Nr C749

Vindkraft i kallt klimat

Kunskapsläge och forskningsbehov

På uppdrag av Skellefteå Kraft AB

Erik Lindblom, Mikael Malmaeus

ivl SVENSKA MILJÖINSTITUTET

Författare: Erik Lindblom, Mikael Malmaeus
På uppdrag av: Skellefteå Kraft AB
Rapportnummer C749
ISBNnummer 978-91-7883-484-6

© IVL Svenska Miljöinstitutet 2022
IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 210 60, 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se

Rapporten har granskats och godkänts i enlighet med IVL:s ledningssystem

Innehållsförteckning

Sammanfattning 4

1 Inledning 6

1.1 Testbädd kallt klimat 6
1.2 Syfte och mål 6
1.3 Omvärldsfaktorer 6

2 Metod och material 7

3 Resultat 9

3.1 Vindkraftens roll i den gröna omställningen 9
3.2 Norra Sveriges unika karaktär 12

3.2.1 Kallt klimat 12
3.2.2 Glest befolkat och nyindustrialisering 13
3.2.3 Svenska Sápmi 14
3.2.4 Alpin biogeografisk region 16

3.3 Externa effekter/miljöpåverkan 17

3.3.1 Förändrad markanvändning 18
3.3.2 Förbrukning av basmaterial (naturresurser) 19
3.3.3 Förbrukning av kritiska råmaterial 19
3.3.4 Klimat 22
3.3.5 Övriga externa effekter 22
3.3.6 Vindkraftens koppling till uppfyllandet av de svenska miljökvalitetsmålen 23

3.4 Redogörelse från workshoparna 23

3.4.1 Lokal förankring och samnyttjande av mark 24
3.4.2 Behov av förutsebar och rättvis ersättning till lokalsamhället 25
3.4.3 Acceptans och den dagspolitiska debatten 25
3.4.4 Behov av ökad förståelse för vindkraftens roll i det framtida energisystemet 26
3.4.5 Behov av stärkt nationell planering 26

4 Diskussion 27

4.1 Specifika miljö- och hållbarhetsaspekter 27
4.2 Begränsningar på systemnivå 28
4.3 Tillståndsfrågor och planering 28
4.4 Forskningsbehov 29

5 Slutsatser 30

6 Referenser 31

Sammanfattning

Vindkraften har en viktig roll i framtidens energisystem och de flesta bedömare är överens om att mer el kommer att behöva produceras i Sverige framöver. De främsta skälen till detta handlar dels om en elektrifiering av transportsektorn, dels om en omställning av industrin där bland annat batteritillverkning och fossilfri ståltillverkning förutsätter stora mängder el. Trots att vindkraft framstår som en helt nödvändig och rentav den viktigaste komponenten i omställningen av energisystemet, åtminstone på kort sikt, så har utbyggnaden i Sverige bromsat in de senaste åren. En stor del av ansökningarna för nya vindkraftverk stoppas av kommunala veton, rennäring och arts- och naturvårdsskäl. Allmänhetens attityd till vindkraft varierar och även om en majoritet är positiv så ökar också motståndet på olika håll.

För att genomföra den industriella omställningen i Sverige och elektrifieringen av fordonsflottan kommer stora mängder el behövas. Utgångspunkten i den nationella strategin för en hållbar vindkraftsutbyggnad är att åtminstone 100 TWh ny vindkraft behövs till 2040, men i vissa scenarier behövs ännu mer. Med en kraftig ökning av elbehovet i norr, med stålindustrins omställning och nya batterifabriker, etableringar av andra elintensiva industrier eller expansion av befintliga, kommer en stor del av vindkraftsutbyggnaden att behöva ske i norra Sverige. I denna rapport har vi använt scenarier mellan 12 och 60 TWh ny vindkraft i norra Sverige.

Med tanke på storskaligheten i utbyggnaden är det befogat att undersöka vilka behov detta medför i termer av mark- och resursanvändning och vilka flaskhalsar som finns för utbyggnaden. Med en vindkraftutbyggnad i den storlek som ansatts kommer en markyta i storleksordningen mellan 600 och 6000 km^2 att behöva utnyttjas för vindkraftparker i norra Sverige. Detta kan jämföras med ytan av Gotland som är drygt 3 000 km^2. Ett tillskott på 100 TWh vindkraft i det svenska energisystemet skulle kräva i storleksordningen 8 miljoner ton järn och 2 miljoner ton cement till vindkraftverk och fundament. Dessa volymer av basmaterial är troligen inte problematiskt att tillhandahålla givet de mängder som världen redan bryter och använder. Mer problematisk är sannolikt behovet av kritiska råmaterial som koppar och sällsynta jordartsmetaller. Klimateffekten av materialanvändning och uppförande av vindkraftverken beräknas enligt livscykelanalyser typiskt ligga i storleksordningen 10–20 g koldioxid per producerad kWh, vilket för de energiscenarier för norra Sverige vi undersökt motsvara mellan 2,5 upp till 24 miljoner ton koldioxid (totalt), vilket kan jämföras med de samlade territoriella utsläppen från Sverige på i storleksordningen 50 miljoner ton koldioxidekvivalenter *per år*. Samtidigt utgör vindkraften i praktiken en betydelsefull del av uppfyllandet av de svenska miljökvalitetsmålen och i synnerhet målet om Begränsad klimatpåverkan. Vissa målkonflikter kan finnas med andra miljökvalitetsmål, men analysen i denna rapport tyder generellt på att den negativa påverkan från vindkraften är hanterbar om än inte försumbar.

Det är också av betydelse att förstå vilka förutsättningar norra Sveriges unika karaktär innebär för utbyggnaden av vindkraft. Förutom rent tekniska utmaningar har det kalla klimatet också en mer storskalig dimension, då elförsörjningen i Sverige ofta är kritisk under vintermånaderna. En vanlig uppfattning är att sträng kyla ofta sammanfaller med stiltje, vilket sätter fingret på en problematik med en stor andel vindkraft i energimixen. Sammantaget har emellertid de kalla dagarna en relativt liten påverkan på den totala elförsörjningen i Sverige. En annan aspekt av norra Sverige är befolkningsstrukturen med stora arealer glesbygd och med en pågående nyindustrialisering i delar av Norrland. Svenska Sápmi breder ut sig över hela norra Sverige ner till Dalarna i söder. En ny lag trädde i kraft i början av 2022 som bland annat innebär att statliga myndigheter ska konsultera

företrädare för det samiska folket innan beslut fattas i ärenden som kan få särskild betydelse för dem. Naturen i den alpina biogeografiska regionen är en känslig miljö som kräver särskild hänsyn vid exploateringar av olika slag, inklusive vindkraft.

Analyserna i denna rapport bygger till stora delar på litteratur men har också genomförts i samråd med aktörer i två workshopar som hållits digitalt under 2022. Viktiga teman under dessa har varit lokalsamhällets behov av samverkan och samnyttjande av mark, samhällsutvecklingen i stort och behovet av en stärkt nationell planering. Generellt konstaterades att olika intressenter behöver involveras i planering, och ersättningsfrågor behöver diskuteras för att öka acceptansen för vindkraft både lokalt och generellt. De långdragna tillståndsprocesser som i nuläget försvårar en snabb utbyggnad av vindkraften behöver hanteras och kompletteras med en effektivare samhällsplanering.

Sammantaget drar rapporten slutsatsen att en fortsatt utbyggnad av vindkraft i norra Sverige inte försvårar uppfyllandet av miljökvalitetsmålen, och att vindkraften sannolikt är en helt avgörande förutsättning för uppfyllandet av Sveriges klimatmål inklusive miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan*. Vindkraften är både en möjliggörare och pådrivare för den regionala nyindustrialiseringen och den nationella/globala gröna omställningen. Norra Sveriges karaktärsdrag innebär inte att vindkraften orsakar allvarligare miljöeffekter, även om de kumulativa miljöeffekterna lokalt eller på sikt kan bli allvarliga på grund av många och storskaliga etableringar i regionen. Till de största utmaningarna för utbyggnaden av vindkraft i norra Sverige hör acceptans från lokalbefolkning och/eller kommunpolitiker samt renskötsel och annan samisk markanvändning. Det finns därför ett behov av förbättrad strategisk planering för en storskalig utbyggnad av vindkraft, som kan bidra till att öka tempot och förutsägbarheten i genomförandet och undvika de flaskhalsar som uppstår inom nuvarande tillståndsprocesser. Forskning kring lämpliga lokaliseringsområden för tillkommande vindkraft ur ett holistiskt perspektiv, och bedömning av kumulativa effekter av olika aspekter av den gröna omställningen, kan bidra till förbättrade planerings- och tillståndsprocesser för landbaserad vindkraft.

1 Inledning

1.1 Testbädd kallt klimat

Testbädd kallt klimat för omställning till 100 % förnybart leds av Skellefteå Kraft AB och finansieras av Vinnova. Projektet löper från november 2018 till december 2022 och syftar till att etablera en öppen och fullskalig testbädd för vindkraft i kallt klimat. Den långsiktiga planen är att omvandla den befintliga vindkraftsparken Uljabuouda i Arjeplogs kommun till en testbädd för framtida tekniktester. Resultaten kommer att vara generellt giltiga globalt, för alla regioner med kallt klimat. De specifika effekterna (både positiva och negativa) av utbyggd vindkraft är däremot beroende av lokala och regionala förutsättningar. Projektet har också som delmål att identifiera forskningsbehov för att fylla kunskapsluckor som försvårar en hållbar utbyggnad av vindkraft ur ett hållbarhetsperspektiv.

1.2 Syfte och mål

Analysen har som målsättning att identifiera vilka konkreta frågeställningar som återkommande utgör flaskhalsar för vindkraftsutbyggnaden i norra Sverige. Resultaten ska ligga till grund för rekommendationer på forskningsinsatser som kan reducera hinder för framtida vindkraftsutbyggnad.

1.3 Omvärldsfaktorer

Sedan vi ordnade den förra workshopen, den 5 april 2022, har Rysslands invasion av Ukraina fått allt mer dramatiska konsekvenser för det europeiska och svenska energisystemet. Inledningsvis dominerade rösterna för att accelerera omställningen till grön energi för att minska eller helt bryta beroendet av rysk gas och olja. I Sverige har förväntningarna på en massiv utbyggnad av marin vindkraft uttryckts i havsplanerna och de tilläggsuppdrag som ansvariga myndigheter har fått att peka ut lämpliga områden. Efterhand som energikrisen har förvärrats har europeiska länder slutit avtal om import av naturgas från andra länder än Ryssland, Tyskland har skjutit upp nedstängningen av sina sista kärnreaktorer och det talas om att det kommer att bli nödvändigt att använda mer kol under den kommande vintern. Det bidrog till att energipolitik fick större utrymme i den svenska valrörelsen än på mycket länge. Den nyligen tillträdda regeringskoalitionen mellan M, KD och L har tillsammans med SD pekat ut ett antal förändringar i den kommande energipolitiken, bland annat stora satsningar på kärnkraft, en paus för omprövningen av vattenkraften, att havsbaserad vindkraft ska stå för kostnaden för elnätsanslutning samt att utredningen Stärkta incitament för utbyggd vindkraft Dir. 2022:27 ett tilläggsuppdrag att tydligt föreslå hur verksamhetsutövarna ska ersätta kommunerna vid vindkraftsutbyggnad.

I den mån och takt som dessa förändringar genomförs kommer de att påverka förutsättningarna för utbyggnad av vindkraft i norra Sverige på olika vis. Bedömningen är att det i första hand är de ekonomiska och politiska förutsättningarna, inte de miljömässiga som förändrats. De påverkar därför inte inriktningen för den här analysen.

