helt och hållet utgörs av långsiktig generationsväxling av befintliga anläggningar. I exempelvis Polen och Estland är möjliggörandet av klimatomställningen framför allt den drivande kraften. Båda dessa länder är i dagsläget starkt beroende av fossila bränslen för elproduktion och en stor expansion av kärnkraften ses som lösningen för att frångå detta beroende. Andra argument för satsningar på nya reaktorer förs fram till en viss grad, bland annat möjliggörandet av storskalig vätgasproduktion. Potentialen för SMR-teknologi bidrar även till ett ökat intresse för ny kärnkraft runt om i Europa och Nordamerika, framför allt i länder som USA, Kanada, Frankrike, Storbritannien, Polen, Estland, Tjeckien och Rumänien.²¹

2.1.2 Marknadsmässiga förutsättningar i Sverige då och nu

Sverige har som mest haft 12 reaktorer i kommersiell drift varav 6 är i fortsatt drift idag. Även innan folkomröstningen 1980 har kärnkraften varit en känslig fråga politiskt. Frågan om att begränsa antalet reaktorer behandlades vid flera tillfällen i riksdagen under 70-talet mot bakgrund av kärnsäkerhetsfrågor ifrågasatt av en snabbt växande miljörelse. Efter folkomröstningen 1980 beslutade riksdagen om att kärnkraften skulle avvecklas till 2010.

År 1997 så beslutade den då sittande Socialdemokratiska regeringen, efter en energipolitisk överenskommelse med Centerpartiet och Vänstern, att ta bort slutdatumet för avveckling och någon ny bortre gräns sattes aldrig.²² Som en del i överenskommelsen och med stöd i lagen (1997:1320) om kärnkraftens avveckling beslutade regeringen 1999 respektive 2005 att de två reaktorer i Barsebäck skulle stängas. Vid den omläggning av energipolitiska inriktningen som skedde 2009²³ beslutades att kärnkraften inte längre skulle få några statliga subventioner och kärnkraftsägarna skulle få ett utökat skadeståndsansvar vid stora olyckor. De borgliga partierna var överens om att det inte längre skulle vara politiken som beslutade om kärnkraftens framtid, det skulle marknaden sköta genom strikt kommersiella bedömningar. Lagen (1997:1320) om kärnkraftens avveckling upphävdes därefter 2010.

Utbyggnaden av förnybar elproduktion, främst i form av vindkraft, tog sedan fart i Sverige med stöd av elcertifikatsystemet. Olyckan i Fukushima Daiichi 2011 innebar att utökade säkerhetskrav, bland annat i form av oberoende härdkylning, ställdes för kärnkraften vilket medförde kostsamma investeringar för ägarna. Samtidigt så närmade sig en del reaktorer sin livslängd vilket även det skulle innebära att kostsamma åtgärder för att säkerställa fortsatt drift. Energiöverenskommelsen från 2016²⁴ satte det tidigare målet om 100 procent förnybar elproduktion till 2040. Målet innebar inte ett stoppdatum för kärnkraften. Nya reaktorer skulle fortfarande få byggas på de platser där kärnkraftverken ligger i dag. Ingen avveckling av reaktorer skulle ske genom politiska beslut. Kärnkraft beskattades mellan 2000–2018 med en effektskatt (tidigare fanns en produktionskatt) vars nivå höjdes i omgångar av olika regeringar fram tills att den slopades i och med energiöverenskommelsen 2016.

²¹ IEA (2022), *World Energy Outlook 2022*, OECD

²² Proposition 1996/97:84, *En uthållig energiförsörjning*

²³ Proposition 2008/09:163, *En sammanhållen klimat- och energipolitik*

²⁴ Proposition 2017/18:228, *Energipolitikens inriktning*

Effektskatten i kombination med allt lägre elpriser, på grund av ökad andel förnybar elproduktion, samt ökade säkerhetskrav efter olyckan i Fukushima påverkade lönsamheten för kärnkraftsföretagen negativt. Sammantaget ligger det till grund för de avvecklingsbeslut som tagits på senare år.

År 2019 hoppade Moderaterna och Kristdemokraterna av energiöverenskommelsen. Den nu sittande borgerliga regeringen med stöd av Sverigedemokraterna har tydligt aviserat att de vill verka för en utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige i det så kallade Tidöavtalet.²⁵ Som ett led i detta har regeringen infört ett nytt energipolitiskt mål om 100 procent fossilfri elproduktion till 2040²⁶, samt aviserat att de ska verka för att underlätta genom förändringar i regelverk och snabbare tillståndprocesser för ny kärnkraft. Regeringen har även infört statliga kreditgarantier för investeringar i ny kärnkraft. Det är i dagsläget möjligt för att ansöka om att bygga nya reaktorer i Sverige. Antalet reaktorer som kan byggas och lokaliseringen av nya reaktorer begränsas dock i dagsläget av miljöbalkens bestämmelser (se regelverk nedan).

Förstudier för ny kärnkraft i Sverige

Vattenfall inledde under sommaren 2022 en förstudie kring uppförande av små modulära reaktorer i anslutning till Ringhals kärnkraftverk²⁷, där syftet är att undersöka de kommersiella, legala och tekniska förutsättningarna för att bygga minst två nya SMR vid Ringhals. Vattenfall har etablerat en dialog med potentiella teknikleverantörer samt startat arbetet med vad som krävs för att upprätta en miljökonsekvensbeskrivning. Vattenfall planerar att efter sommaren 2023 starta de första lokala samråden. Förstudien ska vara färdig till årsskiftet 2023–2024 och kommer att utgöra en central del i beslutsunderlaget inför en eventuell tillståndsansökan hos Strålsäkerhetsmyndigheten och Mark- och miljödomstolen för att bygga nya kärnkraftreaktorer. I anslutning till förstudien lämnade Vattenfall i december 2022 in en anmälan till Svenska Kraftnät om anslutning av planerbar elproduktion vid Ringhals. Detta i syfte att ge Svk möjlighet att utreda förutsättningarna för att ansluta ny kraftproduktion i form av kärnkraft vid Ringhals.

Även Fortum startade under hösten 2022 en förstudie²⁸ om möjligheterna att bygga ny kärnkraft i både Sverige och Finland. Huvudfokus är även här på små modulära reaktorer men omfattar även konventionella storskaliga reaktorer. Förstudien kommer beröra planering, lokalisering och tillståndprocesser med avsikten att arbeta i nära samarbete med externa intressenter i form av politiska beslutsfattare, tjänstemän, branschorganisationer och strålsäkerhetsmyndigheterna i både Sverige och Finland. Förstudien är planerad att pågå i högst två år.

Förutsättningar för drifttidsförlängning av befintliga reaktorer

Drifttidsförlängning av befintliga reaktorer är det mest kostnadseffektiva alternativet för att fortsatt ha kärnkraft i elmixen under en lång tid framöver. Det finns inga regel- mässiga eller politiska hinder för att drifttidsförlänga de befintliga reaktorerna. För

²⁵ Regeringen med samarbetsparti 2022, *Tidöavtalet: överenskommelse för Sverige*

²⁶ Vårändringsbudget för 2023 (Betänkande 2022/23:FiU21 Finansutskottet) | Sveriges riksdag (riksdagen.se) (Hämtad 2023-06-21)

²⁷ Vattenfall 2023, Förstudie om SMR vid Ringhals – Vattenfall (Hämtad 2023-06-09)

²⁸ Fortum 2023, Fortum i förstudie om ny kärnkraft i både Sverige och Finland | fortum.se (Hämtad 2023-06-09)

befintliga reaktorer i drift finns inget beslut om bortre drifttid, utan den är beroende på om reaktorerna fortsatt kan upprätthålla säkerhetskraven och är lönsamma att driva vidare. Vattenfall bedömer att det finns goda förutsättningar att förlänga drifttiden för alla fem reaktorer i Ringhals och Forsmark från nuvarande 60 år till 80 år. För drifttidsförlängningen krävs dock nya tillstånd och investeringsbeslut som måste fattas innan det står helt klart, men Vattenfall har hitintills inte stött på några hinder som kan omöjliggöra en drifttidsförlängning.²⁹ Uniper har bedömt att Oskarshamn 3 kan drivas till 2045 i nuvarande skick och ca 20 år till med ytterligare investeringar. Förutom drifttidsförlängning finns det även potential för effekthöjningar³⁰ av vissa befintliga reaktorer. Bedömningen är att det finns potential att höja kapaciteten med upp mot totalt 300 MW. Vattenfall har redan genomfört en effekthöjning av Forsmark 1 med 50 MW under 2022, dock har inte hela effekthöjningen kunnat realiserats under 2023 på grund av begränsningar i nätkapacitet. Vattenfall planerar att ytterligare höja effekten på Forsmark 1 med 50 MW under de närmaste åren. Vattenfall bedömer även att en effekthöjning är möjlig i Forsmark 3 men det ligger 5–6 år längre fram i tiden.

2.1.3 Aktörer i Sverige

Ägarstruktur för befintliga reaktorer

Oskarshamn – OKG har drifttillstånd att driva tre kärnkraftsreaktorer på Simpevarps-halvön norr om Oskarshamn. Bolaget ägs av Sydkraft/Uniper med 54,5 procents ägarandel och Fortum 45,5 procent. Av de tre reaktorerna är det endast O3 som är i operativ drift, medan de två äldsta reaktorerna är på väg att monteras ned och rivas.

Ringhals – kärnkraftverket är beläget på Väröhalvön i Varbergs kommun i Halland. Kraftverket ägs av Vattenfall 70,4 procent och Sydkraft/Uniper 29,6 procent. Anläggningen har fyra reaktorer, varav de två äldsta stängdes 2019 och 2020. De två yngsta reaktorerna är planerade för långtidsdrift till in på 2040-talet.

Forsmark – kärnkraftverket ligger i Östhammars kommun i Upplands län. Kraftverket ägs av Vattenfall 66 procent, Mellansvenska Kraftgruppen, 24,1 procent och Sydkraft/Uniper 9,9 procent. Kraftverket har tre reaktorer, samtliga planerade för långtidsdrift till in på 2040-talet.³¹

Myndigheter

Strålsäkerhetsmyndigheten, SSM, är tillsynsmyndighet i frågor rörande kärnsäkerhet, strålskydd, fysiskt skydd och nukleär icke-spridning. SSM:s uppdrag gäller all verksamhet med strålning, där kärnkraft utgör myndighetens största verksamhetsområde och omfattar omkring hälften av myndighetens finansiering och verksamhetsvolym. SSM:s uppdrag brukar beskrivas som fyrdelat – tillsyn, tillståndsgivning, normering och kompetensutveckling.³²

²⁹ Dagens Nyheter 2023, "Förutsättningar förlänga våra kärnkraftsreaktorer till 80 år" – DN.SE (Hämtad 2023-06-09)

³⁰ Montel News 2023, Möjligt med effekthöjningar på 100-tals MW i reaktorerna | Montel (montelnews.com) (Hämtad 2023-06-09)

³¹ Kärnkraft | Uniper (Hämtad 2023-06-22)

³² Vårt säkerhetsarbete – Strålsäkerhetsmyndigheten (stralsakerhetsmyndigheten.se)

För kärnkraft inkluderar tillsynsuppdraget operativ tillsyn, händelseuppföljning, en omfattande granskningsverksamhet samt genomförande av en årlig så kallad samlad strålsäkerhetsvärdering för samtliga tillståndshavare. I tillsynen interagerar myndigheten ofta direkt med tillståndshavarna (operatörerna av kärnkraftverken), och den bedrivs delvis på plats i kärnkraftverken. SSM har föreskriftsmandat och ger ut föreskrifter relaterade till samtliga faser i en kärnkraftsreaktors livscykel – konstruktion, analys, driftsättning och drift samt avveckling och avfallshantering. 2022 trädde nya föreskrifter för konstruktion, analys och drift av kärnkraftsreaktorer i kraft. Föreskrifterna är av central betydelse för såväl existerande kärnkraftreaktorer som för ny kärnkraft. SSM granskar ansökningar om nya reaktorer eller effekthöjningar av befintliga reaktorer med avseende på krav i kärntekniklagen och lämnar en rekommendation till regeringen. Detta görs genom att SSM förvissas sig om att det finns förutsättningar att uppfylla kraven enligt såväl kärntekniklagen som relevanta föreskrifter.³³

Flera andra myndigheter och aktörer har som del i sina uppdrag uppgifter kopplade till kärnkraften och här har SSM normalt en sammanhållande roll. Detta gäller i första hand inom två områden: beredskap för kärntekniska olyckor och fysiskt skydd av kärnkraftverk. Inom verksamhet relaterad till beredskap för kärntekniska olyckor är länsstyrelserna, Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) och kommunala räddningstjänster centrala aktörer; här har särskilt länsstyrelserna i kärnkraftslänen en central roll. Avseende fysiskt skydd och informationssäkerhet ingår MSB, Polismyndigheten och Säpo bland aktörerna. Svensk kärnbränslehantering (SKB), hanterar avfallet från de svenska kärnkraftverken. SKB ägs av kärnkraftsföretagen och finansieras av kärnavfallsfonden. Ägarna är enligt lag skyldiga att ta hand om avfallet och ansvara för finansieringen. SKB har byggt upp systemet för hantering av kärnavfallet och tagit fram metoden för att förvara kärnavfallet under långa tidsrymder.

Översikt över viktiga områden och aktörer relaterade till kärnkraft utöver SSM:

- *Haveriberedskap*: länsstyrelserna i kärnkraftslänen, kommunal räddningstjänst, MSB, Jordbruksverket med flera
- *Fysiskt skydd*, inklusive informationssäkerhet: MSB, Säpo, Polismyndigheten med flera
- *Omgivningskontroll*: Naturvårdsverket och Havs- och vattenmyndigheten
- *Avfallsfrågor och platsundersökningar*: SKB, SGU
- *Interaktion med stamnätet*: Svenska kraftnät.
- *Finansiering av forskning och utveckling*: Energimyndigheten, Vetenskapsrådet, Energiforsk, Stiftelsen strategisk forskning, svenskt kärntekniskt centrum, Studsvik Nuclear AB, SKB, Westinghouse och Cyclife Sweden AB.

2.1.4 Nuvarande styrning och regelverk

EU – lagstiftning

EU:s förhållningssätt i kärnkraftsfrågan behandlas i Euratomfördraget³⁴ vilket tecknades 1957 och trädde i kraft 1958. Där framgår att kärnkraft ska främjas, men även att

³³ Vårt säkerhetsarbete – Strålsäkerhetsmyndigheten (stralsakerhetsmyndigheten.se)

³⁴ Fördraget om upprättandet av Europeiska atomenergigemenskapen (Euratom) EUR-Lex - xy0024 - SV - EUR-Lex (europa.eu) (Hämtad 2023-06-26)

medlemsstaterna är fria att bestämma kring sina egna energimixer och huruvida de ska inkludera kärnkraft eller inte. Huvudmålen för Euratomfördraget är bland annat att:

- Främja, underlätta forskning och spridning av teknisk information.
- Fastställa enhetliga säkerhetsnormer för att skydda allmänhet och arbetstagare.
- Säkerställa att kärnmaterial för civilt bruk inte används för andra ändamål, exempelvis militära.

EU:s övriga regleringar kring energi- och miljö tillämpas för kärnkraft likväl som för andra kraftslag. Statligt stöd till kärnkraft behöver liksom på andra områden utformas med hänsyn till de rättsliga principerna för statsstöd och prövas mot dessa. Andra relevanta EU-ramverk inkluderar den så kallade taxonomin³⁵, en ram för att underlätta hållbara investeringar. Inom taxonomin finns en ”grön lista” över ekonomiska aktiviteter – där även kärnkraft kan ingå under vissa villkor. Detta innebär att det är möjligt för sådan energi att säkra investeringar enligt särskilda regler.

EU:s princip av funktionell separation av främjande och tillståndsgivning innebär att de statliga funktionerna för tillståndsgivning och tillsyn av kärntekniska anläggningar ska vara åtskilda från uppgifter som är förknippade med främjande och användning av kärnkraft. I dagsläget tillämpar Sverige en sådan uppdelning då SSM har ansvaret för tillståndsgivning och tillsyn.

Befintligt regelverk i Sverige

De mest centrala lagarna, förordningarna och föreskrifterna kopplat till ny kärnkraft i Sverige listas nedan:

- Strålskyddslagen (2018:396), Lag (1984:3) om kärnteknisk verksamhet och miljöbalken (1998:808).
- Förordning (2008:463) om vissa avgifter till Strålsäkerhetsmyndigheten.
- Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter om konstruktion (SSMFS 2021:4), analys (SSMFS 2021:5) och drift (SSMFS 2021:6) av kärnkraftsreaktorer. Dessa inkluderar krav avseende strålskydd, fysiskt skydd och haveriberedskap.
- Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifter och allmänna råd om säkerhet vid slutförvaring av kärnämne och kärnavfall (SSMFS 2008:21).
- Lag (2003:778) om skydd mot olyckor
- Lag (2006:263) om transport av farligt gods
- Lag (2006:647) om finansiering av kärntekniska restprodukter
- Lag (2010:950) om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor

³⁵ EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2020/852 av den 18 juni 2020 om inrättande av en ram för att underlätta hållbara investeringar och om ändring av förordning (EU) 2019/2088

Utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige begränsas i miljöbalkens kapitel 17, § 6a och innebär i korthet att maximalt tio reaktorer får vara i drift i Sverige vid ett och samma tillfälle, samt att ny kärnkraft endast får byggas på de tre anläggningsplatser där det i dag finns reaktorer i drift (Forsmark, Oskarshamn och Ringhals). Ytterligare en geografisk begränsning finns i 4 kap. 4 § miljöbalken som innebär att nya kärntekniska anläggningar inte får anläggas inom större delen av kustområdena i södra Sverige, utom på platser där det redan finns sådana anläggningar eller andra större industrianläggningar. För att få tillstånd för att uppföra en kärnkraftsreaktor krävs även kommunens tillstyrkande.

Det svenska regelverket har utvecklats under beaktande av krav i ett stort antal internationella dokument eller regelverk. Det gäller till exempel EU:s strålskydds- och kärnsäkerhetsdirektiv³⁶ (båda tvingande), ett stort antal IAEA-standarder, samt dokument som utarbetats av internationella organisationer (WENRA³⁷, HERCA³⁸, OECD NEA³⁹ med flera). Internationellt regelverk av detta slag kan därför antas vara implicit beaktade i utarbetandet av det svenska regelverket.

2.1.5 Avfallshantering och slutförvar

Svensk kärnbränslehantering AB (SKB) är ansvariga för hantering av det svenska kärnavfallet. SKB ägs av kärnkraftsföretagen och bildades då företagen är skyldiga att enligt lag att finansiera och ta hand om det kärnavfall som uppkommer vid de befintliga kärnkraftverken. SKB ansvarar för systemet för omhändertagande av kärnavfall vilket innefattar mellanförvaring, slutförvar och transporter. SKB har utvecklat metoden för slutförvar som innebär att kärnavfallet ska kunna lagras i kopparkapslar omgivna av bentonitlera ca 500 meter ner i berggrunden. Metoden är baserad på forskning under 40 års tid och den svenska modellen för slutförvar är den som används i resten av världen även om förutsättningar vad gäller materialval för inneslutning kan variera beroende på geologiska förutsättningar.⁴⁰

I mars 2011 ansökte SKB hos Strålsäkerhetsmyndigheten och Mark- och miljödomstolen om tillstånd att få bygga slutförvaret i Forsmark. Efter att Östhammars kommunfullmäktige i oktober 2020 sagt ja till ett slutförvar för använt kärnbränsle i Forsmark, ligger nu avgörandet hos regeringen. Efter att både Oskarshamns och Östhammars kommun tillstyrkt anläggningarna, vilket skedde 2018 respektive 2020, fattade regeringen beslut om tillstånd i januari 2022. Regeringsbeslutet innebär att frågan nu gått tillbaka till Strålsäkerhetsmyndigheten och Mark- och miljödomstolen som ställer villkor för anläggningarna.⁴¹

³⁶ direktiv 2014/87/Euratom om ändring av direktiv 2009/71/Euratom om upprättande av ett gemenskapsramverk för säkerhet vid kärntekniska anläggningar

³⁷ Western European Nuclear Regulators' Association

³⁸ Heads of Radiation Protection Authorities

³⁹ Nuclear Energy Agency

⁴⁰ Vårt uppdrag – SKB (Hämtad 2023-06-26)

⁴¹ SKB:s tillståndsprövningar – SKB (Hämtad 2023-06-26)

2.1.6 *Forskningsfinansiering*

Strålsäkerhetsmyndighetens forskningsfinansiering

SSM finansierar årligen forskningsprojekt, tjänster vid universitet och högskolor samt konsulter för ca 80 miljoner. SSM har ett tudelat kompetensutvecklings- och forskningsuppdrag, kopplat dels till kunskap som krävs för utveckling av myndighetens egen tillsyn, dels till upprätthållande av nationell kompetens inom för kärnkraftssäkerheten centrala områden. Forskningsmedel fördelas genom en årlig beredningsprocess, och utförare finns dels inom universitet och högskolor, dels hos ett antal specialiserade aktörer inom exempelvis deterministisk och probabilistisk analys eller kontroll och provning. Dessutom är SSM medfinansierare i ett antal mer långsiktiga program, till exempel SKC (Svenskt kärntekniskt centrum), NKS (Nordisk kärnsäkerhetsforskning) och OECD NEA:s Haldenprojekt. Utöver detta är medverkan i internationella samarbeten central, med syften kopplade till omvärldsbevakning, kunskapsinhämtning samt medverkan i konventionsarbete och internationell normering. Viktiga fora är här IAEA, ENSREG, OECD NEA, WENRA, HERCA med flera. Via separat finansiering från UD och Naturvårdsverket bidrar SSM också till sanering, kärnsäkerhet och nukleär icke-spridning i ett flertal tidigare sovjetrepubliker.⁴²

Forskning och utveckling –stöd kopplat till ny kärnteknik

Energimyndigheten finansierar forskning kring ny kärnteknik, där finansieringen går genom det allmänna energiforskningsanslaget. Regeringen har öronmärkt finansiering för kärnkrafts relaterad forskning i regleringsbrevet till Energimyndigheten och SSM för 2023. Under nästkommande tre år (2023–2025) aviserar regeringen att upp till 250 miljoner ska slussas ut till forskning och innovation inom områdena kärnteknik och strålsäkerhet. En gemensam första utlysning mellan SSM och Energimyndigheten genomförs under sommaren 2023.⁴³ Utöver Energimyndigheten och Strålsäkerhetsmyndigheten så finansieras forskning kopplat till kärnkraft även av Vetenskapsrådet, Energiforsk, Stiftelsen strategisk forskning, svenskt kärntekniskt centrum, Studsvik Nuclear AB, SKB, Westinghouse och Cyclife Sweden AB.

I Sverige finns två typer av forskningsaktörer som bedriver forskning inom kärnkraft: akademien och verksamhetsutövarna. Det finns i nuläget inga nationella forskningsinstitut som i Frankrike och Tyskland, eller så kallade technical support organisations (TSO) som i Finland. Majoriteten av den svenska forskningen inom kärnkraft sker på Kungliga Tekniska högskolan (KTH), Chalmers Tekniska Högskola (Chalmers) samt Uppsala universitet. Lärosätena har forskargrupper inom kärnkemi, tillämpad kärnfysik, reaktorfysik inklusive termohydraulik, materialforskning och strukturell integritet.

⁴² Forskningsfinansiering – Strålsäkerhetsmyndigheten (stralsakerhetsmyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-23)

⁴³ Energimyndigheten och Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, Forskningsmedel för strålsäkerhet inom ny reaktorteknik samt kärnkraftens livscykel och förutsättningar (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-09)

Uppsala universitet är värd för det nya kompetenscentrumet ANItA (Akademiskt-industriellt kärntekniskt initiativ för att uppnå en framtida hållbar energiförsörjning) som kommer att samla en stor del av svensk industriell och akademisk kärnteknisk kompetens. ANItA ska stödja utvecklingen av en kunskapsbaserad strategi för införande av små modulära reaktorer i Sverige.⁴⁴ Vid Chalmers finns SAINT⁴⁵, ett akademiskt kompetenscentrum för strålningsvetenskap, samt ett antal forskare aktiva i olika projekt nationellt och internationellt. Vid KTH:s avdelning för kärnteknik bedrivs forskning som syftar till att förbättra prestanda och säkerhet för nuvarande och framtida kärnkraftverk. Forskare från KTH har även startat företaget Blykalla⁴⁶, som utvecklar blykylda SMR-reaktorer.

Forskning och utveckling bedrivs även inom vissa företag – särskilt Studsvik, Svensk Kärnbränslehantering (SKB), Westinghouse och Cyclife. Studsvik har ett tydligt fokus på FoU samt produktutveckling och har avancerade testanläggningar. De medverkar i och leder internationella projekt fokuserade på bränslehantering och livstidsfrågor. SKB genomför forskning kopplat till slutförvaret av använt kärnbränsle. SKB samarbetar mycket med akademin och köper in ungefär hälften av sin forskning. Westinghouse arbetar med frågor rörande utvecklingen av kärnbränsle, ofta i samarbete med akademin. En stor del av verksamhetens forskning och utveckling äger rum i USA och Storbritannien. Cyclife⁴⁷ fokuserar på avfallshantering och avveckling. Forskningen utgör ungefär fem procent av den totala verksamheten. Det är även vanligt att forskning köps in från akademin eller konsulter. De flesta verksamheter finansierar, eller har finansierat, industridoktorander.

2.2 Hindersanalys

För att möjliggöra för kärnkraft i Sverige så finns det en rad hinder som behöver hanteras. Hindren skiljer sig åt beroende på om det handlar om att drifttidsförlänga befintliga reaktorer, bygga nya reaktorer på befintlig plats och av samma typ som idag eller om det handlar om att bygga nya typer av reaktorer på nya platser. Att bygga nya reaktorer är en stor och långsiktig investering som innefattar en stor risk för de aktörer som ska investera på grund av den långa återbetalningstiden. Detta kräver att en rad förutsättningar måste finnas på plats:

- En grundläggande förutsättning för en investering är att det finns en politisk enighet eller acceptans för att kärnkraften har en plats i elsystemet under lång tid och att det därmed finns grundläggande långsiktiga spelregler.
- Det finns ett behov av att upprätthålla och utveckla kompetensförsörjningen inom industrin och säkra återväxten av forskare vid lärosäten.

Om det finns möjligheter att drifttidsförlänga en eller flera befintliga reaktorer så minskar behovet av ny produktion när de annars skulle stängas under början av 2040-talet. Ny kärnkraft på befintliga platser uppskattas ta åtminstone kring tio år att uppföra och att bygga på ny plats eller av annan typ av reaktor kan sannolikt ta längre tid. Dagens regel-

⁴⁴ ANItA – Uppsala universitet (uu.se) (Hämtad 2023-06-26)

⁴⁵ Saint – Swedish Academic Initiative on Nuclear Technology research | Chalmers (Hämtad 2023-06-26)

⁴⁶ About Us – Leadcold (Hämtad 2023-06-26)

⁴⁷ Cyclife group is dedicated to nuclear decommissioning and radioactive waste management (cyclife-edf.com) (Hämtad 2023-06-26)

verk för tillståndsprövning är anpassat för stora konventionella lättvattenreaktorer och inte för nya reaktortekniker som SMR.

- Det är därför viktigt att säkerhetskrav, föreskrifter osv. tas fram och anpassas även för nya reaktortyper som SMR men även anpassa avgiftsförordningen som idag är densamma oavsett reaktorstorlek.
- Att legala begränsningar i Miljöbalken för ny kärnkraft på nya platser ses över. Regeringen har föreslagit att begränsningen avseende på antal och plats tas bort, men det finns behov av att även se över de begränsningar av vissa kuststräckor som idag är skyddade från kärnkraft.

I ett elsystem som i huvudsak ska utvecklas på marknadsmässiga grunder är en väl-fungerande marknad avgörande för ett kostnadseffektivt och leveranssäkert elsystem. Skulle marknader för nya stödtjänster såsom rotationsenergi och reaktiv effekt införas skulle det kunna förbättra förutsättningarna för exempelvis kärnkraft men även för andra kraftslag beroende på elsystemets behov.

- Översyn av behovet av olika nyttor och systemtjänster i elsystemet samt ersättningsmodeller kan öka lönsamheten.

Systemet för avfallshantering är dimensionerat utifrån det avfall som dagens reaktorer kommer generera under såväl drift som avveckling, detta gäller också för drifttidsförlängning. Nya reaktorer kräver ny dimensionering av avfallshanteringen och nya reaktorer kan också innebära nya aktörer. Avfallshantering behöver även möjliggöras för eventuellt nya aktörer att ingå i eller upprätta ett nytt system för hantering av kärnavfallet.

2.2.1 Långsiktighet i styrningen

Ny kärnkraft innebär stora investeringar för aktörerna och tar lång tid att bygga. Kärnkraft har även en lång livslängd och återbetalningstid vilket innebär ett stort risktagande för de som ska investera i ny kärnkraft. En förutsättning som lyfts av aktörerna är långsiktighet i den politiska styrningen. När inriktningen i politiken för eller emot kärnkraft svänger kraftigt mellan mandatperioderna uppfattas det som ett ökat risktagande för investerarna. En bred blocköverskridande överenskommelse kring den långsiktiga energipolitiska inriktningen lyfts av aktörerna som en avgörande faktor för att ny kärnkraft ska kunna byggas i Sverige.

Energipolitiska mål

Det tidigare energipolitiska målet om 100-procent förnybar elproduktion till 2040 har lyfts fram av aktörer inom branschen som ett hinder för utbyggnad av ny kärnkraft. Även om målet i sig inte var formulerat som ett ”stopppdatum” för befintlig kärnkraft så kan innebörden i skrivningen tolkas så som att den inte kan vara förenad med utbyggnad av ny kärnkraft i Sverige. Den nuvarande regeringen lade fram ett förslag till förändring av det energipolitiska målet i vårändringsbudgeten⁴⁸ i april 2023 ”*Målet för elproduktionens sammansättning år 2040 är 100 procent fossilfri elproduktion*” vilket röstades igenom av riksdagen den 20 juni 2023. Regeringen aviserar i vårpropositionen att de fortsätta undanröja hindren för ny kärnkraft i Sverige. I slutet av 2023 planerar regeringen även att återkomma med en energipolitisk inriktningsproposition samt en proposition för att främja en förenklad och förkortad miljötillståndsprövning.

⁴⁸ Regeringen 2023, 2023 års ekonomiska vårproposition, Prop. 2022/23:100

2.2.2 Hinder i miljöbalken relaterade till kärnkraft

Den nuvarande regleringen i miljöbalken sätter begränsningar för utbyggnad av ny kärnkraft både vad gäller lokalisering och antalet reaktorer. Enligt miljöbalken kapitel 17, § 6a (2) får nya reaktorer endast lokaliseras till platser där reaktorer funnits i drift efter den 31 maj 2005. Nya reaktorer kan således endast lokaliseras till de platser där reaktorer finns i drift idag, Ringhals, Forsmark och Oskarshamn. Enligt miljöbalken kapitel 17, § 6a får nya reaktorer endast byggas om de är avsedda att ersätta en befintlig reaktor. Den ersatta reaktorn ska ha varit i drift efter den 31 maj 2005, vilket är datum för permanent avställning av Barsebäck 2. Detta innebär att maximalt tio kärnkraftsreaktorer får vara i drift samtidigt i Sverige.

Regeringen har lagt fram en proposition⁴⁹ i syfte att ändra reglerna i miljöbalken så att reaktorer kan byggas på fler platser än idag samt att fler än 10 reaktorer kan vara i drift samtidigt. Regeringen föreslår att bestämmelsen i miljöbalken som anger att regeringen endast får tillåta en ny kärnkraftsreaktor om den ersätter en permanent avstängd reaktor och uppförs på en plats där någon av de befintliga reaktorerna är lokaliserad ska tas bort. En hänvisning i kärntekniklagen till den bestämmelse i miljöbalken som begränsar regeringens möjlighet att tillåta nya kärnkraftsreaktorer ska också tas bort. Övriga förutsättningar enligt miljöbalken och kärntekniklagen som ska tillämpas vid tillåtlighets- och tillståndsprövning för kärnteknisk verksamhet, inklusive kärnkraftsreaktorer, ändras inte genom regeringens förslag som föreslås träda i kraft i januari 2024.

I regeringens motivation till att bestämmelserna i miljöbalken ska plockas bort anges bland annat ett ökat framtida elbehov, en utveckling mot mindre reaktorer (SMR) innebär att fler reaktorer kan behöva byggas på fler platser än vad som tidigare förutsågs, dels då det behövs fler små reaktorer för att ersätta en större, dels för att möjliggöra placering närmare användarna. Mindre reaktorer skulle kunna öppna för nya tillämpningar, främst för leveranser av fjärrvärme, processvärme och produktion av vätgas för exempelvis fossilfri stålproduktion. Att placera elproduktion närmare användarna kan minska belastningen på transmissionsnätet. Värmebehovet är utspritt över landet, vilket också anförs som ett skäl till att det bör vara möjligt att tillåta att reaktorer uppförs på andra platser än där de befintliga reaktorerna är lokaliserade. Den nuvarande regleringen i miljöbalken är begränsande för nya aktörer att förbereda sig för att bygga reaktorer. De tillåtna platserna kontrolleras av de befintliga kärnkraftsbolagen, vilket håller nya aktörer ute från marknaden.

Övriga hinder i miljöbalken som kan begränsa utbyggnad av kärnkraft

Ytterligare 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 sådana anläggningar eller andra större industrianläggningar. Detta kan innebära en begränsning av möjligheterna att etablera kärnkraft på nya platser i denna del av Sverige. Det finns inte heller någon motsvarande begränsning för exempelvis vindkraftsanläggningar, varför förutsättningarna för de olika kraftslagen i detta avseende inte kan anses vara lika om denna begränsning kvarstår.

⁴⁹ Regeringen 2023, *Ny kärnkraft i Sverige – ett första steg*, Prop 2023/24:19

Om regeringen prövar tillåtligheten av större förbränningsanläggningar eller anläggningar för vindkraft krävs enligt 17 kap. 6 § miljöbalken att kommunfullmäktige tillstyrker verksamheten för att den ska tillåtas. I paragrafens andra stycke finns det dock en så kallad ”ventil” som gör det möjligt för regeringen att tillåta sådana verksamheter trots att ett tillstyrkande från kommunfullmäktige saknas om det från nationell synpunkt är synnerligen angeläget att verksamheten kommer till stånd och det inte finns någon bättre plats eller saknas en lämplig plats i en kommun som kan antas godta placeringen. Någon motsvarande möjlighet för regeringen att tillåta en kärnkraftsreaktor i en kommun som säger nej finns inte, utan för sådana anläggningar är det kommunala vetot absolut. Om de olika energislagen ska ges likvärdiga förutsättningar så behöver en likadan ”ventil” införas även vad gäller kärnkraftsreaktorer. Kärnkraftsreaktorer kan på samma sätt som vindkraftsanläggningar och stora förbränningsanläggningar vara kontroversiella och föremål för lokala politiska blockeringar, varför det är rimligt att regeringen i undantagsfall kan tillåta sådan verksamhet utifrån nationella hänsynstaganden trots lokalt motstånd.

2.2.3 Hinder kopplade till tillståndsprövning av nya reaktorer

Strålsäkerhetsmyndighetens föreskrifters tillämpbarhet för SMR

Strålsäkerhetsmyndighetens konstaterar⁵⁰ att deras föreskrifter bedöms i stor utsträckning redan vara tillämpbara för ny reaktorteknik, framför allt för reaktorer av lättvattentyp, inklusive SMR. Kravbilden i föreskrifterna i huvudsak teknikneutral och bedöms således till stor del vara tillämpbar för alla typer av reaktorer, även om visst ökat utrymme för anpassad tillämpning av krav för olika reaktortekniker kan behöva tillföras. Nedan listas översiktligt de aspekter som kan vara av vikt att se över om ny kärnkraft ska byggas på nya platser och med nya reaktortekniker och tillämpningsområden. För en djupare analys hänvisar vi till Strålsäkerhetsmyndighetens slutredovisning av regeringsuppdraget ”*Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft*”.⁵¹

Lokalisering av nya kärnkraftsreaktorer

Vid en lagändring som tillåter lokalisering på nya platser och även i inlandet, det vill säga en anläggningsplats utan tillgång till hamn och utan havet som huvudvärmesänka, kommer en del grundläggande aspekter att skilja sig från befintliga anläggningsplatser. Detta kan medföra ett behov av föreskriftsändringar och/eller vägledningar för vad som är en lämplig lokalisering för nya reaktorer. Det bör ses över om ett utpekande av lämplig plats skulle kunna ske via riksintressesystemet.

⁵⁰ Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (slutredovisning)*. SSM2022-6007-7

⁵¹ Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (slutredovisning)*. SSM2022-6007-7

Systemlösningar och säkerhetsprinciper i nya reaktorkoncept

För SMR av lättvattentyp finns stora likheter med en typisk GIII-reaktor i hur en säkerhetsredovisning kan utformas. Det kan dock finnas detaljer i existerande regelverk som implicit formulerats med avseende på en storskalig GIII-reaktor på en befintlig anläggningsplats. Exempel på sådana möjliga skillnader är:

- slutlig värmesänka annan än havet
- krav på yttre kraftförsörjning från två oberoende matningsvägar
- förenklingar i grundkonstruktion och användning av passiva säkerhetssystem
- specifika systemkrav avseende oberoende hårdkylning och haverifilter
- förläggning av reaktorn till större del under marknivå
- yttre händelser – platsspecifika aspekter samt händelser kopplade till bedriven verksamhet.

Tillämpningsområden för nya kärnkraftsreaktorer

Befintliga kärnkraftsreaktorer är avsedda för storskalig produktion av el för utmatning till stamnätet. Det kommer troligen även gälla för nya storskaliga GIII-reaktorer, medan möjliga tillämpningsområden för SMR kan vara bredare än för de reaktorer som finns idag. Utöver elproduktion för leverans till elnätet kan el användas för produktion av vätgas via elektrolys eller för att generera värme kan användas på olika sätt, till exempel inom processindustrin eller som fjärrvärme. Det faktum att befintliga svenska kärnkraftsreaktorer används för storskalig elproduktion kan medföra att vissa egenskaper i konstruktion och kringliggande infrastruktur underförstås och behöver förtydligas i regelverket. Det kan också finnas behov av att modifiera befintliga krav eller formulera nya.

Beredskapsaspekter för nya kärnkraftsreaktorer

Beredskaps- och planeringszoner är de områden där skydd för allmänheten vid en svensk kärnkraftsolycka förbereds. Zonernas placering och storlek regleras i förordningen (2003:789) om skydd mot olyckor (FSO). I grunden kommer troligen kravbilden för haveriberedskap att vara densamma och tillämpas på samma sätt på SMR som för storskaliga GIII-reaktorer. I samband med eller inför en tillståndsprövning behöver SSM troligen värdera om lokaliseringen eller andra grundläggande skillnader mellan SMR och storskaliga GIII-reaktorer kan innebära behov av att omarbete någon del av kravbilden. Den bredare involveringen 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. SSM lyfter behovet av en översyn av FSO i delredovisningen av deras regeringsuppdrag om utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft.⁵² Om ny kärnkraft ska byggas i nya län och kommuner kommer det krävas insatser för kompetensutveckling kopplat till beredskapsaspekter.

Tillståndsprövning

Tillverkare och operatörer av kärnkraft, speciellt för SMR, har önskemål om förenklade och snabbare tillståndprocesser, exempelvis genom typgodkännande eller genom att godkännande av ett reaktorkoncept i ett land även ska kunna gälla i andra länder.

⁵² Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (delredovisning)*, SSM2022-6007

Detta är något som lyfts fram både nationellt, i kontakter mellan SSM och svensk kärnkraftsindustri, och internationellt i de kontakterna till exempel OECD NEA har med kärnkraftindustrins olika samarbetsorganisationer. Det finns internationella myndighets-samarbeten för både storskaliga GIII-reaktorer och SMR med syftet att uppnå samsyn kring värdering av viktigare säkerhetsaspekter, identifiera områden för kunskaps-utveckling, undvika olikheter i ställningstaganden i grundläggande säkerhetsfrågor och utbyta erfarenhet när tillståndprocesser för något specifikt reaktorkoncept pågår parallellt i flera länder. På längre sikt kan man internationellt förvänta sig viss harmonisering och konvergens, men tillståndsprövning för kärnkraft är en nationell process och kommer även i framtiden att vara starkt kopplad till nationella kravbilder och politisk styrning. Detta gäller även inom EU.

En lika viktig parameter som kravbilden i en tillståndsprövning är tidsaspekten, det vill säga den tid en tillståndprocess tar – särskilt om flera myndigheter är involverade eller om den bygger på ett sekventiellt arbetssätt. Här finns det både behov av och möjligheter till effektivisering. SSM lyfter en rad åtgärder och utredningsbehov i syfte att effektivisera tillståndprocessen i redovisningen av deras regeringsuppdrag om utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft.⁵³ Bland annat föreslås att SSM ges möjlighet att genomföra tidiga värderingar som föregår den nationella tillståndsprövningen, i en flexibel process som omfattar hela eller delar av en föreslagen utformning av ny reaktorteknik. En tidig värdering skulle förbättra förutsättningarna att svara upp mot de sökandes behov och förväntningar, bidra i myndighetens kunskapsuppbyggnad, och förbättra förutsättningarna att aktivt delta i internationell samverkan. SSM har även ytterligare ett pågående regeringsuppdrag som syftar till kompetensbyggande för effektivare tillståndprocesser.⁵⁴

En mycket omfattande och viktig del i tillståndsprövningen rör platsvalet, som kommer att vara unikt oberoende av valt reaktorkoncept. Detta innebär alltid ett omfattande analysarbete i prövningen av en ny reaktor som byggs på en ny anläggningsplats. Om flera reaktorer byggs på samma anläggningsplats kan noteras att det efter olyckan i Fukushima finns ett större fokus och strängare analyskrav på händelser som kan beröra flera reaktorer på samma anläggningsplats ("multi-unit events"). Här skulle ett föreskrifter/vägledning kring vad som anses vara lämplig plats kunna bidra till en effektivare prövning. Det bör även övervägas om ett utpekande av lämplig plats för nya reaktorer ska ske via riksintressesystemet.

Femårsregeln i kärntekniklagen

I kärntekniklagen § 2, punkt 4 stipuleras att ett kärnkraftverk som inte genererat el till nätet på fem år ska klassas som permanent avställt (femårsregeln). Syftet med regeln var att främja ett generationsskifte så att gamla reaktorer skulle kunna ersättas med nya. I SOU 2019:16 föreslår utredaren att denna regel avskaffas.⁵⁵ I Tidöavtalet⁵⁶ aviseras

⁵³ Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (slutredovisning)*. SSM2022-6007-7

⁵⁴ Regleringsbrevsuppdrag till SSM, 2023, "Stärkt kompetens till strålsäker kärnkraft"

⁵⁵ Regeringen 2019, *Ny kärntekniklag – med förtydligat ansvar*, SOU 2019:16

⁵⁶ Regeringen med samarbetsparti 2022, *Tidöavtalet: överenskommelse för Sverige*

även att denna regel bör avskaffas. SSM föreslår i sin delredovisning⁵⁷ att denna reglering tas bort då den inte längre kommer fylla sitt syfte om begränsningen i antal reaktorer i miljöbalken tas bort.

