

REDAKTÖR: MAGNUS HENREKSON

DE NORRLÄNDSKA STÅLSATSNINGARNA

– FRÄLSARE ELLER GÖKUNGE?



Utvärderingen av de norrländska stålsatsningarna – sammanfattning och slutsatser

– Magnus Henrekson

Kampen om svampen – utmaningarna för satsningarna på fossilfritt stål i Norrland och vägen framåt

– David Sundén och Magnus Henrekson

Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland

– Johan Gärdebo

Stålintustrins upprepning av historien?

– Christian Sandström

Vätgas – en ny grön bubbla?

– Christian Sandström

Elförsörjning till de planerade industriprojekten i norra Sverige

– Jan Blomgren

Alternativ för ökad eltillförsel i Sverige – konsekvenser för funktion, kostnader och miljö

– Per Fahlén

Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel

– Mirja Lindberget, Anna Skarin och Per Sandström

Vindkraft och hälsoproblem – forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk

– Helen Karlsson

The Sponge-Iron Battle: The Challenges for Fossil-Free Steel Initiatives in Norrland and the Way Forward

– David Sundén and Magnus Henrekson

Sammanfattningar på svenska och engelska samt förord

DE NORRLÄNDSKA STÅLSATSNINGARNA
– FRÄLSARE ELLER GÖKUNGE?

DE NORRLÄNDSKA STÅLSATSNINGARNA – FRÄLSARE ELLER GÖKUNGE?

REDAKTÖR: MAGNUS HENREKSON

SAMHÄLLSFÖRLAGET

De norrländska stålsatsningarna
– frälsare eller gökunge?

Redaktör: Magnus Henrekson

Samhällsförlaget

www.samhällsförlaget.se

ISBN: 978-91-88033-13-0

Omslagsillustration: Chat GPT

Grafisk formgivning: Fontart.se

Tryck: Tallinn Bookprinters 2024

Innehåll

Förord	
Magnus Henrekson.....	7
1 Utvärderingen av de norrländska stålsatsningarna – sammanfattning och slutsatser	
Magnus Henrekson.....	9
2 Kampen om svampen – utmaningarna för satsningarna på fossilfritt stål i Norrland och vägen framåt	
David Sundén och Magnus Henrekson.....	39
2E The Sponge-Iron Battle: The Challenges for Fossil-Free Steel Initiatives in Norrland and the Way Forward	
David Sundén and Magnus Henrekson.....	59
3 Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland	
Johan Gärdebo.....	79
4 Stålintustrins upprepning av historien?	
Christian Sandström.....	117
5 Vätgas – en ny grön bubbla?	
Christian Sandström.....	151
6 Elförsörjning till de planerade industriprojekten i norra Sverige	
Jan Blomgren.....	189
7 Alternativ för ökad eltilförsel i Sverige – konsekvenser för funktion, kostnader och miljö	
Per Fahlén.....	215
8 Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel	
Mirja Lindberget, Anna Skarin och Per Sandström.....	277
9 Vindkraft och hälsoproblem – forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk	
Helen Karlsson.....	321

Förord

Aktiv industripolitik upplever i dag en global renässans – runt om i världen sker omfattande satsningar. Politiken drivs dels av den hållbarhetsagenda som pekar på behovet av omställning mot mer hållbara produktionsmetoder, dels av en många gånger uttalad önskan om att även stärka berörda regioners och nationers konkurrenskraft. I USA är Inflation Reduction Act ett exempel på en industripolitik som kommer att få konsekvenser långt utanför USA:s gränser. Likaså planerar och genomför EU och Sverige egna industripolitiska satsningar vars effekter är svåra att överblicka och därmed i behov av forskning och analys.

I Sverige utmärker sig särskilt de industripolitiska satsningarna i Norrland. För Sveriges vidkommande är dessa av en aldrig tidigare skådad omfattning. Omställningen av svensk stålindustri till fossilfria produktionsmetoder kommer under lång tid att få betydande konsekvenser för miljö, konkurrenskraft, ekonomi och samhället i stort. Konsekvenserna är dock högst osäkra och satsningarna är behäftade med ekonomiska, tekniska och sociala risker.

Inom ramen för projektet "Samhällsekonomiska effekter av att producera fossilfritt stål i norra Sverige" har Skandinaviska Policyinstitutet publicerat tre rapporter författade av ekonomie doktor David Sundén. Därutöver har sju studier genomförts. Tillsammans med ett kapitel (på både svenska och engelska) som sammanfattar de viktigaste resultaten från Sundéns rapporter publiceras dessa sju studier som separata kapitel i denna antologi. I kapitlet beskrivs stålprojektens osäkra konsekvenser och risker ur olika perspektiv. Till samtliga kapitel utom kapitel 2, som ju också föreligger i översättning, finns en sammanfattning både på svenska och engelska.

Projektet som helhet har finansierats via ett ramanslag från Marianne och Marcus Wallenbergs Stiftelse till Institutet för Näringslivsforskning, genom bidrag från Stiftelsen tekn. doktor Ernst Wehtjes fond och Axel och Margaret Ax:son Johnsons stiftelse för allmännyttiga ändamål samt en bred krets av privatpersoner såsom Rune Andersson, Mats Arnhög, Lars Backsell, Carl Bennet, Christer Gardell, Anders Lindström, Sven Salén och ytterligare fem entreprenörer och företagsledare som önskar förbli anonyma.

Kapitelförfattarna ansvarar själva för de analyser, metodval, slutsatser och rekommendationer som presenteras.

Stockholm i mars 2024

Magnus Henrekson,
Professor och projektledare

KAPITEL 1

Utvärderingen av de norrländska stålsatsningarna – sammanfattning och slutsatser*

MAGNUS HENREKSON

Om författaren

Se sid. 37 för en presentation.

* Citeras som: Henrekson, Magnus (2024), "Utvärderingen av de norrländska stålsatsningarna – sammanfattning och slutsatser". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 9–37). Stockholm: Samhällsförlaget.
Jag tackar, Johan Eklund, Lars Pettersson och David Sundén för värdefulla synpunkter på tidigare utkast till detta kapitel.

Sammanfattning

Två enskilda högriskprojekt för att tillverka fossilfritt stål förväntas lägga beslag på drygt 60 procent av den förväntade fördubblingen av svensk elförbrukning fram till 2050. Till sammans med ett fåtal andra större investeringar för tillverkning av handelsgödsel, fordonsbatterier och vätgas handlar det om att två tredjedelar av en tänkt fördubbling går till några få projekt baserade på teknik som är oprövad i stor skala och där den tekniska utvecklingen är mycket snabb. Särskilt utmärker sig det helstatliga LKAB:s planer på att expandera nedströms i förädlingskedjan genom att tillverka järnsvamp med hjälp av vätgas framställd med fossilfri el.

Inklusive de investeringar som krävs i elproduktion, elnät och järnvägs- och hamnkapacitet, är det fråga om den i särklass största industrisatsningen i Sveriges moderna historia både i absoluta tal och i relation till ekonomins storlek. Trots satsningarnas unika omfattning har det saknats genomlysning och utvärdering både vad gäller företagsekonomiska bedömningar av risk och avkastning hos de involverade företagen och bedömningar av det samhällsekonomiska värdet av satsningarna.

Syftet med detta projekt är att avhjälpa denna brist. Projektet har involverat tio forskare och utredare och består av tio studier som täcker in ett brett spektrum av aspekter: företagsekonomiska, teknologiska och samhällsekonomiska risker, statens dominerande roll som ägare av involverade bolag och som finansär och borgenär, påverkan på elmarknaden, effekter på närmiljö och konkurrerande verksamheter av den omfattande utbyggnad av elproduktionen som krävs och riskerna för undanträngning av existerande företag och verksamheter.

Analysen visar att det i huvudsak handlar om mycket riskfyllda och kostnadskrävande investeringar byggda på oprövad teknik och förhoppningar om en stark framtida efterfrågan. Det är långt ifrån säkert att framtidens fossilfria stål kommer att tillverkas baserat på den teknik som de aktuella företagen satsar på.

Genomförandet försvåras av att det råder brist på arbetskraft, bostäder och offentlig service på de orter där satsningarna görs. Vidare krävs omfattande investeringar i elproduktion, elnät och transportinfrastruktur för att investeringarna ska kunna genomföras.

Projektens unikt stora omfattning gör att effekterna kommer att sprida sig till hela landet och via effekterna på elmarknaden kommer hela Norden att påverkas. Resultatet blir omfattande undanträngning av redan existerande verksamheter och de resurser som satsas i projekten skulle ha haft ett högre samhällsekonomiskt värde om de satsats i andra projekt.

Ett litet land bör avstå ifrån så här stora och riskfyllda satsningar baserade på oprövd teknik med så stora effekter på hushåll och övrigt näringsliv. Satsningarna förutsätter också en unikt stor utbyggnad av elproduktionen och elnäten. Det är svårt att se lönsamma alternativa användningsområden för denna el ifall de elkrävande projekten inte blir lönsamma.

Det statligt ägda gruvbolaget LKAB:s planer står i särklass vad gäller anspråk på resurser. Bolaget har tagit på sig de stora risker det innebär att förse SSAB med fossilfri järnsvamp. Detta kan svårligen motiveras ur vare sig ett ägar- eller företagsekonomiskt perspektiv. LKAB bör därför avveckla sitt ägande i SSAB och fullt ut fokusera på sin nuvarande kärnverksamhet. På längre sikt vore det värdefullt om bolaget börsnoterades för att den vägen gynnas av den disciplin och fortlöpande utvärdering som en börsnotering ger.

Om projekten misslyckas blir notan för svenska och europeiska skattebetalare hög. Kommuner, regioner, stat och andra företag kommer då att få betala ett högt pris i form av skuldsättning, undanträngning och snedvriden konkurrens.

Executive Summary

Two individual high-risk projects to produce fossil-free steel are expected to account for more than 60% of the expected doubling of Swedish electricity consumption by 2050. Along with three to four other major investments for the production of fertilizers, vehicle batteries and hydrogen, two-thirds of this doubling will be allotted to a handful of projects based on rapidly evolving technologies that are untested on a large industrial scale. The plans of the state-owned mining company LKAB to expand downstream in the value chain by producing sponge iron using hydrogen produced with fossil-free electricity are particularly noteworthy.

Including the investments required in electricity production, electricity networks, railway and port capacity, this is by far the largest industrial investment in Sweden's modern history, both in absolute terms and relative to the size of the economy. However, despite the unique scope of the investments, there is a lack of transparency and evaluation both in terms of business assessments of risk and return for the companies involved and assessments of the social return of the investments.

The aim of the present project is to address this shortcoming. The project has involved ten researchers and investigators and consists of a total of ten studies that cover a wide range of aspects. These include business, technological and socio-economic risks, the dominant role of the state as owner of the companies involved and as financier and guarantor, and the impact on the electricity market. It also discusses the effects on the local environment and the competing activities of the extensive expansion of electricity production required as well as displacement effects on existing businesses and industries.

The analysis shows that the lion's share of total investments involve exceedingly risky and costly projects based on commercially untested technologies and hopes for a strong future demand. It is far from certain that the fossil-free steel of the future will be produced based on the technology that the companies in question are relying on.

Implementation is complicated by a lack of labor, housing, and public services in the locations where the investments are made. Furthermore, extensive complementary investments in electricity production, electricity grids and transport infrastructure are required to implement the investments.

The uniquely large scale of the projects means that the effects will spread throughout the country and, via the effects on the electricity market, the entire Nordic region. The result will be extensive displacement of already existing activities; thus the resources invested in the projects would have had a higher socio-economic value if they had been invested in other projects.

It is unwise for a small country to make such extensive and risky investments based on commercially unproven technologies with such large effects on households and other businesses. It also presupposes a uniquely large expansion of electricity production and electricity networks that lack profitable alternative uses if the projected electricity-intensive projects prove unprofitable.

The state-owned mining company LKAB's plans are in a class of their own in terms of claims on resources. Despite an ownership share of a mere 10.5%, LKAB assumes the large risks involved in providing SSAB with fossil-free sponge iron. This cannot be justified from either an ownership or business perspective; LKAB would be in a better situation if it liquidated its ownership in SSAB and focused on its core business. In the longer term, it would be valuable for the company to be listed on the stock exchange in order to benefit from the discipline and continuous evaluation that a listing provides.

If the projects fail, the bill for Swedish and European taxpayers will be high. Municipalities, regions, the central government and other companies will then be forced to pay a high price in the form of debt, displacement and distorted competition.

Inledning

En central del av övergången till ett fossilfritt Sverige utgörs av en massiv ökning av elbehovet. I prognoser från regering och myndigheter förutspås en fördubbling av elbehovet fram till 2050. Det skulle innebära en ökning med 140 TWh från dagens nivå.

Anmärkningsvärt nog förväntas huvuddelen av det ökade behovet gå till två enskilda högriskprojekt. Särskilt utmärker sig det helstatliga LKAB:s planer på att inte bara göra den nuvarande verksamheten fossilfri utan även expandera nedströms i förädlingskedjan. De avser att själva omvandla de pellets de nu säljer på världsmarknaden till fossilfri järnsvamp med hjälp av vätgas som i sin tur har producerats med hjälp av fossilfri el. Fullt utbyggt kommer detta att kräva 70 terawattimmar (TWh) elektricitet.

Ett liknande projekt är H2 Green Steels (H2GS) satsning på att producera fossilfritt stål i Boden. De avser att själva omvandla importerad malm till järnsvamp med hjälp av vätgas och sedan producera stål från en blandning av järnsvamp och skrot i elektriska ljusbågsugnar. Den verksamheten ska vara fullt utbyggd 2030 och förväntas då kräva 13–17 TWh el. Hälften av den planerade fördubblingen av elkonsumention ska alltså gå till ett enda företag och drygt 60 procent ska gå till endast två företag. Om vi till detta lägger ett antal andra större investeringar i norr för tillverkning av handelsgödsel, fordonsbatterier och vätgas så handlar det om att två tredjedelar av en tänkt fördubbling går till några få projekt där den teknik som ska användas är oprövad i så stor skala som krävs och där den tekniska utvecklingen är mycket snabb.

Redan vid en första anblick förefaller detta anmärkningsvärt. Är det rimligt att ett helstatligt bolag som redan står inför stora utmaningar i den egna kärnverksamheten expanderar in i en ny bransch baserat på en i industriell skala oprövad teknik och för ett enda projekt som gör anspråk på hälften av den planerade fördubblingen av landets totala elbehov fram till 2050?

De olika företagens satsningar förutsätter också stora offentliga investeringar i bostäder, service och infrastruktur. Bara de offentliga – huvudsakligen kommunala – investeringar som krävs i tillägg till Northvolts batterifabrik i Skellefteå, H2GS satsning i Boden och SSAB:s stålverk i Luleå, hamninvesteringar och omfattande farledsmuddring för H2GS behov m.m. har beräknats till 62 miljarder kronor. Skellefteå kommun beräknar att de måste investera 27 miljarder kronor för att tillgodose Northvolts behov. Detta motsvarar 800 000 kr per invånare i centralorten.¹

¹ SKR (2023).

Utöver miljöargument – att Sverige måste göra detta för att uppfylla de åtaganden vi ålagts av EU – har särskilt två argument anförts: (i) det finns ett betydande överskott av fossilfri el i form av vattenkraft i norra Sverige och (ii) det är en unik chans till ”nyindustrialisering av Norrland” som kommer att skapa välbehövliga sysselsättningsmöjligheter. Båda argumenten är missvisande. Vattenkraften i Norrbottens län producerar inte mer än 14 TWh per år och används redan regionalt eller transporteras söderut. Den totala produktionen räcker nätt och jämnt till att täcka H2GS planerade behov. Bristen på arbetskraft är redan stor i regionen. Det gäller såväl yrkesarbetare till de nya industrierna som personer med rätt utbildning på välfärdsområdet (lärare, sjukvårdspersonal osv.). Det finns heller inga lediga bostäder eller offentliga serviceinrättningar som kan klara den tänkta befolkningsökningen.

Utmaningarna är således stora. Riskfyllda och kostnadskrävande investeringar baserade på oprövad teknik och förhoppningar om en stark framtida efterfrågan ska alltså genomföras i en landsända där det råder brist på arbetskraft, saknas bostäder och offentlig service för en tänkt expansion och där heller inte den el som behövs är tillgänglig.

Om man summerar de belopp som nämnts i sammanhanget, inklusive de investeringar som krävs i elproduktion, elnät, järnvägs- och hamnkapacitet, är det fråga om den största industrisatsningen i Sveriges moderna historia både i absoluta tal och satt i relation till ekonomins storlek. Det är inte bara satsningarnas omfattning som är unik utan också bristen på genomlysning och utvärdering. Så är fallet både vad gäller företagsekonomiska bedömningar av risk och avkastning hos de involverade företagen och bedömningar av det samhällsekonomiska värdet av satsningarna, inte minst i relation till andra eftersatta områden i den svenska samhällsekonomin. Att satsningarna inte blivit ordentligt genomlysta beror inte minst på att LKAB och H2GS inte är börsnoterade, vilket medför att den granskning av större noterade bolag som fortlöpande görs av ett stort antal aktieanalytiker inte genomförs. Bolagens pressmeddelanden, aviseringar och årsredovisningar blir därmed inte kritiskt granskade av oberoende och utomstående experter med *”skin in the game”*. Detta gäller i synnerhet det statligt ägda LKAB där man även kan misstänka att ägarens förmåga att kritiskt granska bolagets planer är relativt svag.

Då det finns uppenbara risker att de el- och kapitalintensiva projekten kommer att få långtgående negativa konsekvenser för svensk ekonomi och att projekten inte marknadsprövas på samma sätt som för börsnoterade företag finns det starka skäl att genomföra en oberoende analys av planerna och försöka uppskatta projektens risker, kostnader och samhällsekonomiska konsekvenser. Det är syftet med detta projekt. De huvudsakliga frågeställningarna som projektet försöker besvara är följande:

- Är investeringar i produktion av fossilfritt stål samhällsekonomiskt lönsamma? Hur lönsamma är investeringarna? Vilka är riskerna och hur stora är de?
- Vad är konsekvenserna för lönsamheten, företagsekonomiskt och samhällsekonomiskt, om utbygganden av elproduktionen halkar efter produktionen av fossilfritt stål?
- Hur drabbas hushållen och de elintensiva företagen specifikt om produktionen av fossilfritt stål medför höjningar av elpriset?
- Vilka alternativa investeringsmöjligheter av medlen finns? Och vad är deras lönsamhet?
- De fossilfria kraftslag som är aktuella för att producera de 90–100 TWh som erfordras är i princip två: vindkraft och kärnkraft. Vad kan kostnaden förväntas bli för el från respektive kraftslag och vad får valet av energislag för miljökonsekvenser?

För att besvara dessa frågor har ett antal forskare och kvalificerade utredare med relevant specialistkompetens involverats. De tre mest centrala och djuplodande utredningsrapporterna har författats av ekonomie doktor David Sundén. Han har bred och djup erfarenhet – som tidigare anställd i departement och centrala myndigheter och som fristående konsult – av att analysera marknader och göra bedömningar av de samhällsekonomiska och offentligfinansiella effekterna av marknadsregleringar och teknikomställningar. De tre rapporterna är följande:

- "Från brunt till grönt – bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv" (Sundén 2023).
- "Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland" (Sundén 2024a).
- "Till vilket elpris som helst? Bedömning av effekterna på den nordiska elmarknaden av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland" (Sundén 2024b).

De centrala delarna av analysen och de viktigaste slutsatserna i de tre rapporterna redovisas i kapitel 2 i denna volym. Detta kapitel publiceras också översatt till engelska (med vissa anpassningar för att passa en internationell publik som inte kan förväntas ha samma förförståelse).

Därutöver har ytterligare sju rapporter beställts och presenterats vid olika tillfällen under vintern 2024.

Titel	Författare
Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland	Docent Johan Gärdebo, Cambridge University och Uppsala universitet
Stålintustrins upprepning av historien?	Bitr. professor Christian Sandström, Internationella Handelshögskolan i Jönköping
Elförsörjning till de planerade industriprojekten i norra Sverige	Professor Jan Blomgren, Institute for Nuclear Business Excellence
Alternativ för ökad eltilförsel i Sverige – konsekvenser för funktion, kostnader och miljö	Professor emeritus Per Fahlén, Chalmers tekniska högskola
Vätgas – en ny grön bubbla?	Bitr. professor Christian Sandström, Internationella Handelshögskolan i Jönköping
Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel	M.Sc. Mirja Lindberget, professor Anna Skarin, SLU Uppsala och docent Per Sandström, SLU Umeå
Vindkraft och hälsoproblem – forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk	Adj. bitr. professor Helen Karlsson, Linköpings universitet

I regel har rapportförfattarna också publicerat en debattartikel i lämplig tidning i samband med lanseringen.

Jag kommer nu att kort redogöra för de olika bidragen uppdelat på tre avsnitt. I ett avslutande avsnitt sammanfattas de viktigaste slutsatserna.

De tre huvudrapporterna – en sammanfattning

I kapitel 2 – "Kampen om svampen: Utmaningarna för satsningarna på fossilfritt stål i Norrland och vägen framåt" – sammanfattar David Sundén och jag den förstnämndes tre omfattande rapporter rörande de fossilfria stålprojekten ur ett teknologiskt, företagsekonomiskt och samhällsekonomiskt perspektiv. Detta kapitel publiceras också på engelska som kapitel 2E med titeln "The Sponge-Iron Battle: The Challenges for Fossil-Free Steel Initiatives in Norrland and the Way Forward". Skälet till att detta kapitel även publiceras på engelska är de många önskemål vi fått om att tillgängliggöra de tre rapporterna på engelska (vilket vi gjort på begäran i form av icke-sakgranskade maskinöversättningar). Genom att kapitel 2 nu finns i en professionell översättning så tillgängliggörs de viktigaste resultaten i de tre rapporterna för en internationell läsekrets. Utöver en ren översättning har vi också lagt till en del förklaringar om sammanhang som är självklara för inhemska men inte för internationella läsare.

I detta inledningskapitel görs endast en kort rekapitulation av innehåll och slutsatser.

David Sundéns första rapport, "Från brunt till grönt – bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv", lanserades vid ett seminarium anordnat av Skandinaviska Policyinstitutet den 8 november 2023.² Utöver rapportförfattaren medverkade Henrik Henriksson och Lina Håkansdotter, vd respektive hållbarhetschef på H2GS.

I rapporten sammanställer Sundén företagets planer och bedömer dem utifrån ett tekniskt och marknadsekonomiskt perspektiv. Han finner att planerna innebär affärsrisker som ännu inte redovisats eller diskuterats offentligt.

Teknikutvecklingen för att minska utsläppen inom stålindustrin är snabb och det är oklart vilka tekniker som är livskraftiga över tid. De stora globala stålföretagen investerar därför brett i många nya tekniker medan LKAB:s, SSAB:s och H2GS planer grundar sig på samma typ av äldre teknik – tillverkning av stål i ljusbågsugnar från järnsvamp och stålskrot. Nyutvecklade banbrytande tekniker kan visa sig kommersiellt gångbara och konkurrera ut både äldre och nyare tekniker. Bolagen saknar motmedel om så blir fallet.

LKAB:s planerade produktion av järnsvamp är inte per automatik lönsam. Premiumprodukten i värdekedjan från malm till fossilfritt stål är LKAB:s högkvalitativa järnmalm, inte

² Seminariet webbsändes också live. Samtliga webinarier som genomförts och som omnämns här finns tillgängliga på [Youtube](#).

järnsvamp. Eventuella premier på fossilfritt stål kan därför ändå förväntas tillfalla LKAB. Genom att investera i järnsvamp tar LKAB på sig nästan alla risker på de framtida stålmarknaderna och ur alla aspekter: tekniskt, ekonomiskt och marknadsmässigt. Det behöver de inte göra för att säkerställa hög lönsamhet. Satsningen förskjuter också fokus bort från LKAB:s högprioriterade satsningar, vilka kräver investeringar i malmbrytning på upp till 2 000 meters djup och exploatering av sällsynta jordartsmetaller i Per Geijer-fyndigheten.

Konkurrensen inom det fossilfria segmentet på stålmarknaden kommer att vara hård när alla bolag ställer om. Premien för fossilfritt stål kan därför inte förväntas bli särskilt hög. Konkurrensen är även hård vad gäller insatsvaror. I takt med att de europeiska stålbolagen ställer om till skrotkrävande ljusbågsugnar kan även efterfrågan på stålskrot förväntas öka. För att säkra tillgången till stålskrot har de stora globala stålproducenterna börjat köpa skrotföretag. Utbudet av handelsbart stålskrot är därför osäkert. Det leder till prisrisker för både SSAB och H2GS eftersom deras tillgång till skrot ligger utanför deras värdekedjor.

Även den fossilfria elen ligger utanför SSAB:s och H2GS värdekedjor och deras elkostnader riskerar att bli både höga och volatila. Här finns en betydande risk att om bolagen realiserar sitt stora elbehov så undergräver de samtidigt lönsamheten i sin egen affär genom att driva upp priset på el.

H2GS tvingas importera malm från Kanada och Brasilien, vilket medför extra prisrisker och risker för att H2GS anläggningar får köras med begränsad kapacitet. Orsaken är att utbudet av den kanadensiska och brasilianska högkvalitativa malmen är begränsad samtidigt som efterfrågan på sådan malm är hög globalt och kan förväntas öka.

Det stål H2GS marknadsför som fossilfritt är heller inte helt fossilfritt eftersom de ska använda naturgas i delar av produktionen. Till detta ska läggas att den importerade malmen inte är fossilfri och att transportererna medför utsläpp. Transporter till och från anläggningen i Boden försvåras av otillräcklig kapacitet på Malmbanan och att hamnen i Luleå måste byggas ut för att klara de stora volymerna malm, skrott och stål. I värsta fall kommer H2GS produktion att sammantaget ge betydande utsläpp av koldioxid och det är då oklart om det kommer att prissättas som fossilfritt.

Sundéns andra rapport, "Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland", lanserades vid ett webinarium den 16 januari 2024. LKAB:s kommunikationsdirektör Niklas Johansson var kommentator.³

Utgångspunkten i rapporten är LKAB:s och H2GS planer att tillverka fossilfri järnsvamp i Norrbotten. Järnsvamp produceras främst i regioner med god tillgång till billig naturgas. Användningen av naturgas leder till stora utsläpp av koldioxid. I framtiden kommer dessa utsläpp att kosta då de omfattas av EU:s regler för utsläppshandel. LKAB och H2GS planerar därför att tillverka järnsvamp från vätgas, vilket begränsar utsläppen men kräver stora mängder el.

³ Samtidigt med seminariet publicerades också David Sundéns debattartikel "Svenskt fossilfritt stål blir dyrast i världen" (*Expressen*, 16 januari 2024).

LKAB och H2GS menar att Norrbotten är det naturliga valet för att tillverka järnsvamp på grund av regionens tillgång både till billig el och järnmalm av rätt kvalitet. Analysen visar dock att företagens planer är förenade med stora lönsamhetsrisker.

För det första är det mycket dyrare att tillverka järnsvamp med vätgas jämfört med naturgas. Så är fallet även när kostnaderna för koldioxidutsläpp läggs på. Endast om priset på koldioxid är mycket högt och priset på el är mycket lågt kan vätgasbaserad järnsvamp bli konkurrenskraftig. Jämfört med regioner med tillgång till billig naturgas har Norrbotten därför inga avgörande konkurrensfördelar.

För det andra byggs och planeras ett stort antal nya järnsvampsfabriker i regioner med tillgång till billig naturgas. De byggs i vissa fall med avsikten att kunna använda vätgas i framtiden, om vätgasen blir tillräckligt billig, eller så planerar de för att kunna fånga in och lagra koldioxiden.

LKAB:s fossilfria järnsvamp bedöms därför bli den dyraste på marknaden. I sämsta fall går järnsvampen inte att sälja överhuvudtaget. I bästa fall är efterfrågan så pass hög att järnsvampen går att sälja. Den typ järnmalm som LKAB producerar är så eftertraktad att tillgången globalt förväntas nå sitt kapacitetstak år 2030. De eventuella vinster LKAB tror sig kunna göra på fossilfri järnsvamp kan de därför ändå tillgodogöra sig när efterfrågan och priset på deras malm stiger. De kan alltså fortsätta att göra det de redan gör och ändå tillgodogöra sig vinsterna av en ökad efterfrågan på fossilfri järnsvamp.

H2GS fossilfria stål blir det dyraste på marknaden. Klimatneutralt stål finns också redan till ett betydligt lägre pris i form av återvunnet stålskrot. H2GS möjligheter att bli konkurrenskraftigt på sikt när stålindustrin fullt ut måste betala för sina utsläpp försvåras också av att deras tillgång till högkvalitativ järnmalm inte är säkrad. Risken är stor att H2GS hamnar sist i kön och antingen blir utan malm eller tvingas betala ett mycket högt pris för den.

Analysen utmynnar i slutsatsen att LKAB inte bör lägga resurser på att utveckla järnsvampsproduktion i Norrbotten och H2GS kommer att få mycket svårt att nå lönsamhet både på kort och lång sikt.

David Sundéns tredje rapport, "Till vilket elpris som helst? Bedömning av effekterna på den nordiska elmarknaden av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland", presenterades vid ett webinarium den 30 januari 2024. Rapporten kommenterades av Mikael Odenberger, Profu och Mikael Nordlander från Vattenfall.⁴

I rapporten analyseras det stora behovet av el som uppstår på grund av LKAB:s, SSAB:s, H2GS och handelsgödseltillverkaren Fertiberias planerade verksamheter i Norrbottens län. Sammantaget förväntas deras elbehov uppgå till 20 TWh redan 2026, vilket stiger till 40 TWh år 2030 och 90 TWh år 2050. Analysen visar att om inte elproduktionen ökar

⁴ Samtidigt med webinariet publicerades också David Sundéns debattartikel "Stålprojekt orsakar brant stigande elpris" (*Svenska Dagbladet*, 30 januari 2024).

i motsvarande grad kommer elpriserna att stiga kraftigt i hela Norden. Sundén beräknar att om företagens planer till 2026 realiseras, utan motsvarande ökning av elproduktionen, kommer elpriserna att stiga kraftigt i samtliga elområden i Norden. Prisökningen blir som störst i nordligaste Sverige. Där beräkna priserna stiga med drygt 170 procent, medan priset i Norden som helhet beräknas öka med 77 procent. Sådana prisökningar är långt högre än företagen räknat med i sina kalkyler.

Vid webinariet presenterade Mikael Odenberger Profus och Nordeuropeiska energiperspektivs (Nepp) prognos över elmarknadspriserna. Deras prognos indikerar också en kraftig uppgång om än något lägre än vad Sundén kommer fram till.⁵

Efter 2030 kan ytterligare kapacitet i både elöverföring till SE1 och produktion utvecklas, men detta kräver omfattande investeringar.

En viktig slutsats i rapporten är att företagens nuvarande planer är överambitiösa och knappast möjliga att realisera under lönsamhet. Företagens stora sammantagna elbehov driver upp priset på el till så höga nivåer att investeringarna blir olönsamma.

När effekten på hushåll och andra företag av de högre elpriser som blir följden beaktas framgår att de elkrävande satsningarna omfördelar stora resurser från elkonsumenterna till elproducenterna, vilket talar för att större delen av satsningarna inte bör genomföras. I synnerhet gäller detta det i särklass mest elkrävande projektet, LKAB:s planerade produktion av järnsvamp. Denna slutsats får ytterligare stöd av analysen i de två första rapporterna, vilka visar att LKAB kommer att tillgodogöra sig eventuella premier på fossilfritt stål i vilket fall som helst eftersom efterfrågan på deras högkvalitativa malm kommer att öka kraftigt.

En viktig slutsats i kapitel 2 är att SSAB:s problem och omställning varken är LKAB:s eller skattebetalarnas ansvar. LKAB har egna stora utmaningar som de måste hantera i närtid medan SSAB själva bör ta ansvar för att ställa om sin värdekedja till att bli fossilfri. I konsekvensens namn bör LKAB därför överlämna planerna på järnsvamp till SSAB. För att i så hög grad som möjligt göra SSAB oberoende av LKAB och den svenska staten bör LKAB också sälja sin ägarandel i SSAB, vilket minskar risken att SSAB:s omställning drabbar de svenska skattebetalarna.

Den svenska staten behöver också se över sin ägarroll i förhållande till LKAB. Ett första steg vore att utse styrelsen utifrån kriterier som prioriterar nödvändiga erfarenheter och kunskaper för att driva ett modernt gruvbolag utsatt för en hård internationell konkurrens. För att ta tillvara marknadernas inneboende krafter att värdera LKAB:s framtida planer och resultat vore det värdefullt om bolaget i ett andra steg noterades och delar av aktieinnehavet erbjöds till försäljning och därmed marknadsprissattes.

⁵ Odenberger m.fl. (2024).

Hur blev det ens möjligt och vad kan vi lära av historien?

Vi har redan kunnat konstatera att planerna på att producera fossilfritt stål i Norrbotten är unika i sin omfattning i förhållande inte bara till den regionala ekonomin utan också till storleken på landets ekonomi. Det finns heller inga lediga resurser i form av arbetskraft, bostäder och i dag överdimensionerad infrastruktur som kan tas i anspråk. Det enda som finns att tillgå redan innan investeringarna genomförs är ett relativt lågt pris på fossilfri el och den högkvalitativa järnmalm som krävs. Det låga elpriset kommer dock av att Norrbotten i dagsläget producerar mer el än det förbrukar. När förbrukningen ökar i takt med att bolagens planer realiserar kan vi förvänta oss mycket stora prisökningar på el, vilket leder till undanträngning av redan existerande verksamheter och urholkad köpkraft för hushållen.

Mest slående är att den svenska staten genom sitt helägda bolag LKAB ställer sig bakom en plan som innebär att detta enda företag ska ta i anspråk hälften av en planerad fördubbling av svensk elförbrukning till 2050. Och att man gör detta trots de negativa effekter det kan förväntas få på samhällsekonomin i stort via högre elpriser för hushåll och företag och undanträngning av andra angelägna investeringar när mycket stora resurser måste läggas på offentlig infrastruktur och utbyggnad av elnätet för detta enda projekt.

Hur kan detta ställningstagande förstås? En viktig förklaring ges av docent Johan Gärdebo i kapitel 3 under rubriken "Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland". Hans ingång är att försöka förklara hur LKAB:s vd Jan Moström på en fråga om varifrån den enorma mängden el som behövs ska komma, korthugget svarar att det "måste vara möjligt".⁶

Gärdebo börjar med att beskriva gruvnäringens roll i Norrbottens energi- och produktionssystem från sent 1800-tal fram till i dag, med särskilt fokus på LKAB:s regionala inflytande. Staten har varit och ser sig fortfarande som en central aktör för att bygga upp kapacitet till industrialisering, särskilt för de få industriella aktörer som dominerar näringarna i Norrbotten. LKAB har hela tiden varit statens viktigaste redskap för detta; bolaget har agerat som statens förlängda arm i Norrbotten och Kiruna.

⁶ Sveriges Radio (2022).

Genom sin ansamlade expertis och sina stora kapitaltillgångar finns i praktiken inga andra verksamheter som kan ersätta bolaget. Att LKAB anser att deras nya projekt måste vara möjligt är således inte primärt en bedömning av statens förmåga att göra det möjligt. I stället handlar det om hur staten historiskt har förhållit sig till och alltid prioriterat LKAB:s verksamhet i relation till andra näringar.

Benägenheten att använda LKAB:s verksamhet för att uppnå politiska mål förstärks av att bolagets planer förmodas kunna stärka Sveriges miljöprofil. Sedan 1970-talet har miljöprofilen fungerat som ett verktyg för svenska regeringar att positionera landet internationellt. Dagens satsning på järnsvamp och fossilfritt stål kan ses som en fortsättning på försök sedan sent 1900-tal att kombinera svensk industripolitik med miljö- och klimatmål. Att utnyttja LKAB för att nå politiska klimatmål underlättas också av att LKAB:s omställningsprojekt inte behöver finansieras över statsbudgeten; det kan i stället finansieras indirekt av skattepengar genom att bolaget inte åläggs att dela ut sin årliga vinst till ägaren utan kan behålla den för att finansiera nästa steg i förädlingskedjan.

Om satsningen skulle misslyckas är det en stor fördel både för företagsledningen och ansvariga politiker att ansvarsutkrävande kan undvikas genom att statens och bolagets roll sammanblandas. LKAB kan återropa en förmyndande och samhällsbärande funktion medan staten slipper att tillföra medel direkt. Staten kan i stället tillgängliggöra skattebetalarnas pengar till bolaget genom att avstå från att kräva att vinsten delas ut till ägaren.

H2GS satsning på egen tillverkning av järnsvamp och stål i Boden kan vid första anblick uppfattas som en rent privat satsning på marknadsmässiga villkor. Vid en närmare granskning är så knappast fallet. Förekomsten av stora stöd från EU, som regelmässigt förstärks med bidrag från nationella myndigheter, skapar starka incitament för skickliga entreprenörer att utforma industriella projekt som kan förväntas ha goda chanser till såväl överstatliga som nationella stöd i olika former.⁷ Inom ramen för EU:s Hydrogen Strategy satsar EU 430 miljarder euro på vätgasbaserade projekt fram till år 2030.⁸ H2GS (och givetvis även LKAB i viss mån) har genom sitt Bodenprojekt positionerat sig för att få del av dessa medel. I januari 2024 hade H2GS fått en kreditgaranti från Riksgälden för lån på 1,2 miljarder euro, exportkreditgarantier från tyska och svenska offentliga aktörer på 16 miljarder kronor och ett lån på åtta miljarder kronor från Europeiska investeringsbanken.⁹ Företaget har också sökt, men (ännu) inte fått beviljat, 3,8 miljarder kronor från Industriklivet (Energimyndigheten) och 1,65 miljarder från Klimatklivet (Naturvårdsverket) i direkt statligt stöd.¹⁰ Vidare har bolaget ansökt om och erhållit ett investeringsstöd från EU:s innovationsfond på tre miljarder kronor. Ansökan backades upp av två statsråd i regeringen genom att i ett brev till fonden förorda att bolaget borde beviljas medel.¹¹

⁷ Kärnä m.fl. (2020).

⁸ Vätgas Sverige (2020).

⁹ H2 Green Steel (2022) och Riksgälden (2023).

¹⁰ Alskog (2023) och Björkman (2023).

¹¹ Björkman (2023) och Rex (2024).

Vi har redan kunnat konstatera att sannolikheten att LKAB:s och H2GS järnsvamps- och stålprojekt blir ekonomiskt framgångsrika är låg. Investeringarna förefaller också att bli avsevärt dyrare och ta längre tid att genomföra än vad man ursprungligen sagt. H2GS påstod exempelvis i sina första aviseringar att den totala investeringskostnaden var 25 miljarder kronor och att man redan i början av 2024 skulle producera i en årstakt på 2,5 miljoner ton.¹² Våren 2023 uppgavs investeringskostnaden till 50 miljarder kronor. Detta ökade till 60 miljarder i november 2023.¹³ I januari 2024 angav H2GS att investeringskostnaderna och krav på arbetande kapital kommer uppgå till 100 miljarder kronor för att kunna producera fem miljoner ton stål. Samtidigt meddelade bolaget att tidplanen fördröjts ytterligare och att man inte kan nå en produktion på 2,5 miljoner ton förrän under 2027.

Det råder inget tvivel om att det utvecklats en hajp kring stålprojekten i norr och att stora förhoppningar knyts till att dessa inte bara ska bli lönsamma för de involverade företagen och regionen utan att de också ska ge ett substantiellt bidrag till att minska utsläppen av koldioxid och därmed minska den globala uppvärmningen. Är denna hajp unik eller har vi sett liknande mönster tidigare? Om så är fallet, vad har dessa lett till och vilka lärdomar kan vi dra som har bäring på de nu aktuella järnsvamps- och stålprojekten?

I kapitel 4, "Stålindustrins upprepning av historien?", beskriver docent Christian Sandström stålindustrins tekniska och ekonomiska utveckling under 1900-talet. Med hjälp av historiebegrivningen identifieras ett antal lärdomar och mönster.

Sandström konstaterar att det i dag pågår en subventionskapplöpning inom stålindustrin liknande den som ägde rum decennierna efter andra världskriget då de västeuropeiska länderna tävlade om att bygga allt större stålverk. Resultatet blev kraftig överetablering och kroniska lönsamhetsproblem.

Stålverk 80 var det svenska bidraget till denna subventionskapplöpning, men projektet kvävdes i sin linda. Sandström identifierar åtta likheter och två skillnader mellan dagens politiska satsningar på vad som marknadsförs som fossilfritt stål och Stålverk 80. Till att börja med legitimerades de båda projekten med snarlika argument: 1) sysselsättning, 2) vidareförädling och 3) regionalpolitiska effekter. I båda fallen 4) baserades projekten på bristfälliga underlag, 5) bagatelliserades energiåtgången och 6) incitamenten att agera ansvarsfullt var begränsade. Beträffande den allmänna opinionen rådde 7) överoptimism och en frånvaro av kritisk diskussion och i båda fallen 8) avfärdades kritik med hänvisning till sekretess.

Det finns samtidigt två betydande skillnader mellan Stålverk 80 och dagens vätgasbase-
rade stålprojekt: miljöargumentet ges nu stor tyngd och EU har en central roll.

¹² Törnwall och Augustsson (2021).

¹³ Sundén (2024) bedömde att investeringarna enbart i anläggningar som absolut minimum kommer att uppgå till 79 miljarder kronor. Den summan inkluderar inte krav på arbetande kapital för lager och säkerheter.

Sandström påvisar även tendenser till ökande protektionism i stålindustrin såväl i EU som globalt. Även i detta hänseende har stålindustrin hamnat i något av ett 70-talsscenario. Bakom retoriken om grönt stål döljer sig således en subventionskapplöpning med därtill kopplad protektionism. Parallellerna till 1970-talets misslyckade industripolitik är tydliga, vilket borde stämna till eftertanke.

Hajpen kring det fossilfria stålet kan också ses som ytterligare ett i raden av upphausade projekt där stora miljö- och klimatvinster utlovas och omfattande offentliga stöd ställs till förfogande. Sandström och Alm (2022) pekar i närtid på två sådana projekt: tillverkning av biogas från skogsavfall och bioetanol från cellulosa. I båda fallen skapades en investeringsbubbla som när den sprack ledde till förluster och nedskrivningar i mångmiljardklassen. En viktig skillnad mellan dessa projekt och dagens järnsvamps- och stålprojekt är att de senare är av en helt annan storleksordning än de tidigare projekten.¹⁴

Johan Gärdebos och Christian Sandströms studier som här alltså publiceras som kapitel 3 och 4 lanserades vid ett gemensamt webinarium den 9 februari 2024 med Jan Jörnmark, docent i ekonomisk historia från Göteborgs universitet och universitetslektor Roine Viklund vid Luleå tekniska universitet som kommentatorer.¹⁵

¹⁴ Se även Henrekson och Sandström (2023).

¹⁵ Inför webinariet publicerades också Johan Gärdebos och Christian Sandströms gemensamma debattartikel "Staten och stålet kan slösa bort kapitalet – igen" (*Dagens Nyheter*, 7 februari 2024); <https://www.dn.se/debatt/staten-och-stalet-kan-slosa-bort-ka-pitalet-igen/>.

Är vätgas en viktig del av lösningen?

Frågan om vätgas är en viktig del av lösningen på klimatproblemen handlar bara delvis om huruvida det är en bra idé att övergå till fossilfri produktion av stål. Frågan handlar även om hur detta bör göras. LKAB och H2GS har valt att göra detta genom att använda vätgas producerad med fossilfri el för att uppnå fossilfrihet i den del av värdekedjan där koldioxidutsläppen är som störst: avskiljningen av syret från järnmalmen. En viktig förklaring till att just vätgas ses som lösningen är sannolikt att EU:s Green Deal där dess *Hydrogen Strategy* är en dominerande del, innebär möjligheter till stora offentliga stöd vid val av den tekniken.

Men erbjuder vätgasspåret verkligen den bästa vägen framåt? För att få ett underlag till att besvara den frågan fick docent Christian Sandström i uppdrag att utvärdera vätgasens potential att bidra till att målet om fossilfrihet i stålproduktionen uppnås. Resultatet redovisas som kapitel 5 med titeln "Vätgas – en ny grön bubbla?". Studien lanserades vid ett webinarium den 26 mars 2024 med Samuel Furfari, professor i energipolitik vid Free University i Bryssel, som kommentator. Dessförinnan arbetade under drygt 30 år på EU-kommissionens Energy Directorate-General. Furfari är författare till boken *The Hydrogen Illusion*.¹⁶

I kapitlet beskrivs ekonomin och tekniken bakom vätgas och ställer detta i relation till dagens vätgasbaserade satsningar. Sandström finner att vätgasens fysikaliska egenskaper har inneboende nackdelar som försvårar dess användning i olika typer av produktion utan storskalig användning av naturgas eller elektricitet. Drygt 60 procent av all elektricitet som används i världen är fossilbaserad. Även när fossilfri elektricitet används medför detta ofta att användningen av fossilt genererad elektricitet ökar någon annanstans i ekonomin. Genomgången av tekniken, naturvetenskapen och ekonomin rörande vätgas visar att det finns betydande begränsningar i dagsläget gällande teknikens potential.

Dessa begränsningar ställs mot de satsningar som planeras och de påståenden som gjorts rörande vätgasens potential. Ledande politiker inom EU och i Sverige har pekat ut vätgas som en central del av den gröna omställningen och erbjuder nu omfattande stöd i form av direkta bidrag, subventionerade lån och kreditgarantier till företag som investerar i

¹⁶ Inför webinariet publicerades också Magnus Henreksons och Christian Sandströms och gemensamma debattartikel "Är vätgas en ny grön bubbla?" (*Svenska Dagbladet*, 14 mars 2024), <https://www.svd.se/a/rI0LPe/henrekson-och-sandstrom-ar-vatgas-en-ny-gron-bubbla>.

produktion där vätgas är en central komponent. Sandström menar att diskrepansen mellan politiskt allokerade stöd och tillhörande retorik och teknikens inneboende begränsningar ökar risken att en grön bubbla skapas.

Vätgas används i dag i stor omfattning vid produktionen av konstgödsel och för att rena fartygsbränsle från svavel. Vätgas kan framställas antingen ur fossila bränslen eller genom elektrolys av vatten. 96 procent av all vätgas framställs ur fossila bränslen, vilket förorsakar koldioxidutsläpp motsvarande 18 gånger Sveriges totala utsläpp. Förklaringen till att vätgas framställs med hjälp av fossila bränslen i stället för genom elektrolys av vatten är att elektrolys kräver mycket stora mängder elektricitet. Att tillverka all vätgas som i dag används med hjälp av el skulle kräva 4 700 TWh per år, vilket är 33 gånger Sveriges totala elförbrukning och motsvarar 16 procent av världens totala elförbrukning (40 procent av världens fossilfria el).

Slutsatsen är att det vare sig på kort eller medellång sikt är rimligt att genomföra en sådan utbyggnad av elbehovet med planerbar och fossilfri elektricitet så att det blir en positiv nettoeffekt avseende koldioxidutsläppen.

Var ska elen komma ifrån och vad kommer den att kosta?

Vi har konstaterat att om alla planer fullföljs gällande de elkrävande projekt som planeras i Norrbottens län kommer det att kräva 90–100 TWh el per år. Var ska då elen komma ifrån? Och vad kommer den att kosta? Dessa frågor söker Jan Blomgren och Per Fahlén besvara i kapitel 6 respektive 7.¹⁷

De slår båda fast att det handlar om mycket mer än att säkerställa att investeringar görs i själva elproduktionen – investeringar i elnät och insatser för att säkerställa att elsystemet blir stabilt kan komma att bli mycket kostsamt.

Fram till vintern 2023 var egentligen land- och havsbaserad vindkraft de enda alternativen eftersom 2016 års energiöverenskommelse innebar att all kärnkraft skulle vara avvecklad senast 2040. Sedan den 25 januari 2023 är målet ändrat från att all el ska vara förnybar till att det räcker att den är fossilfri. Det öppnar upp för att investera i ny kärnkraft. Enligt Svensk Vindenergi kommer industrin att öka sitt elbehov med 70 TWh redan till 2030.¹⁸ Många menar därför att det tar alltför lång tid innan ny kärnkraft hinner komma på plats för att möta behovet och att det är bättre att i första hand satsa på att bygga ut vindkraften då den kan komma på plats snabbare. Men om man väljer den vägen uppstår ett nytt dilemma: då är risken stor att kärnkraften inte blir lönsam när den väl är på plats.¹⁹

Blomgren och Fahlén är samstämmiga i sin analys. De finner båda att vindkraft är betydligt dyrare än vad Energimyndigheten och Energiföretagen hävdar i sina analyser. Baserat på verkliga erfarenheter konstaterar de att investeringskostnaden är högre, livslängden är kortare, underhållet är dyrare och kapacitetsfaktorn (hur stor andel av installerad effekt som produceras över tid) är lägre än vad man räknat med. Detta leder till en produktionskostnad på kraftverksnivå som är ungefär dubbelt så hög jämfört med vad Energimyndigheten räknar med. För havsbaserad vindkraft är skillnaden i bedömning ännu större.

¹⁷ Jan Blomgrens och Per Fahléns studier lanserades i form av två gemensamma debattartiklar: en i *Dagens industri* den 23 mars 2024 med titeln "Vad kostar el till vätgasstål skattebetalarna?" (<https://www.di.se/debatt/vad-kostar-el-till-vatgasstal-skattebetalarna/>) och en i *Affärsvärlden* den 26 mars 2024 med titeln "Alla föreslagna scenarier för elomställningen är dyra och dåliga" (<https://www.affarsvarlden.se/debatt/debatt-alla-foreslagna-scenarier-for-elomstallningen-ar-dyra-och-daliga>).

¹⁸ Svensk Vindenergi (2023).

¹⁹ Se Holmberg och Tangerås (2023) för denna argumentationslinje.

Detta är dock bara en av flera kostnadskomponenter. Det tillkommer kostnader på systemnivå och här pekar de på att skillnaderna mellan kraftslagen är mycket stora. Dessa kostnader utgörs av kostnader för anslutning till stamnätet, överföringskostnader och kostnader för balanskraft (de kraftkällor alternativt de energilagrar, t.ex. batterier, som måste nyttjas när flödande energikällor såsom vindkraft inte genererar el). Den senare kostnaden inkluderar kostnaden för att balanskraftens kapacitetsutnyttjande blir lägre än optimalt. När vindkraftsandelens överstiger 20 procent ökar systemkostnaden snabbt och redan vid den nivån kan systemkostnaden vara lika stor som kraftverkskostnaden.

Om produktionen av el från vindkraft skulle öka med uppåt 100 TWh skulle det innebära en dramatisk ökning av vindkraftens produktionsandel. Både Blomgren och Fahlén tvivlar på att det då skulle vara möjligt att säkerställa att elsystemet är i balans hela året. Särskilt besvärligt riskerar det att bli på vintern då Sverige regelmässigt har perioder på en vecka eller mer när det är i stort sett vindstilla i hela landet.

En ytterligare kostnad som sällan beaktas är hur arealkrävande vindkraft är jämfört med kärnkraft. För att producera en given mängd el med landbaserad vindkraft krävs ett kraftverksområde som är 400–1 000 gånger större än vad som krävs med kärnkraft. Om man till detta adderar ytbehov för ledningsgator till de utspridda vindkraftverken och ytbehoven för balanskraft, då blir skillnaden ännu större.

Slutsatsen av de båda studierna är att kostnaden för vindkraftsel till de planerade projekten kommer att överstiga en krona per kWh och i den mån det blir aktuellt med havsbaserad vindkraft så kommer det att bli betydligt dyrare än så. Billigast skulle kärnkraftsel vara, vilken skulle kunna produceras till en kostnad runt 70 öre per kWh. I det fallet är även kostnaden för balanskraft försumbar. Behovet av stora vätgaslager bortfaller och elektrolysörerna kan köras kontinuerligt, vilket sänker investeringskostnaden för att tillverka vätgas.

Effekter på den lokala livsmiljön av en omfattande vindkraftsutbyggnad

Fram till vintern 2023 när regeringen fattade beslut om att ändra målet för energipolitiken från 100 procent förnybart till 100 procent fossilfritt fanns i praktiken inget alternativ till en massiv vindkraftsutbyggnad för att möta det stora framtida elbehovet i norr. Även om det talas en del om kärnkraft för att möta behovet av el för att få fram den vätgas som krävs för fossilfri tillverkning av järnsvamp och handelsgödsel, så förefaller huvudspåret fortfarande vara en omfattande vindkraftsutbyggnad.

Ju närmare vindkraftsparkerna ligger användarna, desto kostnadseffektivare blir det på grund av att behovet av nätinvesteringar blir mindre. Samtidigt har vindkraftverk stor påverkan på den lokala miljön i form av vägar och anläggningsytor till varje verk, buller, ljusföroreningar, störande skuggor vid solsken osv.

Visserligen bor det få människor i de nordligaste fjällen, men en i sammanhanget besvärande omständighet är att Sveriges norra hälft också är samernas renbetesland. Samernas renskötselrätt skyddas genom egendomsskyddet och ger samerna rätt att använda mark och vatten till sig och sina renar. Rennäringen räknas som ett riksintresse och enligt 3 kap. 5 § i miljöbalken ska mark- och vattenområden som har betydelse för rennäringen så långt möjligt skyddas mot åtgärder som påtagligt kan försvåra näringens bedrivande.

I kapitel 8, "Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel", sammanfattar Mirja Lindberget, Anna Skarin och Per Sandström forskningen rörande hur landbaserad vindkraft påverkar renar och renskötsel.²⁰

Renar betar selektivt och söker sig till de mest näringsrika växterna för varje säsong, vilket innebär att de är i ständigt rörelse. Om flyttleder blockeras eller renarna störs när

²⁰ Forskningsöversikten som här publiceras som kapitel 8 lanserades i form av en debattartikel i *Dagens Nyheter* den 13 mars 2024 med titeln "Ska vindkraften byggas ut måste samerna köras över" (<https://www.dn.se/debatt/ska-vindkraften-byggas-ut-maste-samerna-koras-over>) med Anna Skarin, Per Sandström och Mirja Lindberget som undertecknare.

de betar förlorar de betestid och därmed möjligheten att bygga upp och underhålla sina energiförråd för god överlevnad och reproduktion.

Forskningen visar att renarna undviker vindkraftsområden och att deras betesro försämras i närheten av vindkraftsanläggningar, vilket gör att de tvingas använda områden som är sämre och/eller att de trängs ihop på resterande bra betesområden.

Författarna konstaterar att riksdagens miljömål om en hundraprocentigt fossilfri energiproduktion år 2040 tyder på ett fortsatt högt exploateringstryck från såväl vindkraft som gruvindustri och skogsbruk. Konflikten med samernas rättigheter riskerar då att förstärkas genom att betesarealerna minskar, svårigheterna att säsongsflytta renarna ökar, behovet av utfodring ökar och fler renar blir påkörda.

Vindkraftsexploateringen inkräktar inte bara på samernas renskötselrätt. Vi har redan noterat potentiellt negativa effekter i form av buller och ljusföroreningar och stora arealbehov. På senare tid har man uppmärksammat att verkens vingar, vilka består av kompositmaterial, under sin livstid tappar en betydande del av sin vikt. Det gör att nanopartiklar sprids i närområdet.

En viktig fråga är om dessa olägenheter har negativa effekter på livskvalitet och hälsa för människor och djur som bor i närheten av vindkraftverken. I kapitel 9, "Vindkraft och hälsoproblem – forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk", bidrar Helen Karlsson med en forskningsöversikt kring möjliga effekter på människor och djur till följd av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk.²¹

Hon noterar att kunskapen om vindkraftens effekter på miljö och hälsa visserligen ännu är för begränsad för att ligga till grund för definitiva slutsatser. Dock finns indikationer på att vindkraften riskerar att utsätta både människor och djur för negativ påverkan på hälsan.

Ett antal studier visar på problem med erosionen från rotorbladen. Likaså finns flera studier gällande vindkraftsbuller i relation till människor och djur. De visar på förekomsten av irritation och stressreaktioner hos både djur och människor och vissa djur uppvisar ett flyktbeteende. Drabbade människor upplever en rad symptom som ännu inte till fullo kan bekräftas genom de metoder som används då sambandet mellan ohälsa och trafik- och flygbuller undersöks.

Särskilt det lågfrekventa hörbara ljudet, vilket också innehåller mer energi och sprids långa sträckor, finns det skäl att vara uppmärksam på. De gränsvärden som finns och

²¹ Helen Karlsson rapport, som här alltså publiceras som kapitel 9, lanserades i form av en debattartikel i *Göteborgs-Posten* den 16 februari 2024 med titeln "Tillämpa försiktighetsprincipen även för vindkraft" (<https://www.gp.se/debatt/tillampa-forsiktighetsprincipen-aven-for-vindkraft.dbd7676d-2510-4895-863c-84c90d6eb2f6>). Utöver Helen Karlsson var arbets- och miljömedicinaren med. dr Bengt Ståhlbom och Magnus Henrekson undertecknade.

de bullerkontroller som görs beaktar dock inte lågfrekvent ljud, trots att det ofta upplevs som så störande att drabbade väljer att inte bo kvar. När det gäller trafik- och flygbuller finns det evidens för stressreaktioner med hjärt- och kärlproblematik som följd.

En ytterligare oroande faktor är att stora mängder bisfenol A används vid tillverkningen av majoriteten av rotorblad. Det är fortfarande oklart hur mycket av detta hormonstörande ämne som eroderar med partiklar eller urlakas från rotorbladen, eller om bisfenol A når människor och djur på detta sätt. Bisfenol A anses dock så pass giftigt att Europeiska myndigheten för livsmedelssäkerhet, EFSA, nyligen sänkt det tolerabla dagliga intaget till en tjugotusendel av det tidigare gränsvärdet.²²

En viktig fråga att ställa sig är om det är rimligt att ge klartecken till en så omfattande satsning som vi vet innehåller giftiga kemikalier och som avger betydande buller innan vi vet mer om effekterna på miljö, djur eller människor. Miljöbalkens försiktighetsprincip reglerar just sådana situationer. Det är svårt att undgå att fråga sig varför myndigheterna tar så lätt på försiktighetsprincipen på just detta område med tanke på hur nitiskt den tillämpas på så många andra områden.

²² EFSA (2023).

Slutord

Som en del i att göra Sverige klimatneutralt – uppnå netto nollutsläpp av växthusgaser – senast 2045 planeras mycket omfattande och exceptionellt elkrävande industriinvesteringar i norra Norrland. I första hand handlar det om att producera järnsvamp och fossilfritt stål med hjälp av vätgas, men det handlar också om stora satsningar på produktion av handelsgödsel, batterier och vätgas för andra ändamål. Närmare två tredjedelar av en förväntad fördubbling av Sveriges elförbrukning till 2050 förväntas gå till dessa projekt.

I huvudsak handlar det om mycket riskfyllda och kostnadskrävande investeringar byggda på oprövad teknik och förhoppningar om en stark framtida efterfrågan. Investeringarna ska också genomföras i en landsända som redan i dag lider av brist på arbetskraft, bostäder och offentlig service. Den el, de elnät och den transportinfrastruktur som behövs finns heller inte, vilket kräver ytterligare investeringar på flera hundra miljarder kronor för att industriinvesteringarna ska kunna genomföras. Sammantaget handlar det om den största industrisatsningen i Sveriges moderna historia i relation till ekonomins storlek. Den skepsis till de planerade stålprojekten som här uttrycks handlar inte om motstånd mot tanken på att producera stål utan nettoutsläpp av koldioxid utan om att det är i högsta grad osäkert om detta kommer att göras på det sätt som LKAB och H2GS investerar i sig i. Världens stålföretag arbetar för fullt med att pröva olika vägar att minska utsläppen med allt från att ändra sammansättningen i insatsvarorna såsom att ha en större andel stålskrot eller använda biokol i stället för koks i masugnarna till att utveckla tekniker för att samla in utsläppen för återvinning, lagring eller användning i andra processer.²³

Trots satsningarnas unika omfattning har det saknats en grundlig genomlysning och utvärdering av projekten såväl ur ett företagsekonomiskt risk- och avkastningsperspektiv som ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Syftet med det projekt som slutredovisas i denna samlingsvolym är att bidra till att åtgärda detta förbiseende.

Projektets omfattning är så stor att de inte bara har stor påverkan på företag, hushåll och livsmiljö i berörda kommuner eller i regionen. Effekterna kommer att sprida sig till hela landet och via effekterna på elmarknaden kommer hela Norden att påverkas. Resultatet

²³ Se Jafri m.fl. (2022) för en forskningsöversikt över olika tekniker att minska koldioxidutsläppen inom järn- och stålindustrin. Vogl m.fl. (2023) identifierar 89 olika projekt världen över för att minska utsläppen från stålindustrin. En metod som redan används i betydande omfattning är att ersätta stenkol med biokol från eukalyptus i masugnarna (Rostås m.fl. 2022). Bara i Sverige utvecklas två andra tekniker för att uppnå fossilfrihet: FerroSilva, som använder rester från skogsbruk för att tillverka syntesgas som i sin tur används för att producera fossilfri järnsvamp, och GreenIron H2, som bygger på en vätgasbaserad process de menar är betydligt mer energi- och kostnadseffektiv än den LKAB utvecklar.

blir omfattande undanträngning av redan existerande verksamheter och de resurser som satsas i projekten skulle ha haft ett högre samhällsekonomiskt värde om de i stället satsas i andra projekt.²⁴

Det är klart olämpligt att ett litet land gör så här stora och riskfyllda satsningar baserade på oprövad teknik med så stora effekter på hushåll och övrigt näringsliv. Den slutsatsen förstärks av det faktum att satsningarna också förutsätter en unikt stor utbyggnad av elproduktionen och elnäten i en landsända där det knappast finns lönsamma alternativa användningsområden för denna el ifall en stor del av de elkrävande projekten visar sig bli olönsamma eller inte bli av.

Den aktör som står i särklass vad gäller att göra anspråk på resurser är det statligt helägda gruvbolaget LKAB. Bolaget har dessutom, trots en ägarandel på blott 10,5 procent, enligt nuvarande planer tagit på sig de stora risker det innebär att förse SSAB med fossilfri järnsvamp. Detta kan svårligen motiveras ur vare sig ett ägar- eller företagsekonomiskt perspektiv. LKAB bör därför avveckla sitt ägande i SSAB. Bolaget skulle också må bra av att få en styrelse med kompetenser och erfarenhet i linje med andra gruvbolags. På längre sikt behöver staten se över sin ägarroll i LKAB. Det vore därvidlag värdefullt om bolaget börsnoterades. Även om bara en mindre del av aktierna blir tillgängliga för en bredare krets så skulle bolaget gynnas av den disciplin och fortlöpande utvärdering som en börsnotering ger.

Om projekten misslyckas blir notan för svenska och europeiska skattebetalare hög. Kommuner, regioner, stat och andra företag kommer då att få betala ett högt pris i form av skuldsättning, undanträngning och snedvriden konkurrens. I denna antologi slutredovisas en första stor utvärdering av de omfattande planerna. Med tanke på planernas omfattning och deras genomgripande effekter på hela samhället behövs ytterligare utredningar, inte minst bör staten själv skyndsamt genomföra de djuplodande utredningar som egentligen borde ha genomförts parallellt med att de involverade bolagen drog upp sina egna planer.

²⁴ Se Johansson och Kriström (2022) för en samhällsekonomisk utvärdering av H2GS satsning i Boden. I en debattartikel baserad på studien (Johansson m.fl. 2023) drar de slutsatsen att "[d]en samlade samhällsekonomiska förlusten, uttryckt som ett så kallat nuvärde då räntan är 3 procent, mycket väl kan hamna i storleksordningen 200–250 miljarder kronor."

²⁵ Att Riksrevisionen den 23 februari 2024 meddelade att de har inlett en granskning av LKAB:s omställning är ett välkommet besked (<https://www.riksrevisionen.se/nu-granskas/inledda-granskningar/omstallningen-av-lkab.html>).

Referenser

- Alskog, J. (2023). "Statliga miljarder till ståltillverkning i Boden ska prövas". *Altinget*, 2 november. <https://www.altinget.se/miljo/artikel/statliga-miljarder-till-staaltillverkning-i-boden-ska-provas>.
- Björkman, F. (2023). "Söker nya pengar med hjälp av brev från regeringen". *Dagens industri*, 14 april. <https://www.di.se/nyheter/soker-nya-pengar-med-hjalp-av-brev-fran-regeringen/>.
- EFSA (2023). "Bisphenol A in Food is a Health Risk". Parma: European Food Safety Authority. <https://www.efsa.europa.eu/en/news/bisphenol-food-health-risk>.
- H2 Green Steel (2022). "Ledande finansiella institutioner backar H2 Green Steels skuldfinansiering om 38 miljarder kronor", 24 oktober. <https://news.cision.com/se/h2-green-steel/r/ledande-finansiella-institutioner-backar-h2-green-steels-skuldfinansiering-om-38-miljarder-kronor,c3653604>.
- Henrekson, M. och C. Sandström (2023). "Det 'gröna' stålet i Norrland – ett nytt Stålvärk 80?". *Ekonomisk Debatt*, vol. 51, nr 1, s. 56–60.
- Henrekson, M., C. Sandström och M. Stenkula (2024). "Learning from Overrated Mission-Oriented Innovation Policies: Seven Takeaways". I. M. Henrekson, C. Sandström och M. Stenkula (red.), *Moonshots and the New Industrial Policy: Questioning the Mission Economy* (s. 235–255). Cham: Springer.
- Holmberg, P. och T. Tangerås (2023). "Vänta med statligt stöd till ny kärnkraft". *Svenska Dagbladet*, 14 december.
- Iwarson, T. (2023). "Brasilien – störst på träkol och först med fossilfritt stål". *ATL*, 26 maj. <https://www.atl.nu/brasilien-har-redan-fossilfritt-stal>.
- Jafri, Y., J. M. Ahlström, E. Furuşjö, S. Harvey, K. Pettersson, E. Svensson och E. Wetterlund (2022). "Double Yields and Negative Emissions? Resource, Climate and Cost Efficiencies in Biofuels with Carbon Capture, Storage and Utilization". *Frontiers in Energy Research*, vol. 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.797529>.
- Johansson, M., P.-O. Johansson och B. Kriström (2022). "Sverige rusar i full fart mot vår generations stålkris". *Dagens Nyheter*, 4 juli.
- Johansson, P.-O. och B. Kriström (2022). "Paying a Premium for 'Green Steel': Paying for an Illusion?". *Journal of Benefit-Cost Analysis*, vol 13, nr 3, s. 383–393.

- Kärnä, A., P. Gustavsson Tingvall och D. Halvarsson (2020). "Subsidy Entrepreneurs: An Inquiry into Firms Seeking Public Grants". *Journal of Industry, Competition and Trade*, vol. 20, nr 3, s. 439–478.
- Naturvårdsverket (2023). "Sveriges klimatmål och klimatpolitiska ramverk". <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/sveriges-klimatarbete/sveriges-klimatmal-och-klimatpolitiska-ramverk/>.
- Odenberger, M., T. Unger, A. Kofoed-Wiuff, F. Gaballo och M. Wråke (2024). "Modellanalyser av den svenska elprisutvecklingen till följd av en omfattande elektrifiering". Nord-europeiska energiperspektiv, Nepp och Profu. <https://energiforsk.se/media/33096/nepp-elprisutveckling-till-foljd-av-omfattande-elektrifiering-2024-01-30.pdf>.
- Rex, M. (2024). "Efter jättefinansieringen: H2GS räknar med att nå full produktion snabbare". *Dagens industri*, 22 januari.
- Riksgälden (2023). "Grön kreditgaranti för lån till H2 Green Steel", 22 december. <https://www.riksdagen.se/sv/press-och-publicerat/pressmeddelanden-och-nyheter/nyheter/2023/gron-kreditgaranti-for-lan-till-h2-green-steel/>.
- Rostás, R. (2022). "Brazil at Steel Decarbonization Crossroads; Charcoal, Gas Short-Term Options". *Fastmarkets*, 21 mars. <https://www.fastmarkets.com/insights/brazil-at-steel-decarbonization-crossroads-charcoal-gas-short-term-options/>.
- Sandström, C. och C. Alm (2022). "Directionality in Innovation Policy and the Ongoing Failure of Green Deals: Evidence from Biogas, Bioethanol, and Fossil-Free Steel". I K. Wennberg och C. Sandström (red.), *Questioning the Entrepreneurial State Status-quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy* (s. 251–269). Cham: Springer.
- SKR (2023). *Vem ska stå för risken? Om omvandlingen till grön industri i Sverige*. Stockholm: Sveriges Kommuner och Regioner.
- Sundén, D. (2023). "Från brunt till grönt – bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Sundén, D. (2024a). "Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Sundén, D. (2024b). "Till vilket elpris som helst? Bedömning av effekterna på den nordiska elmarknaden av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Svensk Vindenergi (2023). "Investeringar i vindkraften fortsätter". <https://svenskvindenergi.org/pressmeddelanden/investeringar-i-vindkraften-fortsatter>.

- Sveriges Radio (2022). "LKAB:s vd: Ska vi ha en grön omställning?". Ekots lördagsintervju, 26 november. <https://sverigesradio.se/avsnitt/lkabs-vd-ska-vi-ha-en-gron-omstallning>.
- Törnwall, M. och T. Augustsson (2021). "Kända investerare satsar stort i fossilfritt stål". *Svenska Dagbladet*, 23 februari.
- Vätgas Sverige (2020). "EU-kommissionen satsar 430 miljarder euro på vätgas". <https://www.vatgas.se/2020/07/08/eu-kommissionen-satsar-430-miljarder-euro-pa-vatgas/>.

Om författaren

Magnus Henrekson är professor och verksam vid Institutet för Näringslivsforskning.

Han har bl.a. varit professor i nationalekonomi på Handelshögskolan i Stockholm 2001–2009 och var IFN:s vd 2005–2020.

Magnus Henrekson är en av Sveriges mest citerade nationalekonomer.

Han har publicerat ett trettiotal böcker och närmare hundra artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter. Sedan millennieskiftet rör hans forskning främst entreprenörskapets ekonomi och företagsklimatets bestämningsfaktorer.

Han är f.n. också aktuell som regeringens ensamutredare med uppdrag att föreslå ett nytt betygssystem för den svenska skolan.

Professor Magnus Henrekson · Institutet för Näringslivsforskning (IFN) · Box 55665 ·
102 15 Stockholm · Epost: magnus.henrekson@ifn.se · Tel: +46-70 222 97 00 ·
Personlig webb: <https://www.ifn.se/mh>

KAPITEL 2

Kampen om svampen – utmaningarna för satsningarna på fossilfritt stål i Norrland och vägen framåt*

DAVID SUNDÉN OCH MAGNUS HENREKSON

Om författarna

Se sid. 58 för en presentation.

* Citeras som: Sundén, David och Magnus Henrekson (2024), "Kampen om svampen – utmaningarna för satsningarna på fossilfritt stål i Norrland och vägen framåt". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 39–58). Stockholm: Samhällsförlaget.

Inledning

EU och ett stort antal länder har förbundit sig att vara klimatneutrala 2050. I kombination med Parisavtalet innebär det ett starkt tryck för omställning till klimatneutrala tekniker. Detta tryck gäller även för stålindustrin som står för runt åtta procent av de globala koldioxidutsläppen.¹ Gruv-, järn- och stålindustrin världen över står således inför en period med skarpa krav på omställning för att minska utsläppen och samtidigt verka med lönsamhet.

EU:s klimatmål är strängare än i Parisavtalet och innebär därmed ett hårdare tryck på den europeiska järn- och stålindustrin att ställa om. Den tidigare gratistilldelningen av utsläppsrätter till järn- och stålsektorn, inom ramen för ETS1, fasas ut till 2034. Samtidigt ska utsläppen minska genom att i snabbare takt begränsa nyutgivningen av utsläppsrätter och från och med 2039 ska utgivningen av utsläppsrätter upphöra. För att förhindra att produktionen flyttar utanför EU och att producenter utanför EU får konkurrensfördelar på EU-marknaden införs parallellt en gränsjusteringsmekanism som prissätter utsläppen på importerade järn och stålprodukter – Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM). Denna ska fungera som en importtariff (tull). Nivån på tariffen bestäms utifrån pris-skillnaden på utsläppsrättigheter inom EU och den region produkterna importeras från.

Den del i värdekedjan från gruva till färdigt stål som i dagsläget släpper ut mest koldioxid är produktionssteget mellan järnmalm och järn där syret avlägsnas från järnmalmen. Detta steg har under lång tid genomförts i masugnar där kol används både som energikälla och medel för att avskilja syret från malmen. Ungefär 70 procent av allt stål globalt tillverkas via denna väg. Metoden leder i dagsläget till drygt 1,6 ton koldioxidutsläpp per ton stål som tillverkas. Till detta kommer ytterligare cirka 0,4 ton koldioxidutsläpp från övriga delar av värdekedjan.²

En alternativ väg att ta bort syret ur järnmalmen är via järnsvamp. Järnsvamp består till mellan 90 och 95 procent av rent järn. För framställningen krävs högkvalitativ järnmalm; järnhalten måste vara minst 65 procent och helst över 67 procent. I dagsläget används naturgas i järnsvampsanläggningarna. Av det skälet är de flesta järnsvampsfabriker lokaliserade i regioner med god tillgång till billig naturgas, såsom Mellanöstern, Iran och Ryssland.³ Den naturgasbaserade processen för att ta bort syret ur malmen orsakar koldioxidutsläpp på ca 0,6 ton per ton stål, vilket är 60 procent mindre än när det görs

¹ Uppskattningarna varierar mellan 7,2 (Carbon Brief) och 11 procent (Our World in Data) av de totala koldioxidutsläppen i världen (<https://www.sustainable-ships.org/stories/2022/carbon-footprint-steel>).

² Sommers (2022).

³ Midrex (2023).

i masugnar.⁴ I takt med att det blivit allt viktigare att reducera koldioxidutsläppen har efterfrågan på järnsvamp drivits upp. Antalet produktionsanläggningar och produktionen har därför ökat kraftigt, i synnerhet under de senaste fem åren. Dock är andelen järn som tillverkas via järnsvamp fortfarande bara cirka fem procent, men produktionen av järnsvamp förväntas fortsätta att öka snabbt för att möta den stigande efterfrågan.

Naturgasen i järnsvampsanläggningarna kan ersättas med vätgas, vilket innebär att restprodukten blir vatten i stället för koldioxid. Detta tekniksifte har än så länge inte varit kostnadseffektivt eftersom vätgas som tillverkas via elektrolys kräver mycket stora mängder el. I regioner med tillgång till billig naturgas blir reduktionen av syret i järnmalmen cirka fem gånger dyrare om man byter ut naturgasen mot vätgas.⁵ För att ändå ta tillvara potentialen av att kunna minska koldioxidutsläppen till noll pågår försök världen över – t.ex. att utsläppen från naturgasen fångas in eller att järnsvampsfabrikerna ökar inblandningen av vätgas i takt med att teknikerna blir mer mogna och ekonomiskt lönsamma.

Sverige är EU:s helt dominerande järnmalmproducent genom det statligt helägda bolaget LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag). LKAB står ensamt för 85 procent av EU:s totala järnmalmproduktion. Globalt är dock företaget relativt litet med en världsmarknadsandel på cirka en procent. LKAB kontrollerar också tillsammans med finska regeringen Sveriges i särklass största ståltillverkare, SSAB.⁶ Till detta ska läggas nykomlingen i branschen, H2 Green Steel (H2GS). När verksamheten är fullt utbyggd planerar H2GS att årligen producera fem miljoner ton fossilfritt stål i sin anläggning i Boden. Detta är 13 procent mer än dagens totala stålproduktion i samtliga svenska stålverk.

Till skillnad från de internationella satsningarna planerar LKAB och H2GS i stället att göra järnsvampsproduktionen fossilfri direkt utan fossila övergångslösningar med hjälp av vätgas. Vätgasen ska tillverkas genom elektrolys, vilket kräver stora mängder el. Kostnaderna för el är den i särklass största kostnadsposten för att tillverka vätgasbaserad järnsvamp. Företagen har därför valt att lokalisera sin planerade produktion till Norrbottens län med motivet att regionen kan erbjuda stora mängder billig fossilfri el. Helstatliga Vattenfall står för huvuddelen av elproduktionen. För att LKAB och H2GS ska kunna få all den fossilfria el deras projekt förutsätter är de beroende av att staten via Vattenfall gör motsvarande investeringar i elproduktion och att likaså helstatliga Svenska kraftnät står för den omfattande nätutbyggnad som krävs.

⁴ Sommers (2022).

⁵ För beräkningar hänvisas till Sundén (2024b).

⁶ Visserligen äger LKAB bara 10,5 procent av aktierna, men en del av aktierna är röststarka A-aktier, vilket innebär att LKAB har 16 procent av rösterna. Finska regeringen är den näst största aktieägaren med 6,29 procent av kapitalet och 8,04 procent av rösterna (<https://www.ssab.com/sv-se/ssab-koncern/investerare/ssab-share/aktieagare>, per 1 mars 2024). De två största ägarna kontrollerar tillsammans således bara en sjättedel av kapitalet i SSAB, men trots detta förhållandevis begränsade ägande så kontrollerar de i praktiken bolaget.

LKAB avser att sälja sin järnsvamp på världsmarknaden medan H2GS avser att använda järnsvampen (i kombination med skrot) i sitt eget stålverk för att tillverka stålprodukter. Trots att den vätgasbaserade järnsvampen blir mycket dyrare att tillverka än den naturgasbaserade hävdar båda bolagen att de kan nå lönsamhet eftersom de räknar med att kunna ta ut en tillräckligt hög "fossilfri" premie på sina produkter. Denna premie kan uppskattas som skillnaden mellan vad företag som tillverkar fossil järnsvamp och fossilt stål behöver betala för sina extra utsläpp inom ETS1 i framtiden jämfört med LKAB och H2GS. Företagen hävdar dessutom att deras kunder redan idag är villiga att betala hela denna premie eftersom kunderna har mål om att vara fossilfria idag eller inom en snar framtid.

Både LKAB:s och H2GS lönsamhet som "fossilfria" producenter av järn och stål avgörs således främst av hur billigt de kan tillverka järnsvamp i konkurrens med resten av världen – en järnprodukt som har ökat starkt i både global efterfrågan och produktion. Företagens framgångar kommer därför att avgöras av vem som vinner den globala kampen om svampen på järn- och stålmarknaderna.

Syfte

Mot denna bakgrund har David Sundén i tre rapporter bedömt hur väl LKAB och H2GS kan klara sig i den globala konkurrensen.⁷ I den första rapporten "Från brunt till grönt"⁸ bedöms företagens möjligheter till framgång utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv. I den andra "Lönsam eller kostsam?"⁹ utvärderas möjligheterna för företagen att nå företagsekonomisk lönsamhet. I den tredje rapporten "Till vilket elpris som helst?"¹⁰ uppskattas hur bolagens stora efterfrågan på el påverkar elmarknaden, elpriserna och hur detta i sin tur påverkar företagens möjligheter att nå framgång.

Syftet med detta kapitel är att sammanfatta resultaten och förklara varför företagens satsningar måste klassas som högriskprojekt. Vi kommer dessutom att försöka förklara varför projekten trots alla utmaningar kommit så långt i planering och genomförande utan att ifrågasättas. Avslutningsvis ger vi även en bild av hur satsningarna borde genomförts och vad som bör göras för att minska riskerna i bolagens affärer.

⁷ Analysen i detta kapitel bygger i hög grad på dessa rapporter. Den läsare som efterfrågar ytterligare referenser som backar upp kapitlets analys och slutsatser hänvisas till Sundén (2023, 2024a, 2024b),

⁸ Sundén (2023)

⁹ Sundén (2024a).

¹⁰ Sundén (2024b).

Utmaningarna på de globala järn- och stålmarknaderna

Den globala järnmalm-, järn- och stålindustrin är i huvudsak inlåst i masugnstekniken under lång tid framöver – med fortsatta koldioxidutsläpp som följd. Inlåsningsen beror för det första på en mycket låg genomsnittsålder på masugnarna i Asien, cirka tio år, vilket innebär att de lågt räknat har en återstående medellivslängd på 40 år.

För det andra matas dessa masugnar med hematitbaserad järnmalm från stora gruvor i Australien och Brasilien, vilka huvudsakligen ägs av världens fyra största gruvbolag. Tillgången till denna typ av lågkvalitativ malm är stor och den passar bra för att användas i masugnar. Hematitmalm från dessa gruvor har än så länge ringa förutsättningar att kostnadseffektivt kunna användas i alternativa fossilfria tillverkningstekniker – malmen har antingen för lågt järninnehåll eller så är den alltför förorenad.

För det tredje har denna värdekedja, från malm av lägre kvalitet till stål via masugnar, under lång tid effektiviserats och är numera väl beprövad, industrialiserad och kommersialiserad. Masugnstekniken är ett av de billigaste sätten att tillverka stål. Tekniken är därför för många utvecklingsländer en säker och billig väg för att trygga sitt behov av stål när ländernas samhällen utvecklas och infrastruktur samt städer byggs. Nackdelen är att tekniken ger upphov till stora koldioxidutsläpp.

För det fjärde kan konkurrerande tekniker som stål från stålskrot och järnsvamp i ljusbågsugnar endast i begränsad omfattning bistå i en grön omställning mot mindre koldioxidutsläpp. Orsaken är den begränsade tillgången till stålskrot och högkvalitativ järnmalm som behövs för att tillverka järnsvamp.

Stål från stålskrot medför små koldioxidutsläpp och kan även användas i masugnar, vilket minskar behovet av kol i processen och därmed även utsläppen. Detta har medfört att skrot blivit en strategiskt viktig insatsvara för stålbolagen i deras ansträngningar att minska utsläppen. För att säkra tillgången till skrot i sina värdekedjor har därför de största ståltillverkarna börjat köpa upp skrotföretag i USA och Europa. Alltmer stålskrot låses då in i de stora företagens värdekedjor, vilket minskar andelen handelsbart stålskrot. Stålskrot som insatsvara för att helt ta bort koldioxidutsläppen är dock ingen framkomlig väg på grund av den än så länge begränsade tillgången. Uppskattningar visar på att skrot kan

komma att stå för 50 procent av stålproduktionen kring 2050,¹¹ vilket inte är tillräckligt för att minska utsläppen i den omfattning som krävs.