2 Metod och material

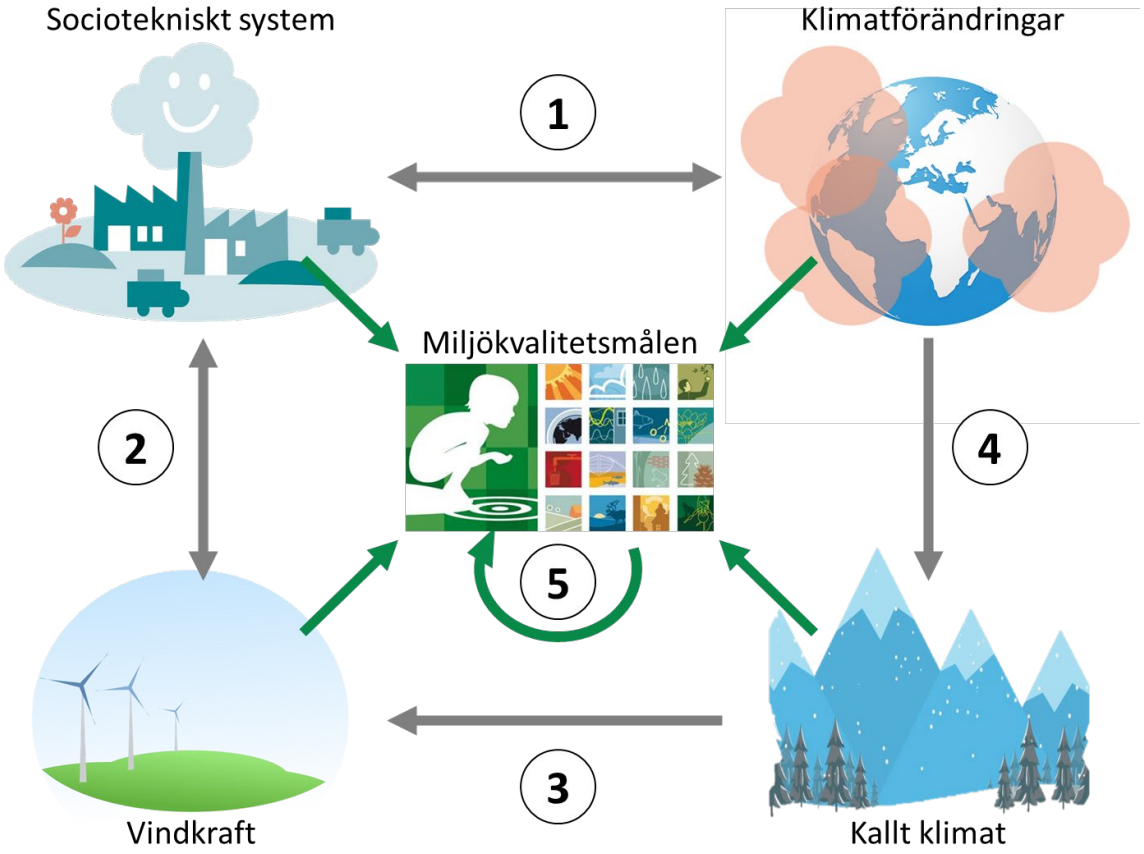
För att identifiera återkommande flaskhalsar för vindkraftsutbyggnaden i norra Sverige har en samskapande analys (efter engelskans *co-creation*) valts som huvudsaklig metod. Det innebär i korthet att deltagare i projektets nätverk genom workshopar har bidragit med såväl sakkunskap om analysens olika frågeställningar som med synpunkter och förslag på ramverket och prioriteringar. Nätverket har etablerats av projektet *Testbädd kallt klimat för omställning till 100 % förnybart* och består av kommuner och regioner, akademi, teknikleverantörer, branschorganisationer och myndigheter. Mellan workshoparna har projektgruppen utvecklat materialet genom litteraturstudier och intervjuer. Analysen har på så vis genomförts i en iterativ process. De båda workshoparna genomfördes den 5 april respektive 26 september 2022, med elva respektive tolv deltagare från nätverket. Den första workshopen fokuserade på analysens övergripande avgränsningar och centrala frågeställningar, medan den andra fokuserade på slutsatserna och rekommendationerna med avseende på identifierade flaskhalsar, kunskapsluckor och forskningsbehov. Resultaten från workshoparna redovisas utförligare i avsnitt 3.3.6.

En alternativ ansats hade varit att använda fallstudier av faktiska tillståndsansökningar med tillhörande remissyttranden och beslut. Det hade kunnat ge konkreta och specifika svar om enskilda projekt – där verksamhetsutövaren hade gjort bedömningen att möjligheterna att få tillstånd överväger hindren. Det hade därmed inte gett svar på vilka överväganden som ligger bakom aldrig inlämnade ansökningar. Det är inte heller säkert att en sådan ansats hade kunnat fånga upp strategiska frågeställningar eller andra systemperspektiv.

Energimyndigheten (2022) rapporterar återkommande vindkraftens produktion och utbyggnadstakt. Branschorganisationen Svensk Vindenergi (2022) redovisar även återkommande statistik över utfall av tillståndsansökningar. Hinder, inte minst i form av det kommunala vetot och långdragna tillståndsprocesser är väl kända och har bland annat adresserats i aktuella statliga utredningar (SOU 2021:53 och SOU 2022:33). Det generella kunskapsläget om vindkraftsutbyggnaden är med andra ord gott. För den här analysen är det därför av särskilt intresse att undersöka om det finns något som utmärker vindkraft i kallt klimat. Om kallt klimat likställs med norra Sverige blir två viktiga frågor vad som karaktäriserar vindkraft jämfört med annan infrastruktur och vad som karaktäriserar norra Sverige. Med det som utgångspunkt utgörs den fortsatta analysen av att undersöka eventuella kopplingar mellan dessa karaktärsdrag, om dessa kopplingar samverkar till eller motverkar en fortsatt utbyggnad av landbaserad vindkraft i norra Sverige och om eventuella hinder, flaskhalsar, skulle kunna övervinnas genom ett förbättrat kunskapsläge. Analysen utgår från följande grundantaganden:

1. Samhället i stort (det sociotekniska systemet) måste ställa om till en fossilfri energiproduktion för att bromsa klimatförändringen och lindra dess effekter.
2. Vindkraft är en viktig del av energiomställningen.
3. En betydande del av vindkraftsutbyggnaden sker i norra Sverige (i ett kallt klimat).
4. Norra Sverige utgör en del av polartrakterna (områden med kallt klimat), som påverkas kraftigare och snabbare av klimatförändringarna än det globala genomsnittet.
5. Alla de förändringar som energiomställningen och klimateffekterna ger upphov till påverkar på olika sätt tillståndet i miljön (uttryckt genom miljökvalitetsmålen). De olika målen kan både samverka med och motverka varandra.

Dessa antaganden illustreras i **Error! Reference source not found.**.



Figur 1. Samspelet mellan de olika delarna i det konceptuella ramverket. Kopplingarna (1–5) förklaras i texten ovan.

De svenska miljökvalitetsmålen ger inriktningen för den svenska miljöpolitiken och är vägledande för miljöarbetet på alla nivåer i samhället och utgör den ekologiska dimensionen av FN:s globala hållbarhetsmål. De globala hållbarhetsmålen inom Agenda 2030 syftar till att uppnå en socialt, miljömässigt och ekonomiskt hållbar värld (FN 2022). Miljömålssystemet består av 16 miljökvalitetsmål, se Figur 2, ett generationsmål och ett antal etappmål. När riksdagen beslutade om miljökvalitetsmålen 1999 gjordes det med ambitionen att de skulle vara uppfyllda senast 2020. Idag vet vi att endast målet Skyddande ozonskikt har uppfyllts och att det kommer att krävas ytterligare ansträngningar för att uppnå de övriga och därmed möjliggöra omställningen till ett hållbart samhälle.

Figur 2. Sveriges miljökvalitetsmål. För en utförlig beskrivning, se https://www.sverigesmiljomal.se/. Från Naturvårdsverket.

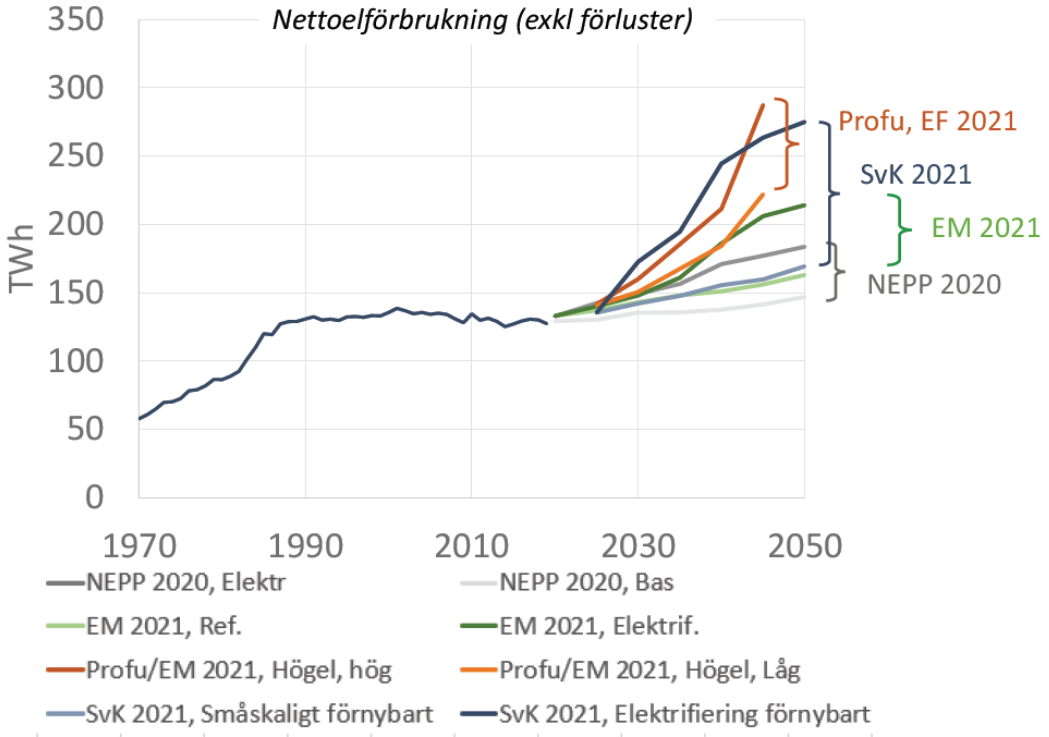
3 Resultat

3.1 Vindkraftens roll i den gröna omställningen

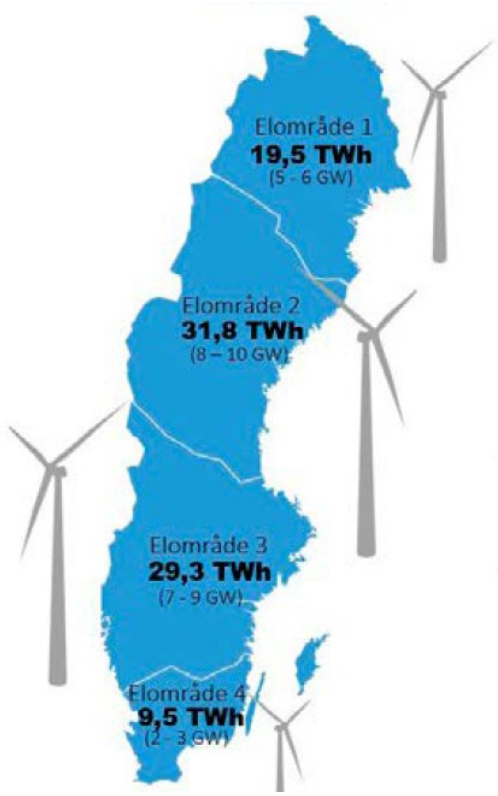
De flesta bedömare är överens om att mer el kommer att behöva produceras i Sverige framöver. De främsta skälen till detta handlar dels om en elektrifiering av transportsektorn, dels om en omställning av industrin där bland annat batteritillverkning och fossilfri ståltillverkning förutsätter stora mängder el. Trots att vindkraft framstår som en helt nödvändig och rentav den viktigaste komponenten i omställningen av energisystemet, åtminstone på kort sikt, så har utbyggnaden i Sverige bromsat in de senaste åren. Enligt branschorganisationen Svensk Vindenergi behöver det installeras runt 280 nya vindkraftsverk per år. Under 2021 beviljades 130 vindkraftverk, men 454 planerade verk fick avslag. 170 vindkraftverk stoppades av det kommunala vetot, 139 stoppades med anledning av rennäringen och 67 av artskydds- och naturvårdsskäl. Enligt SOM-undersökningen är allmänheten tydligt positiv till vindkraft, men andelen minskar. Tidigare i våras beslutade den dåvarande regeringen också om en lagrådsremiss med förslag till regeländringar om kommunal tillstyrkan till vindkraft. Kommunernas vetorätt finns kvar, men tidigareläggs och blir en förutsättning för att en tillståndsansökan för vindkraft ska kunna prövas enligt miljöbalken. Riskdagen röstade nej till förslaget, vilket betyder att det kommunala vetot tills vidare gäller oförändrat.

I en rapport från Energiforsk (2022) diskuteras flera scenarier som alla förutsätter en kraftig utbyggnad av vindkraften (Figur 3). Energimyndigheten och Naturvårdsverket har gemensamt tagit fram en nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad (Energimyndigheten, 2021). Utgångspunkten i strategin är en nationell utbyggnad fram till 2040-talet motsvarande minst 100 TWh, varav 20 TWh till havs. I somras presenterade den dåvarande regeringen också sitt så kallade Kraftpaket för mer billig el i hela landet. Det innehåller bland annat uppdrag till Energimyndigheten och åtta andra myndigheter att till dessa nya havsplaner peka ut områden som möjliggör ytterligare 90 TWh årlig elproduktion, utöver de områden som redan pekats ut för energiutvinning i de befintliga havsplanerna (motsvarande 20–30 TWh). Med en stor del av elbehovet i norr, med stålindustrins omställning och nya batterifabriker, etableringar av andra elintensiva industrier eller expansion av befintliga kommer en stor del av vindkraftsutbyggnaden att behöva ske i norra Sverige. I Figur 4 visas ett scenario från Energimyndigheten (2018) över geografisk fördelning av utbyggd vindkraft.

Scenarierna från Energiforsk (2022) är inte unika och enligt exempelvis projektet Nordic Clean Energy Scenarios kan utbyggnaden av vindkraft komma att bli mycket omfattande i de nordiska länderna.



Figur 3. Elanvändningen (netto) i Sverige sedan 1970 och ett antal scenarioframskrivningar mot 2050. Källa: Energiforsk (2022).



Figur 4. Fördelning av vindkraft i olika elområden i ett scenario (från Energimyndigheten 2018).