2.2.4 Lönsamhet och ekonomiska förutsättningar

Kärnkraften konkurrerar på elmarknaden på samma villkor som andra kraftslag. Att investera i ny kärnkraft är en stor och långsiktig investering som innefattar en större ekonomisk risk för aktörer som ska investera på grund av den långa återbetalningstiden. 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. I syfte att minska riskerna har regeringen infört statliga kreditgarantier för kärnkraft i budgetpropositionen för 2024. Detta genom att göra kapitalkostnaden för ett kärnkraftsprojekt hanterbar och minska den politiska risken, eftersom staten genom sina kreditgarantier binds upp för en längre tid. Vidare utgör inte kreditgarantin en direkt kostnad för staten. Kreditgarantier innebär att staten går in och direkt bär en del av risken för projektet. I en framtid med kärnkraft och utbyggnad av nya reaktorer så kan man tänka sig att en drivkraft skulle kunna vara att de marknadsmässiga förutsättningarna för kärnkraft förbättras. Detta skulle kunna ske om nya marknader infördes som ger ersättning för exempelvis rotationsenergi och reaktiv effekt för att säkerställa ett försörjningstryggt och robust elsystem. Detta skulle i så fall kunna förbättra kärnkraftens lönsamhet i konkurrens med andra kraftslag.⁵⁸ Det finns även potential till alternativa intäktsströmmar bortom enbart elproduktion för kärnkraft, bland annat från fjärrvärme och kyla samt från olika industriapplikationer som vätgasproduktion.

Historiskt har kärnreaktorer ofta byggts så stora som möjligt för att utnyttja skalfördelarna⁵⁹ fullt ut. Vid en satsning på SMR tappas en del av dessa ekonomiska skalfördelar, men kan minska den ekonomiska risken då investeringskostnaderna vid volymproduktion på sikt kan bli märkbart lägre än för storskaliga konventionella reaktorer. Dock kan man förvänta sig att det ekonomiska risktagandet kommer vara högre för de aktörer som är först ut med att söka tillstånd för ny teknik och installera de första SMR. På sikt kan konstruktions- och tillverkningsmetoder så som modularisering, standardisering, designförenklingar och volymproduktion i fabrik även leda till lägre kostnader. En kortare byggnationstid skulle kunna uppnås vilket innebär en kortare tid till intäktsgenerering. Typgodkännanden och harmonisering av regelverk skulle kunna leda till effektivare tillståndprocesser och kostnadsbesparingar.

Avgiftsnivåer, ansvar och ersättning vid olyckor

Samhällets verksamhet relaterad till kärnkraft är i sin helhet avgiftsfinansierad, vilket sker via separata avgifter inom ett antal områden, exempelvis tillståndsprövning, tillsyn, beredskap och forskning. Detta beskrivs i Strålsäkerhetsmyndighetens avgiftsförordning (2008:463). Avgiftsnivåerna är desamma oavsett reaktorstorlek eller typ, vilket kan utgöra ett finansiellt hinder vid de situationer då exempelvis flera SMR ska anläggas vid samma

⁵⁷ Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (delredovisning)*, SSM2022-6007

⁵⁸ Svenskt Näringsliv 2022, *Startprogram för ny kärnkraft*

⁵⁹ ”Economy of scale”

plats. Här skulle en översyn av avgiftsförordningen krävas för att hantera exempelvis en situation där ett flertal SMR av samma konstruktion byggs inom en kort tidsperiod och förläggs till en och samma anläggningsplats, och där de totala avgifter som debiteras med dagens struktur väsentligt överskrider de kostnader som det offentliga har för tillståndsprovning och tillsyn. SSM⁶⁰ bedömer att det bör göras en översyn av alternativa former för avgifter för tillståndsprovning och granskning. En sådan översyn är också starkt beroende av fortsatt utredning och utveckling av processer för tillståndsprovning.

Omhändertagande av kärnavfall finansieras via en avgift till Kärnavfallsfonden (KAF). Nya reaktorer kommer att producera nytt avfall och möjligen nya typer av avfall. Det kan också innebära att nya aktörer blir ansvariga för att leva upp till gällande krav. Beräkningarna av kärnavfallsavgifterna och säkerheter skulle behöva anpassas till möjliga nya aktörer samt egenskaper och mängder hos det avfall som kommer att produceras. Eventuella behov av anpassningar av lagen (2006:647) om finansiering av kärntekniska restprodukter med tillhörande förordning i förhållande till utbyggnad av ny kärnkraft bör bedömas av Riksgälden.

I lagen (2010:950) om ansvar och ersättning vid radiologiska olyckor (LRO) regleras även ansvar och ersättningsnivåer i händelse av olyckor. Här finns en del frågor som lyfts i förhållande till nya reaktortekniker, och främst SMR, kring nya reaktorerers storlek och ingående egenskapers betydelse för vilka konsekvenser som är möjliga till följd av en händelse kan leda till utsläpp av radioaktiva ämnen till omgivningen. Om reaktorer ska byggas på nya platser medför det även nya omgivningar, beredskapsfrågor och att det kan tillkomma nya anläggningsägare. Här pekar SSM på ett behov av översyn för att belysa eventuella uppdateringar och lagens tillämpbarhet för olika reaktortekniker. Eventuella behov av uppdateringar av lagen (2010:950) bör bedömas av Riksgälden.

2.2.5 Forskningsfinansiering och kompetensförsörjning

Med tanke på de långa tidsramar som kärnkraften verkar inom, kommer kompetens att efterfrågas under lång tid framöver. Om ny kärnkraft ska byggas i Sverige, behöver även kompetens kunna byggas upp relativt snabbt för att tillgodose de behov som då uppstår, vilket även innefattar Strålsäkerhetsmyndighetens kompetensbehov inom regelgivning och tillsyn. Drifttidsförlängningar av befintlig kärnkraft kan också påverka framtida kompetensbehov.

Avvecklingen av totalt sex reaktorer har påverkat kompetensförsörjningssystemet markant och tillströmningen av studenter till kärntekniska utbildningar har minskat. Samtidigt utgör de pågående avvecklings- och rivningsprojekten samt planeringen för den slutliga förvaringen av använt kärnbränsle och rivningsavfall i sig ett betydande kompetensbehov.⁶¹ Sverige har även sex stora elproducerande reaktorer i drift under en lång tid framåt, och räknas därmed internationellt sett fortfarande som en stor kärnkraftsnation. Den minskade studenttillströmningen har påverkat lärosätenas utbildningsutbud negativt. Under en period låg två av tidigare tre kärntekniska utbildningsprogram nere. Idag är ett av programmen återupptaget, och studenter kan därmed för närvarande välja kärntekniska program vid två svenska lärosäten. Intresset från studenter för dessa

⁶⁰ Strålsäkerhetsmyndigheten 2023, *Utveckling av regelverk och andra åtgärder för befintlig och framtida kärnkraft (delredovisning)*, SSM2022-6007

⁶¹ Kärnavfallsrådet 2020, *"Kunskapsläget på kärnavfallsområdet 2020"*, SOU 2020:9

två program är dock fortsatt lågt. Den generella nationella trenden med vikande intresse för ingenjörsutbildningar påverkar kärnkraftsindustrin. Industrin får därmed även svårare att rekrytera ingenjörer som genom internutbildning skulle kunna fördjupa sin kompetens inom strålsäkerhet.

För att tillgodose både kompetensbehovet inom kärnteknisk verksamhet i Sverige och behovet av kompetens inom beredskapen, som kommer att finnas oaktat om svensk kärnkraft finns kvar, fordras forskning och utbildning inom kärnteknik och andra relaterade ämnen. Finansieringen av kärnteknisk forskning påverkas dels av hur mycket den kärntekniska industrin satsar på forskning, dels hur stora satsningar som statliga forskningsfinansiärer gör inom området. Det har saknats en långsiktig inriktning för strålsäkerhetsforskningen, något som inneburit att Sverige som nation inte har fått den utväxling som man hade kunnat få av en mer sammanhållen finansiering inom området. Samtidigt har ett antal forskningsmiljöer inte haft möjlighet att växa sig livskraftiga. De befinner sig i en splittrad finansieringssituation där bristande långsiktighet begränsar möjligheten att upprätthålla avancerad infrastruktur och att säkra återväxten bland forskare.⁶²

Strålsäkerhetsmyndigheten har haft återkommande regeringsuppdrag kring kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet. I det senaste regeringsuppdraget presenteras fem strategiska fokusområden med förslag på prioriterade insatser, som syftar till att säkerställa att Sveriges nationella kompetensförsörjning inom strålsäkerhetsområdet upprätthålls och utvecklas under den kommande tioårsperioden: nationell samordning, forskningspolitik för livskraftiga forskningsmiljöer, internationell forskningssamverkan, utbildningar för samhällets kompetensbehov och strålsäkerhetsområdets attraktionskraft. För vart och ett av dessa fem delområden presenteras ett antal konkreta rekommendationer, riktade till regeringen, SSM, andra myndigheter, lärosäten eller industrin vilka bör genomföras. SSM har även ett pågående regeringsuppdrag kring kompetensförsörjning kopplat till strålsäkerhet för befintlig och ny kärnkraft.⁶³

Om Sverige ska bygga nya reaktorer behöver det förutom strålsäkerhet även satsas mer på forskning och utbildningar inom utveckling av kärnteknik. Svenskt näringsliv bedömer att det skulle krävas öronmärkta forskningsmedel om minst 100–200 miljoner årligen i syfte att bygga upp den kunskapsbas som krävs för att Sverige ska bygga nya reaktorer och att säkerställa kompetensbehov för långtidsdrift av befintliga reaktorer.⁶⁴

Regeringen har aviserat att energiforskningen ska inriktas på att möjliggöra en effektiv klimatomställningen och att stärka svensk konkurrenskraft. En ny energiforskningsproposition planeras att läggas fram som innebär att energiforskningen läggs om i grunden, för alla fossilfria energislag där kärnkraften har en självklar plats.⁶⁵

Givet att majoriteten av forskningen äger rum på lärosäten är forskningen och utbildningen i hög grad ömsesidigt beroende. Utbildning är en förutsättning för forskningens återväxt, och forskningen är nödvändig för utbildningen – för att undervisningen ska vara aktuell och relevant och för att det ska finnas forskare som kan undervisa. Om ny kärnkraft ska byggas i Sverige behövs omfattande resurser med rätt möjligheter att bidra till utvecklingen

⁶² Energimyndighetens 2020, *"Kunskapssammanställning om forskning och innovation på kärnkraftsområdet i Sverige"*, ER 2020:27

⁶³ Strålsäkerhetsmyndighetens regleringsbrev för 2023, *Stärkt kompetens för strålsäker kärnkraft*

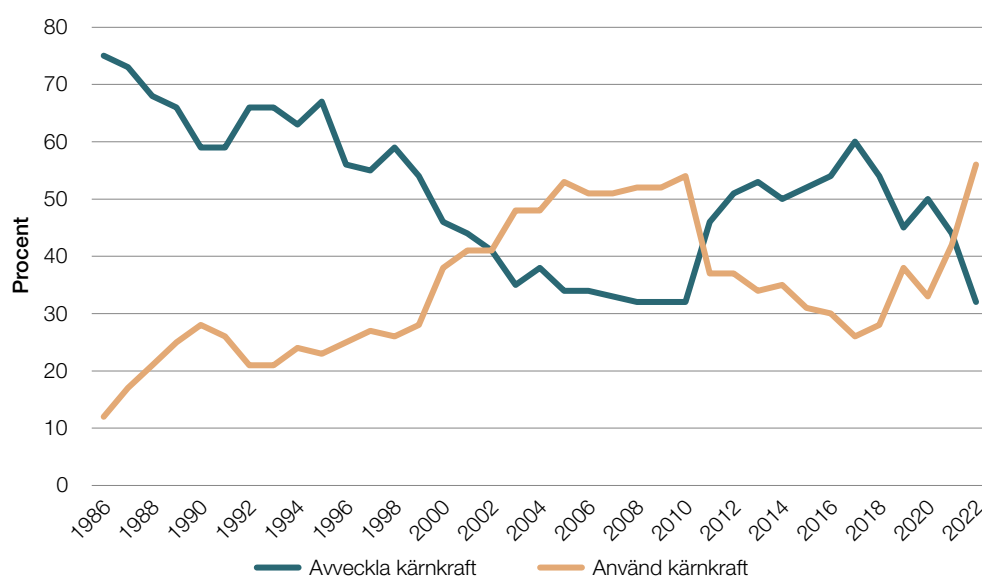
⁶⁴ Svenskt Näringsliv 2022, *Startprogram för ny kärnkraft*

⁶⁵ Regeringen med samarbetsparti 2022, *Tidöavtalet: överenskommelse för Sverige*

på ett kompetent och säkert sätt. Det är av vikt att beslut om utbildningar och resurser fattas i tid eftersom kompetensförsörjning är en central utmaning. I syfte att skapa förutsättningar för att fler studenter ska utbilda sig inom området så behövs dels signaler om att sektorn är under tillväxt men framför allt satsningar på utbildningar på alla nivåer för de kompetensområden som det kan komma att bli brist på. Det är en rad olika yrkesgrupper som kommer att krävas om ny kärnkraft ska byggas. De långa ledtiderna för kärnkraft medger dock att det finns möjlighet att följa och fånga upp de framtida behoven och utbilda kompetens som kommer krävas längre fram.

2.2.6 Opinion och folkligt stöd för ny kärnkraft

Stödet för fortsatt användning och utbyggnad av kärnkraft har ökat på senare år, se figur 4. I den senaste mätningen av SOM-institutet i mars 2023⁶⁶ svarade 56 procent att de kan tänka sig att ”fortsätta använda kärnkraften och vid behov bygga nya reaktorer”. I slutet av 2017 var den siffran 26 procent, och för ett år sedan 42 procent. En anledning till ett mer positiv inställning kan vara elkrisen och de höga prisnivåerna. Även motståndarna, de som vill avveckla efter att de befintliga reaktorerna tjänat ut eller avvecklas via politiska beslut, har minskat drastiskt till 32 procent, vilket är nära en halvering på fem år. Kärnkraftens risker diskuteras inte särskilt mycket i dagens energidebatt, det handlar mest om priset, även om kriget i Ukraina och stridigheterna runt kärnkraftverk tidvis har sänt vågor av oro. En olycka skulle snabbt kunna få opinionsläget att förändras.



Figur 4. Inställningen kring kärnkraft, 1986–2022.

Källa: De nationella SOM-undersökningarna 1986–2022.⁶⁷

Anm: *Använd kärnkraft* summerar svaren Använd kärnkraften och ersätt de nuvarande reaktorerna med som mest lika många nya som idag och Använd kärnkraften och bygg fler reaktorer än de nuvarande i framtiden. *Avveckla kärnkraft* summerar svaren Avveckla kärnkraften snarast och Avveckla kärnkraften men utnyttja de kärnkraftsreaktorer vi har tills de tjänat ut.

⁶⁶ Göteborgs Universitet, Svenska trender 1986–2022, SOM-institutet. Svenska trender 1986–2022 (gu.se), (hämtad 2023-04-27)

⁶⁷ Göteborgs Universitet, Svenska trender 1986–2022, SOM-institutet. Svenska trender 1986–2022 (gu.se), (hämtad 2023-04-27)

Samhällets och den lokala acceptansen kommer vara avgörande för att ny kärnkraft ska kunna byggas liksom för andra stora infrastruktur- eller industrisatsningar. Det är viktigt att det finns en förståelse för kraftslaget, både vad avser kärnkraftens nytta och roll i elsystemet men även kring frågor om strålsäkerhet, miljö, avfallshantering och slutförvar och nationell säkerhet. Här krävs både informations- och utbildningsinsatser kring kärnkraft riktat till såväl allmänhet som beslutsfattare på olika nivåer. En bred och tidig samhällsdialog är av vikt för samhällets acceptans.

2.2.7 Avfallshantering – slutförvar

Systemet för avfallshantering är dimensionerat utifrån det avfall som dagens reaktorer kommer generera under såväl drift som avveckling. Om nya reaktorer ska byggas i Sverige så behöver det skapas ett nytt system alternativt att det nuvarande systemet för omhändertagande av kärnavfallet dimensioneras om i syfte att tillgodose de ökade behoven av behandling och lagring. Detta innebär att nya processer för ansökan om tillstånd behöver göras. Det behöver även möjliggöras för nya aktörer att ingå i eller upprätta ett nytt system för hantering av kärnavfallet. En översyn över regelverken kan komma att krävas kopplat till hantering av avfall från nya reaktortekniker. Om ny kärnkraft ska byggas på nya platser och lokaliseras i inlandet, kan det innebära att transport av kärnavfall måste ske via landväg eller tåg, här kan regelverket behövas ses över.

2.2.8 Hållbarhet

Ur ett miljöperspektiv är den största påverkansfaktorn risken för kärnkraftsolyckor som kan få mycket allvarliga konsekvenser. Nya reaktorkoncept, som SMR, kan bidra till att minska risken för stora olyckor delvis på grund av de har mindre effekt, vattenkylda SMR-tekniker byggs med överdimensionerad kylkapacitet vilket innebär att risken för hardsmälta vid strömbrott minskar. Men framför allt i reaktorkoncept som bygger på passiv kylning som blykylda eller salt. Hanteringen av använt kärnbränsle kan vara riskfyllt. Lokal miljöpåverkan av kärnkraften uppstår också vid uranbrytning samt vid slutförvar av avfall. Mindre lokal miljöpåverkan kan även uppstå vid utsläpp av kylvatten i sjöar, vattendrag och hav. Växthusgasutsläpp sker vid byggnation av anläggningar samt vid utvinning, transport och bearbetning av kärnbränsle.

2.2.9 Urantillgång

Allt uran som används i Sverige bryts och anrikas utanför Sverige. I Sverige finns en bränslefabrik i Västerås som drivs av Westinghouse Electric Sweden. Där tillverkas bränsle för svenska kärnkraftverk och för export. En del av det bränsle som används i Sverige importeras.

Inom det så kallade Euratom-samarbetet verkar Euratom Supply Agency (ESA) för att koordinera medlemsstaternas inköp av uran. Alla avtal om inköp av uran och anrikning som kärnkraftsföretag inom EU gör måste godkännas av ESA. Syftet är att säkerställa att medlemsstaterna breddar sina inköp gentemot så många leverantörer som möjligt. På så sätt förhindras att en eller flera medlemsstater blir beroende av en enskild leverantör. ESA har även rättighet att fördela uranet mellan medlemsstaterna. Detta förfarande minimerar påverkan på tillgången till uran i händelse att en enskild leverantör inte kan leverera uran eller anrikning av någon anledning.

ESA har ett system för hur mycket anrikat uran som maximalt får köpas ifrån vissa länder, till exempel Ryssland. ESA uppger⁶⁸ att ungefär en femtedel vardera levereras från Ryssland, Kanada, Namibia, Kazakstan och gruppen av övriga länder (främst Australien). Rysslands andel av det utvunna uranet i världen är ganska lågt (cirka 6 procent 2020), men de återanrikar uranrester från tidigare anrikning vilket ökat deras försäljning i förhållande till hur mycket de bryter. ESA bedömer att tillgången till uran är väl diversifierad, det vill säga medlemsstaterna har generellt tillgång till fler än en uranleverantör, med vissa undantag. Motsvarande gäller även för leverantörer av färdiga bränsleelement.

Sverige ingår i Euratom och svenska kärnkraftverk köper in uran genom ESA. Därmed har svenska reaktorer historiskt försetts med bränsle av det ursprung som ESA:s koordinering resulterat i. Efter Rysslands invasion av Ukraina har både Vattenfall och OKG stoppat inköp av anrikat uran Ryssland.

Fyndigheter i Sverige

I Sverige är det främst vissa graniter och pegmatiter som har förhöjd uranhalt. Höga halter kan dock finnas även i andra bergarter. Uranrik alunskiffer förekommer i Skåne, Västergötland, Östergötland, Öland, Närke och längs den svenska fjällkedjan. Denna alunskiffer har uranhalter på 50–400 gram per ton, att jämföra med vanliga halter i uranrika graniter på 15–40 gram per ton.

Svenskt förbud mot uranbrytning

Den 1a augusti 2018 trädde en ändring i minerallagen (1991:45) i kraft som innebär att uran tas bort ur uppräknningen av koncessionsmineral i 1 kap. 1 § 1 minerallagen. Det innebär att ansökningar om undersökningstillstånd eller bearbetningskoncession som kommer in från det datumet inte får innefatta uran. Av övergångsbestämmelserna framgår att äldre föreskrifter fortfarande ska gälla för undersökningstillstånd som har meddelats före lagen trädde i kraft. Äldre föreskrifter ska även fortsätta att gälla för ärenden om undersökningstillstånd och ärenden om förlängning av undersökningstillstånd som har inletts hos bergmästaren före ikraftträdandet. Det är alltså inte möjligt att bevilja vare sig en ansökan om undersökningstillstånd eller bearbetningskoncession för uran om ansökan har kommit in till Bergsstaten efter den 31 juli 2018.

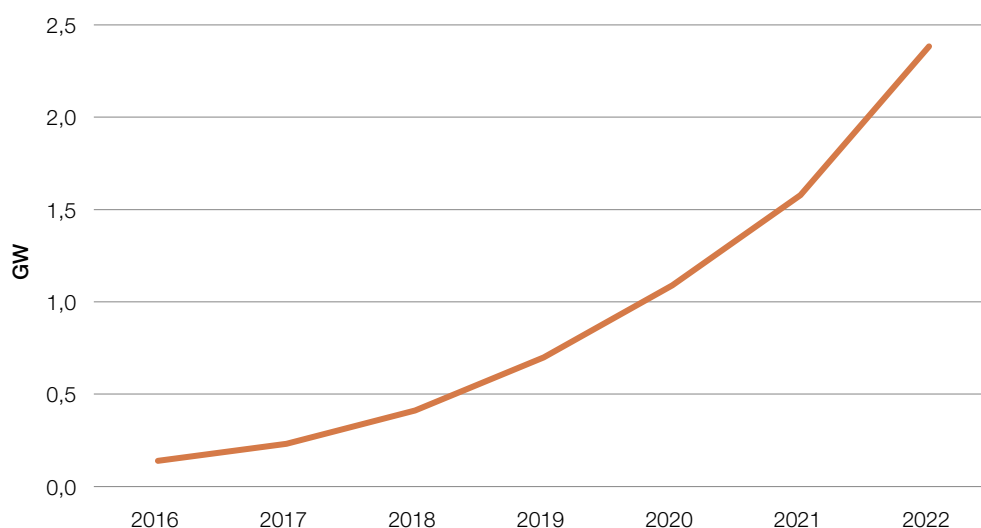
⁶⁸ Euratom Supply Agency 2022, *Annual report 2021*

3 Solkraft

I det här kapitlets första del beskrivs nuläget och den snabba utvecklingen solkraften har genomgått de senaste åren samt grundläggande förutsättningar vid etableringar idag. Den andra delen tar upp de hinder som en hög tillväxttakt och ökade investeringar medför.

3.1 Nulägesbeskrivning

Tillväxten i form av installerad solelproduktion och investeringar i solpaneler har ökat kraftigt under de senaste åren, vilket figur 5 visar. Den ökande investeringstakten i el från sol i Sverige förklaras främst av de kraftigt sjunkande kostnaderna för solpaneler, styrmedelsförändringar⁶⁹ och ett ökat intresse av att sänka sina elkostnader genom att själv producera sin el. Samtidigt som utbyggnaden av solkraften hittills har kunnat ske snabbt (relativt andra förnybara kraftslag) tack vare generellt korta ledtider (tillstånd, material och kompetens).



Figur 5. Nätanslutna solcellsanläggningar, installerad effekt GW, från år 2016–2022.

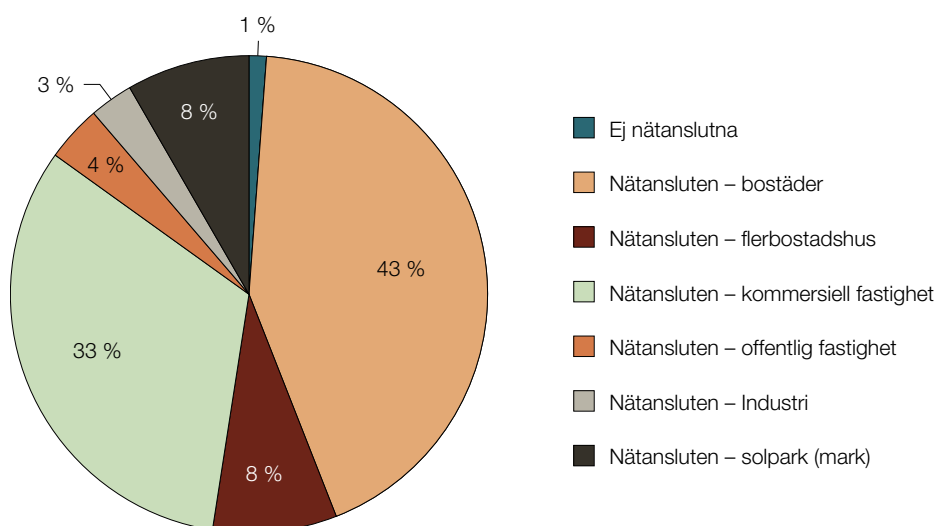
Källa: Energimyndigheten.

Expansionen sker såväl genom stora kommersiella anläggningar (industrifastigheter och mark) som små nätanslutna anläggningar (villatak). Flexibiliteten i placeringen av solceller samt relativt korta projektider för solcellsanläggningar talar för att solkraften kommer fortsätta öka kraftigt.

⁶⁹ Till exempel skattereduktion för grön teknik. Sedan avdraget trädde i kraft har intresset från köpare varit stort. Avdragets två första år visar på närmare en dubbling från initieringsåret till år två. Källa: Skatteverket, *Statistik över skattereduktioner och stödatgärder*, <https://www.skatteverket.se/omoss/varverksamhet/statistikochhistorik/skattereduktionerochstodatgarder.4.3152d9ac158968eb8fd1d40.html> (Hämtad 2023-06-14).

3.1.1 Större solcellsanläggningar

Den enskilt största installerade effekten i solceller finns i nuläget inom segmentet bostäder med 43 procent, se figur 6. Därefter följer kommersiella fastigheter på 33 procent. Segmentet solparker utvecklas och växer dock i nuläget snabbt, både vad gäller etableringar på tak och mark. Segment har ökat mest procentuellt de senaste åren sett till installerad kapacitet. År 2021 utgjorde solparker 8 procent av den totala installerade kapaciteten i Sverige med en installerad effekt på 134 MW.



Figur 6. Andel installerad solkraft i Sverige per segment 2021 MW.

Källa: IEA PVPS.⁷⁰

År 2022 hade två solparker vardera den dittills största installerade effekten på 18 MW⁷¹, vilket beräknades ge en årlig elproduktion per park på cirka 19 GWh. Båda anläggningarna finns etablerade på mark i Skåne, i Sjöbo respektive Skurup kommun.

3.1.2 Allmänheten generellt positiva till solenergi

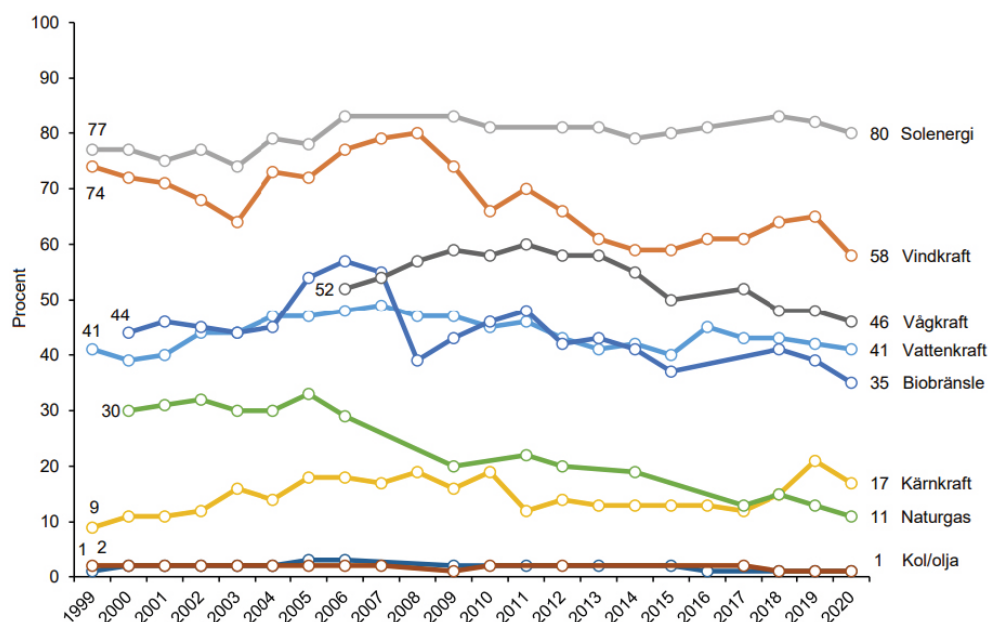
I SOM-institutets rapport⁷² är solenergi den energikälla som högst andel (79 procent) svarspersoner gärna ser att den nationella satsningen fortsätter eller utökas, se figur 7.

⁷⁰ International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, *National Survey Report of PV power applications in Sweden 2021*.

⁷¹ Svensk Solenergi, *Anläggningar i Sverige*, <https://svensksolenergi.se/om-solenergi/anlaggningar/> (Hämtad 2023-06-21).

⁷² Sören Holmberg och Sara Persson, *Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999–2021*. Samhälle Opinion Massmedia (SOM), 2022.

(Årligen återkommande redovisning av frågeundersökning inom forskningsprojekt den svenska miljö-, energi- och klimatopinionen.)



Figur 7. Andel som vill satsa mer på olika energikällor 1999-2021 (procent).

Källa: De nationella SOM-undersökningarna 1999-2021.⁷³

Totalt svarar 92 procent att Sverige bör satsa ungefär som idag eller mer på solenergi. Det indikerar att solenergi i nuläget har ett stort folkligt stöd.

3.1.3 Variation i solinstrålningen över landet och över säsongen

Globalstrålningen (direkt och indirekt solinstrålning) i Sverige skiljer sig relativt mycket mellan olika delar av landet. Figur 8 visar att medel globalstrålningen för landet över ett år varierar mellan 725–1 050 kWh. Normalvärdet för utbytet solelproduktion för svenska förhållanden är 850–950 kWh/kWp.⁷⁴

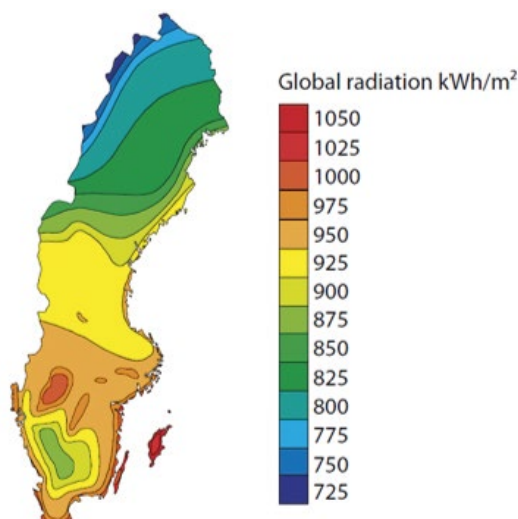
Även instrålningen över året varierar väldigt mycket. Sommarmånaderna juni och juli har betydligt högre instrålning än vintermånaderna december och januari. Däremot är verkningsgraden för solceller högre vid lägre omgivningstemperaturer (vårvinter och höst) vilket gör att skillnaden i elproduktion över året är mindre än skillnaden i instrålning.

I en rapport från Energiforsk⁷⁵ beskrivs solkraft, i jämförelse med vindkraft, som relativt lätt att prognostisera trots variation i solinstrålning under och mellan dygn. Vindkraft kan gå från maxproduktion till att plötsligt stanna helt när vindstyrkan når en övre gräns eller om vindstyrkan avtar. Samma extrema effekter finns inte vid solelproduktion även om tillfälliga molntäcken kan ge upphov till liknande problematik. Teknikval påverkar dock omfattningen på sådana effekter eftersom skuggning av vissa typer av solceller innebär att de helt slutar producera när en del av modulen kommer i skugga medan andra moduler endast minskar produktionen på den del av modulen som är skuggad.

⁷³ Sören Holmberg och Sara Persson, *Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999-2021*. Samhälle Opinion Massmedia (SOM), 2022

⁷⁴ 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.

⁷⁵ Erik Axelsson, Peter Blomqvist, Katja Dvall, Kjerstin Ludvig och Thomas Unger, *Utbyggnad av solel i Sverige*, Energiforsk Rapport 2017:376, 2017.



Figur 8. Medel globalstrålning i Sverige över ett år.

Källa: IEA PVPS.⁷⁶

3.1.4 Mer effektiva solceller

Den svenska marknaden för solkraft var fram till 2015–2016 främst i demonstration- och experimentfas, drivet av andra motiv än rent ekonomiska. Den tekniska utvecklingen inom området och ökad produktionsvolym globalt har bidragit till att solkraft blivit alltmer konkurrenskraftig. Växande volymer har bidragit till att säkerställa erfarenheter och teknisk kompetens kopplat till installationer och drift av både stora och små anläggningar. Det har gjort att el som produceras genom solceller idag kan ses som ett tekniskt alternativ i paritet med andra förnybara kraftslag.

Det finns idag en mängd olika solcellstekniker i olika stadier av mognad. Bland de etablerade teknikerna dominerar sedan länge kiselcellerna, så kallade mono- eller polykristallina kiselceller. Kristallina kiselceller är de absolut vanligaste på marknaden med en global marknadsandel på cirka 97 procent. Sedan den första kiselcellen tillverkades på 1950-talet har verkningsgraden utvecklats från 4 procent till dagens nivå på runt 18 procent för reguljära moduler och uppåt 22 procent för högeffektiva moduler.

Hög temperatur och hög instrålning är de två mest avgörande faktorerna som gör att en solcellsmodul åldras. Därför är nordiskt klimat, med låg instrålning och temperatur, en fördel när det kommer till livslängd. Solcellerna i en svensk anläggning kan därför antas hålla längre än de 30 år som normalt ligger till grund för ekonomiska beräkningar.

Föreslagna ekodesign och energimärkningskrav för solpaneler⁷⁷ syftar till att belysa och förbättra resurseffektivitetsaspekten för solcellssystem samt säkerställa att nya solcellsprodukter inte skapar nya belastningar på miljön i framtiden. Produktkraven omfattar både miljöprestanda och energiutbyte, samt övergripande miljöavtryck.

⁷⁶ International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, *National Survey Report of PV power applications in Sweden 2021*.

⁷⁷ Energimyndigheten, *Solpaneler och växelriktare*, <https://www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/jag-ar-saljare-eller-tillverkare-av-produkter/produktgrupper-a-o-produkter/solpaneler-och-vaxelriktare/> (Hämtad 2023-06-12).

3.1.5 Lågre modulpriser har gett lägre systemkostnader

De moduler som importeras och används i Sverige kommer huvudsakligen från Kina och till viss del från Tyskland. Modulpriserna i Sverige är därmed väldigt beroende av den internationella marknaden. Priserna för standardmoduler (kristallina kiselceller) har sjunkit markant sedan 2009. Från cirka 50 SEK/W (exklusive moms) till omkring 4 SEK/W se tabell 3. För större kommersiella system är prisutvecklingen snarlik men från lägre genomsnittspriser på grund av stordriftsfördelar. Den främsta förklaringen till att systempriserna i Sverige gått ner är att priserna för moduler och kringutrustning har sjunkit på den internationella marknaden. Samtidigt har den svenska marknaden växt, vilket innebär att installationsföretagen kunnat minska både arbetskostnader och marginaler.

Tabell 3. Pris på standardmoduler, SEK/Wp.

ÅR	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Pris	50	27	19	14	8,9	8,2	7,6	7,1	5,3	4,5	4,3	4,0	4,6

Källa: IEA PVPS.⁷⁸

För år 2021 finns en avvikelse i trenden genom en uppgång i pris. Det förklaras av covid-19-pandemin och dess effekter på konjunktur och ekonomi. Pandemin medförde störda värdekedjor, högre komponent- och råvarupriser samt ökade fraktkostnader globalt.

3.1.6 Befintliga styrmedel för produktion av solkraft

För privatpersoner eller juridiska personer, producenter av solkraft, finns det olika styrmedel som berättigar till stöd eller begränsar avgifter, dessa sammanfattas i tabell 4.

Tabell 4. Befintliga styrmedel för olika producentkategorier inom solkraft

Styrmedel	Privatperson < 100 A, 68 kW	Övriga* < 100 A, 68 kW	Alla > 100A, 68 kW
Undantag från energiskatt	Ja	Ja	Ja, upp till 500 kW
Skattereduktion för inmatat el (60 öre)	Ja	Ja	Nej
Grönt avdrag	Ja	Nej**	Nej**
Ursprungsgarantier	Ja	Ja	Ja
Elcertifikat	--- Nej, systemet stängt för nyanslutningar från 1 januari 2022 ---		
Nätnyttoersättning	Ja	Ja	Ja
Avgift för anslutning	Nej	Nej	Ja
Avgift för inmatad el	Ja***	Ja***	Ja***

* Företag, offentlig sektor, BRF, jordbruk m.fl.

** Eventuellt möjligt för privatperson i förening om installationen kan göras i nära anslutning till en lägenhet som upplåts med bostadsrätt och som innehas av den som begär skattereduktion.

*** Det är generellt stor spridning mellan nättariffer och kostnaden varierar mellan olika nätområden. Används samma säkringsnivå för inmatning och uttag kan merkostnaden vara begränsad.

⁷⁸ International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme, *National Survey Report of PV power applications in Sweden 2021*.

Kortfattad beskrivning av respektive styrmedel

Mindre solcellsproducenter behöver inte betala skatt på el eller redovisa moms

Den som har en solcellsanläggning med en installerad toppeffekt som är mindre än 500 kilowatt på sin privatbostad eller på en näringsfastighet behöver inte betala skatt på den el som produceras i anläggningen.

60 öre per kWh skattereduktion för el som matas in på elnätet

Sedan januari 2015 infördes en skattereduktion för el som matas in till elnätet. Mikroproducenter som framställer förnybar el har rätt till skattereduktion för det antal kilowattimmar som matats in motsvarande det antal kilowattimmar som tagits ut (köpts från elhandlare) i anslutningspunkten.

Grönt avdrag för solceller

Det så kallade gröna avdraget trädde i kraft den 1a januari 2021. Avdraget är utformat som en skattereduktion för privatpersoner för installation av viss typ av grön teknik: solcellssystem, system för lagring av egenproducerad elenergi och laddningspunkt till elfordon. Skattereduktionen ersatte statligt stöd till fysiska personer för installation av sådan teknik.

Ursprungsgarantier och elcertifikat

En anläggning tilldelas en ursprungsgaranti för varje producerad megawatt-timme (MWh). Lönsamheten för mindre solcells innehavare att ha tilldelning av ursprungsgarantier beror på hur mycket anläggningen producerar och hur stor ersättning ursprungsgarantierna genererar. Elhandelsbolag erbjuder olika avtal och ersättning för ursprungsgarantier. Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat stödsystem med syfte att öka produktionen av förnybar el. Målet med systemet har uppnåtts, därför kommer systemet att avslutas tio år i förtid (år 2035). De sista åren innan avslutet handlas elcertifikat enbart mellan produktionsanläggningar drifttagna 2003 till 2021.

Rätt till ersättning för den nytta solcellsanläggningen bidrar till i elnätet

Den som har en elproduktionsanläggning har rätt till ersättning av nätföretaget som anläggningen är ansluten hos. Ersättningen ska motsvara den minskning av energiförluster som inmatning av el från anläggningen medför och den reduktion av nätföretagets avgifter gentemot andra nät som blir möjlig genom att anläggningen är ansluten.

Avgift för anslutning och inmatning

Ägare av produktionsanläggningar kan behöva betala en avgift för de faktiska kostnaderna för att ansluta och mata in el på elnätet som ger elnätsföretaget kostnadstäckning för sina utgifter. Kostnaden för den som äger anläggningen kommer att variera beroende på nätföretag, precis som avgifterna i uttagsabonnemanget gör.

3.1.7 EU:s strategi för solenergi

Inom EU framhålls solenergi i kombination med energieffektivisering som en lösning på de höga slutkundspriserna. Därför föreslogs inom ramen för REpowerEU-planen⁷⁹ en ambitiös ökning av utbyggnaden och användningen av solenergi i hela EU. Planen innehåller EU:s strategi för solenergi som antogs i maj 2022. I strategin konstateras solcellsanläggningar på hustak ha möjlighet att stå för en stor del av elproduktionen i EU. Installationer på tak⁸⁰ kan även byggas ut mycket snabbt eftersom de anläggs på befintliga konstruktioner och därmed har färre konflikter med miljön och andra samhällsintressen. Strategin innehåller flera delar, däribland det europeiska initiativet för solenergi på tak.

3.1.8 Många aktörer men få tillverkare i den europeiska solenergiindustrin

Den svenska solcellsmarknaden domineras av grossister, installatörsföretag och försäljare, vilka står för närmare två tredjedelar av marknaden. Konsultföretag och elbolag med intresse i solcellsmarknaden finns också. Övriga aktörer är tillverkare av kringutrustning, forskning och utvecklingsföretag, samt högskolor och universitet. Sverige har endast två modultillverkare med mindre produktion av solceller och detta återspeglar även situationen inom EU eftersom unionen har relativt liten inhemsk tillverkning.

Försörjningsriskerna som kommer av få europeiska tillverkare av solceller har lyfts upp som ett hinder inom EU:s strategi för solenergi. För att hantera den storskaliga utbyggnaden av solenergi behövs en diversifiering av försörjningen genom en mer varierad import och upptrappad tillverkning av solceller inom EU. Därför är en åtgärd att införa en europeisk allians för solenergiindustrin.⁸¹ Arbetet inom alliansen syftar till att identifiera och samordna investeringsmöjligheter, projektplanering och teknikportföljer och hitta vägar för solenergiindustrins ekosystem i Europa.

Alliansen ingår även i det bredare initiativet från EU-kommissionen med förslag till förordning om netto noll-industri.⁸² Förordningen är en del av industriplanen⁸³ i den gröna given med målet att öka tillverkningen av ren teknik i EU och se till att EU är väl rustat för omställningen till ren energi. Netto noll-förordningen utgör tillsammans med lagförslaget om råvaror av avgörande betydelse⁸⁴ en europeisk ram för att minska EU:s beroende av starkt koncentrerad import och för att säkerställa tillgång till en ekonomiskt överkomlig samt hållbar försörjning av råvaror av avgörande betydelse.

⁷⁹ COM(2022) 108 final, *Meddelandet REPowerEU, Gemensamma europeiska åtgärder för säkrare och hållbarare energi till ett mer överkomligt pris*, 2022-03-08. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=CELEX%3A52022DC0108> (Hämtad 2023-06-14)

⁸⁰ Bostadshus, offentliga byggnader och affärs- och industrilokaler m.fl.

⁸¹ Directorate-General for Energy, Commission kicks off work on a European Solar Photovoltaic Industry Alliance, 2022-10-11. https://commission.europa.eu/news/commission-kicks-work-european-solar-photovoltaic-industry-alliance-2022-10-11_en (Hämtad 2023-06-14).