Järnsvamp framställs ofta som avgörande för att minska koldioxidutsläppen – i synnerhet framhålls järnsvamp som tillverkas med vätgas. Den globala produktionen av järnsvamp har ökat kraftigt över tid på grund av en hög och stigande efterfrågan. Järnsvamp bör dock tillverkas från järnmalm av så hög kvalitet som möjligt, s.k. DR-pellets. Sämre kvalitet – med lägre järnhalt och högre andel föroreningar – ger lägre effektivitet och högre produktionskostnader i järnsvampsfabrikerna. Efterfrågan på järnsvamp är således direkt knuten till efterfrågan på DR-pellets. Redan planerade järnsvampsanläggningar, främst i Mellanöstern, kräver så stora mängder DR-pellets att tillgången inte kommer kunna följa med. Orsaken är att endast ett fåtal gruvor har malm av tillräckligt hög kvalitet, bland dessa LKAB. International Iron and Metallica Association (2023) uppskattar att järnsvampsanläggningarna efter 2030 har ett behov av 30 procent mer högkvalitativ järnmalm än vad som kommer att kunna tas upp ur gruvorna.¹² Till viss del kan behovet täckas av malm av sämre kvalitet. För de järnsvampsanläggningar som väljer eller tvingas till detta alternativ ökar produktionskostnaderna på grund av den försämrade energi-effektiviteten. Risker är stora att vissa järnsvampsfabriker inte får tillgång till tillräckliga mängder DR-pellets för att kunna köras med full kapacitet. I värsta fall kan vissa anläggningar tvingas att stänga ned. Mot en sådan bakgrund blir tillgången till DR-pellets kritisk för järnsvampsindustrin, vilket kommer att begränsa möjligheterna för stålindustrin att den vägen minska sina koldioxidutsläpp. LKAB:s högkvalitativa järnmalm blir samtidigt en strategiskt viktigt insatsvara på den globala järnmalmsmarknaden. Priset på LKAB:s malm kan förväntas stiga när malmens värde för den globala gröna omställningen av stålindustrin realiserar.

Sammanfattningsvis är den globala stålmarknaden inte bara inlåst i masugnstekniken, den har också begränsade möjligheter att ställa om till de alternativa tekniker som finns att tillgå. I dagsläget räcker råvarorna stålskrot och högkvalitativ järnmalm helt enkelt inte till. Vår bedömning delas av de största internationella gruvbolagen och av de större stålbolagen. De menar att masugnar kommer att användas lång tid framöver och att de nuvarande fossilfria alternativen inte räcker för att minska utsläppen i någon större omfattning. I stället satsar de stort på att försöka göra masugnstekniken fossilfri.

Riskerna med att investera i vätgasbaserad järnsvampsproduktion i Norrbottens län är mot denna marknadsbakgrund uppenbara:

¹¹ International Energy Agency (2020).

¹² Se även Kuykendall (2022).

1. *Inlåsningsarna på den globala marknaden styr forskning och utveckling mot att minska koldioxidutsläppen från masugnarna.* Inlåsningsarna i fossilberoende stålproduktion i kombination med krav på lägre utsläpp skapar ett kraftigt omvandlingstryck och investeringsvilja i att hitta tekniska lösningar som minskar utsläppen från masugnarna. Ägarna till masugnsstålverk står – något förenklat – inför valet att antingen förlora sina investeringar eller göra dem fossilfria. De största gruv- och stålproducenterna kan därför förväntas investera massivt i forskning och utveckling för att göra tekniken fossilfri. Den "fossilfria" premie LKAB och H2GS kan ta ut på sina produkter kommer att minska i takt med att masugnsproducenterna blir allt bättre på att minska utsläppen.
2. *Råvarorna – stålskrot och DR-pellets – är strategiskt viktiga i den gröna omställningen, men de finns endast i begränsad mängd.* Producenter som baserar sin tillverkning av stål på stålskrot och högkvalitativ järnmalm måste räkna med hård konkurrens för att få tillgång till dessa insatsvaror. För H2GS innebär detta att de måste konkurrera med järnsvampfabriker i Mellanöstern, Asien och USA om den högkvalitativa malmen. Konkurrenterna producerar sin järnsvamp med hjälp av naturgas och säljer den på världsmarknaden med inget eller begränsat kostnadspålägg för sina koldioxidutsläpp. Produktionskostnaden är dessutom betydligt lägre, vilket ger de naturgasdrivna järnsvampfabrikerna större ekonomiska marginaler jämfört med H2GS när de ska avtala om leveranser av DR-pellets. H2GS riskerar på detta sätt att hamna sist i kön av DR-pelletsköpare och inte kunna producera med full kapacitet eller i värsta fall inte alls. På samma sätt riskerar H2GS att hamna sist i kön i konkurrensen om högkvalitativt stålskrot. De stålbolag som tillverkar stål från skrot i ljusbågsugnar har en kostnadsfördel eftersom produktionskostnaden inte belastas av produktion av vätgasbaserad järnsvamp.

För LKAB innebär situationen en stor möjlighet att skapa extra lönsamhet eftersom deras järnmalm kommer att vara en strategiskt viktig insatsvara i den gröna omställningen. Att satsa på att själva förädla denna råvara med hjälp av vätgas innebär en stor risk. Detta av samma skäl som för H2GS. De producenter som tillverkar järnsvamp med hjälp av naturgas kommer att ha en betydande kostnadsfördel jämfört med LKAB.

De tekniska utmaningarna

Det är viktigt att förstå att LKAB:s, SSAB:s och H2GS satsningar grundar sig i en och samma typ av teknisk värdekedja. Teknikerna som ingår i kedjan är inte banbrytande – varken i teknisk eller kommersiell mening. De anläggningar som krävs – elektrolysörer, järnsvampsanläggningar, ljusbågsugnar och anläggningar för att tillverka färdiga stålprodukter – bygger på etablerade tekniker. Satsningarna kan således inte leda till omvälvande effekter på vare sig stålets kvalitet eller produktionskostnader; tvärtom kommer både järnsvampen och stålet att bli betydligt dyrare att tillverka. Värdekedjan kräver större investeringar än andra tekniker och innebär i sig inga konkurrensfördelar, förutom möjligheten att tillverka "fossilfritt" stål (i konkurrens med fossilfritt stål framställt med andra tekniker). Det som är nytt är dels att järnsvampsfabrikerna ska matas med vätgas, dels den enorma omfattningen av vätgastillverkning med hjälp av elektrolysörer som krävs (vilket i sin tur ställer stora krav på en massiv utbyggnad av elproduktionen och elnäten).

För LKAB:s del framkommer de övergripande tekniska utmaningarna och riskerna tydligt om man listar vad deras sammanlagda planer på järnsvampsproduktion konkret innebär:

- bygga upp vätgastillverkning baserat på elektrolys i en skala som aldrig tidigare genomförts, bevisats vara tekniskt möjligt eller vara ekonomiskt försvarbart,
- bygga ett vätgaslager i en skala som ännu aldrig genomförts eller demonstrerats vara tekniskt möjligt eller ekonomiskt lönsamt,
- bygga ett stort antal kapitalintensiva järnsvampsanläggningar drivna av vätgas i en skala som aldrig tidigare genomförts och med en teknik som ännu inte demonstrerats vara kommersialiserbar och industrialiserbar.

Till detta ska läggas att LKAB inte har någon som helst erfarenhet av någon av teknikerna eller av att driva så omfattande projekt. Projekt-, teknik- och affärsriskerna i LKAB:s järnsvampssatsning kan därför inte kategoriseras som annat än mycket höga. En liknande situation gäller H2GS som är ett nystartat bolag med ägare och ledning utan erfarenhet av de aktuella teknikerna, stålproduktion och järn- och stålmarknaderna.

Ytterligare affärsrisker tillkommer dels från att banbrytande tekniker visats fungera på pilotstadiet, dels från att forskningen och utvecklingen för att minska koldioxidutsläppen i masugnarna ökar och i långsam takt påvisar att det går att minska utsläppen.

Som exempel på potentiellt banbrytande tekniker kan nämnas smältreduktion och smältelektrolys, vilka fortfarande är i pilotstadiet. Fördelarna jämfört med övriga processer är att de kan tillverka rent järn mer eller mindre direkt från vilken typ av järnmalm som helst. Detta kemiskt rena järn kan sedan matas till ljusbågsugnar för precisionstillverkning av alla typer av låg- och högkvalitativt stål. Till skillnad från masugnprocessen kan koldioxidutsläppen med säkerhet minskas i betydande omfattning. Till skillnad från de tekniker som förlitar sig på järnsvamp behövs inte järnmalm av hög kvalitet. Tekniken för smältelektrolys är dessutom starkt modular, vilket initialt leder till låga krav på kapital samtidigt som byggtiderna blir korta.

Modulariteten innebär även att det räcker med ett enda lyckat försök i begränsad skala för att bevisa dess ekonomiska potential. De låga kraven på investeringskapital gör att tekniken därefter snabbt och enkelt kan kommersialiseras världen över. Banbrytande tekniker, exempelvis smältelektrolys, har potentialen att förändra ståltillverkningen i grunden. Om en sådan metod visar sig vara kommersiellt gångbar kan den attrahera omfattande investeringar på kort tid och på många platser världen över. En sådan utveckling skulle fundamentalt förändra värdekedjorna och kunna göra vissa tekniker olönsamma.

Trycket på att göra masugnstekniken fossilfri har hårdnat och kommer att hårdna över tid. Det finns ett stort antal möjligheter, men det har ännu inte gått att visa att tekniken kan bli helt fossilfri. För att minska utsläppen arbetar stålföretagen för det första med att ändra sammansättningen av insatsvarorna. Det handlar exempelvis om att öka inblandningen av järnmalm av högre kvalitet, använda större andel stålskrot, blanda in vätgas eller använda biokol. För det andra arbetar företagen med att utveckla tekniker för att samla in utsläppen för återvinning, lagring eller användning i andra processer. Om och hur snabbt masugnarna kan minska sina utsläpp i större skala är oklart.

Enligt Vogl m.fl. (2023) pågår för närvarande 89 olika projekt världen över för att minska utsläppen från stålindustrin. Ett exempel på metod som redan används i betydande omfattning är att ersätta stenkol med biokol från eukalyptus i masugnarna. Enligt företaget bakom tekniken, Aço Verde do Brasil, reduceras koldioxidutsläppet per ton stål med 99 procent.¹³ I Sverige utvecklas exempelvis två andra tekniker för att uppnå fossilfrihet. FerroSilva använder rester från skogsbruk, biogent kol, för att tillverka syntesgas som i sin tur används för att producera fossilfri järnsvamp. GreenIron H2 avser på samma sätt som LKAB att använda vätgas, men menar att processen är betydligt mer energi- och kostnadseffektiv än den LKAB utvecklar. De två bolagen har i sammanhanget bara erhållit marginella stöd från Energimyndigheten respektive Vinnova.¹⁴

¹³ Rostas (2022) och Iwarson (2023).

¹⁴ Se Jafri m.fl. (2022) för en forskningsöversikt över olika tekniker att minska koldioxidutsläppen inom järn- och stålindustrin. För stöd på 33,9 miljoner kronor till FerroSilva, se <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/drygt-300-miljoner-kronor-till-fyra-projekt-inom-industriklivet/>; för stöd på 17,2 miljoner kronor till GreenIron H2, se <https://www.vinnova.se/p/demonstration-of-energy-efficient-and-fossil-free-technology-for-residual-waste-recycling-in-the-steel-industry>.

Utmaningarna med lönsamheten

Utmaningarna för att få lönsamhet i LKAB:s och H2GS planerade affärer kommer dels från råvarumarknaderna dels från de produktmarknader de ska verka på.

Problematiken på råvarumarknaderna handlar om att malm av hög kvalitet och stålskrot är strategiskt viktiga i stålindustrins omställning för att minska koldioxidutsläppen. Efterfrågan på dessa råvaror har därför ökat och kommer att öka med tiden. Samtidigt finns dessa råvaror endast i begränsade mängder, vilket kommer att leda till högre priser när efterfrågan ökar.

För LKAB innebär detta att priset på deras enda reala resurs, järnmalmen, kommer att vara högt och med stor säkerhet stiga. Ju mer priset stiger på LKAB:s järnmalm, desto högre blir deras alternativkostnad för att tillverka järnsvamp av den egna malmen. I och med att LKAB till stor del effektiviserat och vidareutvecklat produktionen av sin malm under många år blir konsekvensen att premien på deras malm blir allt högre och att lönsamheten i att fortsätta att enbart sälja malm kan förväntas bli hög.

För H2GS innebär problematiken på råvarumarknaderna att de behöver konkurrera om tillgången till dessa råvaror på det sätt som beskrivits ovan, vilket gör att de riskerar att inte få tillgång till all malm och allt stålskrot de behöver eller att priserna på dessa råvaror blir för höga för att nå lönsamhet.

Problematiken på produktmarknaderna handlar om att den premie som bolagen förväntar sig kunna ta ut på sina fossilfria produkter riskerar att bli lägre än vad som krävs för att täcka de högre produktionskostnaderna. Premien baseras på skillnaden i utsläpp mellan exempelvis H2GS stål och stål som tillverkas i masugnar. Denna skillnad multiplicerat med priset på koldioxid ger den premie som kan tas ut. Om skillnaden i utsläpp är 1,6 ton koldioxid per ton stål och koldioxidpriset är 100 euro per ton koldioxid blir premien 160 euro per ton stål. För att H2GS stål ska vara lönsamt får inte den extra kostnaden för att producera fossilfritt stål överstiga 160 euro per ton stål.

Beräkningarna i Sunden (2024a) visar att marginalerna för att LKAB:s järnsvampssatsning och H2GS stålsatsning ska bli lönsamma är mycket små. För att satsningarna ska lyckas krävs att elpriset är lågt och att koldioxidpriset blir högt. Detta bekräftar i stora drag av forskningslitteraturen inom området som menar på att vätgasteknikerna kan bli lönsamma på sikt när teknikerna mognat, blivit mer effektiva och fallit i pris. I synner-

het gäller detta elektrolysörer, vilka fortfarande är dyra och relativt små i förhållande till de stora mängder vätgas som krävs. H2GS investering i ett vätgasbaserat stålverk kan därför sägas vara för tidig.

Ytterligare en aspekt är att bolagen verkar bortse från att utsläppen från masugnarna och andra utsläppande tekniker kan förväntas minska över tid. Detta leder till att den premie som kan tas ut gradvis kommer att krympa. I informationsmaterial som H2GS använder sig av i sin kommunikation beräknar de t.ex. premien baserat på att skillnaden i koldioxidutsläpp är så hög som två ton koldioxid per ton stål långt in i framtiden. En så stor skillnad i utsläpp är redan i dag alltför stor, dels för att produktion i masugnar leder till cirka 1,6 ton koldioxidutsläpp i snitt, dels på grund av att H2GS "fossilfria" stål inte är fossilfritt till 100 procent utan kommer att förorsaka relativt stora utsläpp. Dessa utsläpp kommer från inköp av fossilt producerad järnmalm från Kanada och Brasilien samt från den naturgas som de inledningsvis ska använda sig av i produktionen. Skillnaden i koldioxidutsläpp som kan ligga till grund för en premieberäkning är troligtvis som högst 1,3 ton koldioxid per ton stål. Prognoser över koldioxidpriset i framtiden varierar dessutom betydligt och visar på priser som ligger på samma nivå som idag, cirka 70 euro per ton koldioxid, till 170 euro per ton. Det finns med andra ord inte någon konsensus om hur koldioxidpriset kommer utvecklas.

Sammanfattningsvis krävs således att elpriset blir lågt, koldioxidpriset högt och att stålindustrin misslyckas med att ställa om för att LKAB och H2GS ska kunna lyckas med sina satsningar.

Utmaningarna på elmarknaden

Fyra stora aktörer, LKAB, SSAB, H2GS och Fertiberia, har aviserat elintensiv produktion i Norrbottens län – mer specifikt i elområde SE1. Enligt tidigare aviserade planer uppgår bolagens totala behov till cirka 20 TWh 2026, 40 TWh 2030 och 90 TWh 2050. LKAB står för den absolut största delen av elbehovet, runt 80 procent. Under det senaste året har samtliga planer skjutits framåt i tiden på grund av att tidplanerna varit överoptimistiska. Denna enorma efterfrågeökning enbart i Norrbottens län ska läggas till de övriga efterfrågeökningar som kan förväntas i takt med att samhället blir alltmer elektrifierat.

Analysen i Sundén (2024b) visar att elpriserna i Norden kan förväntas stiga kraftigt om företagens planer realiserar. Hårdast drabbas elkonsumenterna i norra Sverige – i synnerhet i elområde SE1. Men problemen spiller även över på Finland och norra Norge när den svenska elproduktionen inte räcker till för att täcka företagets efterfrågan. Även med antaganden om en kraftig utbyggnad av elproduktionen kan elpriserna förväntas stiga, om än inte lika kraftigt.

De investerade företagen kan förvänta sig att möta ett elpris på som lägst 82 öre per kWh 2026. En sådan prisnivå innebär att LKAB:s fossilfria järnsvamp kommer att kosta minst 90 procent mer än konkurrenternas järnsvamp tillverkad från naturgas. Ett elpris på 82 öre per kWh innebär även att H2GS fossilfria stål blir minst 40 procent dyrare än konkurrenternas stål utan koldioxidkompensation. Med koldioxidkompensation blir priset på stålet minst tio procent högre än konkurrenternas dyraste fossila stål.

Högre elpriser generellt i Norden, och i synnerhet i Norrbottens län och elområde SE1, prognosticeras även av Svenska kraftnät och Energiforsk. Svenska kraftnät uppskattar i sin kortsiktiga marknadsanalys från 2022 elpriset i elområde SE1 till cirka 82 öre per kWh 2027 och i sin långsiktiga marknadsanalys från 2024 räknar de med att priset blir cirka 73 öre per kWh 2025 och cirka 66 öre 2035.¹⁵ Till detta ska läggas kostnader för nätavgifter.

De högre elpriserna har betydande välfärdseffekter för Nordens elkonsumenter – hushåll, företag och offentliga sektorer. Elkonsumenterna i Finland, norra Norge och norra Sverige är de som drabbas hårdast när elpriserna stiger till följd av företagets satsningar. De högre priserna leder till stora omfördelningar av ekonomiska värden från elkonsumenter till elproducenter.

¹⁵ Svenska kraftnät (2022, 2024).

Det kommer att krävas mycket stora investeringar i både överföringskapacitet och produktionskapacitet för att möta bolagens elbehov. Dessa satsningar är troligtvis inte de politiskt mest angelägna, samhällsekonomiskt mest lönsamma eller företagsekonomiskt mest intressanta för elproducenterna.

Företagens planer kommer således ur ett elmarknadsperspektiv att ha en mycket svag förmåga att generera lönsamhet. Det kan enklast förstås mot bakgrund av de undanträngningseffekter de skapar i kraft av sin storlek – den i dagsläget billiga elen i norra Norrland har helt enkelt lockat till sig alltför stora investeringar. Företagens myopiska investeringskalkyler verkar inte ha tagit höjd för att de egna investeringarna, eller de övriga bolagens satsningar, är så omfattande att de har stor påverkan på elmarknaden. Om alla investeringar genomförs enligt plan kommer elpriserna att stiga så mycket att satsningarna blir olönsamma. Med nödvändighet måste därför ett eller flera av bolagen antingen tvingas backa från sina planer eller fallera.

Hur kunde det bli så här och vad bör göras?

Mot bakgrund av de slutsatser vi redovisat så här långt ligger det nära till hands att ställa sig frågan: Hur kunde det bli så här? Det enkla svaret är att inget av bolagen är börsnoterat. De är därmed inte utsatta för den normala dagliga granskningen av ett stort antal marknads- och aktieanalytiker som börsnoterade företag möter. Konsekvensen blir att aviserade planer inte ifrågasätts, att informationen i pressmeddelandena inte verifieras, att resonemangen och beräkningarna inte skärskådas i detalj. Utan börsnotering får samhället ingen marknadsbedömning av bolagens planer i form av en aktiekurs som väger samman alla de bedömningar som en fri marknad kommer fram till via tusentals oberoende analytiker och investerare.

Om H2GS hade varit börsnoterat hade deras affärsplan redan när den aviserades ifrågasatts och påverkat börskursen. Orsaken är att uppgifterna om hur mycket kapital som behövs för att bygga och driva H2GS stålverk redan från början var orimliga. Det aviserade kapitalbehovet har på ett par år gått från 25 miljarder kronor för att producera fem miljoner ton stål initialt, till 50 miljarder våren 2023, till 60 miljarder i november 2023, till den i skrivande stund senaste siffran på 100 miljarder kronor som kommunicerades i januari 2024.¹⁶ I Sundén (2024a) uppskattas H2GS investeringskostnad, baserat på den vetenskapliga litteraturen och faktiska uppgifter från andra stålverk som byggs, till minst 79 miljarder kronor enbart för anläggningarna.

I LKAB:s fall är staten ägare, vilket skapar en dubbel problematik. För det första har LKAB:s ledning ett betydande kunskapsövertag gentemot det fåtal tjänstemän på finansdepartementet som är satta att ansvara över bolaget. Det går inte att förvänta sig att dessa tjänstemän vare sig har den tid eller den kompetens att granska LKAB:s planer på det sätt som skulle varit fallet om bolaget varit börsnoterat. Det blir således svårt för en statlig ägare att dra i nödbromsen utan den signal i form av ett kraftigt fall i börskursen som blir följden när en företagsledning sjösätter planer som saknar verklighetsförankring.

För det andra kan styrelsen i LKAB knappast sägas vara tillsatt utifrån de särskilda kunskaper som krävs för att driva ett hårt konkurrensutsatt internationellt gruv- eller stålbolag. Går man igenom vilka som sitter i styrelserna i världens största gruv- och stålbolag framkommer inte oväntat att en stor andel har mycket lång branschfarenhet från gruv- och stålindustrin. Därtill består styrelserna av personer med lång erfarenhet

¹⁶ Augustsson (2024).

från finanssektorn, vilket behövs för att förstå och säkra de finansiella riskerna i affärerna och investeringarna, personer med revisionsbakgrund för att kunna granska och ifrågasätta de planer som läggs fram samt personer från tillverkningsindustrin som förstår kundernas perspektiv. I nästan samtliga fall har varje enskild styrelsemedlem minst 30 års erfarenhet inom de områden de verkar. Kompetens- och erfarenhetsprofilen bland styrelseledamöterna i LKAB avviker på nästintill samtliga punkter i dessa avseenden från sina största konkurrenter.

Vad kan man göra?

För att förstå hur LKAB och SSAB borde hanterat de utmaningar som klimatomställningen innebär måste man först förstå grundproblemet ur svensk synvinkel – dvs. SSAB. Det är SSAB:s koldioxidutsläpp från masugnarna i Luleå, Brahestad och Oxelösund som främst behöver hanteras och minskas. SSAB har därför aviserat att de ska ställa om bolaget från masugnsteknik till ljusbågsugnar senast 2030. Övergången till ljusbågsugnar innebär att SSAB:s stål kommer att tillverkas från stålskrot och järnsvamp. Denna omställning innebär ett brott i den nuvarande värdekedjan mellan SSAB och LKAB om inget av bolagen tillverkar järnsvamp. För att undvika detta måste LKAB:s järnmalm först förädlas till järnsvamp så att den kan användas direkt i SSAB:s framtida ljusbågsugnar. Ansvaret för att förhindra ett sådant brott i kedjan är dock SSAB:s, inte LKAB:s.

Problemet är att LKAB är huvudägare i SSAB. Det innebär att SSAB inte har full frihet att agera. Samtidigt tar LKAB på sig samtliga risker för att minska koldioxidutsläppen, vilket egentligen är SSAB:s ansvar. Detta framkommer av att LKAB väljer att producera järnsvampen när det både ur teknisk och ekonomisk synvinkel vore bättre om SSAB tillverkade järnsvampen i direkt anslutning till sina framtida ljusbågsugnar. När LKAB tar på sig ansvaret för järnsvampsproduktionen flyttas risker, finansiering och ansvar över från det privata bolaget SSAB till de svenska skattebetalarna.

Fördelarna med att SSAB tillåts ta på sig ansvaret för sina egna problem är flera. För det första kan bolaget till fullo anpassa sin övergång till ljusbågsugnar på det sätt som passar dem bäst. Nu blir företaget i stället helt beroende av att LKAB klarar såväl tidsplaner som tekniska och ekonomiska utmaningar för att ställa om. Fallerar eller försenas LKAB:s produktionsstart tvingas SSAB till alternativa övergångslösningar som kan bli mycket kostsamma. För det andra innebär en integrering av järnsvampsanläggningarna med SSAB:s stålverk en teknisk fördel i och med att man kan tillverka järnsvamp som direkt, dvs. utan nedkylning, matas till ljusbågsugnarna. Detta ger bättre energiekonomi och är därför det i dag typiska sättet järnsvamp används globalt.

För det tredje innebär en sådan lösning att SSAB sprider ut järnsvampsproduktionen på tre olika områden i Norden i stället för att allt placeras i Norrbottens läns inland. Detta leder dels till mindre påfrestningar på elmarknaden, vilket mildrar priseffekterna i Norrbotten och angränsande elområden, dels att den högre efterfrågan på arbetskraft fördelas mellan Luleå, Oxelösund och Brahestad i stället för att vara koncentrerad till Gällivare. Ytterligare en fördel är att Svenska kraftnät slipper stärka överföringskapaciteten till Norrbottens läns inland för att tillfredsställa ett enda bolags ökade behov. För det fjärde

hamnar ansvaret för att minska koldioxidutsläppen där det egentligen hör hemma, dvs. hos SSAB som är det bolag som måste minska sina utsläpp.

Allra viktigast är att SSAB själva kan välja om de vill tillverka fossilfri järnsvamp eller köpa fossil järnsvamp på världsmarknaden och klimatkompensera för detta. SSAB kan då optimera sin övergång till fossilfri produktion i takt med att nya tekniker utvecklas. Sist men inte minst kommer SSAB som börsnoterat bolag att granskas hårt av marknads- och aktieanalytiker under denna process. Besluten som tas måste därför vara verklighetsförankrade för att inte börskursen ska påverkas negativt.

SSAB:s problem och omställning är varken LKAB:s eller skattebetalarnas ansvar. LKAB har i stället egna stora utmaningar som de måste hantera i närtid. Bolagets fokus måste vara att säkra sin egen övergång till fossilfri produktion, att säkra tillgången till malm på lång sikt och tillgodogöra sig de jordartsmetaller som nu är lönsamma att bryta i Per Geijerfyndigheten. Dessa tre projekt är högprioriterade och kommer inte bara att kosta avsevärda summor att genomföra, de kommer också att kräva betydande ledningsresurser.¹⁷

På kort sikt är lösningen att LKAB överlämnar planerna på järnsvamp till SSAB och låter SSAB själva bestämma hur de på bästa sätt ska lösa sina egna problem. Med detta följer ett absolut krav på att LKAB säljer sin ägarandel i SSAB för att så långt som möjligt göra SSAB oberoende av LKAB och den svenska staten, vilket också förhindrar att de svenska skattebetalarna tar på sig SSAB:s problem. Även den finska staten bör rimligtvis lämna sitt ägande i SSAB för att inte SSAB ska hamna i en situation där finska staten trycker på för att prioritera omställningen i finska Brahestad av andra skäl än de rent företagsekonomiska.

På lång sikt behöver den svenska staten se över sin ägarroll i förhållande till bolag som LKAB. Detta gäller styrning, granskning och demokratisk kontroll av företagets verksamhet och planer. Ett första enkelt och snabbt steg vore att utse styrelsen utifrån kriterier som prioriterar nödvändiga erfarenheter och kunskaper för att driva ett modernt gruvbolag utsatt för en hård internationell konkurrens. För att ta tillvara de finansiella marknadernas inneboende krafter att värdera LKAB:s framtida planer och resultat vore det värdefullt om bolaget i ett andra steg noterades och delar av aktieinnehavet erbjöds till försäljning och därmed marknadsprissattes.

¹⁷ I början på 2024 aviserade LKAB ytterligare en stor satsning: utvinning av fosfor ur malmen för tillverkning av konstgödsel motsvarande minst fem gånger det svenska jord- och skogsbrukets årsbehov (Karlgrén, 2024).

Referenser

- Augustsson, T. (2024). "Nya miljarder till kritiserat stålprojekt". *Svenska Dagbladet*, 22 januari.
- International Energy Agency (2020). "Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steelmaking". Paris: International Energy Agency.
- International Iron and Metallics Association (2023). "Global Trends in DRI and HBI Markets". Presentation vid Fastmarkets Middle East Iron and Steel 2023. Lewes, East Sussex: International Iron Metallics Association.
- Iwarson, T. (2023). "Brasilien – störst på träkol och först med fossilfritt stål". *ATL*, 26 maj. <https://www.atl.nu/brasilien-har-redan-fossilfritt-stal>.
- Jafri, Y., J. M. Ahlström, E. Furusjö, S. Harvey, K. Pettersson, E. Svensson och E. Wetterlund (2022). "Double Yields and Negative Emissions? Resource, Climate and Cost Efficiencies in Biofuels with Carbon Capture, Storage and Utilization". *Frontiers in Energy Research* 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.797529>.
- Karlgrén, T. (2024). "LKAB nära ny miljardsatsning". *Dagenssps.se*, 19 februari. <https://www.dagenssps.se/foretag/lkab-nara-ny-miljardsatsning/>.
- Kuykendall, T. (2022). "Lack of High-Quality Iron Ore Supply Threatens Steel's Green Push". *S&P Global Market Intelligence*, 28 juni. <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/lack-of-high-quality-iron-ore-supply-threatens-steel-s-green-push-70947714>.
- Kärrman, J. (2022). "Kapplöpning om biokol när industrin ställer om". *Dagens industri*, 14 augusti. <https://www.di.se/nyheter/kapplopning-om-biokol-nar-industrin-staller-om/>.
- Midrex (2023). "2022 World Direct Reduction Statistics". Charlotte, NC: Midrex Technologies, Inc.
- Rostás, R. (2022). "Brazil at Steel Decarbonization Crossroads; Charcoal, Gas Short-Term Options". *Fastmarkets*, 21 mars. <https://www.fastmarkets.com/insights/brazil-at-steel-decarbonization-crossroads-charcoal-gas-short-term-options/>
- Sundén, D. (2023). "Från brunt till grönt – bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Sundén, D. (2024a). "Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.

- Sundén, D. (2024b). "Till vilket elpris som helst? Bedömning av effekterna på den nordiska elmarknaden av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Svenska kraftnät (2022). "Kortsiktig marknadsanalys 2022 – Analys av kraftsystemet 2023–2027". Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (2024). "Långsiktig marknadsanalys – Scenarier för kraftsystemets utveckling fram till 2050". Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Vogl, V., F. Sanchez, E. Torres Morales, T. Gerres, F. Lettow, A. Bhaskar, C. Swalec, G. Mete, M. Åhman, J. Lehne, S. Schenk, W. Witecka, O. Olsson, och J. Rootzén (2023). "Green Steel Tracker, Version 04/2023". Stockholm: Leadership Group for Industry Transition (LeadIT). www.industrytransition.org/green-steel-tracker/.

Om författarna

David Sundén är disputerad nationalekonom från Handelshögskolan i Stockholm. Han analysera marknader ur ett nationalekonomiskt perspektiv, bl.a. rörande bedömningar av de samhällsekonomiska och offentligfinansiella effekterna av marknadsregleringar och teknikomställningar. Han har varit rådgivare åt det tyska och det svenska finansdepartementet och har på uppdrag gjort samhällsekonomiska analyser åt exempelvis Nordiska Ministerrådet, Konkurrensverket och Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi. Flera av hans rapporter, t.ex. om optimal reglering av spel-, alkohol- och tobaksmarknaderna, är offentligt tillgängliga.

Ekon. dr David Sundén · Lakeville · Tel: +46-72-323 36 99
Epost: david.sunden@lakevilleconsulting.se

Magnus Henrekson är professor och verksam vid Institutet för Näringslivsforskning. Han har bl.a. varit professor i nationalekonomi på Handelshögskolan i Stockholm 2001–2009 och var IFN:s vd 2005–2020.

Magnus Henrekson är en av Sveriges mest citerade nationalekonomer. Han har publicerat ett trettiotal böcker och närmare hundra artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter. Sedan millennieskiftet rör hans forskning främst entreprenörskapets ekonomi och företagsklimatets bestämningsfaktorer. Han är f.n. också aktuell som regeringens ensamutredare med uppdrag att föreslå ett nytt betygssystem för den svenska skolan.

Professor Magnus Henrekson · Institutet för Näringslivsforskning (IFN) · Box 55665 ·
102 15 Stockholm · Epost: magnus.henrekson@ifn.se · Tel: +46-70 222 97 00 ·
Personlig webb: <https://www.ifn.se/mh>

CHAPTER 2E

The Sponge-Iron Battle: The Challenges for Fossil-Free Steel Initiatives in Norrland and the Way Forward*

DAVID SUNDÉN AND MAGNUS HENREKSON

About the authors

See p. 78 for a presentation.

* Cite as: Sundén, David, and Magnus Henrekson (2024), "The Sponge-Iron Battle: The Challenges for Fossil-Free Steel Initiatives in Norrland and the Way Forward." In Magnus Henrekson (ed.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (pp. 59–78). Stockholm: Samhällsförlaget.

Introduction

The EU and many countries have committed to be climate-neutral by 2050. Combined with the Paris Agreement, this means there is strong pressure to transition to climate-neutral technologies. This pressure also applies to the steel industry, which accounts for around 8% of global CO₂ emissions.¹ The mining, iron, and steel industry worldwide is thus facing a period of sharp demands for transition to reduce emissions while remaining profitable.

The EU's climate targets are stricter than those of the Paris Agreement, putting more pressure on the European iron and steel industry to adapt. The previous free allocation of emission allowances to the iron and steel sector under ETS1 will be phased out by 2034. At the same time, emissions will be reduced by restricting the new issuance of allowances at a faster pace and beginning in 2039, the issuance of allowances will cease altogether. To prevent production from moving outside the EU and to prevent non-EU producers from gaining competitive advantages on the EU market, a border adjustment mechanism that prices the emissions of imported iron and steel products—the Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)—will be introduced concurrently. This will function as an import tariff (customs duty). The level of the tariff will be determined by the price difference between emission allowances within the EU and the region from which the products are imported.

The part of the value chain from mine to finished steel that currently emits the most carbon dioxide is the production step between iron ore and iron, in which the oxygen is removed from the iron ore. This step has long been carried out in blast furnaces where coal is used both as an energy source and as a means of removing the oxygen from the ore. Approximately 70% of all steel globally is produced in this way. The method currently results in over 1.6 tons of carbon dioxide emissions per ton of steel produced. In addition, other parts of the value chain produce approximately 0.4 tons of such emissions.²

An alternative way of removing oxygen from iron ore is by means of sponge iron. This substance consists of between 90 and 95% pure iron. The production process requires high quality iron ore; the iron content must be at least 65% and preferably higher than 67%. Currently, natural gas is used in sponge iron plants. For this reason, most sponge iron plants are located in regions with ready access to cheap natural gas, such as the Middle East, Iran and Russia.³ The natural gas-based process of removing the oxygen from the ore causes carbon dioxide emissions of about 0.6 tons per ton of steel, which is 60% less

¹ Estimates range from 7.2% (Carbon Brief) to 11% (Our World in Data) of total global carbon emissions (<https://www.sustainable-ships.org/stories/2022/carbon-footprint-steel>).

² Sommers (2022).

³ Midrex (2023).

than what is produced in blast furnaces.⁴ As the need to reduce carbon emissions has become more important, the demand for sponge iron has consequently increased. As a result, the number of production facilities and production have increased significantly, especially in the last five years. However, the share of iron produced via sponge iron is still only about five percent of total iron production, but sponge iron production is expected to continue to grow rapidly to meet rising demand.

The natural gas in sponge iron plants can be replaced by hydrogen, which results in the production of water instead of carbon dioxide as a residual. This technology shift has not been cost-efficient thus far because hydrogen produced by electrolysis requires massive amounts of electricity. In regions with access to cheap natural gas, reducing the oxygen in the iron ore is about five times more expensive when replacing natural gas with hydrogen.⁵ However, to capture the potential for zero carbon emissions, experiments are underway around the world, such as capturing the emissions from natural gas or increasing the blending of hydrogen in sponge iron plants as the technologies become more mature and economically viable.

Sweden, through the government-owned company LKAB (Luossavaara-Kiirunavaara Aktiebolag), is the predominant producer of iron ore in the European Union: 85% of the EU's total iron ore production comes from LKAB. Still, from a global perspective, LKAB is still quite small; its world market share is a mere 1%. Together with the government of Finland, LKAB also controls Sweden's largest steel company, SSAB.⁶ H2 Green Steel (H2GS),⁷ a newcomer in the steel industry, plans to produce five million metric tons of steel annually in their Boden plant by 2030. This is 13% more than the total output of all Swedish steel works in 2022.

In contrast to international efforts, LKAB and H2GS plan instead to make sponge iron production directly fossil-free without transitional fossil solutions using hydrogen instead. The hydrogen will be produced by electrolysis, which requires large amounts of electricity. The cost of electricity is by far the greatest expense in the production of hydrogen-based sponge iron. The companies have therefore chosen to locate their planned production in Norrbotten County on the grounds that the region can offer large amounts of cheap

⁴ Sommers (2022).

⁵ For calculations, see Sundén (2024b).

⁶ Although LKAB only owns 10.5% of the shares, a large proportion are A shares (which give more voting rights), which means that LKAB has 16% of the votes. The Finnish government is the second-largest shareholder with 6.29% of the capital and 8.04% of the votes (<https://www.ssab.com/sv-se/ssab-koncern/investerare/ssab-share/aktieagare>, as of March 1, 2024). The two largest owners thus together control only one-sixth of the capital in SSAB, but despite this relatively limited ownership, they de facto control the company.

⁷ H2GS is a private firm founded by the private equity investor and Altor partner Harald Mix. The company is highly dependent on credit guarantees from national and supranational agencies and organizations. In January 2024, they also received a grant of SEK 3 billion from the European Union's Innovation Fund (Rex, 2024).

fossil-free electricity.⁸ The state-owned company Vattenfall is the predominant producer of electricity. In order for LKAB and H2GS to be able to have access to all fossil-free electricity required for the projects, the Swedish government through Vattenfall needs to make the requisite investments in electricity production facilities. Likewise, massive investments in an expansion of the electricity grid must be made by the government agency Svenska kraftnät.⁹

LKAB intends to sell its sponge iron on the world market while H2GS plans to use the sponge iron (in combination with scrap) in its own steel mill to produce steel products. Even though the hydrogen-based sponge iron will be much more expensive to produce than its natural gas-based counterpart, both companies claim that they can reach profitability because they expect to charge a sufficiently high “fossil-free” premium on their products. This premium can be estimated as the difference between what companies producing fossil sponge iron and fossil steel need to pay for their extra emissions within ETS1 in the future compared to LKAB and H2GS. The companies also claim that their customers are already willing to pay this premium in full because the customers aim to be fossil-free as soon as possible.

Thus, the profitability of both LKAB and H2GS as “fossil-free” producers of iron and steel is mainly determined by how cheaply, in a world-wide comparison, they can produce sponge iron—an iron product that has grown strongly in both global demand and production. Their success will therefore depend on who wins the global sponge-iron battle in the iron and steel markets.

⁸ Norrbotten County is Sweden’s largest and northernmost county, constituting almost one-fourth of Sweden’s total land area. The county is sparsely populated, having only 2.4% of Sweden’s total population.

⁹ Svenska kraftnät is the government agency responsible for ensuring that Sweden’s transmission system for electricity is safe, environmentally sound and cost-efficient.

Purpose

Against this background, David Sundén has assessed in three reports how well LKAB and H2GS can succeed in global competition. The first report, “From brown to green”,¹⁰ assesses the companies’ potential for success from a technology and market perspective. The second report, “Profitable or costly?”,¹¹ evaluates the potential for the companies to achieve commercial profitability. The third report, “At any electricity price?”,¹² estimates how the companies’ high demand for electricity affects the electricity market and electricity prices and how this in turn affects the companies’ chances for success.

The purpose of this chapter is to briefly summarize the results and explain why the companies’ initiatives must be classified as high-risk projects. We will also try to explain why, despite all the challenges, the projects have come so far in planning and implementation without being questioned. Finally, we also provide a picture of how the initiatives should have been implemented and what should be done to reduce risks in the companies’ business.

¹⁰ Sundén (2023).

¹¹ Sundén (2024a).

¹² Sundén (2024b).

The challenges in global iron and steel markets

The global iron ore, iron and steel industry has been essentially locked into blast furnace technology for a long time, resulting in continued carbon emissions. This lock-in is due to several factors. First, the blast furnaces in Asia have a very low average age, approximately ten years, which means that they have a remaining average lifespan of 40 years, conservatively estimated.

Second, these blast furnaces are fed with hematite-based iron ore from large mines in Australia and Brazil, mainly owned by the world's four largest mining companies. Hematite ore from these mines currently has limited potential for cost-efficient use in alternative fossil-free manufacturing technologies, either due to low iron content or high levels of impurities. The availability of this type of low-grade ore is significant, and it is well-suited for use in blast furnaces.

Third, this value chain, from lower-grade ore to steel via blast furnaces, has been optimized and is now well proven, industrialized and commercialized. Blast furnace technology is one of the cheapest ways to produce steel. It is therefore a safe and inexpensive way for many developing countries to secure their steel needs for developing their societies and building their infrastructure and cities. The disadvantage is that this technology generates high amounts of carbon dioxide emissions.

Finally, competing technologies such as the production of steel from steel scrap and sponge iron in electric arc furnaces can only contribute to a green transition towards lower carbon emissions to a limited extent. This is due to the limited availability of the scrap steel and high-quality iron ore needed to produce sponge iron.

The process of manufacturing new steel from scrap steel produces low carbon dioxide emissions. Scrap steel can also be used in blast furnaces, reducing the need for coal in the process and consequently emissions as well. As a result, scrap has become a strategically important input for steel companies in their efforts to reduce emissions. To secure access to scrap in their value chains, the largest steel producers have therefore started to acquire scrap companies in the US and Europe. More and more steel scrap is then locked into the value chains of the large companies, reducing the share of tradable steel scrap. However, using scrap steel as an input material to completely decarbonize is not a viable option due to its limited availability. Estimates indicate that scrap could

account for 50% of steel production by 2050,¹³ which is not enough to reduce emissions to the required extent.

Sponge iron is often portrayed as crucial in the reduction of carbon dioxide emissions, particularly sponge iron produced with hydrogen. The global production of sponge iron has increased significantly over time due to high and rising demand. However, sponge iron should be produced from the highest quality iron ore possible, known as DR pellets. Poorer quality ore—with lower iron content and higher levels of impurities—results in lower efficiency and higher production costs in sponge iron plants.

The demand for sponge iron is thus directly linked to the demand for DR pellets. Sponge iron plants already in the planning stages, mainly in the Middle East, require such large quantities of DR pellets that the supply will not be able to keep up with demand. The reason is that only a few mines have ore of sufficiently high quality; two of these are owned and operated by LKAB. The International Iron and Metallurgy Association (2023) predicts that after 2030, sponge iron plants will need 30% more high-quality iron ore than will be available from currently operated mines.¹⁴

Some of this demand can be met by lower-grade ore. For those sponge iron plants that choose this option or are forced into it, production costs will increase due to reduced energy efficiency. There is a high risk that some sponge iron plants will not have access to enough DR pellets to operate at full capacity. In the worst-case scenario, some plants may be forced to close. Against this background, the availability of DR pellets becomes critical for the sponge iron industry; this will limit the ability of the steel industry to decarbonize. At the same time, LKAB's high-quality iron ore becomes a strategically important input in the global iron ore market. The price of LKAB's ore can be expected to rise when the value of this commodity for the global green transition of the steel industry is realized.

In summary, the global steel market is not only locked into blast furnace technology, it also has limited opportunities to switch to the alternative technologies available. At present, the raw materials of steel scrap and high-quality iron ore simply do not meet demand. Our assessment is shared by the largest international mining companies and the major steel companies. They believe that blast furnaces will be used for a long time to come and that the current fossil-free alternatives are not sufficient to reduce emissions to any great extent. Instead, they are investing heavily in attempts to make blast furnace technology fossil free.

Against this market background, the risks of investing in hydrogen-based sponge iron production in Norrbotten County are obvious:

¹³ International Energy Agency (2020).

¹⁴ See also Kuykendall (2022).

1. *Global market lock-in is driving research and development towards reducing CO₂ emissions from blast furnaces.* The lock-in to steel production dependent on fossil fuels, combined with demands for lower emissions, creates strong pressure for change and willingness to invest in finding technical solutions that reduce emissions from blast furnaces. To put it simply, the owners of blast furnace steel plants are faced with the choice of either losing their investments or making them fossil free. The largest mining and steel producers can therefore be expected to invest extensively in research and development to make this technology fossil free. The “fossil-free” premium that LKAB and H2GS can charge for their products will decrease as blast furnace producers become more proficient at reducing emissions.
2. *Raw materials—steel scrap and DR pellets—are strategically important in the green transition, but they are only available in limited quantities.* Producers who base their steel production on steel scrap and high-grade iron ore face fierce competition for access to these inputs. For H2GS, this means that they have to compete with sponge iron mills in the Middle East, Asia and the US for the high-quality ore. These competitors produce their sponge iron using natural gas and sell it on the world market with little or no extra costs for their carbon emissions. Moreover, the cost of production is significantly lower, giving the natural gas-powered sponge iron plants greater economic margins compared to H2GS when contracting for the supply of DR pellets. In this way, H2GS risks being last in the line of DR pellet buyers and not being able to produce at full capacity or, in the worst case, not at all. Similarly, H2GS risks being at the end of the queue in the competition for high-quality steel scrap. The steel companies producing steel from scrap in electric arc furnaces have a cost advantage as the production cost is not burdened by the production of hydrogen-based sponge iron.

For LKAB, the situation represents a major opportunity to create extra profitability, as its iron ore will be a strategically important input for the green transition. However, investing in refining this raw material with the help of hydrogen involves great risk for the same reasons as noted in the discussion of H2GS. Any producer who manufactures sponge iron using natural gas will have a significant cost advantage over LKAB.

The technical challenges

It is important to understand that the initiatives of LKAB, SSAB and H2GS are based on the same type of technological value chain. The technologies involved in this chain, however, are not groundbreaking—either technically or commercially. The required facilities—electrolysers, sponge iron plants, electric arc furnaces and the facilities that produce finished steel products—are based on established technologies. Thus, the investments cannot have a transformative effect on either the quality of steel or the cost of production; on the contrary, both sponge iron and steel will be significantly more expensive to produce. The value chain requires larger investments than in other technologies and does not in itself provide any competitive advantage, apart from the possibility of producing “fossil-free” steel (in competition with fossil-free steel produced by other technologies). What is new is the feeding of sponge iron factories with hydrogen and the vast scale of hydrogen production using electrolysers required (which, in turn, requires a massive expansion of electricity production and the electricity grid).

In the case of LKAB, the overall technical challenges and risks become clear when one lists the specifics of their overall plans for sponge iron production:

- build hydrogen production based on electrolysis on a scale never achieved, proven to be technically feasible or economically viable,
- build a hydrogen storage facility on a scale that has never been implemented or demonstrated to be technically possible or economically viable, and
- build a sizable number of capital-intensive sponge iron plants powered by hydrogen on a scale that has never been attempted before and with a technology that has not yet been demonstrated to be commercializable or industrializable.

One should also note that LKAB has no experience whatsoever with any of the technologies or in running such extensive projects. The project, technology, and business risks in LKAB’s sponge iron venture can therefore only be categorized as very high. A similar situation applies to H2GS, which is a start-up company with owners and management with no experience in the relevant technologies, steel production or iron and steel markets. An additional risk is posed by the fact that pioneering technologies have been shown to work at the pilot stage, and that research and development to reduce carbon dioxide emissions in blast furnaces is increasing and slowly demonstrating their feasibility in reducing emissions.

Examples of pioneering technologies include smelting reduction and smelting electrolysis, which are still at the pilot stage. The advantage here over other processes is that they can

produce pure iron more or less directly from any type of iron ore. This chemically pure iron can then be fed to electric arc furnaces for precision production of all types of low- and high-quality steel. In contrast to the traditional process, carbon dioxide emissions can be significantly reduced. Unlike the technologies that rely on sponge iron, these do not require high-quality iron ore. Furthermore, molten electrolysis technology is highly modular, leading to low initial capital requirements and shorter construction times.

The modularity also means that a single successful trial on a limited scale is sufficient to prove its economic potential. The low investment capital requirements mean that the technology can then be quickly and easily commercialized worldwide. Breakthrough technologies, such as smelting electrolysis, have the potential to fundamentally change steelmaking. If such a method proves to be commercially viable, it could attract significant investment within a short time and in many locations around the world. Such developments would fundamentally change value chains and could make some technologies unprofitable.

The pressure to make blast furnace technology fossil-free has intensified and will intensify over time. There are many possibilities, but it has not yet been possible to demonstrate that the technology can ever be completely fossil-free. To reduce emissions, steel companies are first working to change the composition of their input materials. These include increasing the mix of higher quality iron ore, using more scrap steel, mixing in hydrogen, or using biochar. Second, companies are developing technologies to capture emissions for recycling, storage or use in other processes. Whether and how quickly blast furnaces can reduce their emissions on a larger scale is unclear.

According to Vogl et al. (2023), 89 different projects are currently underway worldwide to reduce the emissions of the steel industry. One example of a method that is already widely used is the replacement of coal with biochar from eucalyptus trees in blast furnaces. According to the company behind the technology, Aço Verde do Brasil, CO₂ emissions per metric ton of steel are reduced by 99%.¹⁵ In Sweden, for example, two technologies are being developed that do not involve fossil fuels. FerroSilva uses forestry residues, biogenic carbon, to produce synthesis gas, which in turn is used to produce fossil-free sponge iron.¹⁶ GreenIron H2 intends to use hydrogen gas in the same way as LKAB but states that the process will be significantly more energy- and cost-efficient than the one LKAB is developing.¹⁷ These two firms have only received marginal support from the Swedish Energy Agency and Vinnova (the Innovation Agency), respectively.¹⁸

¹⁵ Rostas (2022) and Iwarson (2023).

¹⁶ <https://www.ferrosilva.com/en/the-ferrosilva-process/>.

¹⁷ <https://greeniron.se/about/>. See Jafri et al. (2022) for a research overview of different decarbonization technologies in the iron and steel industry.

¹⁸ SEK 33.9 million to FerroSilva (<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2024/drygt-300-miljoner-kronor-till-fyra-projekt-inom-industriklivet/>) and SEK 17.2 million to GreenIron H2 (<https://www.vinnova.se/p/demonstration-of-energy-efficient-and-fossil-free-technology-for-residual-waste-recycling-in-the-steel-industry>).

The challenges to achieving profitability

The challenges to achieving profitability in LKAB's and H2GS's planned business stem both from the raw material markets and from the product markets they will operate in.

The problem in the raw material markets is that high-quality ore and steel scrap are strategically important in the steel industry's transition to decarbonization. The demand for these raw materials has therefore increased and will continue to increase. At the same time, these raw materials are only available in limited quantities, which will lead to higher prices as demand increases.

For LKAB this means that the price of their only real resource, iron ore, will be high and almost certainly rise. The more the price of LKAB's iron ore rises, the higher their opportunity cost of producing sponge iron from their own ore. As LKAB has largely streamlined and developed the production of its ore over many years, the consequence is that the premium on their ore will be increasingly higher and the profitability of continuing to sell only ore can be expected to be high. For H2GS on the other hand, the problems in the raw material markets mean that they must compete for access to these raw materials as described above with the risk that they will not get access to all the ore and steel scrap they need or that the prices of these raw materials will be too high to be profitable.

The problem on the product markets is that the premium that companies expect to be able to charge for their fossil-free products risks being lower than what is required to cover the higher production costs. The premium is based on the difference in emissions between, for example, H2GS's steel and steel produced in blast furnaces. This difference multiplied by the price of carbon dioxide gives the premium that can be charged. If the difference in emissions is 1.6 tons of carbon dioxide per ton of steel and the carbon price is EUR 100 per ton of carbon dioxide, the premium is EUR 160 per ton of steel. For H2GS steel to be profitable, the additional cost of producing fossil-free steel must not exceed EUR 160 per ton of steel.

The calculations in Sundén (2024a) show that the margins needed for LKAB's sponge iron venture and the H2GS steel venture to be profitable are very narrow. For the initiatives to succeed, the electricity price must be low and the carbon dioxide price must be high. This is largely confirmed by the research literature in the field, which indicates that hydrogen technologies can become profitable in the long term once the technologies have matured, become more efficient and fallen in price. In particular, this applies to electrolyzers, which

are still expensive and relatively small in relation to the amounts of hydrogen required. H2GS's investment in a hydrogen-based steel plant can therefore be said to be premature.

Another aspect is that companies seem to be unaware of the fact that emissions from blast furnaces and other emitting technologies can be expected to decrease over time. This means that the premium that can be charged will gradually shrink. For example, in the information material used by H2GS in their communication, they calculate the premium on the basis that the difference in CO₂ emissions is as high as two tons of CO₂ per ton of steel far into the future. Such a large difference in emissions is already too large today, partly because the blast furnaces emit approximately 1.6 metric tons of carbon dioxide emissions on average, and partly because H2GS's "fossil-free" steel is not 100% fossil-free but will lead to relatively large emissions. These emissions emanate from the purchase of inputs in the form of iron ore from Canada and Brazil that is not fossil free, and from the natural gas they will initially use in production. The difference in carbon dioxide emissions on which to base a premium calculation is likely to be at most 1.3 tons of carbon dioxide per ton of steel. Moreover, projections of the carbon price in the future vary considerably, showing prices at the same level as today, around €70 per ton of carbon dioxide to €170 per ton. In other words, there is no consensus on how the carbon price will develop.

To summarize, the price of electricity must be low, the price of carbon dioxide high and the steel industry must fail to decarbonize in order for LKAB and H2GS to succeed with their investments.

Challenges in the electricity market

Four major players, LKAB, SSAB, H2GS and Fertiberia,¹⁹ have announced electricity-intensive production in Norrbotten County, more specifically in bidding zone SE1. According to previously announced plans, the companies' total needs amount to about 20 TWh in 2026, 40 TWh in 2030 and 90 TWh in 2050. LKAB accounts for the largest share of the additional electricity needed, around 80%. Over the past year, all plans have been postponed due to over-optimistic timelines. This enormous increase in demand in Norrbotten County alone should be added to the other increases in demand that can be expected as society becomes increasingly electrified.

The analysis in Sundén (2024b) shows that electricity prices in the Nordic region can be expected to rise sharply if the companies' plans are realized. Electricity consumers in northern Sweden, particularly in bidding zone SE1, will be hardest hit, but the problems will also spill over into Finland and northern Norway when Swedish electricity production is insufficient to cover the companies' demand. Even with assumptions of a major expansion of electricity production, electricity prices can be expected to rise, although not as sharply.

The investing companies can expect to face an electricity price of at least SEK 0.82 per kWh in 2026. Such a price level means that LKAB's fossil-free sponge iron will cost at least 90% more than competitors' sponge iron made using natural gas. An electricity price of SEK 0.82 per kWh also means that H2GS's fossil-free steel will be at least 40% more expensive than competitors' steel without carbon dioxide compensation. With the compensation, the price of the steel is at least 10% higher than the competitors' most expensive steel.

Higher electricity prices in general in the Nordic region, and in particular in Norrbotten and bidding zone SE1, are also forecast by Svenska kraftnät and Energiforsk. In its short-term market analysis from 2022, Svenska kraftnät predicts that the electricity price in bidding zone SE1 will be about SEK 0.82 per kWh in 2027 and in its long-term market analysis from 2024, it expects the price to be about SEK 0.73 per kWh in 2025 and about SEK 0.66 in 2035,²⁰ excluding grid fees. These increased prices have significant welfare

¹⁹ Fertiberia is a Spanish fertilizer producer owned by the private equity firm Triton Partners. They plan to locate in Norrbotten County and use fossil-free electricity to produce ammonia and fertilizers. They require 4–5 TWh of electricity per year.

²⁰ Svenska kraftnät (2022, 2024).

implications for Nordic electricity consumers—households, businesses, and public sectors. Electricity consumers in Finland, northern Norway and northern Sweden experience the greatest negative impact from the companies' investments when electricity prices rise. The higher prices lead to large redistributions of economic value from electricity consumers to electricity producers.

In order to meet the companies' electricity needs, uniquely large investments in both transmission capacity and production capacity will be required. These investments are probably not the most politically important, economically profitable, or commercially interesting for the entities producing electricity. From an electricity market perspective, the companies' plans will thus have a limited ability to generate profitability. This can best be understood in the light of the displacement effects they create by virtue of their size—the currently cheap electricity in northern Norrland has, put simply, attracted investments that are too large. The companies' myopic investment calculations do not seem to have considered that their own investments, or those of other companies, are so extensive that they will have a major impact on the electricity market in general. If all investments are carried out according to plan, electricity prices will rise so much that the investments will be unprofitable. It is therefore inevitable that one or more of the companies will either need to abandon their plans or fail.

How did this situation occur and what should be done?

In the light of our conclusions so far, the following question comes to mind: How did this situation occur? The simple answer is that none of the three major electricity-using companies—LKAB, H2GS, and Fertiberia—are listed on a stock exchange. They are therefore not subject to the normal daily scrutiny of a large number of market and equity analysts. The consequence is that announced plans are not questioned, the information in press releases is not verified, and the reasoning and calculations behind their decisions are not scrutinized in detail. Without a stock exchange listing, society does not receive a market assessment of the companies' plans in the form of a share price that combines all the assessments made by a free market through thousands of independent analysts and investors.

If H2GS had been listed on the stock exchange, its business plan would have been questioned from the moment it was communicated and this would have affected the share price. The reason is that the amount of capital needed to build and operate the H2GS steel plant was unreasonable from the start. The announced capital requirement has in a matter of years risen from SEK 25 billion to produce five million tons of steel initially, to SEK 50 billion in the spring of 2023, to SEK 60 billion in November 2023, to the latest figure of SEK 100 billion communicated in January 2024.²¹ In Sundén (2024a), the investment cost of H2GS, based on the scientific literature and actual data from other steel plants being built, is estimated to be at least SEK 79 billion for its facilities alone.

In LKAB's case, the owner is the state, which creates a dual problem. First, LKAB has a significant knowledge advantage over the few officials at the Ministry of Finance who are responsible for the company. It cannot be expected that these officials have either the time or the competence to review LKAB's plans in the way it would have been done if the company had been listed on the stock exchange. It will thus be difficult for a government owner to bring matters to a halt without a signal in the form of a sharp fall in the share price—the result when a company's management launches unrealistic investment plans.

²¹ Augustsson (2024).

Second, the board of LKAB can hardly be said to have been appointed based on the special knowledge required to run a highly competitive international mining or steel company. A review of the members of the boards of the world's largest mining and steel companies reveals, not surprisingly, that a large proportion have very long experience in the mining and steel industry. In addition, the boards include people with considerable experience in the financial sector, which is needed to understand and hedge the financial risks of the business and investments, people with an auditing background to be able to review and challenge the plans presented, and people from manufacturing who understand the customers' perspective. In almost all cases, board members have at least 30 years of experience in the areas in which they operate. The competence and experience profile of LKAB's board members differs significantly from its competitors in almost all respects.

What can be done?

To understand how LKAB and SSAB should have dealt with the challenges of climate change, we must first understand the basic problem from a Swedish perspective. This requires a closer look at SSAB. It is SSAB's carbon dioxide emissions from the blast furnaces in Luleå, Brahestad and Oxelösund that need to be managed and reduced. SSAB has therefore announced that it will switch from blast furnace technology to electric arc furnaces by 2030. The transition to electric arc furnaces means that SSAB's steel will be produced from steel scrap and sponge iron. This transition implies a break in the current value chain between SSAB and LKAB if neither company produces sponge iron. To avoid this, LKAB's iron ore must first be refined into sponge iron so that it can be used directly in SSAB's future electric arc furnaces. However, the responsibility for preventing such a break in the chain is SSAB's, not LKAB's.

The problem is that LKAB is the controlling owner of SSAB (despite an equity share of a mere 10.5%). This means that SSAB does not have full freedom to act. At the same time, LKAB assumes all the risks to reduce carbon dioxide emissions which are in fact SSAB's responsibility. This is clear from the fact that LKAB has taken on responsibility for producing sponge iron when it would be better from both a technical and economic point of view if SSAB produced the sponge iron in direct connection with its future electric arc furnaces. If LKAB assumes the responsibility for sponge iron production, then the risks, financing, and responsibility shift from the public company SSAB to the Swedish taxpayer.

The benefits of allowing SSAB to take responsibility for its own problems are several. First, the company can fully adapt its transition to electric arc furnaces in the way that suits it best. As matters now stand, the company will be entirely dependent on LKAB's ability to meet timelines as well as the technical and financial challenges of the transition. If LKAB's production start is canceled or delayed, SSAB will be forced to find alternative transitional solutions that can be very costly. Second, integrating the sponge iron plants with SSAB's steelworks offers a technical advantage in that sponge iron can be produced and fed directly, i.e., without cooling, to the electric arc furnaces. This provides more optimal energy economy and is therefore the typical way sponge iron is used globally today. Third, such a solution means that SSAB distributes its sponge iron production over three different areas in the Nordic region instead of focusing everything in inland Norrbotten County. This leads to less pressure on the electricity market, which mitigates price effects in Norrbotten and neighboring electricity areas, and the higher demand for labor is distributed between Luleå (on the coast in the very North of Sweden), Oxelösund (116 km south of Stockholm) and Brahestad (on the coast of the Bothnian Bay in northern

Finland) instead of concentrated in Gällivare (inland some 200 km northwest of Luleå). A further advantage is that Svenska kraftnät does not have to expand its transmission capacity to inland Norrbotten County to satisfy the needs of a single company. Finally, the risks of reducing carbon dioxide emissions are placed where they truly belong, namely with SSAB—the company that must decrease its emissions.

Most importantly, SSAB itself can choose whether to produce fossil-free sponge iron or to buy it on the world market and purchase carbon offsets. SSAB can then optimize its transition to fossil-free production as new technologies are developed. Finally, as a listed company, SSAB will be heavily scrutinized by market and stock analysts during this process. The decisions made must therefore be grounded so that the share price is not negatively affected.

The problems and transition of SSAB are neither the responsibility of LKAB nor the taxpayers. Instead, LKAB has its own major challenges that it must manage. The company's focus must be to secure its own transition to fossil-free production, to secure access to ore in the long term and to take advantage of the rare earth metals that are now profitable to mine in the Per Geijer deposit. These three projects are high priority and will cost considerable sums to implement.²²

The short-term solution would be for LKAB to transfer the sponge iron production plans to SSAB and let SSAB determine the best way to solve its own problems. This implies a requirement for LKAB to sell its ownership stake in SSAB to make the company as independent as possible from LKAB and the Swedish government. Thereby the Swedish taxpayers would no longer be liable to shoulder SSAB's problems. It is reasonable to propose that the Finnish government divest its ownership in SSAB to avoid a situation in which the Finnish government could apply pressure to prioritize the transition in the Finnish town of Brahestad for reasons other than purely business-related ones.

In the long term, the Swedish state needs to review its ownership role in companies such as LKAB. This includes governance, review, and democratic control of the company's operations and plans. A first simple and quick step would be to appoint the board of directors based on criteria that prioritize the necessary experiences and knowledge to run a modern mining company facing intense international competition. In the longer term, it would be valuable for the company to be listed on the stock exchange in order to benefit from the discipline and continuous evaluation of its performance and future plans that a listing provides.

²² In early 2024, LKAB announced their plans for yet another large project: the extraction of phosphorous from its ore to be used in fertilizer production (Karlgrén, 2024).

References

- Augustsson, T. (2024). "Nya miljarder till kritiserat stålprojekt." *Svenska Dagbladet*, January 22.
- International Energy Agency (2020). "Iron and Steel Technology Roadmap: Towards More Sustainable Steelmaking." Paris: International Energy Agency.
- International Iron and Metallurgy Association (2023). "Global Trends in DRI and HBI Markets." Presentation at Fastmarkets Middle East Iron and Steel 2023. Lewes, East Sussex: International Iron Metallurgy Association.
- Iwarson, T. (2023). "Brasilien – störst på träkol och först med fossilfritt stål." *ATL*, May 26. <https://www.atl.nu/brasilien-har-redan-fossilfritt-stal>.
- Jafri, Y., J. M. Ahlström, E. Furusjö, S. Harvey, K. Pettersson, E. Svensson, and E. Wetterlund (2022). "Double Yields and Negative Emissions? Resource, Climate and Cost Efficiencies in Biofuels with Carbon Capture, Storage and Utilization." *Frontiers in Energy Research* 10. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.797529>.
- Kuykendall, T. (2022). "Lack of High-Quality Iron Ore Supply Threatens Steel's Green Push." *S&P Global Market Intelligence*, June 28. <https://www.spglobal.com/market-intelligence/en/news-insights/latest-news-headlines/lack-of-high-quality-iron-ore-supply-threatens-steel-s-green-push-70947714>.
- Kärrman, J. (2022). "Kapplöpning om biokol när industrin ställer om." *Dagens industri*, August 14. <https://www.di.se/nyheter/kapplopning-om-biokol-nar-industrin-staller-om/>.
- Midrex (2023). "2022 World Direct Reduction Statistics." Charlotte, NC: Midrex Technologies, Inc.
- Rex, M. (2024). "Efter jättefinansieringen: H2GS räknar med att nå full produktion snabbare." *Dagens industri*, January 22.
- Rostás, R. (2022). "Brazil at Steel Decarbonization Crossroads: Charcoal, Gas Short-Term Options." *Fastmarkets*, March 21. <https://www.fastmarkets.com/insights/brazil-at-steel-decarbonization-crossroads-charcoal-gas-short-term-options/>
- Somers, J. (2022). "Technologies to Decarbonise the EU Steel Industry." Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Sundén, D. (2023). "Från brunt till grönt – bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv." Malmö: Scandinavian Institute for Public Policy.
- Sundén, D. (2024a). "Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland." Malmö: Scandinavian Institute for Public Policy.

- Sundén, D. (2024b). "Till vilket elpris som helst? Bedömning av effekterna på den nordiska elmarknaden av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland." Malmö: Scandinavian Institute for Public Policy.
- Svenska kraftnät (2022). "Kortsiktig marknadsanalys 2022 – Analys av kraftsystemet 2023–2027." Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (2024). "Långsiktig marknadsanalys – Scenarier för kraftsystemets utveckling fram till 2050." Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Vogl, V., F. Sanchez, E. Torres Morales, T. Gerres, F. Lettow, A. Bhaskar, C. Swalec, G. Mete, M. Åhman, J. Lehne, S. Schenk, W. Witecka, O. Olsson, and J. Rootzén (2023). "Green Steel Tracker, Version 04/2023." Stockholm: www.industrytransition.org/green-steel-tracker/.

About the authors

David Sundén has a PhD in economics from the Stockholm School of Economics.

He specializes in the economic analysis of markets including assessments of effects of market regulations and technology transitions on economies and public finance. David Sundén has worked as an advisor to the German and Swedish Ministries of Finance.

He has written economic analyses on behalf of the Nordic Council of Ministers, the Swedish Competition Authority, and the Expert Group on Public Economics (ESO).

Some of his reports are publicly available and deal with optimal regulation of the gambling, alcohol, and tobacco markets.

Dr. David Sundén · Lakeville · Förskeppsgratan 5 · SE-120 61 Stockholm ·
Phone: +46-72-323 36 99 · Email: david.sunden@lakevilleconsulting.se

Magnus Henrekson is a professor and Senior Research Fellow at the Research Institute of Industrial Economics (IFN). He was Professor of Economics at the Stockholm School of Economics in 2001–2009 and was IFN's CEO 2005–2020.

Magnus Henrekson is one of Sweden's most cited economists and he has published some thirty books and close to one hundred articles in international scientific journals. His research mainly concerns the economics of entrepreneurship and the determinants of the business climate. Currently he is also the government's investigator tasked with proposing a new grading system for Swedish schools.

Professor Magnus Henrekson · Research Institute of Industrial Economics (IFN) ·
P.O. Box 55665 · SE-102 15 Stockholm · Phone: +46-70-222 97 00 ·
E-mail: magnus.henrekson@ifn.se · Personal website: <https://www.ifn.se/mh>

KAPITEL 3

Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland*

JOHAN GÄRDEBO

Om författaren

Se sid. 115 för en presentation.

* Citeras som: Gärdebo, Johan (2024), "Varför måste det vara möjligt? Historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 79–115). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning

Studien ger en historisk ingång till LKAB:s satsning i samarbete med det delägda SSAB och Vattenfall på Hybrit – järnsvamp och fossilfritt stål – för att besvara varför vd:n Jan Moström anser att projektet "måste vara möjligt". Först beskrivs gruvnäringens roll i Norrbottens energisystem från sent 1800-tal fram till i dag med särskilt fokus på LKAB:s regionala inflytande. Sedan diskuteras hur satsningen på järnsvamp och fossilfritt stål är en fortsättning på försök sedan sent 1900-tal att kombinera svensk industripolitik med miljö- och klimatmål.

Staten har historiskt och fram till vår samtid varit en central aktör för att bygga upp kapacitet till industrialisering, särskilt för de få industriella aktörer som dominerar näringarna i Norrbotten. Medan marknadskrafterna kan sägas avgöra vilka energislag som fått genomslag så är statens prioriteringar av vissa industriella aktörer förklaringen till att LKAB kunnat bli centralt i energisystemet. Genom sin ansamlade expertis och kapital finns i praktiken inga andra verksamheter som kan ersätta bolaget. Att LKAB anser att dess nuvarande projekt måste vara möjliga är således inte primärt en bedömning rörande statens förmåga att göra det möjligt utan om hur staten över tid historiskt har förhållit sig till och alltid prioriterat LKAB:s verksamhet i relation till andra näringar.

LKAB har i sin tur agerat som statens förlängda arm i Norrbotten och Kiruna. Detta sker först genom att staten överläter åt LKAB att sköta kommunala och regionala angelägenheter, vilket gör det befogat att tala om politisk styrning utformad för att möjliggöra gruvbrytningen. Det har framförallt handlat om ett samspel mellan storkapital, fackföreningar och politiska representanter, och då särskilt till socialdemokratin. Kiruna grundas således på en övertygelse om att vad som är bra för LKAB är även bra för samhället. Det är särskilt under 1970-talets energi- och strukturkriser, samt i och med samtidens samhällsombildning där stora delar av Kiruna förflyttas, som LKAB:s av staten uppbackade särställning synliggörs. Kriserna driver dock LKAB till mer forsknings- och utvecklingsarbete för att konkurrera genom nya produkter, vilket även ligger till grund för bolagets nuvarande strategi att bli ledande på klimatområdet.

Sveriges miljöprofil har sedan 1970-talet fungerat som ett verktyg med vilket regeringar sökt positionera landet internationellt, och under perioder har miljöfrågorna även underlättat för svensk export. Under sent 1990-tal hamnar fokus alltmer på klimatfrågor samtidigt som företagen får en allt starkare ställning i att tillsammans med lokala myndigheter ta ansvar för och leda lokala miljöinsatser. När en mer aktiv, entreprenöriell, stat återkommer

under sent 2010-tal är det i nära samarbete med basindustrierna. LKAB:s omställningsprojekt, exempelvis, finansieras indirekt av skattemedel genom att bolaget inte åläggs att dela ut sin årliga vinst till ägaren, staten, utan kan behålla den för att finansiera nästa steg i förädlingskedjan.

Det är således från LKAB:s perspektiv – som central aktör i Norrbottens energisystem och med stark politisk styrning av Kiruna – förklarligt att nuvarande omställningsprojekt måste vara möjligt. *Måstet* handlar inte om en beskrivning av statens förmåga att ge tillräckligt stöd, utan om att LKAB institutionellt och historiskt åtnjuter statens stöd i relation till andra näringar och därför inte anser det sannolikt att staten nu skulle överge bolagets nuvarande industrisatsningar. Vd:n Moströms påstående att bolagets omställningsprojekt måste vara möjligt ska således förstås som ett historiskt välgrundat antagande att någon har överordnad makt i frågan på ett sätt som gör att transparens och ansvarsutkrävande kan sättas ur spel.

Vad som sker inom industrisatsningarna i Norrbotten är att ansvarsutkrävande undviks genom att statens och bolagets roll sammanblandas. LKAB åberopar en förmyndande och samhällsbärande funktion. Och staten i sin tur tillgängliggör skattebetalarnas pengar till bolaget som därigenom kan enklare konkurrera med andra företag på marknaden. Det är denna hundraåriga hybrid mellan stat och bolag som gör att Hybrit "måste vara möjligt".

Summary in English

The study provides a historical introduction to LKAB's investment in cooperation with the partly owned steel company SSAB and state-owned energy producer Vattenfall in Hybrit – fossil-free sponge iron and steel – to explain why LKAB's CEO Jan Moström believes that the project “must be possible”. First, it describes the role of the mining industry in Norrbotten County's energy system from the late 19th century until today, with a particular focus on LKAB's regional influence. It then discusses how the investment in sponge iron and fossil-free steel production is a continuation of attempts since the late 20th century to combine Swedish industrial policy with environmental and climate goals.

Historically, and up to the present day, the state has been a key player in building up capacity for industrialization, especially for the few industrial players with dominant positions in Sweden's northernmost county, Norrbotten.¹ While market forces can be said to determine which types of energy that have had an impact, the state's prioritization of certain industrial actors is what explains how LKAB remained central within the energy system. By virtue of its accumulated expertise and capital resources, there are de facto no other actors who could hope to replace LKAB. The fact that LKAB believes its current projects to be possible is thus not primarily an assessment of the state's ability to make it possible, but of how the state has historically related to, and prioritized, LKAB's activities in relation to other industries.

LKAB has in turn acted as the state's extended arm in Norrbotten and Kiruna (the main mining town). This is first done by the state entrusting LKAB with the management of municipal and regional affairs, which justifies talking about political control designed to enable mining. It has mainly involved an interaction between big business, trade unions and political representatives, especially the Social Democrats. Kiruna is thus based on the conviction that what is good for LKAB is good for society. Particularly during the energy and structural crises of the 1970s, and during the contemporary social transformation where large parts of Kiruna are being relocated, it becomes apparent that LKAB enjoys a special position vis-à-vis the state. These crises have driven and is currently driving LKAB to boost research and development to compete based on new products. This also forms the basis of the company's current strategy to become a leader in climate neutral products.

¹ Norrbotten County consists of the entire province of Norrbotten and about two thirds of Swedish Lapland. Norrbotten County covers almost one quarter of Sweden's land area, but is sparsely inhabited hosting a mere 2.5 percent of Sweden's total population.

Since the 1970s, Sweden's environmental profile has served as a tool with which governments have sought to position the country internationally. At times, environmental concerns have also facilitated Swedish exports. Since the late 1990s, the focus is increasingly on climate issues, where companies are gaining a stronger position by taking on responsibilities for spearheading local environmental initiatives in collaboration with local authorities. The return of a more active, entrepreneurial state in the late 2010s is achieved through close cooperation with the basic industries. LKAB's transition project, for example, is indirectly funded using public money since the company's yearly profits are retained to finance the next stage of iron processing.

Thus, from LKAB's perspective – as a central player in Norrbotten County's energy system and with strong political control of Kiruna – it is understandable that the current transition project *must* be possible. In this regard, the *must* is not a description of the state's ability to provide sufficient support, but that LKAB has institutionally and historically enjoyed state support in relation to other industries and therefore does not consider it likely that the state would withdraw its support of the company's current industrial investment plan. CEO Moström's claim that LKAB's transition project must be possible should thus be understood as a historically well-founded assumption that someone has superior power in the matter in a way that evades transparency and accountability.

In the industrial investments in Norrbotten County accountability is avoided by conflating the roles of the state and the company. LKAB invokes a guardianship and social support function. And the state in turn makes taxpayers' money available to the company, which enables LKAB to compete with other companies in the marketplace. It is this century-old hybrid between state and company that suggests the Hybrit project, and the enormous volume of electricity it requires "must be possible".

Introduktion

När LKAB:s vd Jan Moström under Ekots lördagsintervju den 26:e november 2022 pressas på frågan om Hybrit-satsningen – att LKAB ska gå vidare och omvandla all sin järnmalm till järnsvamp – kan genomföras så svarar han att "det måste vara möjligt" (SR 2022a). Vad menas med att det måste vara möjligt? Frågan berör såväl praktiska spörsmål – exempelvis varifrån all el ska komma – till mer principiella ställningstaganden – exempelvis varför staten bör prioritera resurser till just LKAB i form av energi och skattemedel. Här finns ett antagande om makt som gör att transparens och ansvarsutkrävande kan sättas ur spel så ett för bolaget och staten överordnat ändamål kan uppnås. Medan LKAB:s planer för Hybrit pekar på klimatomställningens framtid så väcker vd:n Moströms påstående att projektet måste vara möjligt flera frågor om bolagets dåtid – vad som historiskt varit möjligt.

Syfte och frågeställning

LKAB:s planer på att ta nästa förädlingssteg – att gå från att vara ett malmbrytande bolag som säljer pellets på världsmarknaden till att bli en stor producent av fossilfri järnsvamp – och vd Moströms förhoppning om blocköverskridande samsyn om dessa klimatrelaterade industrisatsningar, kan förklaras genom en historisk beskrivning av statens relation till industrier i Norrbotten. Planen bygger på att bolaget inte delar ut sina årliga vinster till ägaren, dvs. staten, utan behåller dessa för att finansiera nästa steg i förädlingskedjan. I praktiken innebär detta således att bolagets ledning förutsätter att företagets klimatomställning ska skattefinansieras. Frågan är varför projekt som Hybrit – och mer specifikt LKAB:s ambition att utveckla järnsvamp och fossilfritt stål via SSAB – blir möjliga och önskvärda i ett land som Sverige.

Uppgiften här är att utforska de samhällsvetenskapliga rötterna till påståendet att satsningar som Hybrit måste vara möjliga. Men frågan handlar egentligen om något större än just detta projekt. Varifrån kommer tanken att vissa industriella sektorer kan ta i anspråk så stora summor skattemedel samt betydande andelar av Sveriges energiproduktion? Vad är relationen mellan staten som samhällsekonomisk investerare och möjligheten till insyn och ansvarsutkrävande för dessa prioriteringar?

Denna studie ger en historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i norra Norrland. Den beskriver gruvnäringens roll i Norrbottens energisystem från sent 1800-tal fram till i dag, med särskilt fokus på LKAB:s regionala inflytande, för att sedan diskutera

hur satsningen på järnsvamp och fossilfritt stål är en del av statens ambition sedan sent 1900-tal att kombinera svensk industripolitik med miljö- och klimatmål.

Bakgrund och centrala aktörer

LKAB:s arbete med Hybrit börjar som ett svenskt demonstrationsprojekt tillsammans med Vattenfall och SSAB för att samordna produktionen av fossilfritt stål. Projektet symboliserar även startskottet för bolagets långt större industrisatsningar – LKAB:s järnsvampsframställning från den egna malmen – samt omställningen av hela det svenska samhället till nollutsläpp av växthusgaser. Samtliga aktörer drivs av eller samarbetar nära med staten och blir därmed förebilder för skattefinansierad klimatomställning.

Hybrit inleddes under den socialdemokratiska Löfven-regeringen 2015 men förblir centralt för Sveriges politiska profilering även efter regeringsskiftet 2022. På överstatlig nivå lyfts projektet fram, allra tydligast när EU-kommissionens ordförande Ursula von der Leyen i sitt första anförande till Unionen den 16 september 2020 beskriver Hybrit som ett flaggskeppsprojekt för hela EU:s omställning till ett klimatneutralt samhälle (EU-kommissionen 2020).

Vad gäller de svenska aktörerna så står SSAB för slutprodukten, fossilfritt stål, medan Vattenfall är tänkt att bistå med den utökade elproduktion som krävs för att framställa vätgas till järnsvampsframställningen. LKAB säkerställer tillgång på järnmalm samt dess bearbetning till järnsvamp – en produkt man avser bli världsledande inom. Hybritprojektet och dess industriella uppskalning finansieras delvis av offentliga bidrag från EU och svenska myndigheter men framför allt genom LKAB:s anspråk på att återinvestera vinsterna från gruvbrytningen i sin egen utvidgade verksamhet. LKAB är dessutom SSAB:s största ägare och tillsammans med den tredje största ägaren, finska regeringen, har LKAB *de facto* kontroll över bolaget. Det är därför relevant att denna historiska genomgång fokuserar på just gruvbolaget. Gruvorna i Kiruna och Malmberget står dessutom för nära 90 procent av Europas järnmalmsproduktion (Regionfakta 2023). Studien berör således en aktör av geostrategisk betydelse inte bara för Sverige utan för hela EU.

Kapitlets upplägg

De följande tre avsnitten utgörs av historiska beskrivningar om gruvnäringens roll i Norrbottens energisystem, om LKAB:s regionala inflytande och därefter om svenska statens försök att kombinera miljö- och klimatmål med stora industriprojekt. Med utgångspunkt i forskning av historikern Paul Warde om energisystem (Warde 2019; jfr Sjöholm 2019) och av historikerna Curt Persson jämte Johan Sandström om LKAB:s betydelse för Kiruna, går det att identifiera tre utvecklingsfaser för gruvnäringen i Norrbotten:

1. ett formativt skede för energi- och gruvnätverket från sent 1800-tal till mitten av 1900-talet,
2. en effektiviserad industrialisering med växande ambitioner för välfärdsstaten från mitten till slutet av 1900-talet, och
3. en diversifierad energi- och samhällsutveckling från sent 1990-tal fram till vår samtid.

Miljö- och klimatmål utvecklas parallellt med dessa tre utvecklingsfaser, först som en fråga om nationell gemenskap och senare för att profilera Sveriges roll internationellt. I de tre avsnitt som följer behandlas således tre olika aspekter på industrisatsningar från sent 1800-tal fram till i dag. I sammanfattningarna till respektive avsnitt besvaras studiens frågor om relationen mellan staten och vissa industrisektorer i Norrbotten. I korthet handlar det om att ge en historisk ingång till varför LKAB anser att dess industrisatsningar måste vara möjliga.

Gruvnäringens roll i Norrbottens energisystem

Energiomställningar är en politisk fråga med lång historia i Sverige. Under 1970-talets energikris är exempelvis de nordiska länderna medvetna om behovet av att utifrån geostrategiska avvägningar minska energisystemets beroende av importerad olja (SOU 1975:60). Det senaste årtiondets regeringar har försökt minska beroendet av samtliga fossila bränslen men då med syfte att begränsa Sveriges klimatpåverkan (Regeringskansliet 2023a; SOU 2016:21). Denna utfasning, eller omställning, omfattar flera olika förändringar, vilka i sin tur skiljer sig från och överlappar varandra på olika skalor i tid och rum. Ett exempel är hur minskade koldioxidutsläpp kan åstadkommas genom att ställa om olika energislag i energisystemet. För att förstå om omställningen kan genomföras behöver vi först studera energisystemet historiskt.

Med start under 1890-talet genomgår norra Sverige en genomgripande modernisering och strukturomvandling. Genom statliga ingripanden skapas en infrastruktur för elektricitet och moderna transportmedel med vägar och järnvägar. Grunden läggs för resurs-exploatering och industrialisering. Det är särskilt gruvbrytning och järnbearbetning som utvecklas. Stora industrier som kräver enorma investeringar byggs ut och elektrifieras med hjälp av vattenkraft. Energianvändningen koncentreras till några få stora aktörer, vilka kan sägas utgöra kärnan i Norrbottens energisystem. LKAB blir tidigt centralt i detta system. Andra centrala aktörer är de stål företag i Luleå som senare ombildas till SSAB, samt Vattenfall, som efter bildandet 1909 snabbt blir landets dominerande producent av elektrisk energi (Kajiser och Högselius 2007; Berg 1999; Jakobsson 1996; Waara 1980).