Det framtida elbehovet och specifikt vindkraftutbyggnaden måste bedömas utifrån ett antal antaganden, och scenarier har tagits fram bland annat av Svenska kraftnät (2019), SWECO (2019) och Material Economics (2021). De prognosticerar *ett ökat elbehov* i Sverige med mellan 0 och 145 TWh per år med en tidshorisont omkring 2045. Scenarierna är inte helt jämförbara; SWECO fokuserar på industri och transporter, och Material Economics (ME) inkluderar fler sektorer och nya branscher än de övriga två. Scenarierna sammanfattas i tabellen nedan.

Tabell 1. Tre olika scenarier för Sveriges framtida elbehov omkring 2045

Sektor	Svenska kraftnät (TWh)	SWECO (TWh)	Material Economics (TWh)
Industri	8–25	20	10–45
Transporter	4–11	17–17,5	40–70
Övrigt	0	Ej inkluderat	10–30
Totalt	0–38	34–40	60–145

Samstämmigheten är störst gällande industrin, och beskrivs mest detaljerat av SWECO (se nedan). Elanvändning inom transportsektorn hos Material Economics räknar även med elektrifiering av kortdistansflyg och sjöfart (10–20 TWh) vilket inte finns med hos Svenska kraftnät eller SWECO. Material Economics räknar även med att 10–30 TWh per år går åt till elektrifiering av värme (värmepumpar) medan Svenska kraftnät räknar med ett konstant elbehov hos hushåll och befintliga industrier tack vare effektivisering. Svenska kraftnäts prognosticerade ökning av elbehovet inom industrin rör i stället nya etableringar av serverhallar och batterifabriker samt elektrifiering av industrin. Material Economics menar att omställningen av existerande verksamheter kommer att kräva omkring 90 TWh, men ser även att ytterligare elbehov tillkommer från nya branscher och industrisatsningar (exempelvis batteriproduktion, dataservrar, ytterligare efterfrågan på järnsvampsproduktion för utländsk ståltillverkning) vilket skulle göra att det ökade elbehovet uppgår till 160 TWh. Därutöver spekuleras i att stora mängder el kan efterfrågas från internationella transporter (bunkring av vätgas och ammoniak) samt att Sverige kan tänkas exportera fossilfri el. I så fall menar Material Economics att långt över 300 TWh per år behöver framställas, vilket innebär mer än 160 TWh ny elproduktion. Därutöver behöver en del av den befintliga elproduktionen ersättas före 2045 då den når sin ursprungliga livslängd (Material Economics, 2021).

För industrins elbehov är SWECO (2019) av särskilt intresse då den bygger på en analys av industrins egna färdplaner inom Fossilfritt Sverige och sammanfattar elbehovet för industri och transporter, se Tabell 2 nedan. Här finns alltså enbart de behov som identifierats i färdplanerna och nya industrier – exempelvis batterifabriker i norra Sverige – ingår inte. Beräkningarna bygger på en antagen elanvändning för CCS på 0,2–0,3 MWh/ton koldioxidekvivalenter vilket ger ett elbehov omkring 0,3 TWh för cementsektorn. Skulle cementsektorns ugnar elektrifieras skulle ytterligare 4–5 TWh behövas (ej medtaget i tabellen). Gruv- och mineralbranschens elektrifiering behöver 1,1 TWh och därutöver finns behov för elektrifiering av arbetsmaskiner. HYBRIT-satsningen inom stålbranschen behöver 15 TWh för att tillverka vätgas, och ytterligare 2 TWh för att elektrifiera värmnings- och värmningsbehandlingsugnar. Beräkningarna för transportsektorn baseras på utredningen ”Fossilfrihet på väg” (”FFF-utredningen”) som bedömer att 10,2 TWh behövs för elektrifiering. Därutöver tar SWECO höjd för att utveckling av samhälle och transportsystem (trängselskatter, e-handel, stadsplanering och samåkning) inte sker enligt utredningens prognos vilket ger ett ytterligare elbehov (5,8 TWh). Även elbehovet för järnvägen kommer från FFF-utredningen.

Tabell 2. Industrins framtida elbehov, enligt aktuella färdplaner inom Fossilfritt Sverige (SWECO 2019)

Totalt energibehov	35–40 TWh
Industri, totalt	**20 TWh**
Stål	17 TWh
Gruvor, metall & mineral	1–1,5 TWh
Kemi, aluminium & raff	1–1,5 TWh
Cement	0,3–0,5 TWh
Massa, papper, trä	0 TWh
Transporter, totalt	**17–17,5 TWh**
Järnväg	0,5–1 TWh
Vägtrafik	16 TWh
Flyg, inrikes	0 TWh
Flyg, utrikes	0 TWh
Arbetsmaskiner	0,5–1 TWh

Svenska kraftnät räknar med att all ny elproduktion kommer att vara vind och sol, varav 80–85 % vind, varav ca hälften i elområde 1+2. Detta förefaller rimligt givet att en större andel av industrins ökade elbehov återfinns i norra Sverige, medan övriga sektorer i högre utsträckning är lokaliserade i södra halvan av landet. Lågt räknat skulle detta innebära att 12 TWh vindkraft behöver tillkomma i elområde 1+2 (30 TWh totalt, 80 % vind, hälften i N). Med en total ökning av elbehovet i Sverige med 100 respektive 150 TWh ger motsvarande beräkning 40 respektive 60 TWh mer vindkraft i elområde 1+2, de senare i linje med Energimyndighetens scenario i Figur 2 ovan.

3.2 Norra Sveriges unika karaktär

I jämförelse med många andra delar av Sverige har norra Sverige unika förutsättningar för vindkraftsetableringar. Regionen karaktäriseras av marktillgång och geografisk variation från kust- till skogs- och fjällandskap, glesa miljöer och i många delar också en demografisk utmaning. Samtidigt pågår en historisk samhällsomvandling som i stor utsträckning drivs av den industriella gröna omställningen. Med det följer en prognostiserad ökad befolkningstillväxt och en utökad arbetsmarknad med fler hållbara arbetstillfällen. I dag uppgår befolkningen till dryg en miljon människor men kompetensbehovet i bara Norrbotten och Västerbotten är framskrivet till 100 000 nya arbetstillfällen fram till 2030.

Att beskriva norra Sverige som en enhet blir lätt missvisande, men syftet är framför allt att peka ut övergripande geografiska, ekologiska och sociala faktorer som på olika sätt påverkar vindkraften. Det kalla klimatet, befolknings- och arbetsmarknadstrender och den alpina miljön skapar specifika förutsättningar som rapporten kortfattat reflekterar över.

3.2.1 Kallt klimat

Testbädd kallt klimat för omställning till 100 % förnybart undersöker bland annat tekniska problemställningar för vindkraft vid låga temperaturer, såsom nedisning. Det kalla klimatet har också en mer storskalig dimension då elförsörjningen i Sverige ofta är kritisk under vintermånaderna. Under vintern 2022–2023 är detta särskilt aktuellt på grund av den energikris som drabbat Europa, och där elpriset varierar mycket kraftigt mellan kalla och varma dagar och – inte minst – mellan blåsiga och vindstilla dagar. En vanlig uppfattning är att sträng kyla ofta

sammanfaller med stiltje vilket sätter fingret på en problematik med en stor andel vindkraft i energimixen. En fortsatt vindkraftsutbyggnad i norra Sverige skulle i så fall förstärka gapet mellan ökat behov och minskad produktion när det är som kallast.

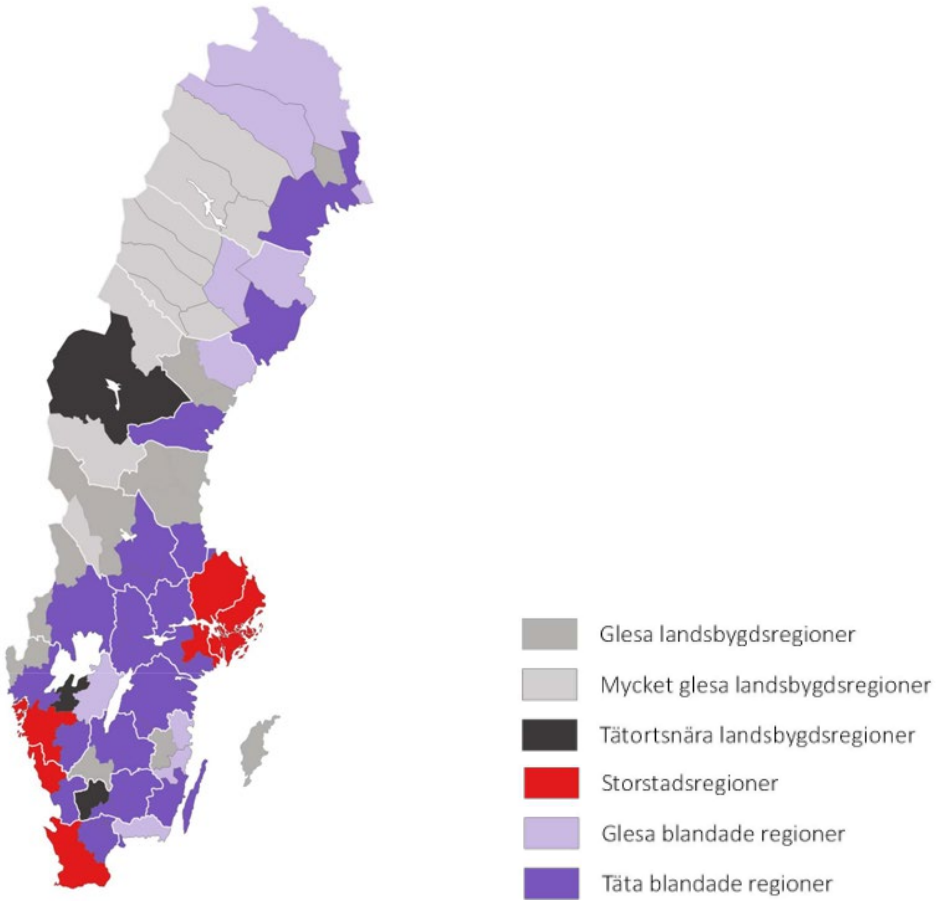
Enligt SMHI (2022) blåser det i genomsnitt mindre under vintermånaderna än övriga delar av året i inlandet, men tvärtom mest under vintermånaderna vid kusten. Detta gäller vid mäthöjd, 10 meter över markytan. Högre upp i atmosfären där vinden är ostörd blåser det i genomsnitt mer på vintern än på sommaren. Notera att det här beskriver årstidsvariationer och inte dagar med sträng kyla. En statistisk studie (Granström m.fl. 2016) har visat att under kalla vinterdagar produceras det i regel mindre el från vindkraft än medelproduktionen. Studien undersöker bara sambandet mellan elproduktion och temperatur, utan att väga in faktiska vindförhållanden eller andra faktorer. Det innebär att produktionsminskningen till exempel kan förklaras med nedisning. Studien konstaterar vidare att en ”påfallande stor del av åren saknade kalla dagar vilket tyder på att de kalla dagarna har en relativt liten påverkan på den totala elförsörjningen i Sverige” och att ”pålitligheten hos vindkraftsproducerad el ökar med fler vindkraftverk av nyare teknik, utspridda över både land och hav”.

3.2.2 Glest befolkat och nyindustrialisering

För acceptansen av vindkraften har förutsättningarna i glesbygden en särskild betydelse. Mycket av den industriella expansionen i norra Sverige gynnar en ekonomisk utveckling, och därmed flera arbetstillfällen – både direkta (installation av vindkraftverk) och indirekta (stålindustri, batteritillverkning med mera). Samtidigt är det uppenbart att den lokala miljöpåverkan från vindkraftverken drabbar lokalbefolkningen.

Norra Sverige är glest befolkat. En utspridd och liten befolkning innebär utmaningar bland annat för de enskilda kommunernas förutsättningar att upprätthålla samhällsservicen. Det bidrar också till en uppfattning om att det ”finns gott om utrymme” för utbyggnad av vindkraft och annan vindkraftsetablering. Figur 5 visar tydligt att särskilt inlandet i norra Sverige karaktäriseras av gles befolkning. Begreppet glesbygd används inte längre. I stället används en hierarkisk indelning på tre typer (storstads-, täta- samt landsbygdsregioner/kommuner). Dessa typer kan i sin tur differentieras i sammanlagt sex territoriella typer. Den här typindelningen kan göras på flera olika geografiska nivåer. Vanligast är kommuner och funktionella analysregioner (FA-regioner).