⁸² Europeiska kommissionen. Akten om nettonollindustri. *Europeiska kommissionen*. Akten om nettonoll-industri (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

⁸³ Europeiska kommissionen. EU:s gröna giv. *Europeiska kommissionen*. EU:s gröna giv (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

⁸⁴ Europeiska kommissionen. Akten om kritiska råvaror. *Europeiska kommissionen*. Akten om kritiska råvaror (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

3.2 Hindersanalys

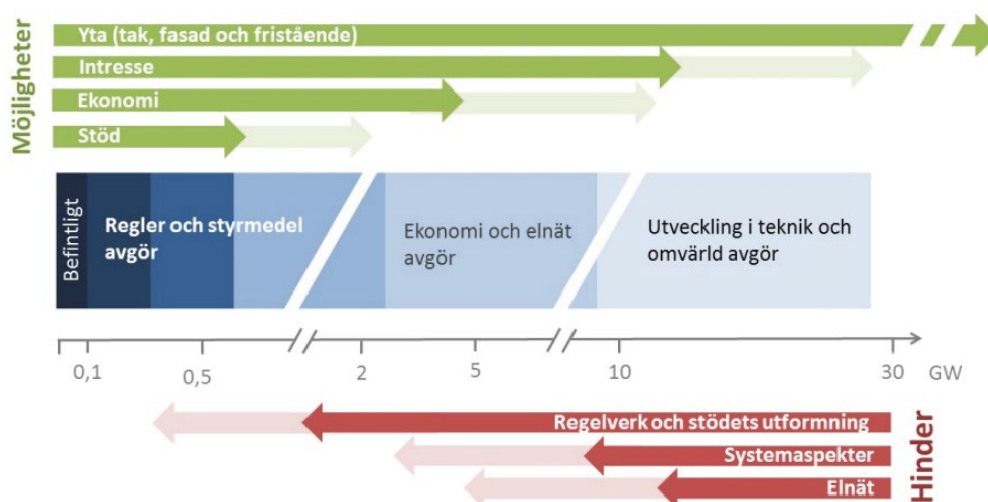
Solkraften utgör fortfarande en liten andel av den totala elproduktionen i det svenska elsystemet men har gång på gång underskattats i bedömningar gällande framtida produktionsutveckling. Det finns flera faktorer som accelererat utvecklingen, bland annat snabb etableringstakt och fortsatt lönsamhet med anledning av höga elpriser. Det finns även outnyttjad potential för en stor expansion av solkraft både på byggnader och på mark. Solkraft på tak är generellt en lågt hängande frukt på så vis att takbaserad anläggningar sällan stöter på motstånd samt går relativt snabbt att få på plats, medan solkraft på mark som tar plats i landskapet kan stöta på utmaningar om den påverkar andra intressen i anslutning till etableringsområdet. Därför kan fortsatt utbyggnad av solkraften innebära att det uppstår fler intressekonflikter kring förändring av landskapet liknande dem som förekommit kring vindkraften. I utbyggnaden av solkraft (specifikt solparker) innebär det att arbete för samexistenslösningar med andra intressen och annan markanvändning behöver intensifieras. För att en fortsatt hög utbyggnadstakt av solkraft i ett längre tidsperspektiv ska möjliggöras finns det även andra hinder som behöver hanteras:

- Planeringsförfarandet behöver bli mer förutsägbart och det är därför viktigt att stödja länsstyrelser och kommuner i frågor kring energiomställning och solkraft.
- Ökad förutsägbarhet i planeringsförfarandet kan underlättas genom tydligare politisk styrning och målsättning.
- Det finns behov av kompetenshöjning och stöd kring solkraften som en möjliggörare för lokal elförsörjning samt analys av konsekvenser vid utebliven utbyggnad av elproduktionen och/eller nyttan för elnätet.
- Solkraft i samexistens med andra intressen behöver belysas och hanteras. Exempelvis hur solkraft kan utvecklas för att stärka och inte störa försvarsförmågan.
- Även solkraften som komplement till andra kraftslag och rollen som flexibel produktionsresurs behöver belysas samt hur rollen kan stärkas av utvecklade systemlösningar (exempelvis lagring).

Den utveckling som varit fram tills idag för solkraften i Sverige kommer sannolikt att fortsätta, men takten beror till stor del på förutsättningarna framgent och hur förberett elsystemet är för att ta emot större mängder solkraft. Potentialen och utvecklingen för solceller påverkas samtidigt av politiska beslut. Det är svårt att bortse från att omvärldsläget och politiska svängningar snabbt kan ändra förutsättningar för framtidens solkraftproduktion.

Ökningen av antalet solcellsinstallationer innebär inte bara fördelar i form av ökad inlärning och en mer kostnadseffektiv tillverkning, de medför även fler hinder som kan bromsa utvecklingen i takt med att marknaden växer. De utmaningar solcellsbranschen möter rör allt från brist på installatörskompetens och hantering av nätanslutningar, till tillgången på produktionsresurser och frågor om samexistens. Det ökade intresset för större solcellsanläggningar (solcellsparker) innebär också nya typer av hinder i etableringen.

I en rapport från Energiforsk⁸⁵ analyserades möjligheter, utmaningar och systemeffekter av utbyggnaden av sol. Kvantifieringarna i rapporten sammanfattades i en bild över förutsättningarna för utbyggnaden av sol i Sverige, se figur 9.



Figur 9. Syntes av förutsättningar för utbyggnad av sol i Sverige.

Källa: Energiforsk.⁸⁶

Eftersom marknaden har utvecklats sedan 2017 och förutsättningar förändrats finns anledning att återkomma till kvantifieringarna och uppdatera bilden. Denna hinderanalys är därför uppdelad i samma påverkansområden: *regler och styrmedel*, *ekonomi och elnät* samt *teknikutveckling och omvärld*.

3.2.1 Regler och styrmedel

Solkraftmarknaden utmärks delvis av otydliga regelverk samt en brist på samordning⁸⁷ mellan olika styrmedel. Däremot har förbättringar skett, exempelvis övergången från det tidigare investeringsstödet som innebar mycket administration för den enskilde. Bilden kompliceras ytterligare genom att soleanläggningar inte är homogena varken vad gäller storlek eller typ av ägarkategori. Förutsättningarna är vitt skilda för de olika kategorierna bland annat vad det gäller att följa regelverk inom området, där både privatpersoner och företag har liknande typ av skyldigheter och rapporteringskrav för att exempelvis erhålla vissa intäkter och undvika andra avgifter.

Potentialen och utvecklingen för solceller påverkas av politiska beslut. Det går inte att bortse från att omvärldsläget och politiska svängningar snabbt kan ändra förutsättningar för framtidens solkraft. REpowerEU-planen och EU-strategin för solceller visa på riktningar som får betydelse för solkraft idag och sätter spelreglerna framöver. En snabbare utbyggnad av solcellssystem på tak är ett av målen. I nuläget är det fråga om hur snabbt det kan gå enligt de förutsättningar som ges samt hur nationell reglering påverkas och följer efter.

⁸⁵ Erik Axelsson, Peter Blomqvist, Katja Dvall, Kjerstin Ludvig och Thomas Unger, *Utbyggnad av sol i Sverige*, Energiforsk Rapport 2017:376, 2017.

⁸⁶ Ibid

⁸⁷ Ett exempel är gränserna för mikroproducent inom ellagstiftningen (63 ampere och högst 43,5 kW) och skattelagstiftningen (100 ampere och högst 68 kW).

Utformning av stöd och osäkerhet kring framtida styrmedel

För solcellsmarknaden som är i tillväxtskedet är det relevant med viss långsiktig politisk styrning som går i takt med EU:s initiativ, men framför allt är det viktigt med förutsägbarhet vad gäller befintliga och eventuellt kommande stöd och styrmedel. Befintliga styrmedel riskerar att styra åt olika håll där exempelvis skattereduktion för grön teknik främjar, medan energiskatten och begränsning i skattereduktion till egenproducerad el, bromsar solcellsinvesteringar.

Energimyndigheten bedömde i sitt yttrande över förslaget *Förstärkt skattereduktion för installation av solceller*⁸⁸ att en höjning av subventionsnivån för stödet inte innebär att teknikens konkurrenskraft stärks. Det är en mogen teknik och utbyggnaden begränsas i högre utsträckning av utbud och efterfrågan av solceller och installatörer, än av de finansiella incitamenten. En höjning sågs snarare riskera att öka det totala priset på solcellsanläggningar vilket kan innebära en omfördelning av stöd till leverantörer av solcellssystem, snarare än den primära målgruppen för stödet, privatpersoner. Ökad investeringskostnad riskerar att hämma utbyggnadstakten. Därmed riskerar det också att hindra syftet att ”genom ökad subventionering bidra med en ökad utbyggnad av solceller”.

Det faktum att det saknas stoppdatum för skattereduktionen för grön teknik och även att det råder oklarhet kring hur länge skattereduktion för levererad el (60 öre per kWh) kommer kunna erhållas innebär en institutionell osäkerhet. Det medför en osäkerhetsfaktor till den ekonomiska kalkylen för en solcellsinvestering vilket kan hindra investeringar.

Lokala skillnader i bedömningar av bygglov på en byggnad

Solenergianläggningar i form av solfångare och solcellspaneler kräver i vissa fall bygglov på byggnader inom detaljplanerat område. Ansökan om bygglov är en kostnad som tillkommer oavsett om bygglovet ges eller inte. Det har dock skett förtydliganden i plan- och bygglagen (PBL) för att underlätta för solenergi genom att i vissa fall⁸⁹ undanta solenergianläggningar från de allmänna bestämmelserna⁹⁰ om bygglov. Utanför detaljplan krävs det normalt inte heller bygglov för solenergianläggningar på byggnader, men det kan finnas en utökad lovplikt i områdesbestämmelserna vilket innebär att anläggningen behöver bedömas av kommunen.

För att avgöra om en montering av en solenergianläggning kräver bygglov måste en bedömning göras i varje enskilt fall. Det saknas dock vägledande rättspraxis⁹¹ gällande när en solenergianläggning innebär att byggnadens yttre påverkas avsevärt, vilket kan få till följd att bedömningar om lovplikt varierar.

⁸⁸ Proposition 2022/23:15. *Förstärkt skattereduktion för installation av Solceller*. Höjning av subventionsgraden från stödnivå på 15 procent till 20 procent. I kraft 1 januari 2023 genom SFS 2022:1797 Lag (2022:1797) om ändring i lagen (2020:1066) om förfarandet vid skattereduktion för installation av grön teknik.

⁸⁹ Exempelvis om solcellspaneler och solfångare monteras utanpå en byggnads fasadbeklädnad eller taktäckningsmaterial och följer byggnadens form (även om byggnadens yttre utseende påverkas avsevärt). Såvida de inte monteras på byggnader eller inom bebyggelseområden som är särskilt värdefulla eller i anslutning till områden som är av riksintresse för totalförsvaret.

⁹⁰ Enligt 9 kap. 3 c § Plan- och bygglag (2010:900).

⁹¹ Boverket, Solfångare och solcellspaneler. Boverket. 2022 <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/lov--byggande/anmalningsplikt/byggnader/andring/sol/> (Hämtad 2023-06-08).

Brist på vägledande praxis och lokala skillnader i bedömningar av anläggningar på mark

Fristående solenergianläggningar kräver normalt inte bygglov⁹², men kan i vissa fall kräva bygglov både inom och utanför detaljplanerat område. Bebyggelseområden som är särskilt värdefulla från historisk, kulturhistorisk, miljömässig eller konstnärlig synpunkt och inom riksintresseområden kan innebära att bygglov behöver ansökas om. Särskilt värdefull miljö behöver inte vara utpekad på förhand av kommunen. Osäkerheten och otydligheten detta medför kan utgöra hinder.

En solcellsanläggning på marken kan innebära en åtgärd i landskapet som väsentligt ändrar naturmiljön. Även om det är relativt enkelt att återställa marken efter en solcellsanläggning kan det ses som en väsentlig ändring av naturmiljön. Oavsett vilket markområde som solcellsanläggningen placeras på kan anläggningen behöva prövas enligt olika lagstiftning. Det är Länsstyrelsen som bedömer om naturmiljön riskerar att ändras och om det krävs ett så kallat 12:6-samråd⁹³ för anläggningen. Även om marken inte är klassad som skyddad natur kan anmälan om samråd behövas.

I Länsstyrelsens prövningar tas ofta regionala strategier och handlingsplaner i beaktan, vilket bland annat omfattar livsmedelsstrategin och klimat- och energistrategin. Dock saknas en nationellt förankrad process och stöd för avvägning mellan olika samhällsintressen i samband med tillståndshantering eller annan prövning avseende ärenden som rör markanläggningar. Avvägningar och beslut som inte är väl understödda riskerar att öka målkonflikter, samtidigt som möjligheter till synergier/samexistens uteblir. Utöver avvägningar om nyttan av elproduktion kontra annan produktion kan målkonflikter öka på grund av förändrad social acceptans. Vid en expansion där val mellan värden ökar finns en risk att liknande opinion som vid vindkraftens utbyggnad behöver bemötas.

EU:s REpower-plan understryker att den nödvändiga ökningen av allmännyttiga projekt kommer möta hinder i form av konkurrerande markanvändning och bristande acceptans från allmänheten. Långsamma och komplexa tillståndprocesser är ett stort hinder för förnybar energi och för konkurrenskraften i branschen. Tillstånd kan ta upp till fyra och ett halvt år för markbaserade solenergiprojekt. Olika tillståndstider i olika medlemsstater visar att nationella regler och administrativ kapacitet komplicerar och fördröjer tillståndsgivningen.

Samexistens med försvarets intressen försvåras av störningar

Försvarmaktens intressen är en faktor som kan utgöra ett hinder för solceller. Bygglövsbefriade solfångare och solcellspaneler får inte monteras på en byggnad som ligger inom eller i anslutning till ett område som är av riksintresse på grund av att de behövs för totalförsvaret. Det beror på att solenergianläggningar kan orsaka elektromagnetiska störningar på verksamheter inom totalförsvaret. Bedömning måste göras i varje enskilt fall om en anläggning får placeras inom eller i anslutning till ett riksintresse för totalförsvaret.

⁹² Fristående solenergianläggningar kan dock kräva bygglov om de är att betrakta som en byggnad. Mål: P 9976-20 – Mark- och miljööverdomstolen vid Svea hovrätt.

⁹³ Enligt Miljöbalken 12 kapitlet 6 §.

I en utredning av Försvarsmakten och Elsäkerhetsverket⁹⁴ sammanfattas att störningar, som orsakas av solcellsanläggningar, kan medföra problem för radiosystem, exempelvis i form av avsevärt förkortade kommunikationsavstånd. Utredningen konstaterar också att rapporteringen av störningsincidenter relaterade till solcellsanläggningar har ökat både i Sverige och i andra länder. Mängden anmälningar kopplade till radiostörningar från solcellsanläggningar visar att dessa störningar är ett växande problem.

En anledning till att störningar uppkommer trots att systemen är testade enligt harmoniserade standarder kan vara att gällande standarder som används rörande solcellsanläggningar inte fullt omfattar vissa komponenter eller kompletta anläggningar. En annan anledning kan vara att vissa komponenter inte uppfyller kraven i EMC-direktivet⁹⁵ eller att anläggningarna är felaktigt utförda ur ett EMC-perspektiv.

Enligt utredningen av elektromagnetiska störningar ser Försvarsmakten, som sektorsansvarig myndighet, ett behov av regelverk som innebär att alla solcellsanläggningar, såväl fristående som monterade på byggnad, som avses uppföras inom påverkansområde för totalförsvarets riksintressen eller i anslutning till totalförsvarets anläggningar, blir bygglovspliktiga, eller föregås av annan prövning i vilken samråd ska ske med Försvarsmakten.

3.2.2 *Ekonomi och elnät*

Utbyggnaden av solkraft är marknadsstyrd vilket innebär att solcellsanläggningar kan anläggas när och där de är ekonomiskt lönsamma. Drivkrafterna kan dock skilja sig mellan olika utvecklingsvägar, exempelvis vid en utbyggnad av takbaserade anläggningar och markbaserade solcellsparkar.

En grundläggande förutsättning för solkraft är att solens instrålning är i det närmaste oändlig resurs. Dock varierar solens instrålning över året, under dagen och med väderlek. Även om variationen över dygnet har visst samband med elbehovet över dygnet utgör variabiliteten en utmaning för integrationen i elsystemet och elnätet. Detta blir i synnerhet ett problem om utbyggnaden av solkraft når större volymer vilket leder till stora spänningsvariationer och omvända effektlöden som i sin tur skapar utmaningar i framför allt lokala elnät. Förutsättningarna och drivkrafterna för solkraft har potentialen att förstärkas vid en utveckling som innebär att el från solen kan nyttjas bättre över tiden, genom dygns- och säsongslagring. Kraftsystemstabilitet, hanteringen av intermittens, krav på system och producenter, samt potentialen för säsongslagring är faktorer som både hindrar och möjliggör framtidens solkraft. En separat hindersanalys har gjorts för utbyggnad av elnät (kapitel 6) samt möjligheter att tillhandahålla flexibilitet (kapitel 7).

Hinder vid etablering av kollektiv egenanvändning – Energigemenskaper

Kollektiva solenergiprojekt ses inom REpowerEU-planen som en väg för att minska förbrukningen av fossila bränslen och åtgärda energifattigdom och utsatthet. Medborgarbaserade energigemenskaper för förnybar energi och kollektiva solenergiinitiativ för att producera, lagra, dela, utbyta och använda energi möter emellertid fortfarande betydande hinder, däribland svårigheter med att säkra finansiering, hantera tillståndsförfaranden

⁹⁴ Försvarsmakten och Elsäkerhetsverket, *Utredning av elektromagnetiska störningars försvårande för totalförsvarets intressen eller anläggningar*, 2020.

⁹⁵ Europaparlamentet och rådets direktiv 2014/30/EU om harmonisering av medlemsstaternas lagstiftning om elektromagnetisk kompatibilitet (EMC).

och utveckla hållbara affärsmodeller. De inrättas dessutom ofta av en grupp frivilliga som har begränsat med tid och saknar tekniska expertkunskaper. Gränsöverskridande energigemenskaper, som kan utnyttja potentialen för förnybar energi i EU:s gränsområden, möter ytterligare utmaningar i form av inkonsekventa rättsliga, tekniska eller administrativa bestämmelser.

Brist på installatörer gör det svårare att hitta relevant kompetens på marknaden

Energimyndigheten har i en tidigare genomlysning av certifiering av vissa tjänster på energiområdet⁹⁶ lyft att brist på installatörer i Sverige med rätt kompetens och risken det kan medföra hindrar att lyckas möta den kraftigt ökande efterfrågan på installationer av solceller. I brist på installatörer finns även en risk att fler kunder anlitar utövare som saknar relevant kompetens vilken kan leda till sämre installationer.

Den höga tillväxttakten talar för att problemet idag upplevs som ett relativt litet problem alternativt att stödsystem är så generösa att kvaliteten inte är avgörande. På sikt, om problemen inte åtgärdas, kan det dock innebära minskad tillit till branschen och färre installationer.

Energimyndighetens bedömning i genomlysningen var att det finns ett stort behov på solcellsmarknaden att utbilda och certifiera fler installatörer samt synliggöra dessa installatörers kompetens på marknaden.

3.2.3 Teknikutveckling och omvärld

Inom solcellsindustrin pågår en ständig kostnadspress samtidigt som den tekniska utvecklingen går snabbt. Det finns stora etablerade aktörer i Kina och Taiwan som är ledande både inom tekniker och inom utveckling. De stora likheterna med halvledarindustrin⁹⁷ har gjort att många aktörer skiftar eller diversifierar sig i solcellstillverkning för att komma åt en snabbare tillväxtutveckling. Vissa är involverade i hela värdekedjan, från kisel till installation, medan andra specialiserar sig på exempelvis celltillverkning eller modulsammansättning samt installation.

Tillgången till mark har liten betydelse för potentialen

Solceller har en låg direkt miljöpåverkan under driftfasen och om den huvudsakliga placeringen sker på tak tar de ingen mark i anspråk. Om utvecklingen går mot anläggandet av fler större solcellsparker kan detta innebära ett ökat markanvändningstryck, exempelvis kan solcellsparker som placeras på jordbruksmark konkurrera med livsmedelsproduktion.

Effektiviteten för solpaneler ökar vilket minskar både materialtillgång och ytan per installerad effekt. Den genomsnittliga ytan mark som används av solcellsparker för att generera varje MW har minskat med 62 procent mellan 2010 och 2021⁹⁸, från 2,69 hektar per MW till 1,94 hektar per MW.

⁹⁶ Analys Energimyndighetens uppdrag 12 i myndighetens regleringsbrev för budgetåret 2020. Kopplad till förslag inom implementeringen av Artikel 18 till det omarbetade förnybartdirektivet när det gäller installation av förnybar småskalig energi. Återrapporteringen utgörs av fastställd och bilagd rapport ”Certifiering av vissa tjänster på energiområdet” och tillhörande bilaga, diarienummer 2020–022046.

⁹⁷ Främst råvaran men i vissa avseenden även tillverkningsprocess, finansiering och kultur.

⁹⁸ International Renewable Energy Agency, *Renewable Power Generation Costs in 2021*, IRENA 2022.

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 förutsättning för att etablera solcellsanläggningar på ytor där behovet av att bygga annan infrastruktur som nät och vägar är lågt.

Påverkan på miljö vid tillverkning och återvinning av solceller

Miljökonsekvenserna från solceller är främst kopplade till miljöpåverkan från tillverkningen och vid återvinningen av solcellerna. Hur stor miljöpåverkan är vid tillverkningen beror till stor del på tillverkningslandets elmix och miljölagstiftning. Generellt går teknikutvecklingen mot minskad materialanvändning och minskad energianvändning i produktionen. För att stödja en övergång till en cirkulär ekonomi krävs dock fortsatt utveckling både i utformningen av resurseffektiva och återvinningsbara produkter samt effektivisering⁹⁹ i återvinningsfasen.

Föreslagna ekodesign och energimärkningskrav syftar till att belysa och förbättra resurseffektivitetsaspekten för solcellssystem samt säkerställa att nya solcellsprodukter inte skapar nya framtida bördor på miljön. Produktkraven omfattar både miljöprestanda och energiutbyte, samt övergripande miljöavtryck.

Mängderna solcellsavfall på den globala avfallsmarknaden är fortsatt relativt liten och det finns inte tillräckliga ekonomiska incitament för att upprätta specifika anläggningar för återvinnig av solceller. Solcellsavfall behandlas ofta i befintliga återvinningsanläggningar, som visserligen kan uppnå en hög grad återvinning, men riskerar att missa vissa material av högt värde då de förekommer i små mängder i avfallet. Ur ett svenskt perspektiv bedöms riskerna för miljöskadliga utsläpp från återvinningsfasen vara låga eftersom hanteringen av elektroniskt avfall är väl reglerad.¹⁰⁰ På sikt kan dock specifika anläggningar för återvinning av solcellspaneler öka kapaciteten för återvinning samt öka intäkterna på grund av en högre återvinningsgrad.

Flaskhalsar i leverantörskedjan

EU:s strategi för solenergi pekar på att unionen idag är en liten aktör i flera kritiska tillverknings- och monteringssteg i de tidigare leden i solkraftens värdekedja, däribland när det gäller göt, kiselskivor och celler.¹⁰¹ EU:s andel i den delen av värdekedjan var år 2020 kring tre procent. Om bristen på tillverkning inom EU inte åtgärdas kommer konkurrenskraften även att minska inom forskning och innovation, ett område som är helt beroende av närheten till tillverkningskluster. Dessutom innebär EU:s marginella bidrag i försörjningskedjans tillverknings- och monteringsled, i kombination med ett lands monopolliknande ställning i komponentledet på global nivå, minskad resiliens för EU i händelse av omfattande störningar i den externa försörjningen.¹⁰² Detta medför risker för stagnation i den fortsatta utbyggnaden av solenergi.

⁹⁹ Återvinningen av solceller är energikrävande och kan ge upphov till miljöskadliga utsläpp om det sker på ett felaktigt sätt, exempelvis i länder som saknar lagstiftning för hantering av elektroniskt avfall.

¹⁰⁰ WEEE-direktivet är implementerat i svensk lagstiftning.

¹⁰¹ COM(2021) 952 final, RAPPORT FRÅN KOMMISSIONEN TILL EUROPAPARLAMENTET OCH RÅDET Framsteg avseende konkurrenskraft för ren energiteknik, 2021-10-26. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=CELEX:52021DC0952> (Hämtad 2023-06-12).

¹⁰² European Commission, Directorate-General for Energy, Guevara Opinska, L., Gérard, F., Hoogland, O. et al., *Study on the resilience of critical supply chains for energy security and clean energy transition during and after the COVID-19 crisis – Final report*, Publications Office of the European Union, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/946002> (Hämtad 2023-06-14).

Brist på kritiska råmaterial i produktionskedjan

Den globala produktionen av solpaneler domineras av kristallin kiselteknologi och därför är tillgången på kisel särskilt intressant i ett försörjningsperspektiv. Kisel är den mest använda halvledaren inom elektronikindustrin och grundämnet kisel bedöms därför som ett kritiskt material.¹⁰³ EU har ett stort importberoende av kisel eftersom den inhemska produktionen inte kan tillgodose den inhemska efterfrågan. Beroendet av import uppskattas till 64 procent för EU som helhet. Idag kommer den största delen av importerat kisel till EU från Kina vilket även är det land som globalt är den största producenten på kiselmarknaden. Det medför en utmaning för andra länder att vara konkurrenskraftig i den globala produktionen av kiselmetaller tillsammans med det faktum att bearbetningen av kisel är en energi- och kolintensiv¹⁰⁴ process.

För att bli mer motståndskraftigt på lång sikt behöver EU säkra tillgången till kisel från länder som USA, Brasilien och Norge, men även se över möjligheterna att sprida risken till andra råvaror och produktionssätt. Därför har EU lagt fram en rad åtgärder för att säkerställa EU:s tillgång till en säker, diversifierad, ekonomiskt överkomlig och hållbar försörjning av råvaror av avgörande betydelse. Solkraft har en given roll i framtidens elproduktion i den mån tillgången på produktionsresurser inte ändras. Risken vad gäller försörjningen av råvaror generellt, som används för solkraft, betraktas som måttlig enligt en studie¹⁰⁵ av EU-kommissionen. För att bli mer motståndskraftigt på lång sikt behöver dock EU säkra tillgången till kisel från länder som USA, Brasilien och Norge, men även se över möjligheterna att sprida risken till andra råvaror och produktionssätt.

Omvärldsläget är ett potentiellt hinder för den gröna omställningen

Även om solenergi i dag är en av de billigaste källorna till el i de flesta länder drivs utvecklingen fortsatt i konkurrens gentemot andra tekniker där marknadssnedvridningar, subventioner eller annat ger fördelar för etablerade energiproducenter.

En del i REpowerEU-planen är strategin att samarbeta för att undanröja handels- och investeringshinder och främja öppna och konkurrensutsatta upphandlingsförfaranden. Därför sätts resiliens i värdekedjan för solenergi i fokus, bland annat inom ramen för diskussioner om handels- och teknikrådet mellan EU och USA.

Dock är flera länders samtida kapprustning för mer konkurrenskraftig ren energiteknik ett potentiellt hinder. Exempelvis har liknande ”gröna” subventioner¹⁰⁶ på båda sidor om Atlanten väckt oro för att företag kommer spela regeringar mot varandra och placera sina företag där det är mest lukrativt. Därtill riskerar förbud och sanktioner av olika slag att ytterligare snedvrider industriernas strukturer och potentiellt leda till överkapacitet, samt underbygga handelskonflikter.¹⁰⁷

¹⁰³ Sveriges geologiska undersökning. Kisel. *SGU*. 2020. <https://www.sgu.se/mineralnaring/kritiska-ravaror/kisel/> (Hämtad 2023-06-14).

¹⁰⁴ Kolintensiv både i reduktionsprocessen och i elmixen i de länder där framställningen sker.

¹⁰⁵ European Commission, *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU – a foresight study*, 2020. https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf (Hämtad 2023-06-13).

¹⁰⁶ Europeiska kommissionen, Statligt stöd: Kommissionen ändrar reglerna i den allmänna gruppundantagsförordningen för att ytterligare underlätta och påskynda den gröna och den digitala omställningen, 2023-03-09. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/ip_23_1523 (Hämtad 2023-06-14).

¹⁰⁷ Aime Williams. US-Europe trade tensions heat up over green subsidies. *Financial Times*. 2023-02-27. <https://www.ft.com/content/0f8bf631-f24c-48da-905f-e37f8dc5d5f8> (Hämtad 2023-06-14).

4 Vattenkraft

Kapitlet inleds med beskrivning av vattenkraftens roll i elsystemet och de förutsättningar som gäller när vattenkraften ska miljöanpassas, hantera förändrade flöden på grund av klimatförändringar och vidareutvecklas för ökad effekt och flexibilitet. Därefter redogörs hinder för att värna och vidareutveckla befintlig vattenkraft.

4.1 Nulägesbeskrivning

Vattenkraftens roll har varit relativt oförändrad sedan slutet av 1900-talet och producerar under ett år med normal vattentillrinning cirka 65 TWh, se figur 10. De senaste trettio åren har vattenkraftens årsproduktion varit som högst knappt 79 TWh och som lägst drygt 51 TWh, beroende på varierad tillrinning mellan åren. Vattenkraften är i dag det huvudsakliga kraftslaget som bidrar till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom det är en reglerbar elproduktionskälla, med möjlighet att snabbt ändra stora produktionsmängder. Den totala installerade effekten ligger på 16,2 GW men eftersom inte alla vattenkraftverk kan utnyttjas fullt ut samtidigt ligger den totala momentana effekten som går att utnyttja på cirka 13–14 GW.



Figur 10. Historisk utveckling av elproduktion från vattenkraft i Sverige.

Källa: Energimyndigheten (2023).¹⁰⁸

Vattenkraftens reglerförmåga kan hantera både väntade och oväntade variationer, i förbrukning och produktion, på alla tidshorisonter vilket gör den väldigt viktig för att upprätthålla kraftsystemstabiliteten. Den är även viktig ur ett elberedskapsperspektiv och för effekttillräcklighet. Med en större andel variabel förnybar elproduktion från exempelvis sol och vind i elsystemet ökar också behovet av att kunna balansera systemet. Behovet av vattenkraften är högst under dygnet men även på veckobasis när det exempelvis inte blåser under en längre period. I de situationerna är vattenkraften ett viktigt reglerande kraftslag under både korta och längre tidshorisonter för att säkerställa ett drift- och

¹⁰⁸ Energimyndigheten (2023), *Energiläget 2022*, ET 2022:09

leveranssäkert elsystem idag och i framtiden. I framtidens elsystem med ett större beroende av vattenkraftens reglerförmåga, till följd av en ökad andel variabel kraftproduktion, kan periodvisa begränsningar av vattenkraften ge betydligt större påverkan på elsystemet jämfört med idag. Exempel på en sådan begränsning är i samband med isläggning och vårflod. Även nya miljövillkor kan skapa nya begränsningar. Vattenkraften och framför allt dess reglerförmåga är således viktig att värna om och utveckla.

Vissa älvar i Sverige skyddas mot vattenkraftsutbyggnad samt vattenreglering eller vattenöverledning för kraftändamål. Sammanlagt är 42 vattendrag skyddade mot vattenkraftsutbyggnad enligt miljöbalken.¹⁰⁹ Av dessa benämns Torne-, Kalix-, Pite- och Vindelälven som nationalälvar, men skyddet är detsamma för alla älvar som omfattas av ett skydd mot utbyggnad av vattenkraft.

4.1.1 Omprövning för moderna miljövillkor

Den 25 juni 2020 beslutade regeringen om en nationell plan för omprövning av vattenkraften.¹¹⁰ Det innebär att vattenverksamheter för produktion av vattenkraftsel ska föras med moderna miljövillkor och omprövningarna för detta påbörjades 2022. Omprövningen är pausad under 2023 för att utreda konsekvenserna på elsystemet och eventuella justeringsbehov för att begränsa omprövningens påverkan på elsystemet. Pausen innebär att tidplanen för miljöanpassning av den svenska vattenkraften som ska pågå under en 20-årsperiod förskjuts ett år. Den nationella planen anger också en nationell helhetssyn i frågan om att verksamheterna ska föras med moderna miljövillkor på ett samordnat sätt med största möjliga nytta för vattenmiljön och nationell effektiv tillgång till vattenkraftsel. När planen beslutades så fastställdes också att sammantagna negativa inverkan på en nationell effektiv tillgång till vattenkraftsel ska hållas till ett minimum och att största möjliga hänsyn ska tas till riktvärdet om 1,5 TWh i produktionsförluster. I samband med omprövningen så kommer dagens elproduktion från vattenkraft att minska, det är dock viktigt att bibehålla reglerförmågan vilket framför allt utgörs av cirka 255 så kallade klass 1-kraftverk. Dessa vattenkraftverk bidrog med drygt 98 procent av reglerbidraget i de tre tidsnitten 365, 28 och 1 dygn under åren 2009–2014.¹¹¹ Den totala produktionsförlusten kan avvika något från 1,5 TWh utan att det kanske får någon större nationell påverkan för elsystemet men det handlar helt om för vilka kraftverk detta sker. Däremot, för att åstadkomma en nationell effektiv tillgång på vattenkraftsel behöver vattenkraftens samtliga nyttor beaktas fullt ut i samband med normsättningen. Därmed behövs det samhällsekonomiska värdet av alla förmågorna beskrivas kvalitativt och kvantitativt så långt som möjligt som underlag inför normsättningen.

Det finns behov av att se över strukturen för den nationella vattenförvaltningen, i det längre perspektivet, till förmån för att gängse förvaltningsstruktur inom svensk statsförvaltning används. Detta för att säkra en nationell helhetssyn i avvägningarna i samband med beslut av miljökvalitetsnormer, exempelvis samhällets behov av vattenresurser och vattenkraftens värden i elsystemet. Energimyndigheten har tidigare tillstyrkt en översyn av den nationella vattenförvaltningen i linje med vattenförvaltningsutredningens

¹⁰⁹ SFS nr: 1998:808. Miljöbalken. 4 kap 6 §

¹¹⁰ Regeringsbeslut M2019/01769/Nm

¹¹¹ Energimyndigheten (2016), *Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet*, ER 2016:11

slutbetänkande.¹¹² En översyn behöver ske på sådant sätt att vattenförvaltningen på kort sikt inte tappar effektivitet och ger förseningar i genomförandet av vattendirektivet och rapportering till EU-kommissionen.

4.1.2 Förändrade körmönster för vattenkraft

I Energimyndighetens studie *100 procent förnybar el*¹¹³ visade alla scenarier att vattenkraftens reglerförmåga är mycket viktig och behövs i ett framtida förnybart elsystem. Det var även tydligt att förändrat reglerbehov kommer att innebära förändrade körmönster för vattenkraften. I ett scenario med stor andel vindkraft tyder mycket på att behovet av vattenkraftens reglerförmåga på tidsskalan flerdryggn kommer att öka eftersom det i dagsläget finns få andra förnybara reglerresurser som kan bidra på aktuell tidsskala. Även ökad andel solkraft påverkar reglerbehovet på dygns- och årsskala. Ökat utnyttjande av vattenresurser på en viss tidsskala kan påverka kapacitet för hur reglering kan nyttjas på andra tidskalor. I kapitel 7 beskrivs flexibilitet inom elproduktion mer ingående.

Vattenkraftens modernisering med moderna miljövillkor innebär både utmaningar och möjligheter. I samband med omprövning finns det möjlighet att se över gamla villkor så att de blir bättre anpassade mot dagens förutsättningar, framtida elsystemsbehov och påverkan på andra värden. Det är därför viktigt att belysa behov utifrån ett elsystemperspektiv och identifiera hinder och begränsningar för förändrade körmönster av vattenkraft. Det är även viktigt att ta tillvara och utveckla vattenkraftens lagrings- och flexibilitetspotential.

4.1.3 Klimatförändringar

Klimatförändringarna kommer att påverka energisektorn på olika sätt. De faktorer som främst bedöms ha betydelse för vattenkraften är avrinning, temperatur och nederbörd. Det kan röra sig om tids- och volymmässigt förändringar som till exempel senare eller snabbare snösmältning. Förändringarna kan innebära att vattenkraftens årsproduktion förändras och att nya yttre förutsättningar påverkar det framtida produktionsmönstret. Ökad tillrinning till kraftverk och dammar kan kräva tekniska eller villkormässiga anpassningar för att kunna ta tillvara potentialen med bibehållen dammsäkerhet. Förståelse för klimatförändringar är viktiga för att kunna ta tillvara de möjligheter som klimatförändringarna skapar för vattenkraften men även för att kunna anpassa och analysera framtidens vattenkraft på ett korrekt sätt. Det kan därmed vara viktigt att ta hänsyn till ökad tillrinning till följd av klimatförändringar i samband med omprövningen för att kunna optimera nuvarande vattenhushållningsbestämmelser i syfte att öka reglerförmåga och elproduktion.

¹¹² SOU 2019:66. Betänkande av Vattenförvaltningsutredningen. *En utvecklad vattenförvaltning*

¹¹³ Energimyndigheten (2019), *100 procent förnybar el-Delrapport 2 – Scenarier, vägval och utmaningar*, ER 2019:06

Energiforsk har slutredovisat flera år av forskningsarbete¹¹⁴ kring klimatförändringarnas inverkan på vattenkraften. I slutredovisningen¹¹⁵ beskrivs hur varmare klimat kommer öka mängden vatten i Sveriges älvar och vattendrag och analyser indikerar hur vattenkraftsproduktionen kan förväntas stiga. De konstaterar att större älvarna i norr påverkas i stor utsträckning av mängden snö som ansamlas under vintern och tidpunkten för vårfloden, medan vattendrag i söder påverkas mer av förändringar i total nederbörd och avdunstning. Klimatscenarioanalyserna visar också att klimatförändringarna leder till en minskad vårflodstopp samtidigt som vårfloden kommer tidigare under året jämfört med idag. Denna tendens, som indikerar en över året plattare tillrinningsprofil till älvarna, är tydlig redan vid de lägre uppvärmningsnivåerna och ökar för de högre uppvärmningsnivåerna.

Förändringen i lokaltillrinning i de tio älvarna som har studerats vid olika uppvärmningsnivåer har använts för att undersöka klimatförändringens inverkan på vattenkraftens produktions- och balanseringsförmåga. Analyserna visar att den totala årsproduktionen stiger i de flesta snödominerande älvsystemen, medan den sjunker eller förblir konstant i de andra älvarna. Totalt indikerar analyserna att vattenkraftproduktionen förväntas stiga med mellan 2,8–4,5 TWh/år i de undersökta älvsystemen vid olika uppvärmningsnivåer. Vad gäller balanseringsförmågan indikerar analyserna att den inte kommer minska i ett framtida varmare klimat.

4.1.4 Effekthöjningar

Enligt analys utförd av Sweco 2016¹¹⁶ finns det en potential för effektutbyggnad i befintlig vattenkraft med omkring 3–4 GW. I analysen studerades de tio största kraftproducerande älvarna i Sverige extra noga. Dessa älvar står i för cirka 14 GW av den totala installerade vattenkraften i Sverige på 16,2 GW. Effekthöjningspotential baseras på att kraftverken i en älvräcka anpassats efter ett dimensionerande kraftverk i älvräckan och sedan samkörs på ett sätt så att alla aggregat kan köras för fullt utan att spilla vatten.

Den nationella planen för moderna miljötillstånd främjar bland annat ökad effekt vid befintliga vattenkraftverk. I det fall en vattenkraftsproducent anser det är ekonomiskt lönsamt att investera i effekthöjning eller ser möjligheter till ökad flexibilitet kan samordning av villkor ske i samband med omprövning för moderna miljövillkor. Om villkor utreds på ett samordnat sätt i samband med omprövning kan reglerförmåga inom hela älven öka. Tydliga signaler om att ta upp frågan kring effekthöjning och ökad flexibilitet kan uppmuntra länsstyrelserna och verksamhetsutövarna till ett helhetsgrepp i samband med omprövning.

4.2 Hindersanalys

Vattenkraftens roll har varit relativt oförändrad sedan slutet av 1900-talet och är det huvudsakliga kraftslag som bidrar till elsystemets leverans- och driftsäkerhet eftersom det är en reglerbar elproduktionskälla. Utvecklingspotential är idag begränsad till effekthöjningar och effektiviseringar i de älvar där det redan har etablerats vattenkraft,

¹¹⁴ Energiforsk Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraften. Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraften | (energiforsk.se) (Hämtat 2023-06-13)

¹¹⁵ Energiforsk. Klimatförändringarnas inverkan på vattenkraftens produktions- och reglerförmåga. Rapport 2023:924

¹¹⁶ SWEKO. *Effektutbyggnad Vattenkraft*. Rapport 2016

då miljöbalken skyddar nationalälvarna från vattenkraftsutbyggnad. Miljöbalkens skydd är ett tydligt exempel på hur en målkonflikt har hanterats på ett bestående sätt när värdet av att ha fritt strömmande vatten i de skyddade älvarna anses vara högre än andra samhällsvärden som kommer från en ökad vattenkraftsproduktion. Vattenkraften har även möjlighet att bidra med ytterligare reglerförmåga och flexibilitet genom anpassning av befintliga vattenhushållningsbestämmelser¹¹⁷ till de förutsättningar som råder och för att utnyttja vattenresurserna optimalt mot framtidens reglerbehov.

Den svenska vattenkraften har en viktig roll i dagens elsystem och dess flexibilitetsresurser kommer att bli allt viktigare i framtidens elsystem. Det är därför viktigt att vattenkraften värnas när den omprövas för moderna miljövillkor och att potential för ökad effekt och flexibilitet i befintlig vattenkraft tas till vara. Följande aspekter är viktiga för att möjliggöra detta:

- Det samhällsekonomiska värdet av vattenkraftens alla förmågor behöver beskrivas kvantitativt eller kvalitativt så långt det är möjligt. Det är underlag som vattenmyndigheterna behöver för att kunna ta hänsyn till vattenkraftens alla förmågor i normsättningen inför omprövning.
- Kartläggning av vattenkraftens åtgärdsbehov, utifrån både vattenförvaltningens generella kravnivå och särskilda Natura 2000-krav, nödvändigt för att bedöma vilken påverkanomprövningen kan innebära för vattenkraftens produktionsförutsättningar.
- Kunskapsunderlag för bedömning och nationell prioritering av områden nödvändiga för att säkerställa gynnsam bevarandestatus för arter och naturtyper på biogeografisk nivå bör tas fram.
- Vid omprövning för moderna miljövillkoren är det viktigt att skapa förutsättningar för effektutbyggnad och optimering av älvsystemets vattenhushållningsbestämmelse så att vattenkraftens flexibilitet och potential kan utnyttjas fullt ut.
- Det är viktigt att det finns ekonomiska incitament så att potential för effektutbyggnad och ökad flexibilitet inom befintlig vattenkraft kan realiseras. Nya systemtjänster i kombination av ökad efterfrågan på olika tjänster ökar vattenkraftens konkurrenskraft och främjar effektutbyggnad och ökad flexibilitet.

4.2.1 Effekthöjning kan kräva tillståndsprövning

Den svenska vattenkraften moderniseras inom ett 40–60 årsintervall för att säkerställa framtida drift och säkerhet. Tidpunkt för enskilda kraftverk beror av dess tekniska livslängd och status på turbiner och generatorer. När den tekniska livslängden är uppnådd krävs förnyelse och/eller renovering av de olika komponenterna. Det kan innebära effektivare turbin och generator, dammsäkerhetshöjande åtgärder och miljöåtgärder. Många gånger kan det även finnas möjlighet till effekttökning inom ramen för förnyelse av generator och nya turbiner med möjlighet att ta mer vatten. Ett hinder för att denna effekttökning ska kunna realiseras är att det inte alltid är möjligt inom ramen för befintlig vattendom, det krävs vanligtvis en tillståndsprövning som innebär samråd och en miljökonsekvensbeskrivning. De verksamhetsutövare som omfattas av den nationella planen har även möjlighet att i avvaktan på omprövning enligt planen, ansöka om ändringstillstånd enligt 16 kap 2 b § miljöbalken.

¹¹⁷ Exempelvis förändrade vattenhushållningsbestämmelser för dämningssgräns och sänkingsgräns eller minskade minimitappningar.

Vilken förändring av vattenkraftsverksamheten som kan tillåtas begränsas av bestämmelserna i 5 kap. 4 § miljöbalken. Där anges att en verksamhet eller åtgärd inte får tillåtas om den försämrar vattenmiljö på ett otillåtet sätt eller äventyrar möjligheten att uppnå miljökvalitetsnormen. Icke-försämringskravet vattenförvaltningsförordningen¹¹⁸ anger att miljökvalitetsnormen ska fastställas så att tillståndet i vattenförekomsten inte försämras. Vattenförvaltningsförordningen medger undantag från 5 kap. 4 § miljöbalken givet särskilda krav. Där ges möjlighet att tillåta en försämring från hög till god status om verksamheten eller åtgärden är en hållbar mänsklig utvecklingsverksamhet. En förändring från hög till god status har troligtvis mycket begränsad tillämpning för storskalig vattenkraft. Det som kvarstår är den förändring i vattenmiljö som inte medför en otillåten försämring. Vid tillståndsprövning för olika typer av förändrad vattenverksamhet ställs således miljönytta mot klimatnytta. Med en bättre kunskap och tydlig vägledning om vilken typ av förändring som inte medför en otillåten försämring kan utbyggnad och effekthöjning underlättas. Icke-försämringskravet kan utgöra ett hinder eller begränsa effekthöjande åtgärders möjlighet till ökad vattenanvändning och korttidsreglering vilket reducerar investeringens lönsamhet.