Utbyggnad och exploatering, ca 1850–1950

Under den första fasen, mellan 1850 och 1950, identifieras skog, vatten och järn som centrala för exploateringen av Norrbottens naturtillgångar och som en förutsättning för moderniseringen av övriga Sverige. Ända sedan 1600-talet, då silver upptäckts vid Nasafjället och Kvikkjokk, gör staten försök att befolka norra inlandet. Men det är först efter Sveriges senaste stora svält, 1867, som Sällskapet för Norrlands väl upprättas för att prioritera gruvnäringen. Norrland som helhet etiketteras som ett "framtidigt land" för nybyggare och växande industrier (Fur 2006; Brunnström 1981).

Från slutet av 1800-talet börjar staten etablera sig för att utveckla Norrbottens infrastruktur och näringsliv. Medan själva volymökningen är relativt liten, mätt i energi och varor, påbörjas elektrifieringen och utbyggnaden av moderna transportnät i form av järnväg och asfalterade vägar. De aktörer som prioriteras under denna tid – gruvnäringen, stålverken och skogsbruket – är desamma som i dag. Trots att dessa branscher genomgår omstruktureringar och arbetsstyrkan minskar avsevärt förblir de centrala aktörer i den fortsatta planeringen av energisystemets utbyggnad (Jonsson 2009).

Gruv- och malminäringen drivs till en början i privat och till stor del utländsk regi. Mellan 1860 och 1890 är det i huvudsak engelska och svensk-norska privata aktörer (t.ex. Gällivare Aktiebolag, Gällivara Company Limited och Swedish & Norwegian Railway Company). De privata aktörerna bygger även infrastruktur och vägar. Mest iögonfallande är försöken att bygga järnväg mellan Luleå och Kiruna och en kanal från Gällivare till kusten för transport av järnmalm. Svårigheten för privata aktörer att slutföra dessa projekt blir en förevändning för ökad statlig inblandning då regeringarna runt sekelskiftet 1900 mer protektionistiskt planerar svensk gruvnäring och dess kontroll över tillhörande infrastruktur (Sörlin 1988; Persson 2015; Wahlberg 1996).

Gruvnäringen etableras vid Malmberget 1888, sedan i Kiruna 1890, varpå ett gemensamt transportnätverk byggs ut till Luleå 1898. Efter att nätverket 1903 utvidgats till den norska hamnen i Narvik ökar gruvbrytningen avsevärt. Gruvorna använder sig i huvudsak av fysisk arbetskraft fram till 1920-talet då mer energikrävande teknik installeras för att mekanisera och automatisera gruvarbetet (Ellem m.fl. 2020).

Elektrifieringen påbörjas redan under 1890-talet för att minska kostnaden för träkol och importerat stenkol som används för järn- och stålindustrin samt som bränsle för tågtransporter. Elektrifiering underlättade även exporten av järnmalm från Kiruna via Narvik. När staten 1907 blir delägare i gruvnäringen blev dessa frågor centrala för lagstiftning och planering (Hansson 1994).

Grunden för elektrifieringen av Sverige, och då särskilt industrialiseringen av norra Sverige, bygger på fördämningar av älvarna i norr. Statens energistyrelse, senare ombildat till det helstatliga företaget Vattenfall, grundas 1909 för att säkra tillgången på el i ett nationellt distributionsnätverk. Dammbygget i Luleälven vid Porjus 1910, exempelvis, stöds av ett antal statligt ägda organisationer och företag, däribland LKAB och Vattenfall, i nära samarbete med nätverk av nationella och lokala politiker som framhåller byggenas betydelse för regional utveckling. Den ökade energianvändningen under denna period leder inte till industrialisering av samhället som helhet utan elektriciteten i Norrbotten används i huvudsak till att öka LKAB:s uttag av resurser, och i viss mån för att driva järnvägarna (Viklund 2012).

Staten låter dammutbyggnaden ske utan större hänsyn till minoritetsägare eller till dem vars mark tas i anspråk för transmissionsnätet. Först under 1970-talet inskränks damm-

byggena och då snarare av miljöskäl än som en följd av lokalpolitiska protester (Jakobsson 1996; Hännerstrand 1993).

Trä förblir den huvudsakliga energikällan långt in på 1920-talet. Och i den mån man använder kol – i form av koks – är den importerad och i huvudsak förbehållen industrin (Kander m.fl. 2013; Lindmark och Olsson-Spjut 2019). Elektrifieringen ändrar således inte prioriteringarna i Norrbottens energisystem. Trots att regionen står för en stor del av övriga Sveriges möjligheter att elektrifieras – eleporten söderut inleds 1938 – förblir Norrbotten länge en mindre industrialiserad region än övriga Sverige. Undantaget är Kiruna där stora delar av orten under 1920-talet genomgår en omfattande elektrifiering (SOU 1948:32).

Samma trend syns i transportnätet, där inlandsbanan byggs ut först på 1920- och 30-talet, således årtionden efter att transportnätet för järnmalm utformats (Viklund 2012; Wennström 1986). Andelen bilar per invånare är långt lägre i Norrbotten än i övriga delar av landet men antalet olyckor är trots det högre. Områden i Norrbotten med stadig befolkningstillväxt är i huvudsak kopplade till urbanisering runt gruvnäringen. Under 1930-talets depression är det endast gruvnäringen som klarar sig någorlunda oskadd (Enflo m.fl. 2014).

Industrialisering och välfärdssamhällets framväxt, 1950–1990

Fram till 1900-talets mitt är det staten som driver på utbyggnaden av energi- och transportnätverk samt etableringen av själva näringarna. Energiproduktion, infrastruktur, storskalig gruvsdrift och ståltillverkning prioriteras framför all övrig lokal samhällsutveckling i Norrbotten, samtidigt som värdet av dessa resurser tillfaller andra delar av Sverige. Under energisystemets andra utvecklingsfas, från 1950 till 1990, växer mängden använd energi och skapade resurser. Den tekniska utvecklingen och mekaniseringen tilltar, varpå arbetskraften skiftar från lantbruk och landsbygd till privat och senare offentlig sektor i tätorter (Enflo m.fl. 2014).

Gruvbrytningen tar den största andelen av energiförbrukningen fram till slutet av århundradet då i stället stålverken i Luleå blir de största konsumenterna av energi. Även hushållen i Norrbotten ökar sin energiförbrukning till nära det dubbla rikssnittet. Tillgången på energi bli mer kritisk för industrin än tillgången på arbetskraft – Norrbotten blir en stor importör av olja och Sverige är i början av 1970-talet det mest oljeberoende landet i hela Europa (Lindmark 2019). Det är efter oljekrisen 1973, och som svar på 1970-talets industriella strukturstress, som Sverige antar sin första koordinerade energipolitik. Under 1980-talet bidrar detta till minskat oljeberoende såväl inom industrin som vid uppvärmningen av bostäder (Bergquist och Söderholm 2014).

Ett av de större tillskotten i energimixen är etableringen och utbyggnaden av kärnkraft som står för nära hälften av Sveriges elproduktion under 1990-talet. Vattenkraften förser fortsatt industrin och landets södra delar med elektricitet. Det blir även modellen för liknande elsystem i Finland där dammbyggen längs Ouluälven möjliggör ökad elektrifiering söderut. Under 1960-talet sammanlänkas alla de nordiska elsystemen i ett större internationellt nätverk där elproduktionen från norra Norden exporteras söderut (Högselius och Kaijser 2019; Warde 2019).

Den ökade betydelsen av internationell handel med såväl varor som energi synliggör hur sammankopplad den svenska gruvnäringen blivit med resten av världen. Under 1970-talets strukturstress överväger regeringen att avveckla LKAB efter att verksamheten börjat gå med förlust. Perioden kan förstås som ett undantag från regeln om statens strategi att gynna gruvnäringen framför såväl andra verksamheter som medborgarna själva i Norrbotten (Viklund m.fl. 2015). Därför ska statens relation till LKAB jämföras med hanteringen av Stålverk 80 – statens satsning som initieras 1973 för att tiodubbla stålproduktionen i Luleå, men som man överger bara några år senare. Stålverk 80 ska även möjliggöra för LKAB att öka sin produktion (Brorström och Malmer 1978; SOU 1978:68), men strukturstressen synliggör i stället behovet för den svenska gruv- och stålindustrin att energi-effektivisera, automatisera arbetet och konkurrera internationellt genom forskning och framställning av nya produkter snarare än massproduktion (Lundholm 1993; Eriksson 1991; Henning 1980). Likt LKAB ombildar staten 1978 stålverket i Luleå till att bli ett helstatligt företag, SSAB (jfr Jonsson 1990). Men i praktiken minskar man stålproduktionens omfattning i Sverige medan staten bibehåller sitt intresse att utöka LKAB:s verksamhet.

Mönstret från denna fas i energisystemets utveckling är således en elmarknad som styrs av strukturellt dominanta, industriella verksamheter och därför även av beslut om teknisk effektivisering hos några få stora företag.

Fortsättning och början på ny fas i Norrbottens energisystem, 1990–2020

Den tredje fasen, från 1990 till slutet av 2010-talet, är en period med relativ stabilitet. Gruvindustrin utökas bitvis medan det fortsatta beroendet av koks gör stålverket till Sveriges enskilt mest energiintensiva sektor. Övriga Sverige energieffektiviserar medan Norrbotten förblir den energiintensivaste regionen. En förklaring till detta är ökad industriell mekanisering, vilket även fortsätter trenden mot färre anställda och minskat antal invånare. Tidigare mönster håller således i sig.

Samtidigt som regeringarna under 1990-talet och 2000-talet driver på för privatisering av flera industriföretag, däribland stålverket SSAB men även Preemraff på västkusten och Cementa på Gotland, så behåller man LKAB som statligt bolag. Nära relationer mellan

stat och företag bibehålls i stället på andra sätt: tidigare ledande politiker, flera av dem socialdemokrater, väljs in som ledamöter i bolagsstyrelserna. Som ett led i att konkurrera och expandera internationellt bistår svenska staten med skattelättnader, subventionerade energipriser samt möjligheten för industriaktörerna att påverka utformningen av den miljölagstiftning som reglerar näringarna (Hildingsson m.fl. 2019; Lundqvist 2004; jfr Åberg 2006). På så vis kan vi under denna period tala om fortsatt nära band mellan stat och näringsliv och då särskilt för LKAB:s verksamhet i Norrbotten.

Den fortsatta kopplingen mellan stat och näringsliv är påtaglig framförallt i försöken att utveckla förnybar energi i Norrbotten. Här ingår svenska staten i samarbeten med såväl överstatliga aktörer som EU och aktörer på regional och kommunal nivå. Medan farhågor kring klimatpåverkan från Norrbottens energisystem diskuteras redan på 1970-talet (jfr SvD 1976), så är det först under denna fas som detta får betydelse för samarbeten med näringslivet. En av de påtagliga effekterna är att staten från mitten av 00-talet och framåt möjliggör en kraftig expansion av vindkraft, vilket till viss del motiveras av svårigheten att samla politiskt stöd för utbyggnad av såväl vattenkraft som kärnkraft (Warde 2019).

Mot bakgrund av dessa historiska redogörelser kan man mot slutet av denna fas eventuellt tala om en ny fjärde fas där fossilfria och förnyelsebara energislag blir centrala för Norrbottens industriella utveckling. Staten styr denna utveckling genom elcertifikatsystemet, vilket gynnar vindkraftsutbyggnaden (Broberg m.fl. 2008; Söderholm 2008; SOU 2001:77). Symptomatiskt nog satsar LKAB under sent 2010-tal på produktion av vätgas via elektrolys för framställning av järnvamp och deltagande i Hybritprojektets framställning av fossilfritt stål. Gruvbolaget planerar även att i Kiruna börja utvinna nyligen funna sällsynta jordartsmetaller (LKAB 2023). Därutöver etablerar sig nya aktörer i regionen, som stålföretaget H2GS, vilket medför krav på utbyggd infrastruktur för järnmalm, elektricitet och ståltillverkning (Garbis m.fl. 2023). Den hastiga utbyggnaden av all denna produktion, inklusive utvecklingen av helt nya affärsområden, indikerar att statens bidrag utgör en central del av bolagens investeringsplaner i den nya fossilfria industrin och energisystemet. Det är staten och inte företagen som förväntas stå för en stor del av risken och kostnaderna.

Norrbottens energisystem befinner sig i en ny fas även med avseende på att den fossilfria industrin tar i anspråk merparten av elektriciteten för lokalt och regionalt bruk. Energisystemet förändrar sin hundraåriga funktion, från att producera och exportera el söderut till att bli nettoimportör av elektricitet. Omställningen och utfasningen av fossila bränslen leder under denna fas således till ökade elpriser för övriga Sverige (Müller 2023). Samtidigt förändras ägandet för förnybar energi där mer än hälften av den installerade vindkraftseffekten har utländska ägare, däribland det kinesiska företaget CGN Europe (Svensk vindenergi 2023; Aktuell hållbarhet 2022; SR 2022b; Politico 2021).

Sammantagen bedömning för energisystemet i Norrbotten

Det energisystem som etableras i Norrbotten under sent 1800-tal lägger även grunden till senare utvecklingsled, alltså en sorts stigberoende, för regionen och dess industrier. Dagens dominerande industrisektorer är desamma som vid denna tid: gruv-, stål- och träindustri. De prioriterades för energianvändningen åren efter andra världskriget, vilket i sin tur hade starka rötter i nätverk och infrastruktur som etablerades redan innan första världskriget. Det var och är gruvnäringen, särskilt LKAB, som premieras i Norrbottens energisystem. Det var relativt enkelt givet att vattenkraften kunde byggas ut och merparten resurser från näringarna i Norrbotten tillföll övriga Sverige.

I de flesta fall handlar omställningarna i Norrbottens energisystem inte om att byta energislag utan om att lägga till energiproduktion på en aggregerad skala. Systemet förändras stegvis genom att äldre energislag och infrastruktur bibehålls när nya läggs till.

Den sammantagna bedömningen är således att staten historiskt och fram till vår samtid varit en central aktör för att bygga upp kapacitet till industrialisering, särskilt för de få industriella aktörer som dominerar näringarna i Norrbotten. Detta är särskilt påfallande vid utvecklingen av vattenkraften, den långväga högspänningsöverföringen och järnvägs- och vägnäten. Dessa satsningar har primärt tjänat som ett slags infrastruktur för företagsaktörer som LKAB och SSAB. Bolagen har varit under helt statlig kontroll, och SSAB är det via röststarka aktier och genom samverkan med den tredje största ägaren, finska regeringen.² Samtidigt kan de sägas agera utifrån egna intressen och inte nödvändigtvis i samklang med varandra.

Medan marknadskrafterna avgör vilka energislag som dominerat regionalt så är det statens prioriteringar rörande vissa industriella aktörer som förklarar varför LKAB kunnat bli central i Norrbottens energisystem. Genom sin ansamlade expertis och sitt ackumulerade kapital finns i praktiken inga verksamheter som kan ersätta bolaget. Att LKAB anser att dess nuvarande projekt måste vara möjliga är således inte primärt en bedömning av statens förmåga att göra det möjligt utan om hur staten över tid historiskt har förhållit sig till och alltid prioriterat LKAB:s verksamhet i relation till andra näringar.

² Industrivärden var fram till 2018 den största ägaren i SSAB med 18,2 procent av rösterna och 11,4 procent av kapitalet. De sålde sina sista aktier i bolaget till LKAB i maj 2021.

LKAB som redskap för politisk styrning

För att förstå den särställning LKAB åtnjuter i relation till statliga intressen, och i synnerhet till det socialdemokratiska partiet, behöver vi titta närmare på den politiska styrning som bolaget historiskt varit föremål för men även själv bidragit till att utforma. Det gäller särskilt LKAB:s betydelse för Kiruna. Här ser vi att gruvnäringens och stadens utvecklingsfaser till stor del överlappar med energisystemets faser som beskrivits i föregående avsnitt.

LKAB etablerar en förmyndande roll visavi det omkringliggande samhället. Detta blir påtagligt på fem områden: i förhållandet till staten, organiseringen av arbetarna, planeringen av stadsmiljön, fritids- och utbildningsverksamheten samt i den moraliska dimensionen. Det relevanta här är att företaget LKAB skapat nya former av förmynderi i takt med att det ekonomiska systemet förändrats (Wray 1996; Ackers och Black 1991; Padavic och Earnest 1994).

Över tid bibehåller LKAB sitt inflytande över staden, arbetarna och kringliggande aktiviteter både trots och tack vare framväxten av en stark välfärdsstat, hög facklig anslutning och den svenska modellen som helhet. Staten har vid tvister sällan ingripit eller sökt medla mellan bolaget och de regionala politikerna eftersom LKAB *de facto* är staten. I följande avsnitt beskrivs denna utveckling som tre faser i LKAB:s utformning av gruvnäringen generellt och av Kiruna specifikt.

Formativa år i LKAB:s och Kirunas utveckling, 1890–1950

En av de första populära beskrivningarna av LKAB och Kiruna återfinns i *Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige* av Selma Lagerlöf (1906) (Johnson och Ericsson 2015; Persson 2015):

Och en dag flög de till Luossajaure, en liten sjö som låg långt norrut. Vid sjöns södra ände reste sig en väldig bergklump som hette Kirunavaara och som visst bestod nästan helt av järnmalm, och på andra sidan låg ett lika rikt järnberg som hette Luossavaara. Man höll på att bygga en järnväg dit upp och det uppfördes också en station och bostäder åt alla arbetare och ingenjörer som skulle bo där för att bryta malm. Det sprängdes och murades och snickrades, men så var det också en hel liten stad som höll på att växa fram.

Upprättandet av gruvan och Kiruna år 1890 sker utifrån statens ambition att skydda nationella malmtillgångar från utländskt ägande, vilket skiljer sig från tidigare decenniers frihandelspolitik. Det är på sådana protektionistiska premisser som staten 1899 låter LKAB bryta malm samt ger bolaget rätten att köpa tillräckligt med mark kring gruvan för att upprätta arbetarnas anläggningar och bostäder (Larsson m.fl. 2014). LKAB skapas först som privat aktiebolag och ombildas 1893 till dotterbolag åt Aktiebolaget Gällivare Malmfält (AGM). Båda dessa företag köps 1903 upp av Trafikaktiebolaget Grängesberg-Oxelösund (TGO), som 1907 sedan säljer hälften av aktierna i LKAB till svenska staten (Persson 2015). LKAB blir det första statligt ägda aktiebolaget i Sverige, medan det är först från 1930-talet och framåt som statlig bolagisering blir vanlig även i andra sektorer (RiR 2017:1).

LKAB tar ett aktivt ansvar för att göra Kiruna till ett modernt mönstersamhälle med en för sin tid hög levnadsstandard. Gruvans första disponent, Hjalmar Lundbohm, stadsplanerade även Kiruna med tydlig inspiration från bruksorter i andra länder – som New Lanark i Skottland, Port Sunlight i England och Pullman i Illinois – där företagen utöver sin ekonomiska roll fungerar som sociala aktörer (Brunnström 2015; Åström 1964). Medan flertalet anställda har kortsiktiga anställningskontrakt så fungerar gruvan som en social smältdegel för bosättarna från södra Sverige, jämte de samer, tornedalingar, kväner och finska invandrare som sökt arbete i Kiruna. LKAB ordnar även lån som underlättar för anställda att köpa bostad i staden. I övrigt existerar emellertid länge ett omkringliggande samhälle med lägre levnadsstandard än den som LKAB:s anställda åtnjuter (Ahnlund och Brunnström 1992; Johansson 1986).

Bolagets och statens marknadsföring av Kiruna under tidigt 1900-tal framhäver även omkringliggande naturlandskap som en socialt enande faktor. Genom investering i fjällstugor och vandringsleder i Norrbotten möjliggörs miljöupplevelser även för mindre bemedlade människor, vilket gör naturturismen mer folklig och bidrar på så vis till att överbygga industrisamhällets övriga klassklyftor (Thurfjell 2020; Frykman och Löfgren 1987). LKAB:s arbete för att främja turismnäringar och naturparksverksamhet är således en del av den socialdemokratiska statsideologi och folkhemstanke som formuleras under denna period och där Kiruna är ett av de första mönstersamhällena (Mattsson och Wallenstein 2010). Även andra bruksorter kommer senare att anamma denna samhällsmodell, vilket är särskilt påtagligt genom Boliden AB:s gruvverksamhet i Boliden (Rogeman 2021).

Välfärdssamhällets framväxt, effektivisering och kris, ca 1950–1990

Efter andra världskriget söker den socialdemokratiska staten att aktivt omorganisera samhället för att säkerställa välfärd och full sysselsättning. Under förevändning att vinster ska återinvesteras regionalt ökar staten under perioden 1948–58 sitt ägande i LKAB till 96 procent. Under 1960-talet utvidgas snabbt den statliga företagssektorn till nya områden, vilket under 1970-talet även används för att hantera kriser och strukturomvandlingar, inte minst gällande varvs-, textil- och konfektionsbranscherna. År 1976 köper staten slutligen de återstående fyra procenten av aktierna från TGO. Kiruna får under denna tid stadsrättigheter och LKAB blir därmed lokalt skattskyldigt.³ LKAB intar även en tydligare roll för organisering och sponsring av föreningslivet, exempelvis sportaktiviteter inklusive Sveriges första inomhusarena för ishockey (RIR 2017:1; Persson och Viklund 2021; SOU 1955:9).

Statens inflytande innefattar vidare aktiv utslagning av regionala konkurrenter för att koncentrera verksamhet och vinster till LKAB. Bolagen blir ett redskap för statens politiska styrning i Norrbotten, mer specifikt för den socialdemokratiska Rehn-Meidnermodellens ambition att lönen ska vara densamma för ett visst arbete i alla företag i en viss bransch. Detta driver fram teknisk rationalisering och slår ut mindre effektiva aktörer. I praktiken gynnas tätorter som Kiruna medan ekonomisk utjämning i regionen som helhet motverkas. År 1974, exempelvis, köper det nu helstatliga LKAB upp Tuolluvaara Grufaktiebolag som varit en konkurrent sedan början av 1900-talet, bara för att lägga ned verksamheten år 1982 (Sandström och Persson 2021; Persson 2015).

En effekt av rationaliseringarna och koncentrationen av näringar till tätorter är att fler aktörer nu konkurrerar om att använda samma markyta, vilket kräver tydligare riksplanering (SOU 1971:75). Staten identifierar därför under 1970-talet tolv "riksintressen" – intressen som för det allmänna är viktiga nationella resurser att hushålla med. Gruvnäringen är ett sådant riksintresse och har likt de andra riksintressena en expertmyndighet kopplad till sig – Statens geologiska undersökningar – för att medla vid intressekonflikter mellan de olika riksintressena (Boverket 2013).

Riksplaneringen är viktig genom att den synliggör statens prioritering av gruvnäringen och LKAB. Förutom att Kiruna har Sveriges största gruvfyndigheter finns här även Sveriges största rennäringsverksamhet, vilken utöver nationalparkerna räknas som kulturminnesverksamhet. Då både gruv- och rennäringen identifierats som riksintressen är således merparten av kommunens yta sedan 1970-talet formellt påverkad av statliga prioriteringar

³ Den lokala bolagsskattesatsen fördubblades från cirka tio till 20 procent från krigsslutet till 1970. Den lokala bolagsskattesatsen fortsatte sedan att öka och toppade på nästan 30 procent i mitten på 1980-talet. Den lokala bolagsskatten avskaffades i ett slag 1985 och ersattes av en helt statlig bolagsskatt på 52 procent (Du Rietz m.fl. 2015).

(Solbär m.fl. 2019; Kiruna kommun 2020). Gruv- respektive rennärningen utvärderas emellertid utifrån sitt industriella exploateringsvärde snarare än som en fråga om markrättheter (jfr Mark- och miljööverdomstolen 2009). I praktiken är således de prioriterade riksintressena och LKAB:s intressen desamma.

LKAB:s centrala roll i Kiruna synliggörs när bolaget och gruvindustrin under sent 1900-tal genomgår sina första allvarliga kriser. Gruvans utbyggnad når en höjdpunkt under 1970-talet. Av tätortsbefolkningens 25 000 invånare är då 4 500 anställda av LKAB. Till skillnad från läget både i början av 1900-talet och i dag är arbetsstyrkan starkt lokalt förankrad i Kiruna. Samtidigt genomgår produktionen omfattande rationaliseringar där stora delar av arbetsstyrkan friställs utan större ingripanden från vare sig stat eller fack. Det är mot denna bakgrund som gruvarbetarna 1969 organiserar en vild strejk med krav på lokalt inflytande, i egenskap av att vara både arbetande och boende i Kiruna (Ellem m.fl. 2020; Kronlund m.fl. 1973).

Den globala lågkonjunkturen slår sedan ut stålverk och gruvor i stora delar av Västvärlden. Mellan 1976 och 1992 stänger 26 stora järngruvor i Sverige, däribland Dannemora, Stora Kopparberg och Grängesberg, vilka varit i drift i hundratals år (Elgstrand och Vingård 2013). Även LKAB beskriver denna period som svåra år i bolagets historia, framför allt när staten överväger att stänga gruvan till följd av en studie som visar att malmfälten har mindre än 25 år kvar givet dåvarande utvinningstakt. En central slutsats från studien är att LKAB, utöver att effektivisera sin verksamhet, behöver bli tekniskt ledande (Viklund m.fl. 2015; Ericsson 1981).

LKAB klarar sig tack vare statligt stödd strukturomvandling, såsom finansiering för tidig pensionering av den äldre arbetsstyrkan, kombinerat med hur företaget radikalt omprioriterar, effektiviserar och vidareutvecklar verksamheten. Automatisering minskar kraftigt arbetsstyrkan från över 6 000 till 3 700 anställda. Bolaget stänger även gruvor samt kringliggande verksamhet vid Tuolluvaara och Svappavaara. I tillägg satsar LKAB på forskning, patentutveckling och förädling av nya produkter, exempelvis ett skifte från massproduktion och utskeppning av järnmalm till att framställa järnpellets (Lopéz 2021; Johansson 1986; Alalehto 1992).

Staten inleder under 1970-talet vissa försök att diversifiera näringsverksamheten i Norrbottens län. Exempelvis satsar man på rymdverksamhet och profilerar Kiruna som en rymdstad (Backman 2015). Det helstatliga Rymdbolaget använder regionalstöd och senare även EU-medel för att utveckla raket- och satellitstationen Esrange samt Rymdhuset och Miljödatacentrum i Kiruna för bearbetning och försäljning av satellitbilder. Samtliga dessa satsningar har i slutändan marginell betydelse för sysselsättningen i Kiruna. Kommunens inflytande över rymdverksamheten förblir begränsat då Rymdbolagets huvudkontor är lokaliserat i Stockholm (Gärdebo 2019).

Satsningarna på rymdverksamhet kan i sin tur förstås som försök till regionalpolitiskt stöd som utformas genom en rad avsiktsförklaringar under 1940-, 60- och 70-talet om en levande landsbygd i Sverige (Hallin och Lindström 1998; Prop. 1972:111; Prop. 1964:183). Ett av de bestående arven från dessa regionala satsningar är utlokaliseringen av diverse myndigheter och organisationer från Stockholm, exempelvis placeringen av Radiotjänst i Kiruna (SOU 2000:36). Från och med 1980-talet överger staten i praktiken dessa regionalpolitiska ambitioner. När delar av industrin och servicesektorn under 1990-talet privatiseras lägger staten även ned delar av infrastrukturen, exempelvis järnvägen i Norrlands inland (Andersson 2012; Syssner 2008; Du Rietz 1988).

Samhällsomvandling för fortsatt gruvdrift, ca 1990–2020

Med början under 1990-talet ökar LKAB exploateringen av järnmalm genom fortsatt produktutveckling och rationalisering av arbetsstyrkan. Kirunas stadsbefolkning följer samma trend som gruvnäringen: i början av 2020-talet är ca 2 000 personer anställda av LKAB, och antalet invånare har krympt till 16 000, vilket motsvarar befolkningsnivån på 1960-talet. Trots ökad diversifiering i form av tillväxt i näringar som turism och rymdverksamhet förblir gruvan avgörande för regionens sysselsättning (Jensen och Sandström 2020).

Från och med 1990-talet börjar LKAB åter att använda sig av bemanningspersonal. Liksom i början av århundradet bor inte längre alla arbetare i Kiruna utan periodpendlar och betalar därför heller inte skatt i kommunen. Medan flertalet är fackligt anslutna så uppger allt färre att de anser sig ingå i ett arbetarkollektiv, och i vissa delar av verksamheten sätter LKAB de egna arbetarna i direkt konkurrens med bemanningspersonalen (Sandström och Persson 2021).

Gemensamt för de folkliga och fackliga protesterna i Norrbotten under sent 1900-tal är upplevelsen att deras lokala inflytande över naturresurserna är ytterst begränsat. Inte minst gäller detta vid behandlingen av nya gruvprojekt och att en så liten del av värdet från naturresurserna kommer lokalsamhället till del. Detta är vad journalisten Arne Müller beskriver som "Norrlandsparadoxen" – Norrland är rikt på naturresurser men de kommer inte Norrland till del (Müller 2017; jfr Tidholm 2014). Under 1990-talet tillkommer förvisso möjligheten för kommuner att söka EU-medel. Sådana kommunala projekt är i viss mån en fortsättning av tidigare regionalpolitiska satsningar som finansieras av statliga bidrag, men liksom dessa saknar EU-projekten ofta en plan för hur bidragen ska förankras lokalt eller resultera i långsiktig regional utveckling (jfr Müller 2017).

Avsaknaden av regionalpolitik som gynnar hela landet, samt bristen på lokalpolitiskt inflytande, är en trend som håller i sig från 1990-talet fram till i dag. Det har även visat sig vara oberoende av vilken politisk koalition som innehar regeringsmakten. I denna bemär-

kelse kan man tala om stödet till enskilda företag som LKAB, och dess negativa effekter för övriga bruksorter, som en nationell och statlig prioritering snarare än en specifikt partipolitisk fråga. Samtidigt kan LKAB sägas ha närhet till just socialdemokratin. Fram till 2018 – då Centerpartiets Gunnar Selberg blir kommunalråd i Kiruna – är det endast socialdemokrater, och utbrytare från partiet, som utgjort kommunens ledning. Ett stort antal av dessa kommunalråd har även gruvarbetarbakgrund med fackliga engagemang.

En av de tydligaste indikationerna på LKAB:s särställning är dess roll i Kirunas stadsplanering för att möjliggöra fortsatt gruvbrytning. Den så kallade "stadsomvandlingen", alternativt "sambhällsomvandlingen", omfattar flytten av Kirunas stadskärna, med förvaltning, skolor, sjukvård och offentliga utrymmen. 3 000 hushåll, 1 000 arbetsplatser och en tredjedel av stadens invånare, cirka 6 000 människor, påverkas. Nyheterna om att staden behöver flytta, då gruvdriften gör att marken kring staden kommer att sjunka ihop, annonseras 16 mars 2004 och utan tidigare överläggning med Kiruna kommun. Även LKAB:s bedömning 2012 att flytten behöver tidigareläggas sker utan samråd med kommunens ledning (Lopéz 2021; SR 2012).

Stadsomvandlingen är ett exempel på LKAB:s egen politiska styrning. Att en liten kommun i nordligaste inlandet förväntas förhandla med ett branschdominerande statligt företag om hur näringsverksamheten får påverka invånarna synliggör en ovilja från statens sida att erkänna maktskillnaden mellan dessa parter. Och osäkerhet i planeringen kring stadens framtid är i huvudsak till LKAB:s fördel. Riksrevisionens granskning av stadsomvandlingen riktar kritik dels mot bolaget för att ha undanhållit information från staten om flytten av Kiruna, men även kritik mot regeringen för bristande självständighet i förhållande till LKAB, exempelvis genom passivitet och knapphändig information till riksdagen (RiR 2017:34; jfr Finansdepartementet 2018). Det är detta som etnologen Bo Nilsson kallar för "Kirunaideologi" – där samhällsomvandlingen sker för att möjliggöra fortsatt företagsverksamhet – vilket blir påtagligt genom att schemat för flytten även sätts utifrån LKAB:s planer för utökning av gruvan (Nilsson 2010; jfr Nilsson 2016; SVT 2017).

Stora delar av Kirunas stadsomvandling organiseras av LKAB själv, medan andra projekt sköts av kommunen men med finansiering från bolaget. LKAB framhåller i sin marknadsföring ett ansvar som går långt utöver själva gruvverksamheten till att omfatta samhället som helhet, där ambitionen är att bygga en attraktiv framtida gemenskap (Sandström och Persson 2021). Här finns således spår av den tidigare förmyndande roll som disponenten Lundbohm intog ett århundrade tidigare i sin planering för Kiruna.

Medan LKAB har en given roll i Kiruna, och därför antar att planer som gynnar bolaget även accepteras av samhället, finns en ny medvetenhet om gruvnäringens sårbarhet. Under 2014 sjönk det internationella järnmalmpriset med närmare 60 procent. Flera mindre gruvföretag tvingades stänga, bland dessa Northland Resources i Pajala (Segerstedt 2020). Detta trots att Sverige vid denna tidpunkt hade världens lägsta beskattning av gruvnäringen (Raitio m.fl. 2020). Även LKAB gjorde anpassningar, exempelvis genom satsningar

på ytterligare på forskning- och utvecklingsarbete för att hitta nya verksamhetsområden som gav företaget en konkurrensfördel trots lågkonjunkturen på världsmarknaden.

Lokala sårbarheter blev synliga även i relationen mellan LKAB och Kiruna kommun till följd av stadsomvandlingen. När bolaget 2017 backade från tidigare löften om att finansiera en ny järnvägsstation hotade kommunen med att återkalla beslutet om att flytta invånarnas bostäder. Det skulle stoppa gruvans verksamhet och parterna tvingades till förhandlingsbordet. Trafikverket kopplades in för att medla – i egenskap av expertmyndighet – men staten vidtog inga åtgärder eller försök till att ingripa i konflikterna. I de flesta fall då meningsskiljaktigheter hanteras lokalt har LKAB det större manöverutrymmet. Det indikerar att statens huvudintresse är att gruvnäringen inte störs (Ellem m.fl. 2020; López 2021).

Sammantagen bedömning av LKAB som verktyg för politisk styrning

LKAB har agerat som statens förlängda arm i Norrbotten och Kiruna. Detta sker först genom att staten överlåter åt LKAB att sköta kommunala och regionala angelägenheter, vilket gör det befogat att tala om politisk styrning utformad för att möjliggöra gruvbrytningen snarare än tvärtom där olika näringar utvecklas med syfte att underhålla samhället. Det har framförallt handlat om ett samspel mellan storkapital, fackföreningar och politiska representanter, särskilt representanter för socialdemokratin. Kiruna grundas således på en övertygelse om att vad som är bra för LKAB är bra för samhället.

På en övergripande nivå kan vi tala om politisk styrning kring LKAB som en spegel av den svenska enhetsstatens inställning till Norrland som en naturresurs. Gruvnäringens utformning är ett resultat av en mer protektionistisk politik, där LKAB möjliggör för järnmalmsexporten från norra Sverige att berika landets södra delar. Och trots ett antal regionalpolitiska avsiktsförklaringar under andra hälften av 1900-talet, vilka senare ersätts av EU-finansierade projekt med liknande ambitioner, så har resurser fortsatt att koncentreras till stora enskilda aktörer som LKAB.

Det är under 1970-talets energi- och strukturkriser, samt i och med samtidens samhällsomvandling där stora delar av Kiruna flyttas, som LKAB:s av staten uppbackade särställning synliggörs. I praktiken prioriteras gruvnäringen framför invånarnas övriga verksamheter och levnadssätt i regionen. Kriserna driver dock LKAB till mer forsknings- och utvecklingsarbete för att konkurrera genom nya produkter, vilket kännetecknar bolagets strategi till dagens datum. Det är denna företagsstrategi som görs till en central komponent i den svenska statens ambitioner sedan sent 1900-tal att bli ledande inom miljö- och klimatområdet.

Svensk miljöpolitik och stora industriprojekt

Sverige är sedan andra halvan av 1900-talet högt profilerat på det miljö- och klimatpolitiska området. I vår samtid blir detta påtagligt både genom krav på att företag ska bli fossilfria, men även i form av att staten förväntas bidra till företagens klimatomställning. Staten och kapitalet går således hand i hand; båda parter stärker sitt renommé genom att stödja varandra. För att förstå denna relation behöver vi beskriva hur Sverige historiskt utformar sin roll i internationell miljödebatt för att därefter analysera vilken roll stora industriprojekt spelar i dagens miljö- och klimatpolitik.

Svenska statens miljöprofil

Som en förlängning av biståndspolitiken profilerar sig Sverige under slutet av 1960-talet inom den internationella miljödebatten. Utöver att Statens naturvårdsverk inrättas 1967 för att samordna miljöarbetet kring luft- och vattenföroreningar, avskogning och hotade arter så utvecklar regeringen även en utrikespolitisk miljödiplomati. Miljöfrågor blir ett redskap för att initiera exportsamarbeten med utvecklingsländer och för att utforma Sveriges roll i en världsordning som under andra halvan av 1900-talet kännetecknas av kalla krigets maktbalans. Som ett litet, exportberoende och neutralt land använder således Sverige en explicit värderingsdriven utrikespolitik för att underlätta för sina inhemska industrier att etablera sig på nya marknader (Gärdebo 2019). Från det att statens första biståndsmål år 1962 håller isär bistånd- och handelsmål (Prop. 1962:10; SOU 1962:12) så skiftar svenska regeringar från och med 1970-talet mot att tydligare använda biståndet för att gynna svensk varu- och tjänsteexport (Bruno 2015; SOU 1984:33).

Startskottet för svensk miljödiplomati är arrangerandet av Stockholmskonferensen 1972, vilken profilerar Sverige som en humanitär stormakt på miljöområdet. Sverige är sedan ledande i uppföljningskonferensen i Rio de Janeiro 1992 och blir ett av de första länderna som söker implementera FN:s Agenda 21-program (Radkau 2014; Engfeldt 2009), vilket från 2015 uppgår i Agenda 2030. En central del i detta hållbarhetsarbete är att verksamheten skiftar från statlig till lokal nivå, det vill säga i hög grad till kommunledningar (Keskitalo och Liljenfeldt 2012; Eckerberg och Forsberg 1998).

Debatten om klimatförändringar växer under sent 1970-tal fram som en följd av Sveriges utrikespolitiska profil i miljöfrågorna. Alltifrån Energimyndighetens föregångare – Statens

Energiverk och Statens råd för byggforskning – till intressegrupper som Naturskyddsföreningen driver på för energieffektivisering och utbyggd förnybar energi (Anshelm 2004). I och med att Sverige 1991 antar sitt första klimatpolitiska mål intensifieras arbetet med att minska utsläppen av växthusgaser (SOU 1998:170; SOU 1992:104), vilket 2005 skärps ytterligare till att Sverige ska nå nära noll nettoutsläpp senast 2050. Som beskrivits i föregående avsnitt är det från sent 00-tal och under 2010-talet som regeringen prioriterar förnybar energi från vindkraft och solpaneler.

Som en del i att svenska staten under 1990-talet skalar ner regionalpolitiken så skiftar miljöarbetet både till en överstatlig nivå – via EU och FN – och till en kommunalisering av flera ansvarsområden (Östman 2014; jfr Zannakis 2009). En konsekvens av detta är att städer och företag – snarare än stater – profilerar sig genom att sätta miljö- och klimatmål (Kern 2019). Svenska basindustriföretag som LKAB deltar även de i miljöarbetet – framförallt med produkter och processer som minskar lokal miljöskada i form av gifter, avgaser och bly. Under 2010-talet vigs alltmer av arbetet åt branschernas omställning till fossilfri produktion (Hildingsson m.fl. 2019).

Utvecklingen av miljömässigt renare varor och arbetsprocesser är således både en fortsättning av den svenska miljödiplomatis varu- och tjänsteexport (jfr Gärdebo 2023), men det sammanfaller även med återkomsten i Västvärlden av stark statlig styrning. USA:s respektive EU:s gröna nya giv, exempelvis Build Back Better-programmet och Fit for 55, jämte Sveriges eget klimatpolitiska ramverk och deltagande i fonder för rättvis omställning och innovation, är alla statliga initiativ för att i nära samarbete med etablerade företag leda omställningen till ett fossilfritt samhälle (Europeiska rådet 2023; Eckersley 2021).

Fossilfria industriprojekt som fortsättning på Sveriges miljöprofil

Grunden för svensk miljödiplomati är en fortsatt inflytelserik tanketradition om att staten kan och bör agera entreprenöriellt. Utöver den generella idén att man med politik kan lösa problem, snarare än att skapa förutsättningar för lösningar (Berman 2006), så finns den specifika förhoppningen att staten påtar sig rollen som utförare av tekniska projekt. Nationalekonomen Mariana Mazzucato (2014) beskriver detta som "den entreprenöriella staten" för vilket det finns en rad exempel – från det amerikanska sysselsättningsprogrammet New Deal som hanterade 1930-talets ekonomiska depression, till mer iögonfallande satsningar som rymd- och månlandningsprogrammet.⁴ På liknande vis ska staten idag leda klimatomställningen.

⁴ Se bidragen i Henrekson m.fl. (2024) för ytterligare exempel.

För den svenska kontexten har liknande argument formulerats som en fortsättning på protektionistisk, och i hög grad socialdemokratisk, politik för att säkra politiskt inflytande över nationell industriell utveckling och kapacitet (Rothstein 2005; Lundqvist 2004). I relation till Sveriges internationella åtaganden för klimatomställning finns ett flertal förslag för hur staten åter kan agera mer entreprenöriellt och ta en samordnande roll för att möta tidsplaner och subventionera riskfyllda omställningssatsningar i industrin, exempelvis via Energimyndighetens Industriklivet (Regeringskansliet 2022a; Nasiritousi och Grimm 2022; Hildingsson m.fl. 2019; Söderholm och Wihlborg 2015). Inom ramen för EU:s omställningsarbete har framförallt svenska basindustrier bedrivit påverkansarbete för att deras näringar ska identifieras som huvudsakliga mottagare av EU-medel för omställningsprojekt. Bland dessa återfinns stöd för omställning av gruv- och stålindustrin i Norrbotten, där Hybrit ingår (Moodie m.fl. 2021).

För Kiruna har detta miljöengagemang översatts i form av *corporate social responsibility* från flera gruvaktörer (jfr Dolan och Rajak 2016), vilket LKAB:s arbete är ett svenskt exempel på. LKAB betonar i sin marknadsföring gemensamma mål, som att samhällsomvandlingen säkrar "en gemensam framtid tillsammans", med hänvisning till gruvans och stadens gemensamma historia. Samtidigt har bolaget inget särskilt beslutat samhällsuppdrag i förhållande till samhällsomvandlingen, vilket framgår av deras redogörelser till regeringen (Regeringskansliet 2023b).

En av de stora skillnaderna mellan statens stöd till Stålverk 80 och dagens Hybrit är att man under 1970-talet börjar nedmontera idén om en stark utförande stat (Westerberg 2020; Rothstein och Westerhäll 2005), vilket alltså nu återkommer men denna gång med en överstatlig målbild för global klimatomställning. Utvecklingen av järnsvamp och fossilfritt stål svarar alltså inte bara mot det nationella behovet av export utan LKAB:s krav att staten ska satsa på dessa produkter sker även mot bakgrund av Sveriges internationella åtaganden. LKAB anför exempelvis återkommande argumentet att regeringen behöver vara tydlig med sitt stöd för att satsningen på järnsvamp och fossilfritt stål ska vara möjlig (DI 2021; jfr LKAB 2023).

De regeringsinitierade verksamheterna Fossilfritt Sverige och Klimatpolitiska rådet är båda sentida exempel på statens miljödiplomatiska engagemang som ska stödja svensk varuproduktion och export. En betydande del i detta engagemang är att delar av verksamheten sker utanför själva regeringens och myndigheternas verksamhet, men i samordning med staten (Nasiritousi och Grimm 2022). Organisationer som Fossilfritt Sverige och Klimatpolitiska rådet kan därefter genom egna mediala utspel (jfr SVT 2023) peka på behovet av att skapa förutsättningar för specifika branscher, alltså örönmärka skattepengar till dessa i form av subventioner och prioritera dem vid lagstiftning och tillstånd.

Samman tagen bedömning rörande miljöpolitik och industriprojekt

Sveriges miljöprofilering har sedan 1970-talet fungerat som ett verktyg med vilket regeringar sökt positionera landet internationellt. Under perioder har miljöfrågorna även underlättat för svensk export. Under sent 1990-tal internationaliseras Sveriges miljöarbete och fokus hamnar alltmer på klimatfrågor. Samtidigt får företagen en allt starkare ställning i att leda lokala jämte kommunala miljöinsatser och utformar således riktlinjer som passar deras verksamheter. När en mer aktiv, entreprenöriell, stat återkommer under sent 2010-tal är det i nära samarbete med basindustrierna, och där LKAB:s omställningsprojekt finansieras genom att staten undantar bolaget från vinstutdelningar, vilket indirekt gör att nästa steg i förädlingskedjan finansieras med skattepengar.

Fossilfritt Sverige, en samarbetsplattform mellan staten och basindustrierna, blir i detta avseende en sorts bulvan genom vilken företag som LKAB marknadsför sina egna projekt medan man utåt sett porträtteras som olika parter. Såväl nuvarande som föregående regering har i sin tur intresse av dessa samarbeten eftersom man uppfattas agera handlingskraftigt i relation till klimatförändringar som en i samtiden identifierad ödesfråga.

Avslutande reflektioner om varför LKAB:s projekt måste vara möjligt

Det är från LKAB:s perspektiv – som central aktör i Norrbottens energisystem sedan mer än hundra år och med stark politisk styrning av Kiruna – förklarligt att nuvarande omställningsprojekt måste vara möjligt. *Måstet* handlar inte om en beskrivning av statens förmåga att ge tillräckligt stöd, utan om att LKAB institutionellt och historiskt åtnjuter statens stöd i relation till andra näringar och därför inte anser det sannolikt att staten nu skulle överge bolagets planerade industrisatsningar trots att dessa är av exceptionellt stor omfattning.

Denna studies historisk ingång till LKAB och de stora industriprojekten i Norrland synliggör att statens och gruvnäringens intressen i mångt och mycket är synonyma. Den statliga prioriteringen att Norrbottens energisystem ska möjliggöra gruvnäringen har gällt lika länge som vi kan tala om en statsbildning i norra Sverige. Det har förvisso förekommit kritik mot såväl LKAB:s som statens fysiska planering, exempelvis mot dammbyggen under andra halvan av 1900-talet och i dag mot utbyggnaden av vindkraft och mot själva stadsomvandlingen av Kiruna. Men i regel har såväl bolaget som staten kunnat ignorera dessa lokalpolitiska protester utan att det lett till nationell debatt om medborgares demokratiska rättigheter.

Utöver statens relation till Norrbotten och mer specifikt till LKAB så har regeringar sedan slutet av 1900-talet sökt använda miljö- och klimatfrågor för att positionera Sverige internationellt. Exempel på detta är generösa biståndssatsningar och högprofilerad miljödiplomati, vilka inte sällan gynnat svenska kapitalintressen och exportmöjligheter. Ett viktigt exempel på detta är teknikprojekt i utvecklingsländer. Men staten har även haft intresse av prestigeprojekt med ett tydligt moraliskt värde. LKAB:s satsning på järnsvamp ska förstås som ett sådant prestigeprojekt som bidrar till att stärka Sveriges anseende i världen. Likt andra regionala miljö- och klimatsatsningar finns det EU-finansiering med i bilden, men denna gång i betydligt större volymer än tidigare. En konsekvens av detta är att miljö- och klimatpolitiken frikopplats från grundläggande granskning av hur skattemedel används. I stället för att mäta nyttan av dessa projekt, eller diskutera alternativa handlingsplaner, ägnar sig svenska regeringar och LKAB:s ledning åt att avvärja eller hota kritiker, historiskt genom påstådda regionalpolitiskt negativa effekter och i dag genom att åberopa negativa klimatförändringar i händelse av att bolagets satsningar inte genomförs.

Vd Jan Moströms påstående att bolagets omställningsprojekt måste vara möjligt ska således förstås som ett historiskt välgrundat antagande att någon har överordnad makt i frågan på ett sätt som gör att transparens och ansvarsutkrävande kan sättas ur spel.

Det finns emellertid sedan 2010-talet ett samordningsansvar – något som Riksrevisionen betonat under senare års granskning – där styrelser för statligt ägda bolag måste samordna med regeringen inför viktiga och för verksamheten avgörande beslut (Regeringskansliet 2022b; RiR 2017:1; Regeringskansliet 2010). Detta samordningsansvar är en del av policyn för statligt ägda bolag. Och efter att LKAB:s stämma 26 april 2017 antagit policyn är den att räkna som styrande dokument för bolagets verksamhet (LKAB 2017; jfr RiR 2017:34).

Samordningsansvaret utformades efter att en serie statligt ägda bolag haft bristande beredningar kring stora beslut som fått negativa effekter på såväl ekonomi som anseende. Här kan nämnas Vattenfalls förvärv av Nuon, Telia Soneras satsningar i Uzbekistan och stämningens ansökan mot SAS för kartellbildning. Det Riksrevisionens granskningar tydliggjort är att styr- och ansvarskedjan för statliga bolag börjar och slutar i regeringsformen. Ansvaret handlar om att hantera risker, öppna för granskningar och i slutändan om att möjliggöra politiska bedömningsfrågor i såväl regeringen som riksdagen (2015:15a; RiR 2015:15b).

LKAB:s järnsvamps- och fossilfria stålsatsning – den största industrisatsningen i Sveriges historia – är ett sådant beslut som får samhällskonsekvenser för landet som helhet. Men i stället för skriftlig kommunikation mellan regeringen och bolaget, och därtill hörande beredning med berörda departement, så har LKAB i stället kringgått sin ägare. Och precis som med samhällsomvandlingen, även den inledd av LKAB utan överläggning med staten, så har regeringen hittills agerat passivt i granskningen av bolagets industrisatsningar (SvD 2023).

Det framförs förvisso kritik från förvaltningsforskare om att bristande insyn i statligt ägda verksamheter leder till ogenomtänkta beslut, exempelvis sänkt energiskatt för utvalda industriella aktörer, vilket urholkar det demokratiska ansvarsutkrävandet (DN 2023; jfr RiR 2022:18). Men när det kommer till LKAB specifikt är bristen på granskning snarare en följd av det statliga ägandet. Likt energisystemet i Norrbotten har den politiska styrningen skapat inlåsningar i form av institutionella preferenser för redan etablerade aktörer och för redan påbörjade satsningar. Detta är påtagligt genom svårigheten att hantera tvister kring äganderätter och när olika riksintressen kommer i konflikt, miljöskador i form av flytten av Kiruna samt LKAB:s satsning på järnsvamp trots att tillgången på el brister och med stor sannolikhet kommer driva upp elpriserna för andra företag både lokalt och i andra delar av landet (Sundén 2024).

Det finns således en aktiebolagsmässig grund på vilken regeringen som ägare har möjlighet och ansvar att lägga sig i när LKAB fattar stora beslut. Till skillnad från marknadens osynliga hand kan staten i dessa fall peka med hela handen. Samtidigt är det förstäeligt

att regeringen både nu och tidigare undvikit att åberopa sitt mandat som ägare, för om du styr blir du en del av problemet. Vad som sker inom industrisatsningarna i Norrbotten är i stället att ansvarsutkrävande undviks genom en sammanblandning av statens och bolagets roll. LKAB åberopar en förmyndande och samhällsbärande funktion. Och genom att staten låter bolaget behålla sina vinster, i stället för att dela ut dem, hoppas man även kunna klara konkurrensen med andra aktörer på marknaden. Det är denna hundraåriga hybrid mellan stat och bolag som gör att Hybrit "måste vara möjligt".

Referenser

- Ackers, P. och J. Black. (1991). "Paternalist capitalism: An organisation culture in transition". I M. Cross och G. Payne (red.), *Work and the Enterprise Culture*. London: Falmer Press.
- Ahnlund, M. och L. Brunnström (1992). "The company town in Scandinavia". I J. Garner (red.), *The Company Town: Architecture and Society in the Early Industrial Age* (s. 75–108). Oxford: Oxford University Press.
- Aktuell hållbarhet (2022). "Regeringen pressas om stort kinesisk ägande i svensk vindkraft". 27 maj. <https://www.aktuellhallbarhet.se/miljo/energi/regeringen-pressas-om-stort-kinesisk-agande-i-svensk-vindkraft/>
- Alalehto, T. (1992). *Teknik och konflikt: LKAB 1946–1987*. Doktorsavhandling. Umeå universitet.
- Anderssson, F., R. Ek och I. Molina (red.) (2012). *Regionalpolitikens geografi: Regional tillväxt i teori och praktik*. Lund: Studentlitteratur.
- Anshelm, J. (2004). *Det vilda, det vackra och det ekologiskt hållbara. Om opinionsbildningen i Svenska Naturskyddsföreningens tidskrift Sveriges Natur 1943–2002*. Umeå universitet.
- Backman, F. (2015). *Making Place for Space. A History of "Space Town" Kiruna 1943–2000*. Doktorsavhandling. Umeå universitet.
- Bergquist, A.-K., E. och K. Söderholm (2014). "Industry strategies for energy transition in the wake of the oil crisis". *Business and Economic History*, 12, s. 1–18.
- Boverket (2013). "Vad är ett riksintresse?", <https://www.boverket.se/sv/PBL-kunskapsbanken/teman/riksintressen/>.
- Berg, A. (1999). *Staten som kapitalist: Marknadsanpassningen av de affärsdrivande verken*. Doktorsavhandling. Uppsala universitet.
- Broberg, T., Samakovlis, M. Sjöström och G. Östblom (2008). *En samhällsekonomisk granskning av Klimatberedningens handlingsplan för svensk klimatpolitik*. Stockholm: Konjunkturinstitutet.
- Brorström, B. och S. Malmer (1978). *Boken om Luleå – eller historien om expansionen som kom av sig*. FE-rapport 100. Företagsekonomiska institutionen, Göteborgs universitet.

- Brunnström, L. (2015). "Kiruna – LKAB:s mönstersamhälle". I K. Jansson-Myhr (red.), *Boken om LKAB*. LKAB och Centrum för Näringslivshistoria.
- Brunnström, L. (1981). *Kiruna – ett samhällsbygge i sekelskiftets Sverige. D. 1, En bebyggelsehistorisk studie av anläggningskedet fram till 1910*. UTAB.
- Dagens industri (2021). "LKAB:s vd: Utan tydlig regering hotas jätteprojektet i norr", 21 juni. <https://www.di.se/nyheter/lkab-s-vd-utan-tydlig-regering-hotas-jatteprojektet-i-norr/>.
- Du Rietz, G., D. Johansson och M. Stenkula (2015). "Swedish Capital Income Taxation (1862–2013)". I M. Henrekson och M. Stenkula (red.), *Swedish Taxation: Developments since 1862* (s. 123–178). New York, NY: Palgrave Macmillan.
- Du Rietz, J. (1988). *Den totala urspårningen: en studie i järnvägsnedläggningar och demokrati*. Lund: Symposion.
- Eckersley, R. (2021). "Greening states and societies: from transitions to great transformations". *Environmental Politics*, 30(1–2), s. 245–265.
- Elgstrand, K. och E. Vingard (2013). *Occupational Safety and Health in Mining – Anthology on the Situation in 16 Countries*. Göteborgs universitet.
- Ellem, B., J. Sandström och C. Persson (2020). "Neoliberal trajectories in mining: Comparing Malmfälten and the Pilbara". *European Journal of Industrial Relations*, 26(3), s. 297–312.
- Engfeldt, L-G. (2009). *From Stockholm to Johannesburg and Beyond: The Evolution of the International System for Sustainable Development Governance and Its Implications*. Stockholm: Regeringskansliet.
- Enflo, K., M. Henning och L. Schön. (2014). "Swedish regional GDP 1855–2000: Estimations and general trends in the Swedish regional system". *Research in Economic History*, 30, s. 47–89.
- Ericsson, M. (1981). "The rise and fall of Swedish iron ore mining". *Minerals and Energy*, 1(1), s. 60–63.
- Eriksson, U. (1991). *Gruva och arbete. Kiirunavaara 1890–1990. Volym 1–4*. Uppsala universitet.
- EU (2021). "Just Transition Fund". September. European Parliament. <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/214/just-transition-fund>.
- EU-kommissionen (2020). "Building the world we want to live in: A Union of vitality in a world of fragility". State of the Union Address by President von der Leyen at the European Parliament Plenary, 16 september. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/SPEECH_20_1655.

- Europeiska rådet (2022). "Den europeiska gröna given: 55%-paketet", 25 juli. <https://www.consilium.europa.eu/sv/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.
- Finansdepartementet (2018). "Riksrevisionens rapport om omvandlingen av Kiruna och Malmberget". Skr. 2017/18:170. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/skrivelse/2018/04/skr.-201718170>.
- Fur, G. (2006). *Colonialism in the Margins: Cultural Encounters in New Sweden and Lapland*. Haag: Brill.
- Frykman, J. och O. Löfgren (1987). *Culture Builders: A Historical Anthropology of Middle-Class Life*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Garbis, Z., E. McCarthy, R. W. Orttung, G. Poelzer, M. Shaiman och J. Tafrate (2023). "Governing the green economy in the Arctic". *Climatic Change*, 176(33), s. 1–23.
- Gärdebo, J. (2019). *Environing Technology: Swedish Satellite Remote Sensing in the Making of Environment 1969–2001*. Doktorsavhandling. Kungliga tekniska högskolan.
- Gärdebo, J. (2023). "Transitioning unions: what constitutes a just transition for Swedish trade unions?". *Oxford Open Climate Change*, 3(1), s. 1–14.
- Hallin, G. och B. Lindström (1998). "Det ouppklarade äktenskapet". Rapport 108. Östersund: Institutet för regional forskning.
- Hansson, S. (1994). *Porjus. En vision för industriell utveckling i övre Norrland*. Luleå tekniska högskola, Institutionen för industriell ekonomi och samhällsvetenskap.
- Henning, R. (1980). *Partierna och Stålverk 80: en studie av industripolitiskt beslutsfattande*. Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala universitet.
- Henrekson, M., C. Sandström och M. Stenkula, red. (2024). *Moonshots and the New Industrial Policy: Questioning the Mission Economy*. Cham: Springer.
- Hildingsson, R., A. Kronsell och J. Khan (2019). "The green state and industrial decarbonisation". *Environmental Politics*, 28(5), s. 909–928.
- Hännerstrand, B. (1993). *Miljökriser och nya partier: Rädda Ljusdalsbygden som följd av partisplittring, naturexploatering och underutveckling*. Storvreta: BoH-förlag.
- Högselius, P. och A. Kaijser (2010). "The politics of electricity deregulation in Sweden: The art of acting on multiple arenas". *Energy Policy*, 38(5), s. 2245–2254.
- Jakobsson, E. (1996). *Industrialisering av älvar: Studier kring svensk vattenkraftutbyggnad*. Doktorsavhandling. Göteborg universitet.
- Jensen, T. och J. Sandström (2020). "Organizing rocks: Actor–network theory and space". *Organization*, 27(5), s. 701–716.

- Johansson, J. (1986). *Teknisk och organisatorisk gestaltning – Exemplet LKAB*. Doktorsavhandling. Luleå: Centek förlag.
- Johnson Liedholm, E. och M. Ericsson (2015). "State ownership and control of minerals and mines in Sweden and Finland". *Mineral Economics*, 28(1–2), s. 23–36.
- Jonsson, S. (2009). *Skuta på stormigt hav. SSAB under tre decennier*. Stockholm: Jernkontoret.
- Jonsson, S. (1990). *Vägen mot SSAB*. Luleå: Norrbottens museum.
- Kajiser, A. och P. Högselius (2007). *När folkhemselen blev internationell: Elavregleringen i historiskt perspektiv*. Stockholm: SNS Förlag.
- Kander, A., P. Malanima och P. Warde. (2013). *Power to the People: Energy in Europe over the Last Five Centuries*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Kern, K. (2019). "Cities as leaders in EU multilevel climate governance: Embedded upscaling of local experiments in Europe". *Environmental Politics*, 28(1), s. 125–145.
- Kiruna kommun (2020). "Riksintressen". <https://kiruna.se/stadsomvandling/startside/besokare/bakgrund/riksintressen.html>.
- Kronlund, J., J. Carlsson, I. L. Jensen och C. Sundström-Frisk (1973). *Demokrati utan makt: LKAB efter strejken*. Stockholm: Prisma.
- Lagerlöf, S. (1906). *Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige*. Stockholm: Bonnier Förlag.
- Larsson, M., L. Andersson-Skog, O. Broberg, L. Magnusson, T. Pettersson och P. Sandberg (2014). *Det svenska näringslivets historia 1864–2014*. Stockholm: Dialogos Förlag.
- Lindmark, M. (2019). "Rethinking the environmental state: An economic history of the Swedish environmental Kuznets curve for carbon". I M. Ozawa, J. Chaplin, M. Pollitt, D. Reiner och P. Warde (red.), *In Search of Good Energy Policy* (s. 139–164). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lindmark, M. och F. Olsson-Spjut (2019). "The transformation of the organic energy system: the Swedish perspective". *Historia Agraria*, 77, s. 59–80.
- LKAB (2017). § 22 i protokoll från styrelsemöte i LKAB. 27 april.
- LKAB (2022). "HYBRIT får stöd från EU:s innovationsfond". 1 april. <https://lkab.com/press/hybrit-far-stod-fran-eus-innovationsfond/>.
- LKAB (2023). "Europas största fyndighet för sällsynta jordartsmetaller finns i Kiruna". 12 januari. <https://lkab.com/press/europas-storsta-fyndighet-for-sallsynta-jordartsmetaller-finns-i-kiruna/>.

- López, E. M. (2021). *Transforming Kiruna Producing Space, Society, and Legacies of Inequality in the Swedish Ore Fields*. Doktorsavhandling. Uppsala universitet.
- Lundholm, K. (1993). "Arjeplogs 'stad', Carl Johans stad och Stålvverk 80 – stolta planer som förblev planer". I *Norrbottnen i den svenska historien*. Luleå: Norrbottens museum.
- Lundqvist L. J. (2004). *Sweden and Ecological Governance: Straddling the Fence*. Manchester: Manchester University Press.
- Mark- och miljööverdomstolen (2009). "M 350-09". 9 oktober.
- Mattsson, H. och S-O. Wallenstein (2010). *Swedish Modernism: Architecture, Consumption, and the Welfare State*. London: Black Dog Publishing.
- Mazzucato, M. (2013). *The Entrepreneurial State: Debunking Public vs. Private Sector Myths*. London: Anthem Press.
- Moodie, J., C. Tapia, L. Löfving, N. Sánchez Gassen och E. Cedergren (2021). "Towards a territorially just climate transition: Assessing the Swedish EU territorial just transition plan development process". *Sustainability*, 13(13), s. 7505.
- Müller, A. (2017). *Stockholm, städerna och resten*. Skellefteå: Ord & Visor Förlag.
- Müller, A. (2023). *Norrskan: Drömmen om den gröna industrin*. Skellefteå: Ord & Visor Förlag.
- Nasiritousi, N. och J. Grimm (2022). "Governing toward decarbonization: The legitimacy of national orchestration". *Environmental Policy and Governance*, 32, s. 411–425.
- Nilsson, B. (2010). "Ideology, environment and forced relocation: Kiruna – a town on the move". *European Urban and Regional Studies*, 17(4), s. 433–442.
- Nilsson, K. (2016). "Complexity in spatial planning practice and theory: The case of Kiruna mining town". I G. de Roo och E. A. Silva (red.), *A Planner's Encounter with Complexity*, (s. 63–80). London: Routledge.
- Padavic, I. och W. R. Earnest (1994). "Paternalism as a Component of Managerial Strategy". *Social Science Journal*, 31(4), s. 389–405.
- Persson, C. och R. Viklund (2021). *Luleå – De första 400 åren: Volym 2*. Luleå tekniska universitet.
- Persson, C. (2015). *Hjalmar Lundbohm: en studie om ledarskap inom LKAB 1898–1921*. Doktorsavhandling. Luleå tekniska universitet.
- Politico (2021). "Chinese wind farm investments stoke concerns in Sweden". 26 november. <https://www.politico.eu/article/chinese-wind-farm-investments-stoke-concerns-in-sweden/>.

- Proposition 1962:10. Angående svenskt utvecklingsbistånd.
- Proposition 1964:183. Riktlinjer för en aktiv lokaliseringspolitik m.m.
- Proposition 1972:111. Regional utveckling och hushållning med mark och vatten.
- Radkau, J. (2014). *The Age of Ecology: A Global History*. New York, NY: Polity Press.
- Raitio, K., C. Allard och R. Lawrence (2020). "Mineral extraction in Swedish Sápmi: The regulatory gap between Sámi rights and Sweden's mining permitting practices". *Land Use Policy*, 99, s. 1–15.
- Regeringskansliet (2010). Verksamhetsberättelse för företag med statligt ägande. Stockholm: Finansdepartementet.
- Regeringskansliet (2022a). "Nya satsningar på Industriklivet stöttar industrins klimatomställning". 4 november. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2022/11/nya-satsningar-pa-industriklivet-stottar-industrins-klimatomstallning/>.
- Regeringskansliet (2022b). "Statens ägarpolicy". Ur *Verksamhetsberättelse för bolag med statligt ägande*. Stockholm: Finansdepartementet.
- Regeringskansliet (2023a). "Regeringen tog emot Klimatpolitiska rådets årliga rapport". 29 mars. <https://www.regeringen.se/pressmeddelanden/2023/03/regeringen-tog-emot-klimatpolitiska-radets-arliga-rapport/>.
- Regeringskansliet (2023b). "LKAB – Samhällsomvandling i samförstånd". Bilaga till Skr. 2022/23:140, *2023 års redogörelse för företag med statligt ägande*. Finansdepartementet.
- Regionfakta (2023). "Största arbetsgivare i Kiruna kommun 2022". <https://www.regionfakta.com/norrbottnens-lan/norrbottnens-lan/kiruna/arbete1/kommunens-15-storsta-arbetsgivare/>.
- RiR 2012:10. *Statens försäljningar av apotek*. Dnr: 31-2010-0484. Stockholm: Riksrevisionen.
- RiR 2015:15a. *Regeringens hantering av risker i statliga bolag*. Dnr: 31-2014-1203. Stockholm: Riksrevisionen.
- RiR 2015:15b. "Bilaga 3. Regeringsformen som bedömningsgrund vid granskning av regeringens hantering av risker i statliga bolag". I *Regeringens hantering av risker i statliga bolag*. Dnr: 31-2014-1203. Stockholm: Riksrevisionen.
- RiR 2017:1. *Statens bolagsinnehav – Aktualiteten i det statliga bolagsinnehavet*. Dnr: 3.1.1–2016–0151. Stockholm: Riksrevisionen.
- RiR 2017:34. *Omvandlingen av Kiruna och Malmberget – bristande underlag hos regeringen och LKAB*. Dnr: 3.1.1-2017–0013. Stockholm: Riksrevisionen.

- RIR 2022:18. *Statliga insatser för att stimulera investeringar i datacenter*.
Dnr: 3.1.1-2021–0760. Stockholm: Riksrevisionen.
- Rogeman, A. (2021). *Mönstersamhället*. Natur & Kultur.
- Rothstein, B. och L. Vahlne Westerhäll (red.) (2005). *Bortom den starka statens politik?*
Stockholm: SNS Förlag.
- Sandström, J. och C. Persson (2021). "Corporate paternalism on the rocks: A historical analysis of power relations in a mining town". *Management & Organizational History*, 16(3–4), s. 183–203.
- Segerstedt, E. (2020). *Small Town, Big Move: Constructions of Place in Transiting Mining Communities*. Luleå tekniska universitet.
- Sjöholm, J. (2019). "Norrbotten's Technological Megasytem". *TICCIH Bulletin*, 85, s. 3–6.
- Solbär, L., P. Marciano och M. Pettersson (2019). "Land-use planning and designated national interests in Sweden: Arctic perspectives on landscape multifunctionality". *Journal of Environmental Planning and Management*, 62(12), s. 2145–2165.
- SOU 1948:32. *Utredning rörande skogstillgångarna och skogsindustriernas råvaruförsörjning i övre och mellersta Norrland m.m.* Norrlandskommittén. Stockholm: Jordbruksdepartementet.
- SOU 1955:9. *Frågan om statsinlösen av stamaktierna i LKAB*. Finansdepartementet.
- SOU 1962:12. *Aspekter på utvecklingsbiståndet. Promemorior överlämnade till beredningen för internationella biståndsfrågor*. Stockholm: Utrikesdepartementet.
- SOU 1971:75. *Hushållning med mark och vatten*. Stockholm: Civildepartementet.
- SOU 1975:60. *Energiberedskap i kristid. Betänkande av energiberedskapsutredningen*. Stockholm: Allmänna förlaget.
- SOU 1978:68. *Industri till Norrbotten: En studie kring effekterna av Stålverk 80 och utvecklingen i Luleåregionen*. Expertgruppen för regional utredningsverksamhet. Stockholm: Allmänna förlaget.
- SOU 1984:33. *Handla med tjänster: Betänkande av tjänsteexportutredningen*. Stockholm: Civildepartementet.
- SOU 1992:104. *Vår uppgift efter Rio: Svensk handlingsplan inför 2000-talet*. Stockholm: Allmänna förlaget.
- SOU 1998:170. *Gröna nyckeltal för en ekologiskt hållbar utveckling*. Betänkande av Miljövärdsberedningen. Stockholm: Miljödepartementet.
- SOU 2000:36. *Regionalpolitik i praktiken: ett länsperspektiv*. Rapport 7. Stockholm: Näringsdepartementet.

- SOU 2001:77. *Handel med elcertifikat – ett nytt sätt att främja el från förnybara energikällor*. Stockholm: Finansdepartementet.
- SOU 2016:21. *Ett klimatpolitiskt ramverk för Sverige – Delbetänkande av Miljömålsberedningen*. Stockholm: Regeringskansliet.
- Sundén, D. (2024). "Till vilket elpris som helst? Effekter på den nordiska elmarknaden av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland". Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Svensk vindenergi (2023). "Vindkraft – nya projekt 2017–2023".
<https://svenskvindenergi.org/wp-content/uploads/2020/12/Ny-vindkraft-2017-2023-2020-12-02.pdf>.
- SvD (1976). "Koldioxiden det glömda hotet från Stålverk 80". 12 maj.
- SvD (2023). "Så blev regeringen rundad av LKAB". 7 mars.
- SVT (2023). "Den gröna kapplöpningen". 14 maj.
<https://www.svtplay.se/klipp/K5d7kAp/samtal-om-den-grona-kapplopningen>.
- SVT (2017). "Riksrevisionen kritiserar LKAB och regeringen". 20 december.
- Sveriges Radio (2012). "Sprickorna närmar sig Kiruna snabbare än väntat". 13 augusti.
<https://sverigesradio.se/artikel/5243223>.
- Sveriges Radio (2022a). "LKAB:s vd: Ska vi ha en grön omställning?" Ekots lördagsintervju. 26 november. <https://sverigesradio.se/avsnitt/lkabs-vd-ska-vi-ha-en-gron-omstallning>.
- Sveriges Radio (2022b). "Kinesiskt bolag enskilt största ägare av svensk vindkraft – utvecklingen oroar". 5 maj. <https://sverigesradio.se/artikel/kinesisk-agare-av-vindkraft-oroar>.
- Syssner, J. (2008). "Regionen och dess medborgare". I. Andersson, R. Ek och I. Molina (red.), *Regionalpolitikens geografi. Regional tillväxt i teori och praktik*. Lund: Studentlitteratur.
- Söderholm, K. och E. Wihlborg (2015). "Policy for Sociotechnical Transition: Implications from Swedish Historical Case Studies". *Journal of Environmental Policy & Planning*, 17(4), s. 452–474.
- Söderholm, P. (2008). "The political economy of international green certificate markets". *Energy Policy*, 36:2051–2062.
- Sörlin, S. (1988). *Framtidslandet. Debatten om Norrland och naturresurserna under det industriella genombrottet*. Stockholm: Carlsson.
- Thurfjell, D. (2020). *Granskogsfolk: Hur naturen blev svenskarnas religion*. Stockholm: Norstedts.

- Tidholm, P. (2014). *Norrland: Essäer & reportage*. Luleå: Teg Publishing.
- Viklund, R. (2012). *Riksgränsbanans elektrifiering. Stat och företag i samverkan 1910–1917*. Doktorsavhandling. Luleå tekniska universitet.
- Viklund, R., L. Brunnström och J. Sjöholm (2015). *The Book of LKAB: The National Treasure of Sweden*. Kiruna och Stockholm: LKAB.
- Waara, L. (1980). *Den statliga företagssektorns expansion: Orsaker till förstatliganden i ett historiskt och internationellt perspektiv*. Doktorsavhandling. Uppsala universitet.
- Wahlberg, M. (1996). *Jordens förbannelse: En kulturell studie av moderniseringsprocesser i Norrbotten*. Stockholm: Almqvist och Wiksell.
- Warde, P. (2019). "Energy regimes in the Fennoscandian north, c. 1900–2015". I E. C. H. Keskkitalo (red.), *The Politics of Arctic Resources. Change and Continuity in the 'Old North' of Northern Europe* (s. 140–160). London: Routledge.
- Wennström, H.-F. (red.) (1986). *Spår: Järnvägmuseivänners årsbok 1986*. Malmö: Frank Stenvalls Förlag.
- Westerberg, R. (2020). *Socialists at the Gates: Swedish Business and the Defense of Free Enterprise, 1940–1985*. Doktorsavhandling. Handelshögskolan i Stockholm.
- Wray, D. (1996). "Paternalism and Its Discontents: A Case Study". *Work, Employment and Society*, 10(4), s. 701–715.
- Zannakis, M. (2009). *Climate Policy as a Window of Opportunity Sweden and Global Climate Change*. Doktorsavhandling. Göteborgs universitet.
- Åberg, C. J. (2006). *Berättelser från 1900-talet*. Stockholm: Atlantis.
- Åström, Y. (1964). *Hjalmar Lundbohm: Lapplands okronade kung*. Stockholm: LT:s Förlag.
- Östman, L. (2014). *De ekonomiska styrformerna och samhället. Organisationer under två sekler i Sverige*. Everöd: Recito Förlag.

Om författaren

Johan Gärdebo är historiker och forskare vid Institutionen för idé- och lärdomshistoria, Uppsala universitet, Research Fellow vid Clare Hall, University of Cambridge, samt gästforskare vid Cambridge Centre for History and Economics. Inom teknikhistoria har Johan analyserat statligt ägda bolag och export med särskilt fokus på utvecklingen under 1900-talet av Sveriges internationella miljöprofil. Han granskar även omställningspolitik i relation till svensk socialdemokrati och fackföreningar, konflikter i europeisk jordbrukspolitik samt rättvisefrågor i miljö- och klimatförhandlingar.

Fil.dr Johan Gärdebo · Cambridge University, Clare Hall · Herschel Road, CB3 9AL ·
Cambridge, Storbritannien · Epost: jg2077@cam.ac.uk · Tel: +46 76-276 40 68

KAPITEL 4

Stålintustrins upprepning av historien?*

CHRISTIAN SANDSTRÖM

Om författaren

Se sid. 149 för en presentation.

* Citeras som: Sandström, Christian (2024), "Stålintustrins upprepning av historien".
I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 117–149).
Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning och centrala resultat

Kapitlet beskriver stålindustrins tekniska och ekonomiska utveckling under 1900-talet. Med hjälp av historiebegrivningen identifieras ett antal lärdomar och mönster som kan vara bra att känna till för beslutsfattare inom politik och näringsliv.

Det pågår i dag en subventionskapplöpning inom stålindustrin. Så var fallet även decennierna efter andra världskriget. De västeuropeiska länderna tävlade då om att bygga allt större stålverk. Resultatet blev kraftigt överetablering och kroniska lönsamhetsproblem.

1970-talets stora svenska industriprojekt, Stålverk 80 i Luleå, har blivit sinnebilden för misslyckad industripolitik. Stålverk 80 kan ses som det svenska svaret på subventionskapplöpningen. Lyckligtvis kvävdes projektet i sin linda.

I studien identifieras åtta likheter och två skillnader mellan dagens politiska satsningar på vad som marknadsförs som fossilfritt stål och Stålverk 80. Till att börja med legitimerades de båda projekten med snarlika argument: 1) sysselsättning, 2) vidareförädling och 3) regionalpolitiska effekter. I båda fallen går det att se att projekten baserades på 4) bristfälliga underlag, 5) att man ignorerade energiåtgången och 6) att det fanns begränsade incitament att agera ansvarsfullt. Beträffande den allmänna opinionen rådde 7) överoptimism och en frånvaro av kritisk diskussion och i båda fallen 8) avfärdades kritik med hänvisning till sekretess.

Det finns två betydande skillnader mellan Stålverk 80 och dagens vätgasbaserade stålprojekt: miljöargumentet ges stor tyngd och EU har en central roll.

Studien påvisar även tendenser till ökande protektionism, såväl i EU som globalt. Detta gäller inte minst stålindustrin där subventioner i dagsläget måste betraktas som en del av ett pågående handelskrig. Även i detta hänseende har stålindustrin hamnat i något av ett 70-talsscenario. Bakom retoriken om grönt stål döljer sig således en subventionskapplöpning med därtill kopplad protektionism. Parallellerna till 1970-talets misslyckade industripolitik är tydliga, vilket borde stämma till eftertanke.

Centrala resultat

- Studien ger ett historiskt perspektiv på de satsningar som nu görs i Sverige och Europa på så kallat fossilfritt stål.
- Stålintustrin har tidigare befunnit sig i en subventionskapplöpning där länder tävlat om att bygga fler och allt större stålverk. Resultatet av denna efterkrigstidsexpansion blev en bransch präglad av låg lönsamhet och strukturell överkapacitet. När många länder samtidigt stöttar sina företag ökar riskerna och branschen blir mindre attraktiv.
- Stålverk 80 framstår i efterhand som just en sådan satsning, där målet var att Norrbottens Järnverk AB (NJA) skulle tiodubbla kapaciteten från tidigt 70-tal och fram till 1980.
- Planerna kvävdes i sin linda redan 1976 och i efterhand framstår detta som ett riktigt beslut då prognoserna om fortsatt snabbt växande efterfrågan framstod som alltmer orimliga.
- I studien identifieras åtta likheter mellan dagens pågående stålsatsningar och Stålverk 80:
 - I båda fallen anfördes tre snarlika argument: sysselsättning, vidareförädling och regionalpolitiska effekter.
 - I båda fallen såldes projekten in baserat på bristfälliga underlag, energiåtgången ignorerades och politikernas incitament att agera ansvarsfullt var svaga.
 - Samhällsklimatet präglades av överoptimism och kritik lyste med sin frånvaro.
 - De få kritiska invändningarna avfärdades med hänvisning till sekretess.
 - Politikerna rörde sig i flock; samtliga partier stödde satsningen när den sattes.
- Det finns två betydande skillnader mellan Stålverk 80 och Hybrit – miljöargumentet anfördes aldrig för Stålverk 80 och i fallet Stålverk 80 var EU helt frånvarande både som politisk kraft att ta hänsyn till och som finansiär.
- Det har skett betydande teknisk innovation inom stålintustrin under de senaste 50 åren, inte minst har introduktionen av EAF-tekniken (Electric Arc Furnace; ljusbågsugnstekniken) förändrat dynamiken i branschen. EAF-teknikens CO₂-avtryck är väsentligt lägre än vid traditionell ståltillverkning. Den har primärt utvecklats av nya företag medan de etablerade aktörerna i stället fokuserade på den etablerade tekniken.

- EAF-teknikens framväxt visar att teknikskiften är oförutsägbara och att de befintliga bolagen sällan har de incitament eller kompetenser som gör att de utvecklar ny teknik.
- De nya företag som kommersialiserade EAF-tekniken fick inga subventioner och var aldrig föremål för storslagna invigningar eller del av regionalpolitiska satsningar.
- Risken är därför stor att satsningarna på vätgasbaserat stål i efterhand visar sig vara en felsatsning.
- Dagens stålsatsningar bör ses i ljuset av tilltagande protektionism i världen.
- Under perioden 2009–2023 har antalet handelshindrande politikåtgärder varit fem gånger fler än antalet handelsfrämjande åtgärder.
- Stålintustrin är inget undantag, tvärtom är stålintustrin den bransch som varit föremål för mest protektionism.
- I genomsnitt har antalet handelshindrande politikåtgärder för stålintustrin varit nio gånger fler än antalet handelsfrämjande åtgärder under perioden 2009–2023. Under perioden 2016–2023 genomfördes i snitt 11,7 gånger fler handelshindrande än handelsfrämjande politikåtgärder inom stålintustrin. Med andra ord har protektionismen accelererat under de senaste åren.
- 56 procent av de protektionistiska åtgärderna i världen utgörs av subventioner, 18 procent av exportstöd och åtta procent av tullar.
- Stöden till Hybrit, H2 Green Steel och liknande initiativ i Europa kan därför betraktas som en del av en större trend mot ökad protektionism och interventionistisk industripolitik.

Summary and key findings

The study describes the technical and economic development of the steel industry in the 20th century. A number of lessons and patterns that may be useful to political and business decision-makers are identified.

Today, there is a subsidy race in the steel industry. This was also the case in the decades after the Second World War. Western European countries competed to build ever larger steel plants. This resulted in severe over-establishment and chronic profitability problems.

The major Swedish industrial project of the 1970s, Stålverk 80 in Luleå, has become the epitome of failed industrial policy. Stålverk 80 can be seen as the Swedish contribution to the then subsidy race. Fortunately, the project was stifled in its infancy.

The study identifies eight similarities and two differences between current policy initiatives on what is marketed as fossil-free steel and Stålverk 80. First, both projects were legitimized with similar arguments: 1) employment, 2) further processing, and 3) regional policy effects. In both cases, the projects were based on 4) insufficient data, 5) ignoring energy consumption, and 6) weak incentives among parties involved to act responsibly. In terms of public opinion, there was 7) over-optimism and an absence of critical discussion, and in both cases 8) criticism was dismissed on the grounds of confidentiality.

There are two significant differences between Stålverk 80 and today's hydrogen-based steel projects: the environmental argument is given great weight, and the European Union has a central role.

The study also points to a trend towards increased protectionism, both in the EU and globally. This applies not least to the steel industry, where subsidies are now an integral part of an ongoing trade war. In this respect too, the steel industry has ended up in something of a 1970s scenario. The green steel rhetoric thus conceals a subsidy race with associated protectionism. There are clear parallels with the failed industrial policy of the 1970s, which should give pause for thought.