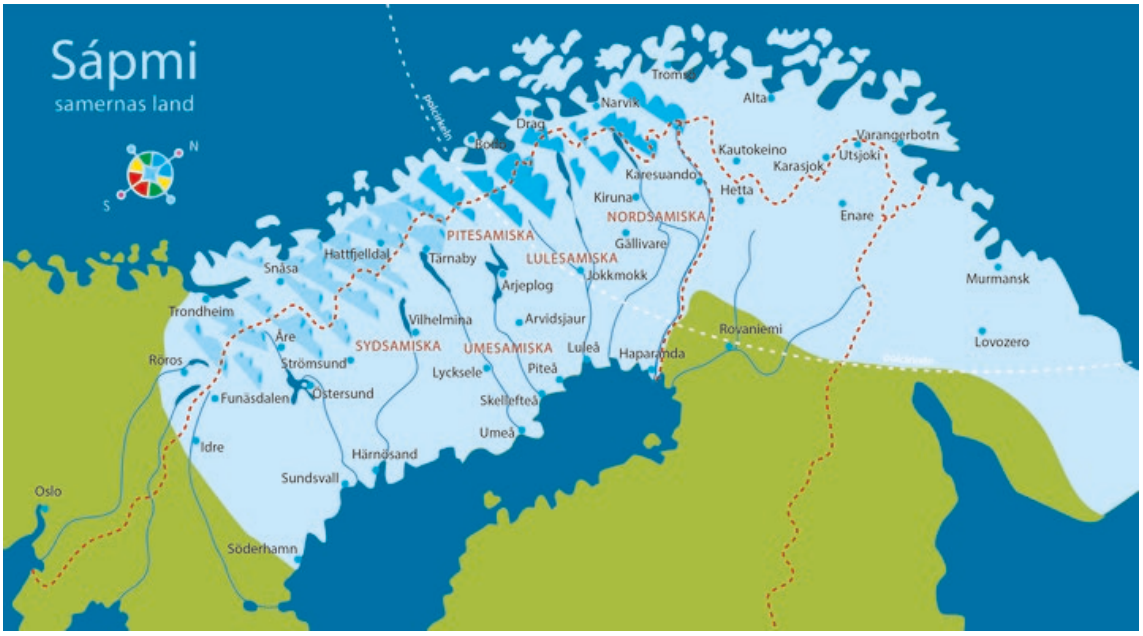
Den omfattande industriella utvecklingen i norra Sverige kopplad till fossilfri produktion och elektrifiering har på kort tid ändrat dynamiken i regionen. I norra Sverige finns järnmalm, jordartsmetaller, skog och grön energi, och även forskning och innovation i världsklass. Flyttströmmar vänder, bostadspriser stiger, arbetslösheten är på en betydligt lägre nivå jämfört med riket, behovet av arbetskraft ökar och både nya utbildningar och fler utbildningsplatser tillkommer. Arbetsmarknaden utvecklas med stora behov inom alla branscher samtidigt som även behovet av kommunal service ökar. Den gängse bilden av glesbygden utmanas eller kullkastas. Förändringen är omfattande och sker på en rad platser i norra Sverige, men inte på alla platser. En tydlig skillnad finns exempelvis mellan kust och inland. En förutsättning för denna våg av industrialisering är att en omfattande elproduktion och elnätverksutbyggnad kommer till stånd i regionen. Det är också uppenbart att större delen av denna utbyggnad kommer att behöva utgöras av vindkraft.



Figur 5. Norra Sverige domineras av landsbygdsregioner, som i många fall är glest eller mycket glest befolkade. Endast längs kusten och Torne älv finns några täta blandade regioner. Indelning i så kallade funktionella analysregioner (FA-regioner). Från Tillväxtverket (2021).

3.2.3 Svenska Sápmi

Av stor socioekonomisk betydelse för norra Sverige och för vindkraftens utveckling är Sápmi, som breder ut sig över hela den norra delen av Nordkalotten, från ryska Kolahalvön i öster till svenska landskapet Dalarna i söder. Begreppet Sápmi innefattar både landet Sápmi och folket samerna. Den geografiska definitionen skiljer sig något mellan olika källor, men sträcker sig över en stor del av norra Sverige (och vidare in i Norge, Finland och Ryssland), Figur 6. Renskötsel är både en viktig näring i det samiska samhället och en bärare av det samiska kulturarvet. Renskötsel kan beskrivas som en areell näring som bedrivs över i stort sett hela norra Sverige, Figur 7.



Figur 6. Ungefärlig utbredning av Sápmi, framtagen av Samiskt informationscentrum (från samer.se).

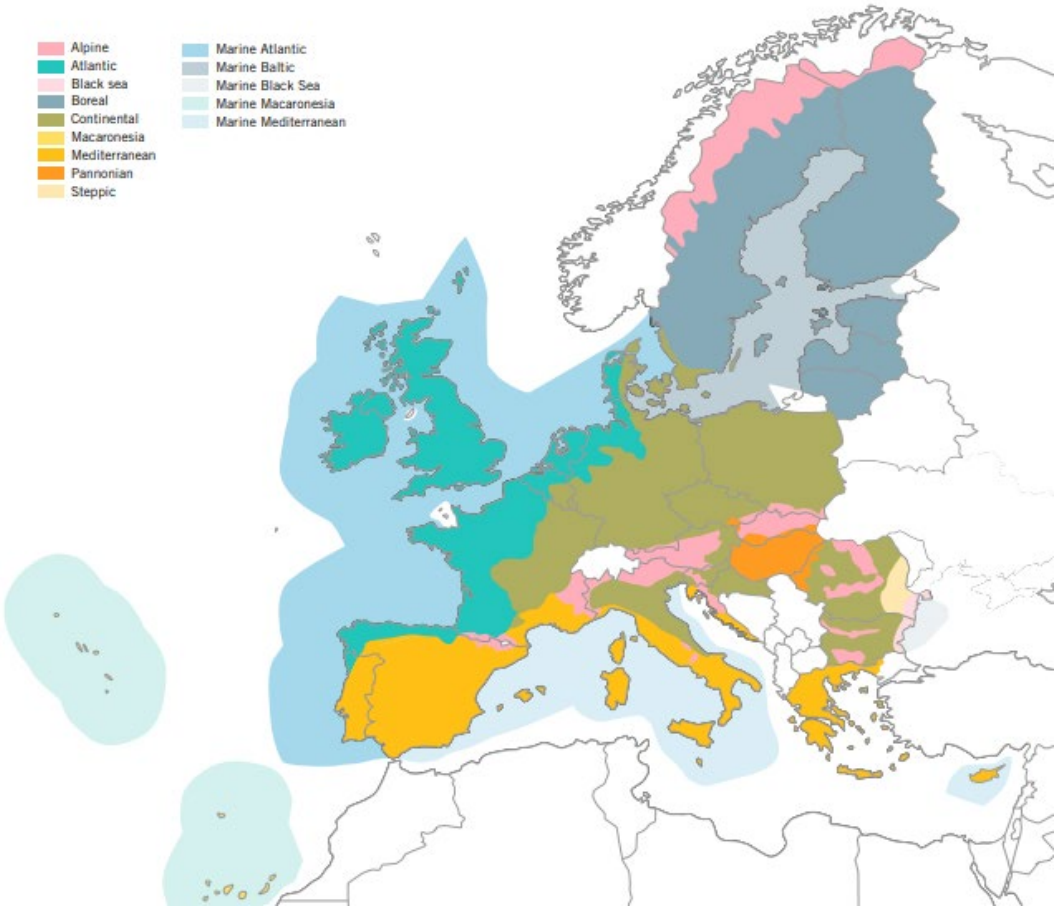
Figur 7. Rennäringens markanvändning i Sverige på en övergripande nivå. Från sametinget.se.

Kombinationen av geografisk utbredning och det samiska kulturarvet gör att rennäringen får stor betydelse vid all fysisk planering, även vindkraft. I den nationella strategin för vindkraft konstateras att ”… utifrån den genomförda GIS-analysen finns [inte] några konfliktfria ytor i hela SE1, vilket bland annat beror på att renskötseln har omfattande anspråk i elområdet.” Samtidigt trädde en ny lag i kraft den 1 mars 2022 som bland annat innebär att statliga myndigheter ska konsultera företrädare för det samiska folket innan beslut fattas i ärenden som kan få särskild betydelse för dem. Sverige har ratificerat fyra bindande konventioner om samers markrättigheter. Sedan 2011 står i grundlagen att det samiska folkets kultur- och samfundsliv ska främjas.

Två exempel på utmaningen att kombinera fysisk planering med urfolksrätt är den planerade järnmalmsgruvan utanför Jokkmokk och delvis uppförda vindkraftparker i norska Tröndelag. Regeringens beslut den 22 mars i år att bolaget Jokkmokk Iron Mines, svenskt dotterbolag till Beowulf Mining, får bearbetningskoncession för Kallak-fyndigheten utanför Jokkmokkhar har väckt skarpa protester. Inför beslutet har både Unesco och FN:s högkommission för mänskliga rättigheter avrått från att godkänna ansökan med hänvisning till samiska rättigheter. Än mer relevant för vindkraften är Høysterettens (Norges motsvarighet till Högsta domstolen) dom som ger samerna rätt mot aktörer som vill bygga två stora vindkraftsparker i Tröndelag, med hänvisning till den bindande FN-konventionen om medborgerliga och politiska rättigheter. Bland annat reses krav på att 151 vindturbiner ska rivas. Norska staten hade beviljat koncession trots att samerna sagt nej med hänsyn till deras renbete.

3.2.4 Alpin biogeografisk region

En stor del av norra Sverige ligger i den alpina biogeografiska regionen, medan resten av Sverige nästan helt ligger i den boreala regionen, Figur 8. Det innebär att ekosystemen och därmed artsammansättning skiljer sig. Naturvårdsverket (2020) beskriver fjällandskapet som ”seminaturliga marker som har utvecklats genom ett extensivt och lågintensivt brukande över mycket lång tid. Trots att de har klassats som icke skötselskrävande behövs det ett extensivt bete från både ren och annan tamboskap i fjällen och de fjällnära områdena för att bibehålla dessa värden.” Den jämförelsevis korta och intensiva växtsäsongen och även i andra avseenden mer extrema ekologiska förutsättningar än i södra Sverige/varmare klimat medför en hög grad av specialisering, rik biologisk mångfald och känsliga habitat. Detta kan delvis förklaras också av det lägre exploateringstrycket i norra Sverige. Det är därmed en känslig miljö som kräver särskild hänsyn vid exploateringar av olika slag inklusive vindkraft.



Figur 8. Biogeografiska regioner inom EU. Från Naturvårdsverket, 2020.

3.3 Externa effekter/miljöpåverkan

En utbyggnad av vindkraften kommer att påverka naturen och det omgivande samhället på en rad sätt. Bland annat kommer samhället att uppleva ett ökat behov av råvaror för tillverkning, mark för anläggning, elnät för anslutning och transmission med mera. I det här sammanhanget avses i första hand den landbaserade vindkraften. Havsbaserad vindkraft förväntas få en allt större roll i det svenska energisystemet. Även om vissa aspekter uppenbart skiljer mellan land- och havsbaserad vindkraft så är huvuddragen som diskuteras här gemensamma. Vindkraften ändrar också förutsättningar för energisystemet i övrigt genom att bland annat tränga undan andra energislag, öka andel variabel elproduktion och – beroende på var den anläggs – ändra de geografiska förhållandena mellan var el produceras och konsumeras. Inom ramen för Sveriges nationella strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad (Energimyndigheten, 2021) har en kartläggning av intressen och faktorer som kan påverkas av vindkraft genomförts (Figur 9). Bland de viktigaste faktorerna för den fortsatta planeringen framhåller Energimyndigheten naturvärden och biologisk mångfald, kulturmiljö, renskötsel och samiska intressen samt försvarsintressen.

Figur 9. Översikt över olika intressen som kan påverkas av en vindkraftsutbyggnad. Från Energimyndigheten (2021).

3.3.1 Förändrad markanvändning

Förutom själva vindkraftsanläggningarna förutsätter en utbyggnad av vindkraften även investeringar i både elnät och vägnät. Detta i sin tur ger konsekvenser i form av ökad markanvändning och förbrukning av kritiska material. En typisk markanvändning för vindkraft på land ligger i storleksordningen 50–100 km²/TWh (Nilsmo och Abrahamsson, 2018; Energimyndigheten, 2020). För vindkraft till havs ligger markanvändningen i den nedre delen av detta intervall. Det innebär att en utbyggnad i norra Sverige med i storleksordningen 50 TWh medför en markanvändning för detta på 2 500–5 000 km². Energiscenarier mellan 12 och 60 TWh ny vindkraft i norra Sverige ger på motsvarande sätt ett spann i ny markanvändning mellan 600 och drygt 6 000 km². Detta kan jämföras med ytan av Gotland som är drygt 3 000 km². Av detta upptar vindkraftfundamenten omkring 1 procent av ytan medan merparten utgörs av mark mellan vindkraftverken. Till detta kommer behovet av mark för vägar och infrastruktur. Behovet av mark för vindkraftsanläggningar kan även ställas i relation till arealen mark som är utpekad för olika riksintressen. I Norrbottens län upptar olika riksintressen hela 89 % av länets areal, där Försvarsmaktens riksintressen utgör 55 %, skyddad natur 84 %, och rennäringens riksintressen 34 % (olika riksintressen överlappar delvis varandra). I Västerbottens län upptar riksintressen 53 % av länets areal, i Västernorrland 42 %, i Jämtlands län 68 % och i Gävleborgs län 29 %. Den samlade arealen utanför alla riksintressen uppgår till omkring 12 000 km² i Norrbottens län, 32 000 km² i Västerbottens län, 16 000 km² i Västernorrlands län, 17 000 km² i Jämtlands län och 18 000 km2 i Gävleborgs län. Omkring en procent av landarealen i de tre nordligaste länen är dessutom bebyggd mark, något mer i Västernorrland och Gävleborg.

Vindkraft kan rimligen samexistera med flera riksintressen, exempelvis riksintressen för utbyggt vägnät och vattenskyddsområden. I någon utsträckning finns sannolikt även möjligheter till samexistens med rennäringen, det rörliga friluftslivet och viss skyddad natur. I gengäld finns andra intressen utöver riksintressen som försvårar utbyggnaden, och alla platser är inte lämpliga för vindkraft exempelvis beroende på vindlägen. Det kan ändå konstateras att ren utrymmesbrist knappast är en stor flaskhals för vindkraftsutbyggnad, men behovet av markarealer förutsätter ändå en förbättrad planering av markanvändningen.