4.2.2 Möjlighet till ökad flexibilitet och effekttökning bör analyseras när miljövillkor omprövas

Den nationella planen ska främja att behovet av ökad effekt kan tillgodoses i befintliga vattenkraftverk och största möjliga reglerförmåga i elproduktionen. En ökad reglerförmåga utan effekttökningar kan uppnås genom att tillåten reglering i befintliga tillståndsvillkor ändras eller tas bort. Exempel på sådana villkor är begränsningar av hur snabbt flödesförändringar får ske, mellan vilka vattennivåer magasinet får regleras, maximalt flöde genom aggregaten etcetera. Det kan röra sig om otidsenliga vattenhushållningsbestämmelser som inte längre har något syfte eller inte ger miljönytta. Att tekniskt genomföra effekthöjande åtgärder i kraftverk är dock relativt kapitaltunga investeringar och det är upp till verksamhetsutövaren att bedöma om det är ekonomiskt lönsamt. Tydliga ekonomiska incitament för utbyggnad underlättar att realisera potentialen för ökad effekt och flexibilitet. Den nationella planen vägleder därför inte om vilka effekttökningar som ska göras eller var dessa ska göras.

Möjligheten till effekttökningar behöver utredas i det enskilda fallet, då förutsättningarna är platsspecifika. Intresserade verksamhetsutövare bör utreda möjligheten till effekttökning i god tid före omprövning ska ske enligt den nationella planen. För det fall då verksamhetsutövare har för avsikt att även ansöka om tillstånd till sådan utökning är det lämpligt att göra det vid samma tidpunkt som ansökan om omprövning som ska ske enligt planen. Om detta utreds i samverkansprocesser av samtliga intresserade verksamhetsutövare, kan en optimering göras av vilken ökad reglerförmåga, genom ökad effekt, som kan uppnås i hela avrinningsområdet. Även en eventuell möjlig ökning av reglerförmåga utan effekttökning genom förändring av villkor bör utredas i samverkansprocesserna inför prövningarna.

¹¹⁸ SFS nr: 2004:660. Vattenförvaltningsförordning. 4 kap. 2 §

4.2.3 Juridiska förutsättningar för ökad flexibilitet och effekttökning

Det finns däremot vissa juridiska förutsättningar som kan påverka möjligheten till effekttökning i samband med omprövning. Ökning av effekt eller reglerförmåga är en förändring av verksamheten som normalt inte ryms inom ramen för en omprövning. För detta krävs vanligtvis en tillståndsprövning. Till skillnad mot en omprövning för moderna miljövillkor krävs samråd och en miljökonsekvensbeskrivning. Om verksamhetsutövaren väljer att ansöka om tillstånd till ökad effekt eller reglerförmåga samtidigt som ansökan om omprövning, har domstolen möjlighet till gemensam handläggning av ansökningarna. Vägledning om vilka typer av förändringar av verksamheten som kan rymmas inom omprövning kan främja effekttökning och ökad flexibilitet.

Det finns däremot vissa svårigheter med att få tillstånd med avseende på icke-försämringskravet. Enligt 5 kap 4 § miljöbalken får inte tillstånd ges om verksamheten som påbörjas eller ändras gör att vattenmiljön försämras på ett otillåtet sätt eller äventyrar möjligheten att uppnå den status eller potential som vattnet ska ha enligt dess miljökvalitetsnorm. Omprövning av tillstånd får inte heller medföra sådan försämring eller äventyrande. I och med detta ställs den klimatnytta som vattenkraftens fossilfria elproduktion kan bidra med mot lokal miljönytta. Vattenförvaltningsförordningens 4 kap 11 och 12 §§ innehåller dock ett undantag som gör det möjligt att, under vissa förutsättningar, tillåta en ny eller ändrad verksamhet eller åtgärd trots att den leder till försämring eller äventyrande av miljön. Tillståndsprövning uppfattas många gånger som lång och med dålig förutsägbarhet.

4.2.4 Tidsaspekten för omprövning och effekthöjning kan vara en utmaning

Även svårigheter kring tidsaspekten för att ansöka om effekttökning samtidigt som ansökan för omprövning kan uppstå. Turbin- och generatorbyten sker med ungefär 50-årsintervall och normalt finns inga incitament för kraftverksägare att göra investeringar innan livslängden har uppnåtts. Dessutom kommer återstående livslängd på utrustning vara olika i kraftverken som ingår i en prövningsgrupp. Den nationella planen tar inte hänsyn till detta.

Ett av syftena med det nya regelverket är att göra processerna allmänt mindre administrativt betungande. Det vore därför som nämnts lämpligt om verksamhetsutövarna genomför sin prövningsprocess det vill säga ansöker om utökning samtidigt som omprövning sker, för att undvika merarbete och kostnader för alla parter. En begränsande faktor är att tillståndsgivna arbeten för vattenverksamhet måste vara utförda inom tio år enligt 22 kap 25 § andra stycket miljöbalken. Bedömningen är att tio år egentligen är för kort tid för att fullt ut minimera risken för att verksamhetsutövare avvaktar med att ansöka om utökning av verksamheten i samband med omprövning, men detta är en begränsande faktor i nuvarande lagstiftning.

4.2.5 Konkurrens om samma resurser och kompetenser

Lagstadgad omprövning för moderna miljövillkor kräver stora resurser hos myndigheter, verksamhetsutövare, domstolar, projektörer och entreprenörer. Den svenska vattenkraften är uppdelade i olika prövningsgrupper som har omprövningstidpunkt från 2022 fram till 2038. Omprövningen innebära bland annat att behovet av miljöåtgärder behöver analyseras, ansökan om omprövning utformas och behandlas i mark- och miljödomstol och miljöåtgärder ska projekteras och genomföras.

Domstolarna kommer att hantera ett stort antal omprövningsärenden fram till 2040. Syftet med i prövningsgrupper är bland annat att skapa relativt jämn fördelning av omprövningsärenden över tid. Samma domstolar hanterar även tillståndsprövning för vattenverksamhet och andra typer av miljötillstånd. Domstolarnas arbetslastning för omprövningar och målens komplexitet kommer därför att påverka handläggningstid för exempelvis effekthöjning där tillståndsprövning krävs.

Omprövningen kräver olika typer av resurser och kompetenser den dag verksamhetsutövarna börjar förberedelserna, vanligtvis 3–4 år före omprövning, tills att miljöåtgärder är genomföra. För verksamhetsutövare med vattenkraft i olika älvar kan detta kräva resurser och kompetens ända fram till början av 2040-talet. De resurser som verksamhetsutövarna behöver för omprövning är sådan som även krävs inom projekt för ökad flexibilitet och effekthöjningar. Brist på resurser och kompetens kan innebära att lagstadgad omprövning behöver prioriteras före projekt för ökad flexibilitet och effekthöjningar.

Liknade hinder kan uppstå för olika typer av stöd som verksamhetsutövarna behöver för att genomföra åtgärder för ökad flexibilitet och effekthöjningar. Det kan röra sig om konsultstöd vid förstudier, juridisk kompetens för tillståndsprövning, projektörer och entreprenörer för utförande som konkurrerar med de behov som omprövningen kräver.

5 Vindkraft

Detta kapitel inleds med en kort skildring av utveckling och utbyggnad av vindkraft i Sverige idag. Nuvarande system för tillståndsgivning och pågående utredningar inom området som kan ha betydelse för vindkraft beskrivs. Det innehåller även en kort beskrivning av nuvarande styrning och pågående utredningar. Därefter följer en analys och kartläggning av hinder för utbyggnaden av vindkraft. En stor del av de redovisade hindren för den landbaserade vindkraften fokuserar på de hittills (åren 2014–2021) vanligaste avslagsanledningarna för tillstånd samt resonemang kring den landbaserade vindkraftens markanvändning. De huvudsakliga hindren som finns för en storskalig utbyggnad av havsbaserad vindkraft som tas upp är främst mot bakgrund av erfarenheter från regeringsuppdraget¹¹⁹ om att ge förslag på nya energiområden i havsplanerna.

5.1 Nulägesbeskrivning

Enligt Energimyndighetens officiella statistik¹²⁰ fanns det i slutet av 2022 omkring 5000 vindkraftverk i Sverige med en total installerad effekt på 14,3 GW. Produktionen uppgick till 33,1 TWh vilket motsvarar 19 procent av den totala elproduktionen under 2022. Landbaserad vindkraft dominerar vindkraftsproduktionen med cirka 98 procent¹²¹ där majoriteten av produktionen sker i norra Sverige¹²² (elområde 1 och 2). Idag är vindkraften periodvis det elproduktionsslaget som producerar mest i Sverige. Vindkraftens utbyggnad i Sverige började i slutet av 1990-talet och tog fart under 2000-talet. Utbyggnadstakten har förändrats över tid och nådde ett tillfälligt maximum under 2022. Energimyndighetens kortsiktsprognos¹²³ visar på en snabb utbyggnad fram till år 2025 och då förväntas vindkraften producera ungefär lika mycket el som kärnkraften producerade 2022¹²⁴, se figur 11.

¹¹⁹ Energimyndigheten (2023), *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*, ER2023:12

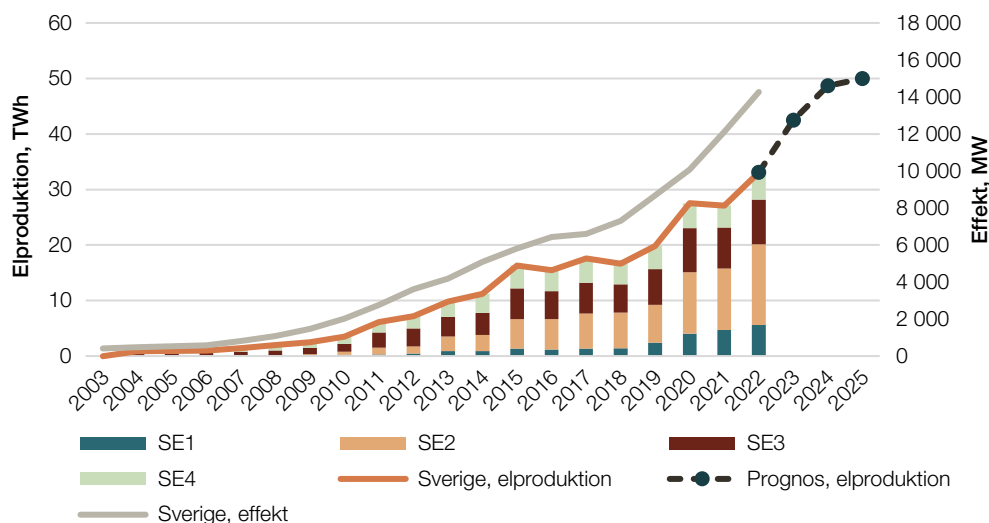
¹²⁰ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, *Energimyndigheten*, <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/vindkraftsstatistik/> (hämtad 23-05-15)

¹²¹ Tills havs finns det endast två större projekt byggd som bidrar i sammanhanget nämnvärd till elproduktionen (vindkraftparkerna Lillgrund och Kårehamn).

¹²² Cirka 62 procent

¹²³ Energimyndigheten (2023), *Kortsiktsprognos vinter 2023*, ER2023:09

¹²⁴ SCB, Månatlig elstatistik och byten av elleverantör, *SCB*, <https://www.scb.se/en0108> (hämtad 23-06-15)



Figur 11. Historisk utveckling av installerad effekt och elproduktion från vindkraft i Sverige samt prognoser fram till år 2024.

Källa: Energimyndigheten (2023)¹²⁵¹²⁶

I Sverige finns totalt 0,2 GW havsbaserad vindkraft installerad med en årlig produktion omkring 0,5 TWh el.¹²⁷ Sverige var tidigt ute med havsbaserad vindkraft med de första havsbaserade verken redan i slutet av 1980-talet. När vindkraftsparken Lillgrund togs i drift 2007 var den med sina 48 turbiner och 110 MW en stor vindkraftspark och den tredje största havsbaserade vindkraftsparken i världen.¹²⁸ Den tidiga (ur dagens perspektiv) mindre utbyggnaden har sedan inte följts av större utbyggnad utan vindkraften i Sverige har i stället fokuserat på landbaserad vindkraft. Däremot har projektutveckling inom havsbaserad vindkraft under senare år tagit fart och det finns nu flera långt gångna projekt och tillståndsgivna projekt som, om de realiseras, kommer svara för en betydande elproduktion. I Europa har den havsbaserade vindkraften en mer framträdande roll, 2021 fanns havsbaserad vindkraft med en installerad effekt på 28 GW. EU:s framtida mål för havsbaserad vindkraft är satt till 450 GW installerad effekt 2050.¹²⁹

I tabell 5 beskrivs antalet projekt och beräknad årsproduktion från de havsbaserade projekt som har fått tillstånd, ansökt om det samt påbörjat samråd idag.¹³⁰

¹²⁵ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, *Energimyndigheten*, <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-tatistiken/statistikprodukter/vindkraftsstatistik/> (hämtad 23-05-15)

¹²⁶ Energimyndigheten (2023), *Kortsiktsprognos vinter 2023*, ER2023:09

¹²⁷ Energimyndigheten, Vindkraftsstatistik, *Energimyndigheten*, <https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-tatistiken/statistikprodukter/vindkraftsstatistik/> (hämtad 23-05-15)

¹²⁸ Vattenfall. Lillgrund- Sveriges största havsbaserade vindkraftspark. Vattenfall Våra kraftverk: Lillgrund – Sveriges största havsbaserade vindkraftspark – Vattenfall (Hämtad 2023-06-19)

¹²⁹ Wind Europe. Offshore wind energy. *Wind Europe*. Offshore wind energy | WindEurope (Hämtad 2023-06-09)

¹³⁰ Datum: 2023-06-20

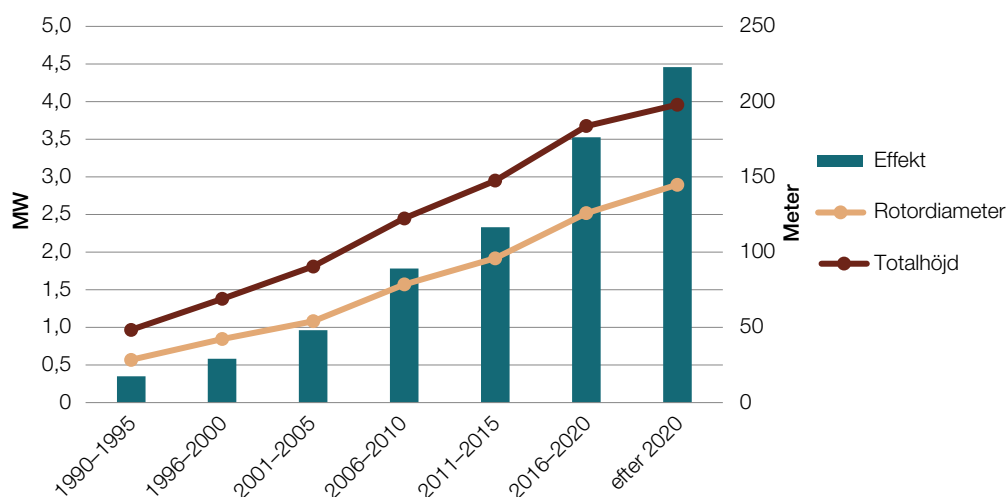
Tabell 5. Antal projekt som fått tillstånd, ansökt om tillstånd och påbörjat samråd.

Projektstatus	Antal projekt	Beräknad årsproduktion ¹³¹
Tillståndsgivna projekt ¹³²	6	~10 TWh
Ansöker om miljötillstånd ¹³³	14	~110 TWh
Påbörjat samråd	32	~305 TWh

Källa: Vindbrukskollen.¹³⁴

5.1.1 Teknikutveckling

Tekniken kring vindkraft har kontinuerligt vidareutvecklats och dimensionerna på vindkraftverken har blivit allt större över tid. Runt år 2000 var det vanligt med vindkraftverk med en effekt under 1 MW och rotordiameter upp till 60 m. År 2023 har merparten av de vindkraftverken som byggs en effekt på över 4 MW, de mest kraftfulla upp till över 6 MW. Medelvärde för rotordiameter närmar sig idag 150 meter, se figur 12.



Figur 12. Medelvärde på effekt, rotordiameter och totalhöjd av vindkraftverk över tid.

Datakälla: Vindbrukskollen.¹³⁵

Tekniken runt vindkraftverk har utvecklats över tiden. Det gör att vindkraftverken som finns i drift är olika även om de allra flesta verk består av samma grundläggande komponenter.¹³⁶ Olika utgör av skillnaderna i dimension, exempelvis kan längden på ett rotorblad på ett vindkraftverk som installeras idag överstiga totalhöjden på ett typiskt vindkraftverk som installerades för 20 år sedan. Även varvtalet på rotorn har utvecklats över tid, moderna rotoror med högre diameter roterar med lägre varvtal

¹³¹ En del projekt överlappar varandra, summorna per kategori är således inte realiserbar i praktiken.

¹³² Galene, Kattegatt offshore, Kattegatt syd, Kriegers flak, Stenkalles grund (i Väner), Storgundet.

¹³³ Projektet Storgundet finns som tillståndsgiven projekt och som projekt med inlämnad tillståndsansökan. Produktionen räknas endast som projekt som ansöker om miljötillstånd.

¹³⁴ Vindbrukskollen, Länsstyrelserna/Energimyndigheten, <https://vbk.lansstyrelsen.se/>, data hämtad (23-06-20)

¹³⁵ Vindbrukskollen, Länsstyrelserna/Energimyndigheten, <https://vbk.lansstyrelsen.se/>, data hämtad (23-02-01)

¹³⁶ Ett fundament i armerad betong, ett torn av stål eller betongelement, ett maskinhus där generatoren är placerat och rotorn sitter och en rotor med tre glasfiberförstärkta rotorblad.

(upp till faktor 3 långsammare)¹³⁷ än äldre rotorerna med mindre diameter. Även generator-tekniken och styrsystemen har förändrats. Vindkraftverken som installeras i närtid förväntas ha rotordiametrar på 150 m och mer, effekten ligger omkring 4–6 MW och mer. I framtiden förväntas tekniken utvecklas ytterligare i form av ännu längre rotorblad, högre totalhöjd och ökad effekt. Dock finns det begränsningar till exempel kring vilka totalhöjder och rotordiameter som miljötillstånden kommer tillåta.

Även för den havsbaserade vindkraften har den tekniska utvecklingen under de senaste tio åren gått mycket snabbt och det fåtal havsbaserade verk som finns i svenska vatten är mycket mindre än det som byggs idag och det som projekteras för i framtiden. Idag sker projektering för turbinstorlekar motsvarande 15–20 MW och med en totalhöjd på över 300 meter. Större turbiner innebär också att parklayouterna förändras. I takt med att verken blir större ökar separationsavståndet mellan turbinerna och vid dagens projektering kan det uppgå till 2 km. Idag finns det även möjlighet att bygga på större vattendjup och fasta fundament används redan ner till 70 meters vattendjup. Dominerande fundamenttyp för bottenfast fundament är idag Monopile.¹³⁸ Utveckling av flytande fundament börjar också bli aktuellt och möjliggör etablering på ännu djupare vatten.

5.1.2 Aktörer

I början av utbyggnaden var det mindre investerare (till exempel privatpersoner och små företag) som investerade i vindkraft. Detta har idag förändrats till stora företag där investmentbolag och kapitalförvaltare står för en större del än energibolag. Vindkraften som har byggts och kommer byggas 2017–2024 uppskattas ha fördelningen av investerare enligt tabell 6.

Tabell 6. Investerargrupper i ny (landbaserad) vindkraft.¹³⁹

Företagstyp	Installerad produktion (TWh)	Andel av total kapacitet (%)
Investmentbolag och kapitalförvaltare	15,1	50
Energibolag	11,4	38
Övrigt	1,9	6
Pensionsbolag	1,6	5
Leverantörer	0,4	1
Totalt	30,3	100

Projektering och installation av havsbaserad vindkraft är relativt kapitalintensiv och är mer komplex än etablering av vindkraft på land. Det betyder att den vindkraft som det projekteras för idag främst drivs av större företag och investerare. I och med att utvecklingen av havsbaserad vindkraft kommit längre i andra länder i vår närhet finns många företag verksamma med internationella kopplingar och erfarenhet av etablering av havsbaserad vindkraft i andra länder.

¹³⁷ Baserat på egen sammanställning baserat på data från webbsidan *Wind Turbine Models*, <https://en.wind-turbine-models.com/>

¹³⁸ Monopiles är stora pälår tillverkat av stål som vindkraftverken monteras på.

¹³⁹ Energimyndigheten, Vindkraft i Sverige, *Energimyndigheten*, <https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/produktion-och-utbyggnad/vindkraft-i-sverige/> (hämtad 23-06-16)

5.1.3 Nuvarande styrning och regelverk

Befintligt regelverk i Sverige

För att få bygga ett vindkraftverk krävs olika tillstånd beroende på projektets storlek. Eventuellt behöver hänsyn också tas till ett antal andra lagar som Miljöprövningsförordningen, Kulturmiljölagen, Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd, Plan- och bygglagen samt Plan- och byggförordningen. Utöver det behöver projektet en nätkoncession enligt ellagen (EIL) för anslutningen till elnätet, vilket prövas av Energimarknadsinspektionen. Storskaliga vindkraftsanläggningar är tillståndspliktiga enligt 9 kap. miljöbalken, vilket prövas av länsstyrelsens miljöprövningsdelegation.¹⁴⁰ I samband med en miljöprövning enligt 9 kap. miljöbalken krävs det dessutom en tillstyrkan av den aktuella kommunen. Kommunen får ändra sitt beslut och behöver dessutom inte ange några skäl för given eller avslagen tillstyrkan.

Vindkraftparker som sattes i drift 2003–2021 tilldelades så kallade elcertifikat.¹⁴¹ Elcertifikatsystemet är ett statligt styrmedel som infördes gemensamt i Sverige och Norge för att ge ytterligare incitament för utbyggnad av förnybar elproduktion. En del av elförbrukarna är kvotpliktiga, vilket innebär att de är ålagda att köpa elcertifikat för en förbestämd kvot av den elen de använder eller säljer. Inkomsterna av försäljning av elcertifikat tillfaller producenterna av förnybar el. Ursprungsgarantier är ett beslätat system där producenten kan ansöka om garantier för den mängd el som denne producerat.¹⁴² Ursprungsgarantier handlas och prissätts på en nationell marknad men om man ansöker om särskilda ursprungsgarantier så kan de även bytas mellan de länder som är anslutna till EECS-standarden.¹⁴³ Elleverantörer kan genom köp av ursprungsgarantier visa vilken produktionskälla som elen de säljer kommer ifrån. Priset på ursprungsgarantier skiljer sig mellan kraftslagen eftersom elen från vissa kraftslag är mer efterfrågad hos slutkonsumenterna än elen från andra kraftslag.

EU – lagstiftning

Lagstiftning inom EU som för närvarande påverkar utbyggnaden av landbaserad vindkraft är bland annat den temporära förordningen om fastställande av en ram för att påskynda utbyggnaden av förnybar energi, även kallad Nödförordningen.¹⁴⁴ I och med Nödförordningen ska förnybar energi antas vara av övervägande allmänintresse i planering, uppförande och drift. Annan lagstiftning som påverkar utbyggnaden av landbaserad vindkraft är den första revideringen av förnybartdirektivet (RED2) som beslutades i december 2018.¹⁴⁵

¹⁴⁰ Energimyndigheten. Stora anläggningar. *Energimyndigheten*. Stora anläggningar (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-08)

¹⁴¹ Energimyndigheten. Elcertifikatsystemet. *Energimyndigheten*. Elcertifikatsystemet (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-08)

¹⁴² Energimyndigheten. Ursprungsgarantier. *Energimyndigheten*. Ursprungsgarantier (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-08)

¹⁴³ EECS: European Energy Certificate System

¹⁴⁴ EUR-Lex. Rådets förordning (EU) 2022/2577 av den 22 december 2022 om fastställande av en ram för att påskynda utbyggnaden av förnybar energi. *Europa*. EUR-Lex - 32022R2577 - EN - EUR-Lex (europa.eu) (Hämtad 2023-06-08)

¹⁴⁵ EUR-Lex. Europaparlamentets och rådets direktiv (EU) 2018/2001 av den 11 december 2018 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor (omarbetning) (Text av betydelse för EES.). *Europa*. EUR-Lex - 32018L2001 - SV - EUR-Lex (europa.eu) (Hämtad 2023-06-08)

Då mycket arbete pågår inom EU med att främja utbyggnaden av förnybar elproduktion ytterligare, kan förutsättningarna för framtida utbyggnad av landbaserad vindkraft se avsevärt annorlunda ut jämfört med idag. Ett sådant arbete pågår exempelvis i och med kommande revideringen av förnybartdirektivet (RED3)¹⁴⁶ och implementeringen av den gröna givens industriplan.¹⁴⁷

Etableringssystem till havs

Till skillnad från andra länder, där anvisningssystem med statlig styrning dominerar, har Sverige idag ett öppet system för etablering av havsbaserad vindkraft där det står projektörer fritt att själva välja ut områden för undersökning och utveckling för ett vindkraftsprojekt. Det gäller såväl inom Sveriges territorialhav som i Sveriges ekonomiska zon. Det finns enbart ett fåtal områden där det finns särskilda föreskrifter som förbjuder anläggning av havsbaserad vindkraft, då oftast av naturvårdsskäl. Sedan februari 2022 finns havsplaner för större delen av Sveriges territorialhav och hela den ekonomiska zonen.¹⁴⁸ De svenska havsplanerna är vägledande vid prövning av nya eller ändrade anspråk i havet. Havsplanernas vägledning är ett bland flera underlag som tillståndsgivande myndigheter tar i beaktande vid beslut om tillstånd. Varje vindkraftsprojekt bedöms separat enligt olika lagstiftningar och det är först inom ramen för den projektspecifika prövningen som beslut om varje områdes slutliga lämplighet för havsbaserad vind, i det projektets form, fattas.

Inom svenskt territorialvatten fattas beslut om tillstånd av mark- och miljödomstolarna och tillstånd beviljas enligt all relevant svensk lagstiftning och EU-lagstiftning. Förutom att det behövs tillstånd för miljöfarlig verksamhet och vattenverksamhet behöver även berörd kommun ge sin tillstyrkan. I svensk ekonomisk zon ger regeringen tillstånd till verksamheter och ingen kommunal tillstyrkan behövs. Vad gäller Natura 2000-tillstånd är det länsstyrelsen i det närmsta länet som är beslutande i ekonomisk zon. I såväl territorialvattnet som i ekonomisk zon behövs även tillstånd enligt kontinentalsockellagen för vissa delar av arbetet med projektering och etablering.

5.1.4 Översyn över liggande förslag och pågående utredningar som kan påverka förutsättningarna

Regionala analyser

I *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*³⁵ föreslogs att regionala analyser för bättre regional och kommunal planering för vindkraft skulle genomföras. Då inga medel tillsattes för att länsstyrelserna ska kunna genomföra analyserna, så har det arbetet ännu inte påbörjats. Länsstyrelsen i Värmland och Dalarna genomför för närvarande ett pilotprojekt tillsammans med Energimyndigheten, där även Försvarsmakten är direkt

¹⁴⁶ European Commission. European Green Deal: EU agrees stronger legislation to accelerate the rollout of renewable energy. *European Commission*. 2023. Accelerate the rollout of renewable energy (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁴⁷ Europeiska kommissionen. Industriplanen för den gröna given. *Europeiska kommissionen*. Industriplanen för den gröna given (europa.eu) (Hämtad 2023-06-02)

¹⁴⁸ Havs- och Vattenmyndigheten, *Havsplaner för Bottniska viken, Östersjön och Västerhavet*, <https://www.havochvatten.se/vagledning-foreskrifter-och-lagar/vagledningar/havsplaner.html>

involverad.¹⁴⁹ Pilotprojektet syftar till att stärka planeringen av vindkraft i länen och utreda samexistens med andra intressen, bland annat inom det lågflygningsområde som sträcker sig över betydande delar av länen.

Incitament och kommunal tillstyrkan

Den statliga utredningen *Värdet av vinden – Kompensation, incitament och planering för hållbar fortsatt utbyggnad av vindkraften* redovisades den 27 april 2023.¹⁵⁰ Utredningen undersökte olika incitament med målet att öka lokal och kommunal acceptans av vindkraft. I utredningen presenterades olika förslag, bland annat en rätt till inlösen för närliggande fastigheter, en rätt till intäktsdelning för närboende samt finansieringsvillkor i kommunens tillstyrkan. Utredningen föreslog även att kommunernas planering av vindkraft i högre grad ska ingå i deras energiplanering. För att uppnå detta föreslås Energimyndigheten ta fram en tydliggörande vägledning för tillämpning av lagen om kommunal energiplanering. Det föreslås också att kommunerna tillförs ett tillfälligt ekonomiskt stöd för att stärka kommunernas förmåga för energiplanering. Utredningens slutsats var dock att tillräckliga incitament för att väsentligt öka kommunernas tillstyrkan endast kan åstadkommas genom en intäkt till kommunen i form av en statlig finansiering eller beskattning. Något sådant förslag kunde dock utredningen inte föreslå på grund av givna utredningsdirektiv.

Ett förslag som, om det skulle tas upp igen, skulle kunna ha stor påverkan på förutsättningarna för utbyggnaden av landbaserad vindkraft är införandet av ett tidigt kommunalt ställningstagande till vindkraft. Detta är ett förslag som presenterades i Energimyndighetens och Naturvårdsverkets arbete *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*¹⁵¹ samt i utredningen *En rättssäker vindkraftsprövning*.¹⁵²

Pågående utredningar och processer avseende havsbaserad vindkraft

Den 4 maj 2023 tillsatte regeringen utredningen *En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft*.¹⁵³ Syftet med utredningen är att ge förslag på förändringar i dagens system för prövning som förutsättningar för en ökad utbyggnad av havsbaserad vindkraft. Resultatet av utredningen kan potentiellt innebära stora förändringar för det svenska etableringssystemet för havsbaserad vindkraft. Det pågår också ett arbete med att uppdatera de svenska havsplanerna¹⁵⁴ där förslag till uppdaterade havsplaner kommer i december 2024. Uppdateringen har fokus på att öka antalet energiområden i havsplanerna och möjliggöra för ytterligare 90 TWh elproduktion.

¹⁴⁹ Energimyndigheten. Regional analys för att utreda potential för vindkraft i Dalarnas och Värmlands län. *Energimyndigheten*. Regional analys för att utreda potential för vindkraft i Dalarnas och Värmlands län (energimyndigheten.se) (Hämtad 2023-06-08)

¹⁵⁰ Regeringskansliet (2023) *Värdet av vinden*, SOU 2023:18

¹⁵¹ Energimyndigheten (2021), *Nationell strategi för en hållbar vindkraft*, ER2021:20

¹⁵² Regeringskansliet (2021), *En rättssäker vindkraftsprövning*, SOU 2021:53

¹⁵³ Direktiv 2023:61 En ordnad prövning för vindkraft. Kommittédirektiv 2023:61 En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft (regeringen.se)

¹⁵⁴ Uppdatering havsplanerna med nya områden för energiutvinning. Havsplanerna ändras för att möta ökat elbehov – Havsplanering – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se)

Sverige befinner sig för närvarande i en process med ansökan för medlemskap i NATO. Oavsett utfall av processen är det rimligt att anta att det kommer medföra förändrade förutsättningar för vindkraftsutbyggnad i svenska vatten. Detta ska också ses i ljuset av rådande säkerhetspolitiskt läge och Sveriges geografiska läge med lång kuststräcka i Östersjön.

Det pågår även ett arbete kring ökade ambitioner inom naturvård och områdesskydd i havet. Beroende på utfallet inom detta arbete och hur synen på vindkraftens miljöpåverkan och möjligheten till samexistens med naturvård utvecklas kan det medföra nya förutsättningar och begränsat handlingsutrymme för etablering av vindkraft. Bland annat har länsstyrelserna gett förslag på nya SPA-områden (special protection areas för fåglar enligt EU:s artdirektiv), med utgångspunkt i marina IBA-områden (Important bird and biodiversity areas).¹⁵⁵ Vidare finns det höjda ambitioner avseende marint områdesskydd där 30 procent av havet ska ha ett skydd varav 10 procent ska vara strikt skydd.

5.2 Hindersanalys

Här beskrivs kortfattat de mest väsentliga hindren för en utbyggnad av landbaserad och havsbaserad vindkraft. Beskrivningarna gäller i stort sett både vindkraftverk på nya platser och generationsväxlingsprojekt.¹⁵⁶ Under det senaste året har även flera andra aktörer publicerat rapporter om hinder för utbyggnad av vindkraft, till exempel Svenskt Näringsliv "Startprogram för ny vindkraft"¹⁵⁷ eller Energikontor Syd "Fånga vinden i Sydost – Hinder och förslag på lösningar".¹⁵⁸ Det finns flera likheter mellan de huvudsakliga hindren i olika arbeten och samma gäller hindren som beskrivs här.

Landbaserad vindkraft

Landbaserad vindkraft har under senare år stått för ett betydande tillskott av ny elproduktion till det svenska elsystemet. Det finns fortsatt stor outnyttjad potential för en fortsatt kraftig expansion av vindkraft på land då Sverige har relativt stor landyta och är glesbefolkat. Den förhållandevis korta etableringstiden, inarbetade arbetssätt, låga kostnader och ett stort antal projekt i olika faser i etableringsprocessen gör att landbaserad vindkraft i närtid kommer vara ett kraftslag som har potential att fortsätta bidra med ny elproduktion.

För att i ett längre tidsperspektiv möjliggöra en fortsatt hög utbyggnadstakt av landbaserad vindkraft finns det hinder som behöver hanteras. Under senare år har det kommunala vetot växt fram som det största enskilda hindret för ny vindkraft. Det kommunala vetot behöver förändras för att bli mer förutsägbart men lika viktigt är att stödja kommunerna

¹⁵⁵ Regeringsuppdrag om att göra fördjupad bedömning av vissa områdens betydelse för bevarandet av fåglar enligt fågeldirektivet (dnr M2021/01160)

¹⁵⁶ Det gäller i synnerhet de vindkraftverk som kommer generationsväxlas först. Dessa verk är mindre och storleksskillnaden (vid ersättning) till nyare vindkraftverk blir då särskilt stor.

¹⁵⁷ Svensk Näringsliv (2023), *Starprogram för ny vindkraft*, https://www.svensktnaringsliv.se/sakomraden/hallbarhet-miljo-och-energi/startprogram-for-mer-vindkraft_1197715.html (hämtad 23-04-03)

¹⁵⁸ Energikontor Syd, *Fånga vinden i Sydost – Vindkraftsetablering i sydost – hinder och förslag på lösningar 2021*, <https://energikontorsydost.se/l/projekt/45491> (hämtad 23-06-12)

i frågor kring energiomställning och vindkraft. Eftersom det inte finns någon enskild orsak till att kommuner använder sitt veto behöver åtgärderna adressera olika aspekter. Energimyndigheten ser en stor potential i att stärka kommunerna samt länsstyrelser och regioner genom att:

- Stärka förmågan till energiplanering genom vägledning och delvis ekonomiska planeringsstöd för energiplanering och utveckling av mellankommunala samarbeten kring elförsörjning.
- Ge länsstyrelser och regioner förutsättningar att tillhandhålla planeringsunderlag och regionala underlag för vindbruksplanering samt att utveckla regionala samarbeten kring behov av att stärka elförsörjningen
- Kompetenshöjning och kunskapsstöd kring vindkraften som en förutsättning och möjliggörare för regional utveckling samt konsekvenser av utebliven utbyggnad av elproduktionen.

En fortsatt utbyggnad av landbaserad vindkraft kommer kräva ett arbete kring att utveckla samexistenslösningar med andra intressen och annan markanvändning. Det kan även innebära att existerande verksamheter behöver anpassa sig efter nya förutsättningar med ett större inslag av vindkraft. En fortsatt utbyggnad av vindkraft innebär att mer av intressekonflikterna blir aktuella, till exempel kring förändringar av landskapet. Här har politiken ett ansvar för att göra avvägningar om elektrifieringen ska vara möjlig. Vad gäller utveckling av samexistenslösningar är det särskilt viktigt med arbete avseende:

- Vindkraft och totalförsvarets militära del och hur vindkraft kan utvecklas utan att försvarsförmågan försämras.
- Undersöka och utveckla arbetssätt för konstruktiva lösningar avseende vindkraft och renskötsel för att möjliggöra vindkraft samtidigt som renskötselns behov kan tillgodoses och dess förutsättningar inte försämras.

Omkring 2030 kommer det bli alltmer aktuellt med generationsväxling av existerande vindkraft. Att nyttja befintlig infrastruktur på redan etablerade platser möjliggör en resurseffektiv modernisering av elsystemet och bör kunna genomföras effektivare än om motsvarande ny elproduktion ska etableras. Det är därför nödvändigt att generationsväxling kan genomföras med förenklade tillståndsprocesser och ha företräde gentemot andra intressen.

Havsbaserad vindkraft

Den havsbaserade vindkraften är en nästintill outnyttjad potential i Sverige. Men likt vindkraften på land finns det många projekt under utveckling, där flertalet projekt är långt gångna. En realisering av en stor andel av dessa projekt har potential att bidra med stora volymer ny elproduktion redan till 2030, inte minst i södra Sverige. I och med att havsbaserad vindkraft i stor omfattning är nytt för Sverige kommer andra verksamheter i havet till exempel sjöfart, fiske och försvar behöva anpassa sig till de nya förhållanden som vindkraften medför. För att tillvarata den potential som havsbaserad vindkraft erbjuder är det nödvändigt att:

- Ta vara på möjligheter till samexistens och konkret arbeta med samexistenslösningar för anpassningar hos vindkraften och berörda intressen.
- Ha stark prioritering av energiintresset i havet vid politiska avvägningar.

Gemensamt för både vindkraft på land och till havs är konflikter i ytanspråk mellan olika legitima samhällsintressen. Lösningar för samexistens behöver utvecklas och nyttjas där det går men till slut kommer det behövas avvägningar mellan intressen för att möjliggöra för mer vindkraft. Ett viktigt verktyg för att möjliggöra havsbaserad vindkraft är att Sverige arbetar med mer styrande planeringsförutsättningar i havet och anpassade effektiva processer för etablering av havsbaserad vindkraft i Sverige.¹⁵⁹

5.2.1 Ytanspråk och andra intressen

Vindkraften tar plats i landskapet och påverkar andra intressen utanför själva etableringsområdet, både när det kommer till landbaserad och havsbaserad vindkraft.

Vindkraftens markanvändning

Kraftproduktionen från landbaserad vindkraft är geografiskt utspridd på många platser och kraftverken är numera de högsta objekten i Sverige.¹⁶⁰ Det leder till en hög synlighet och ytanspråket kan leda till en potentiell påverkan på andra samhällsintressen. Vindkraftens markanvändning kan definieras på olika sätt. På platserna där det byggs vindkraftverk förändras markanvändningen ”direkt” i form av fundament och infrastruktur (såsom vägar, kranplatser, elnät, ställverk). Utöver den direkta påverkan har vindkraftverk även en påverkan på olika intressen inom ett område som är betydligt större än den ovannämnda ”direkta” påverkan. Till exempel på natur- och fågellivet, närboende (i form av ljus och buller samt förändring av utsikt och närmiljön) eller renskötseln. Det är ofta svårt att uppskatta storleken av dessa indirekta påverkansområden, bland annat för att påverkansområdets storlek skiljer sig beroende på vilket intresse som berörs.

Begrepp för att beskriva markanvändning:

Parkområde: Området som intas av en vindkraftpark, det vill säga inklusive ytan mellan vindkraftverken. Förenklat kan man tänka sig en kvadrat runt vartenda vindkraftverk där kantlängden motsvarar avståndet mellan vindkraftverken. Detta mått är framför allt nyttigt när man vill uppskatta större parker eller vindkraften inom ett elområde eller hela Sverige.

Direkt påverkan: Ytan som intas av fasta installationer. Inom vindkraftparken handlar det huvudsakligen om vägar, fundament och kranplatser. Denna del uppgår till ungefär 3–5 procent av parkområdet. Inom och utanför vindkraftsparken tillkommer elnätsinfrastruktur.

Påverkansområde: Området där vindkraftparken har påverkan på annan markanvändning eller andra intressen. Påverkansområdet kan vara mindre (till exempel för jord-, eller skogsbruk) eller större (till exempel vindkraftverkens synlighet, skuggor eller buller) än parkområdet.

¹⁵⁹ Initiativ till detta har redan tagit genom *Uppdrag om nya områden för energiutvinning i havsplanerna* (M2022/00276) och *En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft* (Kommittédirektiv 2023:61)

¹⁶⁰ Med undantag av TV-master. Huvuddelen av vindkraftverken driftsatt 2022 var 200 m hög vilket kan jämföras med höghuset ”Turning Torso” i Malmö på cirka 190 m.

Den ökade markanvändningen och påverkan av vindkraften i landskapet visar sig bland annat i lokal opinionsbildning och kan resultera i målkonflikter. Målkonflikterna med andra intressen riskerar att vara ett hinder för vindkraftsutbyggnaden på land. Nedan ges exempel på de huvudsakliga intresseområden som kan bli påverkade av vindkraft. Att bedöma storleken på påverkansområden är som tidigare nämnt vanskligt och kan inte göras generellt per intresseområde. Lokala förhållanden och landskapets beskaffenhet i övrigt har betydande påverkan på den faktiska påverkan och förutsättningar för samexistens. Följande beskrivningar är således korta och övergripande, vidare kunskapsunderlag länkas till i fotnoter. Vidare är det inte bara själva vindkraftverken som ger en påverkan utan även tillhörande infrastruktur som elnät eller vägar. Mycket kunskapsunderlag togs fram i samband med en *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*.¹⁶¹

- **Renbete** – Vindkraftverk men även vägar till vindkraftverken innebär fysiska hinder för ren och kan leda till att renar undviker (de vanliga) betesområden inom vindkraftparkerna. Det kan öka arbetsbelastningen inom renskötseln. Vindkraftens markanspråk avseende renbete är således mycket större än bara de fasta installationerna inom vindparken.¹⁶²
- **Ostörd miljö/friluftsliv** – Vindkraftverk kan ses och höras på relativt långt håll och kan på så sätt påverka en ostörd miljö och friluftsliv inom ett område. Vindkraftens markanspråk är således mycket större än bara fasta de installationerna inom vindparken.¹⁶³
- **Människor och närboende** – Buller och skuggning från vindkraftverk har störst påverkan på människor och närboende, men även utblick på vindkraftverk från bostäder kan upplevas som störande. Beroende på landskapets karaktär och vindkraftverkens placering kan verken synas och höras på långt håll. Vindkraftens påverkansområde kan således vara större än parkområdet.
- **Försvarsintressen** – Påverkan kan skilja sig mellan olika intressetyper och är svårt att bedöma för en utomstående. Det kan till exempel handla om en påverkan på öppna och hemliga riksintresseområden¹⁶⁴ för totalförsvarets militära del men även på till exempel radiolänkar.
- **Naturvärden/naturvård** – Påverkan kan skilja sig mycket beroende på landskapets karaktär och befintliga arter i området. Vindkraftsetablering kan leda till habitatförlust för olika arter¹⁶⁵ där olika arter är olika känsliga. Påverkan sker till exempel på grund av förändrad markanvändning i samband med tillkommande infrastruktur eller på grund av buller under anläggnings- och driftsfasen. Påverkansområdet kan skilja sig mycket men kan bli mycket större än parkområdet (till exempel för flyttfåglar).

¹⁶¹ Energimyndigheten, Naturvårdsverket (2021), *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad* (ER2021:02). Underlagsrapporten finns att hämta på Naturvårdsverkets (Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad (naturvardsverket.se)) och Energimyndighetens (Strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad (energimyndigheten.se)) hemsida.