Key findings

- The study provides a historical perspective on the efforts currently being made in Sweden and Europe to produce so-called fossil-free steel.
- The steel industry has previously been in a subsidy race where countries competed to build more and bigger steel plants. The result of this post-war expansion was an industry characterized by low profitability and structural overcapacity. When many countries simultaneously support their companies, risks increase, and the industry becomes less attractive.
- In retrospect, Stålverk 80 appears to be just such a venture, where the goal was for Norrbottens Järnverk AB (NJA) to increase capacity tenfold from the early 1970s until 1980.
- The plans were nipped in the bud as early as 1976, and in retrospect this appears to have been the right decision as the forecasts of continued rapid growth in demand became increasingly unrealistic.
- The study identifies eight similarities between current steel initiatives and Stålverk 80:
 - Similar arguments were put forward regarding employment, further processing, and regional policy effects.
 - In both cases, support for the projects was solicited on the basis of inadequate evidence, energy consumption was ignored, and the incentives for politicians to act responsibly were weak.
 - The social climate was characterized by over-optimism and criticism was absent.
 - The few critical objections were dismissed on the grounds of confidentiality.
 - Politicians moved in packs; all parties supported the initiative when it was launched.
- There are two significant differences between Stålverk 80 and Hybrit: environmental concerns were never invoked for Stålverk 80, and in the case of Stålverk 80 the EU was absent both as a political force to consider and as a financier.
- There has been significant technological innovation in the steel industry over the last 50 years, not least the introduction of Electric Arc Furnace (EAF) technology has changed the dynamics of the industry. The CO₂ footprint of EAF technology is significantly lower than traditional steel production. It has been primarily developed by new companies while large incumbents continued to rely on the established technology.

- The emergence of the EAF technology shows that technology shifts are unpredictable and that existing companies rarely have the incentives or skills to develop new technologies.
- The new companies that commercialized EAF technology received no subsidies and were never subject to grand openings or part of regional policy initiatives.
- There is therefore a high risk that the investment in hydrogen-based steel will turn out to be a mistake.
- Today's investments in steel production should be seen in the context of growing protectionism in the world.
- Over the period 2009–2023, the number of trade restrictive policy measures were five times higher than the number of trade facilitation measures.
- The steel industry is no exception; on the contrary, the steel industry is the sector that has been subject to the most protectionism.
- On average, the number of trade restrictive policy measures for the steel industry has been nine times more than the number of trade facilitating measures over the period 2009–2023. Over the period 2016–2023, on average 11.7 times more trade restrictive than trade facilitating policy measures were implemented in the steel industry. Hence, protectionism has accelerated in recent years.
- 56% of protectionist measures worldwide consist of subsidies, 18% of export subsidies and 8% consist of tariffs.
- Support for Hybrit, H2 Green Steel and similar initiatives in Europe are thus part of a wider trend towards protectionism and interventionist industrial policies.

Introduktion

Stålindustrin befinner sig för närvarande i en form av subventionskapplöpning mellan olika länder och regioner i världen. För att verkligen förstå det som i dag sker gällande riktade stöd till vätgasbaserade teknologier och olika försök att göra "grönt" stål behöver dagens utveckling ses som en del av ett historiskt mönster.

SSAB:s, LKAB:s och Vattenfalls försök att göra fossilfritt stål och försök att erhålla offentligt stöd från svenska staten och EU kan ses som ett agerande som sker inom ramen för en makroekonomisk kontext där subventioner till ståltillverkning och annan basindustri åtnjuter ett allt starkare politiskt stöd.

SSAB:s vd Martin Lindqvist är i Dagens industri kritisk till att den tyska konkurrenten Salzgitter får ett stöd på närmare 11 miljarder kronor från tyska staten. Stödet är till för att sätta upp en anläggning för direktreduktion av vätgas samt en ljusbågsugn, vilken beräknas vara färdig om fyra år (Dagens industri, 2022). Då stödet är en del av EU:s vätgasstrategi bryter det inte mot EU:s statsstödsregler. Lindqvist menar att "[d]et är otroligt viktigt med samma förutsättningar för alla" och påtalar att sådana stöd snedvrider konkurrensen.

Lindqvists syn och den senaste tidens diskussioner om subventioner visar att stålindustrins utveckling behöver analyseras ur ett historiskt perspektiv. Branschen har befunnit sig i en liknande situation tidigare och det finns lärdomar att dra både gällande subventionernas och protektionismens effekter och teknikutvecklingen de senaste 50 åren.

I denna rapport analyseras stålindustrin utifrån ett historiskt perspektiv. I nästa avsnitt beskrivs efterkrigstidens subventionskapplöpning, hur den kulminerade på 1970-talet för att i nästa skede försätta branschen i ett tillstånd av överkapacitet och bristande lönsamhet. Detta tillstånd varade i flera decennier och krävde i sig omfattande direkta och indirekta stödåtgärder till de regioner, kommuner, fastighetsbolag och människor som drabbats.

I det efterföljande avsnittet redogörs för en del av diskussionerna runt det svenska prestigeprojektet Stålverk 80, vilket initierades precis när efterkrigstidens subventionskapplöpning nådde sin kulmen. Retoriken och realiteten analyseras här med utgångspunkt i den genomlysning som gjordes då av nationalekonomerna Erik Ruist, Lars Wohlin och Ingemar Ståhl (1975).

Avsnitt fyra beskriver övergången till ljusbågsugnar inom stålindustrin. Här visas att det mest genomgripande tekniksiftet i branschen de senaste 50 åren, som dessutom medfört en mycket renare tillverkningsprocess, genomfördes utan vare sig subventioner eller invigningstal från politiker.

Det femte avsnittet behandlar stålindustrin ur ett handelspolitiskt perspektiv. Här visas att stålindustrin är föremål för betydande protektionistiska strömningar och att subventioner utgör den absolut viktigaste formen av protektionism. Storslagna satsningar på stålindustrin bör med andra ord ses i ljuset av en allmän trend mot ökande protektionism. I det sjätte avsnittet redovisas de viktigaste slutsatserna.

Stålindustrin under efterkrigstiden

Under efterkrigstidens första decennier medförde framväxten av masskonsumtion att stålindustrin skiftade över till tillverkning av tunnplåt. I kombination med efterkrigstidens behov av återupbyggnad kom denna strukturella förändring av efterfrågan på stål att medföra en kraftigt ökad efterfrågan på tunnplåt.

Produktionen av stål kräver tillgång till järnmalm och kol. Då kolet var billigast i USA och stora malmfyndigheter upptäcktes i Australien behövde de nya stålverken förläggas till kusterna för att snabbt få tillgång till de råvaror som behövdes. Tidigare hade stålverken varit lokaliserade i anslutning till de gruvfält där malmen bröts.

Den växande efterfrågan och de allt högre kraven på stordriftsfördelar medförde att det byggdes större stålverk i Europa. Flera av de nya anläggningarna som anlades i USA under 60-talet var 4–5 gånger större än sina föregångare. Då stålet och särskilt tunnplåten var en så viktig insatsvara i flera av efterkrigstidens blomstrande industrier innebar de nya stora stålverken att hela regioner stärktes. Exempelvis valde Volvo att förlägga en fabrik i den belgiska staden Gent delvis på grund av den goda regionala tillgången på stål.

De stora kustbaserade stålverken var med andra ord en framgång. Då alla regioner inte växte lika framgångsrikt blev stöd till stålindustrin och försöken att etablera nya stålverk de europeiska politikernas sätt att försöka skapa tillväxt och vinna röster.

Inte sällan drevs satsningarna också av en regionalpolitisk logik. Eftersom ett stort stålverk hade etablerats i Dunkerque i norra Frankrike var det inte mer än rättvist att södra Frankrike också skulle ha ett stålverk. I Frankrike projekterade man för ett nytt jättestålverk som skulle vara dubbelt så stort som de nya stora verk som precis färdigställts. Redan under tidigt 70-tal blev det dock tydligt att kostnaderna skenade och att det var nödvändigt att minska ambitionerna. Likartade storslagna satsningar gjordes av den nationaliserade brittiska stålindustrin.

Investeringarna i Italien var minst lika omfattande. I södra Italien började man bygga anläggningar med en kapacitet på 20–25 miljoner ton, vilket var mer än dubbla storleken jämfört med de dittills största stålverken.

Totalt planerade man i Europa under början av 1970-talet för en expansion med mer än hundra miljoner ton. Det svenska prestigeprojektet Stålverk 80 behöver ses i ljuset av dessa satsningar. Ytterst skedde satsningen på toppen av en expansionsfas och en subventionsvåg som i efterhand framstår som orealistisk.

Såväl efterfrågan på stål som produktionen av stål kom sedan att flytta till de länder som skulle komma att industrialiseras från 1980 och framåt, det vill säga främst Sydostasien. Produktionsprocesserna effektiviserades också i och med stränggjutningens framväxt och detta innebar minskade krav på volymexpansion.

I den proposition från 1974 som lade grunden för satsningen på Stålverk 80 beskriver regeringen hur efterfrågan på stål bedömdes öka kraftigt under de kommande tio åren:

Även med dessa reservationer kan det dock konstateras att mycket stora kapacitetstillskott måste ske inom världens stålindustri under det närmaste decenniet för att möta den växande stålefterfrågan. (Prop. 1974:64, s. 9)

Mot bakgrund av att detta sedan inte blev fallet framstår det i efterhand som rätt och riktigt av den borgerliga regeringen att dra i bromsen för Stålverk 80 redan 1976.

Lärdomar

Av de anläggningar som byggdes i Sydfrankrike, Syditalien och i norra England återstår i dag blott ruiner. Redan framåt mitten av 70-talet framstod de tidigare prognoserna om fortsatt ökande efterfrågan som orealistiska. Regionalpolitiska överväganden kom i kombination med en subventionsboom därför att resultera i en kraftig överkapacitet för den europeiska stålindustrin, vilket i sin tur påverkade lönsamheten för hela sektorn under de kommande decennierna (Jörnmark, 2023).

I takt med att EU och nationella regeringar ökar sina stöd till stålindustrin finns det en överhängande risk att Europa bygger in sig i en överkapacitet liknande den som uppstod efter det sena 60-talets subventionsvåg. Risken för överetablering och relaterad priskonkurrens är därför påtaglig. I en sådan situation är det i regel endast de som har betydande stordriftsfördelar som kan överleva en lång och plågsam utslagningsprocess. Det är svårt att se hur en liten spelare som SSAB ska hävda sig i ett sådant scenario eller hur det ska finnas plats för nya aktörer såsom H2 Green Steel. Man kan också fråga sig hur mindre aktörer ska kunna ta de stora utvecklingskostnaderna i ett tidigt skede och hamna rätt i den evolutionära sökprocess som stålindustrin genomgår.

En jämförelse mellan Stålverk 80 och Hybrit

Den svenska satsningen Stålverk 80 behöver ses i ljuset av ovanstående beskrivning av stålindustrins utveckling under efterkrigstiden.

När Stålverk 80 initierades 1974 var det Sveriges största industripolitiska satsning någonsin. Precis som i andra länder byggde projektet på idén om att kraftigt expandera en befintlig anläggning längs en kuststräcka i syfte att lägga grunden för framtida tillväxt. Målet var att tiofaldiga stålproduktionen vid Norrbottens Järnverk i Luleå (NJA) inom tio år.

I Sverige rådde i stort sett konsensus gällande Stålverk 80. Det fanns emellertid tre forskare, Erik Ruist, Ingemar Ståhl och Lars Wohlin som året efter att projektet initierades (1975) publicerade en analys, utgiven av Industriförbundet, där de granskar Stålverk 80-projektets förutsättningar. Ruist var professor i statistik vid Handelshögskolan i Stockholm,¹ Ståhl professor i nationalekonomi i Lund medan Lars Wohlin var docent i nationalekonomi och vd för Industriens Utredningsinstitut (IUI).

I dag är det nästan svårt att inse hur stor Stålverk 80-satsningen egentligen var. Mätt i 1973 års priser skulle Stålverk 80 totalt kosta 2,7 miljarder kronor, vilket motsvarade omkring 30 procent av Sveriges industriinvesteringar vid denna tid. Omräknat till dagens penningvärde hade Stålverk 80 kostat ungefär 20 miljarder kronor. Om kostnaden för Stålverk 80 hade periodiserats över en femårsperiod hade det rört sig om sex procent av industrins investeringar varje år. Enbart H2 Green Steels investering på 60 miljarder kronor är med andra ord tre gånger större än Stålverk 80. LKAB:s satsning på järnsvamp är 6–20 gånger större beroende på var i bolagets angivna kostnadsintervall på 150–400 miljarder kronor investeringen hamnar.²

Redan 1976 bordlades Stålverk 80 av den då nytilträdde borgerliga regeringen. Under åren 1974–1976 hade man emellertid redan hunnit riva delar av Luleås innerstad och påbörja en ombyggnation för att anpassa staden till Stålverk 80:s behov. Mot bakgrund av de öden motsvarande satsningar i andra länder mötte var det rätt att kväva Stålverk 80 i sin linda.

¹ Erik Ruist började sin karriär som forskare vid IUI innan han blev chef för Jernkontorets statistikavdelning.

² I sammanhanget kan noteras att H2 Green Steel ursprungligen angav en total kostnad på 25 miljarder kronor för sin investering. Att den faktiska kostnaden för en industriinvestering blir betydligt högre än vad som ursprungligen angivits är snarare regel än undantag. Detta är viktigt att ha i åtanke även när det gäller LKAB:s beräknade investeringskostnad.

Den som är intresserad av dynamiken bakom dylika industripolitiska satsningar kan med fördel ta en närmare titt på debatten kring Stålverk 80 och de olika samhällsekonomiska argument som användes.

Åtta likheter mellan Stålverk 80 och dagens stålsatsningar

Nedan identifieras åtta likheter mellan Stålverk 80 och de stålsatsningar som görs i dag.

1 Sysselsättning

Såväl Stålverk 80 som Hybrit motiveras av behovet av att skapa arbetstillfällen i avfolkningsregioner. I propositionen där Stålverk 80 beskrivs påtalas avfolkningen av Norrland som ett dilemma:

En minskning av sysselsättningstillfällena inom jord- och skogsbruk och stagnationen inom näringslivet i övrigt har fört med sig en betydande avflyttning från Norrbottens län. (Prop. 1974:64, s. 27)

Uppförandet av Stålverk 80 beräknades kräva motsvarande 3 000 manår av arbete (Prop. 1974:64). Exklusive själva uppförandet av Stålverk 80 beräknades att investeringarna totalt skulle skapa 8 000 arbetstillfällen.

Det har hela tiden funnits förhoppningar om att dagens stålsatsningar i Norrbottens län ska ge nya arbetstillfällen. Den som söker i Retriever Mediearkivet på artiklar som innehåller termerna "fossilfritt stål" och "arbetstillfällen" får 365 träffar år 2022 och till och med september 2023 194 träffar.

SVT Nyheter Norbotten (2021) beskriver glädjen i Gällivare när kommunen "vunnit dragkampen" om mångmiljardprojektet Hybrit:

På Gällivare kommun jublar man då placeringen av Hybrit kommer att skapa många nya arbetstillfällen. Enligt LKAB:s vd Jan Moström handlar det om runt 150 till 200 jobb.

2 Förädling av råvaror

Att inte enbart gräva upp malmen utan även förädla den framförs som argument för både Stålverk 80 och Hybrit. Vid upprinnelsen till Stålverk 80 var det endast 0,6 miljoner ton av LKAB:s årsproduktion på 32 miljoner ton som förädlades i Sverige. Om en större andel av dessa 32 miljoner ton förädlades i Sverige skulle det enligt Stålverk 80:s förespråkare skapas fler arbetstillfällen och ökade exportintäkter:

En vidareförädling av malmen i Sverige är motiverad från företagsekonomiska och sysselsättningspolitiska synpunkter och ger dessutom ökade exportintäkter från den norrbottenska malmen... Stålverket bör mot denna bakgrund uppföras av NJA och staten bör medverka till dess finansiering. (Prop 1974:64, s. 32)

Liknande resonemang har förts för att motivera investeringarna i vätgasbaserat stål i Norrbottens län. Vattenfalls dåvarande vd Magnus Hall uttryckte sig på följande vis när Hybrit hade fått 200 miljoner för att utveckla vätgaslager:

Nu investerar vi med samhällets stöd i nästa pusselbit för värdekedjan där vätgas är en avgörande del för att lyckas med initiativet och förädla Sveriges konkurrenskraftiga fossilfria elproduktion. (Metalliska Material, 2019)

Som konstaterats finns det begränsad bärkraft i förädlingsargumentet, inte minst med tanke på att detta steg i produktionsprocessen primärt är kapital- och energiintensivt snarare än kunskapsintensivt. Precis som med Stålverk 80 kommer antalet arbetstillfällen att bli begränsat, inte minst med tanke på att de nya jobben är så kapital- och energiintensiva. Vid en jämförelse mellan elkonsumtionen per sysselsatt i Skåne och LKAB:s planerade produktion av vätgasbaserad järnsvamp beräknas elanvändningen per arbetstillfälle att vara 26 000 gånger högre hos LKAB än i dagens Skåne.

3 Regionalpolitik

En grundtanke är att stora stålverk i Norrland ska ge upphov till så kallade överspillningseffekter. Fler företag antas skapas i anslutning till verksamheten, vilket i förlängningen ska möjliggöra en industriell återhämtning. I propositionen där Stålverk 80 beskrevs används regionalpolitiska argument:

Genom Stålverk 80 och andra satsningar på basindustri får länet bättre strukturella förutsättningar för den näringslivsutveckling som är nödvändig för en gynnsammare folkmängdsutveckling och sysselsättningsnivå. (Prop. 1974:64, s. 19)

Alla dessa argument sammanfattas på ett bra sätt i följande citat från Ingvar Svanberg (S), ordförande i riksdagens näringsutskott:

Jag ser denna investering som synnerligen värdefull för hela vårt land – att vi längre förädlar en sådan råvara som malm, att vi skapar sysselsättningstillfällen – och jag ser den som mycket värdefull för Norrbotten. Äntligen görs genom Stålverk 80 en satsning som verkligen är avgörande i regionalpolitiken: 5 000 nya sysselsättningstillfällen skapas i länet. Detta län med sina stora tillgångar på malm och trä blir nu också ett industrilän – en utveckling som borde ha kunnat komma långt tidigare (Svanberg citerad i Ruist m.fl., 1975, s. 89).

Ruist, Ståhl och Wohlin (1975) vederlägger samtliga dessa argument. De menar att förädling av råvaror inte är ett självändamål – i en global ekonomi handlar konkurrenskraft snarare om att dra nytta av sina komparativa fördelar och göra det man är bäst på:

Det inses lätt att en sådan princip leder till orimliga resultat för internationell arbetsfördelning och nationell tillväxt. (s. 126)

Forskarna visar också att antalet arbetstillfällen som skapas i själva verket är ganska begränsat. Totalt rörde det sig om 2 300 arbetstillfällen, vilket motsvarade försumbara 0,2 procent av industrins totala sysselsättning. Den främsta orsaken till detta var att industriarbetstillfällen är mycket kapitalintensiva. Enligt Ruist m.fl. hade samma mängd kapital skapat omkring fyra gånger fler arbetstillfällen om det i stället hade allokerats till andra delar av ekonomin. Om man beaktar alternativkostnaden innebar Stålvverk 80 i själva verket en nettominskning av antalet arbetstillfällen.

4 Bristfälliga underlag

Ruist m.fl. (1975) visar gällande Stålvverk 80 att beslutsunderlaget för detta jätteprojekt var illa underbyggt:

Industriministerns uttalande att man i själva verket inte kan göra några ordentliga kostnadsberäkningar innan upphandlingen avslutats tyder på en alltför lättsinnig inställning till behovet av förkalkyler, på vilka beslut av denna karaktär måste grundas. (s. 16)

Sammanhanget är snarast att prövningen ägde rum i ett forum där debatten normalt inte sker i kalkyltermer utan med politiska argument som kan tänkas vädja till olika väljargrupper. (s. 93)

Gällande dagens satsningar på stålproduktion finns det också indikationer på att centrala delar av beslutsunderlaget är undermåliga. När Hybrit-projektet initierades skrev företagen i sin ansökan till Energimyndigheten att projektet "innebär en påtaglig inverkan på elsystemets funktion" (Wennblad, 2022). Man estimerade då att Hybrit skulle ta 15–20 TWh i anspråk. Enligt Vattenfall (2023) är prognosen nu 70 TWh, vilket motsvarar ganska precis hälften av Sveriges totala elförbrukning 2022. När Hybrit-företagen fick pengar lovade man bland annat att utreda hur elsystemet skulle påverkas, efter påtryckningar kunde Svenska Dagbladets Peter Wennblad få fram resultaten av detta arbete: 12 Powerpointbilder (Wennblad, 2022).

5 Energiåtgången ignoreras

Gällande såväl Hybrit som Stålverk 80 fanns inga tydliga svar gällande hur energiåtgången ska hanteras. Beträffande Stålverk 80 skriver Ruist m.fl.:

Det är därför kanske något förvånande att den väsentliga ökning av landets energiförbrukning fram till år 1980 som genereras av Stålverk 80 inte starkare kommit att uppmärksammas i de senaste årens energidebatt. (s. 134)

En ökad elförbrukning i energikrävande produktion i Norrland undandrar samtidigt elenergi i ett riksomfattande distributionssystem och medför utbyggnader av nya kärnkraftverk eller av mindre väbelägna vattenfall. (s. 136)

6 Svaga incitament att agera ansvarsfullt

Frånvaron av privat ägande innebär ytterst att man agerar mindre ansvarsfullt. Ruist m.fl. (1975) skriver om Stålverk 80:

De som fattat beslutet har därför mycket små för- och nackdelar kopplade till det slutgiltiga ekonomiska utfallet av projektet. (s. 1)

En viktig orsak till att politikerna har begränsad förmåga att agera ansvarsfullt är att vid en politiskt bestämd fördelning av medel ställs en satsning i praktiken inte mot något alternativ. Det framställs i stället som att det bara finns positiva effekter. Ruist m.fl. visar hur detta mönster präglade debatten kring Stålverk 80:

Problemet är inte att övertyga någon om att han ska satsa sina egna eller företagets medel i projektet utan snarare att han kan vinna eller förlora väljare och opinionsstöd om han är för eller emot projektet. Det måste därvid betonas att valsituationen var mycket förenklad: något konkret motalternativ till Stålverk 80 förelåg inte. Den normala situation som finns på kreditmarknaden där det gäller att välja ett bland flera utvecklingsalternativ för företaget eller mellan olika företag fanns således inte annat än högst indirekt. (s. 93)

I debatten om fossilfritt stål har förespråkare för satsningarna hänvisat till vätgasbaserat stål som fossilfritt. Detta kan dock endast vara sant om alternativa användningar av elektriciteten ignoreras (Henrekson och Sandström, 2023). Den som tar alternativkostnader i beaktande ser emellertid att det finns betydligt bättre sätt att sänka utsläppen av koldioxid. Enligt Björn Karlsson vid Högskolan i Gävle skulle ersättning av kolkraft i andra länder leda till en 2,5 gånger större utsläppsminskning av koldioxid än Hybrit (Ny Teknik, 2019). Karlssons beräkningar baseras på en elkonsumtion på 15 TWh. Då elbehoven för LKAB och H2 Green Steel i dag uppskattas till att bli betydligt högre (70 TWh respektive 13–17 TWh) finns det med andra ord sätt att minska koldioxidutsläppen som är 10–12 gånger mer effektiva (Henrekson m.fl., 2021).

7 Kritiska frågor bemöts med hänvisningar till sekretess

Ruist m.fl. (1975) beskriver i sin analys av Stålverk 80-projektet hur frågor gällande satsningens lämplighet inte besvarades med hänvisning till sekretess:

Kritiken för bristande information har sålunda tillbakavisats med hänvisning till de sekretesskrav som uppställer sig på en konkurrensutsatt marknad som den på vilken Stålverk 80 har att agera. (s. 184)

Under hösten 2022 och vintern 2023 begärde SvD:s ledarskribent Peter Wennblad ut ett antal mailkonversationer mellan Hybrit och Energimyndigheten. I dessa konversationer framstår det som att Hybrits företrädare själva får avgöra vad som ska vara sekretessbelagt (Wennblad, 2023).

8 Överoptimism och flockbeteende

När riksdagen skulle fatta beslut om Stålverk 80 våren 1974 var samtliga politiska partier positiva till satsningen. Moderaterna lade in en liten brasklapp om att fler intressenter borde involveras för att sprida ut riskerna. I övrigt var det ingen som uttryckte någon avvikande uppfattning.

Samma mönster kan skönjas gällande de nuvarande stålsatsningarna i Norrbotten. Såväl på EU-nivå som på det kommunala och nationella planet har beslutsfattare uttryckt sitt gillande. EU-kommissionens ordförande Ursula von der Leyen lyfte till och med specifikt fram Hybrit i sitt *State of the Union*-tal till Europaparlamentet år 2020:

För två veckor sedan inleddes ett unikt pilotprojekt för fossilfri stålproduktion i Sverige. I projektet ersätter man kol med vätgas för produktion av rent stål. Det här visar på vätgasens potential att ge industriföretagen nya miljövänliga möjligheter. (Europeiska kommissionen, 2020)

Dåvarande kommissionären med ansvar för EU:s Green Deal, Frans Timmermans, besökte Sverige våren 2022 i samband med att Hybrit erhållit stöd från EU. Han sa då till den församlade pressen:

Hybrit banar väg för en fundamental förändring i den globala stålindustrin [...] grönt stål är framtiden, och den framtiden är redan här. (Expressen TV, 2022)

Inga kritiska frågor ställdes från journalistkåren.

Sveriges Radio (2020) har beskrivit det vätgasbaserade stålet som "det största tekniksiftet inom stålindustrin på 1 000 år." Dåvarande statsminister Stefan Löfven uttryckte också sin uppskattning över projekten vid invigningen 2020:

Ur arbetslöshet och klimathot kan snart gröna jobb med nollutsläpp växa. Här finns en chans till export av inte bara stål utan kol utan också en världsunik teknik. (Regeringen, 2020)

Under 2022 och 2023 har viss kritik uttryckts, främst från Sverigedemokraterna men i viss utsträckning också från Moderaterna. Den överväldigande majoriteten i riksdagen har dock varit positiv till satsningarna på "fossilfritt" stål.

Gällande Stålverk 80 skriver Ruist m.fl. (1975):

Sammanfattningsvis har vi funnit de i propositionen återgivna lönsamhetsuppgifterna vara extremt optimistiska. (s. 14)

Regeringens egen utredare, nationalekonomidocenten Peter Bohm, som var expert på samhällsekonomiska lönsamhetsbedömningar, uttryckte också visst tvivel. I budgetpropositionen där Stålverk 80 fanns med hänvisade man lämpligt nog inte alls till Bohms utredning. Liknande optimism har präglat dagens stålsatsningar i Norrbottens län medan invändningar gällande konsekvenserna för Sveriges elförsörjning hittills inte kunnat bemötas på ett trovärdigt vis.

Två skillnader mellan Stålverk 80 och det vätgasbaserade stålet

Minst två betydande skillnader mellan Hybrit och Stålverk 80 kan identifieras.

1 Hållbarhetsargumentet

Den första skillnaden är hållbarhetsargumentet. Satsningarna på vätgasbaserat stål har liksom en stor del av EU:s olika åtgärdsprogram formulerats i termer av en satsning på hållbar utveckling och grön omställning. Miljö, klimat eller andra liknande hänsyn var inte faktorer som låg bakom satsningen på Stålverk 80.

2 EU:s roll

Den andra viktiga skillnaden är att Stålverk 80 saknade kopplingar till överstatliga instanser. På 1970-talet var Sverige inte med i Europeiska gemenskapen, och det EG som existerade på den tiden var någonting helt annat än dagens EU. Eftersom EU numera har rätt att införa klimattullar, initiera tvingande lagstiftning och allokera stora bidrag till olika

projekt är dagens beslutssituation annorlunda. I fallet Stålverk 80 skulle kostnaderna bäras av svenska skattebetalare under ett antal decennier. Med det vätgasbaserade stålet skulle kostnaderna i högre utsträckning bäras av framtidens skattebetalare i EU:s samtliga 27 medlemsländer. Utöver detta bekostas stålsatsningarna genom att det svenska skattebetalarkollektivet erhåller en lägre utdelning från framför allt det helstatliga LKAB eftersom bolaget avser att delvis finansiera sina planerade järnsvampsinvesteringar på 400 miljarder med egna vinstmedel. Detta torde ytterligare minska benägenheten att ta hänsyn till alla risker och osäkerheter. Om kostnaderna sprids ut över ett större kollektiv över en längre tidsperiod blir ansvarsutkrävandet än mer begränsat och riskbenägenheten torde då också öka.

EAF-tekniken och det återvunna stålets intåg

Subventionsboomen och politikens fokus under efterkrigstiden på allt större integrerade stålverk innebar också att flera av de stora ståltillverkarna leddes in i en återvändsgränd där de missade en av de viktigaste tekniska innovationerna i stålindustrin: ljusbågsugns-tekniken eller så kallade *minimills*.

I en ljusbågsugn (*Electric Arc Furnace, EAF*) smälts stålskrot till nytt stål. Eftersom tekniken använder skrot rör det sig om en cirkulär process där förbrukat material återanvänds. I den meningen är stål från ljusbågsugnar den kanske främsta miljöinnovationen i stålindustrin under hela efterkrigstiden.

Jörnmark (1993) visade att ljusbågsugnarna i den europeiska stålindustrin främst utvecklades av nya företag medan de etablerade stålföretagen fortsatte att expandera och optimera inom ramen för befintlig teknik. Liknande slutsatser har förts fram gällande stålindustrins utveckling i USA.³ Harvardprofessorn Clayton Christensen (1997) skrev om stålindustrin och ljusbågsugnar som ett exempel på sin teori om disruptiv innovation och varför nya företag tenderar att agera som pionjärer medan etablerade bolag håller fast vid befintlig teknik.

Christensen och Jörnmark kom oberoende av varandra fram till likartade slutsatser gällande stålindustrierna på båda sidor om Atlanten. Stål från ljusbågsugnar växte inledningsvis i små och olönsamma segment av marknaden, exempelvis stål till armering av betong.

Detta stål ledde till synnerligen begränsade vinster för de etablerade ståltillverkarna, så för dem var det bara naturligt att inte investera i ljusbågsugnar i ett inledande skede för att i stället fokusera på tunnplåtsegmentet som erbjöd betydligt högre marginaler.

Då de dominerande ståltillverkarna hade stora fasta kostnader och investeringar i befintlig teknik blev det svårt för dem att prioritera EAF-tekniken. Därmed kunde de nya aktörerna till synes obehindrat erövra de mindre och för de stora bolagen olönsamma marknadssegmenten.

³ Det mönster Jörnmark (1993) belägger för Europa visades påvisades redan 1984 för USA (Acs, 1984).

I takt med att tekniken utvecklades blev det möjligt för de nya aktörerna att slå sig in på nya segment. Framväxten av stränggjutning innebär att ljusbågstekniken stärks ytterligare. Oljekriserna under 70-talet medförde kraftigt stigande kostnader för de stora stålverken, vilket gjorde att de mer resurssnåla ljusbågsugnarna kunde ta ytterligare marknadsandelar. Under 1980- och 90-talen fortgick processen och allt fler av de integrerade stålverken fick problem.

Processen var likartad i Europa och USA. I USA var det etablerade ståltillverkare som Bethlehem Steel och US Steel som tappade till nya aktörer som Nucor (Christensen, 1997). I Europa var det integrerade stora stålverk i belgiska Vallonien, norra Frankrike och Västtyskland som tappade marknadsandelar, främst till nya norditalienska företag (Jörnmark, 1993).

Lärdomar från EAF-teknikens framväxt

Det är bara i efterhand vi kan veta vilken teknik som tillhör framtiden. Politiken hoppades på trenden med stora integrerade stålverk och började subventionera dessa ungefär samtidigt som den teknik de byggde på hade nått vägs ände.

Huvudskälet till att de etablerade stål företagen missade ljusbågstekniken och höll fast vid en föråldrad teknik härrör från en incitamentsasymmetri mellan små nya företag och äldre etablerade företag. Stora etablerade företag har en annan alternativkostnad, deras resurser kan investeras i befintliga anläggningar där marginalkostnaden är låg och där lönsamheten är hög. För dem är det svårt att se en finansiell logik i att investera i en ny, osäker teknik som inte erbjuder bättre marginaler eller betydande tillväxtpotentialer i det korta perspektivet (Christensen, 1997).

Denna incitamentsasymmetri förvärrades av de omfattande subventioner som gavs till de etablerade stål företagen. De stora stöden gjorde det ännu svårare för dessa företag att motivera något annat än fortsatta satsningar baserade på befintlig teknik. De nya företag som kommersialiserade ljusbågsugstekniken fick inga subventioner eller regionalpolitiskt motiverade lokaliseringstöd.

Det finns således en överhängande risk att dagens subventioner till vätgasbaserad stålproduktion i själva verket leder in företaget på det som i efterhand visar sig vara fel spår.

Dagens stålsatsningar: protektionism i ny tappning?

Är stålsatsningarna i Europa protektionism i ny tappning? Data från Global Trade Alert (2023) indikerar att så är fallet. I de följande figurerna presenteras några av trenderna mot tilltagande protektionism.

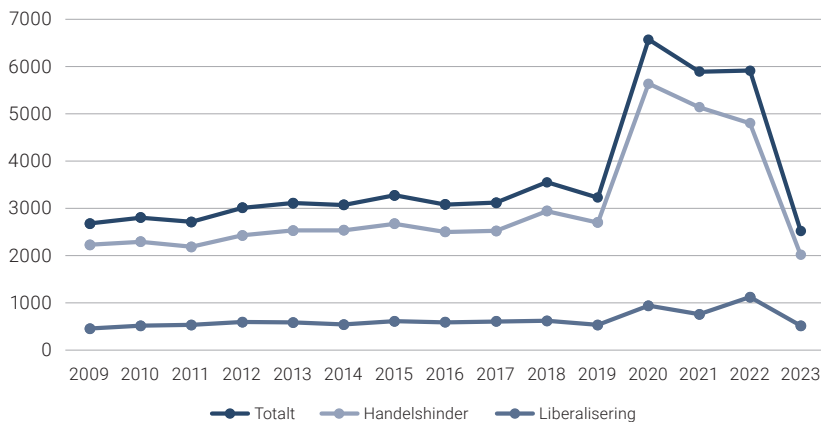
Protektionistiska tendenser inom världshandeln

Det oberoende internationella granskningsorganet Global Trade Alert gör en systematisk genomgång av alla politikåtgärder som påverkar handeln och bedömer om en åtgärd bidrar till ökad eller minskad handel. Organisationen går igenom såväl de olika branscherna som olika slags protektionism såsom tullar, subventioner och exportstöd.

Figur 1 visar hur andelen handelshindrande respektive handelsfrämjande politikåtgärder har utvecklats under åren 2009–2023. Global Trade Alert har gjort en uppdelning mellan de åtgärder som bidrar till ökad handel mellan länder och de som bidrar till ökad protektionism.

Parallellt med klimatpaket och industrisatsningar i både USA och Europa har protektionismen tilltagit i Västvärlden. Pandemin och handelskriget mellan USA och Kina har bidragit till att handeln minskat. Det globala antalet politikåtgärder som hindrar handel mellan länder ökade betydligt under pandemin. Även om en normalisering ägt rum under åren efter pandemin är det tydligt att skillnaden mellan antalet protektionistiska och antalet liberaliserande åtgärder i många avseenden kvarstår. I genomsnitt har antalet handelshindrande åtgärder varit fem gånger fler än antalet handelsfrämjande åtgärder under perioden 2009–2023.

Figur 1. Antalet politikåtgärder i världen som påverkar handeln uppdelat på åtgärder som liberaliserar handeln eller försvårar handeln, 2009–2023.

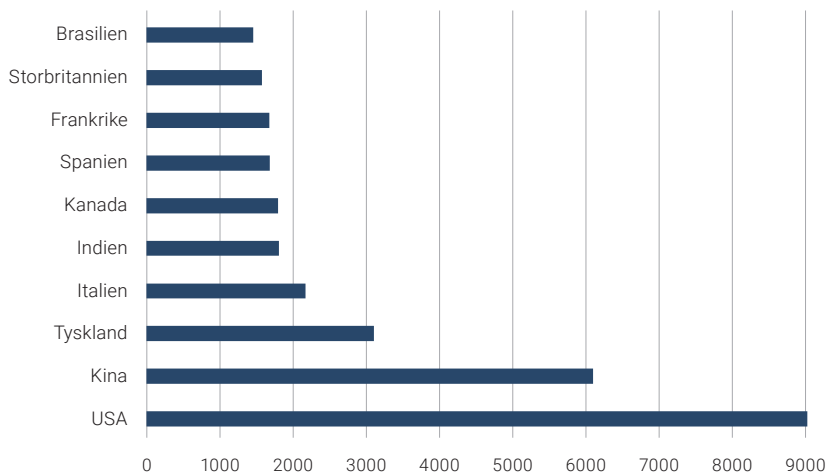


Källa: Global Trade Alert (2023).

Av Figur 2 framgår att USA och Kina är de länder som främst bidragit till ökad protektionism, i första hand genom de senaste årens handelskrig. Information saknas för EU som helhet. Givet att Tyskland är på tredje plats och Italien på fjärde plats är det rimligt att utgå ifrån att EU också har bidragit starkt till en ökad protektionism och att EU har en betydande roll i detta.

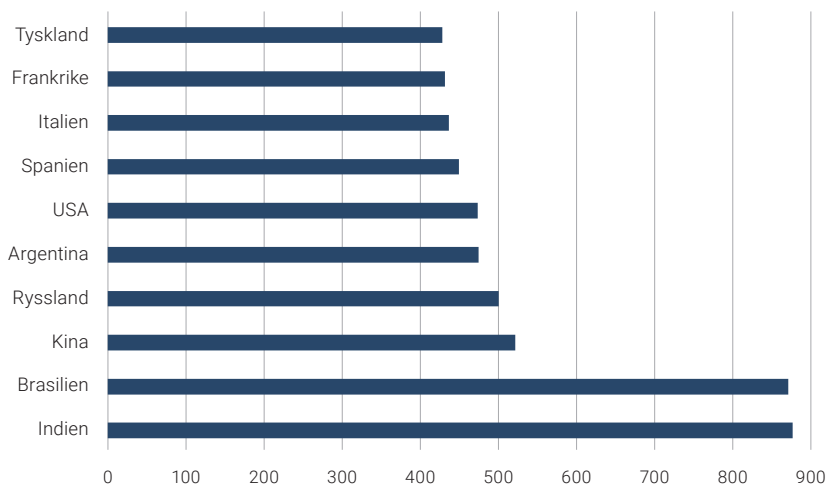
Figur 3 visar emellertid att även mindre ekonomier som Brasilien och Indien kan vara mer framträdande gällande politikåtgärder som öppnar upp för mer handel. Här kommer USA först på sjätte plats. För att förstå stålindustrin och de övergripande trenderna är det viktigast att titta på de stora ekonomierna, främst USA, Kina och EU-länderna.

Figur 2. Antal handelsliberaliserande politikåtgärder per land, 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

Figur 3. Antalet politikåtgärder som försvårar handel uppdelat per land, 2009–2023.

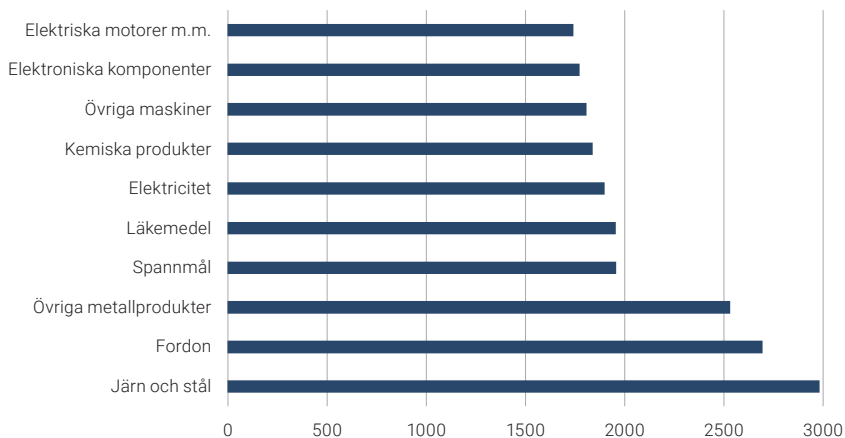


Källa: Global Trade Alert (2023).

Protektionism inom stålindustrin

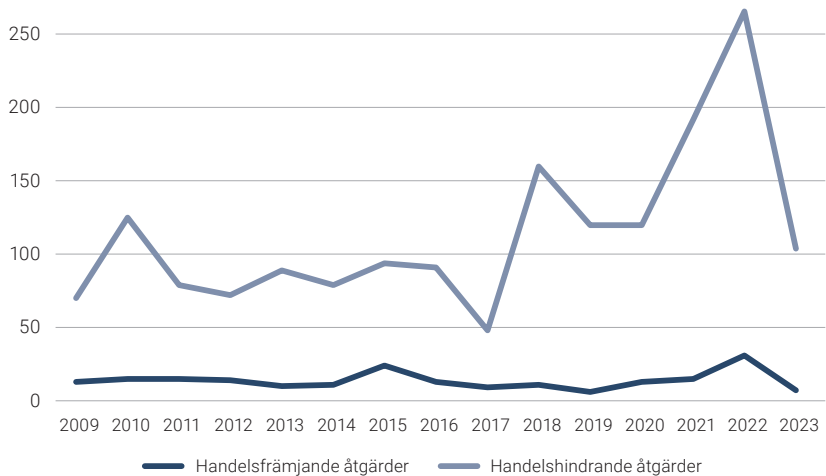
Stålindustrin är den bransch där de protektionistiska tendenserna är allra tydligast, se *Figur 4*. Då flera andra branscher använder stål som insatsvara påverkas förstås stora delar av ekonomin när protektionismen ökar inom stålindustrin.

Figur 4. Antalet handelshindrande politikåtgärder på branschnivå 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

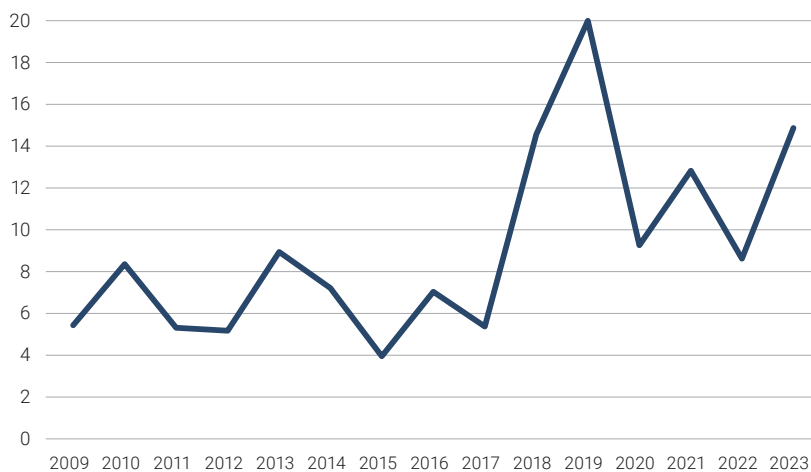
Figur 5. Antalet nya handelsfrämjande respektive handelshindrande politikåtgärder inom stålindustrin globalt, 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

Figur 6 visar hur förhållandet mellan handelsförsvårande och handelsfrämjande politikåtgärder har utvecklats över tid. I genomsnitt har antalet handelsförsvårande åtgärder rörande stålindustrin varit nio gånger fler än antalet handelsfrämjande åtgärder under perioden 2009–2023. Under perioden 2016–2023 genomfördes i snitt 11,7 gånger fler handelsförsvårande än handelsfrämjande åtgärder inom stålindustrin. Den protektionistiska trenden inom stålindustrin har således accelererat under senare år.

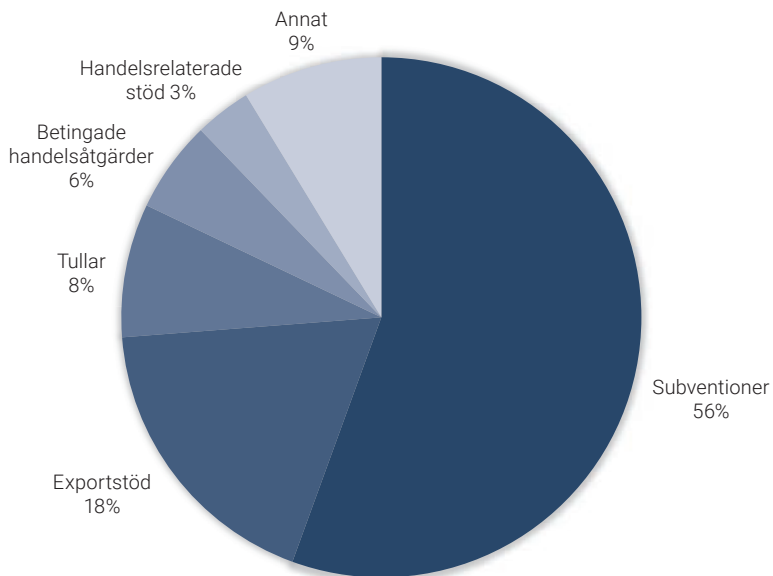
Figur 6. Kvoten mellan handelsförsvårande och handelsfrämjande politikåtgärder inom stålindustrin 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

Som framgår av *Figur 7* utgörs 56 procent av alla handelsförsvårande politikåtgärder av olika former av subventioner till det inhemska näringslivet. Den rådande trenden mot en alltmer aktivt stödjande industripolitik och olika former av *green deals* kan förstås som en del av den växande protektionismen i världen.

Figur 7. Olika former av politikåtgärder som utgör hinder för handeln.

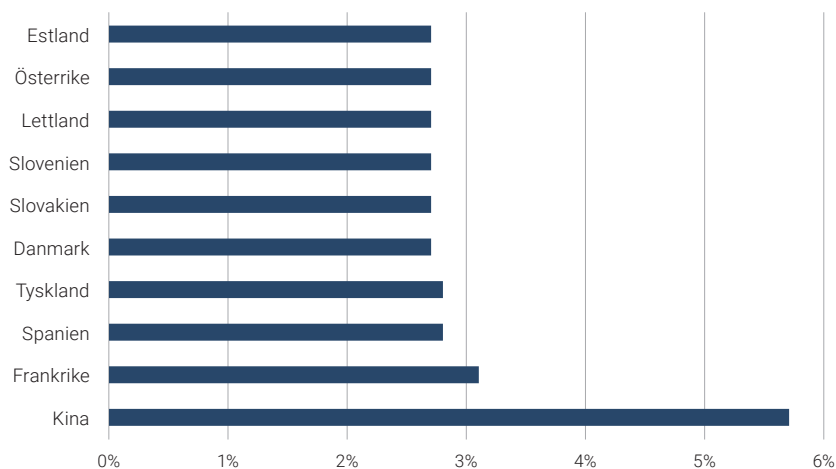


Källa: Global Trade Alert (2023).

Länderna bakom stålprotektionismen

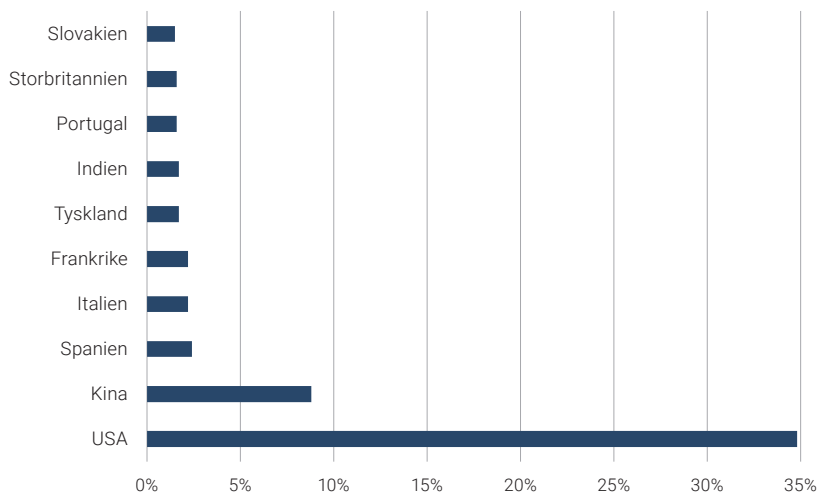
Figur 8 visar att Kina, Frankrike, Spanien och Tyskland är de länder som genomfört störst andel politikåtgärder som främjat handeln med stål. Det bör dock i sammanhanget påtalas att det endast rör sig om några få procent av det totala antalet åtgärder i varje enskilt land. Figur 9 visar att en mycket stor andel av stålprotektionismen är en del av handelskriget mellan USA och Kina.

Figur 8. Handelsfrämjande politikåtgärder inom stålindustrin, 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

Figur 9. Olika länders andel av de handelshindrande politikåtgärderna inom stålindustrin, 2009–2023.



Källa: Global Trade Alert (2023).

Slutsatser

Från en studie av den globala stålindustrins utveckling under efterkrigstiden kan ett antal viktiga lärdomar dras rörande hur samspelet mellan teknik och politik fungerat.

Efterkrigstidens subventionskapplöpning mot allt större integrerade stålverk medförde ett strukturellt överutbud av stål när efterfrågan inte kom att växa i takt med förväntningarna. Branschen blev därmed oattraktiv för de flesta företagen.

Den svenska satsningen på Stålverk 80 framstår i efterhand som kulmen på denna subventionspolitik. Vid vår jämförelse mellan Stålverk 80, dåtidens stora prestigeprojekt, och Hybrit identifieras åtta likheter men också två skillnader: i dagens vätgasbaserade stålprojekt: ges miljöargumentet stor tyngd och EU har en central roll.

Likheterna är desto fler. Båda projekten motiveras med snarlika argument rörande sysselsättning, vidareförädling och regionalpolitiska effekter. I båda fallen baseras projekten på bristfälliga underlag, energiåtgången ignoreras och incitamenten att agera ansvarsfullt är begränsade. Beträffande den allmänna opinionen råder överoptimism och en frånvaro av kritisk diskussion och kritik avfärdas med hänvisning till sekretess.

Såväl erfarenheterna från Stålverk 80 som Hybrit visar att risken är stor att politiskt initierade industriella prestigeprojekt går i otakt med de tekniska och ekonomiska realiteterna.

Delvis som en följd av subventionerna och den politiska prestige som nedlagts i projekten kom flera av de etablerade ståltillverkarna på 70-talet att ägna mindre uppmärksamhet åt det som i backspegeln visat sig vara den verkligt stora industriella och miljömässiga innovationen: ljusbågsugnarna.

Redovisningen av omfattningen av protektionistiska åtgärder i dag visar att det framför allt är de direkta subventionerna som vuxit kraftigt, inte minst inom stålindustrin. Denna utveckling gör det särskilt angeläget att skärskåda den förment gröna teknik inom stålindustrin som mycket stora resurser nu slussas till. Stålindustrins historia av feltajmade och felallokerade politiska prestigeprojekt stämmer här till eftertanke.

Referenser

- Acs, Z. J. (1984). *The Changing Structure of the U.S. Economy: Lessons from the Steel Industry*. New York, NY: Praeger.
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Cambridge, MA: Harvard Business Review Press.
- Dagens industri (2022). "SSAB:s vd rasar över statligt miljardstöd till konkurrent", 4 december.
- Europeiska kommissionen (2022). "Talet om tillståndet i unionen 2020", https://state-of-the-union.ec.europa.eu/state-union-2020_sv.
- Expressen TV (2022). "EU-höjdarens ord om Hybrit: 'Det här är framtiden'", 31 mars.
- Global Trade Alert (2023). <https://www.globaltradealert.org/>.
- Henrekson, M., Sandström, C. och Alm, C. (2021). "Investeringarna i Norrland, vätgasstålet och hur EU:s nya miljöpolitik leder till miljönationalism", *Ekonomisk Debatt*, 49(6), 50–55.
- Henrekson, M. och Sandström, C. (2023). "Det 'gröna' stålet i Norrland – ett nytt Stålverk 80?", *Ekonomisk Debatt*, 51(1), 56–60.
- Henrekson, M., Sandström, C. och Stenkula, M. (red.), (2024). *Moonshots and the New Industrial Policy: Questioning the Mission Economy*. Cham: Springer.
- Jörnmark, J. (1993). *Coal and Steel in Western Europe 1945–1993 – Innovative Change and Institutional Adaptation*. Göteborg: Institutionen för ekonomisk historia, Göteborgs universitet.
- Jörnmark, J. (2023). "Statssubventionerat stål – lika fel nu som då", *Smedjan*, <https://timbro.se/smedjan/statssubventionerat-stal-lika-fel-nu-som-da/>.
- Metalliska material (2019). "200 miljoner satsas på HYBRIT:s vätgaslager", <https://www.metalliskamaterial.se/sv/fakta/200-miljoner-satsas-pa-hybrits-vatgaslager/>.
- Ny Teknik (2019). "Det nya stålet – ett kompendium från Ny Teknik 2019", *Ny Teknik Insight*, november.
- Regeringen (2020). "Tal av statsminister Stefan Löfven på invigningen av HYBRIT:s nya pilotanläggning", <https://www.regeringen.se/contentassets/030537195fb0454a85a0fe3f5642d5e1/regeringskansliets-arsbok-2020.pdf>.

- Ruist, E., Ståhl, I. och Wohlin, L. (1975). *Stålverk 80: ekonomi & politik*. Stockholm: Sveriges Industriförbund.
- SSAB (2020). SSAB:s presentation vid Stålbyggnadsdagen. Martin Pej, 22 oktober, <https://stalbyggnadsdagen.se/wp-content/uploads/2020/10/SBD-2020-Digitalt-Programblad.pdf>.
- Sveriges Radio (2020). "Det stora språnget mot fossilfritt stål", *Vetenskapsradion: På djupet*, 7 januari, <https://sverigesradio.se/avsnitt/1422070>.
- Wennberg, K. och Sandström, C. (red.) (2022). *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy*. Cham: Springer.
- Wennblad P. (2022). "Hybrits forskning blev bara en Powerpoint", *Svenska Dagbladet*, 9 december.
- Wennblad, P. (2023). "Hybrit har blivit ett klägg", *Svenska Dagbladet*, 12 januari.
- SVT Nyheter Norrbotten (2021). "Gällivare vann dragkampen om mångmiljardprojektet Hybrit", 24 mars.
- Vattenfall. (2023). "HYBRIT: Vätgaslager sänker kostnaden med upp till 40 procent", 1 november, <https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2023/hybrit-vatgaslager-sanker-kostnaden-med-upp-till-40-procent>.

Om författaren

Christian Sandström är biträdande professor vid Internationella Handelshögskolan i Jönköping och forskningsinstitutet Ratio i Stockholm. Hans forskning handlar om samspillet mellan teknisk, politisk och industriell omvandling. Sandström disputerade 2010 vid Chalmers tekniska högskola och blev docent där 2014. Han har fått flera utmärkelser för sina insatser som lärare och har även forskat vid Cambridge University och ETH i Schweiz.

Christian Sandström har publicerat mer än 30 artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter och är en av redaktörerna för de internationella samlingsvolymerna *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy* (Wennberg och Sandström, 2022) och *Moonshots and Industrial Policy: Questioning the Mission Economy* (Henrekson, Sandström och Stenkula, 2024). I dessa volymer granskas den växande trenden mot storskalig uppifrån styrd industripolitik för att uppnå ambitiösa samhällsmål, så kallad missionsorienterad innovationspolitik.

Senior biträdande professor Christian Sandström ·
Internationella Handelshögskolan i Jönköping · Gjuterigatan 5, 553 18 Jönköping ·
Epost: christian.sandstrom@ju.se · Tel: +46 73-705 01 37

KAPITEL 5

Vätgas – en ny grön bubbla?*

CHRISTIAN SANDSTRÖM

Om författaren

Se sid. 187 för en presentation.

* Citeras som: Sandström, Christian (2024), "Vätgas – en ny grön bubbla?". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 151–187). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning och centrala resultat

Studien beskriver ekonomin och tekniken bakom vätgas och ställer detta i relation till de vätgasbaserade satsningar som görs i dagsläget. En grön bubbla uppstår när teknik och ekonomi hamnar i otakt med förväntningarna gällande vad tekniken ska leverera.

Vätgasens fysikaliska egenskaper innebär att produktionen av vätgas kräver betydande mängder naturgas eller elektricitet. Även användning av elektricitet medför ofta en ökad konsumtion av fossila bränslen då 61 procent av all elektricitet som produceras i världen är fossil. Genomgången av tekniken, naturvetenskapen och ekonomin rörande vätgas visar att det finns betydande begränsningar i dagsläget gällande teknikens potential.

Dessa begränsningar ställs sedan mot de satsningar som planeras och de påståenden vi sett rörande vätgasens potential på senare tid. Ledande politiker inom EU och i Sverige har pekats ut vätgas som en central del av den gröna omställningen och erbjuder nu omfattande stöd i form av direkta bidrag, subventionerade lån och kreditgarantier till företag som investerar i produktion baserad på vätgas. I diskrepansen mellan politiskt allokerade stöd och tillhörande retorik och teknikens inneboende begränsningar ökar risken att en grön bubbla skapas.

Samtidigt fyller vätgas många viktiga funktioner i ekonomin, inte minst gällande produktionen av gödningsmedel och borttagande av svavel från tjockolja. Överdrivna förväntningar om vätgasens potential på kort sikt riskerar att slå tillbaka mot vätgasen på längre sikt.

De viktigaste resultaten i studien rörande tekniken och ekonomin kring vätgas är följande:

- Väte förekommer ytterst sällan i fri form, utan tenderar antingen att bindas samman till två väteatomer som vätgas, vilken förkortas H_2 . Väte har också en exceptionellt god förmåga att binda sig till andra atomer och molekyler.
- Vätgas förekommer därför nästan aldrig i fri form i naturen. Den måste utvinnas ur exempelvis vatten eller metangas genom att tillsätta stora mängder energi. Vätgas är därför en energibärare snarare än en energikälla.
- Det går åt mer energi för att framställa vätgas än vad vätgasen i sig genererar när den används. Förbränning av vätgas är således inte utvinning av energi i egentlig mening, det är snarare ett dyrt, ineffektivt och riskabelt sätt att använda en mindre del av den energi som från början togs i anspråk.

- Mer än 95 procent av den vätgas som i dag används produceras från fossila källor som naturgas och olja.
- Om vätgas utvinns ur naturgas är det mer korrekt att säga att naturgas är den egentliga energikällan än att man använder sig av vätgas. Om vätgas utvinns ur elektricitet genom elektrolys är det mer korrekt att kalla energikällan för elektricitet.
- Vätgasproduktion från elektrolys kräver fem till sex gånger mer energi än framställning med hjälp av naturgas. Det är förmodligen den främsta orsaken till att vätgas i så stor utsträckning tillverkas med hjälp av fossila bränslen.

Gällande politiken kring vätgas visar studien följande:

- Antalet medieträffar gällande vätgas har mer än tiodubblats från 2017 till 2022.
- Högt uppsatta politiker inom EU såsom EU-kommissionens ordförande Ursula von der Leyen och kommissionären Frans Timmermans (t.o.m. augusti 2023 ansvarig för EU:s klimatpolitik och dess gröna giv) har gett sitt stöd till vätgasteknologi.
- EU har anslagit 430 miljarder euro i stöd till investeringar baserade på vätgas över en tioårsperiod. Detta belopp motsvarar cirka 80 procent av Sveriges BNP.
- De senaste årens hajp kring vätgas är en produkt av stora offentliga stöd snarare än att tekniken i sig har en stor potential inom energiområdet.
- De politiska förväntningarna på vätgasen verkar inte stå i proportion till vätgasens inneboende utmaningar och det finns risk för en ny grön bubbla.

Summary and key findings

The study describes the economics and technology behind hydrogen and relates this to the hydrogen-based initiatives that are currently underway. A green bubble occurs when technology and economic realities are out of step with expectations of what the technology can deliver.

The physical properties of hydrogen mean that the production of hydrogen requires significant amounts of natural gas or electricity. Also, the use of electricity often results in increased consumption of fossil fuels, as 61% of all electricity produced in the world is fossil-based. The review of the technology, science and economics of hydrogen shows that there are significant limitations in the current state of the technology's potential.

These limitations are juxtaposed with the investments planned and the recent claims of hydrogen's potential. Leading politicians in the European Union and Sweden have identified hydrogen as a key part of the green transition and are now offering extensive government support in the form of direct grants, subsidized loans and credit guarantees to companies investing in hydrogen-based production. The discrepancy between politically allocated support and associated rhetoric and the inherent limitations of the technology increases the risk of a green bubble.

At the same time, hydrogen plays many important roles in the economy, not least in the production of fertilizers and the removal of sulphur from heavy fuel oil. Exaggerated expectations of hydrogen's potential in the short term risk backfiring on hydrogen in the longer term.

The main findings of the study on the technology and economics of hydrogen are as follows:

- Hydrogen rarely occurs in free form but tends to either bond to two hydrogen atoms as hydrogen gas, H₂. Hydrogen also has an exceptionally good ability to bond with other atoms and molecules.
- Hydrogen therefore almost never occurs in free form in nature. It must be extracted from water or methane gas by means of large amounts of energy. Hydrogen is therefore an energy carrier rather than an energy source.

- It takes more energy to produce hydrogen than the hydrogen itself generates when used. Thus, burning hydrogen is not energy recovery in the true sense, but rather an expensive, inefficient, and risky way to use a smaller portion of the energy that was initially expended.
- More than 95% of the hydrogen used today is produced from fossil sources such as natural gas and oil.
- If hydrogen is extracted from natural gas, it is more correct to say that natural gas rather than hydrogen is the energy source. If hydrogen is extracted from water through electrolysis, it is more accurate to denote electricity as the energy source.
- Hydrogen production from electrolysis requires five to six times more energy than hydrogen produced from natural gas production. This is probably the main reason why hydrogen is so widely produced using fossil fuels.

Regarding hydrogen policy, the study shows the following:

- The number of media hits on hydrogen increased more than tenfold from 2017 to 2022.
- High-ranking EU politicians such as European Commission President Ursula von der Leyen and Commissioner Frans Timmermans (until August 2023 responsible for the EU's climate and green policies) have strongly advocated hydrogen as a key component in EU's strategy for achieving zero CO₂ emissions by 2050.
- The European Union has allocated EUR 430 billion to support hydrogen-based investments over a ten-year period. This amount is equivalent to about 80 percent of Sweden's GDP.
- The hype around hydrogen in recent years is a product of large public subsidies rather than the technology's inherent potential to reduce CO₂ emissions.
- The political expectations for hydrogen are not commensurate with its inherent challenges and there is a risk of a new green bubble.

Introduktion

Under 2000-talet har Sverige skapat en serie av gröna bubblor. En grön bubbla kan definieras som en storskalig satsning på industriell omvandling som förväntas leda till ny teknik, förbättrad miljö, klimatnytta, nya arbetstillfällen och återindustrialisering, men som inte lyckas uppnå något av detta. En bubbla kan uppstå när det föreligger en diskrepans mellan å ena sidan tekniska och ekonomiska realiteter och å andra sidan alltför högt uppskrivade förväntningar.

Sandström (2023) identifierar följande mönster gällande ett flertal gröna bubblor inom exempelvis etanolproduktion och biogasproduktion.

Bubblan skapas

- 1 Offentligt och privat ägda bolag gör satsningar på ny teknik, exempelvis kring biogas, etanol eller andra "förnybara" bränslen, inte sällan i samverkan med en privat aktör och ett lärosäte.
- 2 Stora delar av kostnaderna täcks av bidrag, antingen från EU eller en myndighet, exempelvis Energimyndigheten eller Naturvårdsverket. Dessa bidrag kombineras med medel från de offentligt ägda bolagen.
- 3 Ett fåtal kritiska röster hörs, men betraktas som olyckskorpar och lyckas sällan påverka förloppet.

Expansionsfasen

- 4 Invigningstal och medial uppståndelse där ord som "världsledande" och "världsunik" blandas med förhoppningar om återindustrialisering och gröna jobb.
- 5 Trots tekniska begränsningar och betydande osäkerhet växer satsningarna i omfång då tillgången till bidrag och offentliga kreditgarantier gör företag immuna mot risker.

Kollapsen

- 6 Investeringarna misslyckas, omvärldsförändringar synliggör de problem som borde ha uppmärksammats tidigare. Lågkonjunktur, politiska omvälvningar eller fluktuationer i priset på insatsvaror som el eller olja gör att satsningen nu framstår som omöjlig.
- 7 Bubblan avslutas med en städprocess där företagare, tjänstemän och politiker tvingas skriva ner värden, hantera förluster och i regel också ansöka om ännu mer offentlig finansiering.

Det finns flera exempel på detta mönster. Det kommunägda Sekab i Örnköldsvik skapade miljardsskulder för skattebetalarna. Ett annat illustrativt exempel är Göteborg Energis satsning Gobigas (Sandström och Björnemalm, 2022, 2023).

Med utgångspunkt i studier av dessa bubblor går det att identifiera ett antal faktorer som gemensamt ger upphov till gröna bubblor (Sandström och Björnemalm, 2023; Sandström och Alm, 2022):

- 1 Särintressen påverkar politiken till sin fördel.
- 2 Ingen risk är för stor när någon annan betalar.
- 3 Offentligt ägda bolag skapar en grogrund för gröna bubblor.
- 4 Ingen ställer kritiska frågor förrän det är för sent.

Väte – en grön bubbla?

Väte och vätgas har på senare tid framställts som en avgörande pusselbit för att nå målet om fossilfrihet. Finns det någon grund för dessa förhoppningar eller riskerar de vätegasbaserade satsningarna att bli ännu en grön bubbla?

Väte är den minsta av alla atomer; i den meningen kan den sägas vara universums minsta byggsten. Trots det utgörs universum till 75 procent av väte. I dag tror många att ny teknik baserad på vätgas är nyckeln till att omvandla i stort sett varje tung och smutsig industri till en grön näring. Dessa försök behöver förstås med utgångspunkt i vätets och vätegasens kemiska och fysikaliska egenskaper, vilka i sin tur ger upphov till såväl tekniska som ekonomiska utmaningar.

I stort sett dagligen annonseras någonstans i världen ytterligare en storskalig satsning på vätgas för någon ny, icke beprövad industriell tillämpning. EU har slagit fast att väte kommer att vara en central komponent i hur EU uppnår nollutsläpp av koldioxid redan 2050. En stor del av pandemistödets olika lån kommer dessutom att användas specifikt för att utveckla vätegasen som energibärare. I denna studie kommer följande frågor besvaras:

- 1 Vad vet vi om vätegas som energislag?
- 2 Vilka utmaningar och begränsningar är kopplade till vätegas?
- 3 Vilken roll har politiken gällande vätegas?

Med utgångspunkt i svaren på dessa frågor är det upp till läsaren att avgöra huruvida vätegas riskerar att bli ännu en grön bubbla. Det har skrivits spaltmeter om vätegas och då det gjorts så stora investeringar de senaste åren sker också framsteg. Syftet med studien är inte att granska all litteratur som finns om vätegas och därefter ge ett samlat omdöme om dess potential. Målet är snarare att ställa vätegasens fysikaliska, tekniska och ekonomiska egenskaper i relation till de förväntningar som växt fram gällande vätegasens potential.

Studien inleds med en genomgång av vätets fysikaliska och kemiska egenskaper. Därefter beskrivs den hajp som skapats runt vätgasen och vilken roll politiken haft i att skapa denna hajp. Sedan diskuteras stålprojekten i Norrland som ett viktigt exempel på hur politiskt beslutade stöd skapar en diskrepans mellan vätgasens inneboende begränsningar och förväntningarna på dess potential.

Vätets fysikaliska och tekniska egenskaper

För att förstå ekonomin och realismen i att använda vätgas industriellt behöver vätetts kemiska och fysikaliska egenskaper beskrivas.

Väte: universums minsta atom

Väte är universums minsta och enklaste atom och var det första ämne som skapades vid Big bang. 75 procent av all materia i universum består av väte, nästan en fjärdedel är helium medan mindre än en procent är syre. Planeten jorden sticker ut i bemärkelsen att väte i fri form inte existerar och att det finns så många andra ämnen utöver väte och helium.

Väte består av en proton och en elektron. Vätagas är 14 gånger lättare än luft. I atmosfären finns inte något fritt väte. Luften består av kväve (78 procent), syre (21 procent), en liten del koldioxid (0,0415 procent) samt några andra gaser.

Att väte väger så lite och atomen är så liten innebär att den är svår att kapsla in och lagra, vilket gör vätagas dyr att lagra, förvara och transportera. Ett ämne blir mer reaktivt om det har ett elektronskal som är lätt att fylla upp; väte blir som en följd av detta en exceptionellt reaktiv atom som snabbt söker sig till en annan väteatom och bildar vätagas, H_2 .

Alternativt reagerar vätet med andra ämnen och blir byggstenar i större, sammansatta molekyler, till exempel vatten (H_2O) eller olika kolväten som metan (CH_4) och socker ($C_{12}H_{22}O_{11}$).

Per volymenhet innehåller väte mycket lite energi. Den låga energidensiteten innebär att stora volymer krävs om vätagas ska användas för energilagring eller energialstring.

Väte är inte en direkt energikälla

Som en följd av att såväl vätejoner (H^+) som vätagas (H_2) är mycket reaktiva förekommer de praktiskt taget inte i fri form i naturen utan tenderar att bindas och skapa andra ämnen, främst vatten och olika kolväten, såsom olja, naturgas, socker och cellulosa. Det går med andra ord inte att utvinna vätagas på samma sätt som man när man hittar och utvinner olja

eller naturgas. Väte måste därför framställas via energitillförsel för att åstadkomma en kemisk reaktion som resulterar i väte i fri form. Väte är därför inte en primär energikälla, utan ska snarare ses som en energibärare (energivektor).

Lagring och transport av vätgas

För att väte ska kunna transporteras måste det komprimeras, vilket ofta innebär att det måste göras om till flytande form. Emellertid kräver detta att temperaturen sänks till under $-252,7$ °C. För lagring av vätgas i komprimerad form krävs ett mycket högt tryck, vilket innebär att särskilda behållare behöver användas. Sådan komprimering kräver i sig stora mängder energi och vätgasmolekylens ringa storlek och höga reaktivitet ställer stora krav på lagringskärlen, vilket leder till tunga kärl som är dyra att utveckla och transportera (Furfari, 2022).

Hantering av vätgas är farligt

Att ett ämne är reaktivt, svårt att lagra, innehåller mycket energi och förekommer i gasform är en explosiv kombination. Handhavandet av vätgas kräver stor försiktighet och det finns flera historiska exempel på olyckor. Så sent som 2019 exploderade en tankstation i norska Sandvika. Furfari (2020, s. 98) uttrycker uttrycker det som att *“pure hydrogen is dangerous to the same degree as dynamite”*.

Distribution av väte är således en utmaning. Att bygga upp en infrastruktur för laddning med vätgas, transport av vätgas och vätgasanvändning i tätt bebyggda områden kräver stora tekniska framsteg jämfört med var tekniken i dag befinner sig.

Sammanfattningsvis kan sägas att även om färdig vätgas innehåller stora mängder energi krävs det stora mängder energi och ingenjörskap för att få fram väte i fri form. Väte ger förvisso bara vatten som restprodukt, men vägen dit är lång och går via ett flertal osäkra, energikrävande och farliga steg som sammantaget reser betydande frågetecken gällande vätgasens ekonomiska och miljömässiga potential.

Vätgas är en potent växthusgas

Ilissa Ocko, klimatforskare vid Environmental Defense Fund i Washington, säger till Bloomberg att vätgas är en avsevärt mer potent växthusgas än vad många människor inser. Transport och lagring av vätgas är i själva verket mycket svårt. När vätgasen läcker ut är den en indirekt växthusgas. En rapport från brittiska regeringen visar att samma mängd vätgas som koldioxid kan ha 33 gånger större inverkan på klimatet än koldioxid. Detta

beror på att vätgasen är så reaktiv och sätter i gång seriereaktioner, vilka i sin tur bidrar till mer växthusgaser i atmosfären (Warwick m.fl., 2022).

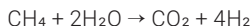
Vätgas som läcker ut absorberas till viss del av bakterier i marken. I tillägg kommer en del av vätgasen att reagera med hydroxidjoner, OH^- , och bilda vatten, H_2O . Detta är ett problem för i normalfallet reagerar hydroxidjonerna med metangas, CH_4 och neutraliserar metangasen, vilken är en 80 gånger mer potent växthusgas än koldioxid. Det innebär att när vätgas i stället reagerar med hydroxidjonerna riskerar effekterna på klimatet att bli betydligt allvarigare. Detta har poängterats av ett antal forskare vid Princeton University Engineering School, bland annat i den ansedda tidskriften *Nature* (Bertagni m.fl., 2022).

Det finns flera andra problem med läckage av vätgas. I den marknära delen av atmosfären skapar vätgasen ett antal seriereaktioner som i förlängningen ökar produktionen av ozon, O_3 , som inte bara är en växthusgas utan också är giftigt och en viktig orsak till smog. Högre upp, i stratosfären, leder vätgasen till att mängden vattenånga ökar, vilket innebär att mer värme stannar kvar i atmosfären.

Framställning av vätgas

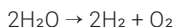
Vätgas kan framställas ur fossila källor eller genom elektrolys av vatten. Dessa två framställningsmetoder beskrivs mer ingående nedan.

Vätgas framställs ofta från metan (naturgas), CH_4 . Metan innehåller många väteatomer per kolatom, vilket innebär att det blir mer effektivt att utvinna vätgasen ur metan. Stora mängder värme behöver tillföras i en process som ser ut på följande sätt:



CO_2 är en önskad restprodukt och därför betraktas vätgas som framställs på det här sättet inte som grön. Denna vätgas kallas ibland för grå vätgas, då den leder till utsläpp av CO_2 .

Ett alternativt sätt att utvinna vätgas är att klyva vatten till syre och vätgas enligt följande reaktion:



Denna process är renare eftersom syre är den enda restprodukten. Reaktionen skapas genom att två elektroder sänks ner i vatten. När el tillförs kommer vätet att falla ut vid den ena elektroden medan syret faller ut vid den andra.

Dilemmat med så kallad grön vätgas är att det går åt stora mängder elektricitet för att separera väte och syre. Forskare lyfte fram detta problem redan 1912:

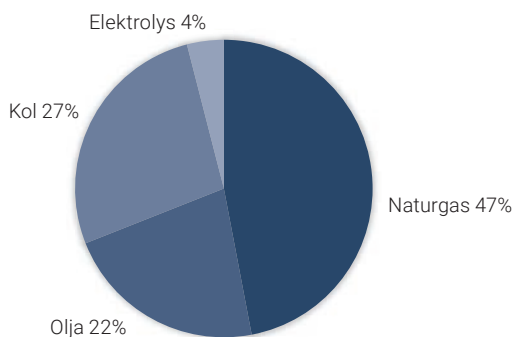
The efficiency of electrolysis apparatus reaches 90–95% of the theory: hydrogen is nearly pure (1% oxygen), but the very high cost price of the installations and electricity makes that it is only remunerate for oxygen production.

Paul Baud, *Chimie Industrielle*, Masson, Paris, 1912

Processen har dessutom bara en verkningsgrad på mellan 60 och 70 procent. Processen är trög och känslig, så den kräver stabil och förutsägbar eltilförsel, det vill säga raka motsatsen till el producerad med intermittenta kraftkällor som vindkraft och sol. Kärnkraft lämpar sig däremot särskilt väl för produktion av grön vätgas, särskilt om elpriset är lågt.

Som framgår av *Figur 1* kommer den vätgas som framställs i dag till 47 procent från naturgas, 22 procent från olja, 27 procent från kol medan endast fyra procent framställs genom elektrolys.

Figur 1. Framställning av vätgas.



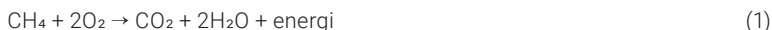
Källa: Irena (2023).

Den årliga världsproduktionen av vätgas uppgår till 120 miljoner ton (Irena, 2023). Vätgas används i vissa industriella processer, såsom vid raffinaderier, metalltillverkning och för produktion av ammoniak och konstgödsel. Vätgas används också inom oljeindustrin för att göra om vissa kolväten till lättare oljeprodukter för användning inom olika områden. Vätgas används dessutom för att reducera svavelinnehållet i oljeprodukter, vilket är en starkt bidragande orsak till de kraftigt minskade utsläppen av svaveldioxid de senaste 40 åren. I stort sett all produktion av vätgas för dessa ändamål är i dagsläget baserad på naturgas och inte på elektrolys.

Hur kommer det sig då att i stort sett all framställning av vätgas utgår från naturgas? Experimentet med elektrolys är så enkelt att det ofta används inom kemiundervisningen på högstadienivå. Elektrisk ström separerar väte från syre, vätet blåser upp en ballong som sedan exploderar. Om elektrolys är en så okomplicerad process, varför används den knappt alls i dag? Inte ens på 1980-talet när många länder hade tillgång till stora mängder billig och stabil elektricitet i form av kärnkraft gjordes detta i någon betydande skala. Svaret är enkelt, och ett ständigt återkommande dilemma gällande vätgasen: Elektrolys kräver så stora mängder elektricitet att kostnaden än så länge kraftigt överstiger värdet av det som skapas.

Furfari (2021) jämför energiåtgången för produktion av vätgas från metan med produktion genom elektrolys. Om vattenånga används och syre utgör en restprodukt krävs sju gånger mer energi än vid användning av metan. Om i stället vatten i flytande form används för att skapa vätgas (med syre som restprodukt) behövs 4,5 gånger mer energi för produktion av vätgas med hjälp av elektrolys än om naturgas hade använts. Detta är inte bara signifikanta skillnader, det är så stora skillnader att de knappast kan överbryggas med teknisk utveckling eller radikalt fallande elpriser. Produktion av vätgas genom elektrolys är kostsam eftersom processen tar så stora mängder elektricitet i anspråk. Givet hur stark bindningen är mellan syre och väte i en vattenmolekyl är det svårt att se hur detta dilemma kan lösas med hjälp av teknisk utveckling.

Grå vätgas är heller inte bra för miljön. Låt oss jämföra produktionen av grå vätgas med konventionell förbränning av naturgas. Förbränning av naturgas innebär att metan reagerar med syre, vilket skapar energi, koldioxid och vatten:



Energien som skapas i denna process summerar till 802,5 kJoule per mol skapad vätgas.

Om vi i stället tillverkar väte som i nästa skede används för att skapa energi uppstår följande två processer. Först reduceras vätgasen bort från metan, detta sker med hjälp av vatten i stället för syre:



I denna process används 164,7 kJoule (kJ) per mol.

I nästa steg reagerar nu vätgasen med syre för att skapa elektricitet:



I detta steg genereras i stället stora mängder elektricitet, närmare bestämt 967,2 kJ per mol.

När vi jämför (2) och (3) tillsammans med (1) ser vi att de tillsammans ger resultatet koldioxid och vatten.

Vilket också blir resultatet i (1), det vill säga vid sedvanlig förbränning av naturgas med hjälp av syre. Den enda skillnaden är att vi har gått en omväg och tagit ut vätgasen i fri form för att sedan i nästa steg låta den förenas med syre till vatten.

Notera också att den totala energiåtgången är identisk om (2) och (3) gemensamt jämförs med ekvation (1). Vid förbränning av naturgas genereras 802,5 kJ per mol och vid framställning av vätgas som sedan reagerar med syre genereras $967,2 \text{ kJ} - 164,7 \text{ kJ} = 802,5 \text{ kJ}$ per mol.

Det finns med andra ord goda skäl till att vätgas inte används i stor skala som energikälla. Vätgasen är egentligen bara ett dyrt mellansteg. I ovanstående formler har inte ekonomiska och miljörelaterade kostnader för att skapa mellansteget vätgas tagits med i kalkylen. Detta kostar både pengar och energi, de olika omvandlingsstegen leder också till energiförluster, vilket innebär att utvinning av vätgas ur metangas är oattraktivt både ekonomiskt och ur miljösynpunkt (Furfari och Masson, 2017).

Energiåtgången för att producera vätgas ur vatten med hjälp av elektricitet är 4,5–6,9 gånger högre än energiåtgången för att producera samma mängd vätgas med hjälp av naturgas (Furfari, 2022). Produktionen av vätgas i världen genererar i dag ca 830 miljoner ton CO₂-utsläpp per år, vilket motsvarar 18 gånger Sveriges totala utsläpp. Ett sätt att minska CO₂-utsläppen skulle kunna vara att eliminera produktionen av grå vätgas och i stället gå över helt till produktion av vätgas genom elektrolys.

Världsproduktionen av grå vätgas var 94 miljoner ton år 2022. För att utvinna ett kilo vätgas ur nio kilo vatten åtgår 50 kWh el. Det innebär att det skulle krävas 4 700 TWh el för att i stället tillverka denna volym vätgas med hjälp av el.

4 700 TWh är 33 gånger mer än Sveriges totala elförbrukning och 16 procent av världens totala elförbrukning. Men den el som är tänkt att användas till vätgasproduktionen ska ju också vara förnybar. Ca 30 procent av all el i världen kommer från förnybara källor.¹ Om vi exkluderar vattenkraften där det inte sker någon tillväxt att tala om är andelen nästan exakt lika stor som den andel av världens elproduktion som skulle åtgå för att övergå till att tillverka all grå vätgas från el från förnybara källor.

Om vi i stället relaterar elbehovet till andelen av den fossilfria elproduktionen som behöver tas i anspråk ser det lite bättre ut – då 42 procent av världens elproduktion är fossilfri så skulle det handla om att detta skulle lägga beslag på knappt 40 procent av världens fossilfria elproduktion.

¹ <https://ourworldindata.org/electricity-mix>.

”Lagring” av energiöverskott med vätgas

Tanken att överskottet från intermittent elektricitet från exempelvis vindkraft ska lagras med hjälp av vätgas är inte ny. Frågan är varför den ännu inte har blivit realitet. Låt oss titta lite närmare på processens olika hypotetiska steg:

Elektricitet genereras (i vindkraftsverk) => Elektriciteten används för att spjälka upp vatten till vätgas och syre => Vätgasen lagras under högt tryck eller extrem kyla => Vätgasen transporteras => Vätgasen reagerar och blir elektricitet där den ska användas

En sådan process leder till betydande överföringsförluster. Kostnader för transporter av vätgas, kostnader för uppbyggnad av infrastruktur eller överkapacitet gällande vindkraft behöver beaktas. Teknologiska risker kopplade till vätgasens explosivitet ska heller inte negligeras. Om samtliga kostnader tas med är det således svårt att kalla detta för lagring av elektricitet.

Vätgas i dag: användning och hajp

Personligen anser jag att om fyrahundra år kommer energifrågan i England att ha lösts på följande sätt: Landet kommer att vara täckt med metalliska vindsnurror försedda med elektriska motorer, vilka i sin tur kommer att generera ström med mycket hög spänning till stora elektriska stamledningar. På lämpliga avstånd, kommer det att finnas stora kraftstationer där man, under blåsiga förhållanden, kommer att använda överskottsenergin för att genom elektrolytisk sönderdelning av vatten framställa syre och väte. Dessa gaser kommer att transformeras till flytande form och lagras i stora reservoarer, förmodligen i underjorden. [...] Under tider av vindstilla, kommer gaserna att nyttjas till att driva explosionsmotorer uppkopplade som dynamos och åter producera elektrisk energi, eller ännu troligare via bränsleceller. (egen översättning)

John Haldane, University of Cambridge, 1921

Citatet ovan ger visst historiskt perspektiv på vätgasen. Väte upptäcktes år 1766 av den brittiske forskaren Henry Cavendish. Sedan dess har såväl forskare som ingenjörer undersökt olika tillämpningsområden och olika sätt att framställa vätgas.