3.3.2 Förbrukning av basmaterial (naturresurser)

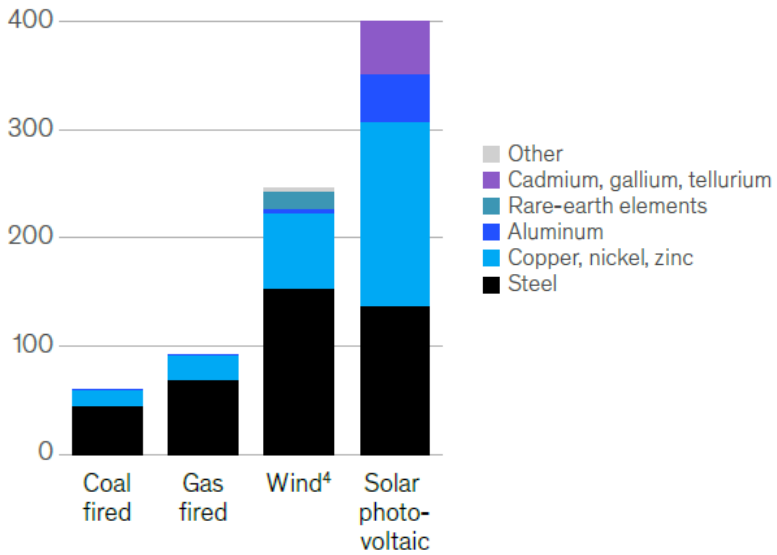
Det totala materialbehovet för klimatvänliga energitekniker globalt förväntas bli störst för vindkraft och nästan lika stort för solcellsparker (Hund et al 2022, IEA 2021b). Övriga energislag kommer att byggas ut i väsentligt mindre omfattning och därför kräva mindre material totalt sett (IEA 2021b). Både vindkraft och solcellsparker behöver betong, stål, plast, glas, aluminium och koppar för anläggningsarbeten, bärande konstruktioner och elanslutningar (Europeiska kommissionen 2020). Eftersom vindkraftverk är större och tyngre än solcellspaneler krävs det mer betong och stål per installerad effekt (Europeiska kommissionen 2020), medan solceller kräver mer glas och aluminium (Hund et al. 2022). Samtliga metaller som är nödvändiga för vindkraften används också av andra klimatvänliga energitekniker, med undantag för zink som används för korrosionsskydd (Hund et al. 2022). Ytterligare en aspekt är att det är möjligt att konstruera större vindkraftverk till havs än på land. Det medför att även om båda typerna av installationer använder i stort sett samma material, blir materialintensiteten lägre för vissa material och högre för andra beroende på lokalisering. Större vindkraftverk uppvisar lägre materialintensitet för bland annat betong, glasfiber, koppar och aluminium, samtidigt som havsbaserad vindkraft kan kräva mer än dubbelt så mycket koppar på grund av längre och grövre anslutningskablar än för vindkraft på land (IEA 2021b).

Enligt UNEP (2016) används i storleksordningen 4 kton järn och 1 kton cement per producerad TWh vindkraft. Ett tillskott på 100 TWh vindkraft i det svenska energisystemet skulle därmed kräva 8 miljoner ton järn och 2 miljoner ton cement. LKAB producerade 27 miljoner ton järnmalmsprodukter under 2020 (enligt sin hemsida) och Cementa producerar årligen 2,5 miljoner ton cement. Pieter van Exter et al. (2018) konstaterar att världen bryter och använder så stora mängder basmetaller att den mängd som tillkommer i den gröna omställningen inte är problematiskt att tillhandahålla. I stället är det de kritiska mineralerna som riskerar att utgöra ett problem.

3.3.3 Förbrukning av kritiska råmaterial

Den pågående globala samhällsomställningen, inklusive utbyggnaden av vindkraft och andra klimatvänliga energitekniker, kräver mycket stora mängder av material (Hund et al. 2020, Gregoir och van Acker 2022). Jämfört med ett gaskraftverk kräver motsvarande solcells- eller vindkraftspark upp till tio gånger så mycket basmaterial (IEA 2021b, Mills 2022) och ännu mycket mer kritiska råmaterial (Mills 2022), se Figur 10.

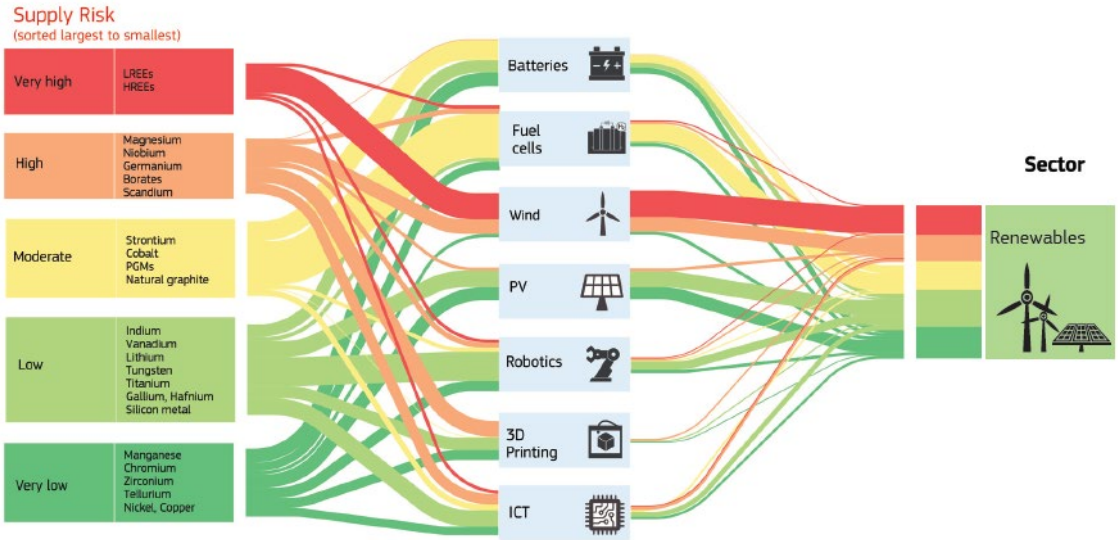
Även om intäkterna för den globala gruvbranschen förväntas öka kraftigt för kritiska råmaterial (IEA 2021a) är det mycket osäkert om utbudet kommer att kunna hålla jämna steg med den snabbt ökande efterfrågan (van Exter et al. 2018, IEA 2021b). Både öppnandet av nya gruvor och ökad återvinning är viktiga men långsiktiga dellösningar, på grund av långa ledtider och stora investeringar respektive att råmaterialen uppehåller sig många år eller decennier i teknosfären (van Exter et al. 2018, Europeiska kommissionen 2020, IEA 2021b, Gregoir och van Acker 2022). Gapet mellan tillgång och efterfrågan har historiskt inneburit tidsfördröjningar och kraftig prisvolatilitet (IEA 2021a, IEA 2021b), vilket står i bjärt kontrast mot det senaste decenniets kraftigt fallande priser på både vind- och solel. Materialkostnaderna utgör redan idag en betydande andel av investeringar i klimatvänlig energi. Med stigande råmaterialpriser kommer den andelen att öka, vilket antingen leder till att vinstmarginalen sjunker eller till att kostnader flyttas över till kund genom stigande energipriser.



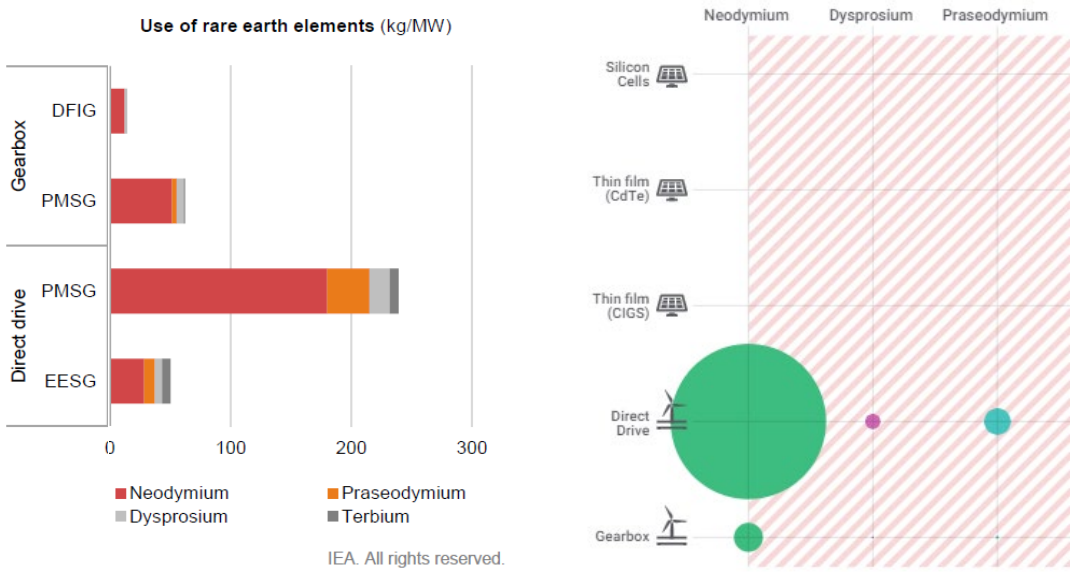
Figur 10. Materialbehov, uttryckt i kopparekvivalenter per TWh, för ett antal energislag. Källa: Azevedo et al. 2022

Stigande råmaterialpriser hotar därför utbyggnadstakten för klimatvänliga energitekniker och elnät (IEA 2021b, Azevedo et al. 2022, Hund et al. 2022). Det här påverkar energisäkerheten (IEA 2021a), något som också har aktualiserats av Rysslands invasion av Ukraina. De höga elpriserna i Europa under vintern 2021–2022 ledde till kraftiga reaktioner och politiska motåtgärder, vilket indikerar att det i dagsläget finns en begränsad acceptans för att omställningen av energisystemet får leda till högre energipriser. Riskerna för vindkraften är inte entydiga. Å ena sidan är det är skiftet till elfordon som är den främsta drivkraften för ökad efterfrågan på kritiska råmaterial för klimatvänliga tekniker, följt av solcellsutbyggnaden. Enligt Gregoir och Acker (2022) kommer vindkraft att stå för mindre än 5 % av den totala efterfrågan. Å andra sidan är vindkraft den klimatvänliga energiteknik som uppvisar störst risk för råmaterialbrist, enligt Europeiska kommissionen (2020, se Figur 11). Det beror på att de permanentmagneter som ingår i många vindkraftturbiner tillverkas av sällsynta jordartsmetaller (neodym, dysprosium och praseodym).Permanentmagneter används också i motorer till elfordon (van Exter et al. 2018, Gregoir och von Acker 2022), robotar och drönare. Alla dessa industrisektorer är prioriterade inom EU. Kommissionen (2020) konstaterar att det finns små eller inga möjligheter för något land, utom möjligen Kina som totalt dominerar den globala framställningen, att snabbt öka tillgången på neodym, dysprosium och praseodym.

IEA (2021a, 2021b) bedömer att vindkraft kan bidra till att efterfrågan på de här sällsynta jordartsmetallerna kommer att öka med mellan tre och tio gånger fram till 2040, beroende på den globala utbyggnadstakten men också vilken typ av vindkraftsturbiner som kommer att dominera. Permanentmagneter används nämligen nästan uteslutande i turbiner med direktdrift (van Exter et al. 2018, Hund et al. 2020, IEA 2021b), särskilt så kallad *Permanent Magnet Synchronous Drive (DD-PMSG*, Europeiska kommissionen 2020), se Figur 12. Turbiner med direktdrift (*direct drive*) är tillsammans med turbiner med växellåda (*gear-box*) de två dominerande turbintyperna, som i i sin tur kan delas in i flera undervarianter (Månberger och Stenqvist 2018, Europeiska kommissionen 2020, Hund et al. 2020, IEA 2021b).



Figur 11. Risker i råmaterialledet för klimatvänliga energitekniker enligt Europeiska kommissionen (2020).



Figur 12. Användning av sällsynta jordartsmetaller i olika typer av vindkraftverk(till vänster) och jämfört med solceller. DFIG = double-fed induction generators; PMSG = permanent-magnet synchronous generator; EESG = electrically excited synchronous generator. Källor: IEA 2021b samt van Exter et al. 2018.

Vindkraft har alltså möjlighet att i stort sett eliminera sin exponering mot magnetmetaller genom att välja bort turbiner med direktdrift. De specifika fördelar som den turbintypen erbjuder i form av lägre underhållsbehov, lägre vikt och högre effektivitet går i så fall förlorade men det måste ställas mot ökade kostnader och osäkerhet i materialtillgång. För landbaserad vindkraft, som är mindre beroende av dessa fördelar än den havsbaserade, är turbiner med växellåda redan den vanligaste. Samtidigt behöver det understrykas att uppdelningen mellan turbintyp och tillämpning är en förenkling. Dels finns det redan idag turbiner med direktdrift som inte använder permanentmagneter, till exempel från GreenSpur Wind (Offshore WIND 2022) och Enercon (Courtice 2012), där den förstnämnda är uttryckligen är utvecklad för användning till havs, dels anger Vestas (2022) som är en av världens ledande turbintillverkare att de använder permanentmagneter i samtliga nya turbiner oavsett typ. Det är sannolikt att fortsatt produktutveckling kommer att ytterligare minska mängden permanentmagneter i turbiner med

direktdrift (Hund et al. 2020) eller genom att byta ut permanentmagneterna. Det är möjligt att ersätta magneter med sällsynta jordartsmineral med magneter tillverkade med järn och strontium, som emellertid ger något lägre effekt (Månberger och Stenqvist 2018). Det pågår också utveckling av en teknik som ersätter permanentmagneter med högtempererade supraledare (HTS). Även om HTS har stor potential att minska beroendet av permanentmagneter är tekniken fortfarande på forskningsstadiet (Månberger och Stenqvist 2018, Europeiska kommissionen 2020, IEA 2021b).