¹⁶² Vindval, Sametinget (2021), *Renar, renskötsel och vindkraft – Rapport 7011*

¹⁶³ Naturvårdsverket (2022), ”Tematiskt planeringsstöd – Friluftsliv”, <https://www.naturvardsverket.se/49c698/contentassets/9e2f9d4b51e24d3fbc9b68d09bfb16e0/tematiskt-planeringsstod-naturvarden-artskydd-och-skyddade-omraden-20220401.pdf>

¹⁶⁴ Riksintressen på FMs hemsida: Riksintressen – Försvarsmakten (forsvarsmakten.se). Studie om samverkan mellan försvarsmakt och vindkraft.

¹⁶⁵ Vidare kunskapsunderlag i tematiskt planeringsstöd tillhörande vindkraftsstrategin: Naturvårdsverket (2022), Tematiskt planeringsstöd Naturvärden, artskydd och skyddade områden. tematiskt-planeringsstod-naturvarden-artskydd-och-skyddade-omraden-20220401.pdf (naturvardsverket.se)

- **Kulturmiljö och landskapsbild** – Påverkan är svårt att uppskatta och kan skilja sig mycket. Olika miljöer och landskapstyper påverkas på olika sätt av exploatering av höga objekt. Inom känsliga områden kan påverkansområden vara mycket större än vindkraftsparkens utbredning.¹⁶⁶
- **Skogs- och lantbruk** – Påverkan är i stort sett begränsad till de fasta installationerna inom vindparken där det inte kan ske någon odling eller att skogen kan avverkas. Infrastruktur (vägar) kan användas tillsammans med båda näringar.

Oberoende av hur man mäter markanvändning och påverkan är det en fråga hur mycket av Sveriges yta som ska användas för elproduktionsändamål och hur stor påverkan på andra intressen som kan tillåtas.

Ytanspråk till havs

En kraftig utbyggnad av havsbaserad vindkraft innebär att vindkraften kommer ta plats i havet. Samtidigt finns det många existerande intressen på plats som vindkraften behöver samexistera med. I arbetet med att identifiera nya energiområden för havsplanerna¹⁶⁷ framkom det tydligt att det finns få områden i havet som är helt konfliktfria. I och med att havsbaserad vindkraft i stor skala är ett nytt inslag i användningen av våra hav kommer det behövas anpassningar och lösningar för samexistens. Exempelvis fiske, naturvård, försvar och sjöfart har stora ytanspråk men även kulturmiljö och friluftsliv kan bli påverkat i områden nära kusten. Anpassningar och samexistenslösningar kommer behövas vilket betyder att existerande användning av havet behöver anpassa sig till nya förutsättningar. Här finns en inneboende tröghet och samtidigt behöver det utvecklas regelverk och lösningar för samexistens mellan olika intressen. Detta kommer vara en nyckel för att skapa möjligheter till nya etableringar.

En anledning till att det är svårt att lösa ut intressekonflikter är efterfrågan på mer kunskap om påverkan från vindkraften, innan olika intressen vill ta ställning till en specifik utbyggnad. De största osäkerheterna bedöms vara kopplade till försvarets, naturvårdens, kulturmiljövårdens, samt sjöfartens intressen. Osäkerhet och efterfrågan på kunskapsunderlag är naturligt när det handlar om implementering av ny teknik under snabb utveckling att det kommer finnas ett visst mått av osäkerhet kring exempelvis påverkan på andra intressen och värden. En mycket viktig del i kunskapsuppbyggnaden ligger i att pröva, utvärdera och dra erfarenheter av utbyggnad.

5.2.2 Tillgång till ytor och tillståndsgivna projekt

En viktig faktor som påverkar förutsättningarna för utbyggnad av vindkraft är tillståndprocessen. Utöver tillståndprocesser för all utbyggnad av vindkraft i framtiden så finns även behov av förnyade tillstånd (anpassad till teknikutvecklingen) för generationsväxling på i princip all vindkraft som finns idag innan 2045, eller om detta inte är möjligt, nya tillstånd på nya platser. Vindkraftens ytanspråk och målkonflikter mellan samhällsintressen som nämndes i tidigare avsnitt kan begränsa förutsättningarna att få tillstånd.

¹⁶⁶ Riksantikvarieämbetet (2021), "Tematiskt planeringsstöd – Kulturmiljö", VindkraftKulturmiljö20.docx (live.com)

¹⁶⁷ Enerimyndigheten (2023), *Förslag på lämpliga energiutvinningsområden för havsplanerna*, ER2023:12

Innan ett vindkraftsprojekt kan förverkligas måste det gå igenom ett antal steg, där framgång i alla steg är förutsättning för att ett projekt kan bli av:

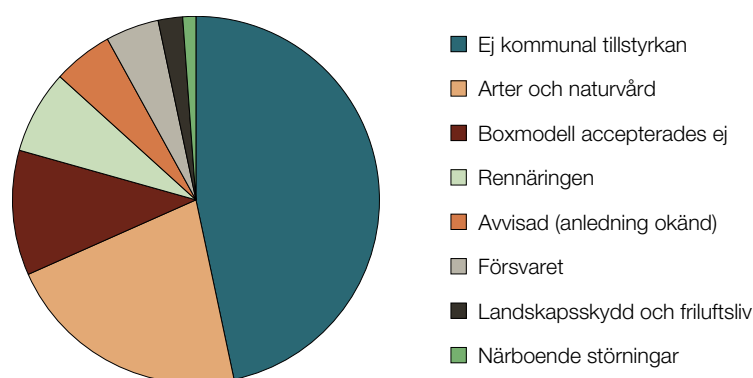
1. Tidig projektering: Bedömning av grundläggande förutsättningar, vind, elnät, motstående intressen.
2. Samråd med berörda parter och myndigheter
3. Tillståndsansökning och prövning
4. Finansiering och investeringsbeslut
5. Byggnation och driftsättning

I varje steg finns det projekt som inte går vidare till nästa steg. Antalet projekt som befinner sig i tidiga skeden behöver därför vara fler än antalet projekt som får tillstånd eller slutligen förverkligas.

Både innan och efter tillståndsprövningen kan det falla bort projekt av olika anledningar, exempelvis negativa signaler från kommunen som gör att en aktör väljer att inte gå vidare med ett projekt. På så sätt blir det färre projekt som påbörjas och slutligen lämnar in en tillståndsansökan. Samtidigt nyttjas inte alla givna tillstånd av olika anledningar, till exempel en för låg höjdbegränsning i tillståndet som gör att en aktör väljer att inte gå vidare med ett projekt. Om för få projekt får tillstånd kommer det leda till att utbyggnaden av vindkraft på sikt stannar upp.

Avslagsanledningar i tillståndsprocessen

En mer djupgående analys av tillståndsprocesserna och anledningar till avslag finns i *Vindkraftens tillstånd 2021*.¹⁶⁸ Rapporten består av en statistisk analys av tillståndsansökningar gällande vindkraftverk och en kapitelvis sammanfattning av olika problem samt anledningar varför tillstånd inte ges och förslag på hur detta skulle kunna ändras. Nedan presenteras de vanligaste anledningarna till avslag, se figur 13. Rapporten fokuserar på avslagsanledningar i slutligt avgjorda tillståndsansökningar och exkluderar därmed anledningar och potentiella hinder som har påverkan utanför tillståndsprocessen, exempelvis lokalt motstånd eller försvarets riksintresseområden som gör att projektörer undviker olika områden.



Figur 13. Avslagsanledningar för vindkraftverk avgjorda mellan 2014 och 2021. Fördelat efter antal vindkraftverk.

Källa: Energimyndigheten (2022)¹⁶⁹

¹⁶⁸ Energimyndigheten (2022), *Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30*, ER2022:16

¹⁶⁹ Ibid

Kommunal tillstyrkan

För att få tillstånd enligt miljöbalken behöver vindkraftsprojekt som klassas som ”stora anläggningar” (fler än ett verk över 150 m eller fler än sex verk över 120 m) tillstyrkan från den berörda kommunen. Siffrorna visar på att det blivit svårare över tid att få kommunal tillstyrkan för vindkraftsprojekt. Andelen vindkraftsprojekt som fick eller inte fick kommunal tillstyrkan svänger mycket från år till år. Däremot var avsaknad av kommunal tillstyrkan den vanligaste anledningen till att vindkraftsprojekt inte fick tillstånd 2014–2021, vilket framgår av figur 13.¹⁷⁰

Energimyndigheten och Naturvårdsverket gav i en *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad*¹⁷¹ ett förslag för en förändrad kommunal tillstyrkan (16 kap. § 4 miljöbalken). Förslaget innebär att tillstyrkan ska ske tidigt och därefter inte kunna ändras samt att tydliggöra vad kommunerna ska ta ställning till. Det innebär även att kommunal tillstyrkan ska bli en förutsättning för att ett vindkraftsärende tas upp för vidare prövning (tidigare tillstyrkan) och att kommunens ställningstagande endast ska avse mark- och vattenanvändningen. Fördelen med det förändrade förfarandet bedömdes vara att en större del av projekten som tas upp till prövning kan beviljas och olämpligt placerade projekt väljs bort tidigt. Färre tillståndprocesser som avslås och inte leder till realiserbara projekt underlättar för tillståndsmyndigheterna att hålla takt med utbyggnadstakten somt krävs. Samtidigt besparar det resurser hos både projektörer och myndigheter.

En proposition om ett tidigt kommunal ställningstagande¹⁷² togs upp i riksdagen 2022 men fick avslag. Den offentliga utredningen *Värdet av vinden*¹⁷³ undersökte olika incitament med målet att öka lokal och kommunal acceptans för vindkraft, detta tas upp mer i avsnitt 3.1.4.

Naturvård

Enligt *Vindkraftens tillstånd 2021*¹⁷⁴ är arter och naturvård den näst största orsaken till avslag. Detta är den vanligaste avslagsanledningen i elområde 4 vilket förklaras av att mark- och vattenanvändningen redan är hög där. Därför blir miljöer med liten mänsklig närvaro (där vindkraftsprojekt ofta etableras) särskilt viktigt för skyddsvärda arter, vilket leder till en hög konfliktgrad. Avslag relaterade till Naturvärden skiljer sig mellan rättsliga instanser, där Miljöprövningsdelegationerna avslog 12 procent och Mark och miljödomstolen 48 procent. Detta bidrar till osäkerheter i tillståndprocessen. Det finns en inneboende målkonflikt i avvägning mellan påverkan på natur- och artskydd på lokal nivå och nyttor av elproduktion från vindkraft som nyttjas i hela Sverige.

Försvarsmakten

Försvarsmaktens intressen kan utgöra ett hinder både för nya vindkraftsprojekt och vid generationsväxling. Försvarsmakten har idag bland annat ett antal öppna riksintressen som kan försvåra för vindkraftsetablering och generationsväxling inom dessa områden.

¹⁷⁰ Ibid

¹⁷¹ Energimyndigheten, Naturvårdsverket (2021), *Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad* (ER2021:02)

¹⁷² Proposition 2021/22:210, *Tidigt kommunalt ställningstagande till vindkraft*

¹⁷³ *Värdet av vinden*, SOU 2023:18

¹⁷⁴ Energimyndigheten (2022), *Vindkraftens tillstånd 2021 – Analys av statistik över tillståndsgivna och icke tillståndsgivna vindkraftverk 2014-01-01 – 2021-06-30*, ER2022:16

Det handlar om 12 klasser av intresseområden, dessa består av olika enskilda ytor som kan vara olika i storlek. Olika intressen kan också överlappa varandra där är överlappningsgraden kan vara hög (till exempel för ”områden med särskilt behov av hindersfrihet” och ”påverkansområde för buller eller annan risk”). De ytmässigt största intressena, ”Påverkansområde väderradar”, ”MSA-områden¹⁷⁵” och ”Lågflygningsområden med påverkansområde” täcker var för sig mer än 10 procent av Sveriges yta.

Medan specifika ”stoppområden för vindkraftverk” täcker förhållandevis små ytor finns det andra intressen som täcker större ytor som kan ha en direkt påverkan på möjligheten att uppföra höga objekt. Intresseområden ”påverkansområden för väderradar”, ”MSA-områden” kring flygplatser, ”lågflygningsområden”, ”områden med särskilt behov av hindersfrihet” och ”stoppområden för höga objekt” tyder på en påverkan av höga objekt. Dessa fem de riksintresseområden täcker betydliga delar av Sveriges yta (mellan 6 och 23 procent) och det finns idag vindkraftverk inom alla dessa områden.

Vindkraftens påverkan på totalförsvaret är inte begränsat till Försvarmaktens öppna intressen utan berör även hemliga intressen vilket det som projektör är svårt att ta hänsyn till. Hemliga intressen är även svåra att hantera i planerings- och tillståndsprocesser som ska vara öppna och tillgängliga för allmänheten. Det försämrar förutsättningar för vindkraftsutbyggnaden genom sämre förutsägbarhet i tillståndsprocessen. Utöver öppna och hemliga försvarsintressen kan vindkraften påverka annan infrastruktur, till exempel radiolänkar. I rapporten *Möjligheter till samexistens mellan Försvarmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*¹⁷⁶ finns det omfattande beskrivningar på utmaningar tillsammans med möjliga lösningar. I rapporten identifieras åtta olika problemområden kring samexistens mellan vindkraft och Försvarmaktens verksamhet: Försvarmaktens tekniska system, lågflygningsområden, hinderbelysning på kraftverk, specifika problemområden (bland annat generationsväxling i stoppområden), svårigheter att föra dialog (bland annat kring hemliga intressen), brister i tillståndsprocessen, brister i planeringsprocessen och villkorade tillstånd.

Renskötsel

Även renskötsel står för en del av avslagen för tillstånd. Renskötsel är beroende av stora arealer med en sammanhängande kontinuitet för renens förflyttningar. Det gör att vindkraft kan ha en betydande påverkan på detta intresse. Riksintresset *Rennäring* täcker över 19 procent av Sveriges yta.¹⁷⁷ Riksintresseområden ligger nästan uteslutande i elområde 1 och 2 där de täcker över 33 procent av den totala ytan. Området består av kärnområden och flyttleder som länkar ihop kärnområden. På så sätt täcks inte bara en stor andel av ytan i norra Sverige utan är även utspridd över områden norr om och inklusive Jämtland och Västernorrland.

¹⁷⁵ Minimum safety altitude (MSA) avser områden där det finns fastställda höjder för högsta tillåtna objekt

¹⁷⁶ Försvarets forskningsinstitut. *Möjligheter till samexistens mellan Försvarmaktens verksamhet och utbyggd vindkraft*. <https://www.foi.se/rest-api/report/FOI-R--5293--SE> (hämtad 03-03-2022)

¹⁷⁷ Inklusive sjöar och vattendrag

Långa ledtider för tillstånd

Ett stort hinder för en storskalig utbyggnad av vindkraft är att det riskerar att uppstå långa ledtider i olika steg av utvecklingen. Detta gäller i nuläget främst för tillståndsprcessen. Alla myndigheter som idag är involverade i tillståndsprcesser kopplade till vindkraft, kanske framför allt havsbaserad, är kraftigt överbelastade med hantering av alla tillstånds-ärenden. Bättre planering kan bidra till att underlätta men ofta är det samma resurser som krävs varför det är svårt att hinna med det proaktiva planeringsarbetet.

5.2.3 Regelverk i det svenska etableringssystemet till havs

Svenska regelverket kring offshoreverksamhet är outvecklat. Det är en stor mängd olika tillstånd som krävs från flera olika myndigheter och förutsättningarna ser olika ut i olika delar av havet. Det saknas idag också en entydig lösning på den viktiga förutsättningen hur det ska ges exklusivitet till en verksamhetsutövare för ett avgränsat område till havs. Det finns stor potential till förbättringar, se exklusivitetsuppdragets förslag M2022/00768.¹⁷⁸ Det gäller även frågan om att se över kontinentalsockellagen utifrån dagens förhållanden så att den inte riskerar att hämma den gröna omställningen, vilket Sveriges geologiska undersökning uppmärksammat i en hemställan till regeringen.¹⁷⁹ Utredningen *En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft*¹⁸⁰ som ska vara klar i juni 2024 har som mål att analysera regelverket i det svenska etableringssystemet till havs och hur tillståndsprövningen av vindkraft i ekonomiska zonen kan bli mer effektiv och tydlig.

Svenska öppen-dörr modellen har fördelen att det ger stor frihet för marknadens aktörer och det är ett system med hög grad av transparens. Nackdelen är att den övergripande styrningen är begränsad. När avvägningar mellan olika intressen är komplexa finns en risk att den övergripande styrningen mot samhällets mål inte uppnås. Dagens planering av havet är endast rådgivande och avvägningarna mellan olika intressen är därmed inte absoluta. Detta medför ett mått av osäkerhet även för områden utpekade för energitvinning. Mot bakgrund av klimat- och energiomställning och ett snabbt växande behov av ny elproduktion kan det finnas ett behov av att ge energiproduktion en prioriterad ställning i samhällets planering och att en kraftig utbyggnad kan behöva ske på bekostnad av och anpassning hos andra intressen. Sådana avvägningar skulle i så fall behöva göras på en politisk nivå.

Införandet av ett anvisningssystem, som används i de länder som idag har en omfattande utbyggnad av havsbaserad vindkraft, kan vara en alternativ väg för att säkerställa tillgång till lämpliga ytor där intressekonflikterna redan är avvägda. Fördelarna med ett anvisningssystem är bland annat att det ger ökad förutsägbarhet för både staten och projektörer; bättre förutsättningar att implementera samexistenslösningar för Försvarsmakten men även för andra samhällsintressen; synkronisering med utbyggnad av elnät; möjlighet att hantera och bedöma kumulativa effekter på andra intressen; exklusivitet till ett område följer med anvisningen.

¹⁷⁸ Uppdrag att utreda frågor om exklusivitet för anläggande av vindkraftsparker i allmänt vatten och i Sveriges ekonomiska zon, Havs- och vattenmyndigheten, 01393-2022

¹⁷⁹ Sveriges geologiska undersökning dnr 324-2765-2022, Hemställan om översyn av kontinentalsockelregleringen, 2022-11-29

¹⁸⁰ Direktiv 2023:61 En ordnad prövning för vindkraft. Kommittédirektiv 2023:61 En ordnad prövning av havsbaserad vindkraft (regeringen.se)

5.2.4 Lönsamhet och ekonomiska förutsättningar

För att projektera och slutligen investera i vindkraftsprojekt behöver en projektör se lönsamhet i ett vindkraftsprojekt. Försäljning av el är den huvudsakliga intäktskällan. Elförsäljningen kan ske på olika sätt, idag är det vanlig med PPA (power purchase agreements, långsiktiga fastprisavtal) där ägaren av ett vindkraftsprojekt sålt elproduktionen i förväg. En vindkraftsägare som sålt all sin produktion i förväg till ett fast pris är inte utsatt för marknadspriset. Den generella prisnivån för PPA:er grundar sig på det förväntade marknadsvärdet av vindkraftselen i framtiden (anpassar sig alltså till marknadspriserna över tid). Detta avsnitt fokuserar därför på elens värde på spotmarknaden.

Vindkraft har ingen marginalkostnad eftersom det inte finns något insatt bränsle och energin kan inte lagras i ett vindkraftverk. I dagens elmarknadssystem och merit-order principen¹⁸¹ leder detta till att vindkraftsaktörer i stort sett måste acceptera marknadspriset på spotmarknaden (eller på långsiktigare finansiella marknader). Stora mängder vindkraftsproduktion för med sig att andra, dyrare, kraftslag trängs undan och elpriset sjunker.

Sambandet mellan elpris och variabel elproduktion från vindkraft leder till att värdet av vindkraftsproduktion på elmarknaden är lägre än snittpriset eller det som andra kraftslag (som kan styra sin produktion) får.¹⁸² Investeringar i vindkraft försvåras om det långsiktigt förväntade marknadsvärdet och därmed även prisnivåer på långsiktiga köpeavtal (till exempel PPA) sjunker under vindkraftens kostnader sett till både drift och investeringskostnader (LCOE¹⁸³). Om lönsamheten i vindkraftsprojekt försämras för projektörer och investerare blir investeringsviljan lägre och utbyggnaden bromsar in.

Energilager och en ökad elanvändning som är flexibel och kan anpassa sig i viss mån till elpriser (och därmed intermittenta kraftlags produktion) kan jämna ut variationerna i elpris. Flexibilitet skulle på det sättet öka marknadsvärdet av elproduktion från vindkraft och minska risken för vindkraftsprojekt framöver. Omvänt skapar också variabel elproduktion incitament för flexibilitet. Förutom försäljning av den producerade elen kan även andra intäktskällor såsom från leverans av stödtjänster bli mer vanlig i framtiden och bidra till en ökad inkomst för vindkraften.

Kostnaderna för havsbaserad vindkraft har sjunkit

Den snabba tekniska utvecklingen och att mycket etablering har gjort att kostnaderna för att bygga havsbaserad vindkraft snabbt gått nedåt. Elproduktionskostnaderna för havsbaserad vindkraft bedöms fortfarande vara högre än för landbaserad vindkraft, men skillnaden minskar och för specifika platser med goda förutsättningar bedöms konkurrenskraftiga kostnader vara inom räckhåll. De flesta scenarier som gjorts över det framtida elsystemet i Sverige och Norden där modellerna har fått välja de mest konkurrenskraftiga lösningarna utifrån givna förutsättningar visar att havsbaserad vindkraft kommer att spela betydande roll. Sammantaget bedöms det finnas goda förutsättningar för en marknadsbaserad utbyggnad av havsbaserad vindkraft i Sverige.

¹⁸¹ Merit-order principen innebär att ordningen i den kraftverk ska användas för att täcka efterfrågan beror på deras marginalkostnad för att producera el.

¹⁸² Under året 2022 nådde elpriset historisk höga nivåer och även det minskade marknadsvärdet av elproduktion från vindkraft var hög jämfört med andra år.

¹⁸³ "Levelized cost of energy (LCOE) mäts i öre per kWh och är en sammanslagning av alla förväntade kostnader för uppförande, drift och avveckling under ett kraftverks livslängd fördelat på dess beräknade elproduktion." Energiforsk (2021), El från nya anläggningar, 2021:714, Sida 4.

Samtidigt som projekteringsviljan är mycket stor är investeringsviljan fortfarande begränsad (mest baserat på det projekt som har tillstånd klart, Kriegers Flak, men där Vattenfall uttrycker viss tveksamhet för projektets ekonomiska förutsättningar). En faktor i investeringsviljan är att inga elproduktionstekniker kan förväntas sig subventioner för storskalig utbyggnad i Sverige och havsbaserad vindkraft är idag förknippad med högre kostnader än landbaserad vindkraft. För havsbaserad vindkraft är förutsättningarna kring nätanslutning en osäkerhet där det finns osäkerheter kring utbyggnad av transmissionsnätet till havs.

En mycket viktig fråga för konkurrenskraften för den havsbaserade vindkraft som kommer att byggas i Sverige i framtiden är hur värdet av den el som produceras ska kunna säkras. Med en förväntad ökad mängd vindkraft, både på land och till havs och i både Sverige och omgivande länder, kommer priserna på spotmarknaden att påverkas kraftigt och ge som lägst betalt då vindkraften producerar som mest. Att hitta olika lösningar som kan motverka denna effekt kommer vara centralt för de aktörer som investerar i havsbaserade vindkraftsparker. En lösning som många aktörer undersöker idag är någon form av vätgasproduktion.

Om många närliggande parker byggs i samma havsområde kan de också komma att påverka lönsamheten för varandra genom att vinden blockeras för bakomvarande parker och påverkar produktionen negativt (hur stora effekterna det skapar är en fråga som det forskas på för närvarande).

5.2.5 Råvaruförsörjning och resurs- och kompetensbrist

En hög utbyggnadstakt av vindkraft förutsätter tillgänglighet på både kompetens och resurser. Flaskhalsar kommer sannolikt uppstå i leverantörs- och kompetensled. På längre sikt när utbyggnaden ska accelereras kommer det även krävas kraftigt ökade resurser i form av kompetens och infrastruktur bland de olika aktörer som ska genomföra utbyggnaden. Eftersom många andra länder i närområdet samtidigt genomför samma utveckling kommer det sannolikt uppstå konkurrens och bristsituationer av olika slag som kommer kunna orsaka tillfälliga begränsningar och förseningar i utvecklingen.

I och med den globala tillväxten av vindkraft kommer det bli en kraftigt ökad efterfrågan på resurser och komponenter. Detta innebär dels ett växande behov av basresurser som betong, stål, aluminium och koppar, dels en ökad efterfrågan på kritiska metaller som sällsynta jordartsmetaller och nickel. Behovet av resurser för vindkraftens utbyggnad handlar inte bara om att tillgodose behovet av specifika råvaror i form av mineraler och metaller som behövs utan även tillgång till färdiga delar och komponenter som utvecklas och produceras utomlands. Det handlar exempelvis om kretskort eller vindturbinblad.

För att kunna tillgodose delar av dessa behov kommer ökad materialåtervinning att vara en viktig förutsättning eftersom vissa resurser i dagsläget materialåtervinns till mycket låg grad. Exempelvis för vindturbinblad finns stora behov av produktutveckling för att de ska kunna tas om hand på ett mer hållbart sätt. Det är i dagsläget dyrt att materialåtervinna bladen samtidigt som det är billigt med ny glasfiber. Detta gör att det inte är ekonomiskt försvarbart att investera i nya återvinningsanläggningar.¹⁸⁴ Att införa ett cirkulärt omhändertagande och att ha hög resurseffektivitet är avgörande för att utbyggnaden av vindkraft ska kunna ske på ett långsiktigt hållbart sätt.

¹⁸⁴ RISE (2020), *Kemisk återvinning av glasfiberkomposit från vindturbinblad*

Däremot kommer den ökade efterfrågan kunna mötas av återvinning till en begränsad del och den ökade globala efterfrågan kan ge en ökad prisnivå och konkurrens om tillgängliga råvaror. I Sverige finns delar av de olika centrala leverantörsleden för vindkraften. En viktig resurs i vindkraftens leverantörsled är tillgången på så kallade innovationskritiska metaller, exempelvis neodymium som används i turbinernas generatorer. Idag är Europa starkt importberoende av dessa metaller och mineral. Sverige har dock stora resurser av bergarter med dessa mineral och kan på sikt spela en viktig roll för Europas försörjning av dessa råvaror.

Få länder i dagens globala ekonomi besitter kontroll över hela kedjan. Några centrala led som inte finns i Sverige är tillverkning av turbiner, samt hamnar och fartyg för installation till havs. Dessa resurser finns dock inom närområdet och potentialen att bygga ut infrastrukturresurser som hamnar osv finns så klart även i Sverige. Om de länder som har dessa resurser på plats idag kommer själva satsa stort på havsbaserad vindkraft framöver så finns det en risk att det kommer uppstå kamp om tillgången till infrastruktur, fartyg, kompetens och komponenter. Hög efterfrågan och flaskhalsar i olika delar av leverantörsleden kommer med stor sannolikhet uppstå vid olika tidpunkter vilket kommer påverka teknikens konkurrenskraft och aktörernas investeringsvilja och sannolikt påverka möjligheterna att genomföra utbyggnaden i önskad takt. Att åtgärda flaskhalsar tar tid så om de uppstår kommer de medföra att utbyggnaden kommer gå långsammare än vad som annars skulle vara möjligt och önskat.

När det kommer till behovet av kompetens anger vindkraftbranschen att de kommer behöva rekrytera inom de närmaste åren. Det handlar om projektledare, analytiker, ingenjörer och planerare. Branschen känner en oro för den egna kompetensförsörjningen i och med utbyggnadstakten och bristen på personer med relevant kompetens.¹⁸⁵ Elektrifiering och utbyggnad av elproduktion ökar efterfrågan på exempelvis ingenjörer och projektledare inom många olika närliggande områden som riskerar att konkurrera om arbetskraften. För den havsbaserade vindkraftsutbyggnaden ser också branschen ett behov av att rekrytera mariningenjörer och ingenjörer inom elektrobränslen, förutom de efterfrågade projektledare, planerare, analytiker och ingenjörer inom exempelvis GIS, elkraft och miljö som är samma som för landbaserad vindkraft.¹⁸⁶

Tillgång till rätt kompetens och tillräckliga resurser är en utmaning för alla företag i branschen, men det är en minst lika stor utmaning för alla berörda myndigheter. För många berörda myndigheter finns det just nu ett stort behov att hantera den stora mängd tillståndsärenden som kommer som följd av den intensiva projektutveckling som pågår samtidigt som det även finns ett stort behov att arbeta med utveckling av processer och planering för att effektivare kunna hantera utbyggnaden. En annan utmaning för tillståndsgivande myndigheter kan också vara att när expertkompetensen inom ett specifikt område är begränsat till ett fåtal aktörer kan det vara det vara svårt att bilda sig en egen oberoende uppfattning om en fråga när projektören redan har använt de främsta experterna inom det specifika området.

¹⁸⁵ Svensk Vindenergi (2023). *Kompetensförsörjning för vindkraftsbranschen 30 ägare och projektörer svarar i en enkätstudie*.

¹⁸⁶ Svensk Vindenergi. *Kompetensförsörjning för vindkraftsbranschen*. Industrin vill se snabbt utbyggd vindkraft (svenskvindenergi.org)

5.2.6 Företsägbarhet kring havsbaserad vindkraft

Politiska signaler och initiativ inom området har svängt mellan olika regeringar. Från att ha varit väldigt tydliga positiva signaler från den föregående regeringen med exempelvis uppdraget till Svenska Kraftnät om att bygga ut transmissionsnätet till havs, till mer ambivalenta signaler från den nuvarande regeringen med löfte om att slopa tidigare nämnda uppdrag och riktade satsningar på kärnkraft. Långsiktiga förutsättningar skapar mindre osäkerhet för aktörerna på marknaden. Mindre risk är väldigt viktigt för alla verksamheter med en stor investeringskostnad som betalas tillbaka över lång tid.

5.2.7 Säkerhet av utrustning i havet och utländskt ägande

En potentiell ökad sårbarhet med havsbaserad vindkraft under det nuvarande säkerhetspolitiska läget i Östersjön är utmaningarna med att bevaka och försvara infrastruktur långt ut till havs. Sabotaget på naturgasledningen Nordstream visar på sårbarheten och att det är svårt att utreda vem som ligger bakom. Ökad sammankoppling mellan länder via havsbaserade vindkraftsparker ökar visserligen motståndskraften mot påverkan på enskilda överföringar. Men då vissa enskilda vindkraftsparker planeras bli väldigt stora kan ändå konsekvenserna för systemets stabilitet bli allvarliga om överföringen från en så stor anläggning slås ut.

En annan farhåga som har lyfts (specifikt kopplat till vindkraften) är de eventuella riskerna med utländskt ägande (av både land- och havsbaserad vindkraft). I länder där staten utövar stor kontroll över landets företag kan det inte uteslutas att företagen kan användas för att utöva påverkan på energisystemet genom sin möjlighet till kontroll över infrastrukturen.

Osäkerheterna kring säkerhetsfrågor i havet och utländskt ägande riskerar bli ett hinder för utbyggnaden av havsbaserad vindkraft.

5.2.8 Elsystemstabilitet

Med en snabb och stor förändring av elproduktionsmixen i Sverige (mot en allt större del av landbaserad vindkraft men även en större del av stora, havsbaserade parker) kommer även förutsättningar för att skapa elsystemstabilitet/försörjningstrygghet förändras jämfört med det system vi haft som dominerats av vatten- och kärnkraft. Detta kan på sikt bli ett hinder för utbyggnaden av vindkraften i Sverige. Olika lösningar kan hjälpa med att skapa nya förmågor i elsystemet. Det handlar dels om att förbereda och möjliggöra för vindkraften att bidra med mer stödtjänster till elsystemet, dels handlar det om att nya lösningar för lagring och flexibilitet kan dra nytta av det varierande mönstret i produktionen och komplettera systemet. Bättre sammankoppling och överföringskapacitet mellan olika delar av elsystemen bidrar också till bättre möjligheter att överföra el och jämna ut produktion mot konsumtion. Med havsbaserad vindkraft finns också möjligheten med då kallade hybridlösningar, dvs att en havsbaserad vindkraftspark kombineras med en utlandsförbindelse.

Många planerade havsbaserade vindkraftsparker är väldigt stora. En parameter att överväga vid designen av stora havsvindparker är storleken på överföringskablar. För stora havsvindparker kan det vara aktuellt att dela upp överföringen på flera mindre överföringar för att inte ska bli den största dimensionerande komponenten i elsystemet (som styr hur stort frånfall systemet måste klara av att hantera).

6 Utbyggnad av elnät

Omställningen av elsystemet kommer att kräva att elnätet utvecklas för att kunna hantera en rad utmaningar. Bland annat för att kunna ansluta ny elproduktion, hantera en ny produktionsmix, hantera en ökad belastning på grund av ökat el- och effektbehov, förändrat förbrukningsmönster och ha kapacitet för att hantera förändrade flöden. Samtidigt så kommer det behövas reinvesteringar i de äldsta delarna av elnätet till 2045. I det här kapitlet ges en kort beskrivning av hur dagens elnät ser ut och vad som krävs för att bygga ut och förstärka det. Vidare tas de mest väsentliga hindren upp för att bygga ut det fysiska elnätet, enligt samtal med aktörer. Det har tidigare gjorts flera fördjupade arbeten på området så som Energimarknadsinspektionens arbete för att korta ledtiderna¹⁸⁷ och Klimaträttsutredningen.¹⁸⁸ För en djupare analys av hinder och åtgärder för elnätsutbyggnad hänvisar vi till dessa arbeten.

6.1 Nulägesbeskrivning

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. Producenter och användare med inmatning eller uttag över 100 MW kan vara direktanslutna till 220 kV-nätet och de med inmatning eller uttag över 300 MW kan ansluta till 400 kV-nätet.¹⁸⁹ 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. De produktionsslag som idag är direktanslutna till transmissionsnätet är kärnkraft, vattenkraft och större vindkraftsanläggningar. Till regionnätet kan alla kraftslag över 10 MW ansluta. Till lokalnätet kan småskalig produktion ansluta, exempelvis överskott av produktion från solceller på ett hustak. I denna hindersanalys har vi avgränsat oss till transmissions- och regionnät.

6.1.1 Nya nät kräver ansökan om nätkoncession

Elnätsägare har monopol på elnätet men för att få äga och driva elnät krävs särskilt tillstånd, så kallad nätkoncession. Transmissionsnät och regionnät behöver nätkoncession för linje. Lokalnät behöver nätkoncession för område. Det är Energimarknadsinspektionen 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.

¹⁸⁷ Energimarknadsinspektionen 2023, *Kortare ledtider för elnätsutbyggnad*, Ei R2023:09

¹⁸⁸ Klimaträttsutredningens slutbetänkande 2022, *Rätt för klimatet* (SOU 2022:21)

¹⁸⁹ Anslutning till transmissionsnätet, Anslutning till transmissionsnätet | Svenska kraftnät (svk.se) (hämtad 2023-01-10)

6.1.2 Nya ansökningar av utökad kapacitet kan kräva systemförstärkande åtgärder eller utbyggnad av nya nät

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. Driftcentralerna som opererar elnätet hanterar det genom att sätta överföringsbegränsningar. Överföringsbegränsningar innebär att all effekt som produceras och efterfrågas inte kan överföras från ett område till ett annat. När det uppstår prisskillnader mellan elområden så beror det på överföringsbegränsningar. Att näten är fullt nyttjade och redan har brist på kapacitet betyder att nästan alla ansökningar om utökad kapacitet för anslutning av en ny anläggning kräver systemförstärkande åtgärder. Med systemförstärkande åtgärder avses exempelvis byggnad av ledning, reinvestering av befintlig ledning, byggnad av en ny station och byte av begränsande komponenter. Åtgärderna kan vara mer eller mindre omfattande. Exempelvis så kan det för en luftledning vara linan som begränsar överföringskapaciteten och då kan kapaciteten höjas genom att linan byts, vilket inte kräver ansökan om nätkoncession. Det kan också vara att en apparat, exempelvis en transformator eller en reaktor är begränsande och där det räcker med byte av den begränsande apparaten.

Men i andra fall behöver en helt ny ledning byggas och då uppkommer ledtider i varje del av processen 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. Kund som ansöker om anslutning till ett regionnät får i regel vänta på ledig kapacitet i cirka 5 år.¹⁹⁰ Regionnätet är i sin tur beroende av det överliggande transmissionsnätet och behöver vänta på att få utöka abonnemang hos Svenska kraftnät vilket kan ske först efter att systemförstärkningar gjorts på transmissionsnivå.

6.1.3 Ledtiderna för utbyggnad av elnät kan begränsa anslutning av ny elproduktion

I dialog¹⁹¹ med regionnätsägare som hållits inom ramen för detta uppdrag framkom det att vindkraftsproducenter på regionnätsnivå är ofta insatta i elnätsfrågor med förståelse för ledtider och inkommer därför i god tid med ansökan, dvs vanligen 5 år före önskad idrifttagning av anläggningen. Vidare kan tillståndprocessen för elnät till en vindkraftsanslutning hanteras parallellt som själva vindkraftsparkens tillståndprocess vilket är positivt då elnätsprocessen inte ytterligare förlänger projektet. Solkraft leder allt oftare till att regionnät behöver söka utökat abonnemang hos transmissionsnätet när större parker byggs med högre installerad effekt. Tillstånd och byggnation av en solkraftspark går förhållandevis snabbt i jämförelse med andra kraftslag och utmaningen för elnätsföretagen är att det är svårt att hinna med i kundernas tidsplaner.

På lokalnätets nivå verkar det som att det går snabbare att få tillstånd för en solkraftspark än på regionnätsnivå. Anledningen kan dels vara den lägre effekten som både produceras och används inom ett avgränsat område, dels att lokalnätet har områdeskoncession vilket innebär att tillståndet är giltigt för det geografiska område som lokalnätet verkar i. Vid utbyggnad eller förändring av elnät inom samma geografiska område krävs ingen

¹⁹⁰ Enligt regionnätsföretagen Ellevio, E.ON, Jämtkraft, Vattenfall, Skellefteå kraft

¹⁹¹ Workshop med regionnät den 9 november 2022

ytterligare nätkoncession. Att tillstånd inte behöver sökas innebär att lokalnät snabbare kan göra systemförstärkande åtgärder. Effekthöjning av solkraftsparker i lokala nät kan dock leda till att producenten behöver abonnemang hos regionnätet i stället för lokalnätet med längre ledtider som följd. Konsekvensen av långa ledtider är risken för att vissa investerare hoppar av när de får väntetiden återkopplad. Det kan också leda till att när exempelvis en vindkraftspark väl får alla tillstånd och nätkoncessionen så har de planerade verken föråldrats. Teknikutvecklingen riskerar att hinna förbi det enskilda projektet.

Villkorade avtal skulle exempelvis kunna användas under en begränsad tid för att tillåta att en kund snabbare ansluter till nätet när överföringskapaciteten är begränsad och inte räcker till för årets alla timmar.¹⁹² Energimarknadsinspektionen publicerade i april 2023 en rapport¹⁹³ i syfte att vägleda elnätsföretagen och branschens aktörer gällande regelverket för villkorade avtal. Slutsatsen från rapporten är att marknadsbaserade mekanismer ska användas i första hand och att villkorade avtal kan vara en effektiv metod när marknadsbaserade mekanismer inte räcker till eller saknas.

I dialog¹⁹⁴ med regionnätsägare som hållits inom ramen för detta uppdrag framkom att ledtider och regelverk är det som upplevs mest hindrande för elnätsföretagen. Energimarknadsinspektionen har under våren 2023 lämnat förslag på hur ledtider för elnätsutbyggnad kan kortas inom ramen för ett regeringsuppdrag.¹⁹⁵ Med regelverk avses ellagen och Ei:s föreskrifter (EIFS 2013:1) om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet, där har det så kallade funktionskravet¹⁹⁶ en stor betydelse.

6.1.4 Funktionskravet

Funktionskravet innebär att ett enskilt avbrott till en elanvändare inte ska vara längre än tjugofyra timmar (4 kap. 20 § ellagen 1997:857). Ett ytterligare funktionskrav ställs i Ei:s föreskrift EIFS 2013:1 (kap. 4) som innebär att avbrott till stora uttagpunkter (över 20 MW) inte får vara längre än två timmar vid normala återställningsförhållanden. I tabell 7 redovisas vad som gäller för respektive last och avbrott. Det finns även krav på antalet avbrott per år för lågspänningskunder. Det sägs vara god kvalitet att ha färre än fyra avbrott per kalenderår och dålig kvalitet att ha fler än 11 avbrott per kalenderår, däremellan är det en gråzon där en bedömning kan göras från fall till fall.

Av definitionen i föreskriften framgår att avbrott är ett tillstånd då uttags-, gräns- eller inmatningspunkten är elektriskt fränkopplad i en eller flera av faserna från spänningssatt koncessionspliktigt nät genom till exempel kopplingsmanöver i elnät eller till följd

¹⁹² När överföringskapaciteten är knapp riskerar nätet överbelastning. Villkorade avtal som innebär att kunden) nedregleras helt eller delvis, är en möjlig åtgärd för att hantera överbelastning och kan vara en lösning i väntan på att elnätet hinner byggas ut.

¹⁹³ Energimarknadsinspektionen, "Villkorade avtal, Ei R2023:08", Ei R2023:08 Villkorade avtal (hämtad 2023-05-23)

¹⁹⁴ Workshop med regionnät den 9 november 2022

¹⁹⁵ Energimarknadsinspektionen 2023, *Kortare ledtider för elnätsutbyggnad*, Ei R2023:09

¹⁹⁶ Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet, Energimarknadsinspektionens föreskrifter och allmänna råd om krav som ska vara uppfyllda för att överföringen av el ska vara av god kvalitet (ei.se), (hämtad 2023-01-13)

av yttre händelser såsom utrustningsfel eller störningar. Detta tillstånd resulterar i en spänning nära eller lika med noll i en eller flera av faserna i uttagspunkten. Den tillåtna avbrottstiden vid olika lastintervall och förhållanden redovisas i tabell 7.

Tabell 7. Tillåten avbrottstid vid olika lastintervall och förhållanden.

Lastintervall (MW)	Avbrottstid vid normala återställningsförhållanden (h)	Avbrottstid vid onormala återställningsförhållanden (h)
> 2 ≤ 5	12	24
> 5 ≤ 20	8	24
> 20 ≤ 50	2	24
> 50	2	12

Källa: Energimarknadsinspektionen (2013).¹⁹⁷

Kritik har kommit från elnätsbolag att funktionskraven inte är önskvärda för alternativa lösningar till elnätsbyggnad såsom flexibilitet, energilagring och villkorade anslutningsavtal eftersom alla kunder inte har samma behov av en hög tillförlitlighet. Genom 4 kap 21 § ellagen som gäller från 1 juli 2022 möjliggörs för Ei att meddela föreskrifter om undantag från funktionskravet. Det pågår idag ett arbete med att revidera föreskriften på Ei (EIFS 2013:1).

6.2 Hindersanalys

Sverige har, sett till landet som helhet, ett produktionsöverskott av el på årsbasis men det uppstår prisskillnader mellan landets elområden när elnätets kapacitet inte är tillräcklig för att överföra all kraft som efterfrågas från norr till söder. Lokalt förekommer det även nätkapacitetsbrist. I framtiden kommer behovet av överföringskapacitet i elnätet att öka och med ändrade flöden kommer risken för nätkapacitetsbrist att öka och uppstå på fler ställen i landet. För att möta energiomställningen och den ökade efterfrågan på el i alla delar av landet så behöver elnätet förstärkas och byggas ut. Nedan listas några av de viktigaste punkterna för elnätets utveckling.

- Nätbolagens stämman är entydig: Långsiktiga spelregler och politisk enighet i energifrågorna krävs.
- Luftledning är oftast det bästa teknikvalet. Men projektering av nya luftledningar möter ett hårt motstånd. För att minska motståndet krävs tydlig styrning med klara budskap och informationskampanjer som skapar förståelse hos allmänheten för teknikval och utbyggnad.
- En helhetsbild av elnätets utveckling på alla nivåer behövs där alla aktörer i energibranschen samverkar för att skapa den. Helhetsbilden blir ett stöd i valet av plats för etablering av nätförstärkningar, produktion och användning. Helhetsbilden kan fungera som ett underlag för proaktiv utbyggnad.
- Ledtider behöver kortas och överklagandeprocessen ses över.
- Kompetens behöver säkras nu och i framtiden.