Haldane hade byggt modeller för hur elektricitet skulle kunna skapas med hjälp av vindkraft och att väte sedan skulle skapas genom elektrolys. Tanken var att det sinande kolet skulle kunna ersättas av vätgas. Även i början av 1930-talet fanns det liknande tankegångar i Tyskland. Hermann Honnef, vid Berlins fysikinstitut menade att elektricitet skulle kunna genereras från vindkraft som i sin tur skulle kunna lagras genom att producera vätgas.

Under de kommande decennierna kom oljans framväxt att bidra till ökad konsumtion av fossila bränslen. Visst intresse för väte bestod emellertid. General Motors byggde en prototyp till bil som skulle drivas på väte 1966. Precis som alla andra satsningar på väte ledde det inte till något annat än prototyper och konceptbilar.

Redan före den första oljekrisen uttryckte Europeiska kommissionen entusiasm över vätgasen:

Among all possible solutions to this [energy] problem, one stands out as being particularly interesting: hydrogen. What are the main ways this element would lend itself to the transfer of nuclear energy in various ways? For its wide range of possible uses in a wide variety of sectors where there are energy needs. Its "clean" combustion, which makes it interesting from a pollution point of view. It is superfluous to underline here the growing importance, not to say necessity, of this factor in a technologically advanced society.

Hydrogen has a great potential for the future as an interesting energy carrier from the point of view of the variety of its uses. (Beghi, 1972)

70-talets oljekris ledde till att Västvärlden började söka efter alternativa energikällor och vätgasen fick återigen ett uppsving när Europeiska kommissionen sjösatte ett flertal större forskningsprojekt på området. Man lanserade Oil and Gas Demonstration Programme som delvis bidrog till att utveckla teknologier för att utvinna olja och naturgas ur Nordsjön. Man stödde också utvecklingen av kärnkraft och initierade forskning med syfte att göra kolkraftverken renare.

Kommissionen förutspådde att väte skulle bli så billigt och lättanvänt att det skulle fungera som bränsle för mängder av applikationer. Kommissionen menade 1983 att Europa skulle klara sig utmärkt utan fossila bränslen tack vare väte. Sent 80-tal initierade Kommissionen och Quebec i Kanada ett samarbete om att tillverka väte och sedan skeppa vätet över Atlanten. När Kanadas premiärminister Justin Trudeau i augusti 2022 proklamerade att Kanada skulle hjälpa Tyskland ur landets energikris genom att skeppa vätgas fanns det med andra ord en viss historisk koppling. Som vi ska se nedan, saknades dock realism i båda fallen.

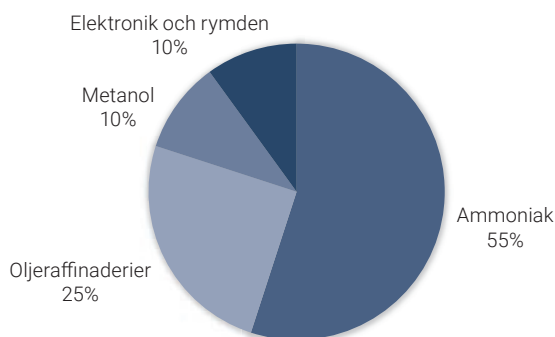
I takt med att oljepriset föll tappade också vätet en del av sin attraktionskraft under 1980- och 90-talen. Vätgasen fick återigen mer uppmärksamhet under början av 2000-talet, inte minst i och med Jeremy Rifkins bok *The Hydrogen Economy* (2006) och flera andra publikationer (t.ex. Clark och Rifkin, 2006; Rifkin, 2002).

Användning av vätgas

Produktionen av vätgas har ökat markant de senaste 50 åren. Den har tredubblats sedan 1975 och år 2019 producerades 70 miljoner ton globalt. År 2022 producerades 75 miljoner ton ren vätgas globalt och 45 miljoner ton där vätgasen är uppblandad, vilket totalt ger 120 miljoner ton (Irena, 2023). Vätgas har i dag flera olika industriella tillämpningar. Vätgasen har främst använts för kemiska ändamål knutna till miljö snarare än som energikälla. Som vi konstaterat ovan är vätgas inte att betrakta som en energikälla utan en energibärare, och en ganska dålig sådan.

Figur 2 visar hur vätgas användningen fördelar sig på olika områden. 55 procent av vätgasen används för att göra ammoniak (NH_3), som i sin tur främst blir till gödningsmedel för jordbruket. Vätgas fyller med andra ord en viktig funktion i att skapa ett resurseffektivt jordbruk, vilket i sin tur leder till lägre matpriser och högre levnadsstandard. Näst efter produktion av ammoniak används 25 procent av vätgasen i oljeraffinaderier, 10 procent för produktion av metanol och 10 procent för produktion av olika elektroniska komponenter.

Figur 2. Användning av vätgas i dag.



Källa: Furfari (2022).

Ett område där vätgas använts framgångsrikt är hanteringen av svaveldioxid, SO_2 . Råolja innehåller svavel och vid förbränning av fossila bränslen reagerar detta svavel med syre på ett sådant sätt att biprodukten blir svaveldioxid, vilket ger upphov till surt regn och försurning. Genom att låta oljan reagera med vätgas kan svavlet separeras och svavelfria oljeprodukter skapas. Som en följd av detta har utsläppen av svaveldioxid minskat radikalt i Västvärlden. I takt med att miljömedvetenheten i världen tilltar lär länder som Kina och Indien i framtiden också ställa krav på minskade svavelutsläpp, vilket kommer att bidra till ytterligare ökning i efterfrågan på vätgas (Furfari, 2017).

Utsläpp av svaveldioxid har emellertid fortsatt inom sjöfarten, där olja med höga svavelhalter fortfarande används för att den är billig. Denna "bottom of the barrel" inom sjöfarten är emellertid på väg bort. För Östersjöns del beslutade man redan 2015 att det inte är tillåtet att bränna bunkerolja med en högre svavelhalt än 0,1 procent. Detta är också ett viktigt skäl till att flytande naturgas används alltmer inom sjöfarten.

Sammanfattningsvis kan sägas att väte i dag har flera viktiga industriella tillämpningar och att efterfrågan kommer att öka de kommande decennierna. Dessa tillämpningar handlar emellertid om att involvera väte i olika kemiska reaktioner för att få bort oönskade bieffekter eller för att framställa andra kemikalier, inte minst ammoniak. Väte har inte använts storskaligt för förbränning och produktion av energi av den enkla anledningen att det kräver mer energi att producera väte än den energi förbränningen av väte ger.

Hajp runt vätgasen

De senaste åren har vätgasen fått alltmer uppmärksamhet i Bryssel och runt om i Västvärlden. Jones och Pielbags (2021, s. 11) skriver

The Commission has made a deliberate and systematic technology choice in favour of only renewable hydrogen.

EU:s Green Deal innehåller ett flertal kvantitetsmål gällande produktionen av vätgas. Bland annat har följande mål satts upp:

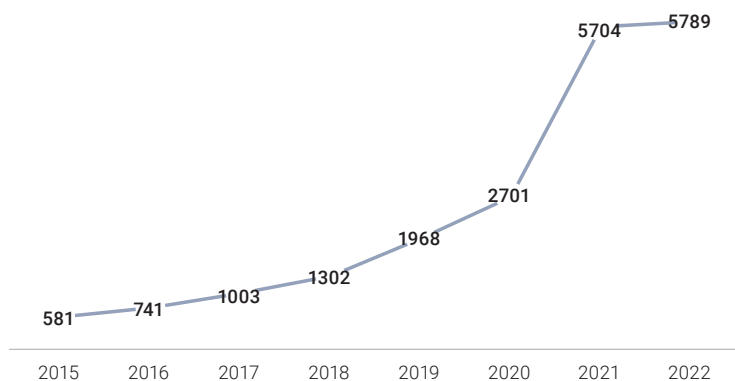
- EU ska producera minst en miljon ton grön vätgas 2020–2024, vilket ska öka till 10 miljoner ton 2030.
- Grön vätgas ska i stor skala användas i de sektorer där det är svårt att minska CO₂-utsläppen på andra sätt (Europeiska kommissionen, 2020)

Genomgången ovan pekar mot att såväl naturvetare som tekniker och ekonomer bör lyfta ett flertal invändningar avseende vätgasens potential. All sådan försiktighet står emellertid i kontrast till den hajp som ägt rum de senaste åren.

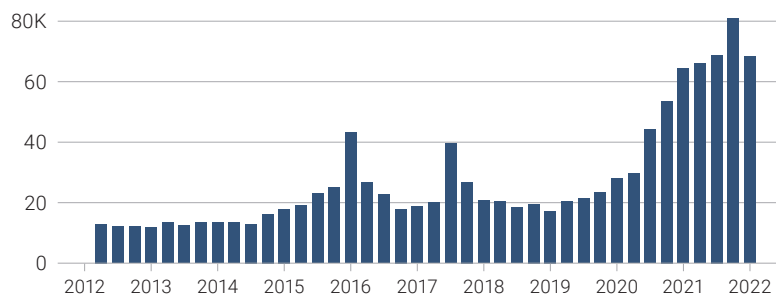
Ett sätt att visualisera hajpen är att se hur många träffar ordet "vätgas" ger i Retriever Mediearkivet.² Figur 3 visar att det sker nästan en fördubbling 2015–2017, vilket därefter följs av mer än en femdubbling fram till 2021–2022. Mönstret är likartat hos Bloomberg (Figur 4).

² Retriever Mediearkivet är en databas med nyhetsartiklar från svensk media.

Figur 3. Antal träffar i Mediearkivet för "vätgas", 2015–2022.



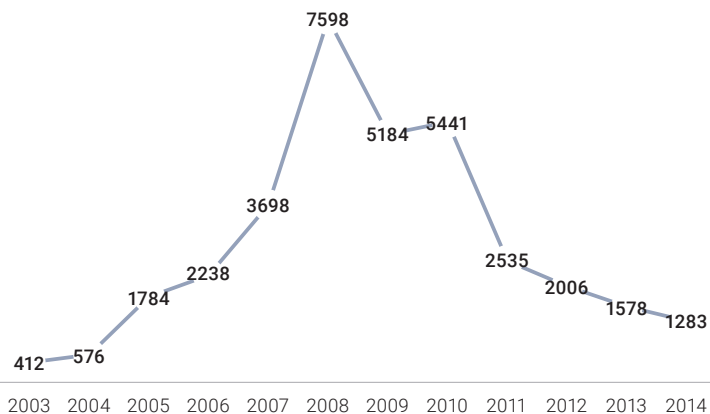
Figur 4. Antal omnämningar av "hydrogen" på Bloomberg per kvartal, 2012–2022.



Källa: Bloomberg News TrendsTool.

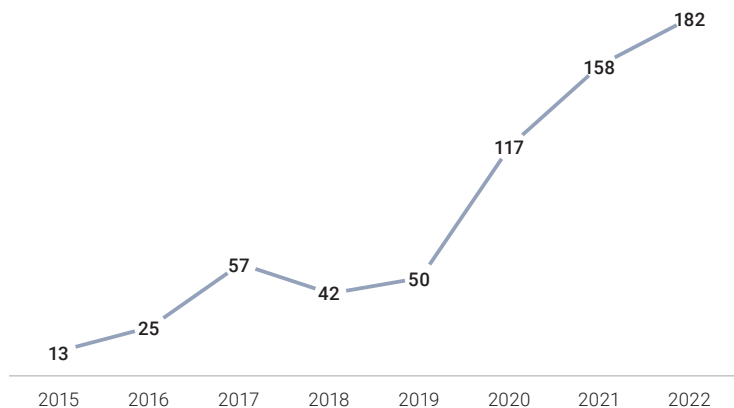
Den tiofaldiga ökningen i uppmärksamhet för vätgas under perioden 2015–2022 kan jämföras med uppmärksamheten runt etanol 2003–2014. Som framgår av *Figur 5* nedan blev etanol föremål för en betydande hajp under åren 2003–2008; den mediala uppmärksamheten kring etanol tjugofaldigades under dessa år. I efterhand vet vi att etanolen var en grön bubbla, medan det återstår att se gällande vätgasen.

Figur 5. Antal träffar i Mediarkivet för "etanol", 2003–2014.



I anslutning till gröna bubblor förekommer ofta formuleringar om att satsningen är världsledande eller världsunik. I en sökning i Retriever Mediarkivet på kombinationen av vätgas och "världsledande"/"världsunik" syns också en snabbt tilltagande trend över tiden (Figur 6). Antalet artiklar och pressklipp som innehåller denna kombination av sökord har ökat nästan 15 gånger under perioden 2015–2022.

Figur 6. Antal träffar i Retriever Mediarkivet för "vätgas" och/eller "världsledande"/"världsunik", 2015–2022.



Toppolitikerna och vätgasen

Vätgasen har blivit ett sätt för politiker i Västvärlden att signalera miljömedvetenhet och godhet. Man behöver inte leta länge för att hitta rejält uppskrivade citat från högt uppsatta politiker när det gäller vätgasens potential. President Joe Biden has avsatt åtta miljarder dollar för att bygga minst fyra "vätgashubbar" där bränslet kommer att produceras och användas. Delstater har börjat tävla om att erhålla dessa medel. Amerikanska energiföretag ser nu vätgas som den nya frälsaren och mer än 20 vätgasprojekt har initierats de senaste två åren (Bloomberg, 2022).

Ursula von der Leyen skrev följande på Twitter i november 2021:

Renewable hydrogen will be key to the climate-neutral economy of the future. I'm proud that Europe is the world's clean hydrogen trailblazer.³

Vid EU:s Hydrogen Week under samma tid fanns det många formuleringar av det här slaget. von der Leyen:

Clean hydrogen will have a central place in the climate-neutral economy of the future.⁴

Över tid verkar Europeiska kommissionen bli alltmer offensiv gällande just vätgas. I september 2022 föreslog kommissionen att man skulle skapa European Hydrogen Bank, som skulle stå som garant för olika vätgassatsningar. von der Leyen uttalade sig om satsningen:

It will be able to invest 3 billion euros to help building the future market for hydrogen.

Sättet att göra detta skulle enligt von der Leyen vara att göra massiva satsningar:

To achieve this, we must create a market maker for hydrogen, in order to bridge the investment gap and connect future supply and demand.⁵

Inrättandet av en vätgasbank motiveras med att premien för miljöstatsningar inte är tillräckligt stor. von der Leyen igen:

I avsaknad av en tillräcklig grön marknadspremie för tidiga projekt är strategin bakom den europeiska vätgasbanken att täcka och så småningom också minska kostnads-gapet mellan förnybar vätgas och de fossila bränslen som den kan ersätta.⁶

³ <https://twitter.com/vonderleyen/status/1465295052687745026?s=20>.

⁴ President von der Leyen opens the European Hydrogen Week | EU Commission Press – PubAffairs Bruxelles.

⁵ European Commission to set up European Hydrogen Bank - CEENERGYNEWS.

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0156>, s. 6.

I december 2022 fortsatte kampanjen:

*We want to make hydrogen a central part of our energy system in the transition to zero carbon emissions and we want to maintain our pioneering position as we build a global market for hydrogen.*⁷

Satsningarna på vätgas verkar också ha utvecklats till något av en bilateral vänskaps-signaliering, som regeringsöverhuvuden och andra politiker använder för att signalera vänskapliga relationer med varandra. När Kanadas premiärminister Justin Trudeau träffade von der Leyen i mars 2023 aviserades gemensamma vätgas-satsningar:

*The enhanced action plan on hydrogen will mobilize investment, support businesses, share expertise and get clean Canadian hydrogen to Europe. ... Fundamentally, it's about good middle-class jobs, economic growth and clean energy.*⁸

Vätgashajp i Sverige

Den tilltagande politiska hajpen runt vätgas har också spridit sig neråt i systemet – allt fler regioner, företag och kommuner sjsätter vätgasinitiativ. Listan fylls fortlöpande på och det verkar finnas få gränser för vilka problem vätgasen ska lösa. Som en följd av de olika EU-programmen för vätgas med tillhörande motfinansiering från svenska myndigheter dyker det nu upp mängder av initiativ runt vätgas i Sverige. Listan är lång:

- I avfolkningskommunen Ånge planeras en satsning på två vätgasfabriker. Företaget RES Renewable Norden har för avsikt att leverera grön vätgas till industrin inom några år.
- Enligt Tege Törnvall, biljournalist, finns det fem vätgasmackar i Sverige. Det danska bolaget Everfuel har för avsikt att bygga tio till under 2023. Dessa 15 kan jämföras med omkring 2 700 bensinstationer och 200 gasstationer.⁹
- I Växjö initierades utvecklingsprojektet "Helsäker landsbygd" i juni 2022. Här är målet att skapa en solcellspark som ska producera vätgas i Växjö. Med hjälp av ett vätgas-lager på 1 500 kilo som påstås "klara elförsörjningen i bygden under minst 14 dagar vintertid". Spillvärmern från vätgasproduktionen ska användas till lokala grönsaks-odlingar (Växjöbladet Kronobergaren, 24 mars 2023)

⁷ Presented the H2Med interconnector. Von der Leyen: "It will be the backbone of hydrogen" (agenzianova.com).

⁸ <https://globalnews.ca/news/9532750/ursula-von-der-leyen-canada/>.

⁹ Så sent som den 15 november 2023 var antalet vätgasmackar i Sverige fortfarande bara fem (<https://www.energigas.se/fakta-om-gas/vatgas/tanka-vatgas/>).

- Semcon arrangerade i mars 2023 en vätgasdag på World Trade Center i Växjö. Semcons representanter säger att man "vill ligga i framkant i den gröna omställningen avseende klimat och energi. Vätgasen har framtiden för sig." (Magazinet Växjö, 2023)
- I Alvesta görs en satsning där vätgas ska kombineras med sol- och vindkraft. Ett antal lokalpolitiker skriver i Smålandsposten i mars 2023: "Vår gemensamma ambition är att i handling motverka klimatförändringarna och bidra till grön tillväxt. Vi hoppas att Alvesta kan utgöra förebild för andra kommuner som tvekar inför liknande satsningar och visa att vi kan skapa både framtidstro, stolthet och attraktionskraft."
- Uniper och Sasol ecoFT skrev en avsiktsförklaring tillsammans med Sollefteå kommun om att företagen skulle undersöka möjligheten till etablering av SkyFuelH2 i Långsele. Dåvarande näringsminister Karl-Petter Thorwaldsson var på plats i Långsele och var redo att tillstyrka ansökan för medfinansiering från Energimyndigheten med 261 miljoner kronor. Man talar om möjligheter till 100 nya arbetstillfällen.¹⁰
- Mariestads kommun fick närvara vid Klimattoppmötet i Glasgow 2021 för att berätta om sina satsningar på vätgas. För en mindre kommun i Sverige kan detta bara beskrivas som en PR-mässig kometkarriär in i världens rampljus och då finns det liten orsak att ifrågasätta de satsningar som görs. Kommunstyrelsens ordförande Johan Abrahamsson noterade att "Vätgasen har satt oss på kartan" (Åberg, 2023).
- I december 2021 meddelade Naturvårdsverket att företaget REH2 får 355 miljoner i investeringsstöd från Klimatklivet för att bygga tankstationer för vätgas.¹¹
- I november 2021 lanserade Energimyndigheten en nationell strategi för fossilfri vätgas.¹²
- En vätgasfärja planeras för sträckan Österåker–Stockholm till år 2025. I lokalpressen beskrivs projektet som privat initierat av Stockholmsföretaget Green City Ferries och rederiet Antophia, som även har för avsikt att skapa lokalproducerat bränsle." (Mitt i Österåker, 2023)
- Gotlandsbolaget har för avsikt att skapa en båt som går på vätgas och vara i trafik från 2030 (Hamnen.se, 2022).

¹⁰ <https://www.uniper.energy/sv/sverige/jetfuel>.

¹¹ Klimatklivet administreras av Naturvårdsverket. Det är ett investeringsstöd till satsningar på fossilfri framtidsteknik och grön omställning. Det kan sökas av företag, kommuner, regioner och organisationer i hela Sverige. Klimatklivet delfinansieras av EU:s återhämtningsfond, NextGenerationEU. I slutet av oktober 2023 hade Klimatklivet beviljat 13,7 miljarder kronor i investeringsstöd till 5 246 klimatåtgärder runt om i landet.

¹² <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/forslag-till-nationell-strategi-for-fossilfri-vaetgas/>.

- Göteborgs Hamn planerar för vätgasproduktion som ska sjösättas i mitten av 2023. Arvid Guthed, hamnutvecklingschef vid Göteborgs Hamn (Dagens Logistik, 2022): "Vi vet att det redan nu finns en stor efterfrågan i och kring hamnen att använda fordon som drivs av vätgas. Flera aktörer står och stampar och vi är övertygade om att lokal produktion av vätgas kommer att innebära ett genombrott." Hösten 2023 aviserade man än en gång att det planeras för vätgasproduktion i Göteborgs Hamn, följaktligen verkar planerna vara försenade (Vätgasbloggen, 2023).
- Företaget Lhyfe och Härjedalens kommun har kommit fram till att det finns förutsättningar för vätgasproduktion i Sveg. Restprodukterna från processen utgörs av värme och syrgas, dessa kan enligt företrädare för satsningen användas till uppvärmning av exempelvis växthus och syrgasen kan användas till fiskodlingar (Härjedalen.se, 2023).
- Trelleborg planerar att öppna en vätgasmack med egenproducerad vätgas. De håller även på att bygga tre fastigheter som ska bli självförsörjande vätgashus. Man vill även producera konstgödsel av vätgasen och erbjuda grön vätgas till de industrier i nordvästra Skåne som i dag själva tillverkar vätgas från naturgas. Magnus Sahlin, vd för Trelleborgs Energi, slår fast att "Trelleborg vill bli Sveriges klimatsmartaste kommun och vätgas är en av lösningarna för att klara energifrågan." (Vätgas Sverige, 2021)
- Nordic Hydrogen Route, ett initiativ mellan Gasgrid Finland och Nordion Energi, syftar till grön industrialisering och förbättrad självförsörjningen för energi, främst genom att] bygga väginfrastruktur i Bottenviksregionen och en öppen vätgasmarknad till 2030." Dåvarande energi- och digitaliseringsminister Khashayar Farmanbar var entusiastisk: "Satsningen på vätgas är historisk och stärker Bottenviken som region samtidigt som det förstärker det nordiska samarbetet. Det är glädjande nyheter för en energiminister i en tid som denna!" (Ny Teknik, 2022)
- I Uppsala har man startat ett bolag vid namn H2CAB som enbart ska köra med vätgasdrivna taxibilar.

Sammanfattning: politisk hajp kring vätgasen

Tysklands forskningsminister, Anja Karliczek och vd:n för Siemens Energy, Christian Bruch, sa till Frankfurter Allgemeine Zeitung att grön vätgasteknik främst är beroende av lagstiftning och regleringar för ett genombrott snarare än forskning. Detta kan ses som en förskönande omskrivning av slutsatsen att den "gröna vätgas-strategin" egentligen saknar teknisk och ekonomisk bärkraft. Furfari sammanfattar:

The political world should be more careful before drawing plans on the comet: promising a miracle solution, at a cost impossible to achieve. And this, while respecting a totally unrealistic timetable for implementation, totally incompatible with the innumerable constraints of any order that must be overcome or circumvented, and of which apparently, politicians have not measured the magnitude, or worse, of which they seem to ignore the existence.

Enligt Furfari är det många inom Europeiska kommissionen som menar att dessa storskaliga satsningar på vätgas drivs av politiska motiv och krafter i Europaparlamentet som inte vilar på expertis: *"A lot of people inside the Commission feel the same, but they cannot speak out."*¹³

Furfari lyckades samla en grupp av 14 tidigare högt uppsatta tjänstemän inom Europeiska kommissionen, som skrev en vädjan till Kommissionen i december 2020 där de bad Kommissionen att "skärskåda sin vätgasstrategi utan inflytande från särintressen som söker subventioner och att de borde erkänna att massproduktionen av vätgas från intermittenta energikällor är en illusion."

Expertgruppen kritiserade även Europeiska kommissionen för att ha lanserat vätgas som ett stort tema inom ramen för EU:s Green Deal utan att ha gjort någon ordentlig konsekvensanalys, trots att det finns decennier av forskning som påvisar den låga effektiviteten och de höga kostnaderna. Forskargruppen använde Tyskland som ett avskräckande exempel där man menade att stora delar av försöken att skifta till ett fossilfritt samhälle varit katastrofala.

Furfari (2020) skriver följande om vätgasen:

We are witnessing irresponsible promises that are unrealistic and uneconomic, which will create disillusionment, bitterness, and discontent among the citizens.

Man behöver inte hålla med Furfari i denna slutsats för att ändå konstatera att dagens förhoppningar om användning av vätgas inte står i proportion till de underliggande tekniska och ekonomiska realiteterna. Därmed finns det risk för att en ny grön bubbla håller på att skapas.

¹³ <https://www.naturalgasworld.com/the-hydrogen-illusion-interview-with-samuel-furfari-on-his-explosive-new-book-gastransitions-85316>.

Framställning av stål med vätgas

Ambitionerna att framställa stål med hjälp av "grön" vätgas behöver förstås i ljuset av att vätgas är en energibärare snarare än en energikälla. Som vi ska se blir elanvändningen snabbt ett dilemma och det är svårt att se hur dessa mängder el ska genereras.

I konventionell ståltillverkning framställs stål genom att järnoxiden reduceras med hjälp av koks. Resultatet blir stål och koldioxid. Om vätgas används i stället för koks blir restprodukten vatten och inte koldioxid. I teorin låter detta fantastiskt i all sin enkelhet. Idén är heller inte ny, utan diskuterades exempelvis redan 1972 av Europeiska kommissionen där tjänstemannen Giorgio Beghi skrev följande i en rapport:

Before this technique can be used on an industrial scale, a research and development effort is still necessary. However, the prospects for this reduction technique seem favorable, compared to that of coke.

Hur kommer det sig att denna potential ännu efter ett halvsekel inte har realiserats? Som konstaterats ovan behöver produktionen av den erforderliga vätgasen tas i beaktande vid en granskning av eventuell miljönytta.

Om grå vätgas används är den enda skillnaden från konventionell stålproduktion att CO₂ produceras i det föregående steget i stället för i direkt anslutning till reduktionen av järnoxid. I fallet när vätgas produceras ur vatten krävs 4,5 till 6,9 gånger mer energi än vid användningen av naturgas, beroende på om man använder vatten eller vattenånga (Furfari, 2022). För att ställa om hela världens stålproduktion till att ske med icke-fossilt genererad vätgas skulle det krävas elektricitet motsvarande 912 kärnkraftsreaktorer där varje reaktor genererade 8,16 TWh per år (Mairy, 2022).¹⁴

Den vätgasbaserade stålproduktionens effekter på miljön behöver därför analyseras med utgångspunkt i hur elproduktionen sker. I dagsläget sker 62 procent av världens elproduktion genom användning av fossila bränslen som olja, kol och naturgas. Det framstår som osannolikt att en så kraftig expansion av energiförbrukningen vore möjlig utan att nettoeffekten blir en ökad produktion av fossilt genererad elektricitet.

¹⁴ Det totala antalet kärnkraftverk i världen är ca 450.

Det vätgasbaserade stålet i Norrland

Hybrit står för Hydrogen Breakthrough Innovation Technology. Hybrit initierades av de två statliga bolagen Vattenfall och LKAB samt det av LKAB och finska regeringen kontrollerade SSAB. Utöver detta har även H2 Green Steel skapats, ett initiativ av riskkapitalisten Harald Mix och Carl-Erik Lagercrantz, som syftar till att göra stål med hjälp av vätgas utanför Boden. Tanken är att använda vätgas i stället för koks för att reducera järnmalmen till järnsvamp och att sedan tillverka stål i elektriska ljusbågsugnar från en blandning av skrot och järnsvamp. Restprodukten blir då vatten i stället för CO₂, en process som i teorin är renare och i praktiken fossilfri. Hybridsatsningen handlar också om att göra fossilfri järnsvamp av hela LKAB:s malmproduktion, detta med målet att göra hela kedjan i stålproduktionen fossilfri.

Satsningarna har fått stor och uteslutande positiv uppmärksamhet under de senaste åren. Formuleringar om "det största teknikskiftet inom stålindustrin på 1 000 år" kombinerades med entusiastiska formuleringar om "det stora språnget" inom stålproduktion (Sveriges Radio, 2020).

Under sin tid som statsminister lovordade Stefan Löfven Hybrits pilotanläggning:¹⁵

Ur arbetslöshet och klimathot kan snart gröna jobb med nollutsläpp växa. Här finns en chans till export av inte bara stål utan kol utan också en världsunik teknik.

För dem som följt hur politiker som dåvarande statsminister Göran Persson gjorde liknande uttalanden runt etanolproduktion under tidigt 2000-tal och hur politiker ofta passat på att fila på sitt anseende genom att förknippas med satsningar på biogas, etanol eller vindkraft borde parallellerna stämma till eftertanke.

Det är inte bara i Sverige som toppolitiker uppmärksammat satsningen. I sitt State of the Union-tal till Europaparlamentet 2020 använde Ursula von der Leyen just Hybrit som exempel på hur vätgasen kan användas:

För två veckor sedan inleddes ett unikt pilotprojekt för fossilfri stålproduktion i Sverige. I projektet ersätter man kol med vätgas för produktion av rent stål. Det här visar på vätgasens potential att ge industriföretagen nya miljövänliga möjligheter.¹⁶

Von der Leyens kollega Frans Timmermans, som är ansvarig för EU:s Green Deal, sa i september 2020:

*There is no future for grey steel in Europe. But an incredible future for green steel and hydrogen.*¹⁷

¹⁵ Regeringen (2020).

¹⁶ https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/sv/SPEECH_20_1655.

¹⁷ SSAB (2020).

Timmermans var på besök i Sverige våren 2022 för att dela ut 143 miljoner euro till Hybrit-projektet och sa då:

Hybrit banar väg för en fundamental förändring i den globala stålindustrin” ... [g]rönt stål är framtiden, och den framtiden är redan här.¹⁸

Få kritiska frågor ställdes i anslutning till Timmermans besök.

Offentliga stöd till vätgasstålet

Hybrit-projektet skickade in en ansökan till Energimyndigheten där man ber om bidrag på totalt 4,9 miljarder kronor. I december 2023 beviljades 3,1 miljarder av de äskade medlen. Redan innan Timmermans-pengarna på 143 miljoner euro förra året hade Hybrit fått omfattande statliga stöd via EU:s olika nya finansieringsinstrument.

2018 delade Energimyndigheten ut 528 miljoner kronor till Hybrids pilotfas (Energimyndigheten, 2018). Den totala kostnaden beräknades till 1,4 miljarder kronor och resterande belopp betalades i praktiken också av skattebetalarna då helstatliga Vattenfall stod för dessa medel. Energimyndigheten delade också ut 47 miljoner kronor 2019 till forskning om vätgaslager (Energimyndigheten, 2019). Hybrit-företagen investerade utöver detta 150 miljoner i vätgaslager och år 2020 fick man ytterligare anslag från Energimyndigheten.¹⁹ Enligt egen utsago har Hybrit hittills lagt två miljarder på denna satsning (IVA, 2023). I ansökan till Energimyndigheten på totalt 16 miljarder ber man om ett stöd på 4,9 miljarder som ska kombineras med EU-medlen enligt ovan. Resterande tio miljarder ska de statliga bolagen investera som egna medel, vilket tillsammans med stödet från EU summerar till 16 miljarder kronor (Dagens industri, 2022).

Satsningarna i Norrland på så kallat fossilfritt stål behöver förstås och analyseras med utgångspunkt i vätgasens inneboende utmaningar.

Vätgasstålet i förhållande till andra behov

Elbehovet. Hybrit-företagen och H2 Green Steel har tillsammans för avsikt att öka elbehovet med ca 85 TWh per år, fördelat på 70 TWh för LKAB:s järnsvamp, 2 TWh för SSAB:s vätgasstål och 13–17 TWh för H2GS redan år 2030. Detta motsvarar mer än Finlands totala årliga elanvändning, sex gånger vattenkraftsproduktionen i Norrbottens län och mer än hälften av Sveriges nuvarande elanvändning.

¹⁸ Expressen TV (2022).

¹⁹ Energimyndigheten (2022).

De cirka 85 TWh el som krävs för stålproduktionen kan ställas i relation till andra elkonsumenter. I *Tabell 1* jämförs dessa satsningars elbehov med elanvändningen hos de företag som i dag förbrukar mest el i Sverige och med den totala konsumtionen i de nordiska länderna. Totalt har man alltså för avsikt att använda 77 gånger mer el än all el som Volvo, Sveriges största privata arbetsgivare, använder. Enbart H2 Green Steel har för avsikt att använda mer el än hela Skåne län.

Tabell 1. Stora elanvändare 2021 och framtida elbehov.

Användare	TWh
Stora Enso	11
SSAB	4,7
Boliden	4,6
Essity	4,3
Volvo	1,1
ABB	1
LKAB tillverkning av järnsvamp	70
SSAB vätgasstål	1–2
H2 Green Steel	13–17
Totalt vätgasstål	98
Finland	81
Danmark	32
Norge	123
Skåne län	12

Källa: Dagens industri (2022).

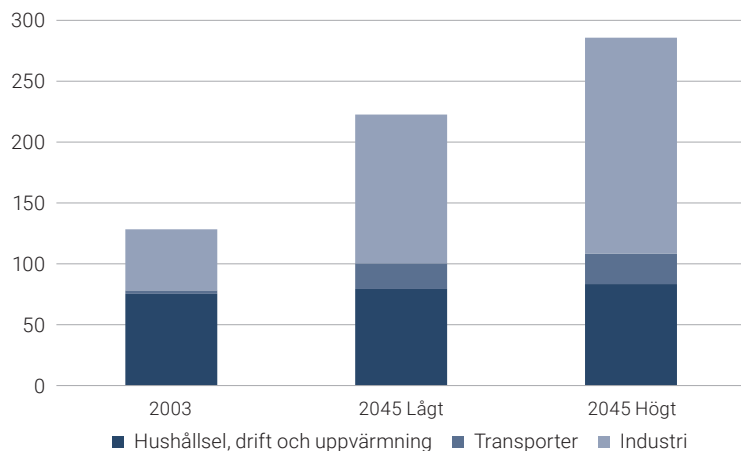
Den totala vattenkraftproduktionen i Norrland är ca 57 TWh per år och med nuvarande lagstiftning är ingen ytterligare utbyggnad möjlig. Det ökade behovet på 85 TWh måste därför primärt komma från intermittenta energislag som vindkraft eller från utbyggd kärnkraft. När mängden vindkraft ökar i elsystemet minskar tillförlitligheten – priserna blir högre och mer volatila. En sådan expansion av elbehovet i norr är därför knappast förenlig med ett stabilt elsystem i norr.

Samtidigt har södra Sverige och stora delar av Europa hamnat i ett stagflationsliknande scenario med ökande kostnader som en följd av höga elpriser. Affärspresen rapporterar om oräknliga företag som antingen inte vågar investera och expandera därför att elförsörjningen är osäker eller helt enkelt inte kan få ett elavtal oavsett vad de är beredda att betala.

Vätgasstölet och det svenska elsystemet

Det svenska elbehovet beräknas som en följd av de "gröna" industrisatsningarna att växa dramatiskt under de kommande decennierna. I de prognoser som ligger har man uppskattat att hushållens elbehov för drift och uppvärmning kommer att vara i stort sett oförändrat samt att det kommer att ske en viss ökning inom transporter medan den absoluta huvuddelen av ökningen är knuten till industrisatsningarna i Norrland (Figur 7).

Figur 7. Planerad ökning av Sveriges totala elbehov från 2019 till 2045, TWh.



Källa: Ekonomifakta (2022) och Energiföretagen (2021).

Är satsningarna på vätgasbaserat stål förenliga med ett fungerande svenskt elsystem för norra och södra Sverige? När Hybrit fick sina första anslag från Energimyndigheten lovade man att utreda frågan i mer detalj. Peter Wennblad (2022) har visat att denna utredning aldrig gjordes; det enda som skapades var 12 powerpointbilder inklusive försätsblad. Vad som har beskrivits som den största satsningen i svensk industrihistoria och som erhållit miljarderna i skattemedel från såväl EU som svenska myndigheter har i praktiken inte besvarat de mest grundläggande frågorna gällande elförsörjning och konsekvenserna för det svenska elsystemet av en sådan expansion.

Låt oss ta en närmare titt på den svenska energimixen och hur den har utvecklats. Vindkraft och andra intermittenta kraftkällor var praktiskt taget försumbara i det svenska elsystemet så sent som 1998. Vindkraften fördubblades under perioden 2016–2021, medan kärnkraftens andel minskade i snabb takt. Sverige har hamnat i en strukturell elkris som en följd av detta skifte. När nu omkring 33 TWh kommer från vindkraft blir systemet alltmer volatilt, leveranssäkerheten minskar och priserna fluktuerar kraftigt.

Det saknas svar på varifrån elektriciteten ska komma till LKAB:s järnsvampstillverkning (70 TWh) och H2 Green Steels produktion i Boden (13–17 TWh). Det går bara att spekulera i hur en sådan expansion av det svenska elsystemet skulle gestalta sig. Med en omfattande utbyggnad av kärnkraften skulle det i teorin vara möjligt att göra vätgas-satsningarna. Om elektriciteten ska komma från vindkraft framstår det inte som rimligt att denna expansion av elbehovet är förenlig med en pålitlig elförsörjning, varken för Hybrit-satsningen eller för resten av samhället. Enligt Sundén (2023, 2024) är det dessutom långt ifrån säkert att LKAB:s järnsvampstillverkning med hjälp av vätgas kan skalas upp till större volymer på ett ekonomiskt konkurrenskraftigt sätt.

Samhällsekonomiska effekter av vätgasstålet

Stora industri- och miljö-satsningar görs ofta med motivet att de har positiva samhällsekonomiska effekter. Detta gäller såväl skapandet av arbetstillfällen ("gröna jobb") som resonemang om återindustrialisering och utveckling av världsledande teknik med tillhörande positiva externa effekter.

När sådana kalkyler görs i syfte att torgföra projekten saknas ofta en uppskattning av alternativkostnaden. Om stora resurser tas i anspråk för att skapa arbetstillfällen är det möjligt att den totala effekten på sysselsättning och arbetslöshet blir negativ eftersom resurserna hade kunnat göra mer nytta på annat håll.

Alternativkostnaden för 85 TWh torde vara betydande för såväl den svenska ekonomin som för miljön. Kapital- och elintensiva industrier tenderar att vara dyra, det vill säga det genereras relativt få arbetstillfällen i förhållande till resurserna som tas i anspråk.

LKAB:s satsning på "fossilfri" järnsvamp beräknas leda till 150–200 nya arbetstillfällen medan H2GS menar att de kommer skapa 1 500 arbetstillfällen genom att ta 13–17 TWh i anspråk (Henrekson m.fl., 2021). Bolaget kommer alltså att ta lika mycket elektricitet i anspråk som hela Skåne som har 600 000 arbetstillfällen. Gällande H2 Green Steels satsning i Boden har den av Johansson och Kriström (2022) beräknats medföra en samhällsekonomisk förlust på mellan 200 och 250 miljarder kronor.

Klimatnyttan

Alternativkostnaden behöver även tas i beaktande när man granskar den eventuella klimatnyttan av dessa satsningar. Det torde vara självklart att så stora mängder fossilfri elektricitet har en alternativ användning. Den som enbart vill fokusera på sänkta CO₂-utsläpp hade enligt professor Björn Karlsson kunnat sänka dessa dubbelt så mycket genom att använda svensk elektricitet för att ersätta el från polska kolkraftverk (Ny Teknik, 2019).

Intressant nog finns det redan i dag återvunnet stål, det vill säga stål som görs genom att smälta ner skrot. SSAB menar att det skrotbaserade stålet kommer fortsätta att växa och uppgå till 50 procent av världsmarknaden inom några decennier. Enligt andra scenarier, exempelvis från International Energy Agency i Wien, kommer det att ta ännu mer marknadsandelar. Det bör poängteras att skrotbaserat stål aldrig har handlats till någon premie på marknaden. Skrotbaserat stål kräver enbart 5–20 procent av den energi som krävs vid traditionell stålproduktion (FTI, 2009; Sundén, 2023).

Sammanfattning: Är vätgasbaserat stål en grön bubbla?

Gröna bubblor har tidigare uppstått när förväntningarna inte står i proportion till de underliggande tekniska och ekonomiska realiteterna. Inte sällan har denna diskrepans skapats av politiskt allokerade offentliga medel som gjort att riskmedvetandet underminerats. De mekanismer som givit upphov till tidigare bubblor kan nu skönjas på vätgasområdet, inte minst när det gäller det vätgasbaserade stålet. Produktionen av vätgas genom elektrolys är extremt elkrävande. Hur denna elektricitet ska genereras och hur det ska kunna ske samtidigt som elsystemet förblir stabilt är en fråga som inte tagits på tillräckligt stort allvar.

Slutsatser

Analysen i denna studie visar att den uppmärksamhet och de förhoppningar som kopplas till satsningarna på vätgas inte står i proportion till vätgasens underliggande tekniska och ekonomiska potential. Även om det sker teknisk utveckling över tiden gör vätets fysikaliska egenskaper det svårt att se någon betydande potential i storskalig användning av vätgas för energjämdamål.

De tekniska och ekonomiska realiteterna är i själva verket begränsande faktorer, inte minst gällande så kallad grön vätgas, vilken kräver exceptionellt stora mängder elektricitet och långt mer energi än vid framställning med hjälp av naturgas. Detta dilemma blir särskilt tydligt gällande stålsatsningarna i Norrland, där vätgas från fossilfri el är tänkt att användas.

Dessa realiteter står i bjärt kontrast till den politiska argumentationen runt vätgas där såväl toppolitiker inom EU som på det nationella planet lyfter vätgassatsningar som centrala för att uppnå målet om fossilfrihet senast 2050. På EU-nivå har 430 miljarder euro ställts till förfogande för de företag som satsar på vätgasbaserad teknik. Anslagna EU-medel matchas sedan ofta av bidrag på nationell nivå. Uppmärksamheten kring vätgas har mer än tiofaldigats på några få år och i den växande diskrepansen mellan stödmiljarder och begränsad teknisk potential finns anledning att befara att gröna bubblor kommer att uppstå. Det finns därmed en påtaglig risk att vätgassatsningarna leder till besvikelser som slår tillbaka mot vätgasen på lång sikt.

Referenser

- Antonoli, A. (1971). "La riduzione diretta e l'energia nucleare", *La Metallurgia Italiana*, nr 1, s. 12.
- Beghi, G. (1972). "Hydrogen as an energy vector: New future prospects for applications of nuclear energy", Commission of the European Communities, Joint Nuclear Research Centre Luxembourg, maj.
- Björnemalm, R. och Sandström, C. (2023). "Interest groups and the failure of transformative innovation policy: Insights from the ethanol car bubble in Sweden 2003–2013", Working paper nr 362. Stockholm: Ratio.
- Bertagni, M. B., Pacala, S. W., Paulot, F., m.fl. (2022). "Risk of the hydrogen economy for atmospheric methane", *Nature Communications*, 13, artikel nr 7706.
- Clark, W. W. och Rifkin, J. (2006). "A green hydrogen economy", *Energy Policy*, 34(17), s. 2630–2639.
- Dagens Logistik (2021). "Göteborgs hamn planerar för vätgasproduktion", 2 november.
- Europeiska kommissionen (2020). "A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe, COM(2020)301 final". Bryssel.
- Dagens industri (2022). "Hybrits nota för anläggningen: 16,2 miljarder", 15 december.
- Ekonomifakta (2022), Elproduktion, www.ekonomifakta.se.
- Energiföretagen (2021). "Efterfrågan på fossilfri el, Analys av högnivåscenario", genomförd av Energiforsk och Profu på uppdrag av Energiföretagen Sverige Profu: Jenny Gode, Ebba Löfblad, Thomas Unger, Julia Renström, Johan Holm och Stefan Montin. Slutrapport 2021-04-23. Stockholm: Energiforsk och Profu.
- FTI (Förpacknings- och tidningsinsamlingen) (2009). "Visste du att...". <http://www.ftiab.se>.
- Furfari, S. (2017). *The Changing World of Energy and the Geopolitical Challenges: Understanding Energy Developments*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Furfari, S. (2020). *The Hydrogen Illusion*, eget förlag.
- Furfari, S. (2021). "Heating up by burning Louis Vuitton handbags", *European Scientist*, 7 oktober.

- Furfari, S. och Masson, H. (2017). "Why is industrial hydrogen produced from natural gas and not by water electrolysis? The Enthusiasm for Hydrogen#", *European Scientist*, 24 mars.
- Hamnen.se (2022). Nya Gotlandsfärjan gör 35 knop på vätgas, 8 oktober.
- Härjedalen.se (2023). "Lhyfe och Härjedalens kommun fortsätter samarbetet om vätgasproduktion i Sveg", 24 mars.
- IVA (2019), "Biter det svenska fossilfria stålet", <https://www.iva.se/event/biter-det-svenska-fossilfria-stalet/>. Stockholm: Kungl. Ingenjörsvetenskapsakademien.
- Irena (2023). "Hydrogen", Hydrogen (irena.org). International Renewable Energy Agency.
- Jones, C. och Piebalgs, A. (2021). "The Commission's proposal of a 'Fit for 55' legislative package: what impact could it have?", European University Institute, Robert Schuman Centre for Advanced Studies, *Policy Brief*, Issue 2021/56.
- Johansson, P. och Kriström, B. (2022). "Paying a premium for 'green Steel': Paying for an illusion?", *Journal of Benefit-Cost Analysis*, 13(3), s. 383-393.
- Mairy, B. (2022). "Green hydrogen for a clean steel industry", *SE2*, april.
- Mitt i Österåker (2023). "Kommunen positiv till vätgasfärja till Stockholm" 25 mars.
- Ny Teknik (2022). "De vill bygga 100 mil långa vätgasledningen", 22:e april.
- Rifkin, J. (2002). "The dawn of the hydrogen economy. *RMA Journal*, 85(2), s. 16–22.
- Rifkin, J. (2006). *The Hydrogen Economy: Making the Transition to the Third Industrial Revolution and a New Energy Era*. New York, NY: Palgrave Macmillan.
- Sandström, C. och Alm, C. (2022). "Directionality in innovation policy and the ongoing failure of green deals: Evidence from biogas, bio-ethanol, and fossil-free steel", s. 251–272 i K. Wennberg och C. Sandström (red.), *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy*. Cham: Springer.
- Sandström, C. och Björnemalm, R. (2023). "Gröna bubblor uppstår av politiska systemfel", *Ekonomisk Debatt*, 51(1), s. 71–74.
- Sandström, C. och Björnemalm, R. (2022). "Hur uppstår gröna bubblor? Lärdomar från etanolbubblan som sprack", *Ekonomisk Debatt*, 50(5), s. 65–71.
- Sundén, D. (2023). *Från grönt till brunt – Bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet
- Sundén, D. (2024). *Lönsam eller kostsam? Lönsamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet

- Warwick, N., m.fl. (2022). "Atmospheric implications of increased hydrogen use", UK Government, London.
- Vätgasbloggen (2023). "Vätgasproduktion planeras i Göteborgs hamn", 5 september.
- Vätgas Sverige (2021). "Trelleborg blir första staden att etablera en tankstation i den nordiska vätgaskorridoren", 26 augusti.
- Wennblad, P. (2022). "Hybrids forskning blev bara en powerpoint", *Svenska Dagbladet*, 9 december.
- Wild, R. (1969). "Iron ore production processes, chemical and process engineering", *Chemical and Engineering Processing*, februari, s. 55–61.
- Åberg, J. (2023). "Politiska styret positiva till projektet: 'Vätgasen har satt oss på kartan'", *Mariestads-Tidningen*, 20 mars.
- Österåker, (2023) Vätgasdriven passagerarbåt till Österåkers skärgård, 24 maj.

Om författaren

Christian Sandström är biträdande professor vid Internationella Handelshögskolan i Jönköping och forskningsinstitutet Ratio i Stockholm. Hans forskning handlar om samspillet mellan teknisk, politisk och industriell omvandling. Sandström disputerade 2010 vid Chalmers tekniska högskola och blev docent där 2014. Han har fått flera utmärkelser för sina insatser som lärare och har även forskat vid Cambridge University och ETH i Schweiz.

Christian Sandström har publicerat mer än 30 artiklar i internationella vetenskapliga tidskrifter och är en av redaktörerna för de internationella samlingsvolymerna *Questioning the Entrepreneurial State: Status Quo, Pitfalls, and the Need for Credible Innovation Policy* (Wennberg och Sandström, 2022) och *Moonshots and Industrial Policy: Questioning the Mission Economy* (Henrekson, Sandström och Stenkula, 2024). I dessa volymer granskas den växande trenden mot storskalig uppifrån styrd industripolitik för att uppnå ambitiösa samhällsmål, så kallad missionsorienterad innovationspolitik.

Senior biträdande professor Christian Sandström ·
Internationella Handelshögskolan i Jönköping · Gjuterigatan 5, 553 18 Jönköping ·
Epost: christian.sandstrom@ju.se · Tel: +46 73-705 01 37

KAPITEL 6

Elförsörjning till de planerade industriprojekten i norra Sverige*

JAN BLOMGREN

Om författaren

Se sid. 213 för en presentation.

* Citeras som: Blomgren, Jan (2024), "Elförsörjning till de planerade industriprojekten i norra Sverige". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 189–213). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning

Ett antal stora industriprojekt planeras i norra Sverige. Gemensamt för dessa är att de avser att använda vätgas som insatsvara. Denna vätgas planeras att produceras genom elektrolys av vatten, en mycket elintensiv process.

En viktig aspekt bakom dessa planerade investeringar är att den el som används inte ska komma från fossila källor. Detta lämnar vattenkraft, vindkraft och kärnkraft som tekniskt rimliga alternativ. Av dessa har inte vattenkraft studerats då det under lång tid rått politisk konsensus om att inte bygga ut återstående svenska älvar, och även om det gjordes skulle enbart en mindre del av efterfrågad el kunna produceras.

I den publika kommunikationen från de inblandade företagen har vindkraft, såväl på land som till havs, varit det vanligast förekommande teknikvalet. Kärnkraft har nämnts i mindre utsträckning som källa till efterfrågad el.

De inblandade företagen har hittills inte presenterat detaljerade planer för sin framtida elförsörjning, och än mindre kostnadskalkyler för den el som krävs. I denna studie uppskattas kostnader för olika tekniska lösningar för att tillhandahålla el till dessa stora projekt. I studien behandlas dels vindkraft, dels kärnkraft. I fallet vindkraft studeras såväl vindkraft på land som till havs, och i fallet kärnkraft görs bedömningar dels för traditionella storskaliga verk, dels för små modulära reaktorer av relativt konventionell utformning.

Eftersom olika tekniker leder till signifikant olika utformning av stödjande elnät, och kostnaderna för att bygga elnät kan antas utgöra betydande kostnader, åtföljs de olika teknikvalen för elproduktion med motsvarande uppskattningar av kostnader för elöverföring.

Sammanfattningsvis pekar resultaten mot att jämn tillförsel av el som produceras nära anläggningarna för vätgasproduktion genom elektrolys har stora fördelar framför el som produceras med stor variation på långa avstånd från anläggningarna. Detta pekar mot att kärnkraft förlagd nära vätgasproduktionen torde vara det ekonomiskt fördelaktigaste alternativet, särskilt om man tänker sig att driva dessa anläggningar under lång tid, 60 år eller mer.

Summary

A number of large industrial projects are planned in northern Sweden. What they have in common is that they intend to use hydrogen as an input. This hydrogen is planned to be produced by electrolysis of water, a very electricity-intensive process.

An important aspect behind these planned investments is that the electricity used should not come from fossil sources. This leaves hydropower, wind power and nuclear power as technically reasonable alternatives. Of these, hydropower was not studied as there is a long-standing political consensus not to exploit the remaining Swedish rivers, and even if this were done, only a small proportion of the electricity demanded could be produced.

In the public communication of the companies involved, wind power, both onshore and offshore, has been the most commonly proposed technology choice. Nuclear power has been mentioned to a lesser extent.

The companies involved have not yet presented detailed plans for their future electricity supply, let alone cost estimates for the electricity required. This study estimates the costs of different technical solutions for supplying electricity to these large projects. The study examines both wind and nuclear power; in the case of wind power, both onshore and offshore wind are studied, and in the case of nuclear power, assessments are made for both traditional large-scale plants and small modular reactors of relatively conventional design.

Since different technologies lead to significantly different designs of supporting electricity networks, and the costs of building electricity networks are significant, the different technology choices for electricity generation are accompanied by corresponding estimates of electricity transmission costs.

In summary, the results indicate that a steady supply of electricity produced close to the electrolysis hydrogen production plants has major advantages over electricity produced by sources at long distances from the plants where production varies greatly due to changing wind conditions. This suggests that nuclear power located close to hydrogen production should be the most economically advantageous option, especially if these plants are intended to operate for a long time, 60 years or more.

Inledning

Ett antal stora industriprojekt planeras i norra Sverige. Gemensamt för dessa är att de avser att använda vätgas som insatsvara. Denna vätgas planeras att produceras genom elektrolys av vatten, en mycket elintensiv process.

En viktig aspekt bakom dessa planerade investeringar är att den el som används inte ska komma från fossila källor. Detta lämnar vattenkraft, vindkraft och kärnkraft som tekniskt rimliga alternativ. Av dessa har inte vattenkraft studerats då det under lång tid rått politisk konsensus om att inte bygga ut återstående svenska älvar, och även om det gjordes skulle enbart en mindre del av efterfrågad el kunna produceras.

De inblandade företagen har hittills inte presenterat detaljerade planer för sin framtida elförsörjning, och än mindre kostnadskalkyler för den el som krävs. I denna studie uppskattas kostnader för olika tekniska lösningar för att tillhandahålla el till dessa stora projekt. I studien behandlas dels vindkraft, dels kärnkraft. I fallet vindkraft studeras såväl vindkraft på land som till havs, och i fallet kärnkraft görs bedömningar dels för traditionella storskaliga verk, dels för små modulära reaktorer av relativt konventionell utformning.

Det är möjligt att de inblandade aktörerna kommer att välja strategier som involverar flera olika produktionstekniker för den el som krävs. Syftet med denna utredning är inte att utse en enskild teknik till vinnare, utan att ge underlag för att belysa realismen i kostnader vid etableringen av den effekt som krävs.

Elbehov

De planerade industrianläggningarna för stålproduktion med vätgas som reduktionsmedel har alla det gemensamt att de kräver stora volymer el. H2 Green Steel (H2GS) har annonserat ett behov av 10 TWh per år till 2025 och 13–17 TWh till 2030. SSAB har indikerat 4 TWh i hela Norden, medan LKAB har aviserat behov av 70 TWh för produktion av järnsvamp som råvara till ståltillverkning. Sammantaget handlar de således om upp mot 90 TWh, vilket gott och väl motsvarar Finlands nuvarande totala elanvändning. Som jämförelse kan nämnas att Sverige i dag använder runt 140 TWh, så bara dessa stålrelaterade projekt skulle, om de genomförs, ledan till en ökning på drygt 60 procent av Sveriges elanvändning.

I denna studie granskas olika sätt att genomföra en sådan kraftig ökning av eltillgången. Detta innebär inte bara en granskning av anläggningar för produktion av el, men även tillhörande elnät, samt hur själva stål- eller järnsvampsproduktionen påverkas av olika produktionslags prestanda. Uppgifterna om behoven av el har varierat över tid. Här har vi valt att göra alla beräkningar utifrån ett totalt behov av 80 TWh för att underlätta jämförelser.

Eftersom alla aktörer framhållit att syftet är fossilfri produktion har inte fossilbaserad el studerats.¹ Ny vattenkraft har inte heller studerats, då dels potentialen är betydligt mindre än att kunna klara målen, dels bedöms en storskalig utbyggnad av svenska vattenkraft vara politiskt osannolik.²

Av dessa skäl har fyra produktionstekniker studerats: landbaserad vindkraft, havsbaserad vindkraft, storskalig kärnkraft och småskalig kärnkraft (små modulära reaktorer).

I andra analyser har kostnader uppskattats för att bygga elproduktion som sedan ansluts till elnätet för försäljning på en öppen marknad.³ I denna analys utgår vi i stället ifrån att elproduktionen byggs exklusivt för vätgasindustrierna. Därmed blir exempelvis frågor om fluktuationer i marknadspris mindre viktiga, eftersom elen produceras för egen användning och inte för försäljning. Å andra sidan är det inte uppenbart i ett sådant scenario att kostnaderna för dedicerade elnät kan läggas på alla användare av det nationella elnätet.

¹ SVT (2023). H2GS hållbarhetschef har i SVT 5 mars 2023 uttalat att deras kunder inte efterfrågar fossilfritt stål där vätgasen producerats med kärnkraft, utan efterfrågar enbart förnybart producerad vätgas.

² Potentialen för ökad elproduktion i de fyra fredade nationalälvarna bedöms vara 14 TWh (Svensk Energi 2015). Den nya finska reaktorn Olkiluoto-3 på 1600 MW kan producera 13 TWh per år om tillgängligheten är 92 %, vilket är vanligt bland nya verk. En enda ny stor reaktor motsvarar därmed väsentligen alla nationalälvarna sammantagna.

³ Energiföretagen (2021).

Byggkostnad

Såväl vindkraft som kärnkraft är ekonomiskt framtunga; en stor del av livstidskostnaderna ligger i själva bygget, medan utgifterna för drift och underhåll i sammanhanget är måttliga. Därför görs först en jämförelse av byggkostnader, medan andra tillkommande kostnader behandlas senare.

Landbaserad vindkraft

Vindkraft är en teknik som undergått en snabb förändring på två viktiga fronter: storleken på anläggningarna har ökat betydligt och det blir allt vanligare att de placeras till havs. Det kan vara vanskligt att uppskatta framtida kostnader för en teknik i snabb förändring, eftersom historiska data kanske inte återspeglar nuvarande och framtida situation särskilt väl. Av detta skäl presenteras här två olika kostnadsuppskattningar, dels baserat på vad branschorgan bedömer, dels baserat på historiska data, dvs. på faktiska erfarenheter. Som framgår nedan leder dessa till radikalt olika bedömningar av den slutliga kostnaden. Det är rimligt att anta att verkligheten ligger någonstans mellan dessa extremvärden, men var i intervallet verkligheten kommer att landa är inte uppenbart.

Branschens egna bedömningar återfinns i en rapport från Energiföretagen.⁴ I denna rapport ges prognoser för framtida produktionskostnader för olika tekniker. För etablerade tekniker utan snabb teknikutveckling (kärnkraft, vattenkraft och kraftvärme) bör man tämligen tryggt kunna använda ekonomiska data från dagens producerande anläggningar. Däremot finns det anledning att vara försiktig när det gäller data för vindkraft och solceller, eftersom historiska data har erhållits med anläggningar som är tämligen annorlunda än de som avses att byggas.

Nyligen har John Constable, föreståndare för Renewable Energy Foundation, och Gordon Hughes, professor i ekonomi vid Edinburgh University, fått tillgång till räkenskaperna i ledande företag inom vindkraft i Storbritannien och presenterat dessa i en rapport.⁵ Som framgår av *Tabell 1* skiljer sig de redovisade revisorsgranskade kostnaderna i existerande anläggningar i Storbritannien avsevärt från de uppgifter som Energiföretagen anger för framtida svenska anläggningar.

⁴ Energiföretagen (2021).

⁵ Constable och Hughes (2020).

Tabell 1. Kostnader för landbaserad vindkraft.

	Energiföretagen*	Constable & Hughes
Investeringskostnad (kr/W) ⁶	10–12	21
Underhåll (öre/kWh)	10	30
Kapacitetsfaktor (%)	37	27
Livslängd (år)	30	20

Not: Se texten för förklaringar. * I den rapport som uppgifterna hämtats från angavs tre olika kostnadsuppskattningar: en låg, en hög och en intermediär kostnad. Här anges den intermediära kostnaden, med mindre avrundningar för åskådlighetens skull. Dessa avrundningar är mindre än osäkerheterna i värdena och påverkar inte slutsatserna.

I artikeln "Vindkraft – grön bubbla eller svart hål?" presenteras en undersökning av lönsamheten i befintlig vindkraft i Sverige, vilken visar på liknande bristande lönsamhet som i Storbritannien.⁷ Detta borde inte ha varit fallet om existerande anläggningar hade haft de kostnader som Energiföretagen uppger för framtida anläggningar. Denna observation talar starkt för slutsatsen att Energiföretagens uppgifter inte baseras på historiska data utan utgör uppskattningar baserade på förväntade förbättringar av tekniken. Denna slutsats har vidimerats genom informella kontakter med ett ledande företag i vindkraftsbranschen.

I vår beräkning har vi utgått från byggnation av vindkraft för en total produktion om 80 TWh per år. Vi har på detta stadium utgått från att variation i produktionen inte medför några kostnader alls (detta behandlas separat senare). Resultaten presenteras i *Tabell 2*, baserat på data från *Tabell 1*. Effekt gånger kapacitetsfaktor gånger antalet timmar på ett år (8 760) ger total producerad energi. Den nödvändiga effekten för att nå 80 TWh energi per år reflekterar skillnader i kapacitetsfaktor. Denna effekt ger sedan byggkostnaden utifrån den antagna investeringskostnaden per watt gånger effekten.

Eftersom data från Storbritannien indikerar 20 års livslängd har vi för jämförbarhetens skull utsträckt dessa till 30 år (dvs. vi tar med halva kostnaden för en andra anläggning med 20 års livslängd under de sista tio åren). Det bör poängteras att den totala kostnaden i *Tabell 2* inte inkluderar kostnaden för avveckling eller för associerade nätkostnader. Nätkostnader behandlas i ett eget avsnitt nedan.

⁶ Finansieringskostnaderna ska enligt uppgift ingå i Energiföretagens estimat av livscykelkostnaden. Huruvida de ingår i uppgifterna från Storbritannien är oklart, men påverkar inte de övergripande slutsatserna signifikant.

⁷ Sandström m.fl. (2023).

Tabell 2. Kostnader för att producera 80 TWh per år med landbaserad vindkraft.

	Energiföretagen	Constable & Hughes
Nödvändig effekt (GW)	25	34
Byggekostnad (mdr kr)	250–300	710
Underhållskostnad (mdr kr/år)	8	24
Totalkostnad 30 år (mdr kr)	500	1 800
Elkostnad (öre/kWh)	21	75

Det bör dock redan här noteras att även de lägsta bedömningarna av kostnaden för byggande av elproduktion är jämförbara med eller större än de antagna byggekostnaderna för de övriga delarna av systemet: vätgasproduktion och själva stålverken eller järnsvampverken.⁸

Slutsatsen så långt är att kostnaderna för elproduktionen skiljer sig radikalt beroende på vilka data kalkylen baseras på. Detta är i sig naturligtvis bekymmersamt, eftersom det skapar osäkerhet i investeringsbedömningar.

Havsbaserad vindkraft

Även beträffande havsbaserad vindkraft föreligger stora skillnader mellan Energiföretagens kostnadsuppskattningar och historiska data från Storbritannien. De generiska kostnaderna presenteras i *Tabell 3*, och kostnaderna för produktion av 80 TWh energi per år ges i *Tabell 4*.

Tabell 3. Kostnader för havsbaserad vindkraft.

	Energiföretagen*	Constable & Hughes
Investeringskostnad (kr/W)	26	50
Underhåll (öre/kWh)	20	60
Kapacitetsfaktor (%)	54	45
Livslängd (år)	30	15–20

Not Se texten för förklaringar. * Se noten till Tabell 1.

⁸ SvD (2020). LKAB bedömer att deras investeringar, elproduktion oräknat, kommer att uppgå till drygt 400 miljarder kronor.

Återigen ger historiska data från Storbritannien en radikalt annorlunda bild än Energiföretagens kostnadsuppskattningar. Inte ett enda projekt i Storbritannien efter 2010 har genomförts till den kostnad som Energiföretagen anger. Härvidlag spelar vattendjupet större roll än avståndet till land. Under perioden 2000–2010 byggdes anläggningar på vattendjup mindre än 20 meter. Därefter har de flesta projekt byggts på större vattendjup, typiskt 20–40 meter, av det enkla skälet att de bästa lägena på grunt vatten nu har bebyggs.

Erfarenheterna från Storbritannien visar på en kapacitetsfaktor på runt 55 procent för nybyggda verk, vilket är i överensstämmelse med Energiföretagens uppgifter, men kapacitetsfaktorn har visat sig sjunka med tiden. Redan efter 12 års drift ligger den typiskt på 35 procent. Vi har därför satt 45 procent som genomsnittligt värde över anläggningens livstid.

Tabell 4. Kostnader för att producera 80 TWh per år med havsbaserad vindkraft.

	Energiföretagen	Constable & Hughes
Nödvändig effekt (GW)	17	20
Byggkostnad (mdr kr)	440	1 000
Underhållskostnad (mdr kr/år)	16	48
Totalkostnad 30 år (mdr kr)	920	2 000
Elkostnad (öre/kWh)	38	125

I *Tabell 4* har vi (optimistiskt) antagit 20 års livslängd för anläggningarna i Storbritannien, samt sträckt ut resultaten till 30 år på samma sätt som tidigare.

Det finns anledning att anta att ledande investerarens kalkyler tidigare låg i linje med Energiföretagens uppgifter. Detta vidimerades av auktioner för rätten att bygga och driva vindkraftsanläggningar till havs som hållits i såväl Storbritannien som Danmark de senaste åren. I dessa auktioner anger budgivarna vilket minsta garanterade elpris de önskar för att genomföra byggandet och driften. I flera fall resulterade auktioner för några år sedan i bud på noll, eller rent av negativa garanterade elpriser. Detta innebär att investerarna i några fall varit beredda att betala för att få koncessionen att bygga och driva anläggningen utan garanterat försäljningspris för elen.

Slutsatsen är att bilden är synnerligen svårtolkad. Revisionsgranskade företagsbokslut i Storbritannien ger en radikalt annorlunda bild av kostnaderna för vindkraft såväl på land som till havs jämfört med branschorganet Energiföretagen. Auktioner om rättigheter att bygga och driva havsbaserad vindkraft runt 2020 indikerade att investerare då bedömde att havsbaserad vindkraft kunde byggas och drivas utan stöd.⁹ Emellertid har denna bild

⁹ Tornberg (2022).

snabbt ändrats under 2023. I utlysningen av en auktion i Storbritannien fanns villkoret att bud över motsvarande 80 öre per kWh inte accepterades. Resultatet blev att inte ett enda bud kom in (SvD 2023).¹⁰ Orsaken till det kraftigt minskade intresset torde dels vara kraftiga kostnadsökningar hos leverantörerna, dels osäkerhet om kvaliteten i leverantörsledet. En ny auktion kommer att genomföras där bud upp till 95 öre/kWh accepteras för havsbaserad vindkraft och 229 öre/kWh för flytande vindkraftverk.¹¹

Under 2023 har den enskilt största tillverkaren av vindkraftverk i världen, Siemens Gamesa, drabbats av svåra tekniska problem med åtföljande ekonomiska svårigheter.¹² Aktiekursen har fallit dramatiskt, och förhandlingar om ett statligt ingripande har inletts. Vattenfall har backat ur ett projekt i Storbritannien där man lovat bygga en anläggning med garantipris på 37,35 pund per MWh (motsvarande 50 öre per kWh) med betydande förluster som följd. Det danska vindkraftsbolaget Ørstedt har förvarnat om förluster på över motsvarande 20 miljarder svenska kronor på grund av problem med projekt i USA. De överväger även att dra sig ur projekt i Storbritannien som träffats under villkor snarlika de som Vattenfall nu verkar ha omvärderat.

Konfidentiella kontakter med investerare inom detta område har visat på flera olika möjliga skäl till investeringsvilja. Det är inte ovanligt att man räknar med att elpriserna kommer att stiga radikalt på grund av kommande pålagor på fossil kraftproduktion. Huruvida man hoppas på framtida stöd är mer oklart. Som framgår av artikeln "Vindkraft – grön bubbla eller svart hål?" har det varit god tillgång på medel med mycket förmånliga villkor för så kallade gröna investeringar.¹³ Detta har gjort det möjligt att göra vinster med avancerade finansieringsupplägg (räntesnurror) trots att en normal företagsekonomisk kalkyl skulle indikera förluster.

Havsbaserad vindkraft har hittills aldrig byggts i stor skala i hav som fryser på vintern. Det finns en liten anläggning inomskärs nära kusten i hamnen i Björneborg i Finland.¹⁴ Att bygga bortåt 300 meter höga torn i Bottenviken med is stora delar av året torde bli en utmaning. Trycket av isen mot ett enda torn motsvarar dragkraften hos 16 jetmotorer på moderna flygplan.¹⁵ Frågor om detta har ställts informellt till en av de ledande aktörerna inom etablering av havsbaserad vindkraft. De svarade att trycket från isen kan vara ett problem nära land, där isen kan pressas samman av öar, medan denna effekt bedöms vara hanterlig i öppet hav.

Is under stora delar av året är rimligen också problematiskt för underhållet. Om tanken inte är att bygga i Bottenviken utan längre söderut tillkommer betydligt dyrare överföringar över långa sträckor.

¹⁰ SvD (2023).

¹¹ UK Government (2023).

¹² The Guardian (2023).

¹³ Sandström m.fl. (2023).

¹⁴ Hyötytuuli (2023).

¹⁵ TechXplore (2022).

Storskalig kärnkraft

Den snabbaste introduktionen av fossilfri el i världshistorien, räknat som elenergi per invånare, genomfördes i Sverige när kärnkraften driftsattes 1972–85. Under dessa tretton år tillförde tolv nya reaktorer kapacitet att generera runt 80 TWh årligen om alla verk hade haft 90 procent tillgänglighet,¹⁶ dvs. samma volym el som nu efterfrågas enbart för stålprojektet i norr.

Det senaste nya kärnkraftslandet i världen är Förenade Arabemiraten. Där har ett koreanskt företag byggt det nya kärnkraftverket Barakah med fyra reaktorer, till en kostnad av ca 60 miljarder kronor per styck. Varje reaktor levererar runt 11 TWh per år. Det betyder att Sverige skulle behövs sju sådana reaktorer för att täcka elbehovet för järnsvamps- och ståltillverkningen.¹⁷ Notan för bygget blir då 420 miljarder kronor.¹⁸

Byggandet kan bli mer kostsamt i Sverige än i Förenade Arabemiraten på grund av att den svenska kronan tappat i värde, lönekostnaderna är högre och kostnaderna för viktiga insatsvaror gått upp i pris i hela världen de senaste åren. Om vi pessimistiskt antar 50 procent högre byggkostnader hamnar totala byggkostnaden på runt 600 miljarder kronor, eller ca 90 miljarder kronor per reaktor. (Den kraftigt fördyrade nya finska reaktorn Olkiluoto-3 har totalt kostat runt 95 miljarder kronor,¹⁹ men ger å andra sidan något högre effekt.)

Kostnaden för drift och underhåll är i sammanhanget måttlig. Högt räknat hamnar man på bortåt 500 miljarder kronor under tjugo år, finansieringskostnaden inräknad. Därmed är det rimligt att uppskatta den totala kostnaden till 1 100 miljarder kronor de första tjugo åren. Detta motsvarar 69 öre per kWh. Denna beräkning stämmer tämligen väl med Energiföretagens bedömning av kostnaden för ny kärnkraft; deras högsta kostnad landar på 960 miljarder kronor för 20 års el från ny kärnkraft, vilket motsvarar 60 öre per kWh.

I *Tabell 5* jämförs den beräknade produktionskostnaden för de jämförda alternativen och de olika antagandena. Sammanställningen visar med all önskvärd tydlighet att den beräknade kostnaden för att producera vindkraftsel skiljer sig kraftigt åt beroende på om historiska uppgifter från Storbritannien eller Energiföretagens egna uppgifter används.

¹⁶ I dag är 90 % tillgänglighet ett rimligt riktmärke för reaktorer med 20–30 års drift. Dock, på den tiden då de svenska verken driftsattes rådde andra förutsättningar, med lägre tillgänglighet som följd. De verk som fortfarande är i drift körs i dag med ambitionen att nå runt 90 % tillgänglighet.

¹⁷ Detta är en försiktig uppskattning. LKAB:s, H2GS och SSAB:s aviserade planer pekar snarare upp mot 90 TWh.

¹⁸ Blomgren (2021).

¹⁹ Nucnet (2023). Den exakta kostnaden är inte känd eftersom leverantören gjorde en förlust som inte offentliggjorts. Köparen hade ett fastpriskontrakt som i efterhand kan konstateras ha varit mycket förmånligt. Uppgiften om 95 miljarder kronor är ett genomsnitt av olika branschbedömarens uppskattningar.

Däremot ligger uppgifterna från Energiföretagen nära data från nyligen genomförda byggen av kärnkraft. Här ligger skillnaderna inom felmarginalen för byggprojekt inklusive dessas finansiering.

Tabell 5. Beräknad produktionskostnad per kWh i öre.

Baserat på			
	E-företagens antaganden	Brittiska erfarenheter	Kvot
Landbaserad vind	21	75	3,6
Havsbaserad vind	38	125	3,3

Egna kalkylen			
Storskalig kärnkraft	60	69	1,2

Små modulära reaktorer (SMR)

Traditionella kärnkraftverk är så stora att de måste byggas på plats. Detta leder till långa byggtider och därmed höga räntekostnader. Därför har man de senaste åren börjat utveckla mindre kärnkraftverk, i princip mindre versioner av dagens typ av kärnkraftverk. Tanken är att göra dem så pass små att de kan byggas i en fabrik och sedan skeppas till det driftställe där de ska producera el. Då kan man bygga snabbare eftersom reaktor och byggnader kan byggas parallellt. Dessutom finns förhoppningar om att vinna fördelar genom standardisering och serieproduktion (därav begreppet modulära).

Små reaktorer har den principiella fördelen att det är lättare att hålla hög säkerhet med hjälp av naturlagar i stället för genom tekniska system. Flera koncept har konstruerat bort risken för härdsmläta genom att varje härd är så liten att det räcker med naturlig strömning hos kylvattnet (självdrag) för att kyla härden. Därmed kan inte en härdsmläta uppstå ens då all el till anläggningen faller bort. Som en konsekvens skulle man kunna lägga verken närmare befolkade platser.

Begreppet SMR kan lätt bli förvirrande eftersom det i den allmänna debatten används för väldigt olika koncept. Det handlar dels om reaktorer som är mycket snarlika dagens vattenkylda reaktorer, men helt enkelt mindre i storlek, dels om helt andra tekniker. De vattenkylda reaktorerna är de enda som är intressanta för elproduktion på en avreglerad marknad i närtid.

Det finns redan beställningar och långtgående planer på olika typer av SMR:er runt om i världen. I Sverige har de företag som driver dagens kärnkraftverk i olika grad uttryckt intresse för SMR-teknik för att producera el till det nationella elnätet. Nyligen har även direkt användning i elintensiv industri börjat diskuteras. Några av de företag som planerar för en enorm ökning av sin elanvändning för att producera vätgasstål har nu börjat intressera sig för SMR:er.

Det finns ett antal argument för SMR:er när det gäller den svenska elförsörjningen som helhet, men dessa argument är inte lika starka när det gäller att förse vätgasbaserade industrier med el till elektrolys. Det handlar om utomordentligt stora mängder el, vars produktion det vore ekonomiskt rationellt att placera nära de anläggningar som producerar och använder vätgasen. Det verkar osannolikt att det skulle bli billigare att bygga 30 små reaktorer än sju stora på en tomt nära produktionsanläggningarna. De ekonomiska skalfördelarna av att bygga stora anläggningar har varit starka under lång tid.

Det är vanskligt att sätta en prislapp på en teknik som hittills aldrig byggts. Den enda SMR i världen som faktiskt beställts och som genomgår bedömning hos tillståndsgivande myndighet är snarlik en nedskalad version av reaktorerna i Forsmark och Oskarshamn.²⁰ Leverantörens uppgifter har varierat över tid. Den senaste uppgiften ligger på 12 miljarder kronor för en anläggning om 300 MW,²¹ vilket skulle ge ungefär samma byggkostnad som för nya stora verk (60 miljarder kronor för 1500 MW).²² Ett annat koncept anger 30 miljarder kronor för en anläggning om 470 MW,²³ vilket skulle indikera runt 90 miljarder kronor för 1400 MW.

Om dessa uppgifter stämmer hamnar man på en byggkostnad jämförbar med fullskaliga reaktorer för samma totala volym el. Detta återstår som sagt att bevisa i verkliga livet.

Kostnaderna för drift och underhåll är ännu mer vanskliga att uppskatta på detta stadium. Det torde krävas mer driftpersonal; det verkar osannolikt att det skulle bli tillåtet att köra fem reaktorer från ett och samma kontrollrum med samma antal operatörer som en enda fullskalig reaktor kräver. Det blir fler enheter att underhålla, men den mindre storleken på varje enhet kan kanske gå något i den andra riktningen. Som helhet är det svårt att på detta stadium utlova lägre kostnader per producerad enhet el. För den vidare diskussionen utgår vi från att SMR:er åtminstone inte blir billigare än ett motsvarande antal fullskaliga reaktorer.

²⁰ Detta handlar om en kokarreaktor på 300 MW som beställts av det kanadensiska företaget Ontario Power, avsedd att placeras på verket Darlington några mil från Toronto. Den kanadensiska myndigheten CNSC granskar ansökan sedan oktober 2022. I juli 2023 annonserades att ambitionerna nu har ökat till fyra anläggningar om 300 MW vardera på samma plats.

²¹ Neutronbytes (2021a).

²² Blomgren (2021).

²³ Neutronbytes (2021b).

Tillkommande kostnader

Hittills har kostnaderna för byggande, drift och underhåll behandlats. Till detta kommer kostnader för avveckling samt uppgradering av elnät.

Kostnader för avveckling

Kostnaderna för avveckling av vindkraft är svåra att uppskatta generellt, särskilt till havs. En nyligen genomförd studie av kostnaderna för att avveckla en norsk vindkraftsanläggning på land pekar mot 1–2 miljoner kronor per turbin.²⁴ Även om detta inte är en försumbar kostnad är den dock måttlig jämfört med andra kostnader.

I fallet kärnkraft ligger avvecklingen inbäddad i driftskostnaderna. Ägarna måste enligt lag avsätta medel i Riksgälden för framtida rivning och får inte disponera dessa medel utan beslut från tillsynsmyndigheten. Ett motsvarande system finns i dag inte för vindkraft.

Kostnader för elnät

I kostnadsuppgifter i media är det vanligt att endast byggkostnader för olika tekniker anges. Vad man ofta missar är de höga kostnaderna för att bygga elnät, kostnader som kan bli väl så höga som för byggandet av själva produktionsanläggningarna.

På denna punkt utgör vindkraft och kärnkraft närmast två ytterlighetsfall, av rent geografiska skäl. I princip kan man bygga en flotta av reaktorer nära vätgasproduktionen och då blir kostnaden för nät begränsad. Vindkraft å andra sidan måste med nödvändighet spridas ut över stora ytor, med omfattande behov av kraftöverföring som resultat. Med den stora mängd el som krävs kommer ytor motsvarande hela svenska landskap att behövas. Eftersom långt ifrån alla platser i landet är lämpade för vindkraftverk innebär det att betydande delar av produktionen behöver placeras tämligen långt från vätgasproduktionen. Som konsekvens drar detta upp kostnaderna för överföring.

Om man ska bygga ett elnät från scratch kan man som tumregel utgå ifrån att nätet kostar lika mycket som anläggningarna för själva elproduktionen.²⁵ Det kan dock bli betydligt

²⁴ Energinyheter (2023).

²⁵ OECD-NEA (2012).

mer. Nätet kan bli tre gånger dyrare än produktionen om överföring över långa sträckor krävs från glest placerade vindkraftverk.

Den totala ytan för havsbaserad vindkraft i denna skala motsvarar ungefär Gotlands hela yta. Detta baseras på den nyligen beviljade vindkraftsanläggningen Kattegatt Syd,²⁶ med en yta på 103 kvadratkilometer och förväntad årlig elproduktion om fem TWh. Om man i stället satsar på vindkraft på land behövs en ungefär lika stor yta, med fler men mindre enheter, utspridd över stora delar av landet. Detta baseras på den fullt utbyggda vindkraftsanläggningen Markbygden, med en yta på 450 kvadratkilometer och förväntad årlig produktion om 12 TWh.²⁷

Dessutom tillkommer i det fallet nya ledningsdragningar och vägar, skog som annars kunnat användas som råvara för trä och papper samt som kolsänka. Vindkraft på land går på full effekt mindre andel av tiden än vindkraft till havs, så detta skulle öka variationen i produktion ytterligare.

Eftersom det handlar om en enorm expansion av elnäten kan man ifrågasätta om överföringen ska gå via det existerande (och i så fall expanderade) nationella elnätet och därmed belasta alla elanvändare. Ett alternativ vore att de vätgasbaserade industrierna finansierar och bygger sin elproduktion, med tillhörande dedicerad elöverföring.

I fallet kärnkraft vore överföringen en i sammanhanget minimal kostnad eftersom elproduktionen kan läggas nära vätgasfabrikerna. Däremot skulle detta bli en mycket betydande kostnad om vindkraft användes för elproduktionen, oavsett om det handlar om vindkraft på land eller till havs.

Energimyndigheten uppskattade år 2018 kostnaderna för överföring av el från havsbaserad vindkraft in till stamnätet på land till 0,8–1,1 miljarder kronor per TWh.²⁸ I januari 2023 offentliggjordes det dittills största kontraktet i världen för överföring från havsbaserad vindkraft in till land. Totalt handlade det om runt 45 miljarder kronor för överföring med 2 GW kapacitet.²⁹ Med antagandet om 50 procent kapacitetsfaktor i produktionen skulle detta svara mot drygt fem miljarder kronor per TWh. I det fallet handlade det om långa avstånd, 390 km, från tyska anläggningar långt ute i Nordsjön, och tio års underhåll ingick även i kontraktet. Om vi konservativt utgår från Energimyndighetens betydligt lägre uppskattning av kostnaderna skulle totala kostnaden för överföring av 85 TWh vindel till land bli runt 85 miljarder kronor, alltså en krona per kWh enbart för överföring. Kostnaden för att förstärka elnätet för överföring vidare till vätgasproduktionen tillkommer.

²⁶ Vattenfall (2023).

²⁷ Energinyheter (2019).

²⁸ Energimyndigheten (2018).

²⁹ Siemens (2023).

Det bör framhållas att kostnadsuppskattningarna ovan är försiktiga; det kan handla om ännu större belopp. En viktig anledning till dessa höga kostnader är att behoven av överföring varierar kraftigt beroende på att produktionen i vindkraft varierar kraftigt. Detta tvingar fram kraftiga överinvesteringar för att kunna klara att överföra toppar i produktionen, med konsekvens att i genomsnitt över tiden används nätet långt under sin kapacitet. I ekonomiska termer innebär detta stor användning av kapital med låg grad av kapacitetsutnyttjande.