3.3.4 Klimat

Framför allt till följd av materialframställning innebär vindkraftsproduktion även utsläpp av koldioxid, enligt livscykelanalyser typiskt i storleksordningen 10–20 g per producerad kWh. Energiscenarier för norra Sverige med mellan 12 och 60 TWh utbyggd vindkraft motsvarar då mellan 2,5 upp till 24 miljoner ton koldioxid, vilket kan jämföras med de samlade territoriella utsläppen från Sverige på i storleksordningen 50 miljoner ton koldioxidekvivalenter *per år*. Utsläppen från vindkraftutbyggnaden är således liten i förhållande till de totala utsläppen från Sverige och kan generera betydande klimatnytta. En stor del av Sveriges strategi för omställning till ett fossilfritt samhälle bygger på elektrifiering och i synnerhet stålindustrins och trafiksektorns omställning är i hög grad beroende av tillgång till fossilfri el. Dessa sektorer släppte under 2019 ut 6,2 respektive 16 miljoner ton koldioxid eller sammanlagt drygt 40 % av Sveriges totala utsläpp av växthusgaser. Att elektrifiera dessa sektorer är nödvändigt för att uppnå de svenska klimatmålen inklusive miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan*. I den mån vindkraften bidrar till detta utgör den således en viktig del av klimatomställningen.

3.3.5 Övriga externa effekter

3.3.5.1 Fåglar och fladdermöss

Vindkraft kan påverka fåglar och fladdermöss på många olika sätt, och placering och utformning av vindkraftsparker spelar stor roll för vilka effekterna blir. Generellt kan tre typer av effekter uppstå – barriäreffekter, undanträngningseffekter och kollisioner. Barriäreffekter innebär att framför allt fåglar tvingas flyga runt vindkraftparker under flyttning eller vid transport till och från födosökningsområden. Undanträngningseffekter innebär att fåglar och fladdermöss undviker platser där vindkraftverken är placerade och därmed potentiellt trängs undan från sina tidigare habitat. Kollisioner kan sällan helt undvikas men riskerna kan minska genom att undvika att placera vindkraftverken i alltför känsliga miljöer och genom att vidta åtgärder för att undvika att flyttande fåglar kolliderar med vindkraftverk under känsliga perioder och väderlägen. Exempelvis kan nattflyttande fåglar dras till upplysta vindkraftverk vid dåligt väder. (Desholm & Kahlert, 2005; Gauld et al., 2022). En ökad utbyggnad av vindkraftsparker kan också ha kumulativa effekter, och även samverka med andra påverkansfaktorer som påverkar fåglar och fladdermöss, exempelvis vägar och annan bebyggelse.

3.3.5.2 Mikroplast

Emellanåt påstås att slitage av framför allt vindkraftverkens rotorblad ger upphov till betydande spridning av mikroplast till omgivande miljö. Detta motsägs av både bland annat svenska Naturvårdsverkets och norska miljöbyrån Miljøstatus Norge. Naturvårdsverket redovisade 2017 vilka källor som står för de största utsläppen av mikroplast i Sverige. 2019 presenterade de en ny redovisning, med fler källor. Vindkraft är inte upptagen i någon av dessa (Naturvårdsverket 2022a). Miljøstatus Norge (2022) anger att det årligen släpps ut omkring 19 000 ton mikroplast från norska källor på land. De största är slitage av bildäck (8 000 ton per år) och gummi-/plastgranulat

på till exempel konstgräsplaner (6 000 ton per år). Inte heller Miljøstatus Norge nämner vindkraft som en källa för mikroplast.

Ny Teknik (2022) har i samarbete med norska Teknisk Ukeblad gjort en genomgång av kunskapsläget för vindkraftens betydelse som källa för mikroplast. Utöver ovan nämnda uppgifter försöker artikeln också skatta hur stora utsläppen faktiskt är. De kommer inte fram till något entydigt svar, men enligt tillfrågade experter är de sammanlagda utsläppen från Norges (då) 1 164 vindturbiner sannolikt långt under ett ton per år. Det är en försvinnande liten bråkdel av de totala utsläppen och så små utsläpp per verk att även den lokala belastningen bedöms vara helt försumbar.

3.3.6 Vindkraftens koppling till uppfyllandet av de svenska miljökvalitetsmålen

Vindkraften utgör i praktiken en betydelsefull del av uppfyllandet av de svenska miljökvalitetsmålen, men bidrar i vissa fall också till målkonflikter. Ett av Generationsmålets strecksatser innebär att ”[a]ndelen förnybar energi ökar och att energianvändningen är effektiv med minimal påverkan på miljön.” Detta kan i sin tur kopplas till miljökvalitetsmålet Begränsad klimatpåverkan som förutsätter att alla fossila energikällor på sikt fasas ut.

Målkonflikter kan i första hand kopplas till den markanvändning som vindkraften förutsätter, och som potentiellt står i konflikt med miljökvalitetsmål som Storslagen fjällmiljö, Myllrande våtmarker och Ett rikt växt- och djurliv. Enligt Naturvårdsverket (2019a) utgör olika typer av exploateringar tillsammans med terrängkörning och igenväxning de tre största hoten mot fjällmiljön, och vindkraft är en uppenbart arealkrävande form av exploatering. Buller från vindkraftverk nämns vidare som ett hot mot våtmarker och andra naturmiljöer som stör både friluftsliv och djurliv (Naturvårdsverket 2022b). Vidare påverkas den gröna infrastrukturen i naturmiljön av fysisk infrastruktur kopplad till vindkraften – vindkraftparker i kombination med ledningsnät och väginfrastruktur med mera (Naturvårdsverket 2019b). En mer sekundär, men potentiellt betydande, fysisk påverkan på naturmiljön är den ökande betydelsen av vattenkraft som reglerkraft i ett energisystem med en stor andel vindkraft, vilket indirekt kan innebära en ökad påverkan på miljökvalitetsmålet Levande sjöar och vattendrag (Naturvårdsverket 2019c).

Givet att inget av de här nämnda miljökvalitetsmålen ser ut att uppnås finns det anledning att uppmärksamma vindkraftens betydelse för möjligheten att uppnå dem i framtiden. Analysen i denna rapport tyder generellt på att den negativa påverkan från vindkraften är hanterbar om än inte försumbar, samtidigt som vindkraften har en central roll i uppfyllandet av klimatmålen. Betydelsen av att begränsa klimatpåverkan för att också kunna uppfylla de övriga miljökvalitetsmålen understryks av hur Generationsmålet har formulerats, vilket konstaterades inledningsvis.

3.4 Redogörelse från workshoparna

Nedan sammanfattas vad som framkom under projektets två workshopar. Redogörelsen är tematiskt strukturerad och inte kronologiskt, vilket betyder att samma tema kan ha berörts vid båda tillfällena och ändå redovisas samlat. Redogörelsen utgör vidare en sammanfattning av inspelen från elva respektive tolv deltagare. Även om workshoparna präglades av stor samsyn så var deltagarna inte överens i samtliga frågor. I några fall har citat från enskilda deltagare

inkluderats. Alla deltagare hade inte en åsikt i varje fråga som diskuterades. De sammanfattade åsikterna behöver inte heller sammanfalla med rapportförfattarnas. Framförda faktauppgifter har inte kontrollerats i efterhand.

Tydliga förväntningar på en snabb och omfattande vindkraftsutbyggnad

Vid den första workshopen fick deltagarna svara på frågan hur stor Sveriges vindkraftsproduktion kommer att vara 2045. Svarsalternativen var (a) max 75 TW/år, (b) cirka 100 TW/h och (c) minst 125 TWh/år. Samtliga deltagare valde alternativ c, minst 125 TWh. Några av deltagarna ansåg dessutom att 125 TW/h är för lite och att 2045 är för sent.

Frågan upprepades inte vid andra workshopen, så det är okänt om någon hade ändrat uppfattning i ljuset av den energipolitiska debatten som fördes under och efter valrörelsen som inföll mellan workshoparna.

3.4.1 Lokal förankring och samnyttjande av mark

Det rådde stor enighet om betydelse av samordning och behov av långsiktighet i arbetet med att stärka den lokala förankringen och inflytande i samband med utbyggnaden av vindkraft. Lycksele togs upp som ett exempel på en kommun där många vindkraftsparker har beviljats med en total effekt på ca 1 250 MW och en årsproduktion på 3,8 TWh. På grund av elnätets struktur är den kraften inte tillgänglig för lokala verksamhetsutövare utan exporteras från kommunen/regionen. Ett motexempel var Ånge, där vindkraften har investerat tio miljarder kronor och där det ny byggs en av de största vätgasfabrikerna i Europa vilket skapat framtidsutsikter för kommunen. Ånge stöps om i grunden här och nu. Det sker genom samverkan mellan lokalt närvarnade producenter och konsumenter och vindel. Det föreslogs att ett stärkt fokus på lokal användning – ”förädling” – av vindkraft och industriell symbios skulle gynna den lokala förankringen, inflytande och därmed acceptansen.

I sammanhanget underströks också att konflikten norr–söder behöver kompletteras med kust–inland-dimensionen. För närvarande utvecklas kustkommunerna i norra Sverige ”på bekostnad av” inlandskommunerna. Det är osäkert i vilken utsträckning inlandet kommer att kunna ta del av omställningen och industrialiseringen som är koncentrerat till ett fåtal regioner i kustlandet. En befarad effekt är kunskapsflykt från inlandet till kustlandet.

Vindkraftsparken i Uljabuouda togs upp som ett exempel på ett konkret och framgångsrikt sätt hur verksamhetsutövaren genom närvaro, öppenhet och ärlighet kan arbeta för ökad acceptans Här har Skellefteå Kraft genomfört guidade turer och gett deltagarna goda möjligheter att ställa frågor. Lärdomen är att transparens ökar acceptansen hos lokalbefolkningen. En fråga som ställdes var varför fordonstestbranschen i Arjeplog, som tar mer yta i anspråk än vindkraften, funkar så bra. Flera skäl gavs, främst att fordonstestbranschen har funnits nästan 50 år på orten och har hunnit bidra mycket lokalt. Inte bara har det inneburit ökad ekonomisk aktivitet under etableringsfasen, utan drar också folk under testsäsongen vilket gett intäkter till hotellbranschen, bostäder med mera – år efter år. Vid Uljabuouda har Skellefteå Kraft också ett bra samarbete med rennäringen. Uppfattningen är att motsättningarna mellan vindkraft och rennäring inte behöver vara så hårda som ibland påstås i debatten. Vindkraft framstår som ett relativt lindrigt intrång i renskötselområden jämfört med industriområden och annan markanvändningsförändring.

Utöver rennäringen är skogsbruk och jordbruk viktiga näringar som måste kunna samnyttja marken med vindkraften för en hållbar utbyggnad. Vindkraft måste vara en del av tanken kring

hur vi använder vår mark och våra resurser. Det är särskilt viktigt för besöks-, upplevelse- och turistnäringen som utnyttjar den samlade, kumulativa, markanvändningen. Kommuner som lever av besöksnäring ser denna konflikt. Det efterfrågades att vindkraften ska utveckla de visuella aspekterna för att om möjligt minska inslaget i landskapsbilden. Hittills är inte uppfattningen att vindkraftsparker är i konflikt med skogsbruket. Privata skogsbruket kan rentav gynnas av vindkraft, på grund av anläggandet av nya vägar. Blickar man framåt så kanske det kan skifta. Skogen pressas från många håll att uppfylla flera, delvis motstridiga, målsättningar – biokol, biomassa, biologisk mångfald med mera. Det finns helt enkelt inget överskott av biomassa. Därför skulle vindkraftens markanspråk, trots att den yta som avverkas och hårdgörs bara utgör en procent av parkens totala yta, kunna uppfattas som negativ även ur det perspektivet.

3.4.2 Behov av förutsebar och rättvis ersättning till lokalsamhället

Ersättningsfrågan är central för acceptansen. Deltagarna gav exempel från Norge och Finland på etablerade system för lokal ersättning, med i storleksordningen 300 000 kr per verk. I Sverige saknas motsvarande system och de frivilliga ersättningar som utgår påstås vara väsentligt lägre, snarare runt 10 000 kr per verk. De kapitalavsättningar som görs är för små. Det finns också exempel på att samebyar för ersättning för intrång i renskötselområden, men även här saknas praxis och konsensus om hur man ersätter samer och närboende jämfört med varandra.

Ersättning till kommunerna och lokal nytta måste därför adresseras från Regeringskansliet. För en långsiktigt hållbar utbyggnad krävs en central tanke, ersättningsfrågan kan inte fortsätta att lösas från fall till fall. Regelverk för ersättningar behövs för att bland annat underlätta vid projektering.