¹⁹⁷ Energimarknadsinspektionen Föreskrift EIFS 2013:1

6.2.1 Långsiktiga spelregler

I samtal med regionnäsaktörer nämns långsiktiga spelregler som en stor osäkerhet och som något nätföretagen efterfrågar. Fokuset på ett leveranssäkert, robust och driftsäkert elnät genomsyrar elnätsföretagens prioriteringar. Nätutbyggnad och kapacitetshöjande insatser krävs för att möjliggöra elektrifiering och tillmötesgå kundernas behov. Det finns hos nätföretagen en vilja att finna lösningar och pröva nya metoder för att kunna erbjuda en högre kapacitet, men investeringar och idéer hindras av rädsla för att förutsättningar ska ändras.

6.2.2 Helhetsbilden saknas

I samtal med aktörer¹⁹⁸ så anser de att det saknas en övergripande helhetsbild vilket innebär att osäkerheterna är stora när det gäller den geografiska planeringen av elnät. Om nätföretag på alla nivåer, producenter, industrier och elintensiva aktörer skulle samverka och samråda i högre grad skulle det bidra till att helhetsbilden målas upp. En helhetsbild möjliggör mer träffsäkra prognoser som kan bli en bättre grund för nätutvecklingsplaner. Det skulle även kunna effektivisera tillståndshantering då tillstånd inte enbart hanteras för en enskild ledning utan att ett helhetsgrepp för elsystemet tas och att tillstånd samtidigt söks för flera ledningar. Det ska i det här sammanhanget nämnas att samverkan finns mellan transmissionsnät och regionnät. Det är en bra början men det behövs mer.

I Klimaträtsutredningens slutbetänkande¹⁹⁹ föreslås en rad olika förslag som handlar om att stärka elnätets betydelse i den fysiska planeringen och hur detta ska samordnas. I utredningen föreslås att Boverket ser över hur vägledning kring plan- och bygglagen (PBL, 2010:900) kan utformas för att underlätta för hur hänsyn till elnät kan tas i fysisk planering samt i det berörda lagrummet. Boverket fick i uppdrag att ta fram en vägledning om elnät i planering i regleringsbrevet för 2023.²⁰⁰ I utredningen föreslås också att en översyn görs av hur energi- och klimatplanering kan förbättras och bli tydligare på regional nivå. Till exempel genom att förtydliga kommunernas och regionernas roller i planeringen av energi- och klimatomställningen samt se över format och syfte med nuvarande energi- och klimatplaner. Det förordas även att ett utpekande av de mark- och vattenområden som är av riksintresse för energidistributionen ska prioriteras av Energimyndigheten.

6.2.3 Ledtider

Långa ledtider i varje del av processen är ett hinder för nätföretagen och alla inblandade aktörer. Tillståndshantering är dimensionerande och kan ta flera år i anspråk. En till synes enkel lösning är att anställa fler handläggare då ansökningar hamnar på hög och blir liggande på grund av resursbrist. Överklagandeprocessen behöver ses över och stramas upp och tydliggöras. Exempelvis behöver det tydliggöras vilka som har rätt att överklaga och vilka rättigheterna är.

¹⁹⁸ Workshop med regionnäsägare den 9 november 2022

¹⁹⁹ Klimaträtsutredningens slutbetänkande 2022, *Rätt för klimatet* (SOU 2022:21)

²⁰⁰ Regleringsbrev för Boverket 2023, *Vägledning om elnät i planering*, Regleringsbrev 2023 Myndighet Boverket – Ekonomistyrningsverket (esv.se)

Energimarknadsinspektionen har lämnat en rad förslag på åtgärder för såväl nätägare som myndigheter i syfte att korta ledtiderna inom ramen för ett regeringsuppdrag.²⁰¹ En kunskapsplattform togs även fram för att samla kompetens för att skapa möjlighet att effektivisera och vidareutveckla processen, för vidare lärande och för att samverka inom det gemensamma kompetensområdet. Plattformen ska bidra till att möta behovet av samarbetsformer mellan berörda myndigheter och nätägare. Energimarknadsinspektionen har även pekat på behovet av att ytterligare utreda överklagandeprocessen.

6.2.4 Acceptans för luftledningar

För att klara klimatomställningen medelst elektrifiering behöver elproduktionen byggas ut med ca 10 TWh/år²⁰² fram till 2045. För att det redan idag kapacitetsbegränsade elnätet ska kunna ta emot all denna produktion och användning behöver elnätet byggas ut. För att det ska vara möjligt behövs en acceptans och förståelse i samhället för att elnät och luftledningar är nödvändigt även i människors närhet. Kunskapshöjande åtgärder och informationskampanjer behövs då det är komplext och det finns intressekonflikter och/eller en önskan om att bevara miljöer så som de är, precis som för elproduktion.

Lokalnäten är till 77 procent²⁰³ nedgrävt i marken. Detta föranleder att det av allmänheten kan uppfattas som en rimlig och möjlig lösning att även gräva ner regionnät. Men det finns vissa utmaningar med detta. I en markkabel är impedansen låg vilket medför risker för höga felströmmar, utmaningar kopplat till elkvalitet och fasförskjutningar. Markkablar kräver därför installation av skyddsutrustning och kompenseringsansordningar. Det är komplext och vid varje förändring av nättopologin krävs omräkningar för att följa upp och säkerställa behovet av tillräckligt skydd och kompensering. Utöver rent tekniska svårigheter har markkablar nackdelar när det kommer till driftsäkerhet, dels gällande svårigheten att lokalisera fel, dels felfrekvensen kopplat till felkänsliga skarvar. Markkablar är dessutom 4–6 gånger dyrare att bygga än en luftledning och har därtill bara hälften så lång teknisk livslängd. En luftledning kan uppgraderas och medge en högre kapacitet genom exempelvis byte till en grövre lina. Motsvarande uppgradering låter sig inte göras för markkablar.²⁰⁴

Eftersom regionnät (och transmissionsnät) ska transportera elen längre sträckor och med högre spänning så anses det av flera aktörer inte lämpligt med markkablar.^{205,206} Även om det är rent tekniskt möjligt så skulle det innebära högre kostnader vilket i slutändan betalas av elkunderna. Däremot finns det ställen där utrymmet för luftledning saknas och där markkabel är den enda framkomliga lösningen för att bygga ut elnätet, detta gäller vanligen för

²⁰¹ Energimarknadsinspektionen 2023, *Kortare ledtider för elnätutbyggnad*, Ei R2023:09

²⁰² Myndighetsgemensamuppföljning av samhällets elektrifiering, Microsoft Word – Myndighetsgemensam uppföljning av samhällets elektrifiering – huvudrapport3 (energimyndigheten.se), (hämtad 2023-01-12)

²⁰³ Energiföretagen, Regionnätets funktion och utformning, version 2021-09-08, webshop-regionnätets-funktion-och-utformning.pdf (energiforetagen.se), hämtad 2023-01-17

²⁰⁴ Svenska kraftnät, Teknik, Teknik | Svenska kraftnät (svk.se), hämtad 2023-01-17

²⁰⁵ Energiföretagen, Regionnätets funktion och utformning, version 2021-09-08, webshop-regionnätets-funktion-och-utformning.pdf (energiforetagen.se), hämtad 2023-01-17

²⁰⁶ Svenska kraftnät, Teknik, Teknik | Svenska kraftnät (svk.se), hämtad 2023-01-17

kortare ledningssträckor inom större stadskärnor. Bara omkring 5 procent²⁰⁷ av regionnätet är nedgrävt därför att markkablar oftast inte är det bästa teknikvalet. Den förståelsen behöver skapas hos markägare och intressenter tidigt i tillståndsprocessen. I Klimaträttsutredningen lämnades förslag om att föreskrifterna ska ange att växelströmsledningarna som är avsedda för en spänning om 130 kV eller högre som utgångspunkt ska byggas som luftledning samt att kriterier för när kabel får användas behöver utformas.²⁰⁸

6.2.5 *Kompetens (i hela kedjan) och resurser*

För att klara en massiv utbyggnad av elnät- och produktion behövs resurser. Elnätsbolag och producenter konkurrerar ofta om samma resurser och fler handläggare behövs. Utöver handläggare råder stor brist på fältpersonal, konstruktionsresurser, projektledare och entreprenadföretag som vill och kan genomföra alla projekt.

Energiföretagen uppskattar i en kartläggning bland medlemsföretagen²⁰⁹ att det redan de kommande kommer att uppstå en brist på både elkrafts- och distributionselektriker vilket redan nu är yrken som ligger i topplistan över rekryteringsbehovet. Elektrikerförbundet har lämnat en rad förslag på åtgärder för att tydliggöra kompetensbehovet som krävs för att klara klimatomställningen i syfte för att utbildningssystemet ska kunna svara upp.²¹⁰

²⁰⁷ Energiföretagen, Regionnätets funktion och utformning, version 2021-09-08, webshop-regionnätets-funktion-och-utformning.pdf (energiforetagen.se), hämtad 2023-01-17

²⁰⁸ Klimaträttsutredningens slutbetänkande 2022, *Rätt för klimatet* (SOU 2022:21)

²⁰⁹ Energibranschens kompetensförsörjning avgörande för klimatmålen – Energiföretagen Sverige (energiforetagen.se) (Hämtad 2023-06-21)

²¹⁰ elektrikerernas-energipolitiska-program.pdf (sef.se) (Hämtad 2023-06-21)

7 Flexibilitet

Det här kapitlet ger en beskrivning av behovet av flexibilitet i elsystemet, olika typer av flexibilitetsresurser, olika affärsmodeller och avtalsformer för att implementera flexibilitet i elsystemet. Vidare beskrivs de mest väsentliga hindren för flexibilitet inom produktion, efterfrågan och energilager. En fördjupad beskrivning av hinder för respektive flexibilitetsresurs finns i bilagan.

7.1 Nulägesbeskrivning

Flexibilitet är en möjliggörare och förutsättning för att tillgodose ett ökande elbehov på ett effektivt sätt, både på kort och på lång sikt. Flexibilitet är inte bara en förutsättning för en högre andel väderberoende elproduktion, på samma gång skapar en ökande andel sol- och vindkraft i elsystemet förutsättningar för affärsmodeller kring flexibilitet för olika aktörer. Antalet tjänster för att tillhandahålla flexibilitet inom elsystemet ökar idag för olika slutkunder av el. Detta gör att flera större elanvändare ser en ekonomisk vinning i att öka flexibiliteten i deras elförbrukning. Ett flertal hinder inom olika kategorier kan identifieras som behöver röjas för att möjliggöra en snabb och effektiv realisering av potentialer för flexibilitet inom elsystemet.

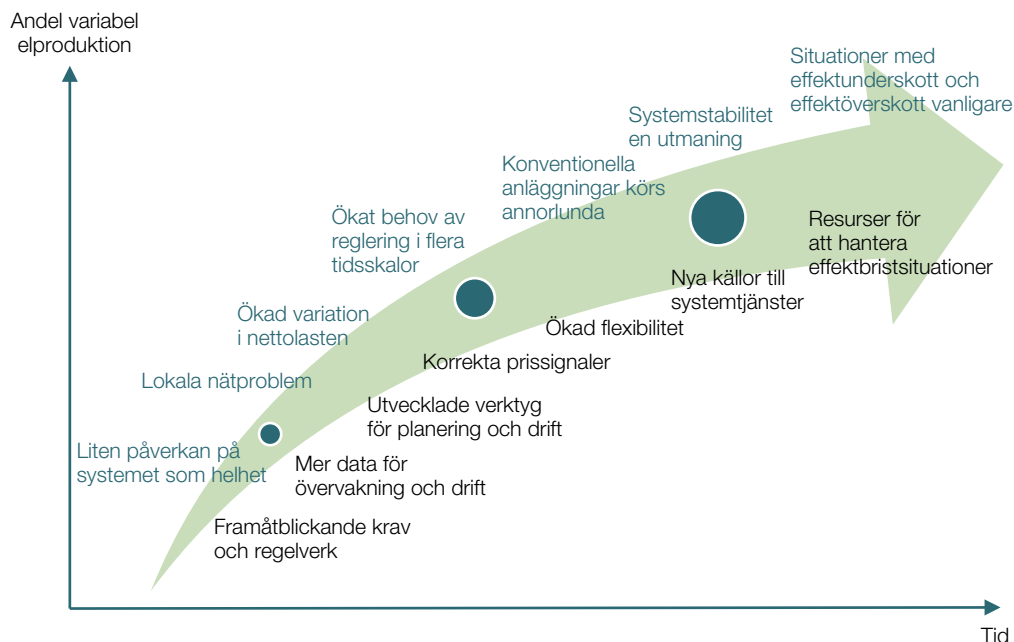
7.1.1 *Behovet av flexibilitet*

Omställningen av energisystemets alla sektorer till att bli klimatneutrala innebär förändringar i både elproduktion och efterfrågan, jämfört med hur elsystemet har sett ut historiskt. I det svenska elsystemet kan framför allt två framtida trender urskiljas; en ökad andel väderberoende elproduktion samt en ökad elektrifiering av samhället. Dessa leder till ett ökat behov av samt incitament för flexibilitet, men ökar samtidigt också möjligheter och potential för att tillhandahålla flexibilitet inom elsystemet.

Med en större andel väderberoende elproduktion ökar variationer inom elproduktionen samt prisvariationer på elmarknaden. Vind- och solkraft karakteriseras av låga produktionskostnader, vilket innebär att de används för elproduktion när de är tillgängliga. Variationer i solkraftproduktion är tydliga över dygnet (dag och natt) och över året (sommar och vinter). Variationer i vindkraftsproduktion följer mindre regelbundna mönster och sker ofta över perioder som flera timmar eller dygn och ibland även veckor. Även olika flexibilitetsresurser används med fördel över olika långa tidsperioder. Olika sätt att tillhandahålla flexibilitet behövs därför för balansering av variationer inom elproduktion på olika tidsskalor.

Elektrifiering i energisystemet resulterar i både en ökning av elanvändningen såväl som ett förändrat mönster i efterfrågan på el. Risken för effektbrist är redan idag en uttalad utmaning på vinterhalvåret. Övergången till en eldriven fordonsflotta, en alltmer elektrifierad industri och en generell utbyggnad av elintensiva verksamheter kommer i kombination med en ökad andel väderberoende elproduktion bidra till utmaningar att tillgodose tillräckligt med effekt och upprätthålla balansen mellan produktion och efterfrågan i systemet vid alla tillfällen. Samtidigt kan en högre elektrifiering inom transport- och industrisektorn under rätt förutsättningar också bidra med flexibilitet till elsystemet.

Det finns en växelverkan mellan utvecklingen av elproduktion och andelen flexibilitet i systemet. Olika hög andel variabel elproduktion olika typer av åtgärder, såsom i planering och drift, genom prissignaler eller för att möjliggöra olika systemtjänster, se figur 14. Åtgärderna kan i sin tur skapa förutsättningar för en fortsatt ökning av variabel elproduktion.

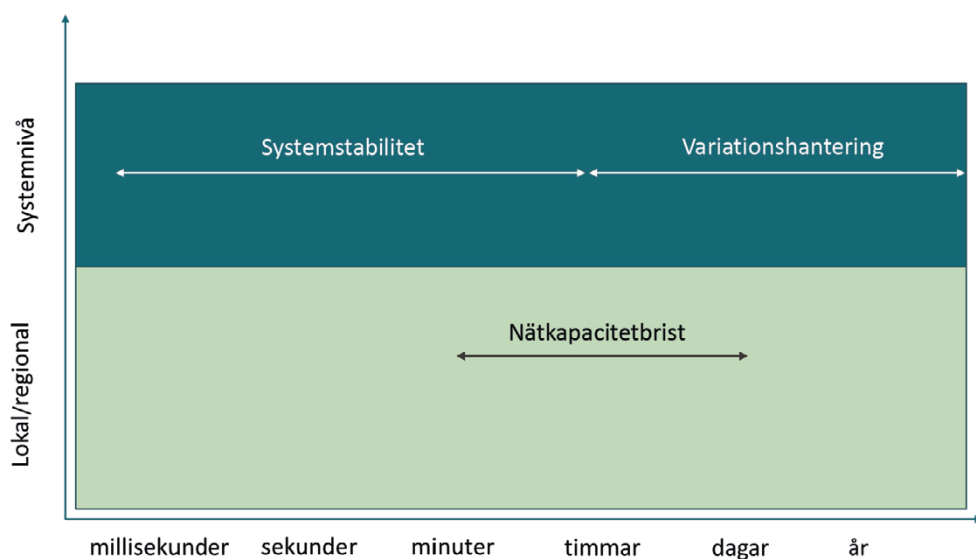


Figur 14. Exempel på hur elsystemets egenskaper och behov kan förändras över tid och med ökad andel variabel elproduktion.

Källa: Energimyndigheten (2018)²¹¹

Behov och potentialer för flexibilitet finns i olika delar av el- och energisystemet och över olika tidshorisonter. Behovet av flexibilitet uppstår i elsystemet på olika tidsskalor: mindre än en minut för att säkerställa systemstabilitet, över flera timmar eller dygn för att balansera variationer i efterfrågan och väderberoende elproduktion eller upp till ett eller flera år för att hantera variationer under årets säsonger (såsom högre produktion från solkraft under sommaren eller högre efterfrågan på el under vintern). Figur 15 visar exempel på behov av flexibilitet för olika systemnivåer och tidsskalor.

²¹¹ Energimyndigheten (2018) *Vägen till ett 100 procent förnybart elsystem*



Figur 15. Olika typer av behov av flexibilitet som kan uppstå på olika nivåer i elsystemet och inom olika tidsskalor.

Källa: Figur skapad av Power Circle (2022)²¹²

Även nätinfrastrukturen spelar en viktig roll för balansen i elsystemet. För att kunna balansera produktion och efterfrågan över större geografiska områden så krävs det distribution och transmission av el. Begränsningar i nätkapacitet, så kallade flaskhalsar, kan leda till olika typer av utmaningar, så som prisskillnader mellan olika elområden och möjlig fördröjning i anslutning av både ny elproduktion samt ny förbrukning. Ofta så kan nyttiggörandet av flexibilitet i systemet realiseras på kortare tidsskalor än bygg- och tillståndsproucesser för ny elproduktion- och nätinfrastuktur. Utnyttjande av lokala flexibilitetsresurser kan därför vara en viktig lösning framför allt på kort sikt, för att inte begränsa möjligheter till omställningen av energisystemet och lokal utveckling. På olika ställen i Sverige har flexibilitetsmarknader utvecklats för att främja användningen av flexibilitet.²¹³

7.1.2 Olika typer av flexibilitetsresurser

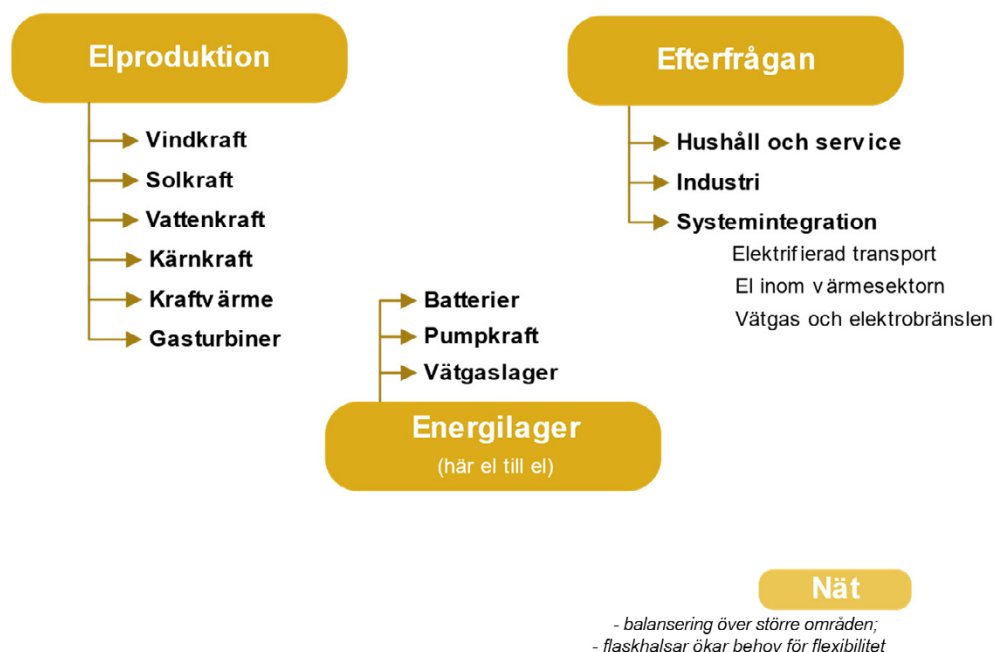
Det finns inte en entydig definition av flexibilitet. Generellt så kan flexibilitet beskrivas som systemets förmåga att reagera på förändringar.²¹⁴ Ofta menas förändringar i produktion och efterfrågan och systemets förmåga att säkerställa balansen mellan inmatad och uttagen energi. Flexibilitet kan tillhandahållas på flera olika sätt. För den här hinderanalysen har flexibilitet inom elproduktion, efterfrågan på el, samt genom användningen av energilagrar undersökts. Indelningen har valts utifrån ett fokus på elsystemet och utbyggnaden av elproduktion i det här uppdraget. Ett alltmer integrerat energisystem med el som energibärare i olika sektorer möjliggör nya sätt att tillhandahålla flexibilitet samt synergier mellan olika sektorer. Flexibilitet till följd av en ökad elektrifiering samt möjliga

²¹² Power Circle (ppt-presentation från 2022-12-14). kartlaggning_flexibilitet_PPT.pdf (powercircle.org) (Hämtad 2023-06-27)

²¹³ Exempel är Coordinet och Sthlmflex.

²¹⁴ Flexibility needs in the future power system, ISGAN Annex 6 Power T&D Systems, https://www.iea-isan.org/wp-content/uploads/2019/03/ISGAN_DiscussionPaper_Flexibility_Needs_In_Future_Power_Systems_2019.pdf, accessed 2022-11-01

synergier mellan sektorer berörs i den här analysen under kategorierna efterfrågan samt energilagring. Elnätet möjliggör överföring av el mellan olika områden vilket är ett viktigt sätt att hantera variationer inom elproduktion. Samtidigt så skapar flaskhalsar i nätinфраstruktur incitament för flexibilitet. (För hindersanalysen om utbyggnaden av elnät se kapitel 6.)



Figur 16. Schematisk bild över de typer av flexibilitet som berörs i hindersanalysen, indelat i flexibilitet inom elproduktion, efterfrågan och energilagring.

Flexibilitet inom elproduktion

Flexibilitet inom elproduktionen kan beskrivas som olika kraftslags styrbarhet eller reglerförmåga. Detta innebär möjligheten att kunna förändra effektinmatningen från en produktionsanläggning i olika tidsperspektiv. Svenska kraftnät inkluderar även spänningsflexibilitet²¹⁵ och överföringsflexibilitet²¹⁶ i begreppet flexibilitet som helhet.²¹⁷ Ordet *planerbar elproduktion* är något som använts flitigt inom samhällsdebatten den senaste tiden. Det är viktigt att det görs en distinktion mellan planerbarhet och styrbarhet/reglerförmåga. All produktion, även väderberoende sådan, i elsystemet är planerbar såtillvida att det går att använda sig av prognosverktyg för att i förväg uppskatta om och hur mycket produktion som kommer vara tillgänglig. Därtill finns osäkerheter i prognoserna för alla typer av produktionsslag på grund av förändrade förutsättningar och beroende på hur långt i förväg som prognoserna görs. Olika kraftslags styrbarhet/reglerförmåga kan däremot underlätta planeringen av systemet som helhet för att hålla det stabilt och i balans.

²¹⁵ På kort sikt kunna upprätthålla spänningen i elnätet.

²¹⁶ På kort till medelkort tid öka överföringskapaciteten.

²¹⁷ Svenska kraftnät (2022), *Lagring av el- omvärldsanalys*

Historiskt och fortfarande idag är det framför allt vattenkraften i Sverige som står för flexibiliteten inom elproduktionen. Genom förmågan att kunna lagra vatten i magasin och med kort framförhållning snabbt kunna ändra inmatad effekt på nätet så har vattenkraften säkerställt att elproduktion finns tillgänglig när den behövs inom alla tidshorisonter.²¹⁸ Flexibiliteten från vattenkraften bidrar på stamnätsnivå och hittills inte som en resurs för lokal eller regional flexibilitet. Att ytterligare bygga ut storskalig vattenkraft är idag inte troligt då resterande nationalälvar är skyddade enligt svensk lag. Däremot skulle en ökad flexibilitet kunna uppnås genom effekthöjningar och förändrade vattendomar.²¹⁹

Fler kraftslag har den tekniska möjligheten att bidra med flexibilitet även om de inte gör det i någon större utsträckning idag. Både sol- och vindkraft kan bidra med flexibilitet, framför allt genom nedreglering (minska effektinmatningen), dock ser förutsättningarna olika ut då variationerna mellan kraftslagen skiljer sig åt. Vindkraften har förmågan att reagera väldigt snabbt och levererar redan idag till viss del²²⁰ flexibilitet till SvK:s automatiska stödtjänster för nedreglering (aFRR och FCR-D ned). Även solkraft bidrar med en liten del²²¹ till detta (FCR-D ned). Vindkraft kan också tillföra flexibilitet genom uppreglering (öka effektinmatningen) och en liten del gör också det idag.²²² Detta förutsätter dock att det finns ekonomisk fördel att producera flexibelt eftersom det kan innebära att man annars ligger i ett konstant driftläge där man spillo vind. Enligt en studie från RISE²²³ har vindkraften också stor förmåga att bidra med snabb frekvensreglering (FFR) vilket inte nyttjas i dagsläget. Detta kan åstadkommas genom att öka varvtalet vid låga vindar för att därigenom lagra önskad FFR-kapacitet i turbinens rotationsenergi.

När det kommer till kärnkraften så har den framför allt fungerat som en baskraft genom att producera el på maximalt installerad effekt under större delen av året. I mindre skala kan dock befintlig kärnkraft bidra med reglering på säsongsnivå vilket den gör under sommartid då den inte producerar på maximal effekt och kan vid behov reglera upp. Kärnkraft har möjlighet att vara mer flexibel än så och från början konstruerades anläggningarna för både effekt- och frekvensreglering. Däremot lämpar sig generellt sett inte dagens reaktorer i Sverige för kortsiktig reglering på grund av hur de är konstruerade. För att realisera kärnkraftens teoretiska potential som flexibilitetsresurs behöver också hinder sett till säkerhet och kostnader överkommas.²²⁴ Nya tekniker som SMR (små modulära reaktorer) skulle däremot kunna förändra förutsättningarna för kärnkraften att bidra med flexibilitet.

Kraftvärme har möjlighet att bidra med flexibilitet genom att den både kan öka och minska sin elproduktion med en framförhållning både från minuter till timmar och på alla nätnivåer. En fördel med kraftvärmerna är att de är belägen nära förbrukaren och bidrar därför

²¹⁸ Energimyndigheten (2016) Vattenkraftens reglerbidrag och värde för elsystemet ER 2016:11

²¹⁹ Havs- och Vattenmyndigheten (2019) Förslag till nationell plan för omprövning av vattenkraft

²²⁰ 12 % av utbudet för FCR-D ned och 3 % för aFRR. Källa: Utbud på marknaderna för reserver | Svenska kraftnät (svk.se)

²²¹ 1,6 % av utbudet. Källa: Utbud på marknaderna för reserver | Svenska kraftnät (svk.se)

²²² 1,3 % av utbudet på marknaden för FCR-D upp. Källa: Utbud på marknaderna för reserver | Svenska kraftnät (svk.se)

²²³ RISE (2019) Vindkraftens potential och kostnader för att tillhandahålla systemtjänster till elnätet

²²⁴ Svenska kraftnät (2019) Kärnkraftens roll i kraftsystemet

med lokal elproduktion som kan underlätta kapacitetsbrist i lokalnäten.²²⁵ Idag bidrar kraftvärmen med säsongreglering då den producerar mer på vintern när det är kallt och efterfrågan är stor, och mindre på sommaren.²²⁶ Rent tekniskt så finns det flera möjliga alternativ för att bygga om och/eller modifiera kraftvärmen för att öka flexibilitetsförmågan. De huvudsakliga utmaningarna för att öka flexibiliteten är att värmen måste få avsättning, antingen till fjärrvärme eller industriella processer, alternativt att den kan kylas bort eller lagras.²²⁷

Slutligen så finns det också gasturbiner i Sverige som kan räknas in i flexibilitet inom elproduktionen. Dessa har historiskt använts framför allt som topplastproduktion och ingår också i störningsreserven. Gasturbiner är flexibla resurser som teoretiskt kan köras i oändlighet så länge de tillförs bränsle. De kännetecknas oftast av vara snabbstartade och kan aktiveras med minuters framförhållning och teoretiskt har de möjlighet till flera upprepade svar inom 1 timme.²²⁸ Till följd av gasturbinernas snabba aktiveringstid och att de kan nå en hög effekt så är de lämpade för effekthållning och reglering av elsystemet. De har även möjlighet att hantera lokal kapacitetsbrist genom att bidra med lokal elproduktion.

Flexibel användning av el

Flexibilitet inom användning/förbrukning av el kan finnas inom ”traditionell” efterfrågan såsom el till hushåll, service och offentliga byggnader. Det kan också finnas inom ”ny” efterfrågan till följd av elektrifiering, som till exempel elektrifierad transport, industriprocesser eller produktion av elektrobränslen. Flexibilitet uppstår genom en förändring av efterfrågemönstren, dvs. en upp- eller nedstyrning av elanvändningen utifrån elsystemets behov. Förändringen kan ske som respons på ekonomiska incitament som till exempel tidsvarierande priser för el eller deltagandet i en flexibilitetsmarknad, och realiseras genom både beteendeförändring på användarsidan eller automatisk styrning av utrustning för elanvändning.

Inom hushåll och service så finns det störst potential för flexibilitet i elanvändningen för uppvärmning av luft och vatten, ventilation och kyla. För dessa tillämpningsområden finns det möjligheter för automatisk styrning. Samtidigt så kan även beteendeförändringar inom elanvändningen leda till minskad förbrukning över olika tidsperioder eller förflyttning av förbrukning bort från topplasttimmar.^{229,230} För att möjliggöra flexibilitet inom hushålls- och servicesektorn så behövs det både investeringar i styrbar utrustning samt kunskap om hur potentialerna för flexibilitet inom hushåll och service kan realiseras på det mest effektiva sättet. För att underlätta utnyttjandet av många små flexibilitetsresurser så kan aktörer som aggregatorer samordna olika aktörers flexibilitetstjänster för att kunna agera på en marknad.

²²⁵ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²²⁶ Sweco (2020) Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar

²²⁷ Energiforsk (2021) Kraftvärmeverk för elsystem med volatila elpriser

²²⁸ Sweco (2020) Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar

²²⁹ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²³⁰ DVN L (2021) Samhällsekonomiska kostnader och nyttor av smarta elnät. Rapportnr. 208978, Rev. 03

Inom industrin så beror möjligheter för flexibel elanvändning och därmed potentialen för flexibilitet mycket på enstaka processer. Faktorer som påverkar är bland annat lagringskapacitet som kan möjliggöra överproduktion vid vissa tillfällen, eller potentiellt långa uppstartstider om (delar av) processer stängs av. Även tillgång till och kostnader av personal för perioder av över- och/eller underproduktion påverkar möjligheterna att realisera flexibilitet i industriprocesser.²³¹ Både elintensiteten och möjligheter för flexibilitet i elanvändningen skiljer sig mellan olika industrisektorer. Speciellt elintensiva industrier kan antas ha en viss priskänslighet i efterfrågan, dvs. incitament att reducera elanvändningen under tider med höga elpriser. Framtida utvecklingar som kan påverka flexibilitetspotentialen inom industrisektorn är produktion av vätgas genom elektrolysörer. För att möjliggöra flexibilitet i processen behövs lagringskapacitet för vätgasen, samt en överkapacitet i elektrolysörer för att kunna producera mer vätgas under timmar med låga elpriser.

Som en följd av en ökad elektrifiering i energisystemet så uppstår en ökad sammankoppling av elsystemet med nya sektorer. Detta ökar även möjligheter för flexibilitet beroende på om och när den nytillkomna elförbrukningen kan styras i tid och storlek. Laddbara batterifordon kan bidra med flexibilitet när de är kopplade till en laddstation. En styrning av tiden och mängden fordonen laddar kallas smart laddning. V2X-lösningar möjliggör att batteriet i fordonet laddas ur vid vissa tidpunkter för att elen skapa nytta till elsystemet (V2G, vehicle-to-grid), eller för att elen ska kunna användas för byggnaden där den är ansluten (V2H, vehicle-to-home, V2B, vehicle-to-building).^{232,233} Inom värmesektorn så kan användning av värmelager öka flexibiliteten som kan tillhandahållas för elsystemets nytta, när värmeproduktion med el (till exempel värmepumpar eller elpannor) och värmeefterfråga kan kopplas ifrån varandra i tid. Olika tekniker för värmelager möjliggör lagring av termisk energi över olika tidsperioder från kort tid upp till säsongslagring.²³⁴

Vätgas via elektrolys kan utöver redan nämnda användningsområden till exempel användas för att framställa drivmedel för fordon, flyg eller sjöfart och kemikalier till industrin, samt för att producera fossilfri ammoniak. Även lokala, småskaliga värdekedjor kan skapas som producerar flera nyttor i form av flexibilitet, drivmedel för jordbruk, gödsel och syrgas. Tekniken för transport, distribution och lagring av vätgas och elektrobränslen skiljer sig från tekniken för att distribuera och lagra el, varmed utökad gasinfrastruktur kan skapa intressanta synergier med elsystemet.²³⁵ Figur 17 beskriver vätgasens värdekedja och hur de olika delarna av värdekedjan kan möjliggöra flexibilitet i elsystemet.

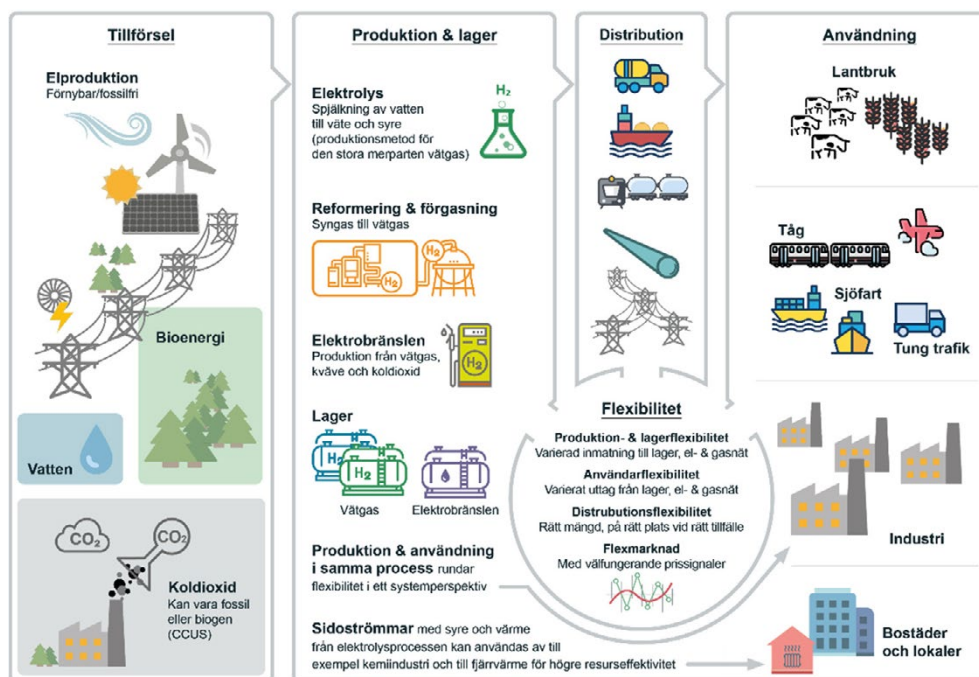
²³¹ Johansson & Ilic, Incentives and barriers to flexible operations of industrial processes and district heating production to increase intermittent renewable electricity production – an interview study with involved actors

²³² IRENA. Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging. Abu Dhabi: 2019

²³³ Energiforsk (2022) Elektrifiering av fordonsflottan, Rapport 2022:898, ISBN 978-91-7673-898-6 | © Energiforsk november 2022

²³⁴ Sarbu & Sebarchievici (2018) A Comprehensive Review of Thermal Energy Storage, <https://doi.org/10.3390/su10010191> Ullmark m. fl. (2020) Impacts of thermal energy storage on the management of variable demand and production in electricity and district heating systems: a Swedish case study, <https://doi.org/10.1080/14786451.2020.1716757>

²³⁵ EIT InnoEnergy, Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem, 2021



Figur 17. Beskrivning av vätgasens värdekedja och möjliga synergier mellan sektorer som kan uppstå i energisystemet.

Källa: Energimyndigheten (2021).²³⁶

Flexibilitet genom energilagring

Energilager kan på olika sätt bidra till ökad flexibilitet i elsystemet och skapa nyttor, både för systemet och innehavaren av lagret. Energilager kan exempelvis bidra till att hantera effektoppar, utjämna elproduktion från väderberoende kraftkällor eller förbrukningen hos elanvändare. Energilager kan möjliggöra effektivare användning av elnät, anslutningar av förbrukare till elnätet i väntan på nätförstärkningar, deltagande i SvK:s stödtjänster och avhjälpande åtgärder samt användas till totalförsvarets behov.²³⁷ Som nämndes ovan så kan en ökad integration av energisystemet med synergier mellan olika sektorer öppna upp fler möjligheter till flexibilitet genom bland annat olika typer av energilager, där lagren inte alltid används för att mata ut el på nätet igen. I den här hindersanalysen tas hänsyn till energilagring utifrån ett fokus på elsystemet. Därför fokuseras på energilagring där det används el till exempel från elnätet eller direkt från en kraftkälla, som lagras i olika former samt en efterföljande användning som el.

Svenska kraftnät har nyligen genomfört en omvärldsanalys för att belysa vilka olika tekniker som kan ha en affärsmässig potential i det svenska elsystemet.²³⁸ Studien kommer fram till att det är framför allt batterier, vätgas och pumpkraft som kommer kunna bidra med flexibilitet på medellång sikt (mellan 2030 och 2040). Av dessa bedöms framför allt batterier, primärt litiumjonbatterier, vara den teknik som kommer dominera marknaden de närmaste fem åren. Batterier har ett brett användningsområde som flexibilitetsresurs

²³⁶ Energimyndigheten (2022), Förslag till Sveriges nationella strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak

²³⁷ Svenska kraftnät (2022), Lagring av el – omvärldsanalys.

²³⁸ Ibid

och kan användas både småskaligt, i decentraliserade system och i alla nätnivåer. Batterier kan vara lämpliga att använda tillsammans med sol- och vindkraftsanläggningar för att lagra överskottsel vilket även kan påverka lönsamheten, framför allt då batterikostnaderna har minskat kraftigt de senaste åren.²³⁹ Även vattenkraftsproducenter har börjat intressera sig för batterier för att leverera snabba flexibilitetstjänster och således minska slitaget på turbinerna i kraftverket.²⁴⁰ Större elnätsanslutna batterier kan också användas för att ge stöd till elnätet på olika sätt. Däremot lämpar sig batterier sämre för långtidslager för att hantera variationer över veckor eller månader då det skulle bli för kostsamt.²⁴¹

En annan energilagringsteknik är pumpkraft som innebär att vatten pumpas upp till ett magasin när det finns ett överskott på el, där lagras 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 och de kan därför användas för att tillhandahålla samma typ av flexibilitet. Detta innefattar systemtjänster som reglerkraft, frekvenshållning och rotationsenergi.²⁴² Tekniken utgör det mest använda energilagret globalt med över 90 procent av världsmarknaden.²⁴³ 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 av dessa, Juktan (335 MW, 25 GWh lagringskapacitet), är idag ombyggt till ett vanligt kraftverk men ägaren Vattenfall tittar på möjligheterna att ta pumpkraftverket i drift igen.²⁴⁴ Idag har också tekniken att utnyttja övergivna gruvor utvecklats för att lagra vatten och med hjälp av höjdskillnaden i gruvan producera el.²⁴⁵ Potentialen för detta skulle kunna vara stor i Sverige då det finns flera övergivna gruvor och det skulle innebära en låg miljöpåverkan på lokala ekosystem.²⁴⁶

Att producera vätgas genom elektrolys när det finns ett överskott på el och sedan lagra den i ett vätgaslager bedöms vara en av de mest lovande teknikerna för att energilagring även över längre tidsperioder (veckor upp till säsong). Det finns olika metoder att lagra vätgas och eftersom vätgas har så låg densitet så behöver lagringen ske under högt tryck. Detta kan vara i allt från mindre tryckkärl och tankar till saltgruvor och metallinkapslade berggrum. Det finns vissa svårigheter med att lagra stora mängder vätgas, kopplat till bland annat fysiska begränsningar, trycksättning och säkerhet, men om dessa kan överbryggas finns det stora möjligheter att lagra substantiella energimängder i vätgaslager. Vätgaslager kan implementeras inom flera olika områden genom vätgasens breda användningsområde. För att omvandla vätgasen till el igen, när det finns ett underskott på el, så går det att använda sig av bränsleceller eller gasturbiner. De största utmaningarna med detta

²³⁹ Sweco (2020) Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar

²⁴⁰ Jämtkraft storsatsar på batterilagring | ENERGINyheter.se.

²⁴¹ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²⁴² Sweco (2020) Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar

²⁴³ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²⁴⁴ AFRY medverkar i förstudie om återställande av Sveriges största pumpkraftverk | AFRY

²⁴⁵ Energinyheter.se (2022), Mine Storage och Mälarenergi samarbete kring energilager

²⁴⁶ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

är kopplat till förluster och lönsamhet. Hela kedjan el-vätgas-el genom en elektrolysör först och sedan en bränslecell eller gasturbin innebär en total verkningsgrad på mellan 30–40 procent.²⁴⁷

7.1.3 Teknisk utveckling

Idag finns det en stor teknisk potential för att utnyttja flexibilitet både inom elproduktion, efterfrågan på el och användandet av energilager. Det är därför inte nödvändigtvis teknikutveckling men rätt förutsättningar för investering och implementering av ny teknik som har störst påverkan för att kunna realisera en högre andel flexibilitet. Däremot kan en ökad teknisk utveckling i form av smartare och effektiva styrsystem, minskade förluster och slitage på utrustning påverka förutsättningarna för att implementera flexibiliteten i elsystemet.

Både snabb teknikutveckling samt digitalisering kan påskynda omställningen i energisystemet. Generellt kan man säga att utvecklingen inom artificiell intelligens, maskin-inlärning, Internet of things, VR, blockkedjetekniken, avancerad automation och robotisering kommer att påverka energisektorn i grunden vilket öppnar för nya aktörer och nya affärsmodeller. Digitaliseringen öppnar upp för nya möjligheter för smarta lösningar som inte kräver ett lika aktivt engagemang av enskilda aktörer för att bidra med flexibilitet i elsystemet. Eftersom potentialen för flexibilitet finns inom flera olika sektorer så påverkas förutsättningarna av teknikutveckling inom de sektorerna. Ett exempel på det är teknikutvecklingen av att kunna producera järnsvamp inom järn- och stålindustrin. Även om tekniken att producera vätgas genom elektrolys redan var känd så är det teknikutvecklingen att kunna producera järnsvamp och därmed implementeringen av en stor-skalig vätgasproduktion i en industrisektor som framför allt öppnar upp möjligheterna för att realisera flexibiliteten. Detta kan i sin tur driva ner kostnaderna på elektrolysörer vilket kan möjliggöra fler användningsområden.

7.1.4 Marknadsförutsättningar, affärsmodeller och avtalsformer för flexibilitet

I det här avsnittet beskrivs marknader och olika ekonomiska incitament för att leverera flexibilitet från olika resurser. Först ges en generell beskrivning av elhandeln i Sverige och vilka olika marknadsplattformar som används för detta. Sedan beskrivs vilka olika marknadsförutsättningar, incitament och avtalsformer som finns för att realisera flexibilitet.