Som jämförelse kan nämnas att bokföringsvärdet av hela de svenska stam- och regionnäten är runt 170 miljarder kronor.³⁰

Påverkan på övrigt elnät

Om elproduktionen sker på avstånd från vätgasindustrin och överföringen går via det svenska elnätet kommer denna överföring att påverka alla övriga elanvändare, eftersom det handlar om en så stor andel av den totala nätkapaciteten. På denna punkt spelar valet av elproduktionsteknik stor roll.

Kärnkraft är avsedd att produceras med konstant effekt. Den tunga turbin- och generatorsträngen med tillhörande synkrongenerator tillför betydande stabilitet till elsystemet som helhet.

Vindkraft producerar el med stor variation, och vindkraftverk är utrustade med generatorer som inte tillhandahåller tillnärmelsevis lika goda stabilitetsbidrag till elnätet. Om vindkraft utgör en mindre del av elförsörjningen kan detta hanteras av annan elproduktion, men om vindkraft är den dominerande produktionstekniken kan detta visa sig svårt. Det finns ingen erfarenhet av ett elsystem så stort som det som här skisseras, med halva produktionen eller mer i form av vindkraft. Det är därför vanskligt att uttala sig om hur instabilt ett sådant system skulle bli, och om vilka åtgärder och kostnader som skulle krävas för att stabilisera elnätet.

Dock har en indikation om vilka stora kostnader det kan innebära kommit i dagen under 2023. För fem år sedan låg Svenska kraftnäts kostnader för stödtjänster för balansering av stamnätet på runt en miljard kronor per år. Denna kostnad har ökat till drygt sex miljarder kronor. I allt väsentligt är denna ökning relaterad till den ökade vindkraften i systemet.

Magnituden i dessa kostnader illustreras av att vindkraft producerade 33 TWh under 2022, vilket är ungefär 20 procent av Sveriges totala elproduktion. Detta innebär ungefär 15 öre/kWh i kostnad för balansering i elnätet. Detta ska jämföras med att Energiföretagen anger 21 öre/kWh som livscykelkostnad, där balanskostnader inte ingår.

³⁰ Blomgren (2021).

Energiföretagen anger förväntad livslängd hos vindkraftverken till 30 år. Det innebär att med dagens omfattning av vindkraft kommer balanskostnaderna under verkens livstid att summera till runt 150 miljarder kronor. Tre nya kärnkraftsreaktorer skulle producera samma mängd el totalt på ett år, utan att någon balansering av typen ovan skulle behövas. Utifrån antagandet att en reaktor kostar 80 miljarder kronor skulle två av de tre reaktorerna vara finansierade enbart utifrån minskade kostnader för att balansera elnäten.

Dock torde kalkylen i verkligheten vara mer besvärande för vindkraften. I dag utgör den nära 20 procent av den totala elproduktionen i landet. Om ytterligare 80 TWh per år skulle tillföras kommer med största säkerhet balanskostnaderna per kWh att öka, eftersom fluktuationerna blir större i både absoluta och relativa tal, varvid ännu dyrare tekniker för att hantera variationerna kommer att behövas.

Det minskade behovet av överinvesteringar i överföring skulle dessutom ge ännu större effekter, vilket beskrivits ovan.

Påverkan på vätgasproduktionen

Även om fokus för denna analys är på själva elproduktionen behöver dess påverkan på vätgasproduktionen beröras kortfattat.

Vindkraft har kraftigt varierande produktion. Om vindkraft är en måttlig andel av elproduktionen leder detta till att priserna varierar, med låga priser blåsiga dagar och höga när det är vindstilla. Om vindkraft däremot dominerar produktionen nationellt får man ett ytterligare problem. Blåsiga dagar blir produktionen så stor att den är svår att använda, medan dagar med svag eller ingen vind finns det helt enkelt inte tillräckligt med el, oavsett hur mycket man är villig att betala. Då måste man stänga ner delar av samhället.

Detta problem har en av aktörerna, Hybrit-konsortiet,³¹ tänkt lösa genom att ha överkapacitet för att kunna producera extra vätgas då vinden blåser kraftigt och lagra vätgasen under vindstilla perioder.³² Det innebär att man behöver bygga mer kapacitet för att producera vätgas än om man hade haft jämn tillgång till el. Man behöver dessutom ha stor lagringskapacitet. Nästan all processindustri i världen går på ungefär jämn fart dygnet runt, året runt eftersom det ger den bästa totala ekonomin – stillastående tunga och dyra industrianlagen ger inga intäkter. De låser bara upp kapital som kunde gjort nytta i andra verksamheter. Trots detta tycks tanken vara att elektrolysörerna ska stå sysslolösa stor del av tiden.

Med kärnkraft, helst producerad på nära håll för att minska risken för problem i överföringen, har man jämn tillgång till el dygnet runt, året runt. Då krävs betydligt mindre kapacitet för vätgasproduktion och i motsvarande mån mindre buffert för lagring av vätgas.

Kostnaden för elektrolysörer i den skala som planeras kan vara svår att uppskatta. Det finns skäl att tro att tillverkning i mycket större skala än i dag kan pressa ned styckpriserna, men hur mycket är inte uppenbart eftersom ovanliga (och därmed dyra) metaller utgör en viktig del av priset.

En låg uppskattning av priset för elektrolysörer ligger i dag på runt fem kronor per watt installerad effekt.³³ Med konstant el krävs runt 10 GW installerad kapacitet elektrolysörer,

³¹ LKAB, SSAB och Vattenfall.

³² Vattenfall (2022).

³³ IEA (2022).

vilket skulle betinga 50 miljarder kronor i inköpskostnad. Med havsbaserad vindkraft enligt Energiföretagens antagna prestanda krävs ungefär dubbla installerade effekten och med motsvarande fördubblad inköpskostnad. Erfarenheterna från Storbritannien pekar mot en tredubblad kostnad (se ovan). Med landbaserad vindkraftsel, som har en lägre kapacitetsfaktor, torde kostnaderna bli ytterligare 50 procent högre.³⁴ En försiktig uppskattning av investeringskostnaden landar på 100 miljarder kronor.

Denna skillnad förstärks ytterligare om man tar med i beräkningen att elektrolysörer fungerar bäst i längden om de håller jämn temperatur. Att köra dem på konstant kapacitet är alltså bättre för utrustningen än att variera effekten.

³⁴ Baserat på Energiföretagens uppgifter om kapacitetsfaktor enligt ovan.

Överväganden vid investeringsbeslut

Om valet står mellan de fyra tekniker som studerats – vindkraft på land och till havs samt kärnkraft i stor och liten skala – finns några viktiga skillnader som måste tas i beaktande.

I båda fallen är politiken en viktig faktor. Att kärnkraft varit, och är, politiskt kontroversiell torde knappast behöva ledas i bevis. Vindkraft i den skala som krävs för att förse de planerade produktionsanläggningarna med el kommer att kräva utbyggnad i sådan stor omfattning att man inte kan bortse från betydande folkligt motstånd.

Nästa faktor är livslängden hos anläggningarna. Ett nybyggt kärnkraftverk utgår från minst 60 års livslängd, och 80–100 år är inte osannolikt.³⁵ Vindkraftverk kan i bästa fall klara halva denna tid. Kostnaderna för att förlänga livslängden från 30 till 60 år i ett kärnkraftverk är radikalt lägre än nybyggnationen. Man kan därför inte ställa byggkostnaderna för vind- och kärnkraft mot varandra rakt av. Om man räknar på 60 års drift blir kalkylen mindre aptitlig för vindkraft eftersom man tvingas bygga anläggningen två eller kanske tre gånger under denna tid.

Nybyggnation av kärnkraft omgärdas av omfattande tillståndprocesser, som ofta kan ta lika lång tid som själva byggnationen eller till och med längre. Dessa processer utgör inte sällan en betydande del av de totala utgifterna. Hur höga dessa kostnader blir är av lätt insedda skäl starkt beroende av hur regelverket ser ut. Politiska beslut som skulle underlätta etableringen kan kraftigt reducera dessa kostnader.

I dagsläget är det svenska regelverket för kärnkraft i allt väsentligt utformat för storskaliga anläggningar. Det är därför inte väl lämpat för att kunna dra nytta av de tänkbara egenskaperna hos små modulära reaktorer. Detta kan naturligtvis ändras genom politiska beslut och till detta kopplat arbete på myndighetsnivå.

Även vindkraft kräver en hel del tillståndprocesser, men i jämförelse med kärnkraft är de betydligt mindre rigorösa.

³⁵ Det råder konsensus internationellt att även gamla anläggningar från 60- och 70-talen klarar 60 år, och det finns flera anläggningar i USA som har 80 års licensierad drift. Det nya verket i UAE har fått 60 års drifttillstånd redan från start. Därmed kan 60 år ses som ett minimum för nybyggda verk.

Risker om vätgas- användningen uteblir

Till sist behöver man göra en riskanalys rörande vad som händer om elproduktionen byggs medan användningen av elen faller bort. Det är fullt möjligt att teknisk utveckling på annat håll i världen konkurrerar ut den svenska produktionen av vätgasstål.³⁶ I ett sådant läge har man en enorm överkapacitet inom elproduktion utan alternativ användning.

Om det fortfarande finns efterfrågan på vätgas och den kan produceras med vinst krävs antingen att annan industri attraheras till närområdet eller att vätgasen kan transporteras till rimlig kostnad till andra delar av världen. I dag används stora mängder vätgas som insatsvara i andra industriella tillämpningar än stålproduktion. Det rör sig bland annat om petrokemisk industri och tillverkning av konstgödning. Det förefaller troligt att dessa användningar kommer att fortleva även om ståltillverkning med vätgas som reduktionsmedel skulle bli obsolet.

Om efterfrågan på vätgas faller bort återstår att hitta annan elintensiv industri som skulle kunna etableras i norr. Detta skulle kunna vara smältverk för exempelvis aluminium.

Ett annat sätt att minska affärsrisken om vätgasstål faller bort som verksamhet vore att lägga produktionen av stål och järnsvamp i regioner där det finns annan avsättning för den el som inte längre har den ursprungligen tänkta användaren. Om detta skulle göras i Sverige pekar det mot etablering i södra Sverige, varvid man skulle kunna bygga havskablar för elexport till kontinenten om behoven inom landet faller bort.

³⁶ Se Sundén (2023, 2024).

Slutsatser

Analyserna av kostnader för vindkraft som elförsörjning till storskalig vätgasproduktion genom elektrolys visar på stora diskrepanser, med motsvarande osäkerheter om den verkliga kostnaden om dessa projekt genomförs. Diskrepanserna är ungefär lika stora för landbaserad som havsbaserad vindkraft. Spridningen i bedömning av kostnaderna för kärnkraft som källa till el är betydligt mindre.

Vindkraftens bedömda kostnader ligger i denna studie i intervallet 25–75 öre/kWh för landbaserad vindkraft, vilken bedöms ha lägre kostnader än havsbaserad vindkraft. Kärnkraftens kostnader bedöms ligga i intervallet 60–70 öre/kWh.

Det bör dock påpekas att kostnaderna för själva produktionen är långt ifrån hela kostnaden för elförsörjning. Överföring av el är också en betydande kostnad, och där är kostnadsjämförelsen entydigt till kärnkraftens fördel eftersom produktionen kan läggas nära användningen.

Sammanfattningsvis pekar resultaten mot att jämn tillförsel av el som produceras nära anläggningarna för vätgasproduktion genom elektrolys har stora fördelar framför el som produceras med stor variation på långa avstånd från anläggningarna. Detta pekar mot att kärnkraft förlagd nära vätgasproduktionen torde vara det ekonomiskt fördelaktigaste alternativet, särskilt om man tänker sig att driva dessa anläggningar under lång tid, 60 år eller mer.

Inom detta område är politiska överväganden av mycket stor vikt, och olika typer av stödsystem utgör inte sällan en betydande del av finansieringen. Slutsatserna ovan kan ändras signifikant beroende på politiska faktorer.

En viktig faktor som inte studerats här är kostnader för ojämn fördelning av eltilgång över tid. Med kraftigt varierande eltilförsel krävs såväl större lager för vätgas som större kapacitet hos elektrolysörerna och att elnätet dimensioneras för att klara en högre maximal effekt. Eventuella negativa effekter på elektrolysörernas funktion och driftsäkerhet av varierande produktion har inte heller belysts. Detta borde vara intressant att ges en egen belysning.

Referenser

- Blomgren, Jan (2021). *Allt du behöver veta om Sveriges elförsörjning*. Stockholm: Timbro.
- Constable, John och Hughes, Gordon (2020). "The Costs of Offshore Wind Power: Blindness and Insight", *Briefings for Britain*, 21 september. <https://www.briefingsfor-britain.co.uk/the-costs-offshore-wind-power-blindness-and-insight/>.
- Energiföretagen (2021). *El från nya anläggningar*. Rapport 2021:714. Stockholm. <https://energiforsk.se/media/30970/el-fra-n-nya-anla-ggningar-energiforskrapport-2021-714.pdf>.
- Energimyndigheten (2018). *Slopade anslutningskostnader för havsbaserad vindkraft. Regeringsuppdrag om att utreda utformningen av slopade anslutningskostnader för havsbaserad vindkraft*. ER 2018:06. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energinyheter (2019). "Markbygden utanför Piteå kan bli Europas största vindkraftspark". <https://www.energinyheter.se/20190802/20037/markbygden-utanfor-pitea-kan-bli-europas-storsta-vindkraftspark>.
- Energinyheter (2023). "Det kommer att kosta miljoner att ta bort Fosen vindkraftverk". <https://www.energinyheter.se/20230309/28705/det-kommer-att-kosta-miljoner-att-ta-bort-fosen-vindkraftverk>.
- Hyötytuuli (2023). "Havsvindsparken utanför Tahkoluoto". <https://hyotytuuli.fi/en/wind-farms/tahkoluoto-offshore-wind-farm/>.
- IEA (2022). "Electrolysers: Technology deep dive". Tracking report – September. Wien: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/electrolysers>.
- Neutronbytes (2021a). "Ontario Power picks GEH BWRX-300 as its first SMR". <https://neutronbytes.com/2021/12/03/ontario-power-picks-geh-bwrx-300-as-its-first-smr/>.
- Neutronbytes (2021b). "Rolls-Royce 1st round of financing to develop 470 MWe PWR". <https://neutronbytes.com/2021/08/07/rolls-royce-1st-round-of-financing-to-develop-470-mwe-pwr/>.
- Nucnet (2023). "Finland's Olkiluoto 3 begins commercial operation". <https://www.nucnet.org/infographics/nucnet-explainer-finland-s-olkiluoto-3-begins-commercial-operation-5-2-2023>.

- OECD-NEA (2012). *Nuclear Energy and Renewables. System Effects in Low-Carbon Electricity Systems*. Paris. <http://www.oecd.org/publications/nuclear-energy-and-renewables-9789264188617-en.htm>.
- Sandström, C., Staaf, M., och Steinbeck, C. (2023). "Vindkraft – grön bubbla eller svart hål?". *Kvartal*, 20 maj.
- Siemens (2023). "Major order for Siemens Energy enables transmission of wind power for 4 million people". <https://press.siemens-energy.com/global/en/pressrelease/major-order-siemens-energy-enables-transmission-wind-power-4-million-people>.
- Sundén, David (2023). *Från brunt till grönt – Bedömning av satsningarna på fossilfritt stål i Norrland utifrån ett teknik- och marknadsperspektiv*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- Sundén, David (2024). *Lösam eller kostsam – Lösamhetsbedömning av de svenska satsningarna på fossilfritt stål i Norrland*. Malmö: Skandinaviska Policyinstitutet.
- SvD (2020). "LKAB ställer om till fossilfritt järn", 23 november. <https://www.svd.se/a/410K1g/lkab-satsar-400-miljarder-pa-fossilfritt-jarn>.
- SvD (2023). "Ingen vill ha brittiska vindkraftkontrakt", 8 september. <https://www.svd.se/a/l352gy/ingen-vill-ha-brittiska-vindkraftkontrakt>
- Svensk energi (2015). "Potential att utveckla vattenkraften – från energi till energi och effekt". <https://www.energiforetagen.se/globalassets/energiforetagen/bilder-gamla/potential-att-utveckla-vattenkraften.pdf>.
- SVT (2023) "Gröna ståljätten: 'Våra kunder vill inte köpa el från kärnkraft'", 16 mars. <https://www.svt.se/nyheter/inrikes/grona-staljatten-vara-kunder-vill-inte-kopa-el-fran-karnkraft>.
- TechXplore (2022). "Scientists test how wind turbines hold up to frozen flows in world's largest indoor ice tank". <https://techxplore.com/news/2022-02-scientists-turbines-frozen-world-largest.html>.
- The Guardian (2023). "Is crisis at Siemens Energy symptom of a wider wind power problem?". <https://www.theguardian.com/environment/2023/oct/27/is-crisis-at-siemens-energy-symptom-of-a-wider-wind-power-problem>.
- Tornberg (2022). Peter Tornberg, OX2, privat kommunikation.
- UK Government (2023). "Boost for offshore wind as government raises maximum prices in renewable energy auction." <https://www.gov.uk/government/news/boost-for-offshore-wind-as-government-raises-maximum-prices-in-renewable-energy-auction>.

Vattenfall (2022). "HYBRIT: Världsuniket berggrumslager för fossilfri vätgas invigs i Luleå".

<https://group.vattenfall.com/se/nyheter-och-press/pressmeddelanden/2022/hybrit-varldsuniket-berggrumslager-for-fossilfri-vatgas-invigs-i-lulea>.

Vattenfall (2023). "Vindkraftsprojekt Kattegatt Syd".

<https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vindprojekt/kattegatt-syd>.

Om författaren

Jan Blomgren är egen företagare och konsult inom energifrågor med specialisering inom kärnkraft. Större delen av karriären har varit vid Uppsala universitet, där han doktorerade 1991 och utnämndes till professor i tillämpad kärnfysik 2003. Han har varit forskare vid Indiana University, USA, senior expert inom kärnkraftsutbildning på Vattenfall, samt föreståndare för Svenskt Kärntekniskt Centrum. Han är författare till *Allt du behöver veta om Sveriges elförsörjning* (2021, andra utvidgad upplaga 2022; Stockholm: Timbro).

Professor Jan Blomgren · INBEx (Institute for Nuclear Business Excellence) · Norra Sandsjö ·
Villa Åsvik · 571 63 Bodafors · Tel: +46 76-787 83 36 · Epost: Jan.Blomgren@INBEx.se
Webb: www.INBEx.se

KAPITEL 7

Alternativ för ökad eltillförsel i Sverige – konsekvenser för funktion, kostnader och miljö*

PER FAHLÉN

Om författaren

Se sid. 276 för en presentation.

* Citeras som: Fahlén, Per (2024), "Alternativ för ökad eltillförsel i Sverige – konsekvenser för funktion, kostnader och miljö". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 215–276). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning

Politiker och media i Sverige framhåller återkommande att "vi måste ställa om vårt energisystem till förnybart". Vilka är de sakliga grunderna för denna vilja och vilka blir konsekvenserna av omställningen? Den storskaliga omställning som nu pågår kan kosta tusentals miljarder kronor och får stor inverkan på samhället men har aldrig föregåtts av någon genomgripande konsekvensanalys.

Denna studie diskuterar det svenska elsystemets omställning utifrån funktionalitet, kostnader och miljökonsekvenser. Detta görs på kraftverks- och systemnivå med hänsyn tagen till energialternativens hela livscykel från investering, drift och underhåll till avveckling.

Målsättningen med studien är att ge ett underlag till kraven på ett funktionellt, ekonomiskt och långsiktigt hållbart elsystem och hur de olika kolsnåla energislagen påverkar elsystemet som helhet.

Balanskraft och lagring fördyrar vindkraften

Alla kilowatt är inte skapade lika, det går inte att rakt av ersätta kärnkraftens kilowatt med vind- eller solkraftens. Vindkraft kan, till skillnad från vatten- eller kärnkraft, inte användas rakt av som baskraft, reglerkraft eller energilagring då den inte är planerbar. De stora svackorna i tillförsel måste täckas av anläggningar för balanskraft och/eller lagring, reglerkraft och stabiliserande utrustning som kan parera perioder med hög eller obefintlig vindelsproduktion.

Kostnaden för vindkraft plus ett batterilager kan vara upp till 30 gånger högre än kostnaden för kärnkraft, särskilt när vindkraften utgör en stor andel av elproduktionen och kräver stora batterilager för att balansera produktionen. Att ersätta all Sveriges kärnkraft med vindkraft kan kosta tusentals miljarder kronor, med batterilager så mycket som 8 000 miljarder, och resultera i ett mer komplicerat och mindre funktionellt elsystem.

Mer komplicerat och sämre elnät

Allteftersom andelen vindkraft ökar så ökar också antalet allvarliga tillbud beträffande stabilitet och effektmarginal. Kärn- och vattenkraftverk har bidragit till nätstabilitet genom sina synkrongeneratorer med stor roterande massa. När kärnkraftverken ersätts av vindkraft, som inte använder synkrongeneratorer, minskar mängden roterande massa och problemen med nätstabiliteten ökar. Allteftersom de sydliga kärnkraftsreaktorerna avvecklas och om de inte ersätts av ny kärnkraft kommer de sydliga regionerna att drabbas av akut brist på både effekt och energi. Att bygga vindkraft i norr, som man gör idag, är ingen hållbar lösning; det kräver en jättelik utbyggnad av överföringsnätet utan att detta på något sätt löser effektbristen.

Svenska abonnenter betalar för export av el

Vindkraftverken byggs långt ifrån befintliga kraftledningar och elkonsumenter. Det blir därför ofta nödvändigt att bygga nya kraftledningar och/eller öka kapaciteten i befintliga ledningar för att kunna överföra el till konsumenterna. De långa avstånden mellan produktion och konsumtion resulterar i stora kostnader för ny överföringskapacitet samt betydande nätförluster (10 procent från norr till söder i Sverige och ca 20 procent för export). Dessa systemfaktorer tas inte med när man jämför kostnaderna för olika energislag.

Det skulle vara mer lönsamt och miljömässigt bättre att närproducera elen i stället för att lägga stora summor på överföring och att kostnaderna för överföring lades på produktionen i stället för på konsumtionen. Det skulle även förbättra försörjningstryggheten.

Med dagens ersättningsmodell överförs dessutom inte systemkostnaden till kraftproducenten utan till elabbonenterna via nätavgifterna. Det innebär i praktiken att svenska nätabbonenter måste stå för en stor del av kostnaderna för att transportera elen till vindkraftsbolagens utländska kunder.

Dyrare el med förnybart

Länder med stor andel sol- och vindkraft har avsevärt högre elkostnader än länder med traditionella elsystem. Detta eftersom den väderberoende kraften kräver ytterligare ett produktionssystem med i stort sett lika stor installerad effekt plus ett nytt distributionsystem. Vindkraftsnationerna Danmark och Tyskland har bland Europas högsta elkostnader och samtidigt höga koldioxidutsläpp.

Varken miljövänligt eller hållbart

Huvuddrivkraften bakom övergången till förnybara energikällor är viljan att minska koldioxidutsläppen och hushålla med jordens resurser. Men el från "förnybara" energikällor är varken miljövänlig eller hållbar. Väderberoende elproduktion som vindkraft och solkraft har tre respektive fem gånger högre koldioxidutsläpp än kärnkraft räknat i koldioxid per producerad kWh. Kraftverk för förnybar elproduktion kräver dessutom mer icke-förnybara konstruktionsmaterial än bränslebaserade alternativ och tiofalt mer av strategiska metaller som koppar, kobolt och sällsynta jordartsmetaller.

Slutsatsen av en genomgång av det vetenskapliga underlaget är att det med en stor andel sol- och vindkraft i elsystemet uppstår funktionella problem och stora kostnadsökningar. Det visar sig också att dessa kraftslag, i motsats till den allmänna uppfattningen, är ytterst problematiska vad gäller miljöpåverkan och hållbarhet sett till hela livscykeln. Den pågående energiomställningen är inte hållbar, den tar oss från ett slags råvarukritiskt system, fossila bränslen, till ett annat råvarukritiskt system, strategiska metaller. En avveckling av kärnkraft och utbyggnad av sol- och vindkraft resulterar i motsatsen till det förespråkarna vill uppnå.

Executive Summary

Politicians and media in Sweden repeatedly proclaim that “we must transform our energy system to be renewable.” What are the factual grounds for this call, and what are the consequences of transitioning to renewable energy? This large-scale transformation, which could end up costing thousands of billions of SEK and have a major impact on society, has never been the subject of a comprehensive impact analysis.

This study discusses the issue of transforming the Swedish electricity system based on: functionality, cost, and environmental impact. The study discusses the fundamental prerequisites of an electricity system and provides examples of the consequences of large-scale implementation of flowing energy sources such as solar and wind in combination with decommissioning of fuel-based, dispatchable energy sources such as nuclear power.

The analysis is conducted at both the power plant and system level, considering the entire lifecycle of energy alternatives, from investment and operation to maintenance and decommissioning.

The aim of this study is to provide a background to grasp the fundamentals of electricity supply and demand as well as the requirements of a functional, economically efficient, and sustainable electricity system with due consideration of the environmental consequences.

Balance power and storage raise wind power costs

Not all kilowatts are created equal; it is not possible to directly replace nuclear power kilowatts with those generated by wind or solar power. Unlike hydro or nuclear power, wind power cannot be readily used for baseload power, grid control, or energy storage because it is non-dispatchable. The significant fluctuations in supply must be covered by facilities for balancing power and/or storage, control power, and stabilizing equipment that can counter periods of high or no wind production.

The cost of wind power plus a battery storage system can be up to 30 times higher than the cost of nuclear power, especially when wind power accounts for a large share of electricity production and requires large battery storage to balance production. Replacing all of Sweden’s nuclear power with wind power complemented by battery storage would cost thousands of billions of SEK and result in a more complex and less functional electricity grid.

More complex and less reliable electricity grid

As the share of wind power increases, so does the number of serious incidents related to grid stability and power margin. Nuclear and hydroelectric power plants have contributed

to grid stability through their synchronous generators with substantial rotating mass. When nuclear power plants are replaced by wind power, which lack synchronous generators, the amount of rotating mass decreases, leading to increased issues with grid stability.

As the nuclear reactors in the south are decommissioned and if they are not replaced, Sweden's southern regions will face an acute shortage of both power and energy. Building wind power in the north, as is currently done, is not a sustainable solution; it requires a massive expansion of the transmission grid without addressing the power shortage in any meaningful way.

Swedish subscribers pay for electricity exports

Wind turbines are often built far away from existing power lines and electricity consumers. Therefore, it is often necessary to build new power lines and/or increase the capacity of existing lines to transmit electricity to consumers. The long distances between production and consumption result in significant costs and substantial grid losses (10 percent from north to south in Sweden and approximately 20 percent for exports). These system factors are not considered when comparing the costs of different energy sources. It would be more cost-efficient and environmentally beneficial to produce electricity locally instead of investing heavily in transmission if the costs of transmission were shifted from consumption to production.

Furthermore, with the current compensation model, system costs are not fully borne by the power producer but by electricity consumers through their grid subscriptions. In practice, this means that Swedish grid subscribers must bear a significant portion of the costs of transporting electricity to the wind power companies' foreign customers.

More expensive electricity with "renewables"

Countries with a high share of solar and wind power have significantly higher electricity prices than countries with traditional electricity systems. This relates to weather-dependent power requiring an additional production system with almost the same installed capacity plus a new distribution system. Wind power nations such as Denmark and Germany have the highest electricity prices in Europe and, at the same time, high carbon emissions.

Neither environmentally friendly nor sustainable

The main driving force behind the transition to renewable energy sources is the desire to reduce carbon dioxide emissions and conserve earth's resources. However, renewable energy sources are neither environmentally friendly nor sustainable. During their construction, weather-dependent energy sources such as wind turbines have carbon dioxide emissions three times higher, and solar plants have emissions five times higher than nuclear power plants, measured in grams of carbon dioxide per produced kWh. Renewable

power plants also require more non-renewable materials than fuel-based alternatives and ten times more strategic metals such as copper, cobalt, and rare earth metals.

The conclusion drawn from a review of the scientific evidence is that a high proportion of solar and wind power in the electricity system leads to functional challenges and significant cost increases. It also becomes apparent that these energy sources, contrary to common belief, pose significant environmental and sustainability challenges when considering their entire lifecycle. The ongoing transition is not sustainable; it is shifting from one type of resource-critical system, fossil fuels, to another resource-critical system, strategic metals. Hence, the decommissioning of nuclear power and the expansion of solar and wind power results in exactly the opposite of what the proponents aim to achieve.

Inledning

Omställningen av Sveriges elförsörjning debatteras intensivt. Denna studie bidrar till debatten med fakta om ekonomi och miljökonsekvenser av den pågående omställningen.

Bakgrund

Rädsla för konsekvenserna av en förestående klimatförändring, påverkad av koldioxidutsläpp från mänskliga aktiviteter, har underblåst en snabb förändring av energipolitiken i många länder. I Sverige pågår en genomgripande omställning av elsystemet med målsättningen att göra Sverige helt oberoende av fossilbaserad energi till år 2040. Detta har startat en omfattande expansion av energikällor, vilka betecknas som "klimatsmarta", "gröna", "förnybara" och "hållbara" samtidigt som det i debatten ofta saknas konkreta definitioner eller verifierbara fakta rörande kostnader och resursåtgång.

Omställningen ska ske samtidigt som Sveriges elbehov beräknas öka kraftigt fram till år 2050,¹ vilket i sig medför en storskalig utbyggnad av elsystemet, både vad gäller produktion och överföring.

Med så mycket som står på spel är det viktigt att i ett tidigt skede göra noggranna konsekvensanalyser för aktuella alternativ. Men både Sverige och EU har beslutat att ställa om utan en genomgripande konsekvensanalys på systemnivå för denna omställning.

Studiens syfte

Studien behandlar de funktionella grunderna för vår elförsörjning samt diskuterar kostnaderna och konsekvenserna av en omställning med storskaliga satsningar på framförallt vindkraft och en avveckling av bränslebaserade energikällor som kärnkraft.

Syftet är att visa att:

- Det finns mer än bara kilowattimmar att överväga när det kommer till elproduktion.
- Brukarkostnaden måste utvärderas på systemnivå, inklusive alla externa kostnader som överföring, distribution, stabilisering, balanskraft m.m.
- Enkla etiketter som "grön", "förnybar", "hållbar" och "klimatsmart" förmedlar ingen faktabaserad information om miljökonsekvenser.

¹ Qvist m.fl. (2023).

För en utförlig genomgång av förutsättningarna för användning och produktion av el och dess konsekvenser för ekonomi och miljö hänvisar jag till min rapport *Omställningen av Sveriges elsystem*.²

Studiens utgångspunkt

Denna studie innehåller inga egna simuleringar eller scenarioanalyser utan utgår framför allt från Energimyndighetens och Svenskt Näringslivs scenarier beträffande en tänkbar utveckling fram till 2050. Baserat på dessa scenarier antar studien en ökning av elbehovet från 134 TWh år 2020 till 300 TWh år 2050. Dessutom tillförs ett eget scenario,³ vilket är 100 procent fossilfritt men med noll procent tillskott av "förnybar" energi. De fyra scenarierna jämförs avseende kostnader samt elsystem- och miljökonsekvenser.

Scenario 2050 – Energimyndigheten

Energimyndigheten räknar med att det mest elkrävande scenariot, *högre elektrifiering*, har en total elanvändning som ökar från 134 TWh år 2020 till 349 TWh år 2050.⁴

Det är huvudsakligen produktion av vätgas genom elektrolys som i samtliga scenarier bidrar till den ökade elanvändningen. Behovet av el för produktion av vätgas beräknas vara 22–100 TWh år 2050. Den totala vätgasanvändningen är till största delen kopplad till ett fåtal stora aktörer och det faktiska utfallet påverkas därför av dessa aktörers beslut kring elektrolysbaserad vätgasproduktion.

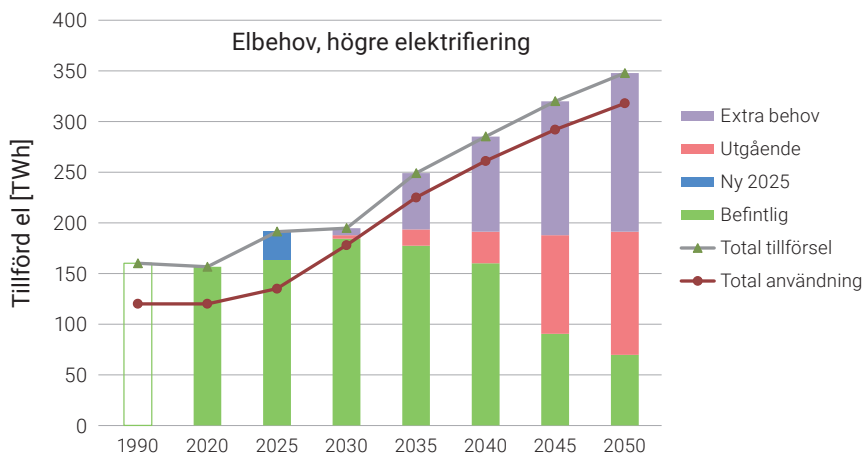
Figur 1 visar att det inte bara är det ökade behovet som måste tillgodoses utan att tillförseln även måste kompensera för den elproduktion som tjänat ut till år 2050. Notera att elbehovet under 30 år (1990–2020) var mycket stabilt trots en betydande befolkningstillväxt.

² Fahlén (2023a).

³ Fahlén (2023b).

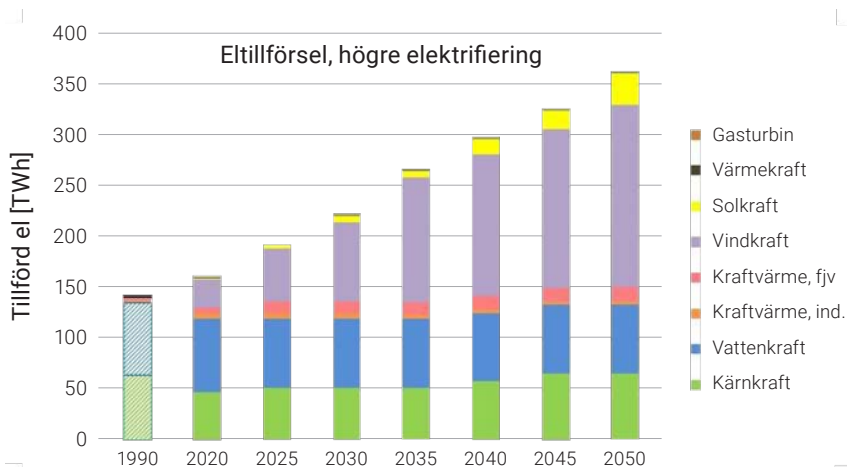
⁴ Energimyndigheten (2023).

Figur 1. Utveckling av elbehov vid ökad elektrifiering.



Källa: Energimyndigheten (2023).

Figur 2. Eltillförselns utveckling i scenario högre elektrifiering.



Källa: Energimyndigheten (2023).

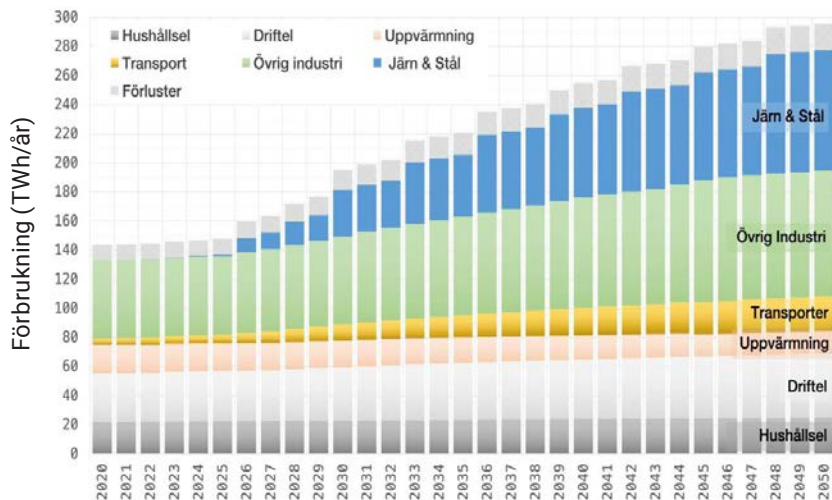
Eltillförsel – ökning genom vind- och solkraft

I scenariot högre elektrifiering räknar man med en i stort sett oförändrad tillförsel från vatten- och kärnkraft. Den stora ökningen ska ske genom vindkraft, i huvudsak landbaserad men även med en betydande del havsbaserad vindkraft. Även solkraft beräknas öka men från en mycket låg till en ganska låg andel. Dessutom ingår en viss del kraftvärme och värmekraft samt gasturbiner. *Figur 2* visar den tänkta fördelningen mellan de olika kraftslagen. Notabelt är att all vindkraft som hittills byggts, plus den som kommer att byggas de närmaste 5–10 åren, sannolikt måste ersättas till 2050.

Scenario 2050 – Svenskt Näringsliv

Svenskt Näringsliv har analyserat det framtida behovet av elenergi och det tillhörande behovet av elproduktion i Sverige till år 2050 och räknar med att elbehovet ökar till 290 TWh år 2050.⁵ Det finns stora planer på en omfattande expansion av elintensiva företag som "kolsnål" stålframställning, IT-företag, förnybart flygbränsle, batteriproduktion med mera. *Figur 3* visar de antagna förändringarna inom olika sektorer.

Figur 3. Prognostiserad fossilfri elkonsumtion per sektor.



Källa: Qvist m.fl. (2023).

⁵ Qvist m.fl. (2023).

Svenskt Näringsliv har i sin utblick mot 2050 ett scenario baserat på ett teknik neutralt val av produktion, med stora andelar av både kärn- och vindkraft, och ett annat scenario med 100 procent "förnybar" produktion. Lösningen med 100 procent "förnybar" kräver en betydande mängd importerad el och en sådan import ser i dagsläget ut att bli problematisk. Det kräver en stor utbyggnad av kärnkraft eller annan planerbar el i våra grannländer, vilket även antagits i en studie från Chalmers.⁶ Med tanke på den inriktning mot sol- och vindkraft, som hittills varit förhärskande i vår omgivning, kräver detta en radikal omprioritering. Det finns dock tecken på en förändrad inställning i många länder; till och med i Danmark börjar man intressera sig för kärnkraft.

Alternativa scenarier

I ett underlag till denna studie har följande fyra scenarier för 2050 jämförts:⁷

- S1: Energimyndighetens scenario med "100 % fossilfri" inhemsk produktion bestående av befintlig vattenkraft, mycket vindkraft och lite kärnkraft. S1 blir beroende av import, vilken i dagsläget till stor del är fossilbaserad.
- S2: Svenskt Näringslivs teknikneutrala alternativ med "100 % fossilfri" inhemsk produktion, som består av befintlig vattenkraft, en hel del vindkraft och mycket kärnkraft. Även S2 blir importberoende.
- S3: Svenskt Näringslivs scenario "100 % förnybart" för den inhemska produktionen med befintlig vattenkraft, mycket vindkraft, ingen kärnkraft och en betydande import.
- S4: Ett eget scenario, "0 % tillskott av förnybart", med befintlig vattenkraft och resten kärnkraft men utan sol- eller vindkraft och med stora exportmöjligheter.

I jämförelsen framgår att alternativ "0 % förnybart" har lägst kostnad, lägst utsläpp av koldioxid, minst behov av icke förnybara material och kritiska metaller, bäst energimässig hållbarhet, minst arealbehov och lägst negativ inverkan på biologisk mångfald. Alternativet "100 % förnybart" är sämst ur alla aspekter.

Politiska drivkrafter

Ett lands energiförsörjning har nationell betydelse för utveckling, välbefinnande och säkerhet och är därmed ett viktigt område för politik och politiska styrmedel.

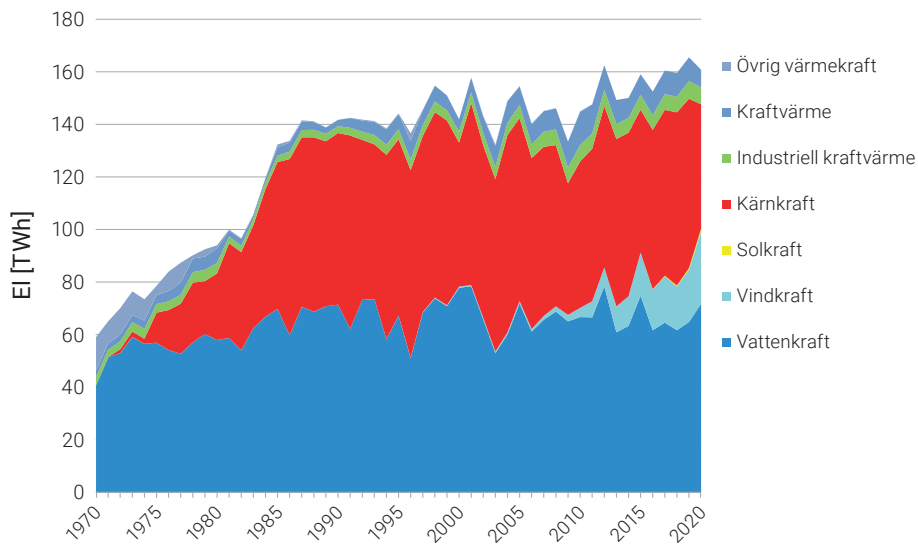
På 1970-talet, i och med oljekrisen, infördes statliga bidrag för att konvertera från olja till el. På 1980- och 1990-talet, efter kärnkraftsomröstningen, skulle elanvändningen minska

⁶ Göransson och Jonsson (2023).

⁷ Fahlén (2023b)

till förmån för bränslebaserad energi och statliga bidrag gavs för att konvertera från el till bränslen eller fjärrvärme. Oro för konsekvenserna av en förestående klimatförändring har underblåst en snabb förändring av energipolitiken med fokus på konvertering från bränslen till el och elproduktion för att uppnå de politiska klimatmålen.

Figur 4. Svensk elproduktion per kraftslag, TWh (netto).



Källa: Energimyndigheten (2020).

Elsystem – inte bara kilowattimmar

En meningsfull diskussion om elförsörjning kräver väldefinierade begrepp och en tydlig bild av elsystemets huvuduppgifter.

Otydliga begrepp

Diskussionen om alternativa energikällor använder ofta ord som grön, förnybar, hållbar och klimatsmart utan att dessa definierats. Till exempel tillåter inte Konsumentverket att dessa begrepp används av företag vid marknadsföring av el – begreppen är vanligtvis både odefinierade och overifierade.⁸ Det är mer funktionellt att använda de funktionsbaserade kategorierna lagrad energi och flödande energi. Dessa begrepp kategoriserar energikällor utifrån om de är planerbara och kan styras av användaren, eller icke planerbara och beroende av okontrollerbara faktorer som till exempel väder.

Lagrad energi: Energin är bunden till materia och finns tillgänglig i form av bränslen. Bränslen kan omvandlas till värme i processer som kontrolleras av kraftproducenten. Oberoende av dess ursprung kan lagrad energi klassas som icke förnybar eller begränsat förnybar.

Flödande energi: Energin flödar oberoende av om den används i ett kraftsystem eller inte. Det är energi som har sitt ursprung i källor som ligger bortom kraftproducentens kontroll, vanligtvis väderberoende som vattenkraft, vindkraft och solkraft men kan även vara oberoende av väder som geotermisk energi. Flödande energi kan omvandlas för att sedan lagras i form av potentiell mekanisk eller kemisk energi. Väderberoende flödande energi kallas även för *Variable Renewable Energy* (VRE).

Elsystemets uppgifter

För att förstå effekterna av en högre andel flödande energi är det viktigt att ha en förståelse för de funktionella kraven som ställs på ett elsystem. Elsystemets grundläggande uppgift är att förse elkonsumenterna med el som har rätt kvalitet, vid rätt tidpunkt och på rätt plats:

⁸ Fahlén (2018) och Konsumentverket (2020).

- **Rätt kvalitet:** Säkerställa en konsekvent och pålitlig elförsörjning med minimala avbrott eller störningar. Det gäller bland annat att hålla spänning och frekvens stabila, minimera distorsion av växelströmmens kurvform, kontrollera rotorvinkelavvikelse och rotationsenergi för att undvika problem, säkerställa leveranssäkerhet, hantera fel och kunna återstarta systemet efter ett fel samt möjliggöra ö-drift när så behövs.
- **Rätt tid:** Eltillförseln ska vara tillgänglig närhelst brukaren har behov av den. I varje enskilt ögonblick måste tillförd effekt vara exakt lika med använd effekt i elsystemets alla delar.
- **Rätt plats:** Korta avstånd mellan producent och konsument minskar energiförlusterna i systemet. Långa avstånd ökar förlusterna och kräver fler stabiliserande åtgärder.

De grundläggande egenskaperna för de två huvudalternativen lagrad och flödande energi leder till fundamentalt olika systemkrav för anslutning till nätet. Dessa egenskaper har en stark påverkan på möjligheterna att uppfylla de ovannämnda funktionskraven.

Elsystemets produktionsenheter

I de flesta eltilförselsystem finns det speciella enheter utpekade för följande funktioner:

- **Baskraft:** Enheter som huvudsakligen arbetar med konstant effekt under större delen av året. Kärnkraftverk är typiska baskraftanläggningar.
- **Reglerkraft:** Enheter som lätt kan följa ändringar i efterfrågan.
- **Balanskraft:** Enheter som snabbt kan kompensera för ändringar i tillförseln.
- **Reservkraft:** Behövs för att hantera situationer då ett allvarligt fel inträffat. Bränslebaserade kraftverk har hög driftsäkerhet men man måste ändå planera för oförutsedda fel. Variationerna av tillförsel från väderberoende källor är oförutsägbara och kan i praktiken liknas vid driftavbrott.

Några andra viktiga begrepp för systemdriften är:

Roterande massa: Ett mått på den mekaniska trögheten för stora synkrongeneratorer, vilken säkerställer en stabilitet för systemet.

Rotorvinkelstabilitet: Förmågan för sammankopplade synkronmaskiner, som är i systemdrift, att förbli i fas med övriga generatorer i systemet.

Kapacitetsfaktor: Förhållandet mellan den årliga medeleffekten och den nominellt installerade effekten. Ett värde på 1, dvs. 100 procent, betyder att anläggningen kan producera full effekt årets alla timmar. Sol- och vindkraft har normalt kapacitetsfaktorer som är mindre än 30 respektive 15 procent medan kärnkraft ligger på 85–95 procent.

Eltillförsel med lagrad energi

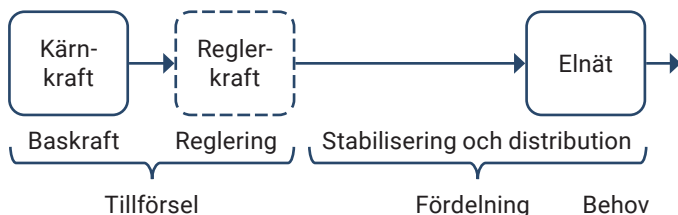
En bränslebaserad elproduktionsanläggning har ett stort inbyggt energilager i form av bränslet. Producenten kontrollerar tillförseln av bränsle och därmed tillförseln av effekt. Denna typ av anläggning kallas därför ofta "planerbar" (eng. *dispatchable*).

Planerbara kraftstationer med fossila, biobaserade- eller kärnbränslen använder stora, synkrona generatorer som ger en stor, roterande massa och därmed en uteffekt med inbyggt stabil spänning och frekvens; det är inte lätt att ändra varvtalet på en sådan generator.

Synkron innebär att den roterar med ett bestämt, konstant varvtal i samklang med övriga generatorer i nätet. Synkrogeneratorer kan anslutas direkt till nätet utan omfattande extra stabiliseringsutrustning, se *figur 5*. Denna typ av generator har också förmågan att producera och konsumera så kallad reaktiv effekt, en viktig egenskap för nätets stabilitet. Reaktiv effekt innebär att ström och spänning inte ligger i fas med varandra och därmed inte kan omvandlas till mekaniskt arbete fullt ut men den tar ändå plats i överföringssystemet och måste hanteras (se även sid. 24–25 om spänningsreglering).

En stor risk för elsystemet är om okontrollerade fasvridningar genom reaktiva lastförändringar ger upphov till självvängningar som sprider sig i nätet.

Figur 5. Principen för en planerbar, bränslebaserad eltilförsel.



Källa: Fahlén (2023a).

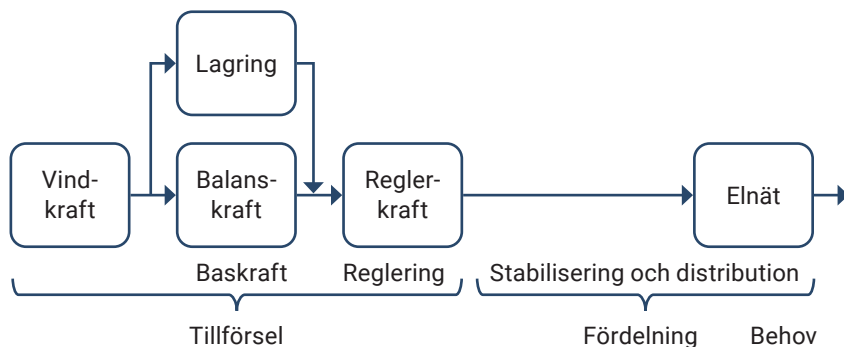
Kärnkraft är utmärkt som baskraft men kan i viss mån även fungera som reglerkraft. Med sina stora synkrogeneratorer kan den stabilisera spänning och frekvens, rotorvinkel m.m. och tillföra eller ta bort reaktiv effekt. Den har dessutom en mycket hög kapacitetsfaktor.

Eltillförsel med flödande energikällor

Med väderberoende flödande energi, VRE, kan man inte reglera tillförseln i direkt relation till efterfrågan och den kallas därför "oplanerbar" (eng. *non-dispatchable*). De vanligast förekommande VRE-alternativen är vindkraft och fotovoltaiska solceller. I dagsläget är denna typ av tillförsel inte synkront ansluten till nätet och kan därför inte bidra till elsystemets stabilitet.

VRE-anläggningar kan inte ge baskraft, reglerkraft eller balanskraft på egen hand. För att ge samma funktionalitet som en bränslebaserad anläggning måste därför en VRE-anläggning kompletteras med anläggningar för balanskraft och/eller lagring, reglerkraft och stabiliserande utrustning (se figur 6). Detta ökar systemets kostnad och komplexitet.

Figur 6. Principen för en icke planerbar eltilförsel med flödande energikällor.



Källa: Fahlén (2023a).

Relevanta tillförselalternativ

Kolsnåla tillförselalternativ är bränslebaserad kärn- eller biokraft eller flödande källor som vatten-, sol- eller vindkraft. Som reserv-, balans- eller reglerkraft används ofta naturgas eftersom kraftverken går fort att bygga, har låg investeringskostnad och snabbt kan kopplas in och ur. *Tabell 1* ger en översikt över de fossilfria alternativen och deras egenskaper. Observera att bedömningen av miljöpåverkan och ekonomi kan variera beroende på olika externa faktorer och geografiska platser.

Tabell 1. Egenskaper för olika kolsnåla energialternativ.

Alternativ	Planerbarhet	Systemstöd	Ekonomi	Bränsle- tillgänglighet	CO ₂ -utsläpp	Miljöpåverkan
Kärnkraft	Planerbar	Baskraft Reglerkraft Balanskraft Energilagring	Hög investering, mätlig kWh- kostnad, kräver stabila riktlinjer	Uran finns i stor mängd	Låga	Låg miljö- påverkan, hög hållbarhet
Biobränslen och avfalls- förbränning	Planerbar	Baskraft Balanskraft Energilagring	Bio relativt dyr, avfall billigt	Biobränslen kan vara en bristvara och dyr resurs. Avfall har ofta ett negativt pris	Varierar, låga till medelhöga	Tveksamma ur ett miljö- och hållbarhets- perspektiv
Vattenkraft	Begränsat planerbar – årstidsberoende, planerbar med lagring i dammar	Baskraft Reglerkraft Balanskraft Energilagring	Hög investering, mätlig kWh- kostnad	Utvinningsbara resurserna till stora delar exploaterade	Låga	Liten global påverkan men stora lokala konsekvenser
Solkraft	Ej planerbar – väderberoende	Ger inget systemstöd Kräver externa stödsystem	Mycket dyrt på systemnivå	Ej tillämplig	Låga men stora i förhållande till andra kolsnåla alternativ	Dåliga prestanda avseende hållbar- het och global miljöpåverkan
Vindkraft	Ej planerbar – väderberoende	Ger inget systemstöd Kräver externa stödsystem	Dyrt på systemnivå	Ej tillämplig	Låga men högre än kärn- eller vattenkraft	Omfattande negativa lokala och globala konsekvenser

Anm.: Setabell 3–5 beträffande kostnader och figur 20 för koldioxidutsläpp. Miljö och hållbarhet diskuteras i avsnitt 7.

Alternativ för lagring

VRE kommer alltid att kräva yttre stöd av balanskraft eller lagring för att täcka perioder med låg kapacitet. Lagring framhävs ofta som framtidens lösning för sol- och vindkraftens låga kapacitetsfaktorer. Men det är viktigt att inse att lagring oavsett val av metod alltid kommer att öka kostnaden, komplexiteten och miljöpåverkan samt minska systemverkningsgraden. Nedan presenteras några av de viktigaste lagringsalternativen.

Mekanisk lagring

Inkluderar vattenkraftslagring (dammar) som lagrar rörelseenergi från ett vattendrag i form av lägesenergi och har små verkningsgradsförluster. Pumpkraftslagring, som pumpar vatten från en lägre till en högre nivå, ger verkningsgradsförluster på 25–30 procent. Pumpkraftverk kräver specifika platser, helst med höga fallhöjder.

Elektromagnetisk lagring

Tänkbara alternativ är kondensatorer, superkondensatorer och supraledande magnetlager. I dagsläget är superkondensatorer mest lovande eftersom de kan laddas och laddas ur ett nästan obegränsat antal gånger och har mycket hög verkningsgrad. Låg energitäthet och höga kostnader är begränsande faktorer.

Kemiska lager

Använder överskottsel för att producera brännbar gas, exempelvis väte. Processen är extremt elkrävande och har en relativt låg verkningsgrad (35–40 procent) då förluster uppstår både vid tillverkning och vid användning. Den är i dagsläget mycket dyr och kräver stora subventioner.

Elektrokemisk lagring

Batterier har en bra egenskap genom att de kan reagera snabbt på laständringar och att de därmed är lämpliga för spännings- och frekvensreglering. Stora investeringar görs i storskaliga fabriker för framför allt litiumjonbatterier. Dessa har en hög verkningsgrad på 85–90 procent men en kort livslängd på 5–10 år. Tyvärr är batterier dyra, tunga och har hållbarhetsproblem.

Lagring är inte bara ett alternativ för VRE-kraftverk. Ett kärnkraftverk skulle till exempel kunna köras på 100 procentig kapacitet med kombinerad el- och värmeproduktion och under perioder med lägre el- eller värmebehov lagra överskottsel eller producera vätgas. Kombinationen av el och värme samt kontinuerlig produktion gör att vätgasproduktion med kärnkraft får en mycket högre verkningsgrad än den som till exempel nås med el från vindkraft.

Tekniska konsekvenser för elnätet

Det krävs en tydlig målsättning och väldefinierade funktionskrav för att skapa ett väl fungerande elsystem.

Tekniska eller politiska funktionskrav?

Välplanerade och väl fungerande elsystem har tidigare baserats på samhällets tekniska funktionskrav; kraftverk har byggts på ställen som är optimala för nätstabilitet och som minimerar behov av kraftöverföring.

Genom en kombination av vattenkraft, kärnkraft och kraftvärme hade Sverige i mitten av 1980-talet ett kraftfullt system för elproduktion, som redan då var nästan helt fossilfritt. Detta kombinerades med ett mycket väl genomtänkt elnät, både tekniskt och geografiskt, där vattenkraften i norr och kärnkraften i söder organiserades i sex elområden som i huvudsak var för sig var i balans. Det minimerade behovet av överföring och tillhörande systemförluster. Kraftbalansen var stark och vi hade tillgång till mer el än i dag och den elen var av högre kvalitet.

Figur 7. Det svenska elsystemet 1986.

Balanserade tillförelsområden

- Överskott i norr (vattenkraft)
- Minimerat behov av överföringskapacitet
- Minimerad kostnad och överföringsförlust

Efterfrågan och tillförel

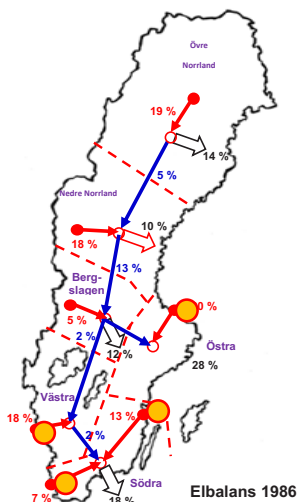
- Ganska förutsägbar efterfrågan
- Förutsägbar tillförel
- Lagring i bränslen och dammar

Systemfunktion

- Baskraft: Kärnkraft
- Bas- och reglerkraft: Vattenkraft
- Stabilitet och reaktiv effektbalans via roterande massa i kärn- och vattenkraftsgeneratorerna

Anm.: Gula cirklar markerar de fyra kärnkraftverken med totalt 12 reaktorer.

Källa: Fahlén (2023a).



Nu ställs elsystemet om på grund av politiska önskemål om satsningar på sol- och vindkraft. Hela elsystemet byggs om och anpassas efter producenternas behov och inte som tidigare för elkonsumenterna. I både Sverige och Tyskland lokaliseras exempelvis vindkraft i stor utsträckning till ländernas nordliga regioner medan de stora behoven i dagsläget finns i söder. Tillförseln finns långt från behoven och ny överföringskapacitet måste byggas i stor omfattning.

I stället för att som tidigare minimera behovet av överföring så medför introduktionen av flödande energikällor att överföringsbehoven maximeras. Med det ökar även energiförluster, miljökonsekvenser och kostnader.

Vind- och solkraftens konsekvenser för elnätet

Statens expertmyndighet för elsystemfrågor, Svenska kraftnät (SvK), har i många år varnat för allvarliga problem till följd av den pågående omställningen.⁹ SvK pekar ut följande utmaningar som särskilt problematiska och kostsamma vid en stor andel flödande energikällor i det svenska elsystemet:

Effekt – tillgång och balansering

Den icke planerbara effekttillförseln påverkar effektbalansen och kräver åtgärder inte bara vid maximal belastning. Tidigare behövde man bara kompensera ganska förutsägbara förändringar i efterfrågan med hjälp av reglerkraft; i Sverige används främst vattenkraft för detta. Med ökad andel flödande energikällor behövs balanskraftverk för att hantera oförutsägbara och stora förändringar i tillförseln. I Sverige är vattenkraften redan till stor del in-tecknad som baskraft och reglerkraft och balansfrågan måste i ökande grad lösas med elimport, reguljär drift av reservkraftverk eller nya specialbyggda balanskraftverk.

Slumpmässiga variationer i tillförsel

Vindkraft introducerar stora och slumpmässiga variationer i effekttillförsel på både kort och lång sikt. Detta har man tidigare inte upplevt i nätet och variationerna följer inte något tidigare känt mönster man kan planera efter.

Spänningsreglering

En stabil nätspänning är viktig både för nätets funktion och för abonnenternas nätanslutna apparater. När anslutna apparater drar ström kommer inte strömmen att variera helt i fas med spänningen, men den kan delas upp i en komponent som ligger i fas och en kompo-

⁹ Svenska kraftnät (2015).

ment som är ur fas relativt spänningen. Den del av de resulterande effekterna som ligger i fas kallas aktiv effekt medan den del som är ur fas kallas reaktiv effekt. Båda effekterna måste vara i balans.

Historiskt har nätet utformats så att de anslutna generatorerna haft en viktig del i att vidmakthålla även den reaktiva effektbalansen och därmed en möjlighet att styra matningsspänningen. I samband med störningar på nätet är möjligheten att leverera reaktiv effekt ännu viktigare. Reaktiv effekt måste produceras lokalt; den kan i praktiken inte överföras via kraftledningar eller transformatorer eftersom detta tar utrymme från överföringen av aktiv effekt och ökar nätförlusterna. De flesta vind- och solkraftgeneratorer saknar förmåga att stödja nätspänningens stabilitet, vilket kan påverka leveranssäkerheten om inte åtgärder vidtas.

Frekvensbalans

Det är viktigt att alla produktionsalternativ bidrar till systemfunktionen. Regelverket är tydligt kring ansvaret för frekvensbalansen; alla leverantörer är enligt ellagen skyldiga att hålla 50 Hz genom att ständigt leverera lika mycket el som deras kunder förbrukar, men så ser inte verkligheten ut.

Sämlre nätstabilitet

När abonnenter kopplar in och ur sina apparater ökar och minskar belastningen för kraftproduktionens generatorer. När belastningen ökar bromsas de synkrona växelströmsgeneratorer, som utgör grunden i det svenska elsystemet, och drivkraften måste öka för att hålla varvtalet konstant. Det är detta varvtal som ser till att nätfrekvensen är konstant och att alla generatorer arbetar synkront ("går i takt"). Det omvända gäller när apparater kopplas bort. Men om den roterande massan i generatoren är stor så finns så mycket mekanisk energi lagrad i denna att varvtalet blir svårt att ändra både vid ökande och minskande belastning och därmed behöver inte effekten, som matas in i generatoren, ändras så snabbt.

Kärn- och vattenkraftverk har bidragit till nätstabilitet genom sina synkrongeneratorer med stor roterande massa. Sol- och vindkraftverk använder för närvarande inte sådana generatorer, vilket kan påverka nätstabiliteten negativt. Enligt de framtidsscenarier som presenterades vid Svenska kraftnäts branschevenemang i september 2022 förväntas rotationsenergin i kraftsystemet understiga den kritiska nivån 120 GWh under 80 av årets 8 760 timmar år 2025, 200–710 timmar år 2035 och 400–2 910 timmar år 2045, tidpunkten då den sista svenska kärnkraften, enligt tidigare regeringars planer, antogs vara avvecklad.

Lokalisering

Vindkraftverk förläggs decentraliserat, långt från större områden av efterfrågan. De ansluts ofta till nät med lägre spänningsnivåer än stamnätet och ersätter stora generatorer som varit centralt belägna och anslutna till det högspända stamnätet. Allt detta minskar stödet för spänningsstabilitet och kan påverka både överföringskapacitet och leveranssäkerhet.

Kostnader för olika tillförelsalternativ

Det finns tre huvudkategorier av kostnader för elproduktion: kraftverkskostnader, elsystemkostnader och externa eller sociala kostnader. I denna studie har kostnader för fyra alternativa systemlösningar jämförts på kraftverks- och systemnivå. I de fall ursprungsdata är givna i USD, GBP eller EUR har växelkurserna 10,47 SEK/USD, 13,01 SEK/GBP och 11,42 SEK/EUR använts (data från april 2023 när underlaget sammanställdes).

Livscykelanalys

Livscykelanalys (LCA) är en metod för att studera långsiktiga effekter av tekniska system och används för att analysera både ekonomiska och miljömässiga konsekvenser. En LCA bör vara baserad på internationella standarder som ISO 14040 och 14044.¹⁰ Enligt dessa ISO-standarder baseras effekterna av elproduktion på LCA-skattningar, vilka omfattar byggnation och nedmontering av kraftverk (inklusive återställning av marken), bränsleutvinning och förädling, anläggningens drift samt hantering av avfallsprodukter.

Denna studie fokuserar på två kostnadsnivåer:

- 1 **Kraftverksnivå:** Denna nivå beaktar faktorer som är kopplade till själva kraftverket, t.ex. byggmaterial, arbetskraft, drift och underhåll inklusive bränsle samt avveckling.
- 2 **Elsystemnivå:** Denna nivå avser kostnader och resursanvändning för hela elsystemet, t.ex. transmissions- och distributionsnät, utrustning för stabilitet och säkerhet samt de extra kostnader som kraftverk kan orsaka systemet, såsom behovet av nätutbyggnad och balanskraft.

Inom var och en av de två nivåerna behandlas kostnader för investering, drift och underhåll samt avveckling. Det finns även en tredje nivå: sociala/externa kostnader. Det kan handla om inverkan av framför allt de areella näringarna, vindkraft samt industriellt skogsbruk och biobränslen, på biologisk mångfald, konsekvenser för människors livsmiljö, inverkan på alternativa näringar som turism, jordbruk m.m., kostnader på grund av "flexibel" elanvändning (ransonering), sänkta fastighetsvärden etc. Denna nivå är viktig men sällan kvantifierad.

¹⁰ ISO (2006a, 2006b).

Kostnader på kraftverksnivå

Kostnadsjämförelser är ingen enkel uppgift ens på kraftverksnivå. Otaliga värden figurerar där många har mycket tveksam kvalitet. I synnerhet är data för de kolnåla alternativen kärn-, sol- och vindkraft svårtolkade och de varierar stort mellan länder och tidpunkter.

LCOE (Levelised Cost of Electricity)

LCOE (*Levelised Cost of Electricity*) används ofta för att jämföra kostnaderna på kraftverksnivå för olika basproduktionsalternativ. LCOE mäter avskrivningskostnaderna per producerad enhet energi under kraftverkets livstid och tar inte hänsyn till ökade systemkostnader som vissa alternativ medför.

De faktorer som i första hand påverkar kostnaden, är investeringskostnaden, installerad kapacitet, kapacitetsfaktor, ekonomisk livslängd för investeringen, samt drift- och underhåll och kostnader för avveckling.

Det är viktigt att i detta sammanhang förstå skillnaden mellan kostnaden för att bygga kraftverken, dvs. kostnaden för *installerad effekt* mätt i kostnad per megawatt (SEK/MW) och kostnaden för *producerad el* mätt i kostnad per kilowattimme (SEK/kWh).

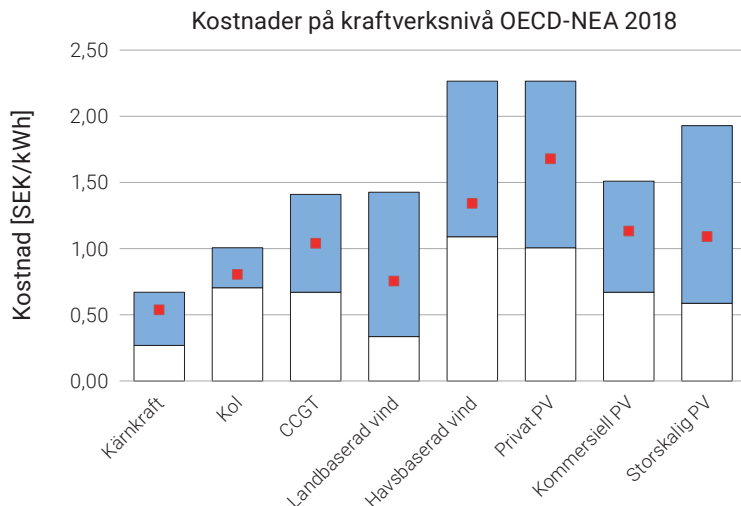
Figur 8 visar ett exempel på uppskattade kostnader på kraftverksnivå för några bränslebaserade och flödande alternativ för elproduktion. Av de fossilfria alternativen har kärnkraften lägst kostnad per producerad kilowattimme. Ett problem är att de flesta källor använder projekterade värden, inte faktiskt uppmätta data (se avsnitt 4.2.3). Dessa pekar på ökande kostnader för till exempel vindkraft, tvärtemot medias bild av sjunkande kostnader.

Alla kWh är inte likvärdiga

Observera att värdet av en kilowattimme kan vara väldigt olika för de studerade produktionsalternativen. När väderberoende alternativ, som sol- och vindkraft, utgör en stor del av produktionen riskerar de att få en avsevärt lägre intäkt av sin produktion eftersom marknadspriset sjunker när det blåser på grund av överutbud och intäkten blir liten när det blåser mindre på grund av låg produktion. Hughes (2020) har gjort en kalkyl för vindkraft i Storbritannien, där han inkluderar en del av balanskostnaderna men inte kostnaderna för ut- och ombyggnad av nätet.¹¹ Enligt studien hade vindkraften år 2020 ett nettovärde av 0,17 kr/kWh medan dess produktionskostnad var 1,18 kr/kWh för landbaserad och 1,98 kr/kWh för havsbaserad vindkraft. Att nettovärdet för vindkraften blir lågt beror på att när den producerar mycket är priset lågt (20 procent producerades när priset var negativt) och mycket lite produceras när priset är högt.

¹¹ Hughes (2020).

Figur 8. Kostnader på kraftverksnivå.



Anm.: Blå staplar indikerar kostnadernas variationsvidd för de inkluderade anläggningarna, röda fyrkanter avser medelvärden. CCGT = Combined Cycle Gas Turbine, PV = fotovoltaisk solcell. Kapitalkostnaderna baseras på 3 procent ränta. I antagandena ingår regionala bränslepriser, 85 procent kapacitetsfaktor för kärn-, kol- och gaskraft samt en kostnad av 30 USD (ca 314 SEK) per ton koldioxidutsläpp. Det sista antagandet förutsätter att externa kostnader för tänkta klimatförändringar åtminstone delvis läggs direkt på produktionskostnaden.

Källa: Keppler m.fl. (2018).

Notera att de kalkylmodeller som vanligtvis används missgynnar långsiktiga investeringar som kärn- och vattenkraft med en teknisk livslängd på över 60 år. Det exponentiella avtagandet i betydelsen av framtida intäkter i nuvärdesberäkningar gör att i normalfallet saknar intäkter betydelse efter de första 20 kalkylåren.

Skillnad mellan offererad och verklig kostnad

Det verkar finnas ett stort gap mellan offererad kostnad för vindkraft och den verkliga kostnaden för investering, drift och avveckling. Professor Gordon Hughes vid universitetet i Edinburgh har granskat ekonomin för tusentals vindkraftverk i Storbritannien och Danmark.¹² På grund av en med åren sjunkande kapacitetsfaktor och en ökande underhållskostnad blir den ekonomiska medellivslängden för landbaserad vindkraft bara

¹² Constable och Hughes (2020) och Hughes (2020).

15 år och för havsbaserad vindkraft 12 år. Dessa värden är avsevärt lägre än de 20–30 år som normalt används i kostnadskalkylerna och innebär därmed att kostnaderna per energienhet är avsevärt högre än de som projekteras. Om man använder en projekterad livstid av till exempel 20 år i stället för ett faktiskt utfall av 15 år och en kapacitetsfaktor av 0,4 i stället för ett faktiskt utfall av 0,3 så kommer kalkylen att underskatta den verkliga investeringskostnaden per kWh med ca 80 procent.

Investeringskostnader

Investeringskostnaden per MW beror bara av kostnaden och den installerade effekten. Investeringen per kWh beror dessutom av kapacitetsfaktorn och anläggningens ekonomiska livslängd. Ur det perspektivet krävs att vindkraft har en tiondel av kostnaden per MW för kärnkraft för att nå samma nivå per kWh. Andra studier över faktiska kostnader för vindkraft stöder Hughes resultat, t.ex. den vetenskapliga artikeln "Better estimates of LCOE from audited accounts", som redovisar kostnader för havsbaserad vindkraft på en jämförbar nivå med Hughes värden.¹³

Kärnkraft

Kostnaderna för kärnkraften varierar mycket från land till land.¹⁴ I Europa är kostnaden för de få enheter som för närvarande byggs ganska höga, över 50 miljoner kronor per megawatt, medan de i Sydkorea kan kosta så lite som 20–30 miljoner kronor per megawatt generatoreffekt. Detta tydliggör vikten av praktisk erfarenhet och serietillverkning genom kontinuerligt byggande. Svenskt Näringsliv (Qvist m.fl. 2023) anger i sitt scenario 2050 att stora konventionella lättvattenreaktorer har "overnight"-kostnader från 37 MSEK per megawatt (låg) upp till 58 MSEK per megawatt (hög). Den lägsta siffran är högre än dagens världsgenomsnitt för nybyggnation, högre än den inflationsjusterade kostnaden var för alla av Sveriges existerande reaktorer och ungefär dubbelt så hög som för de mer kostnadseffektiva projekten i världen idag i länder som Sydkorea och Kina.

Vindkraft

Medelvärdet för de faktiska kostnaderna för landbaserad vindkraft är 21 MSEK per megawatt (0,40 kr per kWh) och 52 MSEK per megawatt (0,99 SEK per kWh) för havsbaserade vindkraftverk.¹⁵ Detta stöds även av ett utredningsunderlag till Energikommissionen från Sweco (2017) som anger en investeringskostnad för vindkraft på 26 MSEK per megawatt (0,49 kr per kWh).

¹³ Aldersey-Williams m.fl. (2019).

¹⁴ Cohen (1990), Keppler m.fl. (2018), Lovering m.fl. (2016) och WNA (2022).

¹⁵ Enligt Constable och Hughes (2020).

På kraftverksnivå har landbaserad vindkraft en lägre investeringskostnad per installerad megawatt än kärnkraft, men kärnkraften har ändå en betydligt lägre investeringskostnad för producerad el: 0,06 kr per kWh att jämföra med vindkraftens 0,40 kr per kWh (se *tabell 2*). För havsbaserad vindkraft är även investeringen per megawatt högre än för kärnkraft.

Drift- och underhållskostnader

Såväl kärnkraft som vindkraft har låga bränslekostnader. Därmed blir övriga drift- och underhållskostnader viktiga för den totala produktionskostnaden.

Kärnkraft

Medelvärdet av kostnaden för drift och underhåll av ett kärnkraftverk ligger i spannet 0,10–0,25 kr per kWh.¹⁶

Vindkraft

Driftkostnaderna per år för ny landbaserad vindkraft ligger runt 1 MSEK per megawatt (0,38 kr per kWh) och stiger stadigt med cirka 3–4 procent per år i drift. Kostnaderna för havsbaserad vindkraft börjar typiskt vid 2,4 MSEK/år per megawatt (0,68 kr per kWh) och stiger sedan med 8–9 procent per år i drift.

Vindkraften har högre driftskostnader än kärnkraften och kostnaderna ökar dessutom över tid. En stor del av vindkraftens ökade driftkostnader hänger samman med problemet med erosion av rotorbladen, vilket reducerar både kapacitetsfaktorn och turbinernas livslängd, samt växellådshaverier som har varit återkommande problem.

Avvecklingskostnader

Avvecklingskostnaderna är betydande för både kärn- och vindkraft men de hanteras på principiellt olika sätt.

Kärnkraft

Kostnaden för avveckling är, till skillnad från övriga kraftslag, vanligtvis inkluderad i kärnkraftens investerings- och driftkostnad. Betalning sker till en fond, som är dimensionerad för att täcka den fulla kostnaden för avveckling och långsiktig förvaring av det radioaktiva avfallet.

Vindkraft

Vanligtvis betalas bara en mindre del av avvecklingskostnaden i förväg även om myndigheterna ökat kraven något under senare år. Hela kostnaden kan ligga i spannet 1–4

¹⁶ Keppler m.fl. (2018), Patel (2020) och Sweco (2017).

miljoner kr per megawatt.¹⁷ En lösning på vindkraftens problem med miljöfarligt avfall saknas för närvarande, vilket har kritiserats av Riksrevisionen.¹⁸

Avvecklingskostnaden för vindkraft är betydande i förhållande till investeringskostnaden trots att borttagning av betongfundamenten inte räknas in i kalkylen. Betongfundamenten har en totalvikt på uppemot 800 ton betong och stål per fundament. De anses vara för kostsamma att ta bort och lämnas för närvarande kvar i marken och täcks över med jord.

Kostnader på kraftverksnivå – en översikt

Tabell 2 ger en översikt över typiska data från olika källor för de ingående delarna i kostnaderna på kraftverksnivå. Eftersom variationsvidden är stor finns det alltid enstaka anläggningar som kan ligga utanför dessa intervall. Tabell 3–5 i avsnitt 4.4 om totala systemkostnader ger ytterligare underlag.

Tabell 2. Sammanställning – kostnader på kraftverksnivå.

Kostnader	Kärnkraft	Landbaserad vindkraft	Havsbaserad vindkraft
Investeringskostnad Installerad effekt (MSEK/MW)	30–60	10–25	25–50
Investeringskostnad Producerad energi (SEK/kWh)	0,04–0,20	0,20–0,50	0,20–0,65
Drift och underhåll (SEK/kWh)	0,10–0,25	0,10–0,45	0,20–0,75
Avveckling (MSEK/MW)	–*	0,01–0,05	0,01–0,05

* Inkluderad i kostnaderna för investering och drift.

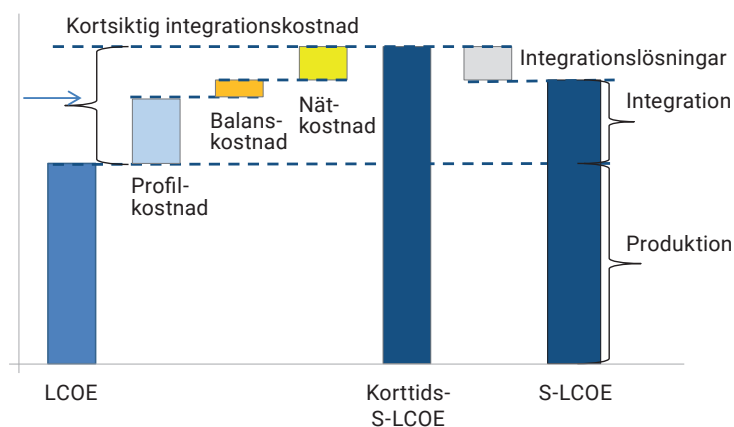
¹⁷ Aldén (2013).

¹⁸ Riksrevisionen (2013a).

Kostnader på systemnivå

Kostnader på systemnivå är avsevärt mer komplexa än kostnader på kraftverksnivå. De omfattar profil-, balanserings- och nätrelaterade kostnader, vilka alla är viktiga att beakta när man utvärderar olika elsystem.¹⁹ Utöver LCOE tillkommer på systemnivå profilkostnader, balanskostnader och nätkostnader. Ueckerdt m.fl. (2013) betecknar den totala kostnaden med S-LCOE, det vill säga LCOE på systemnivå.

Figur 9. Elkostnad på systemnivå, S-LCOE, som består av LCOE plus profilkostnad, balanskostnad och nätkostnad (se avsnitt 4.3.1–4.3.3).



Anm.: I viss mån kan de integrationskostnader som uppkommer initialt minska genom långsiktiga integrationsalternativ.

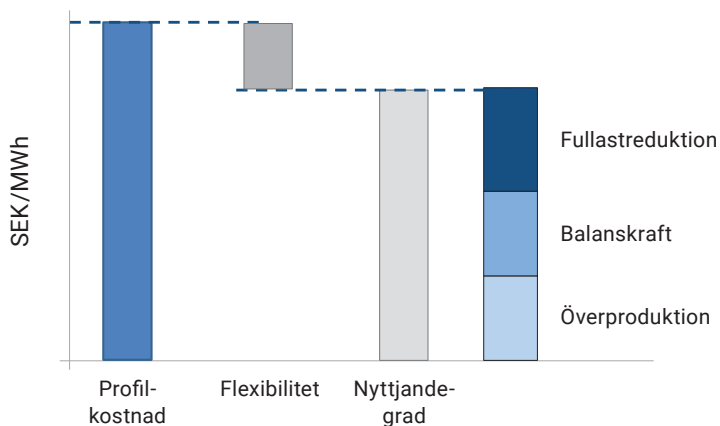
Källa: Ueckerdt m.fl. (2013) och Fahlén (2023a).

Profilkostnader

Profilkostnader, som illustreras i *figur 10*, är kopplade till variationer i uteffekten för VRE, särskilt när VRE är en hög andel av energimixen. Dessa variationer skapar utmaningar med att anpassa produktionen till efterfrågan, vilket kräver ökad användning av balanskraft. Problemet förstärks när VRE-effekten överskrider efterfrågan, vilket leder till överproduktion och nätproblem om inte effekten reduceras och allt detta gör systemet dyrare. Dessutom leder en stor andel VRE-produktion till att kapacitetsutnyttjandet för den nödvändiga planerbara produktionen minska och därmed försämras dess ekonomi.

¹⁹ Ueckerdt m.fl. (2013).

Figur 10. Orsaker till profilkostnader (t.ex. bristande flexibilitet och försämrat kapacitetsutnyttjande).



Källa: Ueckerdt m.fl. (2013).

Balanskostnader

Balanskostnader uppstår främst på grund av osäkerheter i tillförseln av energi till följd av oförutsägbara händelser så som anläggningsstopp eller prognosfel för sol eller vind. Detta kräver att en ökande mängd driftsatta reserver är tillgängliga för att hantera snabba justeringar inom minuter eller sekunder. Svenska kraftnät redovisar att balanskostnaderna har ökat från 1,2 till 5,9 miljarder SEK/år bara mellan 2020 och 2022 och dessa kostnader kommer att öka snabbt med en ökande andel icke planerbar elproduktion.

Osäkerheter i tillförseln av VRE kan också leda till ökad variation i kraftproduktionen och påverka driften av konventionella kraftverk, vilket i sin tur resulterar i ökade systemkostnader.

Problem med effektbalansen kan lösas genom inkoppling av balanskraft i form av en planerbar elproduktion, exempelvis gaskraft, och/eller inkoppling av lagrad el.

En återkommande propå i debatten är att balansproblemet kan lösas i framtiden med batterilager. Men ett storskaligt sådant riskerar att bli oerhört dyrt och är i dagsläget helt orealistiskt, vilket nedanstående exempel visar.

Balanskostnader – ett exempel

Antag att vi ska ersätta Sveriges tidigare kärnkraft med vindkraft plus ett batterilager; vi behöver alltså ersätta reaktorer som gav 60–65 TWh/år. Låt oss använda 60 i följande exempel, det ger en medeleffekt av 6 849 megawatt.

Kärnkraft har en kapacitetsfaktor av 0,9 medan vindkraft ligger på 0,3. För att leverera medeleffekten krävs därför 7 610 megawatt kärnkraft eller 22 831 megawatt vindkraft.

Kostnaden för ny kärnkraft i Europa har varit hög, 40–60 miljoner kronor per megawatt, vilket är avsevärt högre än världsgenomsnittet. Låt oss anta en kostnad för kärnkraft på 40 miljoner kronor per megawatt. Landbaserad vindkraft anses kosta 10–15 miljoner kronor per megawatt (i verkligheten mer, se *tabell 4*), vi använder 13 miljoner kronor per megawatt i vårt exempel.

För att kunna leverera den tidigare svenska kärnkraftens medeleffekt behövs kärnkraft för $40 \times 7\,610 = 304$ miljarder kronor eller vindkraft för $13 \times 22\,831 = 297$ miljarder kronor.

Vid en första anblick verkar kostnaderna vara snarlika men i januari–februari kan vindkraftsproduktionen vara i stort sett noll flera veckor i rad. Då behöver detta balanseras. Att lagra en veckas medelproduktion kräver ett lager med en kapacitet av $6\,849 \times 7 \times 24$ MWh = 1,15 TWh. Det motsvarar drygt 70 procent av den totala världsproduktionen av batterier år 2022 och lämnar inte mycket kvar till övriga världens behov.