Vissa deltagare underströk att det inte primärt bör vara kommunerna som ska ersättas utan befolkningen och deras verksamheter, även om kommunerna naturligtvis är en viktig aktör. Det som efterfrågas är näringslivsutveckling och kapitalförsörjning, inte stöd till badtunnor och bygdegårdsrenoveringar. Det framfördes också att lån till bostadsbyggande vore bra, särskilt i regioner där bankerna är restriktiva till att låna ut pengar.

”Förutom testbädd för kallt klimat får ni/vi skapa testbädd för vindkraft i komplicerat klimat – det vill säga i projektform utreda modeller för att hitta fungerande vägar framåt. Som tar hänsyn till de olika intressentgrupperna och branschens specifika förutsättningar - hållbara vindkraftsetableringar i samverkan med lokalsamhället.”

3.4.3 Acceptans och den dagspolitiska debatten

En utbredd uppfattning bland deltagarna var att debatten har blivit mer polariserad på senare år och att det gäller både förespråkare och motståndare. Det försvårar diskussioner och möjligheterna att hitta lokala anpassningar. Relevant att ha med sig när man funderar på hur man löser acceptansfrågan.

En studie pekar på att argument mot vindkraftsetablering under femton år har gått från *Not In My Back Yard* till ett mer generellt vindkraftsmotstånd. Det kan ha bidragit till valdebatten som utvecklades till att vindkraft kom att ställas mot kärnkraft. Ingen av deltagarna delade uppfattningen att mer kärnkraft hotar vindkraften, eller omvänt. Energikrisen är här och nu, så svårt att se något stopp för utbyggd vindkraft även om regeringen har andra prioriteringar. Europa behöver mycket energi, Sverige exporterar mycket. Regeringen styr inte, det gör marknaden. På

sikt kan det också visa sig vara värdefullt att energipolitiken har fått så stort utrymme eftersom det samspelar med allmänhetens intresse för frågan.

3.4.4 Behov av ökad förståelse för vindkraftens roll i det framtida energisystemet

Under workshoparna var det uppenbart att det inte går att hantera frågan om vindkraftens fortsatta utbyggnad separat. Just nu är det södra Sverige som behöver el och det saknas kapacitet att föra över tillräckligt mycket av elen från norr till söder. Frågan kan därför ställas om fortsatt utbyggnad av vindkraft i norra Sverige är rätt fokuserad? Ja , under förutsättning att planerna på fossilfritt stål förverkligas. Elen är inte primärt avsedd för uppvärmning utan för industriprojekt. Vindkraftens fortsatta utbyggnad behöver hanteras som en del av det framtida energisystemet. Det inkluderar frågor som skillnaden mellan energi och effekt och att hela systemet styrs av den dagen på året då effektbehoven är som störst, att lagringsmöjligheterna i det framtida systemet måste öka, att distributionssystemet måste byggas ut och stärkas och att flexibilitet och balansering av energisystemet – från minutvariation till årsvariation – behöver anpassas till de nya förutsättningarna. En uppfattning var att okunskapen om det här hos kommunerna försvårar diskussionen om vindkraftens utbyggnad.

Om vi inte bygger vindkraft, ja då flyttar industrin och vi blir av med jobb. Behöver också lyftas i debatten. Behöver medvetandegöras, att "säger vi nej till vindkraft blir vi av med jobben", Sveriges välfärd beror av detta.

Flera exempel på nya tekniker nämndes – personbilar för lagring av energi, samkoppling av solpaneler från hustak – och att de i flera fall kanske kan introduceras relativt snabbt. Det är en utveckling som bör uppmuntras och underlättas av myndigheter och energibolag. Det behöver också inkludera nya affärsmodeller som utnyttjar de nya teknikerna. En annan aspekt av vikten av helhetssyn eller systembetraktelse är att de olika energislagens material- och klimatavtryck. "Nätverket vindkraftens klimatnytta" lyftes som ett exempel på en sådan utvärdering.

Vätgas i norr, ska produceras med el med elektrolysörer. 60 TWh ger 12 TWh överskottsvärme för kylning. Hela fjärrvärmesystemet behöver 4 TWh – vilka möjligheter! Kan minska behovet av biomassa till fjärrvärme som då kan användas för drivmedel, men det blir jobbiga avskrivningar av kraftvärmeverk … en utmaning att lägga det stora pusslet!

3.4.5 Behov av stärkt nationell planering

En övergripande slutsats från workshoparna är att planering är mycket viktigare än tillståndsprocesser, bland annat för att undvika "de små stegens tyranni". I planering ingår i det här sammanhanget långsiktighet, rundabordssamtal med olika intressegrupper – till exempel skogs-, turism- och rennäringar – innan konflikter uppstår. Det är också viktigt att allmänheten involveras i planeringsprocessen. Planeringen behöver präglas av en helhetssyn. Helhetssynen måste också innebära att även positiv påverkan, till exempel att vindkraften minskar den kumulativa klimatpåverkan, beaktas. Detsamma behöver gälla för påverkan på landskapet och andra hållbarhetsmål, där möjligheten till positiva synergieffekter bör stimuleras. Det ligger bortom både workshoparna och den här studien att föreslå hur en sådan planeringsprocess skulle kunna utformas i praktiken, inom rådande regelverk. Det kan ändå nämnas att EU:s plan REPower EU uppmanar medlemsländerna att peka ut särskilda fokusområden ("go to-areas") för förnybara energikällor. I dessa områden ska det vara tillräckligt med kortare och förenklade

processer för tillståndsgivning. En förutsättning ska vara att de här områdena uppvisar lägre miljörisker. REPower EU presenterades av EU-kommissionen i maj 2022 som en reaktion på effekterna på EU:s energimarknad av Rysslands invasion av Ukraina.

Vissa deltagare efterfrågade en större innovationsvilja svenska myndigheter och särskilt Försvarsmakten för att hitta samexistenslösningar med vindkraften. Idag utgör Försvarsmakten ett av de främsta hindren åtminstone i Västra Götaland och till havs. En effekt blir att etableringstrycket ökar på de områden som inte är riksintressen för försvaret, det vill säga ofta närmare bebyggelse, renskötselområden och andra områden där det kan vara större risk för motstående intressen. Försvarsmakten har fått i uppdrag av regeringen att kartlägga och beskriva hur man kan samexistera med vindkraften. De har inte levererat särskilt mycket men det finns en underlagsrapport från FOI, där FOI går igenom hur nya radaranläggningar kan byggas i vindkraftparker. SAAB håller på med brusreduceringsradar.

4 Diskussion

I den här rapporten har vindkraften, och specifikt landbaserad vindkraft i norra Sverige, analyserats ur ett flertal perspektiv – som en del av energiförsörjningen i ett sociotekniskt system med konsekvenser (positiva och negativa) för miljö och klimat. Förutsättningarna för vindkraften styrs av såväl miljörelaterade som sociotekniska faktorer. I det följande summerar och diskuterar vi resultaten utifrån ett antal perspektiv i syfte att landa i några slutsatser från denna studie.

4.1 Specifika miljö- och hållbarhetsaspekter

Någon generell utrymmesbrist borde inte finnas i norra Sverige. Hur stor markyta som kommer att tas i anspråk beror på en mängd antaganden men överslagsmässigt skulle det kunna handla om en yta motsvarande Gotlands storlek (3 000 km^2) i Norra Sverige, vilket kan jämföras med omkring 44 000 km^2 markyta som inte berörs av några riksintressen i de två nordligaste länen. Samtidigt utgör riksintressen hela 75 % av markarealen i dessa två län, och det finns andra motstående intressen utöver sådana som omfattas av riksintresse. 1 678 km^2 är utpekat riksintresse för vindkraft i Norrbottens och Västerbottens län. Av markarealen i en vindkraftpark är emellertid bara ca 1 procent hårdgjord yta vilket innebär att vindkraften i viss utsträckning kan samexistera med andra intressen, men det förutsätter planering.

Det kommer även att krävas **väsentliga mängder basmaterial** för att bygga vindkraftverk i den omfattning som krävs för energiomställningen. Den sammanlagda mängden stål och cement utgör avsevärt mindre än vad som årligen produceras och utnyttjas i Sverige av dessa material. Slutsatsen är att tillgången till basmaterial i praktiken troligen inte kommer att begränsa utbyggnaden av vindkraft.

Inte desto mindre är den globala klimatomställningen – där vindkraften utgör en viktig del – mycket metall- och mineralintensiv. Det kommer att leda till stor prisvolatilitet och osäkerheter i tillgång, särskilt för de så kallade omställningskritiska råmaterialen. **Landbaserad vindkraft är relativt lågexponerad mot kritiska råmaterial** och har möjlighet att parera för till exempel bristande tillgång på permanentmagneter genom tekniksubstitution av turbintyper. Utvecklingen på råvarumarknaderna kommer att påverka projektkalkyler och lönsamhet för vindkraft, men sannolikt inte innebära någon fysiskt begränsande faktor.

Indirekta utsläpp av växthusgaser sker i samband med vindkraftsutbyggnaden, men **dessa utsläpp är små jämfört med Sveriges samlade utsläpp.** Energiscenarier för norra Sverige med mellan 12 och 60 TWh utbyggd vindkraft motsvarar mellan 2,5 upp till 24 miljoner ton koldioxid, vilket kan jämföras med de samlade territoriella utsläppen från Sverige på i storleksordningen 50 miljoner ton koldioxidekvivalenter *per år*. Utsläppen uppstår framför allt vid materialframställningen.

4.2 Begränsningar på systemnivå

Även om begränsande miljöfaktorer således förekommer så är de sannolikt inte avgörande för utbyggnaden av den landbaserade vindkraften i norra Sverige. De främsta flaskhalsarna för fortsatt storskalig utbyggnad av vindkraft i norra Sverige torde i stället vara **bristande acceptans från lokalbefolkning och/eller kommunpolitiker samt konflikt med samisk markanvändning**, primärt för renskötsel. Detta yttrar sig i utdragna tillståndsprocesser, kommunala veton och avtals- och ersättningsförhandlingar med samebyar.

Trots att norra Sverige uppvisar ett antal karaktärsdrag som tydligt skiljer sig från södra Sverige verkar det som att **vindkraftens miljöpåverkan inte blir allvarligare i norra Sverige** på grund av dessa karaktärsdrag. Undantaget är påverkan på renar, renskötsel och samisk markanvändning i övrigt. Norrbottens län innehåller också en stor mängd riksintressen, särskilt för skyddad natur och för Försvarsmakten, medan övriga län i norra Sverige inte avviker nämnvärt från riksgenomsnittet. Däremot framstår det som att norra Sveriges karaktärsdrag gör det mer attraktivt för vindkraftsetablering (vilket på sikt eller lokalt kan leda till en intensivare miljöpåverkan och på grund av det till större effekter på naturvärden i norra Sverige).

Vindkraften ser ut att bli en integrerad del av både den regionala nyindustrialiseringen och den nationella och globala gröna omställningen. Därigenom kommer den att vara en bidragande faktor både till att möjliggöra nya industrietableringar och till att öka efterfrågan på bland annat metaller och mineral och därmed ökad gruvbrytning. Eftersom norra Sverige är aktuellt för både nya industrier och nya gruvor kommer det orsaka **större kumulativa effekter på flera miljöaspekter**, inte minst rennäring, än enbart de effekter som vindkraften orsakar.

Utbyggnaden av vindkraft och annan förnybar energi är en fundamental förutsättning för Sveriges gröna omställning. Utan en omfattande och snabb utbyggnad kan nya processer inom järn- och stålindustri knappast realiseras, och inte heller elektrifieringen av trafiksektorn. En försenad omställning äventyrar därmed Sveriges klimatmål, och varje år som omställningen fördröjs innebär en snabbare förbrukning av Sveriges ”koldioxidbudget”, som med nuvarande utsläppsnivå endast räcker till omkring 2030.

4.3 Tillståndsfrågor och planering

En ofta framförd synpunkt i anslutning till behovet av en snabb utbyggnad av den förnybara energin är att tillståndsprocesserna är långsamma och ineffektiva, och att detta riskerar att fördröja den gröna omställningen. Det tar i normalfallet ofta flera år att få tillstånd för vindkraftverk. Dessutom avslås omkring en tredjedel av tillståndsansökningarna och knappt hälften av antalet vindkraftverk i tillståndsprocessen. De största anledningar till avslag i processerna som myndigheterna studerat var kommunala veton, artskyddsrelaterade hinder, Försvarsmaktens intressen samt rennäringen. Vidare återkallas ansökningar och många projekt kommer inte så långt som till en inlämnad ansökan på grund av olika hinder såsom negativ lokal opinion eller artskyddsaspekter (Energimyndigheten, 2021). På grund av den låga andelen slutförda projekt

bedömer Energimyndigheten och Naturvårdsverket i sin gemensamma vindkraftstrategi att det krävs en tre gånger så stor planeringsyta som den yta som skulle behövas för en given vindkraftsproduktion. I syfte få till stånd en mer förutsebar tillståndsprocess finns ett åtgärdsförslag i den nationella vindkraftsstrategin om ändring av bestämmelsen om kommunal tillstyrkan.