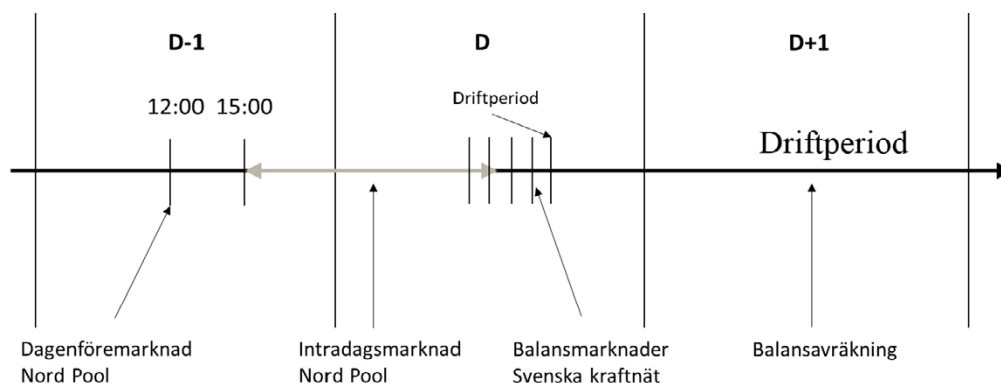
Allmänt om elhandel

Balansen mellan elproduktion och elanvändning innebär i det svenska systemet att frekvensen hålls så nära 50 Hz som möjligt. Alla elleverantörer i Sverige har ett så kallat balansansvar vilket betyder att de måste leverera lika mycket elektricitet som deras kunder förbrukar. De kan antingen själva ansvara för detta eller anlita en annan elleverantör att göra det å deras vägnar.²⁴⁸ Den största delen av balanseringen sker av de balansansvariga på dagenföre- och intradagsmarknaden. De försöker handla sig till balans på dagenföremarknaden utefter prognoser. Om dessa förändras efter att marknaden har stängt så kan de justera balansen genom att köpa eller sälja el på intradagsmarknaden som är öppen fram till en timme före driftperioden.

²⁴⁷ Energimyndigheten (2021) Underlagsrapport – Förslag till nationell strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak ER 2021:34

²⁴⁸ Power Circle (2019). Stödtjänster från nya tekniker – Faktablad från Power Circle

Under driftperioden tar Svenska kraftnät över och använder sig av upphandlade reglerresurser om frekvensen i nätet skulle avvika från 50,0 Hz. De balansansvariga som inte var i balans under driftperioden får tillsammans betala kostnaderna för de reserver som Svenska kraftnät upphandlat för att bibehålla balansen. Detta sker dagen efter leverans och kallas för balansavräkning.²⁴⁹ En tidslinje över Sveriges elhandel kan ses i figur 18, där D-1 står för dygnet före leverans och dagenföremarknaden, D står för själva leveransdygnet och intradagsmarknaden och D+1 står för dygnet efter och balansavräkningen.



Figur 18. Tidslinje över Sveriges elhandel.

Källa: Figur inspirerad av Power Circle.²⁵⁰

Balansmarknad för stödtjänster

Svenska kraftnät är ansvariga för att balansen i elnätet bibehålls, vilka använder olika kraftreserver för att kompensera om störningar sker i systemet. Den övergripande benämningen där handel med resurser till frekvensreglering sker kallas för balansmarknad, vilken Svenska kraftnät är ansvarig för. Balansmarknaden består av flera konkurrensutsatta marknadsplatser för automatiska och manuella reglerresurser, också kallat stödtjänster, som upphandlas av Svenska kraftnät genom öppen budgivning.²⁵¹ I figur 19 ges en övergripande bild av olika marknader för reserver.

För att kunna leverera flexibla resurser till stödtjänster behöver flexibilitetsleverantörerna genomgå en prekvalificering som säkerställer att de flexibla resurserna uppfyller de krav och regler som gäller för den marknad som resurserna deltar på, samt att leverantören antingen är eller samarbetar med en balansansvarig aktör. En och samma leverantör kan prekvalificera en och samma resurs för en eller flera marknader.²⁵²

²⁴⁹ Svenska kraftnät. "Balansavräkning". *Svenska kraftnät*. Senast uppdaterad 9 januari, 2023. Hämtad 7 februari, 2023. Balansavräkning | Svenska kraftnät (svk.se)

²⁵⁰ Power Circle (2019). Stödtjänster från nya tekniker – Faktablad från Power Circle

²⁵¹ Energimarknadsinspektionen (2020) Sveriges el- och naturgasmarknad 2019. Ei R2020:05

²⁵² Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

Frekvenshållningsreserver		
FCR-D upp	FCR-D ned	FCR-N
Frekvenshållningsreserv -Störning uppreglering (upward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Störning nedreglering (downward Frequency Containment Reserve - Disturbance)	Frekvenshållningsreserv -Normaldrift (Frequency Containment Reserve - Normal)
Uppreglering	Nedreglering	Symmetrisk upp- och nedreglering
Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad
Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Pay as bid. Medelpris per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .
Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .

Avhjälpare åtgärd	Frekvensåterställningsreserver	
FFR	aFRR	mFRR
Snabb frekvensreserv (Fast Frequency Reserve)	automatisk Frekvens- återställningsreserv (automatic Frequency Restoration Reserve)	manuell Frekvens- återställningsreserv (manual Frequency Restoration Reserve)
Uppreglering	Upp- och/eller nedreglering	Upp- och/eller nedreglering
Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på kapacitetsmarknad	Handel Bud på energiaktiveringsmarknad
Kapacitetsersättning Marginalpris. Avropade volymer och priser publiceras veckovis på Aktörsportalen . Mer utförlig information finns i dokumentet FFR marknadslösning 2023 .	Kapacitetsersättning Marginalpris. Priser per MW publiceras på Svenska kraftnäts stödsystem Mimer .	Kapacitetsersättning Ingen kapacitetsersättning.
Energiersättning Ingen energiersättning.	Energiersättning Enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .	Energiersättning Marginalpris. Ersättning enligt upp- eller nedregleringspris. Priser publiceras på eSett .

Figur 19. Handel med och prissättning av reserver.

Källa: Svk (2023).²⁵³

²⁵³ Svk (2023) Handel och prissättning | Svenska kraftnät (svk.se), uppdaterad 23 maj 2023; hämtad 12 juni 2023

Lokala marknader för flexibilitet

Lokala flexibilitetsresurser kan vara ett sätt att hantera nätkapacitetsbrist och för att ge incitament/skapa förutsättningar till detta så har lokala flexibilitetsmarknader uppstått på vissa ställen i Sverige.²⁵⁴ På lokala flexibilitetsmarknaderna är köparna i regel lokal- och regionnätägare, och leverantörerna av flexibilitet måste ha sina flexibilitetsresurser anslutna inom marknadens nätområde. Dessa marknader är under en utvecklingsfas och har hittills varit pilotprojekt. Handeln har till stor del skett i syfte att involvera flexibilitetsleverantörer och för att utveckla marknadsförfarandet.

Bilaterala avtal

Utöver marknadsbaserade upphandlingar för att tillhandahålla flexibilitet så finns det också bilaterala avtal. Detta innebär ett tvåpartsavtal mellan enstaka större effektförbrukare och nätbolag. Detta är ett förhållandevis lätt sätt att på kort tid säkra tillgången till flexibilitet, till exempel kan avtalen förbinda kunden att avstå en viss effekt, med tillgänglighet under vissa givna tider och perioder. Till skillnad mot marknadsförfarandet är flexibiliteten som upphandlas genom de bilaterala avtalen inte konkurrensutsatt med marknadsmässiga köp som ersätts enligt kostnadsbaserade bud.²⁵⁵

Villkorade avtal

Ett annan möjlighet för att tillhandahålla flexibilitet är villkorade avtal. Detta innebär att nätägare och kund avtalar om att kunden i vissa lägen får använda mindre effekt i nätet.²⁵⁶ Till skillnad mot bilaterala avtal så räknas inte villkorade avtal som en marknadsbaserad mekanism. Historiskt har elnätsföretag vanligtvis dimensionerat elnätets överföringskapacitet efter den högsta effekt som kunderna efterfrågar. Det innebär att den maximala överföringskapaciteten endast utnyttjas en mindre del av tiden i de flesta nät. Om det går att minska effektuttaget de timmar då efterfrågan är som högst så kan det skapas utrymme för fler kunder i nätet. På så sätt kan nätet utnyttjas mer effektivt då man kan fylla på med kunder som använder den överföringskapacitet som är ledig under den största delen av tiden. Men för att dessa ska kunna anslutas så kan det krävas att deras användning begränsas under de timmar när nätet är som mest belastat.²⁵⁷

För kunder kan villkorade avtalsformer vara ett alternativ för att få snabbare anslutning under perioder av nätutbyggnad. För nätägare kan det vara ett sätt att hantera kapacitetsbrist i överliggande nät.²⁵⁸ Idag används villkorade avtal i begränsad omfattning och Energimarknadsinspektionen driver just nu ett internt projekt för att utreda vilken roll villkorade avtal kan ha i energiomställningen.²⁵⁹ Huruvida villkorade avtal passar

²⁵⁴ Totalt 6 geografiska områden hittills; Stockholm, Uppsala, Skåne, Gotland, Västernorrland/Jämtland och Göteborg

²⁵⁵ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²⁵⁶ Jens Lundgren, Energimarknadsinspektionen (ppt-presentation från 2022-10-19)

²⁵⁷ Energimarknadsinspektionen. "Ei utreder vilken roll villkorade avtal kan ha i energiomställningen". *Energimarknadsinspektionen*. Skapad 22 Augusti 2022. Hämtad 7 februari 2023. Ei utreder vilken roll villkorade avtal kan ha i energiomställningen – Energimarknadsinspektionen

²⁵⁸ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²⁵⁹ Energimarknadsinspektionen. "Ei utreder vilken roll villkorade avtal kan ha i energiomställningen". *Energimarknadsinspektionen*. Skapad 22 Augusti 2022. Hämtad 7 februari 2023. Ei utreder vilken roll villkorade avtal kan ha i energiomställningen – Energimarknadsinspektionen

en elnätskund, elanvändare eller elproducent, beror delvis på verksamheten, hur ofta nedreglering kan behöva ske och vilken ersättning som ges för uteblivna intäkter. Enligt en studie från Power Circle²⁶⁰ är tydlighet kring regelverk en generell önskan från både kunder och nätägare, men nätföretagen önskar att Energimarknadsinspektionen inte ska detaljstyra avtalens utformning allt för mycket. Överlag ser nätägarna de villkorade avtalen som bra alternativ till lokala flexibilitetsmarknader, i fall där sådana inte kan användas. Avtalsformen har bland annat testats vid anslutning av laddning.

7.1.5 Aktörer

Möjligheten att realisera flexibilitet inom elsystemet berör många olika aktörer. För aktörer som tidigare har varit aktiva inom elmarknaden kan det finnas nya marknader och nya intäktskällor kopplade till värdet av flexibilitet. För aktörer där det tidigare inte funnits tillräckliga incitament till flexibel interaktion med elsystemet kan det i framtiden finnas ett ekonomiskt intresse i att erbjuda flexibilitetstjänster. Med detta kan nya roller skapas för att möjliggöra och underlätta tillhandahållandet av flexibilitet i systemet. En utmaning för att realisera en stor andel flexibilitet inom elsystemet är en effektiv koordinering och samverkan av olika aktörer och intressen. För det kan energi- och klimatplanering inom städer, kommuner och regioner spela en viktig roll för koordinering och gemensam strategi bland olika aktörer. Även politiken, myndigheter, nätbolag och olika aktörer på marknader är viktiga för att skapa rätt regel- och marknadsmässiga förutsättningar för att realisera flexibilitet.

Elproduktion

Flexibilitet inom elproduktionen berör främst själva kraftproducenterna som ofta äger och driver produktionsenheterna. För till exempel vattenkraft så är det dessa som agerar på olika marknader för flexibilitet, avgör hur kraftverken ska köras (eventuellt ett vattenregleringsföretag) och beslutar om eventuella investeringar för att utveckla tekniken. Skulle man däremot öka flexibiliteten genom effekthöjningar eller förändrade vattendomar så kan det även ha påverkan på natur och miljö runt omkring, vilket gör att fler aktörer berörs och ett tillstånd kan behövas för den förändrade verksamheten. Även leverantörer och installatörer av tekniker för till exempel styrsystem och effekthöjande åtgärder är aktörer som kopplar till flexibilitet inom elproduktion. För vindkraftverk så berörs till exempel själva turbintillverkarna som behöver få en bättre förståelse hur leverans av flexibilitet skulle påverka livslängden och säkerheten på utrustningen. En ökad utbyggnad av solkraft har också gjort att fler aktörer utöver ”klassiska” kraftbolag bidrar med elproduktion. Eftersom produktionen från solkraft innefattar många små producenter (som till exempel privatpersoner, företag och fastighetsägare) så kan aggregatorer vara ett sätt att möjliggöra flexibilitet vilket adderar ännu en aktör. Även större elanvändare kan ibland äga och driva elproduktionskällor, vilket var vanligt förr med exempelvis vattenkraft. För att öka flexibiliteten inom kraftvärmen kan det innebära att vissa investeringar skulle behöva göras i verksamheten, som ett värmelager exempelvis, eller att kraftvärmeverket skulle köras annorlunda. Eftersom dessa också levererar värme så är aktörerna inte endast elproducenter utan också värmeproducenter och har ett ansvar även gentemot värmekunder.

²⁶⁰ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

Elanvändning

Flexibilitet inom efterfrågan på el berör både slutkunder som har möjligheter att erbjuda flexibilitet samt olika aktörer som skapar lösningar och affärsmodeller för att möjliggöra nyttjandet av flexibilitet. Slutkunder av el inkluderar till exempel privata hushåll, fastighetsägare, aktörer inom offentlig sektor, företag och industrier. Vid en ökad elektrifiering i transportsektorn så involverar flexibilitet för elsystemet även aktörer så som elbilsägare, olika aktörer som är intresserade av att installera laddinfrastruktur, fordons-tillverkare med fler. Elanvändningen inom värmesektorn gör också fjärrvärmeleverantörer och industrier med stort värmebehov till relevanta aktörer för flexibilitet inom efterfrågan på el. Leverantörer och installatörer av utrustning och teknik för att kunna styra apparater, kunders värmesystem eller smarta hem är en annan typ av aktör kopplat till flexibilitet inom efterfrågan. Elleverantörer kan bidra till ökat utnyttjande av flexibilitet genom tidsberoende prissignaler som speglar värdet av flexibilitet, som till exempel timpriser. För elnätsföretag kan realisering av flexibilitet leda till en mer effektiv användning av lokalnätet.²⁶¹ Även tidsaspekten kan ha betydelse för elnätsföretagen, där nyttjandet av flexibilitet ofta innebär en snabbare åtgärd för att möjliggöra mer kapacitet för lokala nät jämfört med nätutbyggnad som involverar långa ledtider.²⁶² Aggregatorer ”som samlar ihop flera flexibla resurser och paketerar till större enheter som i sin tur kan säljas på elmarknaden”²⁶³ nämns som en relevant aktör för att kunna öka realisering av flexibilitet. Elmarknadsdirektivet²⁶⁴ listar också medborgarenergigemenskaper, som ska kunna möjliggöra för sina medlemmar att bland annat delta i produktion, distribution och lagring av energi, som en aktör som föreslås att introduceras även i svensk lagstiftning.²⁶⁵ Balansansvaret är viktigt så att en aktör ska ha ”ekonomiskt ansvar för att tillförd mängd el och uttagen mängd el alltid är i balans i alla inmatnings- och uttagspunkter”.²⁶⁶

Energilager

Flexibilitet inom energilager är kopplat till både produktion och förbrukning av el. Aktörerna som äger och driver energilager kan således både vara elproducenter och elanvändare. Det kan även vara aktörer som driver energilager med huvudfokus på vinster genom skillnader i elpriset, så kallat arbitrage, eller för att agera på Svk:s balansmarknader för stödtjänster. För en del olika användare av el, som nämnts ovan i samband med flexibilitet inom efterfrågan, kan även installation av energilager vara intressant. Aktörer som hushåll, fastighetsägare eller företag kan öka flexibilitet eller egenanvändning av el från småskalig lokal produktion som till exempel solceller genom användning av batterier. Olika typer av industrier kan ha fördelar av el-, värme- eller gaslager. När det gäller små aktörer så kan en koordinering genom till exempel energigemenskaper eller aggregatorer öka nyttan av energilager. Aktörer som äger och driver pumpkraft är oftast själva aktiva inom el-, balans- eller flexibilitetsmarknader. Elleverantörer kan spela en

²⁶¹ Energimarknadsinspektionen (2022) Tjänster för efterfrågefexibilitet (Ei R2022:15)

²⁶² Energiforsk (2022) Elektrifiering av fordonsflottan, Rapport 2022:898, ISBN 978-91-7673-898-6| © Energiforsk november 2022

²⁶³ Energimarknadsinspektionen (2021) Oberoende aggregatorer – Förslag till nya regler för att genomföra elmarknadsdirektivet Ei R2021:03

²⁶⁴ Europaparlamentets och rådets (EU) direktiv 2019/944 av den 5 juni 2019 om gemensamma regler för den inre marknaden för el och om ändring av direktiv 2012/27/EU

²⁶⁵ Energimarknadsinspektionen (2020) Ren energi inom EU – Ett genomförande av fem rättsakter Ei R2020:02

²⁶⁶ <https://ei.se/konsument/aktorer-na-pa-energimarknaderna#h-Balansansvarigel>

viktig roll för att skapa incitamenten för att äga och driva energilager med fokus på flexibilitet för olika typer av slutkunder genom prissignaler. För elnätsföretag så kan energilager skapa nytta i relation till flaskhalshantering och behov av nätutbyggnad, nätföretag är dock inte tillåtna att äga och driva energilager förutom under vissa omständigheter.²⁶⁷

7.2 Hindersanalys

Flexibilitet kommer vara en viktig del i framtidens el- och energisystem, oavsett hur den svenska elproduktionsmixen kommer byggas ut inom de närmaste decennierna. El som energibäraren i flera av energisystemets delar ger stora möjligheter för synergier och möjliggör för ett flertal sektorer och aktörer att bidra till ett hållbart, robust och konkurrenskraftigt elsystem. Flexibilitet har en viktig roll i att balansera elproduktion och efterfrågan på el på ett effektivt sätt, vilket är en förutsättning för ett resurseffektivt system. Ofta så kan nyttiggörandet av flexibilitet realiseras på kortare tidsskalor än utbyggnadsprojekt för elproduktion och nätinфраstruktur. Det är därför viktigt att både rätt incitament för att tillhandahålla flexibilitet samt kunskap om värdet av flexibilitet inom olika tidsskalor når fram till de olika aktörer som kan bidra med flexibilitetsresurser i ett integrerat energisystem.

Flexibilitet kan nyttiggöras inom elproduktion, efterfrågan på el samt genom användning av energilagring.

- För att främja flexibilitet inom elproduktion så är det viktigt att säkerställa tillgång till olika marknader, så som stödtjänstmarknader, samt en ersättning som möjliggör lönsamhet från flexibilitet till alla fossilfria kraftkällor.
- En snabb utökning av flexibilitet inom användningen av el förutsätter en effektiv koordinering, där det bland annat är viktigt med:
 - Tydliga gemensamma ramverk för marknadsplatser för flexibilitet samt ökad standardisering för bland annat värmepumpar, elbilsladdare och batterier;
 - Riktade informationsinsatser och kunskapsstöd kring de mest effektiva sätten att realisera flexibilitetspotential, samt möjliga affärsmodeller och intäktsformer;
 - Utvecklat regelverk kring nya roller såsom aggregatorer och energigemenskaper.
- Förutsättningar för flexibilitet genom energilagring kan förbättras genom en översyn av regelverket samt tydliga ramverk för marknadsplatser och aggregatorer för att främja användning av energilagring med fokus på flexibilitet för mindre aktörer.

Energimarknadsinspektionen tillsammans med Energimyndigheten, Svenska kraftnät och Swedac redovisade i april 2023 ett antal åtgärdsförslag för att främja ett mer flexibelt elsystem. Ytterligare förslag kommer att redovisas i en gemensam handlingsplan senast 15 december 2023.

Olika sätt att tillhandahålla flexibilitet inom elsystemet involverar olika system, aktörer och hinder. Hindren i det här avsnittet har först tagits fram för olika kraftslag inom elproduktion, olika sätt att tillhandahålla flexibilitet inom efterfrågan på el och för olika

²⁶⁷ Ellag (1997:857), 39 §, https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/ellag-1997857_sfs-1997-857

typer av energilager. En sammanfattning av de viktigaste hindren presenteras inom de tre områdena elproduktion, efterfrågan på el och energilager. En mer detaljerad beskrivning av hindren i varje område finns i Bilagan.

7.2.1 Hinder för flexibilitet inom elproduktion

Sammanfattningsvis kan man konstatera att det finns en del gemensamma kategorier av hinder för att öka flexibiliteten inom elproduktionen. Det skiljer sig däremot en del mellan de olika kraftslagen eftersom de har så olika förutsättningar. Nedan redogörs för de kategorier av hinder som har identifierats som de mest väsentliga.

Kunskap

Det kan saknas kunskap om olika marknader samt deras funktion hos elproducenter som inte historiskt deltagit på dessa. Det gäller till exempel vindkraftsproducenter som inte tidigare har haft krav att vara flexibla trots att det är tekniskt möjligt. Detsamma gäller till stor del för solkraft där det däremot börjar växa fram fler aktörer inom lokala system med lokal användning och lagring av småskalig produktion av el, samt aggregatorer, specifikt med syftet att möjliggöra flexibilitet. Även kunskap om hur leverans av flexibilitet påverkar livslängden och säkerheten för utrustningen är viktig för att elproducenter ska kunna öka deras flexibilitet. Dett gäller bland annat turbintillverkare till vindkraft men också till exempel kärnkraft om den skulle köras mer flexibla än idag.

Teknisk infrastruktur

När kunskapen finns på plats hos olika aktörer om hur man kan bidra med flexibilitet så kan en teknikutveckling behöva ske i anläggningarna för att faktiskt kunna leverera flexibiliteten. Det är ofta inte själva tekniken i sig som behöver utvecklas eller skapas utan idag finns det redan ett flertal tekniklösningar som kan möjliggöra mer flexibilitet inom elproduktionen. Däremot måste det finnas rätt incitament och kompetens för att själva implementeringen av tekniken ska bli av. För vind- och solkraft handlar det om att rätt mjukvara behöver installeras och en utveckling av styrstrategier, växelriktare och optimala budstrategier. För kärnkraft och kraftvärme är teknikutvecklingen för ökad flexibilitet ofta förknippat med ekonomiska, säkerhet- och tillståndsmässiga hinder. För gasturbiner finns det också vissa tekniska hinder förknippat med själva infrastrukturen för gas då gasnätet i Sverige är väldigt begränsat.

Marknadsförutsättningar och incitament

När tekniken för att öka flexibiliteten inom elproduktion finns behövs rätt incitament för att implementera den. Historiskt är det framför allt vattenkraften som är den produktions-teknik som har levererat flexibilitet i det svenska elsystemet och många av Svk:s stöd-tjänstmarknaden är anpassade efter detta. Det pågår ett kontinuerligt arbete för att utveckla marknaderna till att möjliggöra att fler resurser kan delta. Utifrån de förkvalificerings- och uthållighetskrav samt upphandlingssystem som gäller så är det idag svårt för framför allt kraftvärme, sol- och vindkraft att delta på alla marknader. Eftersom flexibel produktion för dessa kraftslag kan innebära spill, i form av värme eller el som inte används, är det viktigt att det finns rätt incitament och marknadsförutsättningar för att det ska vara lönsamt. Om nya marknader skulle bildas, såsom för spänningsstabilitet eller en kapacitetsmarknad kan det skapa mer incitament för olika kraftslag att vara flexibla.

Lönsamhet och kostnader

Även om befintliga marknader utvecklas och det finns incitament på plats kan det fortfarande saknas lönsamhet för ökat flexibilitet inom elproduktion. För flera produktionstekniker är ökat flexibilitet förknippat med högre kostnader. När det gäller kärnkraft kan ett flexibelt körsätt innebära en försämrad bränsleekonomi och kräva ett omfattande analys- och verifieringsarbete samt justeringar i konstruktion. För kraftvärmeproduktion hänger lönsamheten ihop med avsättningen för värmeproduktion. Det är rent tekniskt möjligt att endast producera el i anläggningarna och spilla eller lagra värmen, dock på bekostnad av bränslets resurseffektivitet och med högre kostnader. Historiskt har inte elprisnivåerna varit tillräckligt höga för det. Även effekthöjningar i vattenkraft är kapitaltunga investeringar och elprisnivåer samt befintliga marknader har inte varit tillräckligt incitament för att motivera dessa. Prognosen för lönsamhet för flexibilitet i både kraftvärme och vattenkraft kan dock förändras med förändrade elpriser och ökad prisvolatilitet. Gasturbiner producerar el till en relativt hög rörlig kostnad på grund av framför allt höga bränslekostnader. Gemensamt för alla kraftslag är att kostnadskalkylen och lönsamheten kan påverkas av nya marknader och anpassade förutsättningar i befintliga marknader. Exempel för det är marknader för spänningsstabilitet med möjlighet att bidra med reaktiv effekt eller kapacitetsmarknader.

Tillstånd

Speciellt för vattenkraft, kraftvärme och kärnkraft kan tillstånd utgöra ett hinder för att öka eller leverera flexibilitet. Det är möjligt att öka flexibiliteten från vattenkraften genom att ändra befintliga tillstånd för hur man får köra kraftverken eller genomföra effekthöjningar. Däremot är det förknippat med utmaningar kopplat till ekologiska hållbarhetsaspekter. Eftersom all vattenkraft ska omprövas²⁶⁸ och få moderna miljövillkor så bör en sådan typ av förändring av villkor ske i samverkan med omprövningen. Det finns däremot vissa juridiska förutsättningar som kan påverka möjligheten till effekttökning då detta är en förändring av verksamheten som normalt inte rymms inom ramen för en omprövning. Det finns också svårigheter med att få tillstånd avseende icke-försämringskravet.²⁶⁹

För att öka kraftvärmens möjlighet att bidra till ökad elproduktion och flexibilitet behöver möjligheterna att kyla bort värme när fjärrvärmenätet inte räcker till ses över. En ökad kylförmåga genom kylning i vattendrag skulle kunna öka elproduktionen under varmare årstider högst väsentligt när elpriserna är höga (exempelvis som det var i augusti och september 2022). Detta kräver däremot en förändring av miljötillstånden.

²⁶⁸ Havs- och vattenmyndigheten. Nationell plan för omprövning av vattenkraften (2019). *Havs- och vattenmyndigheten*. Nationell plan för omprövning av vattenkraften (2019) – Regeringsuppdrag – Havs- och vattenmyndigheten (havochvatten.se) (Hämtad 2023-06-14)

²⁶⁹ Vilken förändring av vattenkraftsverksamheten som kan tillåtas begränsas av bestämmelserna i 5 kap. 4 § miljöbalken. Där anges att en verksamhet eller åtgärd inte får tillåtas om den försämrar vattenmiljö på ett otillåtet sätt eller äventyrar möjligheten att uppnå miljö kvalitetsnormen. Icke-försämringskravet i vattenförvaltningsförordningen anger att miljö kvalitetsnormen ska fastställas så att tillståndet i vattenförekomsten inte försämrar.

Tillstånd i samband med ökat flexibilitet för kärnkraft är kopplade till säkerhetsaspekter för förändrat drift av kraftverket. Om de ansvariga för kärnkraftsanläggningarna beslutar om förändrat körsätt är det upp till Strålsäkerhetsmyndigheten att bedöma om beslutet är tillräckligt motiverat och om körsättets eventuella påverkan på strålsäkerheten belysts och utvärderats korrekt. Förändringar som inte innebär större ombyggnationer eller ändringar av en befintlig anläggning ska säkerhetsgranskas samt anmälas till Strålsäkerhetsmyndigheten, men innebär inte en ansökningsprocess som ska godkännas. Större ombyggnationer eller ändringar ska dock vara prövade och godkända av Strålsäkerhetsmyndigheten. För kraftvärmens skulle ökade kylmöjligheter kunna bidra till en ökad tillgänglig effekt för tillfällen med höga elpriserna under vår-sommar-höst, vilket förutsätter miljötillstånd.

7.2.2 Hinder för flexibilitet inom efterfrågan på el

Hindren för att realisera flexibilitet är delvis liknande och skiljs delvis åt mellan olika användningsområden av el. I det här stycket redovisas olika typer av hinder kopplat till efterfrågan på el samt en kort beskrivning hur de relaterar till olika sätt att tillhandahålla flexibilitet.

Information och kunskap

I samband med att många aktörer inte tidigare har erbjudit flexibilitet eller lösningar som främjar utnyttjandet av flexibilitet inom elsystemet så är ett första hinder kopplat till information och kunskap. Det kan gälla kunskapen att flexibilitet är av värde vid olika tidpunkter och i olika delar av systemet, något som till exempel kan kommuniceras genom tidvarierande prissignaler. Om incitamenten för flexibilitet vid olika tidpunkter finns, så kan bristen på kunskap och information om det mest effektiva sättet att realisera potentialen för flexibilitet utgöra ett hinder. En del av flexibilitetpotentialen inom användning av el kan realiseras genom beteendeförändringar, men även styrbar utrustning kan behöva installeras inom hushåll och servicesektorerna, eller anpassningar i processerna kan behövas inom olika industrisektorer. Även kunskapen om olika marknader, affärsmodeller och intäktsmöjligheter för flexibilitet samt förutsättningar som krävs att kunna nyttja dessa kan vara ett hinder för olika typer av aktörer.

Administrativa hinder

Både för aktörer som vill erbjuda och köpa flexibilitet kan administrativa hinder, såsom resurser och tid som krävs för att komma i gång, eller få en förståelse om vilka regler och affärsmodeller som finns vara en begränsande faktor. Det gäller till exempel slutkunder som vill påverka sina elkostnader genom efterfrågeflexibilitet, elhandelsföretag som vill ta fram attraktiva erbjudanden till sina kunder eller nätföretag som vill jobba med flexibilitets-tjänster inom nätverksamheten.²⁷⁰ Även marknadsplattformar som utformas och lokala lösningar så som energigemenskaper behöver ha låga inträdesbarriärer.

²⁷⁰ Energimarknadsinspektionen (2022) Tjänster för efterfrågeflexibilitet (Ei R2022:15)

Standardisering och koordinering

Ett sätt att minska komplexiteten med flexibilitetslösningar för olika aktörer är en högre koordinering och standardisering. Ett behov för ett gemensamt ramverk, en tydlig definition av roller och ansvarsområden samt en helhetsstrategi nämns som viktigt för till exempel implementationen av flexibilitetsmarknader och en effektiv integration av laddningsbara elfordon inom elsystemet.^{271,272} En högre standardisering inom lösningar minskar inträdesbarriärerna och möjliggör till exempel samma aktörer att vara aktiva inom olika marknader samt en bredare användning av tekniska lösningar såsom för V2X.

(Ekonomiska) Incitament och tillgång till dessa

Ekonomiska incitament till olika typer av aktörer främjar tillgången till flexibilitet inom elsystemet. För att utnyttja potentialen för flexibilitet på bästa sättet, så ska de finansiella incitamenten vara kopplade till när en förändring av efterfrågemönstren är av mest värde, samt vara tillgängliga till olika aktörer. Tidsvarierande elpriser är ett exempel som idag använts bara för en del av alla slutkunder av el. Speciellt för små aktörer kan tillgång till marknader för att ta del av ekonomiska incitamenten utgöra ett hinder. Lösningar så som lokala flexibilitetsmarknader eller aggregering av flera kunder behöver utformas mer för att koppla flexibilitet till ett finansiellt värde. Aktörer såsom industrier behöver kunna leverera sina produkter till konkurrenskraftiga priser, vilket gör ekonomiska förutsättningar för flexibilitet viktig för att kunna utnyttja flexibilitetsresurser inom industrisektorn.

Teknisk infrastruktur

Olika sätt att realisera flexibilitet inom efterfrågan på el förutsätter en viss teknisk infrastruktur. Ett exempel är laddbara elfordon, som har möjlighet att laddas på ett flexibelt sätt eller användas för V2X lösningar bara när de är anslutna till laddinfrastruktur som tillåter det. Det är olika aktörer som är involverade i installation och drift av laddinfrastruktur, tillverkning av laddbara fordon samt erbjuder tjänster för laddning, vilket medför en risk att fördröja en snabb implementering av flexibilitet inom elektrifierad transport. För bilägare är det specifikt en avsaknad av rådighet över egen parkering (till exempel boende i flerbostadshus) som medför större hinder för att möjliggöra flexibilitet genom smart laddning av batterifordon.²⁷³

Nätinfrastruktur kan både vara motivering och hinder för flexibilitet. Begränsningar i lokala nät kan fördröja anslutning av småskalig produktion eller nya laster vilka i sin tur kan möjliggöra flexibilitet. Samtidigt så kan flexibilitet, framför allt efterfrågefleksibilitet, ses som en åtgärd för flaskhalsar i lokala nät. Flexibilitet kan ofta vara tillgängligt snabbare än nätutbyggnad som karakteriseras av långa ledtider.

²⁷¹ Energimarknadsinspektionen (2022) Tjänster för efterfrågefleksibilitet (Ei R2022:15); Statens Energimyndighet (2023) Delrapport inom uppdraget om handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas, ER 2023:06

²⁷² IRENA. Innovation landscape brief: Electric-vehicle smart charging. Abu Dhabi: 2019; Energiforsk (2022) Elektrifiering av fordonsflottan, Rapport 2022:898, ISBN 978-91-7673-898-6 | © Energiforsk november 2022

²⁷³ Statens Energimyndighet (2023) Delrapport inom uppdraget om handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas, ER 2023:06

Regulatoriska hinder

Nya marknader samt nya aktörer och roller inom dessa kan medföra regulatoriska hinder för att flexibilitet ska kunna nyttiggöras. Ett exempel är förutsättningar för oberoende aggregatorer, där det tidigare har fastställts brister i nuvarande lagstiftning.²⁷⁴ En proposition som antogs i februari 2023²⁷⁵ klargjorde att slutkunder ska kunna ha en annan aggregator än sin elleverantör. En viktig fråga är vem som har det ekonomiska ansvaret för obalanser. Aggregeringstjänster får bara tillhandahållas om någon har åtagit sig balansansvar som särskilt avser de obalanser som tjänsterna kan medföra. Lagändringarna föreslogs träda i kraft den 1 juni 2023. Lokala lösningar som energigemenskaper eller flexibilitetsmarknader kan kräva en översyn och förtydligande av gällande regler för att möjliggöra mer flexibilitet inom elsystemet. Det är framför allt viktigt att säkerställa att information kring gällande regelverk nå alla målgrupper.

Investeringsvilja och lönsamhetsbedömning

Vissa sätt att möjliggöra flexibilitet inom efterfrågan på el kräver investeringar som olika aktörer måste vara villiga att ta. Utbyte av uppvärmningssystem inom olika typer av fastigheter, beslut för överkapacitet och mellanlagringsmöjligheter i industriprocesser eller investering i elektrolysörer måste kunna bedömas som långsiktig lönsamma. En osäkerhet i framtida elpriser samt långsiktigheten i intäktsmöjligheter kopplade till flexibilitet för olika aktörer kan utgöra ett hinder för dessa beslut.

Direkt och indirekta kostnader

Lönsamheten för att erbjuda flexibilitet för olika aktörer är inte bara kopplat till direkta kostnader såsom nödvändiga investeringar i utrustning eller förändrade kostnader för personal eller material. Även mer svåruppskattade kostnader som högre slitage eller påverkan på utrustningens livslängd på grund av förändrat användning kan påverka lönsamheten av att erbjuda flexibilitet. Exempel för det kan vara utrustning inom olika industriprocesser eller batterier i elfordon som kan påverkas på olika sätt av olika laddningsstrategier. Osäkerheter med indirekta kostnader kan öka tröskeln för olika aktörer att bidra med flexibilitet.

7.2.3 Hinder för flexibilitet inom energilagring

För att nyttiggöra flexibilitet från energilagring för elsystemet så har det framför allt identifierats hinder gällande implementation, lönsamhet och marknader.

Implementering och infrastruktur

När det kommer till implementering så skiljer sig hindren mellan de olika teknologier för energilagring. (Den här hindersanalysen fokuserar på energilagring med efterföljande användning av el.) Med avseende på batterier så kan de nämnas försörjning med nödvändigt råmaterial, arbetskraft och kompetens, samt en långsam teknikutveckling som

²⁷⁴ Energimarknadsinspektionen (2021) Oberoende aggregatorer – Förslag till nya regler för att genomföra elmarknadsdirektivet Ei R2021:03, <https://ei.se/bransch/flexibilitet-i-elsystemet/kundens-bidrag-till-efterfrageflexibilitet/oberoende-aggregatorer>

²⁷⁵ Regeringens proposition 2022/23:59 Genomförande av elmarknadsdirektivet när det gäller leverans av el och aggregeringstjänster, Stockholm den 9 februari 2023

de största hindren för en storskalig implementering.²⁷⁶ När det kommer till lagring av vätgas för efterföljande produktion av el så kan det nämnas tillgång på vätgas till ett kostnadseffektivt pris där det finns behov av flexibilitet som ett hinder. Om produktionen (och lagring) av vätgas inte sker på samma plats som omvandlingen till el via bränslecell eller gasturbin så krävs det gasinfrastruktur för transport av vätgas. Där gasinfrastruktur inte finns på plats idag så innebär det långa och investeringstunga projekt. För pumpkraft har geografiska förutsättningar (höjdskillnader) utgjort ett hinder för ytterligare implementering men användandet av gamla gruvor skulle kunna ändra på det.

Verkningsgrad

Energilager i den här hindersanalysen rör användning av el, lagring i olika former samt en senare användning som el. Fler olika omvandlingssteg som vätgas av elektrolys som sedan används i en bränslecell eller gasturbin medför ofta stora förluster och låga verkningsgrader. Det påverkar lönsamheten och intäktsmöjligheter och därmed attraktiviteten av dessa lösningar som energilagring med fokus på efterföljande användning av el.

Lönsamhet och kostnader

Även om några energilagringstekniker har genomgått en kostnadsminskning de senaste åren och förväntas fortsätta minska i pris, så kan höga initialkostnader samt osäkerhet kring framtida intäktsmöjligheter vara ett hinder till att möjliggöra flexibilitet genom energilagring. Till exempel pumpkraftverk karakteriseras av höga investeringskostnader. Även vätgaslager och elektrolysörer som en möjlighet att framställa vätgas från el, har idag jämförelsevis höga kostnader. Ett investeringsbeslut påverkas därmed mycket av osäkerheten i framtida intäktsmöjligheter som till exempel osäkerheter i elpriser för arbitrage, samt potential för intäkter från flexibilitetstjänster eller som kapacitetsreserv.

Marknadsförutsättningar och regelverk

Många investeringar i stationära batterier har den senaste tiden skett inom fastighetssektorn och av olika aktörer. Tillgång till marknader och ekonomiska incitament är en förutsättning för att främja användning av batterier med syftet att realisera flexibilitet (i stället av till exempel framför allt ökar egenanvändning av el producerat vid fastigheten). Regulatoriska och administrativa hinder kopplat till flexibilitetsmarknader, aggregatorer och energigemenskaper liknar de hindren beskrivit i stycket om flexibilitet inom efterfrågan på el (se avsnitt 7.2.2). När det kommer till pumpkraftverk är möjliga intäkter från flexibilitetstjänster och som kapacitetsreserv en faktor som kan påverka framtida projekt i Sverige. Nya aktörer inom energilagring innebär att flera regelverk kan behöva ses över för att inte utgöra ett hinder för energilagring. Detta har redan gjorts till viss del genom nya bestämmelser i ellagen (1997:857) som trädde i kraft i juli 2022.²⁷⁷ En översyn och vidare utveckling av regelverket kan tydliggöra och minska administrativa hindren för olika aktörer, samt förbättra förutsättningar för energilager för att tillhandahålla flexibilitet.²⁷⁸

²⁷⁶ Energimyndigheten (2022, Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier.

²⁷⁷ Svenska kraftnät (2022), Lagring av el – omvärldsanalys

²⁷⁸ Det finns idag bland annat en otydlighet kring hur tillsynen ska gå till avseende att nätbolag inte får äga, utveckla, förvalta eller driva energilagringsanläggningar. Jämfört med hur lagarna för elproduktionsverksamhet regleras för nätbolag, som handlar om hur en koncern får drivas som innehåller både elproducerande bolag samt ett som bedriver energiproduktionsverksamhet. Det handlar bland annat om hur korssubventionering ska förhindras, övervakningsplaner ska bedrivas samt att personer i styrelse/firmateknare m.m. inte får vara desamma i båda bolag.

Bilaga – Underlag till hindersanalys inom flexibilitet

I den här bilagan beskrivs hinder för olika flexibilitetsresurser mer ingående och är det som utgör grunden för de hinderskategorier som nämns i kapitel 7.

B1 Flexibilitet inom elproduktion

Flexibilitet inom elproduktion har undersökts för vindkraft, solkraft, vattenkraft, kärnkraft, kraftvärme samt gasturbiner. En sammanfattning av de viktigaste hindren sammanlagt för dessa kategorier finns i avsnitt 7.2.1, en mer detaljerad beskrivning av hindren inom varje kategori presenteras i avsnitten nedan.

Flexibilitet inom elproduktionen kan beskrivas som olika kraftslags styrbarhet eller reglerförmåga. Detta innebär möjligheten att kunna förändra effektinmatningen från en produktionsanläggning i olika tidsperspektiv. Svenska kraftnät inkluderar även spänningsflexibilitet²⁷⁹ och överföringsflexibilitet²⁸⁰ i begreppet flexibilitet som helhet.²⁸¹ Rent tekniskt är det möjligt för i stort sett alla kraftslag att bidra med flexibilitet i någon mån. Däremot finns det vissa produktionstekniker som lämpar sig mer eller mindre bra beroende på vilket behov av flexibilitet som efterfrågas (inom vilken tidsperiod, hur snabbt resurser kan aktiveras etc.). Vad som avgör huruvida ett kraftslag lämpar sig för att leverera flexibilitet beror på en rad olika faktorer.

B1.1 Hinder för flexibel elproduktion från vindkraft

Vindkraftens potential att bidra till flexibilitet är framför allt genom stödtjänster, då det är en resurs som kan reglera snabbt och därför passar sig till den typen av balansering. För att kunna öka flexibiliteten från vindkraft så finns det ett antal hinder som behöver hanteras. Det finns behov för ökat kunskap hos leverantörer och beställare, när det gäller exempelvis funktion av marknader och affärsmodeller för flexibilitet. Turbintillverkare behöver få en bättre förståelse för hur leverans av flexibilitet påverkar livslängden och säkerheten på utrustningen. När kunskapen finns på plats hos beställare och projektörer om förutsättningar för att delta på marknaderna så behöver också en viss teknikutveckling ske. Rätt mjukvara behöver installeras och teknikutveckling i form av styrstrategier och hos växelriktare behövs. Även utveckling av optimala budstrategier behövs.

Idag gör marknadernas förkvalificeringsprocesser och upphandlingar det svårt för vindkraften att delta på olika marknader för reservkraft. Vindkraften passar idag framför allt bra för att bidra med FCR-D ned (se figur 19 för en översikt av olika marknader för reserver) eftersom det inte kräver att vindkraften producerar under sin maxkapacitet. Även minsta budstorlek är liten och krav på uthållighet relativt kort samt att upphandling sker hyffsat nära aktivering. Vindkraften skulle också kunna leverera på FFR men eftersom upphandling just nu görs per säsong så är det svårt för vindkraften att delta. Det beror på att man inte ett halvår i förväg kan garantera att det blåser en specifik dag

²⁷⁹ På kort sikt kunna upprätthålla spänningen i elnätet.