Antag att detta är realistiskt, vad skulle det kosta? I Varberg byggdes 2022 Sveriges största batterilager på 14 MWh till en kostnad av 100 miljoner kronor.

Systemet behöver 1,15 TWh, vilket motsvarar 1,15 miljoner MWh, dvs. 82 143 Varbergs-lager till en total kostnad av 8 214 miljarder kronor.

Investeringen på systemnivå blir således:

- **Kärnkraft** 304 miljarder kronor
- **Vindkraft** $297 + 8\,214 = 8\,511$ miljarder kronor

Investeringen för vindkraft är i vårt exempel 28 gånger högre än investeringen för kärnkraft. Detta stämmer väl med andra beräkningar som anger att det är 20–30 gånger dyrare med vindkraft plus batterilager än med kärnkraft.²⁰

Kalkylen ovan är konservativ; när hela batterilagret behövs är det sannolikt januari–februari och då är effektbehovet närmare maxvärdet än det medelvärde som använts i kalkylen. Under kärnkraftens livscykel på 60–80 år måste dessutom vindkraftverk och batterilager ersättas 3–4 gånger och då blir skillnaden per kWh enorm. Även om vindkraft plus enbart batterilager är ett realistiskt alternativ kommer alla former av lagring och/eller dedikerade balanskraftverk att fördyra och komplicera elsystemet.

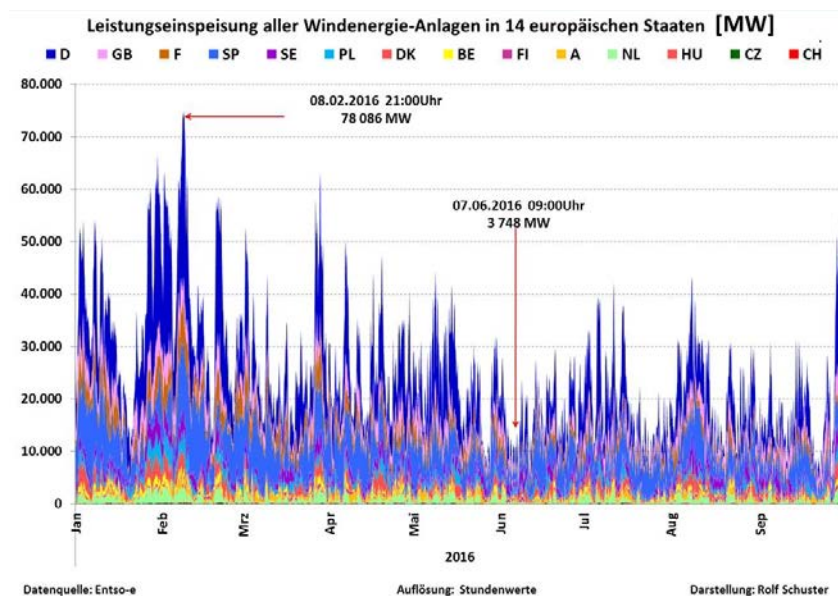
²⁰ Sinn (2013).

”Det blåser alltid någonstans” – det stämmer inte

När vindens stora variationer förs på tal hävdas ibland att ”det blåser alltid någonstans” och att man genom ökad överföringskapacitet kan jämna ut variationerna på internationell nivå. Praktisk erfarenhet motbevisar detta. Det finns en stark korrelation mellan vindhastigheten i olika länder.

Figur 11 visar tydligt att den samlade uteffekten 2016 från 14 EU-länder har mer eller mindre samma variationsmönster som de individuella länderna. När vindkraftsproduktionen är stor i ett land är den också stor i grannländerna. När länderna vill exportera sitt överskott konkurrerar vindkraft inte i första hand med fossilbaserad kraft utan med vindkraftsöverskottet från ett annat land.

Figur 11. Variationen i tillförseln av vindkraftsel från 14 EU-länder, per land och totalt.



Källa: Schuster (2018).

De stora svackorna i tillförsel måste täckas av något annat slags balanskraft och/eller genom lagring. I dagsläget genereras balanskraften i första hand i form av fossilbaserad kraft (tidigare kunde Sverige bidra med den starka kärnkraftsproduktionen i södra Sverige). Den ökande andelen vindkraft i Europa gjorde också att det europeiska elnätet

år 2021 vid åtminstone ett tillfälle inte gick att hålla ihop av stabilitetsskäl utan Europas elsystem delades i två delar. Nedstängningen av kärnkraft i södra Sverige har medfört att elområde SE4 har bland de sämsta effektbalanserna i Europa och det har även kraftigt försämrat effektbalanserna i SE3 och i Danmark.

Nätrelaterade integrationskostnader

Nät- och anslutningskostnader avspeglar de effekter som uppstår på transmissions- och distributionsnäten till följd av var kraftverken placeras geografiskt. Alla kraftanläggningar har vissa geografiska begränsningar, men för förnybara energikällor är dessa begränsningar särskilt utmanande, eftersom de ofta kräver specifika platser med bra vind- eller solläge eller tillgång till vattendrag. Vanligtvis ligger dessa långt ifrån befintliga transmissionsnät och elkonsumenter. Det blir därför ofta nödvändigt att bygga nya kraftledningar och/eller öka kapaciteten i befintliga ledningar för att kunna överföra el från kraftproducerande industrier till elkonsumenterna.

En stor andel VRE kan dessutom kräva betydande investeringar i distributionsnätet. Om det finns många förnybara energikällor som försöker ansluta sig till samma nät, kan detta leda till trängsel och ökade kostnader för att balansera och distribuera elen.

Överföringskostnader

Det hävdas återkommande att det inte råder brist på el. Allt löser sig bara vi får mer överföringskapacitet. Men sådan kapacitet tar lång tid att bygga, kostar stora summor och medför verkningsgradsförluster. De långa avstånden mellan produktion och konsumtion resulterar inte bara i stora kostnader för ny överföringskapacitet utan även i betydande nätförluster: ca 10 procent från norr till söder i Sverige och ca 20 procent vid export.

I dagsläget betalar inte exportörer och importörer hela kostnaden för eltransporten i Sverige, den betalas till stor del av svenska nätabonnenter. Svensk vindkraft i Norrland skulle ha svårt att konkurrera med dansk eller tysk vindkraft, som den gör idag, om den betalade hela transportkostnaden.

Ett avskräckande exempel på överföringskostnad är Sydvästlänken. Den blev fem år förse- nad, har en verklig kapacitet på 800 megawatt i stället för projekterade 2 x 600 megawatt och kostade 7,9 miljarder kronor för 44 mil (10 gånger dyrare än planerat). Det innebär att kostnaden per megawatt för en överföring som är 44 mil lång blir 10 miljoner kronor, dvs. av samma storleksordning som kalkylkostnaden per megawatt för ny vindkraft.

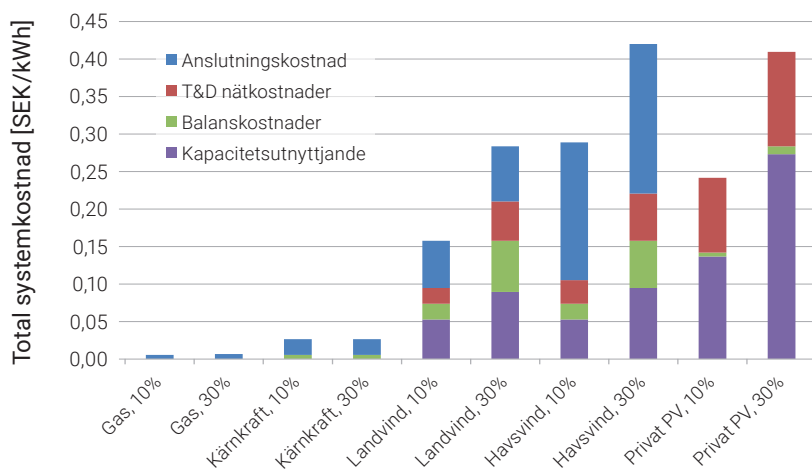
Det skulle vara mer samhällsekonomiskt lönsamt och miljömässigt bättre att närproducera elen i stället för att lägga stora summor på överföring.

Totala systemkostnader

Figur 12 visar vikten av att ta med systemkostnaderna i kalkylerna när man jämför totalkostnaden för alternativa energikällor. Det är tydligt att medan bränslebaserad, planerbar kraft inte påverkas i nämnvärd grad av systemperspektivet kan integrationskostnaden för flödande energikällor bli större än kostnaden för själva kraftverket.²¹

I beräkningarna ingår kostnader för anslutning till nätet, överföringskostnader, kostnader för balanskraft samt kostnader för balanskraftens försämrade kapacitetsutnyttjande. Kategorin kapacitetsutnyttjande handlar om den problematik som uppstår när VRE utgör en stor andel av totalen och det blåser mycket; då tvingas de bränslebaserade källorna att begränsa sin produktion. Detta innebär en kostnad/förlorad intäkt för de bränslebaserade kraftverken, vilket minskar deras lönsamhet. Samtidigt måste de finnas kvar för att säkra elsystemets stabilitet när vädrets makter är ogynnsamma.

Figur 12. Systemkostnader för alternativa produktionssätt.



Anm.: Systemkostnaderna vid marknadsandelar av 10 procent och 30 procent VRE-produktion.
T&D = Transmission och distribution.

Källa: NEA (2018).

²¹ Keppler m.fl. (2018) och Ueckerdt m.fl. (2013).

Redan vid en marknadsandel för vindkraft på 20 procent kan integrationskostnaden till systemet bli lika stor som kraftverkskostnaden.²² Vid en andel över 20 procent ökar integrationskostnaden mycket snabbt.

VRE bär inte alla sina kostnader

Med dagens ersättningsmodell överförs inte merparten av systemkostnaden till kraftleverantören utan den går direkt till elabbonenterna via nätabonnemanget. Detta innebär en indirekt subvention till operatörer av VRE och därmed en konkurrensfördel.

Det är därför viktigt att alla systemkostnader internaliseras av respektive orsakande kraftslag. En möjlighet är att driva igenom de europeiska riktlinjerna för anslutning av elproducenter.²³ I princip innebär dessa att elproducenter som vill ansluta sig till nätet måste bidra till systemdriften genom att stödja tjänster som spännings- och frekvensreglering, ö-drift m.m. och att de hela tiden kan garantera en viss effektnivå. Sol- och vindkraftleverantörer måste då antingen bygga egna anläggningar för att klara detta eller visa kontrakt med andra operatörer som kan bistå med de efterfrågade tjänsterna.

Jämförelse av totalkostnaderna för kärn- och vindkraft

Som framgår av *figur 8* är spridningen stor i kostnadsdata även från en given datakälla. Ännu större blir spridningen om man jämför olika källor och olika år och det är svårt att få grepp om ursprungskällorna till resultaten. För OECD-, IEA- och NEA-sammanställningarna är data inrapporterade enligt en gemensam mall från ett stort antal länder, men det framgår inte om data är projekterade eller förväntade värden eller resultat från faktiskt uppföljda anläggningar. *Tabell 3–5* visar jämförelser mellan några olika källor.

Kärnkraft

I svenska medier används reaktorn OL3 i Finland som ett standardexempel på vad ny kärnkraft kostar. Men den reaktorn är ett extremt undantag, vilket redovisningar av faktiska uppföljningar av ett stort antal projekt visar. Till exempel har Sydkorea byggt 24 reaktorer på en mediantid av 4,8 år per reaktor och där har kostnaden varit ner mot 20 MSEK/MW.

Energimyndigheten och Energiforsk räknar med kostnader för kärnkraft som är högre än medelkostnaden för ny kärnkraft internationellt. Scenario 2050 från Svenskt Näringsliv behandlar konventionella lättvattenreaktorer med "overnight"-kostnader från 37 MSEK/MW (låg) upp till 58 MSEK/MW (hög). Svenskt Näringsliv konstaterar också att den lägsta siffran är högre än dagens världsgenomsnitt för nybyggnation, högre än den inflationsjuste-

²² Keppler m.fl. (2018), Lorenczik och Keppler (2020) och Ueckerdt m.fl. (2013).

²³ EU (2016).

rade kostnaden är för alla Sveriges existerande reaktorer och ungefär dubbelt så hög som för de mer kostnadseffektiva projekten i världen idag i länder som Sydkorea och Kina.

Tabell 3. Jämförelse av kostnader för ny kärnkraft.

Kärnkraft	Kapacitetsfaktor	Livslängd	Investering		Drift	LCOE	System*	Total
			[MSEK/MW]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]
Källa	[-]	[år]						
IEA (2020)	0,85	60	42,0	0,20	0,28	0,49	0,03	0,52
NEA (2018)			44,5			0,54	0,03	0,57
CASES 2008–2020						0,32	0,03	0,35
Sweco (2017)**				0,07	0,25	0,30	0,03	0,33
Energimyndigheten	0,85	50	50	0,13	0,20	0,55	0,03	0,58
Energiforsk	0,87	60	47,5	0,10	0,18	0,56	0,03	0,59

*Anm.: NEA (2018) för samtliga systemkostnader. **Befintlig produktion.

Landbaserad vindkraft

För vindkraften verkar det faktiska utfallet av kostnader vara avsevärt högre än vad kalkylvärdena anger. Energiforsks data för landbaserad vindkraft härrör från 12 projekt som var under byggnation 2020 och Energimyndighetens värde saknar referens till ett faktaunderlag. I jämförelse med ovanstående exempel verkar data från Constable och Hughes (2020) vara baserade på ett mycket starkare underlag. Hughes har i över tjugo års tid ägnat sig åt detaljerade utvärderingar av den faktiska ekonomin i tusentals vindkraftsprojekt i Storbritannien och Danmark. Han uttalar sig om de antaganden som BEIS, den brittiska motsvarigheten till Energimyndigheten, gör om ekonomin för vindkraft med följande ord:

The assumptions which underpin the BEIS estimates of the cost of generation for wind and solar power are fanciful, and do not withstand even cursory scrutiny; under close analysis they disintegrate and are a disgrace to the civil service and an embarrassment to ministers.

Hughes resultat visar, tvärt emot mediabilden, att under en period när installerad landbaserad vindkraftseffekt i Storbritannien ökat från 0,5 till 15 GW har investeringskostnaden ökat från 15,6 till 22,1 MSEK/MW. Driftkostnaderna var under år 2008 585 000 kr/år/MW

driftår 1 och ökade till 806 000 kr/MW driftår 12. År 2018 hade driftkostnaderna år 1 ökat till 950 000/år/MW och beräknas sedan öka till 1 301 000 kr/år/MW driftår 12.

Storbritannien har, liksom Sverige och många andra länder, satsat stort på vindkraft utifrån de förhandskalkyler som gjorts. Men verkligheten ser annorlunda ut och vindkraftsprojekten går med stora förluster.

Tabell 4. Jämförelse av kostnader för landbaserad vindkraft.

Vindkraft, land	Kapacitetsfaktor	Livslängd	Investering		Drift	LCOE	System*	Total
			[MSEK/MW]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]
Källa	[-]	[år]						
IEA (2020)	0,34	25	21,3	0,28	0,25	0,79	0,28	1,07
NEA (2018)	(0,31)	25	20,0	(0,30)**	0,24	0,72	0,28	1,02
CASES 2008–2020						0,70	0,28	0,98
Sweco (2017)**				0,49	0,16	0,65	0,28	0,93
Energimyndigheten		25				0,37	0,28	0,65
Energiforsk	0,37	27	10,9		0,10	0,32	0,28	0,60
Hughes (2020)	0,33	15	21,0	0,49	0,43	0,92	0,28	1,20

* Anm.: NEA (2018) för samtliga systemkostnader med 30 % andel av produktionen.

** Värden inom parentes är beräknade värden baserat på en antagen kapacitetsfaktor.

Havsbaserad vindkraft

För havsbaserad vindkraft bygger Energiforsks värden på olika uppskattningar men inte på faktiska offerter eller utvärderade, verkliga projekt. Svenskt Näringsliv antar en kostnad av 19 MSEK/MW för havsbaserad vindkraft i sitt scenario "100 % förnybart". Det är svårt att få ihop ett sådant antagande med uppgiften om att medelkostnaden för all hittills byggd havsbaserad vindkraft i Europa 2020 var 50 MSEK/MW och att man efter den sammanställningen haft en kostnadsökning på 40 procent på mindre än ett år.

Hughes (2020) har t.ex. granskat Vattenfalls planerade satsning vid Kriegers Flak, vilken pågått i mer än tjugo år. Han drar följande slutsats:

In the Danish study I have carried out a detailed risk analysis of the Kriegers Flak offshore wind farm being built by Vattenfall. This has all of elements of a financial disaster. It is unclear whether Vattenfall – a state-owned Swedish company underwritten by Swedish electricity consumers – understands what it is doing. Implicitly it has placed a huge speculative bet on the market price of power in Germany in the period from 2033 onwards, after the expiry of the initial power purchase agreement (PPA).

Hughes uppskattar att det då rådande börspriset behövde vara sex gånger högre för att projektet skulle kunna bära sig.

Tabell 5. Jämförelse av kostnader för havsbaserad vindkraft.

Vindkraft, hav	Kapacitetsfaktor	Livslängd	Investering		Drift	LCOE	System*	Total
			[MSEK/MW]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]	[SEK/kWh]
Källa	[-]	[år]						
IEA (2020)	0,43	25	26,7	0,42	0,25	0,69	0,42	1,11
NEA (2018)	(0,40)	25	52,2	(0,60)**		1,34	0,42	1,76
CASES 2008 **						0,70	0,42	1,12
Energimyndigheten		25				0,37	0,42	0,79
Energiforsk	0,54	30	26,4	0,19	0,20	0,53	0,42	0,95
Hughes (2020)	0,38	12	51,9	(0,56)	0,79	1,35	0,42	1,77

* Anm.: NEA (2018) för samtliga systemkostnader med 30 % andel av produktionen. Värderna inom parentes är beräknade värden baserat på en antagen kapacitetsfaktor.

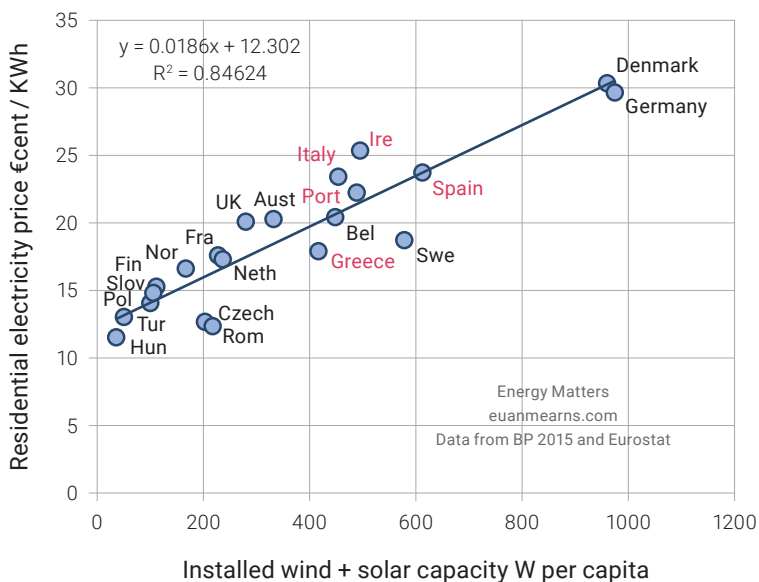
Stor andel förnybar el ger högre kostnader

Länder/regioner med stor andel sol- och vindkraft har också avsevärt högre elkostnader än länder med traditionella elsystem.²⁴ Den väderberoende kraften kräver ytterligare ett produktionssystem med i stort sett lika stor installerad effekt plus ett nytt distributionssystem. *Figur 13* antyder en betydande korrelation mellan elpris och andelen sol- och vindkraft i produktionsmixen (elpriset påverkas givetvis även av andra faktorer än den direkta kostnaden, t.ex. olika stöd och skatter).

²⁴ Mearns (2017).

Vindkraftsnationerna Danmark och Tyskland har bland Europas högsta elproduktionskostnader och samtidigt höga koldioxidutsläpp. Elproduktionskostnaden i kärnkraftslandet Frankrike är avsevärt lägre än i Tyskland och Frankrike har också mycket lägre koldioxidutsläpp från sin elproduktion än Tyskland. Även länder som Nederländerna och Belgien har avancerat till högkostnadstoppen genom att avveckla kärnkraft och satsa på vindkraft. Utöver höga produktionskostnader på kraftverksnivå tillkommer systemkostnaderna. I den vetenskapliga artikeln "Levelized full system costs of electricity" jämförs totalkostnaden, inklusive systemkostnaderna, för olika produktionsalternativ.²⁵ Uppskattningen för den tyska marknaden är att kärnkraft skulle kosta 1,11 SEK/kWh, vindkraft 5,28 SEK/kWh och sol 16,21 SEK/kWh på systemnivå.

Figur 13. Relationen mellan elpris och andelen sol- och vindkraft i elsystemen.



Källa: Mearns (2017).

De som förespråkar sol- och vindkraft hävdar ofta att kostnaderna för dessa energislag har gått ner och att vindkraft har den lägsta kostnaden av alla kolnsåla alternativ. Att det skulle vara fallet motsägs av de verkliga utfallen som redovisats ovan.

²⁵ Idel (2022).

Inkomsterna från vindkraft

Ekonomi består både av kostnader och av intäkter. För vindkraften är det ett problem att kostnaderna blir högre och intäkterna lägre än kalkylerna visar.

PPA-avtal

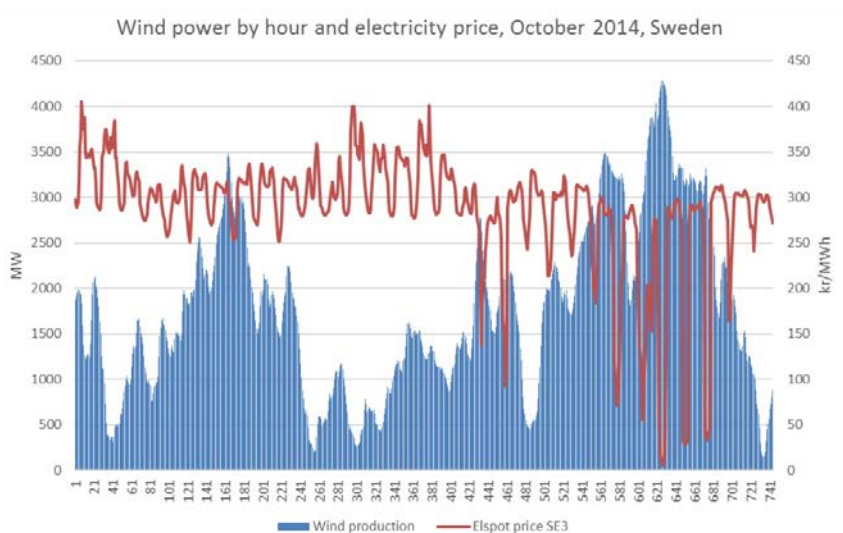
De flesta vindindustrier drivs via s.k. Power Purchase Agreements (PPA-avtal), vilket innebär att köparen tecknar ett långsiktigt avtal till ett pris som är högre än elbörset pris för att långsiktigt säkra sitt elpris. Detta gör man även för att tillgodogöra sig bidrag för ursprungsmärkt el och för att visa upp en grön profil. Det har närmast varit en ekonomisk nödvändighet att säkra ett PPA-avtal innan ett vindindustriprojekt sätts igång. Det ger den framtida operatören en säkrare intäkt över en längre period men har även inneburit oväntade ekonomiska problem.

Genom PPA-avtal måste operatören normalt garantera en bestämd leverans av el till köparen. När vindförhållandena är ogynnsamma och produktionen minskar, måste operatören köpa ersättningsel och leverera denna till det avtalade priset, vilket kan leda till höga kostnader om ersättningselen prissätts baserat på höga gaspriser.

Dålig ekonomi för vindkraftsoperatörer

Ett av vindkraftens största problem är att intäkterna blir dåliga både när det blåser mycket och när det blåser lite. *Figur 14* visar ett exempel på hur elpris och vindkraftsproduktion korrelerar.

Figur 14. Vindkraftsel och marknadspris.



Källa: Svenska kraftnäts data.

Jämför med exemplet från Storbritannien i avsnitt 4.2.2, där vindkraftselen hade ett nettovärde av 0,17 kronor/kWh medan dess produktionskostnad var 1,18 kronor/kWh för landbaserad och 1,98 kronor/kWh för havsbaserad vindkraft.²⁶ Det är ett problem för vindkraften att ju mer den byggs ut desto sämre blir dess ekonomi.

I många år har det rapporterats om dålig ekonomi för kommunala vindkraftsoperatörer som har förlorat stora summor: Umeå 200 miljoner, Karlstad 250 miljoner, listan är lång och kommunerna försöker bli av med sina innehav. Havsnäs i Jämtland, som när det byggdes var Europas största landbaserade vindindustriområde, har gått med förlust alla år utom ett (2020 var förlusten 160 miljoner kronor). Skellefteå Kraft, storägare av vattenkraft, har aldrig gått med förlust tidigare; 2019 var vinsten 500 miljoner men 2020 hade man en förlust på över 200 miljoner p.g.a. satsningar på vindkraft.

²⁶ Hughes (2020).

Omställningen på nationsnivå – två exempel

Både Tyskland och Sverige har haft som målsättning att skapa ett "100 % förnybart" elsystem. Hur har detta lyckats?

Tyskland: *Energiewende*

Efter tsunamin i Japan 2011 och det åtföljande haveriet i kärnkraftverket vid Fukushima beslöt Tyskland att avveckla all kärnkraft. Det tyska beslutet följdes av en satsning på ett helt nytt elsystem, *Energiewende* (på svenska "energiomställning"), baserat på flödande energikällor i form av sol- och vindkraft.

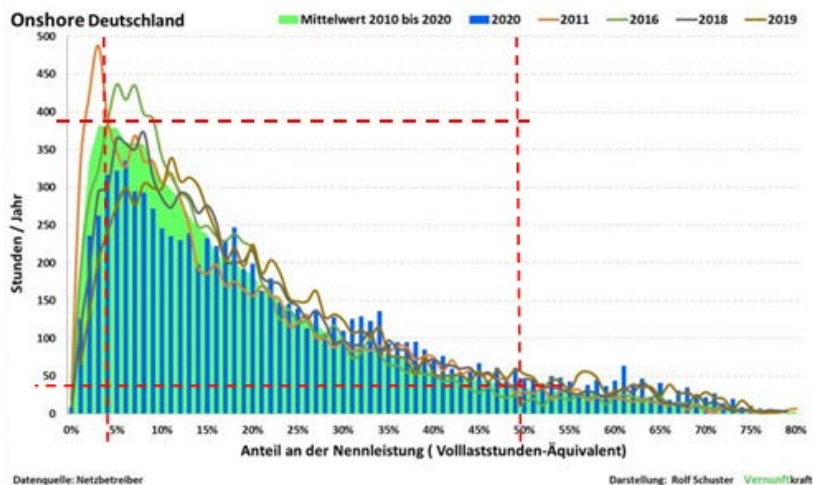
Figur 15 visar att merparten av den tyska vindkraftsproduktionen genereras vid relativt låg effekt. Maxvärdet för antalet drifttimmar representerar endast 4 procent av den installerade effekten. Produktion som överstiger 50 procent av effekten sker endast under 40 av årets totalt 8 760 timmar.

VRE har inte kunnat ersätta kärnkraften

Stängningen av tysk kärnkraft har inte kunnat ersättas av sol- och vindkraft. I stället har Tyskland tvingats att förlita sig på gaskraftverk, vilka varit beroende av en stor import av rysk naturgas och numera av import från andra länder. De kan därför också bli problematiska avseende leveranssäkerheten. Utöver satsningen på naturgas har Tyskland byggt ett antal nya kolkraftverk. I och med minskade gasleveranser från Ryssland tvingas man även ta en del gamla kolkraftverk i drift.

Enligt *Die Welt* har Institutet för företagsekonomi vid Düsseldorf-universitetet beräknat att subventionerna till sol- och vindkraft mellan år 2010 och år 2025 kommer att uppgå till nästan 6 000 miljarder kronor (redan 2017 var kostnaden ca 1 700 miljarder och sedan blir varje nytt steg dyrare per kWh). Trots dessa subventioner har Tyskland bland Europas högsta elkostnader och koldioxidutsläpp och det diskuteras att införa en ytterligare subvention på 70 öre/kWh för att motverka en företagsflykt från landet; det är nästan tre gånger så mycket som produktionskostnaden var i de nu stängda kärnkraftverken. Tyskland har även tvingats bygga ett antal mycket dyra s.k. fasskiftstransformatörer för att skydda grannländerna mot de stora variabilitetsproblem som följer med de väderberoende energislagen.

Figur 15. Fördelning av antal timmar som vindkraften producerar en given effekt i det tyska nätet 2009–2014.



Källa: Schuster (2021).

Allteftersom den installerade effekten av sol- och vindkraft ökat har inte bara nätets minimibehov utan även dess maxbehov överskridits. När det blåser mycket och överskottsenergi genereras måste den exporteras, ofta till negativa priser. Omgivande länder försöker på olika sätt skydda sig mot att få egna nätproblem på grund av denna dumpning; Sverige har ibland blockerat överföringen från Danmark för att skydda det svenska nätet när det blåst mycket.

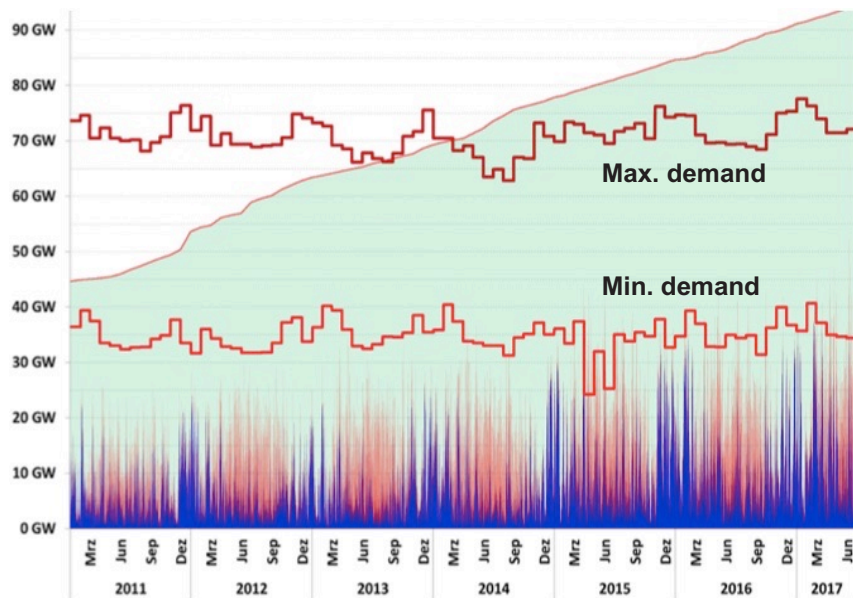
I figur 16 kan vi notera att trots att den installerade effekten har vuxit väsentligt över perioden har ökningen av elproduktionen varit liten. Detta beror dels på betydande variationer i vindtillgången mellan olika år, dels på en ökande överproduktion som tvingar fram effektbegränsningar.

För att överbygga vindkraftens svackor krävs balanskraft och/eller lagring till en hög kostnad. Tysklands avveckling av kärnkraft och satsning på sol- och vindkraft kostar enorma summor och resultatet blir ett funktionellt och miljömässigt mycket sämre system. Lagring är med dagens teknik inte realistiskt; att i Tyskland ersätta tre kärnreaktorer med vindkraft och batterier har beräknats kosta lika mycket som 85 kärnreaktorer och då är inte verkningsgradsförlusterna och behovet av att återkommande byta batterierna inräknade.²⁷ Utöver de ekonomiska effekterna blir miljökonsekvenserna utomordentligt stora.

²⁷ Sinn (2013).

Beslutet att ersätta kärnkraft med sol- och vindkraft har resulterat i att kol återigen ökat i betydelse för elproduktion i Tyskland och svarade 2022 för en tredjedel av produktionen. År 2023 sjönk andelen till 25 procent genom ökad import av fransk kärnkraft. Tyskland har därmed gått från att vara nettoexportör till att bli nettoimportör av el.

Figur 16. Kraftigt ökad installerad effekt ger inte motsvarande ökning av producerad effekt.



Anm.: Producerad eleffekt i gigawatt från vind (blå) och från summan av sol och vind (röd) jämfört med max. och min. effektbehov på nätet. Den installerade effekten utgörs av den gröna ytan.

Källa: Schuster (2018).

Sverige: 100 procent ”förnybart” eller 100 procent ”fossilfritt”

Likt Tyskland ställer Sverige om till förnybart och merkostnaden för energiomläggningen i Sverige skattas till ett par tusen miljarder kronor. Riksrevisionen har i en rapport 2023 framfört stark kritik mot avsaknaden av väl underbyggda underlag och bristen på konsekvensanalys i arbetet med den svenska energiomställningen.²⁸

År 2016 beslutade en politisk majoritet att svensk elproduktion ska vara 100 procent förnybar senast år 2040. Ingen definition av begreppet ”förnybar” presenterades och inte heller gjordes någon analys avseende möjligheten att genomföra beslutet eller vilka konsekvenser beslutet skulle få för elsystemets miljöpåverkan. I januari 2023 ändrades målsättningen till 100 procent fossilfri elproduktion men det är intressant att jämföra konsekvenserna för olika mer eller mindre förnybara och i huvudsak fossilfria system med ytterligheterna ”100 %” förnybart och ”0 %” förnybart” (båda alternativen i huvudsak fossilfria).

Sämre effektbalans

Svenska kraftnät har i många år analyserat konsekvenserna av ett scenario med 100 procent ”förnybart” och den försämrade effektbalans som blir följden.²⁹ Allteftersom andelen vindkraft ökar så ökar också antalet allvarliga tillbud beträffande stabilitet och effektmarginal.

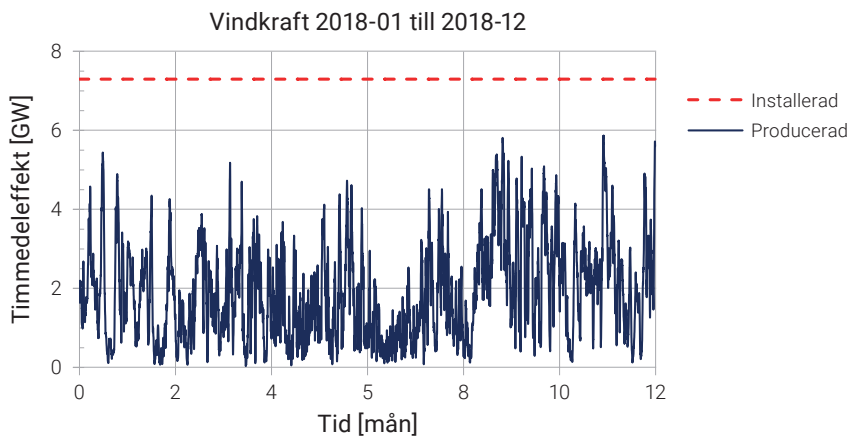
Det svenska elsystemet, som nu håller på att ställas om, var väl genomtänkt och baserat i huvudsak på kärn- och vattenkraft. De två nordligaste regionerna, vilka enbart förlitade sig på vattenkraft, hade ett begränsat överskott. Detta exporterades söderut. De södra regionerna hade ett eller flera kärnkraftverk var, vilka fungerade som noder för kraftbalansen och nätstabiliteten i respektive region, se *figur 7*.

Allteftersom de sydliga kärnkraftsreaktorerna avvecklas kommer de sydliga regionerna att drabbas av akut brist på både effekt och energi. Att bygga vindkraft i norr är ingen hållbar lösning, det kräver en jättelik utbyggnad av överföringsnätet utan att detta på något sätt löser effektbristen. När det inte blåser måste hela den installerade vindkraftseffekten ersättas av något annat. Detta har hittills fungerat hjälpligt med hjälp av vattenkraften, oljebaserad reservkraft och en tidvis stor import. Men vattenkraften utnyttjas redan maximalt och importmöjligheten är uttömd (även grannländerna har överskott på vindkraft och underskott på planerbar kraft). Så hur ska den planerade stora ökningen med över 100 TWh vindkraft kunna balanseras? Energimyndighetens scenario ger inget svar medan Svenskt Näringsliv kalkylerar med ökad kärnkraft i sitt ”teknikneutrala” scenario och en stor import i scenariot ”100 % förnybart”.

²⁸ Riksrevisionen (2023).

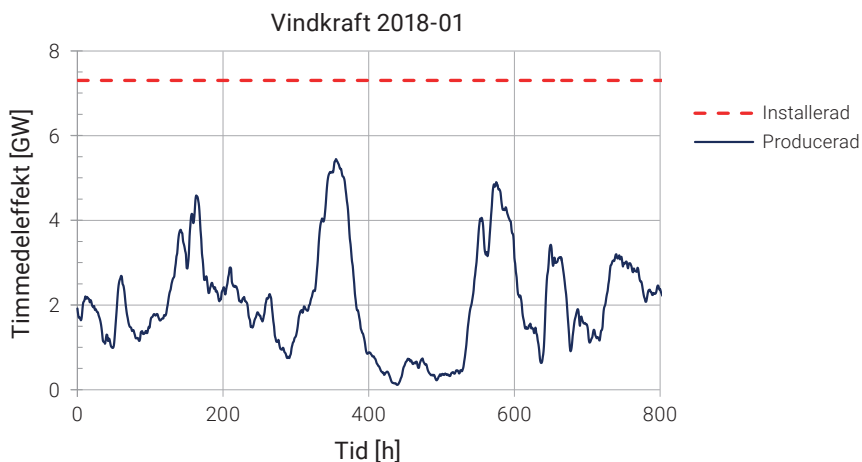
²⁹ Lundbäck (2018), Svenska kraftnät (2015) och Sämfors (2018).

Figur 17. Timmedeleffekt under för svensk vindkraft under året 2018.



Källa: Svenska kraftnät (2019) och Fahlén (2023a).

Figur 18. Svensk vindkraftsproduktion i januari 2018.

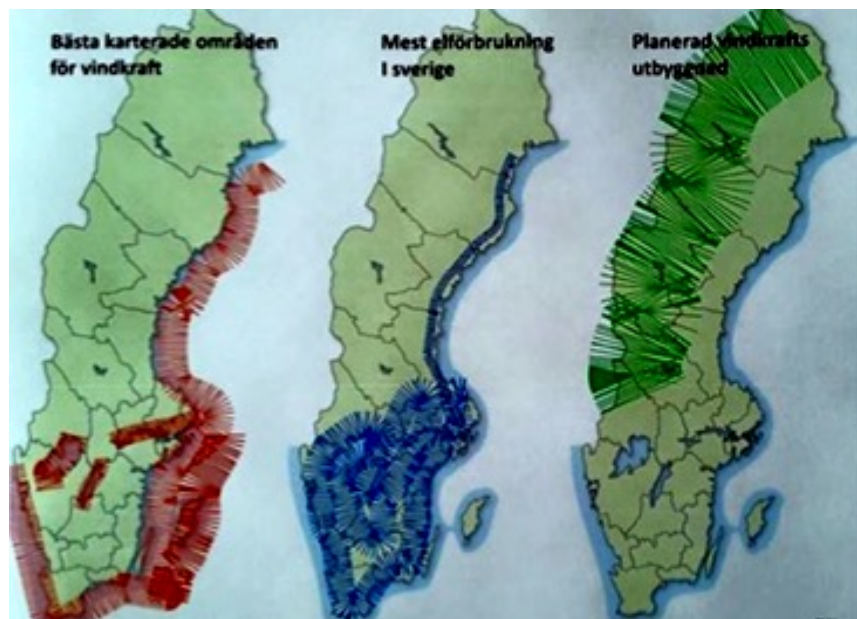


Källa: Data från Svenska kraftnät (2019), diagram från Fahlén (2023a).

Vindkraftens variabilitet framgår tydligt av *figur 17*, vilken visar timmedeleffekten för hela den svenska vindkraften år 2018. Det är omöjligt att förutse dessa stora väderrelaterade variationer och vid återkommande tillfällen är den samlade effekten i stort sett noll. De stora variationerna leder också till dåligt utnyttjande av nätkapaciteten.

Om man förstorar data för år 2018 och enbart tittar på januari, en kall månad när det är sannolikt att maximalt effektbehov inträffar, så visar *figur 18* att den totala effekten är nära noll åtskilliga dagar i rad. Detta måste lösas med hjälp av nya system för produktion eller lagring plus utrustning för stabilisering och reglering. Svenska kraftnät har redan noterat en stor ökning av antalet allvarliga incidenter beträffande nätstabiliteten och en försämrad leverans kvalitet. Observera att eftersom det finns perioder då vindkraften är nästan noll måste det alltid finnas någon annan effekt tillgänglig som är lika stor som hela vindkraftens effekt.

Figur 19. Platser med stort elbehov jämfört med tillförseln av vindkraftsel.



Anm.: Röd = bäst vindlägen, blå = platser med störst efterfrågan och grön = platser med störst vindkraftsutbyggnad.

Källa: Göran Widén.

De långa avstånden mellan produktion och konsumtion resulterar också i stora kostnader för ny överföringskapacitet samt betydande nätförluster. Nätförlusterna är ca 10 procent från norr till söder i Sverige och ca 20 procent vid export. Dessutom minskar lokaliseringen av vindkraft till norra Sverige produktionen ytterligare på grund av påfrysning av rotorbladen.

Figur 19 illustrerar avvikelserna mellan platser med stort elbehov och lokaliseringen av vindkraft. De områden med bäst vindläge (röda) överlappar någorlunda med de platser som har störst efterfrågan men stämmer sämre med de områden där det nu byggs vindkraft (gröna).

Nedläggning av kärnkraft ger stora förluster av nätkapacitet

När nya vindkraftverk tillkommer i Norrland behövs mer överföringskapacitet. I och med stängningen av reaktorerna R1 och R2 vid Ringhals har nätkapaciteten minskat med ca 1000 megawatt. Nätkapaciteten minskar i och med förlusten av roterande massa och reaktiv kapacitet, vilket de nu nedlagda reaktorerna bidrog med. Minskningen motsvarar en förlorad överföringskapacitet för ett tusental stora vindkraftverk. Kostnaden för att ersätta den förlorade nätkapaciteten är av samma storleksordning som att bygga ny kärnkraft i Ringhals. Det kommer att ta 20–30 år, dvs. mer än livslängden för den vindkraft som nu byggs, att ersätta den minskningen men det räcker inte; nätkapaciteten måste inte bara vidmakthållas, den måste ökas kraftigt.

Svenska elkunder bekostar exporten av vindkraft

Det påpekas ofta att Sverige har ett stort elöverskott och en stor export; en märklig situation när vi samtidigt måste importera el för att vi saknar egen kapacitet. Men den svenska vindkraften har liten betydelse för den svenska energi- och effektbalansen.

Nästan all svensk vindkraft finansieras och ägs av utländska bolag och en mycket stor del av vindkraftselen exporteras; det finns en stark korrelation mellan mycket vindkraft och stor export och den svenska exporten är ungefär lika stor som vindkraftsproduktionen.³⁰ Norrland, där det mesta av vindkraften byggs, har i dagsläget ett mycket stort överskott från vattenkraften. Bara 40–50 procent av den elen används inom regionen. Vindkraftselen säljs via de tidigare nämnda PPA-avtalen och detta innebär att denna el inte berörs

³⁰ Angående detta skriver Energinyheter.se 2022-03-10 följande: "Men det finns en annan aspekt på elhandeln. Den svenska elexporten tycks vara tätt sammanlänkad med vindkraftsproduktionen. När vindkraften levererar så exporteras el, när vindkraftverken står stilla exporteras mindre eller inget alls. En mycket tydlig korrelation som kan förklaras med att en stor del av Sveriges vindkraftskapacitet byggs, ägs och drivs av utländska intressen som tänker använda elen utanför Sveriges gränser. Denna kapacitet exporteras oavkortat. Det är svårt att se denna del av svensk vindkraft som en del av den nationella elförsörjningen. Tvingande kontraktsvillkor gör att exporten har förtur."

av börsens prissignaler; verken matar på även när signalen är att det råder överutbud och att produktionen behöver minska.

Problemet med PPA-avtalen är enligt Svenska kraftnät allvarligt för nätets funktion. Dessa avtal innebär också att svenska nätkunder inte har tillgång till vindkraftselen men måste stå för en stor del av kostnaderna för att transportera den till de utländska kunderna. De svenska kunderna drabbas dessutom av flaskhalsarna i överföringskapacitet, där den exporterade vindkraften tar bort viktigt utrymme i nätet.

Vad kostar 100 procent förnybart?

Kostnaden för att göra Sveriges elproduktion 100 procent förnybar kan röra sig om mer än 1 600 miljarder kronor enligt en studie av Sweco.³¹ Att fasa ut den svenska kärnkraften och ersätta den med vindkraft samt naturgas som balanskraft skulle enligt en annan studie öka elkostnaderna med en faktor 2–10;³² ju större andel vindkraft desto högre skulle kostnaden bli. En bieffekt skulle bli försämrad effektivitet och kraftigt ökat turbinslitage för vattenkraften. Visserligen gäller i dagsläget målsättningen 100 procent "fossilfritt" men energipolitiken kan ändra sig snabbt. Även vid ett system som inte är 100 procent "förnybart" kommer en stor andel "förnybart" att få stor inverkan på systemfunktion, kostnader och miljökonsekvenser.

³¹ Sweco (2017).

³² Hong m.fl. (2018).

Miljö och hållbarhet

Det finns inga direkta samband mellan begrepp som miljövänlig, förnybar, hållbar m.m. I rapporten *Omställningen av Sveriges elsystem – Konsekvenser för funktion, ekonomi, miljö och samhälle* diskuterar jag denna frågeställning.³³ Detta avsnitt summerar en del av innehållet avseende koldioxidutsläpp, förnybarhet, energimässig hållbarhet och biologisk mångfald. Dessa aspekter har även jämförts för fyra olika scenarier för elförsörjningen år 2050.³⁴

Koldioxidutsläpp

Drivkraften bakom omställningen till s.k. ”förnybara” energikällor är viljan att minska mängden koldioxidutsläpp. Men hur stämmer resultaten med ambitionerna?

För att besvara den frågan har resultaten för några av alternativen med låga utsläpp jämförts via en livscykelanalys enligt internationell standard. En av de bästa redogörelserna kommer från Vattenfalls produktdeklarationer EPD (Environmental Product Declaration).³⁵

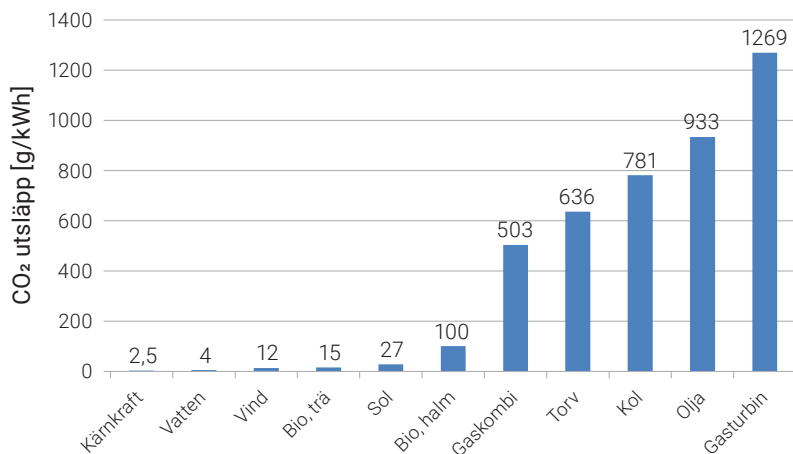
Figur 20 visar att kärnkraft har lägst specifika utsläpp av samtliga aktuella alternativ. Vattenkraft har nästan dubbelt så höga utsläpp, medan vindkraft och biobränslen har tre gånger högre och solkraft har fem gånger högre utsläpp än kärnkraft. Notera att dessa värden gäller på kraftverksnivå. På systemnivå, som är den nivå som är mest relevant, är värdet för kärnkraft i stort sett oförändrat medan värdena för sol- och vindkraft sannolikt mer än fördubblas. I jämförelsen mellan scenarierna ”100 procent förnybart” (S3) och ”0 procent förnybart” (S4) resulterar S3 i flerfaldt högre koldioxidutsläpp per år på systemnivå 2050 än S4.

³³ Fahlén (2023a).

³⁴ Fahlén (2023b).

³⁵ Vattenfall (2018, 2020).

Figur 20. Koldioxidutsläpp från olika energikällor.



Ann.: Gasturbin avser reserv-, spets- och balanskraft för ren elproduktion med få drifttimmar medan övriga fossil- och bibränslen avser bas- och balanskraft.

Källa: Vattenfall (2018, 2020).

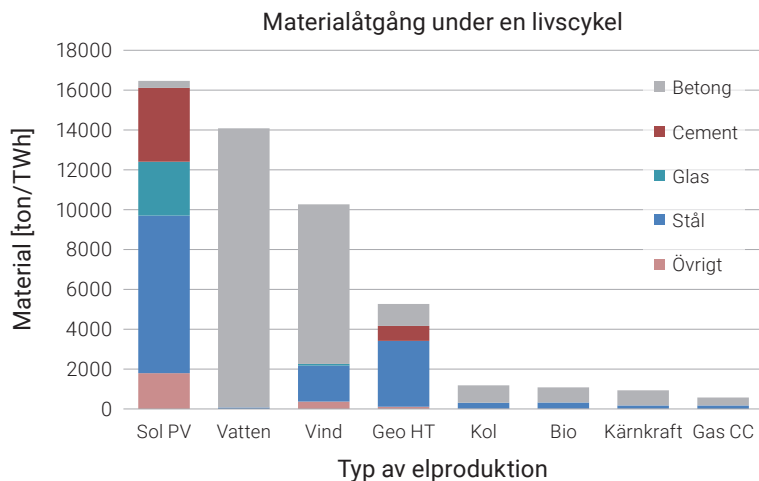
Är förnybart hållbart?

Ingen energitillförsel åstadkoms utan att det påverkar samhället och miljön. En relevant fråga är därför hur mycket icke-förnybara material som behövs för olika alternativa energikällor. Data visar att förnybara energialternativ kräver avsevärt mer av icke-förnybara material för byggnation jämfört med bränslebaserade alternativ,³⁶ se *figur 21*. För de fossila kraftslagen tillkommer stora mängder av icke förnybara bränslen medan kärnbränslen är så energitäta att mängden bränsle blir extremt låg. Med generation 4-teknik skulle dessutom Sveriges elbehov på nuvarande nivå klaras i 500 år utan att något nytt bränsle behöver tillföras systemet.

Flödande energikällor kräver mer av strategiska metaller än vad de bränslebaserade källorna gör, i synnerhet i jämförelse med kärnkraft, *figur 22*. Den pågående omställningen går således från en typ av råvarukritiskt system, fossila bränslen, till ett annat råvarukritiskt system, strategiska metaller.

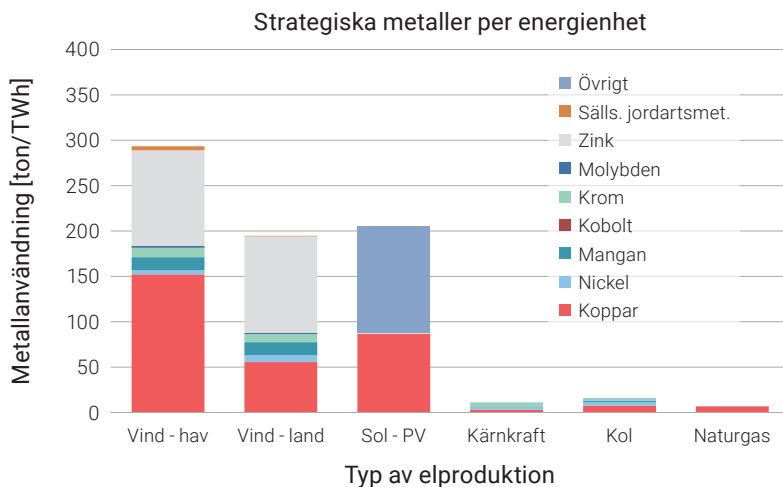
³⁶ U.S. Department of Energy (2015).

Figur 21. Specifik användning av konstruktionsmaterial för alternativa sätt att producera el.



Källa: U.S. Department of Energy (2015).

Figur 22. Specifik användning av strategiska metaller per energienhet.



Anm.: Data är omräknade från effekt till energi.

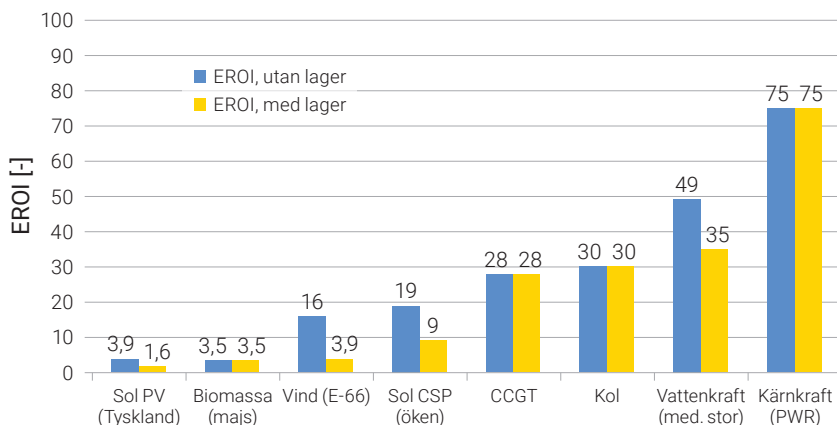
Källa: IEA (2021).

Energy Return on Investment

För att vara energimässigt hållbar måste en elproduktionsanläggning ha en nettoleverans som brukas och är större än den energi som krävs för att bygga, driva och avveckla anläggningen (all energi omvandlad till ekvivalent mängd elenergi).

Förhållandet mellan avgiven och tillförd energi brukar betecknas EROI, Energy Return on Investment.³⁷ För att betraktas som hållbart bör EROI ligga över sju i ett samhälle av Sveriges karaktär.³⁸

Figur 23. Energy Return on Investment (EROI).



Anm.: Blå staplar (till vänster) gäller EROI på kraftverksnivå (utan lagring) medan gula staplar (till höger) avser EROI på systemnivå (inklusive behov för lagring men exklusive nät och nättjänster).

Källa: Weissbach m.fl. (2013) och Kelly (2016).

Bränslebaserade anläggningar, som drivs med biomassa, kol och/eller kärnenergi, har sina lagringsbehov inbyggda i bränslet och behöver därför inte kompletteras med externa lagringsalternativ. Det kräver däremot väderberoende kraftslag som sol-, vind- och vattenkraft och det åtgår mycket energi för tillverkning och avveckling samt för verkningsgradsförluster och underhåll vid drift.

³⁷ Kelly (2016) och Weissbach m.fl. (2013).

³⁸ Hall och Prieto (2017).

Figur 23 visar att kärnkraft är avsevärt bättre än t.ex. sol- och vindkraft vad gäller förhållandet mellan producerad och tillförd energi. På systemnivå är solet nära gränsen för att överhuvudtaget inte ge något nettobidrag. Biomassa och vindkraft klarar sig bättre men ligger fortfarande under fyra medan kärnkraft ligger på 75.

Ännu sämre blir resultatet för t.ex. vindkraft om man även inkluderar dess behov av att bygga ut nätet med tillhörande systemtjänster. Om t.ex. vindkraft har EROI = 3,9 på systemnivå i Sverige så sjunker värdet för elexport till Tyskland ner till 1,8 (20 procent överföringsförluster minskar den leverans som kan nyttjas och ökar förbrukningen av el för driften).

Arealutnyttjande

Arealutnyttjandet skiljer sig markant mellan "förnybara" energikällor och planerbara, bränslebaserade källor som kol och kärnkraft. I jämförelse med kärnkraft kräver enligt Harjanne och Korhonen biomassa en yta som är 5 000 gånger större, sol- och vattenkraft ca 100 gånger mer och vindkraft 10 gånger mer.³⁹ Men då medräknas inte behoven av balanskraft och, särskilt för vindkraft, de stora avstånd, som krävs mellan verken i industriområden, samt de mycket stora ytor som krävs för vägar, nya kraftledningar m.m. Det kan ge ett arealbehov för vindkraft som är mer än 1 000 gånger större än för kärnkraft.

Allmänt brukar de flesta källor ange 0,1 km² per TWh för kärnkraft. För vindkraft kan man se väldigt olika värden, men ett typiskt värde är en km² per TWh. Men tittar man på ytan av t.ex. Markbygdens vindindustriområde och den förväntade elproduktionen blir värdet ca 45 km² per TWh och om man följer rekommenderade anvisningar om turbinavstånd, för att verken inte ska störa varandra, hamnar man över 100 km² per TWh. Således kan man få värden som varierar mellan 10 och 1000 gånger större arealbehov än kärnkraftens bara för själva kraftverksområdets yta. Tar man med arealbehovet för ledningsgator till vindkraft (långa överföringar!), ytbehov för balanskraft m.m. blir skillnaden ännu större.

En forskargrupp vid NTNU, Norges Tekniska Universitet, har samarbetat med Grenoble Institute of Technology för att systematiskt studera arealbehovet för alternativa sätt att producera el.⁴⁰ I studien ingår 870 kraftverk runt om i världen och där ingår sol-, vind-, vatten- och kärnkraft. Resultaten visar att av de "förnybara" alternativen har vattenkraft lägst behov, tre km² per TWh, sedan kommer solkraft med 11, havsbaserad vindkraft 29, landbaserad vindkraft 53 och sist biobränslen med 878 km² per TWh. Kärnkraft har lägst arealbehov med 0,15 km² per TWh. Alternativet S3, "100 % förnybart", i denna studie behöver totalt sett 27 660 km² medan alternativet S4, "0 % förnybart", bara behöver 624 km². Som jämförelse har Stockholms län en yta av 6 514 km² och Skåne län 10 939 km².

³⁹ Harjanne och Korhonen (2019).

⁴⁰ Kristiansen Nöland (2023) och Kristiansen Nöland m.fl. (2022).

Rapporten *Road to EU Climate Neutrality by 2050* analyserar bl.a. arealbehovet för olika produktionsalternativ om Nederländerna respektive Tjeckien skulle förlita sig enbart på sol- och vindkraft.⁴¹ Studien drar slutsatsen att ett sådant elsystem kräver 150 till 500 gånger större yta än ett kärnkraftsbaserat system.

Mats Nilsson, docent i miljöekonomi, intervjuades den 18 april 2023 i Tidningen Näringslivet.⁴² Han menar att konflikterna kring vindkraft kommer att bli värre; arealbehovet är den stora stöttestenen. Om man bara räknar den yta som direkt påverkas av utgrävningen för själva vindkraftverket, kan man få ett värde runt 0,4 km² per TWh men det växer till minst 8,4 och maximalt 247 km² per TWh om man räknar projektytan, vilket alltså innefattar området mellan verken i ett vindindustriområde. En rapport från WSP om små modulära reaktorer från 2022 uppskattar att det krävs cirka 1 700 gånger så stor yta för vindkraftverk kontra kärnkraftverk och 50 gånger så stor yta för solceller.

Biologisk mångfald

I rapporten *Omställningen av Sveriges elsystem – Konsekvenser för funktion, ekonomi, miljö och samhälle* redogör jag för de problem som den pågående omställningen av Sveriges elförsörjning kan orsaka för den biologiska mångfalden.⁴³ Framför allt är det biobränslen och vindkraft som sticker ut som problematiska och Naturvårdsverket konstaterar att kunskapen om vindkraftens inverkan på djur och natur är otillräcklig.⁴⁴ De areella näringarna, industriellt skogsbruk och vindkraft kräver mycket stora ytor.

Problem kopplade till vindkraft och biologisk mångfald får som konsekvens att den planerade stora utbyggnaden av vindkraft, vilken strider mot de flesta av de svenska miljömålen, särskilt drabbar den biologiska mångfalden. Detta har till exempel påtalats av den Europeiska unionens revisionsrätt; den konstaterar bland annat att "vindkraftsparker" till havs skadar djur och natur. Enligt EU:s revisionsrätt har flera EU-länder gått alltför hastigt fram med vindkraftssatsningen, utan att ordentligt utreda de ekologiska och sociala konsekvenserna.⁴⁵ Revisionsrätten bedömer att vindkraftsparker till havs har en lång väg kvar innan de kan anses vara en legitim del av energistrategin. Detta benämner revisionsrätten ett "grönt dilemma". Revisionsrätten konstaterar att vindkraftsinstallationer till havs har en negativ påverkan på fiskar och fåglar, och att de kan störa mattillgången och flyttmönster för flera arter. Det anses även skada kustnära näringsverksamheter som fiske, vilket leder till konflikter mellan myndigheter och fiskare. Revisionsrätten varnar även för att vindkraftsteknologin, som den ser ut i EU, är kraftigt beroende av kinesiska leverantörer,

⁴¹ Brouwer och Bergkamp (2021).

⁴² Nyman (2023).

⁴³ Fahlén (2023a).

⁴⁴ Naturvårdsverket (2012).

⁴⁵ Deconinck (2023).

vilket försvårar storskaliga vindkraftsprojekt över hela EU. Detta beroende äventyrar även möjligheterna att underhålla teknologin ifall det geopolitiska läget försämras.

Avsaknaden av konsekvensutredningar är slående. Inga oberoende studier har gjorts av miljöeffekterna av storskalig vindkraft på den biologiska mångfalden till lands eller till havs.

Ljud- och ljusmiljö

Det har länge betonats hur viktiga ljud- och ljusmiljöerna är för hälsa och välbefinnande. Rapporten *Omställningen av Sveriges elsystem – Konsekvenser för funktion, ekonomi, miljö och samhälle*,⁴⁶ redogör för de stora konsekvenserna avseende dessa faktorer på grund av satsningen på industriell vindkraft. I flera kapitel redovisas forskningsläget beträffande framför allt buller. Industrimiljön riskerar inte bara att orsaka störningar över stora avstånd utan även att resultera i kroniska sjukdomstillstånd för människor i industriområdenas omgivning.

⁴⁶ Fahlén (2023).

Slutsatser

I klimatdebattens kölvatten har politiken tagit kommandot över valet av energikällor och teknologier för energiomvandling. Resultaten av de val som har gjorts och som nu görs verkar gå på tvärs mot det man säger sig vilja uppnå. Av de fyra scenarier som studerats är scenariot "100 % förnybart" sämst avseende både ekonomi och miljö medan scenariot "0 % förnybart" är bäst. Detta scenario motsvarar det system Sverige satsat på att lämna och består huvudsakligen av vatten- och kärnkraft. Resultatet av att i Sverige satsa på vindkraft och avveckla kärnkraft riskerar att ge ett elsystem som:

- är mer komplicerat och mindre funktionellt,
- har lägre leveranssäkerhet och sämre elkvalitet,
- ger avsevärt högre elkostnader,
- ökar koldioxidutsläppen,
- ökar användningen av icke-förnybara resurser,
- minskar elsystemets energirelaterade hållbarhet,
- ökar behovet av yta för elproduktionen,
- är problematiskt för den biologiska mångfalden och för ljud- och ljusmiljön.

När den politiskt drivna satsningen på sol- och vindkraft startade i Sverige sammanfattade den tidigare vd:n för ABB, Percy Barnevik, läget på följande mycket träffande sätt (då bestod den svenska elförsörjningen av ungefär hälften kärnkraft och hälften vattenkraft):

Vi har i Sverige billig el, vi har ren el, vi har säker el, vi har kort sagt den energiförsörjning som alla andra länder skulle vilja ha. Och vårt huvudsakliga bekymmer är hur vi på kortast möjliga tid ska komma ur denna situation.

Som framgår av analysen i denna studie förefaller Barneviks påpekande inte bara träffande utan jag hoppas det också framgått att vi tyvärr varit framgångsrika i att lösa det bekymmer som han identifierade.

Förkortningar och beteckningar

B	biljon = en miljon miljoner (ett tusen miljarder; USA = 1 miljard)
CCGT	kombicykel för gasturbin (Combined-Cycle Gas Turbine)
DOE	amerikanska energidepartementet (Department of Energy)
EPD	miljödeklaration av produkter (Environmental Product Declaration)
EU	European Union
GW	gigawatt = 10^9 W = ett tusen miljoner watt
GWh	gigawattimme = 10^9 Wh = ett tusen miljoner wattimmar
IEA	International Energy Agency (Internationella energiorganisationen)
kW	kilowatt = 10^3 W = ett tusen watt
kWh	kilowattimme = 10^3 Wh = ett tusen wattimmar
LCA	livscykelanalys (Life Cycle Assessment)
LCOE	livscykelkostnad för el (Levelised Cost of Electricity)
MSEK	miljoner svenska kronor
MW	megawatt = 10^6 W = en miljon watt
MWh	megawattimme = 10^6 Wh = en miljon wattimmar
NEA	Internationella kärnkraftsorganisationen (Nuclear Energy Agency)
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
PV	fotovoltaisk (Photovoltaic)
REF	Renewable Energy Foundation
SMR	Small and Medium-sized Reactors
SvK	Svenska kraftnät
T&D	Transmission and Distribution (transmission och distribution)
TW	terawatt = 10^{12} W = en miljon miljoner watt
TWh	terawattimme = 10^{12} Wh = en miljon miljoner wattimmar
VRE	varierande, förnybar energi (Variable Renewable Energy)
WHO	Världshälsoorganisationen (World Health Organization)

Referenser

- Aldén, L., m.fl. (2013), "Nedmontering av vindkraftverk och efterbehandling av platsen". Stockholm: Energimyndigheten.
- Aldersey-Williams, J., Broadbent, I., Strachan, P. A. (2019), "Better Estimates of LCOE from Audited Accounts – A New Methodology with Examples from United Kingdom Offshore Wind and CCGT", *Energy Policy*, vol. 128, s. 25-35.
- Brouwer, K. M. och Bergkamp, L. (2021), *Road to EU Climate Neutrality by 2050 – Spatial Requirements of Wind/Solar and Nuclear Energy and Their Respective Costs*. Bryssel: ECR Group och Renew Europe.
- Cohen, B. (1990), "Costs of Nuclear Plants – What Went Wrong?", kapitel 9 i *The Nuclear Energy Option*. Boston, MA: Springer.
- Constable, J. och Hughes, G. (2020), "The Costs of Offshore Wind Power: Blindness and Insight", *Briefings for Britain*, 21 september.
- Deconinck, C. (2023), "European Court of Auditors Warns about the Environmental Impact of Offshore Wind Farms", *Brussels Signal*, 19 September.
- ECR Group och Renew Europe (2021), "Road to EU Climate Neutrality by 2050 – Spatial Requirements of Wind/Solar and Nuclear Energy and Their Respective Costs". Bryssel: ECR Group och Renew Europe.
- Energimyndigheten (2017), *Produktionskostnader för vindkraft i Sverige*. ER 2016:16. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten (2020), "Energiläget". Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energimyndigheten (2023), *Scenarier över Sveriges energisystem 2023 – med fokus på elektrifieringen 2050*. ER 2023:07. Eskilstuna: Energimyndigheten.
- Energinyheter.se (2022), "Svensk Elproduktion 2021 – vilka slutsatser kan man dra?", 10 mars. <https://www.energinyheter.se/20220311/26061/svensk-elproduktion-2021-vilka-slutsatser-kan-man-dra>.
- Europeiska kommissionen (2016), *Kommissionens förordning (EU) 2016/631 av den 14 april 2016 om fastställande av nätföreskrifter med krav för nätanslutning av generatorer*. Förordning 2016/631. Bryssel.
- Fahlén, P. (2018), "Konsumentverket och vindkraften", EN-R2018:02. Resele: Entro Nova.

- Fahlén, P. (2023a), *Omställningen av Sveriges elsystem – Konsekvenser för funktion, ekonomi, miljö och samhälle*. EN-R2023:01. Resele: Entro Nova.
- Fahlén, P. (2023b), *Sveriges eltillförsel 2050: 100 % eller 0 % "förnybart"? – En jämförelse mellan fyra scenarier avseende funktion, kostnad och miljöpåverkan*. EN-R2023:02. Resele: Entro Nova.
- Göransson, L. och Johansson, F. (2023), "Ett framtida elsystem med och utan kärnkraft – vad är skillnaden?". Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Hall, C. och Prieto, P. (2017), "EROI Explained and Defended by Charles Hall, Pedro Prieto and Others", blogginlägg: <https://energyskeptic.com/2017/eroi-explained-and-defended-by-charles-hall-pedro-prieto-and-others/>, 2017-02-21.
- Harjanne, A. och Korhonen, J. (2019), "Abandoning the Concept of Renewable Energy", *Energy Policy*, vol. 127, s. 330–340.
- Hong, S., Qvist, S. och Brook, B. (2018), "Economic and Environmental Costs of Replacing Nuclear Fission with Solar and Wind Energy in Sweden", *Energy Policy*, vol. 112, s. 56–66.
- Hughes, G. (2020). *Wind Power Economics – Rhetoric and Reality Why is Windpower so Expensive: An Economic Analysis. Volume I: Wind Power Costs in the United Kingdom. Volume II: Wind Power Costs in Denmark*. Salisbury: Renewable Energy Foundation.
- Idel, R. (2022), "Levelized Full System Costs of Electricity", *Energy*, vol. 259.
- IEA (2021), "The Role of Critical World Energy Outlook – Special Report – Minerals in Clean Energy Transitions". Paris: International Energy Agency.
- ISO (2006a), "14040:2006 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework". Genève: International Organization for Standardization.
- ISO (2006b), "14044:2006 Environmental Management – Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines". Genève: International Organization for Standardization.
- Kelly, M. J. (2016), "Lessons from Technology Development for Energy and Sustainability", *MRS Energy & Sustainability*, vol. 3, nr 2, s. 1–13.
- Konsumentverket/KO (2020). *Marknadsföring av elavtal med miljöpåståenden*. Dnr 2020/1301. Karlstad: Konsumentverket.
- Kristiansen Nøland, J., Auxepaules, J., Rousset, A, Perney, B. och Falletti, G. (2022), "Spatial Energy Density of Large-Scale Electricity Generation from Power Sources Worldwide", *Scientific Reports*, vol. 12, s. 1–26.
- Kristiansen Nøland, J. (2023), "Nuclear Power Causes the Least Damage to the Environment, Finds Systematic Survey", *Norwegian SciTech News*, 4 april.

- Lorenczik, S. och Keppler, J. H. (2020), *Projected Costs of Generating Electricity – 2020 Edition*. Paris: Organisation for Economic Co-Operation and Development.
- Lovering, J. R., Yip, A. och Nordhaus, T. (2016), "Historical Construction Costs of Global Nuclear Power Reactors", *Energy Policy*, vol. 91, s. 371–383.
- Lundbäck, M. (2018), "Kärnkraftens roll i svenska kraftsystemet – möjligheter och begränsningar vid förändrad kärnkraftsproduktion". Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Mearns, E. (2017), "Energy Prices in Europe", <https://euanmearns.com/energy-prices-in-europe/>, 2 januari.
- Naturvårdsverket (2012), "Vindkraftens effekter på landlevande däggdjur – en syntesrapport". Stockholm: Naturvårdsverket.
- NEA (2018), *The Full Costs of Electricity Provision*. NEA nr 7298. Paris: Nuclear Energy Agency.
- Nyman, P. (2023), "Den akuta elkrisen – Expert: Konflikterna kring vindkraft kommer bli värre", *TN Tidningen Näringslivet*, 18 april.
- Patel, S. (2020), "U.S. Nuclear Industry Shaved Generating Costs by 7.6% Compared to 2018", *Power*, 16 april.
- Qvist, S., Helleesen, C., Sårmark-Roth, A., Lundström, L., Cox, D., Ionescu, P., Norberg, P. och Knutsen-Öy, M. (2023), *Kraftsamling elförsörjning – Scenarioanalys 2050*. Stockholm: Svenskt Näringsliv.
- Riksrevisionen (2023a), *Uttjänta solcellspaneler och vindturbinblad – statens insatser för en effektiv hantering*. RiR 2023:11. Stockholm: Riksrevisionen.
- Riksrevisionen (2023b), *Statens åtgärder för utveckling av elsystemet – reaktiva och bristfälligt underbyggda*. RiR 2023:15. Stockholm: Riksrevisionen.
- Schuster, R. (2021), *Grafiken von Rolf Schuster zur Energiewende*. 2021-04. Leipzig: Vernunftkraft Odenwald e.V.
- Sinn, H. W. (2013), "Energiewende ins Nichts", föreläsning, <https://www.bing.com/videos/search?q=hans+werner+sinn+energiewende+ins+nichts&view=detail&mid=EA1CCF7D926A6F6848F7EA1CCF7D926A6F6848F7&FORM=VIRE>.
- Svenska kraftnät (2014), "Sveriges elförsörjning 2025". Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (2015), "Anpassning av elsystemet med en stor mängd förnybar elproduktion – En delredovisning från Svenska kraftnät". Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Svenska kraftnät (2019), "Elstatistik – Förbrukning och produktion i Sverige – Timstatistik 2018". Sundbyberg: Svenska kraftnät.

- Sweco (2017), "Kostnad för olika typer av elproduktion 2016". Sammanfattning av sekretariatets egen rapport till Energikommissionen, 2017. Sweco, IVA, Ernest & Young och Energimyndigheten.
- Sämfors, O. (2014), *Sveriges elförsörjning 2025*. Sundbyberg: Svenska kraftnät.
- Thoughtscapism (2017), "Nuclear Energy is the Fastest and Lowest-Cost Clean Energy Solution", blogginlägg: <https://thoughtscapism.com/2017/11/27/nuclear-energy-is-the-fastest-and-lowest-cost-clean-energy-solution/>, 27 november.
- Ueckerdt, F., Hirth, L., Luderer, G. och Edenhofer, O. (2013), "System LCOE: What are the Costs of Variable Renewables?", *Energy*, vol. 63, s. 61–75.
- U.S. Department of Energy (2015), "Quadrennial Technology Review – An Assessment of Energy Technologies and Reserch Opportunities". Washington DC: US Department of Energy.
- Vattenfall (2018), *Livscykelanalys – Vattenfalls elproduktion i Norden*. Stockholm: Vattenfall.
- Vattenfall (2020), "EPD Climate Declaration for Electricity from Vattenfall's Nuclear Power". Stockholm: Vattenfall.
- Weissbach, D., Ruprecht, G., Huke, A., Czerski, K., Gottlieb, S. och Hussein, A. (2013), "Energy Intensities, EROIs, and Energy Payback Times of Electricity Generating Power Plants", *Energy*, vol. 52, nr 1, s. 210–221.
- WNA (2022), "Economics of Nuclear Power", <https://world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>, augusti.

Om författaren

Per Fahlén är professor emeritus, energi och miljö, Chalmers tekniska högskola. Författaren tackar Axel och Margaret Ax:son Johnsons stiftelse för allmännyttiga ändamål för finansiellt stöd. Ett stort tack också till Asma Abdel-Baki och Magnus Henrekson som bidragit med såväl synpunkter som handfasta redaktionella insatser, vilket starkt bidragit till att öka läsbarheten för icke-specialister. Slutligen vill jag tacka Jan Blomgren för sakkunnig läsning av den näst sista versionen.

Professor emeritus Per Fahlén · Energi och miljö, Chalmers tekniska högskola, Göteborg · Österrå 327 · 880 31 RESELE · Epost: per.fahlen@telia.com · Tel: +46 72-225 11 42

KAPITEL 8

Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel*

MIRJA LINDBERGET, ANNA SKARIN
OCH PER SANDSTRÖM

Om författarna

Se sid. 319 för en presentation.

* Citeras som: Lindberget, Mirja, Anna Skarin och Per Sandström (2024), "Effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 277–319). Stockholm: Samhällsförlaget.

Sammanfattning

Stålintustrin står idag för sju procent av de globala koldioxidutsläppen. En övergång från kol och koks till fossilfri framställning av stål skulle därmed ge betydande bidrag till att nå miljömålen. Vätgas ses som den nya lösningen på problemet, men för att vätgas ska kunna klassas som fossilfri behöver elen komma från förnybara energikällor. Bara för att täcka LKAB:s, H2 Green Steels och SSAB:s planerade produktion av fossilfritt stål i Sverige behövs uppskattningsvis 91 TWh. Inom elområdet SE1 som består av Norrbottens län och delar av Västerbottens län anses en utbyggnad av den landbaserade vindkraften ha den största potentialen för att möta det ökade energibehovet. Vindkraft är ett snabbt växande energislag i Sverige som tar stora arealer av höglänta områden med bra vindförhållanden i anspråk. Detta skapar problem för renskötseln eftersom dessa områden ofta sammanfaller med viktiga betesområden för renen.

I Sverige finns ca 250 000 renar och renskötsel bedrivs på ungefär halva Sveriges yta, där renarna flyttar mellan olika betesmarker beroende på säsong. Konkurrerande markanvändning har dock gjort att stora delar av renskötselområdet redan har tappat sin funktion som renbetesmark. Renskötselrätten är en upparbetad rätt som tillkommer det samiska folket genom ett långvarigt bruk av markerna. Effekterna av vindkraft behöver därmed ses i ljuset av renskötselrätten och de rättigheter som samerna åtnjuter som folk, urfolk och minoritet. Den naturbetesbaserade renskötseln är central för den samiska kulturen och en bärare av arv, traditioner, språk, slöjd och identitet. Olämpligt placerad vindkraft ger således effekter inte bara på renskötseln utan får också i förlängningen konsekvenser för samerna som folk.

I den här forskningsöversikten har vi sammanfattat forskningsstudier från 11 olika studieområden där påverkan av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel har undersökts. Studierna har gjorts av olika forskargrupper och under en längre tid, vilket gett oss en god kunskap om effekterna av vindkraft på renar och renskötsel under hela renskötselåret. Renen är en idisslare som betar selektivt och söker de mest näringsrika växterna för säsongen för att tillgodose sitt energibehov. Renarna är därför ständigt i rörelse när de betar. Det är centralt för renarna och renskötseln att renarna har "betesro" på sina betesmarker. Om renarna störs när de betar förlorar de betestid och därmed möjligheten att bygga upp sina energiförråd sommartid eller underhålla dem vintertid. Detta får negativa konsekvenser för renarnas överlevnad och produktionen i renskötseln.

Renarna har behov av olika säsongsbetesmarker och måste kunna vandra mellan olika betesområden både mellan säsonger och inom en säsong. Det är därför viktigt att både studera möjligheten att använda flyttleder och korridorer som knyter ihop betesområden

och renarnas betesro, aktivitet och rörelsemönster. Utvecklingen av både teknik och forskning inom tillämpad ekologi de senaste 20 åren har ökat tillgången till både data och analytiska möjligheter, vilket har underlättat den här typen av studier. GPS-teknik tillsammans med rensköttarnas traditionella kunskap, *árbediethu*, ger en god bild av renens habitat användning både lokalt och över stora geografiska områden, vilket är nödvändigt för att förstå vindkraftens effekter på renar och renskötsel.

Sammanfattningsvis visar resultaten att renar och renskötsel påverkas negativt av vindkraftsutbyggnad och vilka effekterna blir på renarnas betesutnyttjande beror på ett komplext samspel mellan klimat, skogsbruk, vindkraft, annan infrastruktur, insekter och rovdjur. Graden och arten av påverkan varierar också beroende på områdets förutsättningar för renbete och tid på året. Nästan all landbaserad vindkraft i renskötselområdet finns och planeras i skogslandet och påverkar därigenom samebyarnas vinterbetesområden. Vindkraftsetableringar på vinterbetesmarkerna sammanfaller med höglänta betesområden som blivit speciellt viktiga för renskötseln i och med klimatförändringarna. Då dessa områden kan erbjuda bättre bete när betet är låst under is och skare i dalgångarna längre ner i terrängen. Klimatförändringarna gör att sådana situationer blir allt vanligare. Vindkraft som ska avhjälpa klimatförändringarna innebär därmed att renskötseln drabbas dubbelt, dels av klimatförändringarna i sig och dels av förlusten av viktig betesmark.

För skogsrenskötseln som vistas i skogen året om medför etableringar i kalvningslandet än större konsekvenser, eftersom det är extra viktigt med störningsfria områden under kalvningsperioden. Resultaten visar att renarna både undviker vindkraftsområden och att deras betesro försämras i närheten av vindkraft. Under högsommaren påverkas renarnas möjligheter att finna betesro i närheten av vindkraftsanläggningar. På hösten har renarna minskat sin användning av områden nära vindkraft. Det gör att de tvingas använda områden som är sämre och/eller att de trängs ihop på resterande bra betesområden, vilket ökar betetrycket på dessa områden.

Riksdagens miljömål om en hundra procentig fossilfri energiproduktion år 2040 ger en tydlig signal om ett fortsatt högt exploateringsstryck från såväl vindkraft som gruvindustri och skogsbruk. Om detta får fortgå utan att vindkraft planeras och byggs på ett hållbart sätt för renskötseln kommer det att innebära ytterligare minskade betesarealer, minskad flexibilitet, ökat behov av utfodring, fler påkörda renar och merarbete för rensköttarna. Detta i sin tur kan leda till att relationerna inom och mellan samebyar och till lokalbefolkningen bli mer ansträngda. När betesmarkerna inte längre räcker till tvingas renskötare att sluta med renskötseln. Detta gör att kunskapen om renen, naturen och språket inte förs vidare till nästa generation, vilket också förvägrar samernas rätt att utöva sin kultur.

Summary in English

The steel industry currently accounts for seven percent of global carbon dioxide emissions. A transition from coal and coke to fossil-free steel production would therefore make a significant contribution to achieving environmental goals. Hydrogen is widely considered to be a solution to the problem, but for hydrogen to be classified as fossil free, the electricity must come from renewable energy sources. In Sweden alone, an estimated 91 TWh is needed just to cover LKAB's, H2 Green Steel's and SSAB's planned production of fossil-free steel. In electricity area SE1, which consists of Norrbotten County and parts of Västerbotten County, an expansion of land-based wind power is considered to have the greatest potential to meet the increased energy demand. Wind power is rapidly growing as a form of energy production in Sweden, occupying large areas of highlands with favorable wind conditions. This creates problems for reindeer husbandry as these areas often coincide with important grazing areas for reindeer.

There are about 250,000 reindeer in Sweden and reindeer husbandry is practiced on half of Sweden's total land area, with reindeer moving between different pastures depending on the season. However, competing land uses have resulted in large portions of the reindeer husbandry area losing their function as reindeer grazing land. Reindeer husbandry is a statutory right that belongs to the Sámi people by virtue of their long-term use of the land for this purpose.

The impacts of wind power plants must be considered in the context of both reindeer husbandry rights and the rights enjoyed by the Sámi as an indigenous people and minority. Reindeer husbandry, rooted in natural grazing, holds a central position in Sámi culture, serving as a custodian of heritage, traditions, language, handicrafts, and identity. Wind power plants inappropriately located thus affect not only reindeer husbandry but also, by extension, the Sámi people as a whole.