Vid den samlade bedömningen framstår den kanske främsta nyttan av vindkraft – globalt minskat klimatavtryck – som diffus jämfört med de direkta lokala ingreppen i landskapsbild och marktillgång. Det är därför viktigt att öka kunskapen om vindkraftens roll i dagens och den nära framtidens sociotekniska system och hur det i sin tur förändrar påverkanstrycket på miljökvalitetsmålen. I de workshopar som hållits inom detta projekt har planering framhållits som central för fortsatt vindkraftsutbyggnad. I andra länder finns exempel på hur man planerar i ett landskapsperspektiv, och ett nytt forskningsprojekt vid Luleå tekniska universitet fokuserar på hur markkonflikter kan lösas med inspiration från andra länder. Projektet är av särskilt intresse för norra Sverige och forskarna kommer att samarbeta med Regionerna i Norr- och Västerbotten, Sametinget och flera andra aktörer.

Systemet med tillståndsprövningar för vindkraftsetableringar där enskilda aktörer söker tillstånd skulle sannolikt tjäna på att kompletteras med nationell och regional planering, vilket den nationella vindkraftsstrategin är ett exempel på. Det kan här påpekas att Sverige har ett annorlunda system än de flesta andra länder i Europa, genom att vem som helst i princip får ansöka om att bygga var som helst och därefter pröva frågan i en tillståndsprocess. Det är betydligt vanligare i de flesta andra länder att staten på olika sätt pekar ut lämpliga områden och sedan får bolag lägga anbud på att få bygga i dessa områden. Möjligen kan viss inspiration hämtas från den kommunala planprocessen där översiktsplaner och detaljplaner på förhand anger ramar för lokalisering, placering och utformning av bostäder och andra byggnader, innan ansökan om bygglov kan göras. En liknande process för planering av vindkraft skulle sannolikt öka förutsägbarheten och fungera samordnande för olika aktörer inklusive kommunerna. Ett flertal statliga utredningar har syftat till att effektivisera tillståndsprocesserna. Regeringen har också gett länsstyrelserna i uppdrag att utvärdera nuvarande samrådsförfarande och utveckla metoder och samverkansformer för att främja en effektiv samrådsprocess enligt miljöbalken. Syftet är att kunna påskynda projekt som ska leda till minskad miljö- och klimatpåverkan. Länsstyrelsen i Västerbottens län är samordnande och särskilt fokus riktas mot samrådsprocesserna med anledning av industriutvecklingen i Norrbottens, Västerbottens och Västra Götalands län. Slutredovisning är 31 december 2023.

4.4 Forskningsbehov

Detta projekt har delvis syftat till att identifiera behovet av ökad kunskap för utvecklingen av vindkraft i norra Sverige. Utifrån de lärdomar som dragits finns åtminstone två områden där ökad kunskap bedöms ha potential att bidra positivt till planerings- och tillståndsprocesser för landbaserad vindkraft.

- Holistisk analys av lämpliga lokaliseringsområden för tillkommande vindkraft. Analysen behöver ha en geografisk ansats och bör bland annat inkludera goda vindförhållanden, avstånd till kritisk infrastruktur (lednings- och vägnät), renskötselområden, skyddade områden och arter (grön infrastruktur) samt bebyggelse. I ljuset av den senaste tidens intensiva debatt den om europeiska energikrisen och de svenska elpriserna bör också regional tillgång och efterfrågan på

el i olika tidsperspektiv beaktas, tillsammans med elprisområdenas utbredning. Analysen skulle utgöra ett värdefullt tillskott det pågående arbetet att ta fram kommunala vindbruksplaner, inom ramen för den nationella strategin.

- Vindkraftens bidrag till kumulativa effekter av nyindustrialiseringen och den gröna omställningen. Kumulativa effekter är generellt underutvecklade i miljöbedömningar, vilket bland annat uppmärksammades i Naturvårdsverkets utlysning om forskningsmedel 2020–2022 (Naturvårdsverket 2022c) och av Trafikverket genom två aktuella projekt (Mittuniversitetet 2022). Forskning har bland annat visat hur renbetesmarker i norra Sverige under lång tid påverkats av kumulativa effekter från turism, vägar och järnvägar, skogsbruk, industri och vindkraft i kombination med närvaro av rovdjur och klimatförändring (Stoessel et al., 2022).
- Förankring i den lokala kontexten. Den komplexitet som framträder i denna rapport har i första hand behandlats ur ett storskaligt perspektiv men utspelas i praktiken lika mycket på lokal nivå, i det enskilda fallet. Varje vindkraftsprojekt har sina egna förutsättningar där omvärldsfaktorer får sitt uttryck i ett specifikt sammanhang. En forskningsansats skulle kunna vara att genomföra fallstudier i anslutning till konkreta projekt och undersöka hur aktörer berörs av och agerar på den komplexa situationen. Det skulle också kunna inkludera en lokal energisystemanalys av vilken roll vindkraften skulle kunna få i samverkan med andra energislag.

5 Slutsatser

1. En fortsatt utbyggnad av vindkraft i norra Sverige försvårar inte uppfyllandet av miljökvalitetsmålen, men är sannolikt en helt avgörande förutsättning för uppfyllandet av Sveriges klimatmål inklusive miljökvalitetsmålet *Begränsad klimatpåverkan*.

2. Vindkraften både en möjliggörare och pådrivare för den regionala nyindustrialiseringen och den nationella/globala gröna omställningen.

3. Norra Sveriges karaktärsdrag innebär inte att vindkraften orsakar allvarligare miljöeffekter, även om de kumulativa miljöeffekterna lokalt eller på sikt kan bli allvarliga på grund av många/storskaliga etableringar i regionen.

4. En fortsatt utbyggnad av vindkraft i norra Sverige behöver betraktas brett och med ett samlat hållbarhetsperspektiv. Inte minst är de sociala aspekterna centrala. Det omfattar lokal förankring, inflytande och samverkan med andra näringar. Acceptansfrågan är både viktig och mångfacetterad.

5. Det finns ett behov av förbättrad strategisk planering för en storskalig utbyggnad av vindkraft som kan bidra till att öka tempot och förutsägbarheten i genomförandet och undvika de flaskhalsar som uppstår inom nuvarande tillståndsprocesser.

6. Forskning kring lämpliga lokaliseringsområden för tillkommande vindkraft ur ett holistiskt perspektiv, och bedömning av kumulativa effekter av olika aspekter av den gröna omställningen, kan bidra till förbättrade planerings- och tillståndsprocesser för landbaserad vindkraft

6 Referenser

Azevedo et al. 2022. The raw-materials challenge: How the metals and mining sector will be at the core of enabling the energy transition. McKinsey & Company. January 2022.

Courtice, Ben 2012. Rare earth magnets: not all new turbines are using them. https://yes2renewables.org/2012/03/06/rare-earth-magnets-not-all-new-turbines-are-using-them/. Besökt 2022-11-22.

Desholm M. & Kahlert J., 2005. Avian collision risk at an offshore wind farm. Biol. Lett. 1, 296-298. Doi:10-1098/rsbl.2005.0336

Elia, Taylor, Gallachóir och Rogan 2020. Wind turbine cost reduction: A detailed bottom-up analysis of innovation drivers. Energy Policy, Volume 147, 2020, 111912, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111912.

Energiforsk. 2022. Framtidens elmarknadsdesign. Utmaningar och möjligheter. Energiforsk november 2022.

Energimyndigheten 2018. Vägen till ett 100 procent förnybart energisystem. ER 2018:16

Energimyndigheten 2021. Nationell strategi för en hållbar vindkraftsutbyggnad. ER 2021:2.

Energimyndigheten 2022. Produktion och utbyggnad. https://www.energimyndigheten.se/fornybart/vindkraft/marknadsstatistik/. Besökt 2022-11-22.

European Commission 2020. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. Main authors (European Commission, Joint Research Centre) by alphabetical order: Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J. (co-lead), Mathieux, F., Pavel, C. (co-lead).

FN 2022. United Nations' Sustainable Development Goals (SDGs). https://sdgs.un.org/goals

Gauld J.G., Silva J.P., Atkison P.W et al., 2022. Hotspots in the grid: Avian sensitivity and vulnerability to collision risk from energy infrastructure interactions in Europe and North Africa. Journal of Applied Ecology 59, 1496-1512. https://doi.org/10.1111/1365-2664.14160

Granström, John; Jirblom; Matilda; Lindberg, Lovisa; Lundmark Lina; Sandgren, Elin och Thungström, Kerstin 2016. Vindkraftsproduktion under kalla vinterdagar. Självständigt arbete i miljö- och vattenteknik 15 hp, 1TV017. http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:933129/FULLTEXT01.pdf

Gregoir och van Acker 2022. Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. KU Leuven, april 2022. På uppdrag av Eurometaux.

Hund, La Porta, Fabregas, Laing och Drexhage 2020. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. Climate-Smart Mining Initiative of the World Bank Group.

IEA 2021a. Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector. International Energy Agency Flagship report — May 2021.

IEA 2021b. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions – World Energy Outlook Special Report – May 2021.

Miljøstatus Norge 2022. Mikroplast. https://miljostatus.miljodirektoratet.no/tema/avfall/mikroplast/. Besökt 2022-12-20.

Mills, Mark P. 2022. "The Hard Math of Minerals." Issues in Science and Technology.

Mittuniversitetet 2022. Kumulativa effekter – Resultatseminarium. Presentationer av projekten Miljöbedömning av kumulativa effekter i infrastrukturprojekt (CUMULUS) respektive Verkningsfull miljöbedömning av kumulativa effekter för vägar och järnvägar (VEM), båda på uppdrag av Trafikverket. https://play.miun.se/media/Kumulativa+effekter+-+Resultatseminarium/0_hgo2igmq. Besökt 2022-12-20.

Månberger och Stenqvist 2018. Global metal flows in the renewable energy transition: Exploring the effects of substitutes, technological mix and development. Energy Policy, volume 119, 2018, sidorna 226-241, ISSN 0301-4215, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.04.056.

Naturvårdsverket 2019a. Myllrande våtmarker Underlag till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Rapport 6873. Januari 2019. ISBN 978-91-620-6873-8.

Naturvårdsverket 2019b. Storslagen fjällmiljö. Underlag till den fördjupade utvärderingen av miljömålen 2019. Rapport 6872. Januari 2019. ISBN 978-91-620-6872-1

Naturvårdsverket 2022a. Mikroplast. https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/plast/om-plast/mikroplast/. Besökt 2022-12-20.

Naturvårdsverket 2022b. Miljömålen. Årlig uppföljning av Sveriges nationella miljömål 2022 – Med fokus på statliga insatser. Rapport 7033. Mars 2022. ISBN 978-91-620-7033-5.

Naturvårdsverket 2022c. Utlysning av forskningsmedel om kumulativa effekter. https://www.naturvardsverket.se/om-miljoarbetet/forskning/miljoforskning/stangda-utlysningar/utlysning-av-forskningsmedel-om-kumulativa-effekter/. Besökt 2022-12-20.

Offshore WIND 2022. 15 MW Rare-Earth-Free Offshore Wind Turbine Seeks Path to Market. https://www.offshorewind.biz/2022/07/28/15-mw-rare-earth-free-offshore-wind-turbine-seeks-path-to-market/. Besökt 2022-11-22.

Recharge 2022. Stellantis: bilmarknaden står inför en katastrof. https://www.mestmotor.se/recharge/artiklar/nyheter/20220701/stellantis-bilmarknaden-star-infor-en-katastrof/?fbclid=IwAR1daHw7WzRJ5cZorwpKXE8XJHJHJ8we1eVdJmP4JC1P4yfJFMzlAQ2TFqA Besökt 2022-07-08.

SMHI 2022. Vindhastighet under året och dygnet. https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/vind/vindhastighet-under-aret-och-dygnet-1.170858. Besökt 2022-09-12.

Stoessel M., Moen J. & Lindborg R., 2022. Mapping cumulative pressures on the grazing lands of northern Fennoscandia. Sci Rep 12, 16044. https://doi.org/10.1038/s41598-022-20095-w

SOU 2021:53. En rättssäker vindkraftsprövning. av utredningen. Betänkande av utredningen En rättssäker vindkraftsprövning. ISBN 978-91-525-0140-5.

SOU 2022:33. Om prövning och omprövning – en del av den gröna omställningen. Betänkande av Miljöprövningsutredningen. ISBN 978-91-525-0404-8.

Svedrup, Koca och Ragnarsdottír 2013. Peak Metals, Minerals, Energy, Wealth, Food and Population: Urgent Policy Considerations for a Sustainable Society. Journal of Environmental Science and Engineering B2 (2013) 189-222. Formerly part of Journal of Environmental Science and Engineering, ISSN 1934-8932

Svensk Vindenergi 2022. Statistik om utbyggnaden av vindkraft. https://svenskvindenergi.org/statistik. Besökt 2022-11-22.

Tillväxtverket 2021. Tillstånd och trender för regional tillväxt 2020. Rapport 0357. ISBN 978-91-88961-93-8

Vestas 2022. Environment. Materials and Rare Earths. https://www.vestas.com/en/sustainability/environment/materials-and-rare-earths. Besökt 2022-11-22.

Windpower Monthly 2021. WindEconomics: Rise in project costs will not erase wind power's advantage 4 November 2021 by David Milborrow. https://www.windpowermonthly.com/article/1732310/windeconomics-rise-project-costs-will-not-erase-wind-powers-advantage Besökt 2022-07-12.

Zetterberg, Johnsson och Elkerbout 2022. Impacts of the Russian invasion of Ukraine on the planned green transformation in Europe. Mistra Carbon Exit Ukraine Policy Brief 6 July 2022.

IVL Svenska Miljöinstitutet AB // Box 210 60 // 100 31 Stockholm
Tel 010-788 65 00 // www.ivl.se