²⁸⁰ På kort till medelkort tid öka överföringskapaciteten.

²⁸¹ Svenska kraftnät (2022) Lagring av el- omvärldsanalys

och därför är det svårt att veta hur mycket vindkraften kan bidra med. Marknadernas förkvalificeringsprocesser och upphandlingar närmare drifttimmen behöver utvecklas för att vindkraften ska kunna delta på reservmarknader på ett bra sätt.

För övriga frekvensrelaterade stödtjänster så lämpar sig inte vindkraften lika bra på grund av de olika krav som ställs. För FCR-N så krävs symmetriska bud, alltså både upp- och nedreglering. Detta passar vindkraften sämre ur ett ekonomiskt perspektiv då det förutsätter ett visst spill. Potentialen för det beror således på om ersättningen är tillräckligt hög. När det gäller a-FRR så handlar det i stället om att reserven upphandlas en hel vecka innan aktivering vilket skapar liknande problem som för FFR. Marknaden för m-FRR kräver betydligt större bud vilket kan göra det svårt för vissa aktörer att delta.

Vindkraften kan även bidra med annan typ av flexibilitet utöver stödtjänster men det finns utmaningar med detta. Vindkraften kan bidra på lokala flexibilitetsmarknader. Det kan däremot vara bättre ur ett systemperspektiv om flexibilitet i konsumtion eller energilager har möjlighet att öka förbrukningen lokalt för att matcha den lokala produktionen. Anledningen till det är att det minskar behovet av spill och ger ett mer resurseffektivt kraftsystem. När det kommer till variationshantering finns det en teoretisk möjlighet att spilla vindkraft för att hantera situationer med produktionsöverskott, vilket dock medför nackdelar när det gäller resurseffektivitet eller lönsamhet för vindkraftsägare.

B1.2 Hinder för flexibel elproduktion från kraftvärme

Kraftvärmens huvudsakliga utmaningar för att öka flexibiliteten är att värmen måste få avsättning, antingen till fjärrvärme eller industriella processer. Idag finns det flera olika faktorer som påverkar framtida värmeunderlag som kommer finnas för kraftvärme. Exempel på detta är energieffektiviseringar, ökad rest- och överskottsvärme till följd av det från andra sektorer samt konkurrens från alternativa uppvärmningssätt, främst värmepumpar.

Möjligheten att producera mer el vår-sommar-höst skiljer sig från möjligheten under vintern. Begränsningen sätts av förutsättningarna för utökad kondensdrift vilket kräver att kraftvärmeanläggningen har förmåga att kyla bort den värme som inte kan avsättas i fjärrvärmenätet. Alla anläggningar har inte den möjligheten och enligt undersökning²⁸² från Svebio saknade 42 procent helt möjligheten att kyla bort extra värme vilket motsvarar 625 MW av de svarande. Många andra anläggningar har även bara delvis kylförmåga. Produktion av mer el utan avsättning till fjärrvärmen leder dessutom till minskad resurseffektivitet och högre kostnader då det går åt mer bränsle för energi som inte används. Förutom kylning så är en annan möjlighet att lagra värmen.²⁸³

Elprisnivåerna har utgjort en utmaning för vanliga driftområden för kraftvärmeverk när det kommer till ekonomin och det har inte varit lönsamt att öka värmeunderlaget för att kunna generera mer el. Volatiliteten i elpriset behöver öka för att utgöra en större motivering att öka flexibiliteten även om en ökad termisk flexibilitet (t.ex. värmelager) kan

²⁸² Svebio biokraftundersökning 2022. Svebio tillfrågade 154 anläggningar med en sammanlagd effekt på 4 203 MW och erhöll svar från 98 anläggningar med installerad effekt på 3 068 MW (73%) och ”verklig” effekt på 2824 MW.

²⁸³ Källa: ER 2023:14

vara lönsamt i vissa fall.²⁸⁴ Enligt en studie från Energiforsk²⁸⁵ kan däremot en ökad flexibilitet hos kraftvärmeverk bli lönsamt om volatiliteten ökar, både för termisk och produktflexibilitet. I studien fås den högsta vinsten för en avfallsanläggning där en ökad flexibilitet till och med kan vara lönsam med dagens struktur på elpriset på grund av en ökad drifttid. Detta innefattar dock kondensdrift vilket inte är tillåtet idag.²⁸⁶

Att leverera reglerkraft innebär en ökad komplexitet för körning av anläggningarna och ett nytt tankesätt för driftplanering. Det kan utgöra ett komplement för att ytterligare öka vinsten något när anläggningen befinner sig i ett gynnsamt driftläge. Det ger även en viss robusthet mot lägen där elpriserna är låga, eftersom anläggningen i stället kan ställa om till att producera en större mängd frekvensreglering. Däremot är bedömningen att det sannolikt krävs en högre ersättning för försäljning av reglerkraft för att detta skall få ett stort genomslag bland kraftvärmeverken. Förutom priset är kraven för att få verka på reglerkraftsmarknaden avgörande. Även för de övriga stödtjänsterna påverkar de tekniska kraven huruvida kraftvärme kan delta. För till exempel FCR-N är det med kraftvärmeverkens dynamiska processer svårt att få svar som är exakt 100 procent av såld frekvensreglering efter 3 minuter. Insvängningstiden kan vara längre än så men utan större felmarginaler. En justering av kravet från 100 till 95 procent inom 3 minuter skulle underlätta för kraftvärmeverk att bidra till frekvensregleringen.²⁸⁷

I en doktorsavhandling från Chalmers²⁸⁸ så framkommer det att kraftvärmeverk kan bidra med flexibilitet i det studerade elsystemet på ett kostnadseffektivt sätt, men kraftvärmeverkens inverkan på det totala elsystemet är begränsad, då den installerade effekten för kraftvärmeverk är liten i förhållande till elsystemets storlek och förväntade nettolastvariationer. Från anläggningens perspektiv kan det dock ge ökade intäkter att matcha anläggningens drift mot elprisvariationer, men för detta krävs en hög nivå av volatilitet på elmarknaden och tillgång till storskaliga värmelager.²⁸⁹ I en annan doktorsavhandling från Uppsala Universitet²⁹⁰ så framkommer det att om kraftvärmeverkens produktion skulle planeras utifrån kraftbalanseringsbehov istället för värmebehov så blir drifttimmarna betydligt färre vilket påverkar lönsamheten samt motivering till investering. För att öka lönsamheten finns det i så fall ett behov av nya affärsmodeller där fjärrvärmebolagen får ersättning för att utgöra kraftbalanseringstjänster.²⁹¹

²⁸⁴ Energiforsk (2021), Kraftvärmeverk för elsystem med volatila elpriser

²⁸⁵ Ibid

²⁸⁶ Ibid

²⁸⁷ Energiforsk (2021), Kraftvärmeverk för elsystem med volatila elpriser

²⁸⁸ Johanna Beiron, "Combined heat and power plants in decarbonized energy systems", (diss, Chalmers tekniska högskola, 2022), Combined heat and power plants in decarbonized energy systems: Technoeconomics of carbon capture and flexibility services at the plant, city and regional levels (chalmers.se)

²⁸⁹ Ibid

²⁹⁰ Svante Monie, "Balancing renewable electricity generation using combined heat and power plants, large scale heat pumps and thermal energy storages in Swedish district heating systems", (diss, Uppsala Universitet, 2022), <http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A1621520>

²⁹¹ Ibid

B1.3 Hinder för flexibel elproduktion från kärnkraft

Det finns ett antal faktorer som påverkar förutsättningarna för att realisera den teoretiska potentialen av flexibel drift för kärnkraft där de flesta berör säkerheten. Det är upp till ansvariga för kärnkraftsanläggningarna (innehavare av tillstånd för kärnteknisk verksamhet) att besluta om körsätt. Om ett sådant beslut tas är det upp till Strålsäkerhetsmyndigheten att bedöma om beslutet är tillräckligt motiverat och om körsättets eventuella påverkan på strålsäkerheten belysts och utvärderats korrekt. De flesta av de svenska kärnkraftsanläggningarna har frekvensreglering och effektregering beskrivet i sina säkerhetsredovisningar vilket gör att det ingår i tillståndet. Förändringar som inte innebär större ombyggnationer eller ändringar av befintlig ska säkerhetsgranskas samt anmälas till Strålsäkerhetsmyndigheten, men innebär inte en ansökningsprocess som ska godkännas. Större ombyggnationer eller ändringar ska dock vara prövade och godkända av Strålsäkerhetsmyndigheten.

Vid förändrade körsätt så kan bränslekutsarnas kapslingar påverkas och utsättas för påfrestningar. Att det är hela har stor betydelse för att begränsa spridning av radioaktivt material i en kärnkraftsanläggning. Eventuella bränsleskador är således en begränsande faktor vid effektuppgång vilket påverkar hur fort effekten kan ökas efter en nedgång.²⁹² Hur variationen av den aktiva effekten får påverka bränslet är några av de aspekter som rör reaktorsäkerheten och tillståndsvillkoren från Strålsäkerhetsmyndigheten. Det är viktigt att härden dimensioneras i den årliga härdoptimeringen med tillräckliga marginaler så att en flexibel drift inte innebär att konstruktionsgränser överskrids.

Att ändra driftsätt behöver alltid utvärderas och valideras eftersom det är viktigt att följa upp eventuella konsekvenser för anläggningarna. En driftändring kan få flera följdkonsekvenser så som andra krav på bränslet, sämre bränsleekonomi, ökat slitage på pumpar och turbin, mer avancerad radiologi- och kemihantering samt ökade krav och omfattning på hårdnära analyser. Påfrestningar på kärnkraftsanläggningarna behöver klarställas och över tid utvärderas.

Enligt en rapport av Svk²⁹³ bör inte leverans av stödtjänster eller avhjälpande åtgärder som innebär automatisk styrning och kan leda till effektpendlingar i härden införas. Kärnkraftsanläggningarna har en återkoppling via turbinregleringen avseende kraftsystemets frekvens. Det gäller att bedöma inom vilket frekvensband som en frekvensreglering kan ske. Desto smalare reglerspann desto oftare sker förändringar i aktiv effekt.

Idag har anläggningarna en viss förmåga till flexibilitet, framför allt effektregering. Detta är dock något som behöver planeras för att optimera bränslesammansättning och för att säkerställa en rimlig bränsleekonomi. För övriga flexibla tjänster, eller en markant ökad användning av effektregering, behöver justeringar i anläggningarnas konstruktion göras. Detta kräver ett omfattande analys- och verifieringsarbete. Analyserna, justeringar i konstruktion och verifieringsarbetet driver upp kostnaderna vilket gör att det även är ett ekonomiskt hinder att gå mot ett mer flexibelt körsätt.

²⁹² Till exempel kan effekttökningar begränsas vid uppgång på grund av bränslets inkapsling, så kallat PCI (Pellet Cladding Interaction). Det är en form av spänningskorrosion mellan själva kärnbränslet och kapslingsmaterialet som uppstår på grund av att kapsling och bränslekutsar har olika längdutvidgningskoefficient. Källa: karnkraftens-roll-i-kraftsystemet_2019_02_15.pdf (svk.se)

²⁹³ Svenska kraftnät (2019), Kärnkraftens roll i kraftsystemet

B1.4 Hinder för flexibel elproduktion från solkraft

Solkraft har möjlighet att bidra på balansmarknaden, främst genom snabb nedreglering likt vindkraften. Om systemet inkluderar batterier och/eller elbilsladdning kan även snabba symmetriska produkter samt uppreglering vara lämpligt (FFR, FCR-N, FCR-D upp). Många av de hinder och förutsättningar för att solkraften ska kunna bidra med flexibilitet liknar de för vindkraften. Däremot skiljer sig variationerna något åt mellan de olika kraftslagen vilken kan påverka vissa förutsättningar. De reella och ekonomiska förutsättningarna beror precis som för vindkraften på hur tjänsterna och ersättningen för deltagande utformas.

B1.5 Hinder för flexibel elproduktion från vattenkraft

Vattenkraften är idag Sveriges största flexibilitetsresurs och flera av de stödtjänstmarknader som finns idag är i stort sett utformade efter vattenkraften. Det finns därför inga direkta hinder för vattenkraften att bidra med flexibilitet idag. Det finns däremot en relativt stor potential i att öka flexibiliteten genom effekthöjningar och det går också att uppnå en ökad reglerförmåga genom att förändra befintliga tillståndsvillkor. Förutsättningarna för ökad reglerförmåga påverkas av olika faktorer, en sådan faktor är framför allt avseende omprövningen för moderna miljövillkor. Hinder för att öka flexibiliteten från befintlig vattenkraft genom effekthöjningar, effektiviseringar och förändrade villkor beskrivs i kapitel 5.

B1.6 Hinder för flexibel elproduktion från gasturbiner

De främsta utmaningarna med att använda gasturbiner för att bidra med flexibilitet är ekonomiska och klimatmässiga, och beror på bränslebehovet.²⁹⁴ Topplastproduktion som gasturbinerna bidrar med idag kan behövas även i framtiden för att säkerställa en effekt-tillräcklighet. Det kan däremot vara få tillfällen som dessa behövs under ett normalår vilket försämrar de ekonomiska förutsättningarna att investera i gasturbiner.²⁹⁵ Gasturbiner har en relativt hög rörlig kostnad på grund av höga bränslekostnader.²⁹⁶

Det finns också utmaningar kopplat till själva infrastrukturen av gasnätet i Sverige. Idag finns endast ett stamnät för gas i Västsverige och därför begränsas en utbyggnad av gasturbiner när det kommer till val av lokalisering. Gasturbiner kan drivas på både fossil och icke-fossil olja och gas, och typer av LNG/LBG-terminaler utgör då ett alternativ för lokal elproduktion på platser som inte är anslutna till gasnätet. Om klimatmålen ska uppfyllas så förutsätter det däremot att gasturbinerna drivs på bioolja eller vät- eller biogas vilket kan vara kostnadsdrivande. Däremot skulle de ekonomiska förutsättningarna kunna förändras om gasturbiner skulle ingå i någon form av kapacitetsmarknad och bidra med nya kapacitetsmekanismer.²⁹⁷

²⁹⁴ Power Circle (2022), Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

²⁹⁵ NEPP: Färdplan fossilfri el – analysunderlag, 2019

²⁹⁶ Sweco (2020), Lösningar för ökad flexibilitet i elsystemet – möjligheter och utmaningar

²⁹⁷ Ibid

B2 Flexibilitet inom efterfrågan på el

Flexibilitet inom efterfrågan på el har undersökts i kategorierna hushåll och service, industri samt systemintegration. (Systemintegration avgör här användningen av el inom transport- och värmesektorer samt för att framställa andra energibärare såsom vätgas eller elektrobränslen.) En sammanfattning av de viktigaste hindren sammanlagt för dessa kategorier finns i avsnitt 7.2.2, en mer detaljerad beskrivning av hindren inom varje kategori presenteras i avsnitten nedan.

Flexibilitet inom användning av el kan finnas inom ”traditionell” efterfrågan, såsom el till hushåll, service och offentliga byggnader, samt inom ”ny” efterfrågan till följd av elektrifiering av fler sektorer. Både förändringen av elanvändningen under en viss period (Wh), samt förändringen i den uttagna effekten (W) kan ha en positiv påverkan på elsystemet. Även en reduktion av efterfrågan på el (utan en förflyttning av konsumtion mellan tider) kan räknas som flexibilitet, om den sker vid rätt tillfälle för att underlätta balansen i systemet.

Energimarknadsinspektionen har tidigare definierat begreppet efterfrågeflexibilitet som *”frivillig ändring av efterfrågad elektricitet från elnätet under kortare eller längre perioder till följd av någon typ av incitament”*.²⁹⁸ Definitionen utgår ifrån efterfrågad elektricitet från nätet och inte slutkundens elbehov. För kunder med egen produktion och/eller lagring skiljer sig mönstren för elanvändning från mönstren för elkonsumtion från nätet. I en tidigare rapport om *Framtidens elektrifierade samhälle*²⁹⁹ har Energi-myndigheten delat in flexibel elanvändning i flyttbar last och förbrukningsreduktion. Potential för flyttbar last har identifierats inom sektorerna industri, transport och bostäder samt service; potential för förbrukningsreduktion har identifierats inom olika industrier.

B2.1 Hinder för flexibilitet inom hushåll och service

Flera sätt att tillhandahålla efterfrågeflexibilitet inom hushåll- och servicesektorn involverar byte eller uppgradering till styrbar utrustning och därmed investeringar för slutkunder. Investerings- och rörliga kostnader bedöms låga³⁰⁰, vilja, acceptans och kunskap hos slutkunder kan dock utgöra ett hinder för en snabb realisering av efterfrågeflexibilitet. Många olika berörda aktörer såsom villaägare, fastighetsbolag, fastighetsförvaltning i offentlig sektor och företagare kan göra det svårare att införa investeringsstöd och styrmedel för att påskynda utvecklingen mot en större potential för efterfrågeflexibilitet.

För att slutkunder ska kunna se finansiella incitament för att erbjuda flexibilitet vid de tidpunkter som det är av mest nytta till elsystemet så behövs tidsvarierande priser som motspeglar värdet av flexibilitet. Exempel på detta kan vara timvarierande tariffsystem eller timvarierande priser inom en flexibilitetsmarknad. Varje elkund har idag rätt att få sin elförbrukning mätt per timme. Energimarknadsinspektionen listar i sin årliga undersökning om hinder för efterfrågeflexibilitet³⁰¹ nödvändigheten av förbättrade prissignaler genom till exempel nättariffer. Det nämns att idag så finns det inga dynamiska effekttariffer

²⁹⁸ Energimarknadsinspektionen (2016): Åtgärder för ökad efterfrågeflexibilitet i det svenska elsystemet (Ei R2016:15).

²⁹⁹ Statens energimyndighet (2021): Framtidens elektrifierade samhälle, Analys för en hållbar elektrifiering. (ER 2021:28. ISSN 1403-1892).

³⁰⁰ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³⁰¹ Energimarknadsinspektionen (2022) Tjänster för efterfrågeflexibilitet (Ei R2022:15)

som varierar med lokalnätets uttag från regionnät, vilka skulle kunna ge starkare incitament för att realisera efterfrågeflexibilitet inom lokalnät. Idag har de nätbolag som har en effektrelaterad del i sin nättariff utformat det efter principen ”plana ut kurvan”, vilket motverkar annan efterfrågeflexibilitet. Även det varierande behovet av flexibilitet under olika säsonger och år (till exempel under varm eller kall vinter) listas som möjlig begränsning till efterfrågeflexibilitet, då intäktsmöjligheter för slutkunder då blir osäkra. En möjlig lösning på detta är en fast ersättning för tillfällig effekt, även om flexibiliteten inte avropas. Ekonomiska incitament till elnätsföretagen i intäktsramsreglering för att lösa utmaningar i elnätet genom flexibilitetstjänster nämns även kunna öka betalningsviljan för tjänster för efterfrågeflexibilitet.

Både, för aktörer som vill erbjuda och köpa flexibilitet så kan administrativa hinder, som resurser och tid som krävs för att komma i gång eller tillgång till kunskap om vilka regler och affärsmodeller som finns, vara en begränsande faktor. Det gäller till exempel slutkunder som vill påverka sina elkostnader genom efterfrågeflexibilitet, elhandelsföretag som vill ta fram attraktiva erbjudanden till sina kunder eller nätföretag som vill jobba med flexibilitetstjänster inom nätverksamheten. Även marknadsplattformar som utformas och lokala lösningar så som energigemenskaper behöver ha låga inträdesbarriärer. Ett sätt att minska komplexiteten med flexibilitetslösningar för olika aktörer är en högre koordinering och standardisering. Gemensamma regler och ramar för flexibilitetsmarknader, kommunikation och arbetssätt, gemensamma lösningar för att prognostisera flexibilitet samt gemensamma begreppsdefinitioner är några aspekter som kan underlätta realisering av mer efterfrågeflexibilitet.³⁰²

- När det gäller aggregering av flexibilitetsresurser (och småskalig produktion) från mindre aktörer, där en del kunder inom hushåll- och servicesektorn ingår, så finns det oklarheter kring aggregatorns roll, speciellt när det gäller kravet på balansansvaret i anslutningspunkten. I en rapport har Energimarknadsinspektionen 2021 fastställt brister i nuvarande lagstiftning när det gäller oberoende aggregatorer.³⁰³ Februari 2023 antogs en proposition som klargjorde att aggregatorn ska kunna vara en annan än elleverantören.³⁰⁴ Lagändringarna föreslogs träda i kraft den 1 juni 2023. En viktig fråga är vem som har det ekonomiska ansvaret för obalanser. Aggregeringstjänster får bara tillhandahållas om någon har åtagit sig balansansvar som särskilt avser de obalanser som tjänsterna kan medföra. Olika åsikter och tolkningar kring frågan figurerar.³⁰⁵ Från slutkundens perspektiv så behöver aggregeringslösningar involvera tydliga incitament och lättillgängliga system för att öka deltagandet. För att aggregatorer ska vara verksamma gäller samma sak, svårtolkade regler och mycket administration minskar möjlig vinst så mycket att det riskerar att stoppa utvecklingen. När det gäller lokala lösningar som energigemenskaper så påverkar administrativa hinder och hinder gällande regelverk som fördröjer en mer aktiv roll av slutkunder i samband med lokal småskalig elproduktion och flexibilitet.³⁰⁶

³⁰² Energimarknadsinspektionen (2022) Tjänster för efterfrågeflexibilitet (Ei R2022:15)

³⁰³ Energimarknadsinspektionen (2021) Oberoende aggregatorer – Förslag till nya regler för att genomföra elmarknadsdirektivet Ei R2021:03r

³⁰⁴ Regeringens proposition 2022/23:59 Genomförande av elmarknadsdirektivet när det gäller leverans av el och aggregeringstjänster, Stockholm den 9 februari 2023

³⁰⁵ ”Ny lagstiftning riskerar att stoppa utvecklingen av efterfrågeflexibilitet” – Second Opinion (second-opinion.se)

³⁰⁶ LiU (2022) Lokala Energigemenskaper <https://liu.se/dfsmedia/dd35e243dfb7406993c1815aaf88a675/61302-source/hinderbanan-broschyr-om-lokala-solelgenmenskaper> (hämtat 2023-03-08)

B2.2 Hinder för flexibilitet inom industrisektorn

Ett tydligt hinder för flexibilitet inom industrin är begränsningar i processer, dvs. långa uppstartstider och liknande tekniska begränsningar samt behovet av investeringar om processer behöver anpassas för att möjliggöra mer flexibilitet. Även risken att kvalitén på produkter eller leveranssäkerheten påverkas kan nämnas som hinder för olika typer av industrier. I en intervjustudie med deltagare från svensk industri och energisektorn nämns även bristen på förståelse för flexibel styrning av processer samt hur flexibilitetsmarknader fungerar som ett hinder till flexibilitet inom industrin.³⁰⁷ Även marknadernas utformning är viktig för att möjliggöra flexibilitet. Det finns idag ett relativt stort intresse att delta på de marknader som har kortare eller valfri uthållighet inom primärrelgering, samt att delta på lokala flexibilitetsmarknader. Däremot på reglerkraftsmarknaden, där uthålligheten är 1 timme, så är intresset inte lika stort.³⁰⁸

När det gäller framtida utvecklingar inom elektrifiering av industrin så uppskattas det finnas potential till flexibilitet inom bland annat vätgasproduktion. En del av vätgasproduktionen förväntas ske inom järn- och stålindustrin med syftet att producera fossilfritt stål.³⁰⁹ Det är viktigt att komma ihåg att dessa aktörers primära syfte inte är att leverera elsystemstjänster utan varor till sina kunder. Det måste därför finnas rätt förutsättningar på plats för att det ska vara lönsamt och praktiskt möjligt för aktörerna att vara flexibla. För att det ska vara konkurrenskraftigt att använda grön vätgas inom järn- och stålindustrin så får elpriserna inte vara för höga då det är den största drivande kostnaden för vätgasproduktionen. Var prisgränsen går är däremot svårt att uppskatta och beroende av ett flertal faktorer så som kostnaderna för elektrolysörer, globala priser på järn- och stål och kostnaderna för alternativmetoden om man inte använder vätgas.

Utvecklingen mot en högre grad elektrifiering för att möjliggöra en klimatneutral industriktor påverkas även av de nödvändiga förutsättningarna i elsystemet. För att en ökad elektrifiering inom industrin, och därmed en ökad potential för flexibilitet, ska kunna bli av så krävs tillgång till el till konkurrenskraftiga priser. Både utbyggnaden av elproduktion och nätinfrastruktur påverkar tillgången till flexibilitet inom elektrifierad industri i framtiden. Från Svenska kraftnäts långsiktiga marknadsanalys 2021³¹⁰ så framkom det att framtida vätgasproduktion kan ha en betydande roll när det gäller påverkan på elpris och utbyggnad av förnybar variabel elproduktion. Detta då de lägsta elprisnivåerna kan höjas om vätgasproducenterna är flexibla och därigenom motverka kannibalisering.

B2.3 Hinder för flexibilitet genom systemintegration

En effektiv koordinering och samverkan av olika aktörer och intressen utgör en utmaning för nyttjandet av flexibilitet för elsystemet generellt. När det gäller systemintegration och synergier mellan olika sektorer blir den utmaningen tydligare då fler aktörer och verksamhetsområden berörs. Nedan beskrivs de mest väsentliga hindren för flexibilitet i relation till kopplingen av elsystemet med transport- och värmesektorerna samt i samband med vätgas och elektrobränslen framställt genom elektrolys.

³⁰⁷ Johansson & Ilic, Incentives and barriers to flexible operations of industrial processes and district heating production to increase intermittent renewable electricity production – an interview study with involved actors

³⁰⁸ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³⁰⁹ Direktreduktion av järnmalmspellet för att producera järnsvamp

³¹⁰ Svenska kraftnät (2021), Långsiktig marknadsanalys 2021

Transport

Inom området elektrifierad persontransport så finns det hinder för ökad användning av flexibilitet kopplat till den fysiska infrastrukturen, kring planering och koordination, samt kopplade till möjliga tekniska konsekvenser av ett mer flexibelt laddmönster för batterier. När det gäller laddinfrastruktur är det inte bara tillgången till laddboxar som är viktig, utan rätt teknik som tillåter smart styrning eller V2X är en förutsättning för att kunna möjliggöra flexibilitet inom fordonsladdning. Tillsammans med incitament som ökar implementering av laddboxar för smart styrning kan det krävas vidare arbete inom standardisering för laddboxar med möjlighet till V2X.³¹¹ För bästa placeringen av snabbbladdare behöver det tas hänsyn till både trafikmönstren inom vägtransport samt påverkan på det lokala nätet genom större effektuttag jämfört med stationer för normladdning, vilket behöver utredas i de enskilda fallen. Medan det finns goda förutsättningar för boende i småhus att installera laddinfrastruktur, så finns det betydligt större hinder för boende i flerbostadshus utan rådighet över egen parkering, där tillgång till laddmöjligheter beror på fastighetsägaren eller publik laddinfrastruktur.³¹²

Avseende planering och affärsmodeller krävs det en förbättrad dialog och större koordinering bland olika aktörer för att skapa ett fungerande system för laddning av elfordon i större skala på effektivt sätt. Laddstationer ska kunna integreras i existerande lokala nät och tarifferna som erbjuds till slutkunder för laddning av fordon behöver spegla värdet av flexibilitet vid olika tidpunkter. Nätbolag nämner osäkerhet kring placering och storlek av nya laster samt hur laddbara fordon kommer påverka de befintliga lastprofilerna över dagen.³¹³ Som konsekvens uppstår inte bara svårigheter i att främja en snabb utbyggnad av laddmöjligheter inom det lokala nätet men även för att möjliggöra strategier för flexibilitet inom laddning av batterifordon. Då nätutbyggnad karakteriseras av långa ledtider så ses utnyttjandet av flexibilitet som en tillfällig lösning för att kunna möjliggöra en fortsatt elektrifiering av personbilar.³¹⁴ Det krävs en helhetsbild om utvecklingar i behov för laddning samt hur flexibilitet kan bidra på mest effektiva sättet till integration av mer elektrifierade fordon i elsystemet.

Styrning av laddning för batterifordon med fokus på elsystemets flexibilitetsbehov innebär laddmönster som kan skilja sig från hur det skulle vara bäst att ladda med fokus på batteriets livslängd (exempelvis hur snabbt batteriet laddas in och ur eller, med respekt till V2X, hur många cyklar den laddas). En potentiell snabbare degradering av batteriet innebär indirekta kostnader för fordonsinnehavaren, som måste motsvaras i ersättning för V2X tjänster. Vilken effekt olika laddstrategier har på batterier och deras livslängd är ett område som behöver undersökas mer.

³¹¹ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³¹² Statens Energimyndighet (2023) Delrapport inom uppdraget om handlingsprogram för laddinfrastruktur och tankinfrastruktur för vätgas, ER 2023:06

³¹³ Energiforsk (2022) Elektrifiering av fordonsflottan, Rapport 2022:898, ISBN 978-91-7673-898-6| © Energiforsk november 2022

³¹⁴ Ibid

Värme

Många hinder och förutsättningar för att tillhandahålla flexibilitet för elsystemet genom integration av el- och värmesektorerna är ganska lika andra områden inom efterfrågeflexibilitet som beskrivits tidigare. Ekonomiska incitament måste finnas som speglar det tidsvarierande värdet av flexibilitet i elsystemet, både för aktörer som småhusägare eller fastighetsägare som vill styra sin uppvärmningsutrustning samt för aktörer inom fjärrvärmeproduktion som använder värmepumpar eller elpannor för att producera värme eller har möjlighet till elproduktion genom kraftvärmeverk. I en intervjustudie inom de svenska energi- och industrisektorerna³¹⁵ nämndes även höga elskatter som hinder för användning av framför allt elpannor men också för värmepumpar för fjärrvärmeproduktion. I intervjuerna tas upp möjligheten att ta hänsyn till regionala skillnader och att öka incitamenten för flexibilitet i regioner med hög andel väderberoende elproduktion genom till exempel lägre elskatter i dessa områden. Om värmelager används för att öka flexibilitetspotentialen inom värmesektorn kräver det investeringar som behöver kunna bedömas som lönsamma. Som i andra sektorer finns det även administrativa hinder för att kunna erbjuda flexibilitet eller delta i flexibilitetsmarknader, samt att roller och ansvarsområden måste vara tydliga.

Vätgas och elektrobränslen

En generell utmaning när det kommer till det mångsidiga användandet av vätgas via framför allt elektrolys är att skapa ett fungerande integrerat energisystem där olika energibärare, infrastrukturer och slutanvändare samverkar. I alltför stor utsträckning bygger dagens energisystem fortfarande på separata värdekedjor från specifika energiresurser till specifika slutanvändarsektorer med oftast egna marknadsregler och planeringsprocesser för distributionsinfrastrukturen.³¹⁶

Vätgasens värdekedja är komplex och kopplingen till andra sektorer inom energisystemet involverar flera intressenter. Det gör samordningen utmanande och det krävs stödjande regelverk och policyåtgärder för att skapa ett integrerat energisystem som fungerar som helhet. Även synkroniserade investeringar i hela värdekedjan inklusive produktion, lagring, transport, leverans och användning är nödvändiga för utvecklingen av vätgasekonomin mellan offentliga och privata aktörer, olika industrisegment och på lokal, nationell och internationell nivå.³¹⁷

Elektrolysörer och vätgaslager kräver förhållandevis stora investeringar. Nyttan för elsystemet av att kunna erbjuda flexibilitet genom dessa lösningar måste därför motspelas i finansiella incitament för aktörerna som gör investeringarna för att möjliggöra en snabb utbyggnad och tillgång till flexibilitet genom produktion av vätgas.

Bristen på ett utbyggt distributionsnät för gas i Sverige gör att värdekedjorna blir lokala vilket utgör ytterligare utmaningar till exempel om vätgas utnyttjas för att absorbera överskottsproduktion av el från förnybara resurser. Lokalisering av elektrolysörer i relation till elproduktion och elnätskapacitet spelar roll för var det är mest effektivt att producera vätgas. Det kan uppstå avvägningar mellan nyinvesteringar i el- eller gasinfrastruktur. Kostnaderna för investeringarna i nät för el eller vätgas behöver också vägas mot vinster

³¹⁵ Johansson, Ilic, Cruz (2022) Flexibelt energisystem genom samverkan mellan fjärrvärmesystem, elsystem och industri, slutrapport

³¹⁶ EIT InnoEnergy, *Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem*, 2021

³¹⁷ EIT InnoEnergy, *Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem*, 2021

i form av mer harmoniserade elpriser, och andra systemnyttor som uppkommer från att vätgasproduktionen sker flexibelt.³¹⁸ Generellt så utgör lagring och distribution av vätgas och relaterade säkerhetsfrågor, samt teknisk omogenhet några av de mest utmanande delarna av vätgas-värdekedjan och kan vara avgörande för kostnadsreduktion och genomförbarhet i ett projekt.³¹⁹

B3 Flexibilitet genom användning av energilager

Flexibilitet genom användning av energilagring har undersökts för batterier, pumpkraft samt vätgaslager. En sammanfattning av de viktigaste hindren sammanlagt för dessa kategorier finns i avsnitt 7.2.3, en mer detaljerad beskrivning av hindren inom varje kategori presenteras i avsnitten nedan.

Användning av energilager tillåter en förflyttning av efterfrågan över tid via in- och urladdning av lagret. Energi kan således lagras till exempel vid tider då det finns ett överskott för att vid ett senare tillfälle användas för att tillgodose en efterfråga på energi eller för att transporteras vidare för att användas på ett annat ställe (via till exempel elnät eller fjärrvärmesystem). Energi kan lagras i många olika former, såsom el, värme eller gas. Fokus här är flexibilitet för elsystemet. Därför fokuseras på energilagring som använder sig av el till exempel från elnätet eller direkt från en kraftkälla, lagrar den i olika former samt en efterföljande användning som el. (En användning av energi i form av värme eller gas efter energilagring nämns i avsnitt 7.2.3 om systemintegration.)

Energilager kan skapa nyttor både för elsystemet och innehavaren av lagret. Energilager kan exempelvis bidra till att hantera effektoppar eller utjämna elproduktion från väderberoende kraftkällor eller förbrukningen hos elanvändare. Energilager möjliggör också effektivare användning av elnät, anslutning av förbrukare till elnätet i väntan på nät-förstärkningar, deltagande i Svks stödtjänster samt kan bidra till totalförsvarets behov.³²⁰

Svenska kraftnät har nyligen genomfört en omvärldsanalys³²¹ för att undersöka olika tekniker för energilagring med affärsmässig potential i det svenska elsystemet. Studien kommer fram till att det är framför allt batterier, vätgas och pumpkraft som kommer kunna bidra med flexibilitet på medellång sikt (mellan 2030 och 2040). Av dessa bedöms framför allt batterier, primärt litiumjonbatterier, vara den tekniken som kommer dominera marknaden de närmaste fem åren. På längre sikt skulle även andra tekniker som sväng-hjul, tryckluftslager och lager i salt kunna få betydelse.

B3.1 Hinder för flexibilitet från batterier

Investeringar i batterilager har framför allt skett inom fastighetssektorn vilket har drivits av installationer i solceller. Under 2022 har intresset från privatkunder att investera i solceller och batterilager ökat kraftigt till följd av de höga elpriserna. Energibolag har också i högre grad infört effekttariffer och fler småhusägare kan få tillgång till marknaderna för flexibilitetstjänster via aggregatorer. Inkomster från flera källor har visat

³¹⁸ Energimyndigheten (2021): Underlagsrapport Förslag till nationell strategi för vätgas, elektro-bränslen och ammoniak, ER 2021:36

³¹⁹ EIT InnoEnergy, *Vätgas för ett flexibelt och robust energisystem*, 2021

³²⁰ Svenska kraftnät (2022), *Lagring av el – omvärldsanalys*

³²¹ Ibid

sig avgörande för att skapa lönsamhet för batterilager där den största intäktskällan för kommersiella batterier de senaste åren varit från FCR-marknaderna.³²² Här är det viktigt att olika flexibilitetsmarknader fortsätter utvecklas på ett sätt som möjliggör för energilager att delta.

Utmaningar kring regelverk kan finnas till följd av att, svensk lagstiftning tidigare har utgått från aktörerna inom produktion, förbrukning och distribution. Nya aktörer inom energilagring innebär att flera regelverk kan behöva ses över för att inte utgöra ett hinder för energilagring. Detta har redan gjorts till viss del genom nya bestämmelser i ellagen (1997:857) som trädde i kraft i juli 2022.³²³ En översyn och vidare utveckling av regelverket kan tydliggöra och minska administrativa hindren för olika aktörer, samt förbättra förutsättningar för energilager för att tillhandahålla flexibilitet.

- Möjligheten att tillhandahålla flexibilitet från batterilagring för elsystemet förutsätter en fortsatt hög implementeringstakt av batterier. Nedan beskrivs därför en rad hinder och utmaningar kopplade mer allmänt till implementation av batterilager.

Idag så är det framför allt litiumjonbatterier som dominerar marknaden till följd av elektrifieringen inom transportsektorn. Det finns vissa tekniska utmaningar kopplat till litiumjonbatterier i att de är begränsade i sin momentana effektkapacitet, är temperaturkänsliga och kan överhettas på grund av dess kemiska sammansättning, vilket påverkar användningsområden för batterier och därmed deras potential att bidra med flexibilitet.³²⁴ De är också relativt resurskrävande att tillverka och kostnaden ökar i princip linjärt med ökad energikapacitet, vilket resulterar i att endast kortvarig lagring är ekonomiskt attraktivt, ofta 1–4 timmar.³²⁵ För en stor energilagringsskapacitet är flödesbatterier att föredra som utgörs av elektrolyter i flytande form som är lagrade i separata tankar. En utmaning med detta är däremot att det kan kräva stora tankvolymer på grund av en relativt låg energidensitet och utgör därför en begränsning i hur stor mängd energi batteriet kan leverera.³²⁶

Kostnaderna för litiumjonbatterier har minskat kraftigt de senaste 10 åren men under 2022 har priset på flera kritiska råmaterial ökat, delvis till följd av rådande omvärldssituation. En omfattande efterfrågan i kombination med begränsat utbud kommer även att påverka prisutvecklingen framåt och det finns samstämmiga uppgifter som visar på att bristen på viktiga råmaterial kommer att öka. Den utvecklingen har potential att begränsa den möjliga utbyggnadstakten av batterier och därmed flexibilitet som kan realiseras inom elsystemet. Behovet för litium uppskattas i dagsläget vara i storleksordningen 10 gånger mer än utbudet på marknaden vilket gjorde att priset nådde rekordhöga nivåer under 2022.³²⁷

³²² Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³²³ Svenska kraftnät (2022), Lagring av el – omvärldsanalys

³²⁴ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³²⁵ Svenska kraftnät (2022), Lagring av el – omvärldsanalys

³²⁶ Power Circle AB (2022) Flexibilitet för ett mer stabilt och driftsäkert elsystem – en kartläggning av flexibilitetsresurser

³²⁷ Energimyndigheten (2022, Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier.

Produktion av batterier kräver flera kritiska råmaterial från primära och sekundära råmaterialströmmar. Utmaningar kopplat till detta är dels att flödena av material inte ännu är utvecklade för de volymer som behövs för att upprätthålla takten i elektrifieringen. En annan utmaning är att försörjningen idag nästan uteslutande kommer från länder utanför EU, flera av dem förknippat med diverse geopolitiska aspekter. Sekundära flöden från återvinning är inte ännu fullt utvecklade och behöver skalas upp simultant som tillförseln av primära råmaterial. Det är viktigt att försäkra en hållbar tillförsel för att inte skapa osäkra förutsättningar för de affärsmodeller som ska driva klimat- och energiomställningen. Även forskning och innovation samt de kompetenser och human-kapital som finns inom batterivärdekedjan har ännu för liten omfattning vilken också utgör en utmaning för utvecklingen.³²⁸

Regeringen har gett Energimyndigheten, Naturvårdsverket och Sveriges geologiska undersökning i uppdrag att utveckla en myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier.³²⁹ En redovisning av uppdraget publicerades under 2022 och presenterar bland annat vilka hinder som finns för att etablera en hållbar batterivärdekedja. De främsta hindren berör bristen på arbetskraft och relevant kompetens, långsam utveckling av teknik och ny kunskap samt brist på råmaterial och marknads-förutsättningar.

B3.2 Hinder för flexibilitet från pumpkraft

Energilagring i pumpkraft karakteriseras av låga LCOS³³⁰ framför allt på grund av anläggningarnas långa livslängd. Däremot är den initiala investeringen hög vilket troligtvis är det största hindret idag. Investeringskostnaderna är främst beroende av storleken och den geografiska lokaliseringen och lönsamheten är beroende av tillgänglig fallhöjd vilket varit en begränsning för utbyggnaden i Sverige. Pumpkraftverk väntas inte ha någon större kostnadsminskning i framtiden då det är en mogen teknologi. Däremot kan lönsamheten påverkas av förändrade elpriser. Både SENS och Mine Storage som är två svenska bolag som utvärderar pumpkraft i gamla gruvor uppger att de huvudsakliga intäkterna uppskattas komma från flexibilitetstjänster, elhandel och erbjudanden om kapacitetsreserv till elbolag.

B3.3 Hinder för flexibilitet från vätgaslager

Här beskrivs hinder kopplade till användningen av vätgaslager med en efterföljande produktion av el.³³¹ Hindren för produktion av vätgas med syfte av användning inom industri eller för elektrobränslen beskrivs i samband med efterfrågan på el i avsnitt 7.2.2.

Begränsningar för vätgaslagring med efterföljande elproduktion är bland annat kopplade till förluster och lönsamhet. Hela kedjan el-vätgas-el genom en elektrolysör och sedan en bränslecell eller gasturbin innebär en total verkningsgrad mellan 30–40 procent.

³²⁸ Energimyndigheten (2022, Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier.

³²⁹ Ibid

³³⁰ Levelized cost of storage – Kostnaden för kWh eller MWh el som laddas ur från en lagringsenhet när man tar hänsyn till alla kostnader och energi som produceras under enhetens livstid.

³³¹ Vätgas kan produceras med hjälp av elektrolysör som använder el. Den efterföljande elproduktionen från vätgas kan ske genom bränsleceller eller gasturbiner.

Potentialen är alltså just nu begränsad för att använda vätgaslager för stegen el-gas-el på grund av höga förluster och att det inte är ekonomiskt försvarbart till följd av det. Däremot så är gasturbiner inte lika dyra som bränsleceller och forskning pågår för att utveckla gasturbiner som kan producera el med 100 procent vätgas.³³² Ett annat sätt att förbättra totalverkningsgraden och lönsamheten är att ta vara på restvärmen från elektrolysisprocessen och använda i fjärrvärmesystemet.

Både, vätgaslager och elektrolysörer för att framställa vätgas kräver stora investeringar. Lönsamheten av dessa investeringar påverkas av osäkerheter i framtida intäktsmöjligheter, så som från flexibilitetstjänster eller som kapacitetsreserv, samt osäkerheter i framtida elpriser. En viktig förutsättning för affärsmodeller kring vätgaslagring är tillgång till vätgas till ett konkurrenskraftigt pris. Investeringar i vätgaslager för ökat flexibilitet kan vara samhällsekonomiskt intressant som alternativ/komplement till nätutbyggnad och för att främja utveckling inom industri, utbyggnad av kraftproduktion samt tillväxt och nya arbetstillfällen inom olika områden.³³³ Långtidslagring av vätgas är tekniskt möjligt. Lönsamheten av omvandlingen el-gas-el påverkas bland annat av skillnaden mellan elpriserna när vätgas produceras samt när el produceras av vätgas igen. Lagringskostnaden per kWh/el påverkas bland annat av antal cykler per år. Kostnader kan innebära ett hinder om lagret endast används för långtidslagring.

³³² Wickström Johan, Mer vätgas i turbinfabriken, *Tidningen Energi*, 2020-12-01. Mer vätgas i turbinfabriken (energi.se) (Hämtad 2023-03-09)

³³³ Statens Energimyndighet (2021), Underlagsrapport – Förslag till nationell strategi för vätgas, elektrobränslen och ammoniak, ER 2021:34.



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, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se