In this research survey, we summarize research studies from eleven different areas where the impact of onshore wind power on reindeer and reindeer husbandry has been investigated. The studies were conducted by different research groups over a long period of time, which gives good knowledge of the effects of wind power on reindeer husbandry throughout the year. Reindeer are ruminants that graze selectively, seeking the most nutritious plants of the season to meet their energy needs. Therefore, the reindeer are constantly on the move while grazing, enjoying "grazing peace" on their pastures. If they are disturbed while grazing, they lose grazing time and thus the opportunity to build up their energy reserves

in summer or maintain them in winter. This has negative consequences for reindeer survival and production in reindeer husbandry.

Reindeer need different seasonal pastures and must be able to move between grazing areas both between seasons and within a season. To assess the effects of wind turbine establishments, it is important to study their impact on the possibility of using migration routes and corridors linking grazing areas. Additionally, examining the effects on reindeer's grazing peace, activity, and movement patterns is crucial. Development of both technology and applied ecological research over the past 20 years have enhanced the availability of data and analytical capabilities, facilitating this type of study. GPS technology together with the traditional knowledge of reindeer herders, *árbediethu*, provides a good representation of reindeer habitat use both locally and over large geographical areas. This is necessary to understand the effects of wind power on reindeer and reindeer husbandry.

The results show that reindeer and reindeer husbandry are negatively affected by wind power development and the effects on reindeer habitat selection and movement pattern depend on a complex interaction between climate, forestry, wind power, other infrastructure, insects, and predators. The degree and nature of the impact varies depending on the preconditions of the reindeer grazing area and time of the year. Almost all land-based wind power in the reindeer husbandry area is located and planned in the forest and thus affects the winter grazing areas of the Sámi reindeer herding communities. Wind power establishments on winter grazing lands coincide with grazing areas located at higher elevations that have become particularly important for reindeer husbandry due to climate change. As these areas can offer better grazing when the pasture is locked under ice and snow in the valleys at lower altitudes. Climate change means that such situations are becoming more common. Expanding wind power to remedy climate change thus means that reindeer husbandry is doubly affected, partly by climate change itself and partly by the loss of the type of grazing land more greatly needed when the climate changes.

For forest reindeer herding, which stays in the forest all year round, wind power plants in the calving area have even greater consequences, as it is particularly important to have areas free of disturbance during the calving period. The evidence shows that the reindeer avoid wind power areas and that their habitat selection decreases in the vicinity of wind power plants. During high summer, the reindeer's ability to find grazing peace in the vicinity of wind power facilities is affected. In the fall, the reindeer have reduced their use of areas near wind power installations, which means that they are forced to use areas that are inferior and/or that they are crammed into the remaining good grazing areas.

The Swedish Parliament's environmental goal of 100 percent fossil free energy production by 2040 gives a clear signal of continued high exploitation pressure from wind power as well as the mining industry and forestry. If this is allowed to continue without wind power

being planned and built with proper regard to how it affects reindeer husbandry, this will lead to further reduced grazing areas, reduced flexibility, increased need for feeding, more reindeer being hit by vehicles, and more work for reindeer herders. This in turn may lead to more strained relations within and between Sámi reindeer herding communities and with the local population. When the pastures are no longer sufficient, reindeer herders are forced to give up reindeer herding. This means that knowledge of the reindeer, nature and language is not passed on to the next generation, which denies the Sámi the right to practice their culture.

Bakgrund

Omvandlingen av järnmalm till järn sker traditionellt med kol och koks med stora koldioxidutsläpp som följd. Stålindustrin står för sju procent av de globala koldioxidutsläppen. "Fossilfritt stål" är tänkt att i stället framställas med fossilfria energikällor och råvaror utan koldioxidutsläpp. En global övergång till fossilfri framställning av stål har därmed en betydande potential att bidra till att minska utsläppen och nå klimatmålen.

De nya fossilfria metoderna avser att använda vätgas. För att vätgasen ska kunna klassas som fossilfri måste den tillverkas av el från förnybara källor. LKAB planerar att fram till 2045 helt gå över till en fossilfri järnsvampsproduktion. För att lyckas med detta krävs 70 TWh fossilfri el årligen. I tillägg planerar SSAB att omvandla järnsvamp från LKAB till fossilfritt stål. Ett annat projekt, H2 Green Steel, planerar att 2030 producera fossilfritt stål som kräver upp till 17 TWh. Sammanlagt uppskattas efterfrågan på el för att tillverka järnsvamp och fossilfritt stål uppgå till 91 TWh. Det motsvarar nästan tre gånger Danmarks totala elanvändning och är mer än dagens totala elkonsumention i Finland.

För att täcka energibehovet för att tillverka fossilfritt stål och samtidigt försörja det övriga samhället på el behövs ett produktionstillskott på 70 TWh inom elområde SE1 i norra Sverige. Möjligheterna att bygga ut den förnybara elproduktionen i detta område är främst genom landbaserad vindkraft. Sjuettio TWh motsvarar 8 000 högeffektiva vindkraftverk eller 13 000 vindkraftverk givet den nuvarande genomsnittliga effektiviteten för ett vindkraftverk i elområde SE1.

Arktiska och subarktiska regioner påverkas i hög grad av klimatkrisen. I dessa områden stiger temperaturerna nästan fyra gånger snabbare än i resten av världen (Ballinger m.fl. 2022, Rantanen m.fl. 2022). Den samiska renskötseln som också använder denna mark som naturliga betesmarker till sina renhjordar drabbas hårt av både klimatkrisen och en ökande industriell markanvändning.

Denna studie är en översikt av den forskning som gjorts rörande effekter av landbaserad vindkraft på renar och renskötsel. I översikten görs också en bedömning, utifrån forskningens nuvarande ståndpunkt, av hur renskötseln kan komma att påverkas i framtiden vid den utbyggnad som krävs för att täcka det tillkommande elbehovet som väntas för att nå målet om ett fossilfritt Sverige 2045.

Inledning

Renskötselrätten

Samerna är ett folk, urfolk och en nationell minoritet i Sverige. Renskötselrätten tillkommer det samiska folket, men det krävs enligt rennäringslagen medlemskap i en sameby för att utöva rätten. En sameby är ett avgränsat geografiskt område där samebyns medlemmar har rätt att bedriva renskötsel. Renskötseln är central för det samiska samhället och bärare av en lång kulturell tradition och samisk identitet. Detta gör att renskötseln inte enbart kan betraktas som en "näring" eller ett "intresse" att likställas med andra intressen, utan som en viktig del i den samiska kulturen.

Renskötselrätten är en upparbetad rätt genom ett långvarigt traditionellt bruk av markerna. Den skyddas genom egendomsskyddet och ger samerna rätt att använda mark och vatten till sig och sina renar. Riksdagen har i olika sammanhang uttalat att den samiska kulturens fortlevnad måste garanteras.¹ Detta innebär att det måste finnas grundläggande förutsättningar för renskötseln inom i princip varje sameby genom att säkra tillgången till betesmarker året om som har avgörande betydelse för rennäringens bedrivande. Rennäringen räknas som ett riksintresse och enligt 3 kap. 5 § miljöbalken ska mark- och vattenområden som har betydelse för rennäringen så långt möjligt skyddas mot åtgärder som påtagligt kan försvåra näringens bedrivande. Enligt andra stycket ska områden av riksintresse för rennäringen skyddas mot sådana åtgärder. Svenska staten har också erkänt samerna som urfolk och nationell minoritet. Staten har därigenom åtagit sig att främja det samiska folkets möjligheter att behålla och utveckla sitt kultur- och samfundsliv.

Utöver nationell rätt har samerna som urfolk rättigheter enligt internationell rätt som delvis skyddas genom ILO:s konvention om ursprungsfolk och stamfolk, (ILO-169) och FN:s urfolksdeklaration. Sverige har förbundit sig att följa FN:s urfolksdeklaration, men inte anslutit sig till ILO-konventionen. Trots detta konstaterade Högsta domstolen i Girjasdomen² att artikel 8.1 i ILO-169 *"gav uttryck för en allmän folkrättslig princip, och därmed är bindande för Sverige"*, trots att Sverige inte ratificerat ILO-169. Samernas renskötsel är också en viktig del av samernas kulturutövning. Den är därmed skyddad enligt den internationella konventionen om medborgerliga och politiska rättigheter (ICCPR).

¹ Prop. 1985/86:3

² Mål nr T 853-18

En utförligare beskrivning av samernas nationella och internationella rättigheter finns att läsa i Sametingets yttrande gällande ansökan om bearbetningskoncession för området i Kallak.³

Renar och renskötsel

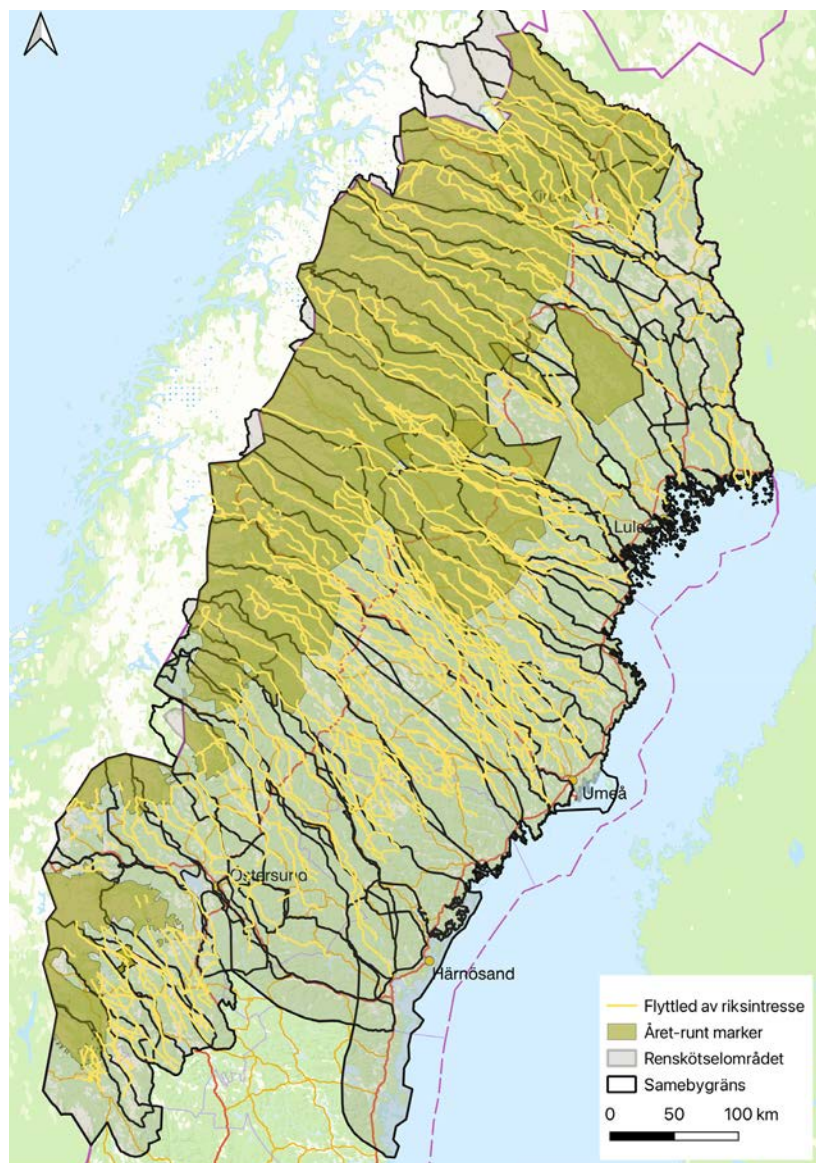
Renen är ett flocklevande hjorddjur som lever i de nordliga delarna av Europa, Asien och Nordamerika. I Sápmi, som breder ut sig över hela den norra delen av Nordkalotten, från Norge i väster till ryska Kolahalvön i öster och svenska landskapet Dalarna i söder, lever euroasiatisk tundraren eller fjällren (*Rangifer t. tarandus*). Vildrenar i Norge och tamrenar i Norge, Sverige och Finland tillhör samma underart. Dessutom finns det ett bestånd av skogsren (*R. t. fennicus*) som lever i de östra delarna av Finland. Antalet renar i Sverige i vinterhjorden (efter slakt på hösten och före kalvning i maj) har varierat mellan 240 000 och 260 000 de senaste 25 åren enligt (Sametinget statistik 2023).

Renskötsel bedrivs på ungefär halva Sveriges yta, men all betesmark används inte samtidigt utan renarna flyttas mellan olika betesmarker beroende av säsong (*Figur 1*). Dagens renskötsel är en extensiv driftsform, vilket gör att renarna rör sig fritt under stora delar av året. Den bedrivs inom 51 samebyar som verkar inom Norrbottens, Västerbottens, Jämtlands, Västernorrlands och Dalarnas län samt en liten del av Gävleborgs län. Av dessa är 33 fjällsamebyar som nyttjar sommarbetet i fjällen och vinterbetet i skogen. Av de resterande är 10 skogssamebyar och åtta koncessionssamebyar som nyttjar olika betesmarker i skogen året om.

Renen är en selektiv idisslare, vilket ställer höga krav på födans kvalitet och gör att den har behov av stora och olika säsongsbetesmarker. Under sommarhalvåret äter den gräs, örter och löv. Renen har en unik förmåga att tillgodogöra sig lav som föda och under vintern äter den i huvudsak renlav och vintergröna växter som ljung och kråkbär, som den gräver fram under snön. Senare på vintern är också hänglaven en viktig föda. Under vintern lever renen i näringsmässigt underskott och förbrukar då sina kroppsreserver. Den svåraste perioden är senvintern och våren då vajornas näringsbehov ökar med fosterutvecklingen och digivning samtidigt som betestillgången och beteskvaliteten är låg.

³ Dnr 5.2.1-2021-2117 under rubrik 3, Utgångspunkter.

Figur 1. Sveriges 51 samebyar.



Anm.: Året runt-marker mörkare färg och vinterbetesmarker ljusare färg. Gula markeringar utgör flyttleder.
Källa: RenGIS, Renbruksplan och ©Lantmäteriet.

Det finns inga vildrenar i Sverige, men det omnämns ändå här eftersom det finns vildren i Norge och andra delar av världen. Ofta aktualiseras frågan om studier gjorda på vildren är jämförbara med studier på tamren. Eftersom tamren rör sig fritt under största delen av året och lever i sin ursprungliga miljö som den är väl anpassad till, räknar man med att tamrenens beteende är mer eller mindre ursprungligt (Skarin m.fl. 2008; Skarin & Åhman 2014). Studier som undersökt rädsla/flykt och korttidseffekter orsakade av mänsklig störning ger tydliga skillnader i skygghetsgrad mellan tamren och vildren (Reimers & Colman 2006; Nieminen 2012; Baskin & Hjalten 2001). Studeras i stället hur störningar påverkar djurens val av betesområde på landskapsnivå inom ett säsongbetesområde eller över hela renbetesåret visar studier från vildren, nordamerikansk caribou och tamren att djurens respons är av ungefär samma storleksordning (Skarin & Åhman 2014).

Påverkan från annan markanvändning

Trycket på renbetesmarkerna från annan markanvändning har ökat kraftigt de senaste åren och de konkurrerande anspråken på mark- och naturresurser är en utmaning för renskötseln (Kløcker Larsen. m.fl. 2016). Förutom vindkraft, påverkar jord- och skogsbruk, gruvnäring, vattenkraft, kraftledningar, vägar, järnvägar, turism, rovdjur och småviltsjakt renskötselns möjligheter att bedriva en funktionell och bärkraftig verksamhet (Horstskotte m.fl. 2022). Nedan redogörs i korthet de huvudsakliga effekterna från andra markanvändare än vindkraft. Rovdjur påverkar både produktionen i renskötseln och de kan också skrämja bort renar från bra betesområden (Taillon m.fl. 2023, Skarin m.fl. 2021). Det är viktigt att komma ihåg att renskötseln är begränsad till den enskilda samebyns yta och således är också tillgången på alternativa betesområden begränsad av en yttre gräns.

Ungefär 70 % av renskötselområdet utgörs av skogsmark, där skogsbruket som markanvändningsform påverkar tillgången på lav i vinterbetesområdet. Fyrtionio procent av den produktiva skogen i Sverige finns inom renskötselområdet. Detta har stora konsekvenser för renskötseln eftersom renarna är beroende av mark- och hänglav som bete på vintern. Vinterbetet avgör oftast hur många renar det är möjligt att ha i vinterhjorden (efter slakt och före kalvning) i en sameby. Sandström m.fl. (2016) har visat att arealen av lavrika skogar (marklav med en täckningsgrad > 50 procent) har minskat med 71 procent de senaste 60 åren i Sverige. Ur ett renskötselperspektiv försvårar skogsbruket renskötselns bedrivande genom stora hyggen, markberedning, förtätade yngre skogar, gödsling av lavbärande marker, avverkning av hänglavsbärande skogar och plantering av contortatall (Skogsstyrelsen 2019, Horskotte m.fl. 2023).

Gruvor, vattenkraft, järnvägar och större vägar med och utan stängsel utgör ofta barriärer i landskapet och försvårar flytt mellan betesmarker. De orsakar också ett direkt betesbortfall, där vattenkraften lagt betesmark under vatten, vilket gör att den inte längre är brukbar. Flyttleder går ofta på isen längs vattendrag, men den möjligheten går förlorad vid

utbyggnad av vattenkraft på grund av osäkra isförhållanden (Kløcker Larsen m.fl. 2016). Vägar medför ökad mänsklig närvaro, trafik och ökad tillgänglighet. Studier visar att renar undviker vägar och att vägarna hindrar renarnas naturliga rörelsemönster (Strand m.fl. 2018; Skarin m.fl. 2021). Störningar från mänsklig aktivitet kan göra att renarna undviker större områden än själva störningskällan, det kan exempelvis vara aktivitet runt gruvor (Eftestøl m.fl. 2019) eller runt rekreationsområden som turistanläggningar (Helle m.fl. 2012) som gör att renarna skräms iväg. Studier av påverkan från kraftledningar visar att effekten av dem varierar. Eftersom kraftledningar också behövs in till vindkraftsanläggningar behandlas de under ett separat avsnitt 4.3. Kraftledningar.

Varje enskild exploatering bidrar till *kumulativa effekter* som är summan av tidigare och nuvarande ingrepp och störningsfaktorer (Johnson 2016). Kumulativa effekter kan beskrivas på flera olika sätt och är olika beroende på vem eller vad man beskriver effekten för. De kumulativa effekterna på renarnas och renskötselns markanvändning brukar beskrivas som de samlade effekterna av alla olika markanvändare i en region. Den kumulativa effekten av ökad turism och fragmentering av landskapet kan exempelvis leda till att djur trängs undan till de betesområden som ännu är ostörda (Vistnes & Nellemann 2001; Vistnes & Nellemann 2008; Knight & Cole 1995; Helldin m.fl. 2012). Det leder till ökad konkurrens om bra betesområden eller förflyttning till sämre områden, vilket påverkar djurets kondition och överlevnad negativt. Ett annat exempel på kumulativa effekter på renskötseln är när skogsbruket har gjort att lavbetet på vinterbetesmarkerna är så fragmenterat att det är svårt att hålla en renhjord samlad på ett och samma område, vilket gör att det är svårt att samla renarna inför en flytt. Renskötarna behöver då förlita sig på att renarna kan vandra självmant till nästa säsongsbetesområde, om då flyttvägarna är avskurna p.g.a. vattenkraft kan det göra att renarna inte kommer tillbaka till sommarbetesområdet (Kløcker Larsen m.fl. 2020).

Kumulativa effekter behöver också ses i ljuset av renskötselrätten och de rättigheter samerna har som folk, urfolk och minoritet. Bristande hänsyn till kumulativa effekter kan medföra att dessa rättigheter varken skyddas av svenska staten eller respekteras av bolagen (Kløcker Larsen m.fl. 2016). För att förstå helheten och de kumulativa effekter övrig markanvändning har på renskötseln behöver även de förändringar som skett historiskt inom renskötselområdet belysas. Dessa tas inte upp här, men finns sammanfattade i kapitel 2 i Naturvårdsverkets rapport nr 6722, *Kumulativa effekter av exploateringar på renskötseln – vad behöver göras inom tillståndsprocesser* (Kløcker Larsen m.fl. 2016).

Klimatförändringar

Nordliga områden drabbas extra hårt av klimatförändringarna och temperaturökningarna är upp till fyra gånger högre här än i andra delar av världen (Ballinger m.fl. 2022, Rantanen m.fl. 2022). Klimatförändringarna leder till fler extrema väderhändelser som inträffar oftare och det blir svårare att förutsäga säsongsvariationer (Walsh m.fl. 2020). Vi vet att klimatet påverkar renskötseln på flera olika sätt, särskilt under vintern då klimatförändringarna lett till varmare vintrar och temperaturen oftare svänger mellan plus- och minusgrader. Då täcks marklaven av en isskorpa, eller det kan bildas skare och is i snön, vilket leder till att betet blir otillgängligt och "låst" för renarna. Ett fenomen som väntas bli allt vanligare med ett förändrat klimat (Sametinget 2023). När betet blir låst över stora områden behöver renhjorden hitta alternativa betesområden, men det är ofta svårt då skogsbruk fragmenterat betet och olika störningar skrämmer iväg renarna. Renarna kan då behöva stödutfodras. Sommartid har fjällsamebyarna sina renar till fjälls. Försenad ankomst av våren i kalvningsområdet i fjällen kan göra att kalvarna föds medan det är full vinter och därför fryser ihjäl. På sommaren behöver renarna svalka och skydd mot insektsangrepp, som snöfläckar i fjällen eller svala gammelskogar i skogsområdet, men snöfläckarna smälter ofta bort och gammelskogarna huggs ner. De senaste decenniernas eskalerande klimat effekter i kombination med ökad mängd exploateringar gör att renskötseln är satt under hård press. Effekterna av ett förändrat klimat medför redan idag utmaningar för renskötseln och dessa effekter kommer sannolikt att öka i framtiden (Löf m.fl. 2012).

Vad är en vindkraftsanläggning?

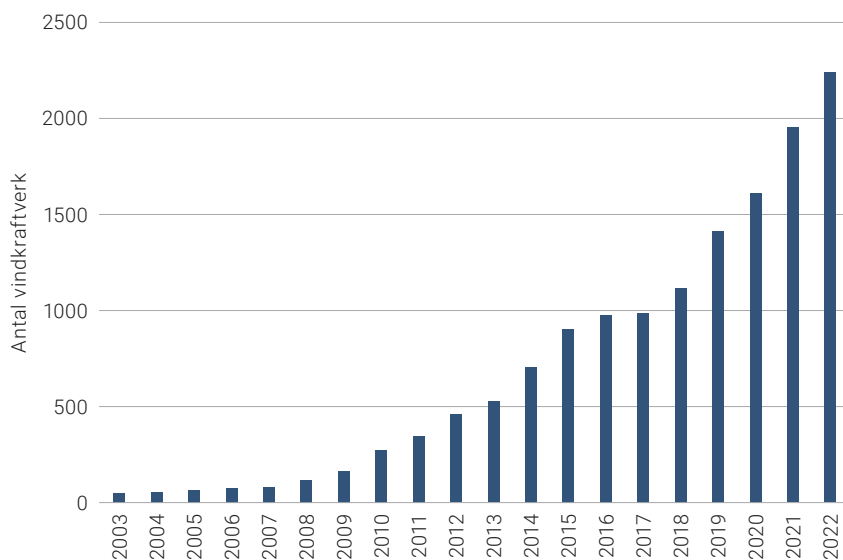
En vindkraftsanläggning är ett industriområde i syfte att nyttja vindkraft. Vindkraft är en snabbt växande energiindustri i Sverige. Den lanseras som både förnybar, billig och utsläppsfri. Livslängden för vindkraftverk är beräknad till ca 30 år, även om det sägs att stora delar kan återvinnas har dock återvinningen fram till idag varit begränsad (Naturskyddsföreningen).

Antalet verk i kommersiella anläggningar varierar från några få till flera hundra verk. Den största beviljade anläggningen i Sverige är Markbyggen med tillstånd för 1 101 verk där hittills 430 är uppförda (juni 2023). Vindstyrkan tilltar högre upp i luften, därför placeras turbinbladen oftast på 100–280 meter höga torn. Verken börjar producera el när det blåser 4 m/s, men för att uppnå maximal effekt krävs vindstyrkor på 12 till 25 m/s. Vid kraftigare vindar stängs verken av på grund av säkerhetsskäl.

Förutom själva vindkraftverken krävs en omfattande infrastruktur: väg till varje verk, lednings- och kabeldragningar, kontrollbyggnader, uppställningsplatser och transformatorstation och kraftledningar ut från parken. Uppbyggnadsfasen medför transporter, ljud och rörelse. Driftsfasen förändrar landskapsbilden då vindkraftverken avger ljud, ljus (varselljus) och rörelse dygnet runt.

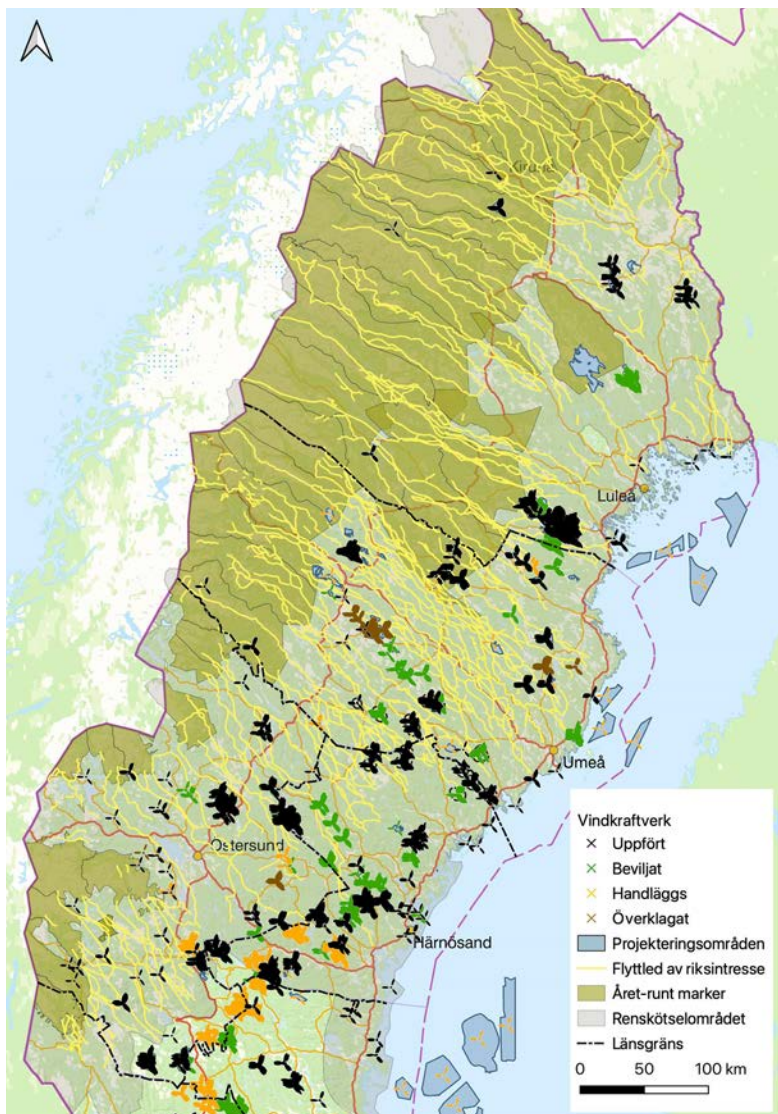
Inom de fyra nordligaste länen i renskötseområdet var det 2 246 verk uppförda fram till och med 2022 (Figur 2). I renskötseområdet är det en hög koncentration av vindkraft installerad och även beviljad men ännu ej uppförd i framför allt norra Jämtlands, Väster- norrlands och Västerbottens län (Figur 3).

Figur 2. Antal uppförda vindkraftverk i Jämtlands, Västerorrlands, Västerbottens och Norrbottens län, Sverige, 2003–2022.



Källa: Baserad på statistik från Energimyndigheten (2023).

Figur 3. Renskötselområdet med vindkraftsanläggningar som är uppförda, beviljade, under handläggning och överklagade samt nya projekteringsområden där tillståndprocessen ännu inte startat.



Källa: ©Lantmäteriet, Sametinget i Renmark, Vindbrukskollen, juni 2023.

Hur studeras effekterna av vindkraft på renar och renskötsel?

Renarna rör sig över stora områden där betesområden och flyttleder länkar samman barmarks- och vinterbetesområden. Därför behöver studier göras på en regional skala och under en längre tidsperiod för att fånga upp hur annan markanvändning påverkar val av betesområden och flytt mellan betesområden (Vistnes & Nelleman 2008; Skarin & Åhman 2014; Flydal m.fl. 2019; Strand m.fl. 2018, Skarin m.fl. 2021). Om studier enbart görs på lokal skala och under en kort tidsperiod, i området närmast en etablering, riskerar man att missa betydande effekterna på renhjorden. Vidare behöver eventuella konsekvenser för intilliggande vinterbetesgrupper eller samebyar beaktas.

Metodik för att studera hur renar påverkas av annan markanvändning varierar mellan analys av data från GPS-halsband som suttit på renar, spillningsinventering, information från berörda renskötare och/eller direkta observationer (Strand m.fl. 2018). Det är också viktigt att ta vara på renskötarnas kunskap om hur renskötseln och renarna påverkas av annan markanvändning för att täcka in hur de kumulativa effekterna påverkar renskötseln (Kløcker-Larsen m.fl. 2020). Teknikutvecklingen de senaste 20 åren har ökat tillgången på data och analytiska möjligheter. GPS-teknik möjliggör studier på renens habitat användning över större geografiska områden än tidigare. Det är lätt att missa renar och svårt att få en överblick över ett större område (Skarin m.fl. 2022). Fördelarna med GPS-data är att det ger kontinuerlig information över djurets habitat användning över en lång tid och med hög positionssäkerhet (Eftestøl m.fl. 2021). Nackdelen är att det är en relativt dyr metod, vilket medför att endast en mindre andel (1–3 procent) av populationen vanligen utrustas med sändare. Eftersom renarna lever i flock under större delen av året är detta oftast ett mindre problem, men det kan potentiellt vara en källa till avvikelser. Valet av metod för datainsamling påverkar både analysmetod och resultat (Strand m.fl. 2018, Skarin m.fl. 2022).

Samernas traditionella kunskap, *árbediethu*, är erfarenhetsbaserad kunskap som har förts vidare från generation till generation genom praktiskt brukande av naturen och dess resurser (Sametinget 2023). Även om GPS-data ger unika analysmöjligheter kan inte GPS-data ensamt ge svar på alla frågor om hur renen och renskötseln påverkas av vindkraft. Renskötarens *árbediethu* behöver därför alltid inkluderas i studierna för att förstå hur renarna har hanterats och få kännedom om andra yttre faktorer som kan påverka resultatet (Skarin m.fl. 2021).

Effekter av vindkraftsanläggningar

Enligt studierna i denna forskningsöversikt råder det inga tvivel om att vindkraftsparker och tillhörande infrastruktur påverkar renar och renskötsel negativt (Strand m.fl. 2018; Skarin m.fl. 2021; Skarin m.fl. 2022; Eftestøl m.fl. 2021). I studier är istället frågan hur och i vilken grad renarna påverkas, vilket varierar beroende på områdets specifika förutsättningar, övriga påverkansfaktorer och årstid. I en sammanställning gjord av Strand m.fl. (2018) sammanfattas elva olika undersökningar som studerat effekter av vindkraftsanläggningar och kraftledningar på renar och renskötsel i Sverige och Norge. Där konstateras att de olika studierna har erhållit till synes motstridiga resultat, men att detta till stor del kan förklaras av att olika metodik använts för att undersöka effekterna och att studierna har gjorts i olika miljöer (skog och fjäll) där renarnas tillgång på alternativa betesområden varierat. Efter denna sammanställning har det gjorts ytterligare studier i nya områden och uppföljande studier i de områden som tidigare studerats (Skarin m.fl. 2021; Eftestøl m.fl. 2021). I den här översikten summerar vi resultaten från samtliga rapporter (se vidare *Tabell 1*, sid 28–35).

Påverkan under vinterbetesperioden

Vindkraftsutbyggnad i skogslandet i Sverige påverkar framförallt samebyarnas vinterbetesområden, eftersom vinterbetesmarken finns i skogen. Vintertid har snöförhållandena stor betydelse för var det blir bra bete för renarna. Skarin m.fl. (2021) konstaterade i sin studie att under goda vinterbetesår föredrog renarna den lavrikare lägre och mindre varierande terrängen i dalgångarna medan under medelsvåra och svåra vinterbetesår föredrogs den högre terrängen (vålar och lågfjäll) med större topografisk variation. Detta bekräftas också av tidigare gjorda studier, vilka har visat att renarna använder de låglänta och platta delarna av landskapet under goda betesvintrar och att de under svåra vintrar söker sig till höglänta områden (Roturier & Roué 2009; Horstkotte m.fl. 2014; Skarin m.fl. 2016).

I Vilhelmina Norra sameby etablerades en anläggning på berget Stor-Rotliden, beläget intill ett viktigt vinterbetesområde för samebyn. Analyser av GPS-data visade att renarna fortsatte att använda det viktiga betesområdet, men att de till viss del minskade sin användning av områden där vindkraftverken var synliga under goda betesvintrar men inte under svåra betesvintrar (Skarin m.fl. 2016). Rensköterna berättade också att renarna tidigare

använde området kring Stor-Rotliden under svåra vintrar och att de efter etableringen inte varit lika benägna att stanna i området för att beta.

Vid Bottenhavskusten i Vilhelmina Norra sameby finns Lögdeå betesområde, som vintertid används av det norska renbetesdistriktet Byrkije genom en överenskommelse i den tidigare renbeteskonventionen mellan Sverige och Norge. År 2010 och 2011 etablerades där en vindkraftsanläggning på Gabrielsberget. Renskötarna fann att renarna ogärna uppehöll sig i närheten av anläggningen trots att det fanns god tillgång på lav där. De fodrade därför renarna inne i anläggningen och kantbevakade dem för att hålla kvar dem i området. Analyser av GPS-data visade att renarna vistades närmare anläggningen när de utfodrades, men att de samtidigt ökade sin användning av områden där vindkraftverken inte var synliga (Skarin m.fl. 2016). När renarna inte utfodrades och vandrade fritt i området befann sig majoriteten av renarna mer än tre kilometer från anläggningen.

Under svåra betesvintrar verkar vindkraftsanläggningar också påverka renarna negativt, även om de använder betesområden i höglänt terräng i närheten av vindkraft. Exempelvis visade analyserna av GPS-data från renar kring Mullbergs vindkraftsanläggning i Tåssåsens sameby att renarnas förväntade ökning i användning av höglänta områden under år med svåra snöförhållanden var betydligt lägre (45%) på Mullberg jämfört med närliggande berg (Skarin m.fl. 2021). Ett annat problem som påtalats av renskötarna är att renarna riskerar att spridas ut från betesområdet via de plogade vägarna i anläggningen (Skarin m.fl. 2016, Skarin m.fl. 2021). Det i sin tur kan öka risken för att renarna kommer ut på större vägar i närheten av anläggningen, vilket skedde vid Mullbergs vindkraftsanläggning (Skarin m.fl. 2021). Där ledde det till en ökad mängd trafikdödade renar på E45:an efter att vindkraftsanläggningen togs i drift.

Renarnas betesro påverkas också negativt av vindkraft. I Mittådalens sameby vid Glötesvålens anläggning ökade renarnas rörelsehastighet nära anläggningen särskilt när det var låg täthet av järv i området (Skarin m.fl. 2021). Under år med hög täthet av järv rörde sig renarna mindre och ökade användningen av området i närheten av anläggningen. I Tåssåsens sameby kring Mullberg sågs liknande mönster, renarna ökade sin rörelsehastighet när ljudnivån från verken ökade, men denna ökning var inte lika hög (även om de fortfarande rörde sig mer) under år med högre täthet av järv. Detta tolkas som att renarna vistades närmare anläggningarna för att undkomma järv i det här fallet, eftersom att de inte hade några alternativa områden att använda (Skarin m.fl. 2021).

Renskötarna berättar också om att renskötsearbetet har försvårats av vindkraft i vinterbetesområdet, även om det i vissa fall verkar gå att hantera och flytta renar genom vindkraftsanläggningar (Colman m.fl. 2014), finns det flera berättelser om hur renarna sprids ut och inte vill stanna kvar eller inte vill låta sig drivas genom en vindkraftsanläggning (Eftestøl m.fl. 2021; Skarin m.fl. 2016; Skarin m.fl. 2021). Exempelvis uppgav renskötarna i Fosen att det var svårare att samla renar som rör sig in i vindkraftsområden, eftersom vägar, vägterrasser och oroliga djur försvårar arbetet (Eftestøl m.fl. 2021).

I ett uppmärksammat rättsfall i Norge, det s.k. Fosenmålet, har en kraftigt minskad användning registrerats efter vindkraftens etablering på vinterbetesområdet i Fosens renbetesdistrikt. Detta redovisas särskilt i avsnitt 5.

Påverkan under barmarksperioden

I studier av hur vindkraft påverkar renar under barmarksperioden syns delvis olika resultat – från tydligt negativa effekter till inga eller svaga effekter. Jokkmokksliden, Storliden, Ytterberg och Åmliden är fyra vindkraftsanläggningar som tillsammans har 69 verk utspridda som ett band tvärs över den östra delen av Malå samebys året-runt-marker. Analyserna av GPS-data från detta område visade på en stor variation mellan årstiderna i hur vindkraftsetableringarna påverkade renarna (Skarin m.fl. 2021). Under kalvnings- och höstperioden undvek renarna vindkraftsanläggningen, men inte under sommarperioden. En likande säsongsvariation har konstaterats av Eftestøl m.fl. (2021) i Ráikkočearru. Där undvek renarna 25 procent av området inom 10–14 kilometers avstånd under våren och hösten. Under sommaren sågs ingen förändring, men det motverkades troligen av att renskötarna drev tillbaka renarna mot anläggningen under sommaren.

Skarin m.fl. (2021) dokumenterade störst negativ effekt i myrområden där renarnas användning minskade med i genomsnitt 34 och 21 procent under kalvnings- respektive höstperioden inom tre kilometer från anläggningarna. En liknade förändring har också dokumenterats i tidigare studier gjorda omkring Jokkmokksliden och Storliden under kalvningsperioden (Skarin m.fl. 2018) där renarnas habitatval försköts med till områden där vindkraftverken var skymda av topografin. Renarnas användning av betesområden där vindkraftverken var skymda ökade med 14 respektive 79 procent inom en och fem kilometer från anläggningarna på Storliden och Jokkmokksliden i jämförelse med perioden innan byggnation. I Malå beskriver renskötarna också att renarna förändrat sitt vandringssmönster under kalvningsperioden och tar en större omväg runt vindkraftsanläggningens nordsida under sin naturliga vandring västerut (Skarin m.fl. 2021).

Renarnas ökade användning av områden där vindkraftverken skymdes av topografin under kalvningsperioden tolkades som en effekt av att renarna störs av ljud och rörelser från vindkraftverken. Anledningen ansågs bland annat vara att ljudet från verken gör att renarna får svårare att urskilja andra ljud, inte minst rovdjur. I Skarin m.fl. (2021) visade analyserna av renarnas rörelsehastighet att renarna rörde sig snabbare (minskad betesro) under sommaren i områden där ljudnivån var högre. Rörelsehastigheten ökade mer om tätheten av björn var hög. Under hösten pekade analyserna överlag på att renarna rörde sig långsammare vid högre ljudnivå från vindkraftverken. Under kalvningsperioden sågs ingen tydlig effekt av ökad ljudnivå från vindkraftverken, men renarna rörde sig snabbare i närheten av vindkraftsanläggningarna.

I Kjöllefjord i Nordnorge sågs inga effekter av vindkraftsanläggningen under sommaren och hösten (Colman m.fl. 2013); inte heller kring Fakkens vindkraftsanläggning i Norge dokumenterades några negativa effekter under barmarksperioden (Tsegaye m.fl. 2017). Dessa studier gjordes dock på en halvö respektive en ö där renarna hade begränsat med alternativa betesområden och det var svårt för dem att undvika att vistas i närheten av anläggningen (Strand m.fl. 2018).

Renarnas ökade användning av området nära anläggningarna i Malå sameby under sommaren förklarades av att det är viktigt för renarna att vara i områden där det är fritt från insekter. Under varma sommandagar är renarna i skogslandet beroende av täta granskogar, gärna gammelskogar, för att hitta svalka. Sandgropar, skogsbilvägar, höglänta och öppna områden är också platser som renarna söker sig till för att mildra insektplågan. De breda grusvägarna i en vindkraftsanläggning som ligger högt upp i terrängen kan förmodligen erbjuda bra vindförhållanden där insekterna blåser bort. I Malå samebys sommarbetesområde är det idag få gammelskogar kvar och det är få berg som inte är exploaterade av vindkraft, vilket kan vara en förklaring till att renarna ökade sin användning av områden nära anläggningarna under sommaren efter att de etablerats jämfört med före (Skarin m.fl. 2021).

Kraftledning

Effekterna av kraftledning på renars val av betesområde och beteende varierar. En studie i Norge baserad på GPS-data visar att kraftledning kan leda till att renarna undviker området nära kraftledningen under byggfasen, men det var ingen skillnad i användning av området under driftsfasen under högsommaren (Eftestøl m.fl. 2015). Däremot visar resultaten från analysen att renarna undvek området kring kraftledningen både före och efter byggaktiviteterna under kalvningsperioden på våren. I Malå sameby konstaterade Skarin m.fl. (2021) att renarna undvek de större kraftledningsgatorna i området under kalvningsperioden och högsommaren, men inte under hösten.

Kraftledning sänder ut UV-ljus som inte är synligt för oss människor men för däggdjur och fåglar (Tyler m.fl. 2014). Renarnas ögon blir mer ljuskänsliga under vintern och kan då också se UV-ljus (Stokkan m.fl. 2012). Detta skulle kunna vara en förklaring till att man funnit negativa effekter på vildrenar av kraftledning vintertid (Nellemann m.fl. 2001). Eftestøl m.fl. (2018) undersökte fenomenet närmare, men såg inga tydliga indikationer på att detta skulle vara ett problem. Däremot konstaterar Eftestøl m.fl. (2021) en stor årlig variation i sina analyser av habitat användningen i Fosen och Ildgruben i förhållande till kraftledning. Enskilda resultat stack ut kraftigt med allt från ökad till minskad användning. Panzacchi m.fl. (2013) skiljde ut direkta och indirekta effekter av kraftledning på

vildrenar och konstaterade att när vägar och/eller stugområden förekom tillsammans med kraftledningar undvek renarna ett större område än om det bara fanns en väg och/eller ett stugområde. Sammantaget visar det att det finns en stor variation kring hur renar reagerar på kraftledningar i landskapet och att graden av påverkan beror på, årstid, väderlek, närhet och påverkan från annan infrastruktur och hur landskapet ser ut. Det kan finnas platsspecifika förhållanden som påverkar och hindrar renarnas rörelse i landskapet, medan det på andra ställen inte påverkar renarna alls.

Tabell 1. Översikt över resultat, geografisk omfattning, faser och metoder för datainsamling i de olika studieområdena där vindkraftparkers påverkan på tamren har undersökts.

Studieområde	Årstid	Faser av vindkrafts-utbyggnad som studerades	Metod för datainsamling	Typ av beteende/reaktion som undersöktes	
Vindkraftsanläggningar vinter					
1. Roan, Nord Fosen (71 vindkraftverk)	Vinter	Före (8 år), under (2 år) och efter byggfasen (2 år)	GPS-data, 3-timmarsintervall under en period på 12 år. Antal sändarförsedda djur 20–38/år	Undvikande	
2. Mullberget (26 vindkraftverk)	Vinter	Före (5 år), under (1 år) och efter byggfasen (6 år)	GPS-data, 12-timmarsintervall under en period på 10 år. Antal sändarförsedda djur 4–34/år	Undvikande/ Rörelsemönster	
		Före (5 år), under (1 år) och efter byggfasen (6 år)	GPS-data, 12-timmarsintervall under en period på 10 år. Antal sändarförsedda djur 4–34/år	Ljudnivå	
3. Glötesvålen (30 vindkraftverk)	Vinter	Före (4 år), under (3 år) och efter byggfasen (4 år)	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 11 år. Antal sändarförsedda djur 8–42/år	Undvikande/ Rörelsemönster	
		Före (4 år), under (3 år) och efter byggfasen (4 år)	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 11 år. Antal sändarförsedda djur 8–42/år	Ljudnivå	
4. Gabrielsberget* (40 vindkraftverk)	Vinter	Stopp och start av drift när renarna utfodrades och inte utfodrades.	GPS-data, 1 gång per dygn under en period på 3 år	Undvikande	

Resultat och dokumenterade effekter	
	Vindkraftsanläggningar vinter
	<p>Data från 8 säsonger innan etableringen visar att Roan utgjorde ett viktigt betesområde innan vindkraftsverken uppfördes. Kraftigt minskad användning under och efter utbyggnad på regional skala. Habitatanalyserna visade upp till 50% undvikande inom 5–15 km under vintern. Studien visar på stor årlig variation i habitat användningen särskilt på regional skala. Kort tidsperiod efter byggfas. <i>Källa: Eftestøl m.fl. (2021).</i></p> <p>Innan området exploaterades vistades nästan halva renhjorden i området. Under anläggnings- och driftsfasen vistades inga GPS-märktar renar i området. Sammantaget visade studien att placeringen av vindkraftsverken är olämplig i relation till renskötseln. Studien omfattar endast ett år efter byggfas. <i>Källa: Skarin m.fl. (2022).</i></p>
	<p>Resultaten visar tydliga skillnader i renarnas val av höjdläge mellan goda och svåra vintrar. Vid svåra vinterbetesår föredrog renarna höglänta områden och medan låglänta områden föredrogs under bra betesår. Under goda betesår valdes låglänta områden med högre marklavstäckning längre bort från anläggningen än under svåra år där höglänta områden med lägre marklavstäckning närmare anläggningen. Renarna rörde sig mer under medelsvåra och svåra vintrar närmare anläggningen. <i>Källa: Skarin m.fl. (2021).</i></p>
	<p>Studien visar att renarnas rörelsehastighet ökade med ökad ljudnivå från turbinerna. <i>Källa: Skarin m.fl. (2021).</i></p>
	<p>Resultaten visar att renarna valde områden längre bort från vindkraftsparken under goda och medelsvåra vinterbetesår. Under svåra och i viss uträkning även medelsvåra vinterbetesår valde renarna mer höglänt terräng närmare vindkraftsparken. Ljudnivån från anläggningen visade ingen signifikant effekt. Däremot rörde sig renarna mer under driftsfas jämfört med före och under byggfas. <i>Källa: Skarin m.fl. (2021).</i></p>
	<p>Renarnas rörelsehastighet ökade i närheten av vindkraftsanläggningen, men det kunde inte förklaras av ljudnivån. <i>Källa: Skarin m.fl. (2021).</i></p>
	<p>Renarna undvek anläggningen med 3 km (< 50% sannolikhet för användning av området inom 3 km) när de inte utfodrades och var frigående och parken var i drift. När djuren utfodrades var de närmare parken, men minskade användningen av områden där parken var synlig med 25% jämfört med perioden då de gick fritt. Undersökningen omfattar områden som ligger 0–10 km från parken. <i>Källa: Skarin m.fl. (2016).</i></p>

Tabell 1. Forts.

Studieområde	Årstid	Faser av vindkrafts- utbyggnad som studerades	Metod för datainsamling	Typ av beteende/ reaktion som undersöktes	
Vindkraftanläggningar barmark					
5. StorRotliden* (40 vindkraftverk)	Vinter – bra vinterbete	Före, under och efter byggperi- oden	GPS-data, 8-timmarsintervall under en period på 6 år	Undvikande	
	Vinter – dåligt vinterbete	Före och efter byggperioden	GPS-data, 8-timmarsintervall under en period på 3 år	Undvikande	
6. Ráikkoöearru (15 vindkraftverk)	Barmarks- perioden	Före (2 år), under (2 år) och efter byggfasen (5 år)	GPS-data, 3-timmarsintervall under en period på 9 år. Antal sändar- försedda djur 20–35/år	Undvikande	
7. Storliden och Jokkmoksliden* (8 +10 vindkraftverk)	Barmarks- perioden	Före, under och efter byggfasen	Spillnings- inventering 1 gång om året över en period på 6 år	Undvikande	
8. Jokkmoksliden* (10), Storliden (8), Ytterberg (22) & Åmliden (29 vind- kraftverk)	Barmarks- perioden	Före (2 år), under (2 år) och efter byggfasen (4 år)	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 8 år	Undvikande	
		Före (2 år), under (2 år) och efter byggfasen (4 år)	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 8 år	Rörelsemönster	
		Före (2 år), under (2 år) och efter byggfasen (4 år)	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 8 år	Ljudnivå	

Resultat och dokumenterade effekter	
Vindkraftanläggningar barmark	
	Under byggfasen sågs ingen effekt. Inte heller sågs någon effekt av avståndet till parken under driftsperioden. Under driftsfasen minskade dock renarnas användning med 5% i områden där parken är synlig och som ligger närmare än 25 km från den. Data från bygg och driftsperioden jämfördes med perioden innan utbyggnaden började. <i>Källa:</i> Skarin m.fl. (2016).
	Under driftsfasen sågs reducerad användning (4%) i områden där vindkraftparken inte var synlig (0–25 km). <i>Källa:</i> Skarin m.fl. 2016
	Minskad användning under och efter utbyggnad. Speciellt på regional skala 10–14 km). Habitat-användningsanalyserna visar upp till 25% undvikande inom 10–14 km avstånd om våren och hösten. Resultaten från sommaren visade ingen förändring, men vandringsmönstret har motverkats av renskötarna som drivit till renarna under sommaren. På platån finns det praktiskt taget ingen vegetation utan utgörs av blocksten, men intensivt använda områden finns på 2–3 km avstånd från vindkraftverken. <i>Källa:</i> Colman m.fl. 2020. Eftestøl m.fl. 2021.
	Den totala spillningstätheten minskade med 66% på Jokkmokksliden och 86% på Storliden inom en zon på 0–2 km, från vindkraftparken, medan habitat användningen (andelen spillning) närmast vindkraft parken ökade på Storliden i driftsfasen inom en zon på 0–2 km. Den totala spillningstätheten minskade med 61% inom 0–15 km från vindkraftparken, habitat användningen minskade nära vindkraftsparkerna. <i>Källa:</i> Skarin & Alam 2017
	Renarnas användning av betesområden där vindkraftverken var skymda ökade med 14 respektive 79% inom 1 och 5 km från anläggningarna på Storliden och Jokkmokksliden i jämförelse med perioden innan byggnation. Endast data 2 år av driftfas i denna studie. <i>Källa:</i> Skarin m.fl. 2018. Användningen av myrar minskade i genomsnitt med och 34% under kalvningsperioden och 21% under höstperioden 3 km från vindkraftsanläggningen under driftsfas jämfört med före och under byggfas. Under sommarperioden ökade däremot användningen med 22% inom 3 km under driftsfas jämfört med före och under byggfas. Undersökningen omfattade områden som ligger 0–30 km från vindkraftparken. Resultatet visar också på ett förändrat vandringsmönster förbi anläggningarna efter etablering. <i>Källa:</i> Skarin m.fl. 2021
	Under driftsfasen var renarnas rörelsehastighet 15% högre (mindre betesro) inom 4 km från vindkraftparken jämfört med perioden innan byggarbetet började. Undersökningen omfattar områden som ligger 0–30 km från anläggningen. Senare analyser visar att renarna rörde sig snabbare närmare anläggningarna under sommarperioden men inte under kalvning och höst då de tycks röra sig långsammare vid högre ljud. <i>Källa:</i> Skarin m.fl. (2018, 2021).
	Högre rörelsehastighet med högre ljudnivå från vindkraftverken under sommaren och vid högre björntäthet under driftsfas. Under hösten sågs också en ökad hastighet vid högre ljudnivå vid lägre järvtäthet under driftsfas. <i>Källa:</i> Skarin m.fl. (2021).

Tabell 1. Forts.

Studieområde	Årstid	Faser av vindkrafts-utbyggnad som studerades	Metod för datainsamling	Typ av beteende/reaktion som undersöktes	
Vindkraftanläggningar barmark					
9. Kjøllefjord* (17 vindkraftverk)	Barmarksperioden juni–oktober	Före (1 år), under (1 år) och efter byggfasen (4 år)	Direkta observationer 1 gång per månad under sommarhalvåret i 5 år	Undvikande	
		Byggfas (1 år) och driftsfas (4 år)	Registrering av mark användning genom spillningsinventering 1 gång per höst i 6 år	Undvikande	
		Byggfas (1 år) och driftsfas (4 år)	Direkta observationer 1 gång per månad under sommarhalvåret i 5 år	Barriär	
		Byggfas (1 år) och driftsfas (4 år)	Stegräkning under betning	Rörelsemönster	
10. Fakken* (18 vindkraftverk)	Barmarksperioden	Före (2,5 år), under (1,5 år) och efter byggperioden (1 år)	Direkta observationer 1 gång per månad i 7 år	Undvikande	
		Före (1 år) och under byggperioden (1,5 år)	Insamling av GPS-data under en period på 2,5 år	Undvikande	

Resultat och dokumenterade effekter	
	Vindkraftanläggningar barmark
	Renarna föredrog bra beten och det sågs ingen effekt på habitat användningen av vindkraftsparken. Undersökningen gjordes inom avstånd på 0–5 km från vindkraftsparken med ett kontrollområde 5–12 km från parken som referens. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2012; 2013).
	Utöver direkta observationer gjordes denna undersökning inom samma områden. Inga effekter av vindkraftsparken sågs, med undantag för tillfartsvägen i låglänta betesområden där en effekt påvisades inom 0–100 meter. Studien omfattade mark inom 0–5 km från parken + ett kontrollområde av motsvarande storlek. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2012, 2013).
	Västsidan av vindkraftsparkens "baksida" användes lika mycket eller mer än östsidan och kontrollområdena. Inga effekter påvisades i driftsfasen, men det fanns en svag tendens till barriär (färre korsningar på halvön med vindkraftsparken, men ingen signifikant skillnad) under byggfasen. <i>Källa:</i> Colman m.fl. 2012; Colman m.fl. 2013
	Renarna rörde sig med ca 50% färre steg inne i själva vindparken (< 500 meter) under betning i vindkraftsparken jämfört med längre bort. De rörde sig 20–30% snabbare på vindkraftshalvön än i kontrollområdet under byggåret. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2012, 2013).
	Den totala tätheten av renar i området jämfördes med ren tätheten i hela betesdistriktet. Inga negativa effekter påvisades på stor skala. Negativa effekter om vintern (22% reduktion) sågs inom 500 meter från vindkraftsparken under byggfasen. Habitat användningen inom 500 m från vindkraftsparken minskade, relativt sett, med ca 50% jämfört med före och efter uppförandet. Under driftsfasen konstaterades inga effekter. Undersökningarna gjordes inom avstånd på 0–4 km från parken. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014); Tsegaye m.fl. (2017).
	Lokalt minskade habitat användningen under vinter och vår, men inte på sommaren och bara delvis på hösten. Under den viktiga vinter säsongen minskade användningen av områden upp till 1 km, men bara den vinter då byggarbetet pågick aktivt (ett uppehåll gjordes under den första vintern). Under vintern med aktivt byggarbete minskade användningen i storleksordningen 60–70% jämfört med före byggfasen. Vi vill understryka att det på grund av den lilla mängden data från sista vintern (endast en ren) och skillnaderna i resultat mellan säsonger/år är osäkert vad som beror på naturlig variation respektive faktiskt undvikande. Inga effekter sågs på regional skala. Resultaten kan jämföras med resultaten från de direkta observationerna. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014); Tsegaye m.fl. (2017).

Tabell 1. Forts.

Studieområde	Årstid	Faser av vindkrafts-utbyggnad som studerades	Metod för datainsamling	Typ av beteende/reaktion som undersöktes	
Renar i hägn					
11. Vikna* vindkraftpark (5 vindkraftverk)	Inhäg-nads-studie på barmark	Driftsfas, tillfällig avstängning av vindkraftverk (5 veckor per år i 2 år)	Direkta observationer i inhägnad varje timme dagtid i 5 veckor under 2 år	Undvikande	
				Beteende (aktivitetsbyten och vaksamhet)	
Drivning genom vindkraftsanläggning					
12. Nygårdstjelllet*	Drivning till gärdes-anläggning, vinter	4 års driftsfas	Direkta observationer	Barriär	
Kraftledningar					
13. Essand* uppgradering från 300 kV till 420 kV-ledning	Barmarks-beten	Före (1 säsong), under (1 år) och efter (4 år)	Insamling av GPS-data under en period på 2,5 år	Undvikande	
14. Setesdal* Vesthei, vildren. 420 kV-ledning	Kalvnings-områden	Före (2 år) under (1 år) efter (5 år)	GPS-data	Undvikande	
		Före (2 år), under (1 år) och efter (5 år)	Direkta observationer	Undvikande	
15. Setesdalen aust*, vildren. 132 kV-ledning	Kalvnings-områden	Driftsfas (8 år)	GPS-data	Undvikande	
16. Ildgruben 420 kV-ledning	Året-runt-marker med fokus på vår, höst, vinter.	Efter byggfasen (7 år) + renskötarnas info. före byggfas	GPS-data, 2-timmarsintervall under en period på 7 år. Antal sändarförsedda djur 10–26/år	Undvikande/Barriär	

* Helt eller delvis ur rapporten *Vindkraft och renar* av Strand m.fl. (2018).

Källa: Strand m.fl. (2017), Eftestøl m.fl. (2021), Skarin m.fl. (2021) och Skarin m.fl. (2022).

Resultat och dokumenterade effekter	
	Renar i hägn
	Fördelningen av renar inom en inhägnad på 0–450 meter från ett vindkraftverk jämfördes under perioder då vindkraftverket var i drift respektive avstängt. Samma sak gjordes i en kontrollinhägnad längre bort (ca 3 km). Man såg inga negativa effekter på renarnas habitat användning, vare sig av själva vindkraftverket eller av rörelser/ljud från det. <i>Källa:</i> Flydal m.fl. (2004).
	Observationer i experimentinhägnad (0–450 meter) jämfördes med kontrollinhägnad. Ingen tydlig påverkan sågs vare sig av själva vindkraftverket eller av rörelser/ljud från det. <i>Källa:</i> Flydal m.fl. (2010).
	Drivning genom vindkraftsanläggning
	Inga negativa effekter på drivningen sågs, varken in till gärdes anläggningen eller ut från den. Vindkraftverken var avstängda. Drivningen till gärdes anläggningen gick fram till 500 meter från vindkraftparken, medan drivningen ut gick genom parken (ibland nattetid). <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014).
	Kraftledningar
	Negativa effekter konstaterades under alla tre säsongerna under byggperioden. 5–6 km om våren och 3,5 km om sommaren och hösten. Reduktionen var ca 10–15% och som störst närmast ledningen. Inga effekter konstaterades under driftsfasen. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014).
	I Setesdal vesthei använde renarna inte områdena vid sidan av ledningen (med undantag för en ren som kalvade precis under ledningen både före och efter men inte under utbyggnaden), utan var koncentrerade till området 4–8 km från den. Under byggfasen försköts tyngdpunkten något längre bort från ledningen. När det gäller Austhei var resultatet dock det omvända, dvs. att tyngdpunkten förflyttades lite närmare ledningen. Det gör det svårt att dra några slutsatser avseende byggfasen. Men varken i västra eller östra delen sågs några negativa effekter under driftsfasen. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014).
	Det fanns stora mängder renar i Ljosådalen samtliga år, också under byggfasen, men de flyttade sig längre in i dalen under byggperioden (i områdena 3–5 km minskade användningen i storleksordningen 50–60 %). Inga effekter under driftsfasen. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014).
	Studien gjord på vildrenar. Inga negativa effekter dokumenterades. Områdena intill 132 kV-ledning användes faktiskt mer än områden längre bort. <i>Källa:</i> Colman m.fl. (2014).
	Ledningen byggdes 1990 så det finns inga data över renarnas användning innan den byggdes vilket kan påverka resultatet. Några svaga negativa effekter med minskad användning av nära ledningen har dokumenterats, men även motsatta tendenser med ökad användning nära ledningen. Barriär-analyserna visar till synes svaga och otydliga effekter. Utifrån detta kan studien inte säga att resultatet styrker en allmän hypotes om negativ effekt på renarnas beteende och habitat användning vid direkt exponering av kraftledningar med användning av GPS-data. <i>Källa:</i> Eftestøl m.fl. (2021).

Fosen

Ett uppmärksammat rättsfall i vindkraftssammanhang är Fosen-domen (HR-2021-1975-S) i Norge. Efter en tio år lång rättsprocess ogiltigförklarade Högsta domstolen (Norges Høyesterett 2021) byggnationen av två vindkraftsanläggningar i Fosens renbetesdistrikt. De två vindkraftsanläggningarna på Storheia och Roan utanför Trondheim hann driftsättas innan domen föll i oktober 2021. Högsta domstolen menar att Norge kränkt samernas rätt till sin kultur enligt artikel 27 i FN:s konvention om medborgerliga och politiska rättigheter (ICCPR) och att tillstånden därmed ogiltigförklaras. Högsta domstolens bedömning var att vindkraftsparkerna försvårar renskötseln i området och därmed påverkar den samiska kulturen i området i för stor grad.

Skarin m.fl. (2022) och Eftestøl m.fl. (2021) som analyserat användningen av vinterbetesmarkerna och konsekvenserna av vindkraftsanläggningar i Nord-Fosen sijte (den norra renbetesgruppen i Fosens renbetesdistrikt) konstaterar att det var ett viktigt vinterbetesområde med en hög nyttjandegrad innan anläggningarna etablerades, och att nyttjandet avsevärt minskat under anläggnings- och driftfasen. Baserat på GPS-data från åtta vintrar beräknades att halva renhjorden nyttjade området innan vindkraftsetableringen, medan ingen av de GPS-märkta renarna besökte området under året efter etablering (Skarin m.fl. 2022). Efter ytterligare ett års driftsfas konstaterades att vindkraftsutbyggnaden med därtill hörande infrastruktur gett en betydande negativ effekt på renarnas möjligheter att nyttja området (Eftestøl m.fl. 2021). I Nord-Fosen befaras att merparten av vinterbetesområdet väster om fylkesväg 715 inte längre kommer att kunna nyttjas eller att det kommer att krävas särskilda åtgärder för att det ska kunna nyttjas. Detta leder till ett högre betestryck i öst och gör att den naturliga betesgången där man roterar mellan olika betesområden över tid går förlorad.

Artikel 27 ICCPR säger att "I de stater där det finns etniska, religiösa eller språkliga minoriteter, ska de som tillhör sådana minoriteter inte förvägras rätten att i gemenskap med andra medlemmar av sin grupp ha sitt eget kulturliv, bekänna sig till och utöva sin egen religion och använda sitt eget språk." Detta är första gången domstolen tillämpar artikel 27 ICCPR på ett sätt som inte gjorts tidigare. Artikel 27 ICCPR har ännu inte tillämpats i Sverige, men det finns ingen anledning att tro att svenska domstolar gör en annan bedömning av artikel 27 ICCPR än vad Norges domstolar har gjort.

Diskussion

Storskalig vindkraftsutbyggnad i renskötselområdet i Sverige ger upphov till en svårbalanserad målkonflikt mellan å ena sidan behovet och efterfrågan på förnybar energi och å andra sidan respekten för samiska rättigheter och upprätthållandet av den samiska kulturen. För att förstå hur renskötseln påverkas av landbaserad vindkraft behövs kunskap om såväl renskötsel som alla de faktorer som påverkar renskötseln. Den genomgång av forskningsläget som gjorts här visar att vindkraftsetableringar sammantaget har en negativ påverkan på renarnas livsbetingelser och därmed på renskötseln. Förutsättningarna för renskötsel påverkas därutöver också direkt eller indirekt av en rad andra faktorer. Renskötseln är redan idag hårt pressad från konkurrerande markanvändning, vilka tillsammans skapar kumulativa effekter där effekterna av flera olika markanvändare kan förvärras av varandra. Detta minskar renskötselns anpassningsförmåga och möjligheter till klimatanpassning. Det skapar också en ökad konkurrens om kvarstående betesresurser, såväl inom som mellan samebyar. När betesmarkerna inte längre räcker till tvingas renskötare till sist att upphöra med renskötseln.

Hur renarna påverkas av vindkraftsetableringar varierar mellan år och säsonger. Tidigare studier har visat att renar reagerar olika mycket på störningar beroende av årstid (Anttonen m.fl. 2011). Under kalvningsperioden och försommaren påverkas både val av betesområde och betesron negativt av vindkraftsanläggningarna. Vajan och kalven är extra känsliga för yttre störningar under denna period, eftersom vajan har stort behov av lugn och ro för att kunna ta hand om och knyta an till kalven (Pinard m.fl. 2012, Espmark 1971). Troligen är detta orsaken till att renarna setts minska användningen av öppna områden i Malå skogssameby under denna period. På öppna områden finns inga träd som hindrar ljudet från att spridas i samma utsträckning, vilket i sin tur gör det svårare att höra rovdjuren. Under kalvningsperioden är kalvar som dödas av björn ett särskilt stort problem (Karls-son m.fl. 2012; Sivertsen 2017; Tallion m.fl. 2023), eftersom renkalvarna är ett lätt byte för rovdjuren. Renarna behöver därför ha möjlighet att både se och höra om det kommer rovdjur (Altendorf m.fl. 2001). Renarna har också, som alla flyktdjur, ett brett synfält. De är därför känsliga för rörelser i omgivningen (Heesy 2004), vilket innebär att de kan störas av att rotorbladen rör sig i horisonten och på närmare håll när vindkraftverkens rotorblad ger långa rörliga skuggor på marken.

Renarna lever i en dynamisk miljö som påverkas av väder och vind, betesförhållanden, rovdjur och insekter. Under perioder med insektsstörningar på sommaren kan det till exempel vara viktigare att fly undan insekter än att fly från mänsklig aktivitet och infrastruktur (Pollard m.fl. 1994, Skarin m.fl. 2004). Det kan också förklara varför renarna hellre

använder områden nära vindkraftsanläggningarna i Malå under sommaren, där det finns breda grusvägar och öppna områden som kan erbjuda insektsfria områden, men inte under andra perioder. Vintertid visar studierna kring Glötesvålen och Mullbergs vindkraftsanläggningar i Mittådalen och Tåssåsens samebyar att renarna vistas närmare anläggningen när det är hög täthet av järv. Djuren verkar här ha gjort en avvägning där det är viktigare att fly undan rovdjur än att undvika vindkraftsanläggningen. Liknande scenario kan tänkas under svåra betesförhållanden på vintern, då minskar troligen effekten av störningen om bra bete erbjuds nära störningskällan (Eftestøl m.fl. 2021). Risken med att använda dessa områden är dock att djuren är mer oroliga och att betesron försämras om djuren tvingas uppehålla sig närmare anläggningarna än vad de annars skulle gjort, vilket också kunde konstateras i Tåssåsens sameby vid Mullbergs anläggning (Skarin m.fl. 2021).

Om renarna rör sig och sprider ut sig mer leder det till merarbete för renskötarna, framförallt på vinterbetesområdet, eftersom det kan leda till att renarna lämnar det område som var tänkt att nyttjas. Risken är då stor att det sker sammanblandningar av renar mellan olika vinterbetesgrupper och mellan samebyar, vilket leder till att relationerna inom och mellan samebyar bli mer ansträngda. Renar kommer in på jordbruksmark eller ut på vägar, vilket påverkar relationen till lokalbefolkningen.

Klimatförändringarna kommer i sig att förändra hur renskötelsen bedrivs. Flyttvägar behöver dras om när isen på sjöar och vattendrag inte längre håller för förflyttningar. Kortare snösäsong i vinterbeteslanden medför färre dagar med snötäckt mark, vilket kommer att krympa vinterbetesmarkerna ytterligare (Länsstyrelsen Norrbotten 2021). För renskötelsens klimatanpassning är en minskad sårbarhet genom ökad flexibilitet en nyckelfaktor, till exempel genom tillgång till alternativa betesområden när betet blir låst vintertid (Sameetinget 2023). De höglänta områdena är extra viktiga betesområden för renarna under svåra vintrar, eftersom de kan erbjuda bra bete vid tidpunkter då marklavsbetet är låst under skare och is lägre ner i terrängen (Skarin m.fl. 2021). Höglänta områden blir därför allt viktigare i och med klimatförändringar och renskötelsens möjligheter till klimatanpassning. Generellt sett har också de höglänta områdena haft ett mindre intensivt skogsbruk och en högre andel hänglavsskogar och därigenom bidragit till ökad betesro (Skarin m.fl. 2021). Från renskötelsens och renens perspektiv är det därför viktigt att en vindkraftsetablering inte också leder till ett intensifierat skogsbruk på samma plats. De återstående hänglavs- och gammelskogarna är mycket viktiga betesområden särskilt under vintrar med svåra betesförhållanden (Horstskotte m.fl. 2014) och under heta sommardagar när renarna behöver svalka. Vindkraft anläggs nästan uteslutande i dessa klimatrefuger inom renskötselområdet. Det minskar renskötelsens möjlighet att hitta flexibla lösningar genom att landskapet fragmenteras, barriär- /undvikande effekter skapas och betesron minskar. Vindkraft som ska avhjälpa klimatförändringarna, medför därmed i stället att renskötelsen drabbas dubbelt av effekten av klimatförändringarna. Dels genom att vintrarna blir allt svårare, dels av att den direkta markförlusten av en vindkraftsetablering sker på de områden som blivit viktigare för renskötelsen i ett förändrat klimat.

Framtida påverkan av vindkraft

Sveriges riksdags mål för energipolitiken är att år 2040 ska 100 procent av elproduktionen vara fossilfri. Riksdagens energimål ger därmed en tydlig signal om ett fortsatt högt exploateringsstryck från såväl vindkraft som gruvindustri och skogsbruk. För renskötsel innebär detta ytterligare minskade betesarealer, minskad flexibilitet och ökad konkurrens inom och mellan samebyar. Ytterligare utbyggnad av flera stora vindkraftsanläggningar kommer att drabba samebyarnas betesmarker och försvåra fortlevnaden för den traditionella renskötseln i dessa områden.

Enligt de beräkningar som Energimyndigheten gjort producerades det drygt 33 TWh vindkraft under 2022 och av dessa producerades 17 TWh i de fyra nordligaste länen. Vindkraftsproduktionen motsvarar ungefär 19 procent av Sveriges totala elproduktion. Enligt siffror från de projekt som pågår i Norrbotten kring den gröna omställningen och produktionen av fossilfri järnsvamp och stål behöver Sverige producera ytterligare 70 TWh el per år. Projekten beskriver det som att vindel är den bästa lösningen för att få till den fossilfria elproduktionen, vilket skulle innebära att ytterligare 8000–13000 vindkraftverk (beroende på storlek och förväntad produktion) behöver uppföras i anslutning till dessa projekt. Vindkraftsanläggningen i Markbygden utanför Piteå är en av Europas största med tillstånd för 1 101 verk på en yta av 450 kvadratkilometer. Enligt Svevind beräknas Markbygden när det är fullt utbyggt att leverera upp till 12 TWh per år. Vid ett antagande att det behövs ytterligare 70 TWh landbaserad vindel för stål- och järnsvampsprojekten projekten behövs ytterligare sex till sju områden av Markbygdens storlek. Det skulle innebära att ungefär 3000 km² mark tas i anspråk, en yta lika stor som Gotland, men uppsplittrad över flera områden. Om detta skulle installeras i renskötselområdet innebär det att produktionen här skulle mer än fyrdubblas jämfört med idag.

I Norrbotten finns redan planer på ytterligare utbyggnad av vindkraft i Storlandet i Gällivare skogssameby. Där har Vattenfall ansökt om att anlägga vindkraft inom deras året-runt marker på viktiga kalvningsområden. Projekteringsområdet är nästan lika stort som Markbygdens projekteringsområde, 414 km², men här planeras för 373 vindkraftverk och inte 1101 som i Markbygden, dock är det planerade effektuttaget för dessa verk beräknat till 10 TWh per år. Området omfattar ungefär 11 procent av samebyns året-runt marker. Enligt samrådshandlingar från 6 mars 2023, kommer verken att spridas ut över de skogbeklädda ytorna och myrområden kommer inte att bebyggas. Det innebär ändå att de värdefulla myrområden som renarna är i särskilt behov av under kalvningsperioden kommer att omgärdas av vindkraftverk och bli synliga här. Studierna från Malå sameby visar på ett tydligt undvikande och en sämre betesro under hela kalvningsperioden efter att vindkraft hade etablerats i området (Skarin m.fl. 2018, Skarin m.fl. 2021). Innan anläggningarna anlades rörde sig renarna till synes obehindrat över dessa berg på sin vandring västerut, men åtta år senare hade dessa förflyttningar nästan helt upphört (Skarin m.fl. 2021).

Där har totalt 69 vindkraftverk uppförts, som är betydligt lägre än de nya som planeras i Storlandet. Om dessa planer blir verklighet kommer renarna i detta projekteringsområde att få stora problem att hitta bra betesmark där de kan beta i lugn och ro, med förmodad negativ effekt på produktionen och den traditionella renskötseln i samebyn.

Det finns inga undersökningar på hur dessa större verk påverkar renarna, men rimligtvis kommer de att synas och höras över större ytor än de mindre anläggningarna i exempelvis Malå sameby (Skarin m.fl. 2021). Vindkraftverkens höjd har i studierna varierat mellan 125 meter och 149 meter, medan det i nyare ansökningar är aktuellt med verk som är 220–280 meter höga. De hittills studerade vindkraftsanläggningarna är också relativt små till ytan 7–15 km² i jämförelse med de senaste projektområdena såsom Storlandet och Markbygden på över 400 km² vardera. Dessa skillnader i både höjd och areal tillsammans med varje enskild samebys unika förutsättningar, gör det svårt att överföra mått av påverkan vid vindkraftsetableringar från en etablering till en annan. Men det torde vara klart att högre verk i större områden har en ännu större negativ påverkan.

Kompensationsåtgärder

Utfodring lyfts ofta som en möjlighet för kompensation av förlorat bete. Detta strider dock mot den traditionella renskötseln som bygger på naturligt bete. Det är brukandet av markerna som upprätthåller rättigheterna och slutar markerna att nyttjas går inte bara rätten förlorad utan också viktig traditionell kunskap om renen, naturen och språket då kunskap inte förs vidare till nästa generation. Utfodring medför en hög ekonomisk- och arbetsmässig börda för rensköterna. Det kräver också relativt stora ytor för att minimera riskerna för smittspridning av bland annat ögoninfektioner och nekrobacillos (Åhman m.fl. 2022). Stödutfodring kan ses som en konsekvens av klimateffekten och kan vara nödvändig lösning på kort sikt vid beteskriser (Horstkotte m.fl. 2020). Hur utfodring påverkar renarnas framtida förmåga att hitta och nyttja det naturliga betet har undersökts i forskningsprojektet Reinfeed.⁴ Resultaten från projektet visar att renar som varit på naturbete varje vinter i livet hade en större sannolikhet att finna lavrika beten nästkommande vinter till skillnad från de som blivit utfodrade under sin första levnadsvinter (Rautiainen 2024). Ökad användning av foder belastar också miljön ytterligare genom framställning och transporter. Utfodring förändrar renköttets sammansättning, vilket gör att det förlorar sitt höga innehåll av fleromättade fettsyror till skillnad från kött från renar som gått på naturligt bete (Wiklund & Malmfors 2000). En ökad utfodring förändrar därmed också renköttets kvalitet.

⁴ <https://www.slu.se/en/faculties/vh/research/forskningsprojekt/ren/reinfeed/>.

Östra Kikkejaure sameby har till följd av etableringen i Markbyggen tvingats till stora förändringar i sin renskötsel (Skarin m.fl. 2021, Darle & Lindqvist 2020). Både genom att flytten från barmarks- till vinterbetet sker till nya platser och med lastbil samt att renarna numera utfodras större delen av vintern, vilket finansieras av vindkraftsbolagens ersättningar. Gabrielbergets vindkraftsanläggning, är ett annat exempel där renarna numera behöver stödutfodras under hela vintern. De kan inte längre använda det naturliga vinterbetet uppe på berget utan intensiv bevakning (Skarin m.fl. 2016).

Kompensationsåtgärder som underlättar användningen och förbättrar tillgång på bete på betesmarkerna skulle kunna vara mer långsiktiga än idag. Detta skulle exempelvis kunna vara att bolagen ersätter kostnader för GPS-halsband och drift av dessa eller bekostar annan utrustning som kan underlätta skötseln av renarna. Något som inte har prövats är att förbättra vandringsvägar mellan betesområden genom att bygga och bekosta ekodukter, eller renodukter, över vägar och järnvägar inom den drabbade samebyn. Skogsvårdsåtgärder i andra delar av betesområdet som förbättrar tillgång på vinterbete i skogen är en annan kompensation som skulle kunna underlätta för renskötseln. Problemet med kompensationer som rör andra markanvändare är dock att det inte bara är vindkraftsbolagen som från början har orsakat den egentliga skadan på betesmarken utan som här även skogsbruket. Det behövs därför styrmedel och mekanismer som samordnar och utvärderar hur kompensationsvillkor kan utformas på ett bra sätt.

Renskötarna är experterna på renskötsel och behöver involveras tidigt i planeringen för att undvika att vindkraft byggs ut i områden som är viktiga för renskötseln. Nya etableringar behöver planeras och projekteras med noggrannhet och försiktighet för att inte ytterligare försämra de betesmarker som är renskötselns centrala resurs (Cambou m.fl. 2021). För att undvika ett ytterligare fall som Fosen där högsta domstol beslutat att vindkraftsanläggningar ska monteras ner är det viktigt att Miljökonsekvensbeskrivningar (MKB) görs med kunskap om och förståelse för renskötseln och den samiska kulturen för att få till ett bra beslutsunderlag. Svenska samernas riksförbund (2010) förespråkar att en fördjupad MKB tas fram som innehåller både beskrivningar och konsekvenser för renskötseln och annan markanvändning genom att inkludera landskapsperspektivet, samiskt kulturarv, sociala aspekter samt *Árbediehtu* /traditionell samisk kunskap. För att bilden av påverkan ska bli rättvisande behöver effekterna av vindkraft ses i ljuset av de rättigheter samerna har som folk, urfolk och minoritet. Det är också av stor vikt att fullt ut stödja samebyarnas arbete i tillståndsprocesserna. Samebyarna behöver stöd, resurser och ersättning för nerlagd tid för att ha möjlighet att hantera alla markanvändares tillståndsansökningar och projekt.

Slutsatser

I linje med energipolitikens mål finns det fortsatt ett stort fokus på utbyggnad av förnybar energi i Sverige, vilket redan givit och kommer att fortsätta ge betydande negativa effekter på renskötseln. Vindkraftsetableringarna tar stora arealer i anspråk och skapar tillsammans med andra exploateringar och påverkansfaktorer ett fragmenterat landskap.

I den här litteraturgenomgången visar resultaten att renar och renskötsel påverkas negativt av vindkraftsutbyggnad både under vintern och barmarkspannerioden. Graden och arten av påverkan varierar över året i ett komplext samspel med andra påverkansfaktorer. Vindkraftsetableringar påverkar renskötselarbetet och minskar möjligheterna att nyttja betesmarkerna på ett optimalt sätt. Ett tydligt problem med vindkraft i vinterbetesområdet i Sverige är att etableringarna sker i höglänta områden. Dessa områden är särskilt viktiga för renskötseln under svåra vinterbetesförhållanden när betet är låst lägre ner i terrängen. Sådana förhållanden förväntas bli allt vanligare till följd av klimatförändringarna. Under barmarkssäsongen påverkas renarnas betesro negativt under kalvningsperioden och högsommaren och de väljer bort bra betesområden nära vindkraftsanläggningarna både under kalvningsperioden och hösten. Det påverkar renarnas möjlighet att bygga upp sina energiförråd inför vintern och kan få till följd att de inte klarar överlevnaden under vintern lika bra, speciellt om det blir en vinter med svåra vinterbetesförhållanden.

För att bedöma den sammantagna effekten av vindkraftsetableringar räcker det inte att enskilt studera de direkta effekterna av vindkraft. Det är nödvändigt att även beakta alla de kumulativa effekter som i nästa steg orsakas av de konkurrerande verksamheter som växer fram. Dessa sammantagna effekter måste ställas mot renskötselrätten och de rättigheter som samerna åtnjuter som folk, urfolk och minoritet.

Referenser

- Altendorf, K. B., Laundre, J. W., Gonzalez, C. A. L. & Brown, J. S. (2001). Assessing effects of predation risk on foraging behavior of mule deer. *Journal of Mammalogy*, 82, 430–439
- Anttonen, M., Kumpula, J. & Colpaert, A. (2011). Range selection by semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus*) in relation to infrastructure and human activity in the boreal forest environment, northern Finland. *Arctic*, 64, 1–14.
- Ballinger, T. J., Overland, J. E., Wang, M., Walsh, J. E., Brettschneider, B., Thoman, R. L., Bhatt, U. S., Hanna, E., Hanssen-Bauer, I. & Kim, S. J. (2022). *Surface Air Temperature*. NOAA Technical Report OAR ARC; 22-02. <https://doi.org/10.25923/13qm-2576>
- Baskin, L. M. & Hjalten, J. (2001). Fright and flight behavior of reindeer. *Alces*, 37, 435–445.
- Cambou, D., Sandström, P., Skarin, A. & Borg, E. (2021) Reindeer husbandry vs. wind energy: analysis of the Pauträsk and Norrbäck court decisions in Sweden. I *Indigenous Peoples, Natural Resources and Governance: Agencies and Interactions*. New York, NY: Routledge.
- Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K. & Myrsetrud, A. (2012). Is a wind-power plant acting as a barrier for reindeer movements? *Wildlife Biology*, 18, 439–445.
- Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K. & Myrsetrud, A. (2013). Summer distribution of semi-domesticated reindeer relative to a new wind-power plant. *European Journal of Wildlife Research*, 59, 359–370.
- Colman J. E., Eftestøl, S., Tsegay, D., Flydal, K., Lilleeng, M., Rapp, K. & Røthe, G. (2014). *Sluttrapport VindRein og KraftRein. Effekter fra vindparker og kraftledninger på fritt-gående tamrein og villrein. Delprosjektene Kjøllefjord, Essand, Fakken og Setesdal*. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo, og Institutt for Naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Colman, J. E., Eftestøl, S., Tsegaye, D. & Flydal, K. (2020). *Sluttrapport. Råkoöearrvindeparks effekter på reinens arealbruk og den lokale reindriften*. Institutt for biovitenskap, Universitetet i Oslo, og Institutt for Naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.
- Darle, M. & Lindqvist, S. (2020) *Östra Kikkejaure sameby och vindkraftparken Markbygden: En fallstudie om vindkraftparken Markbygdens påverkan på och samverkan med Östra Kikkejaure sameby*. Student thesis. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:uu:diva-415314>

- Eftestøl, S., Tsegaye, D., Flydal, K. & Colman, J. E. (2018). Forprosjekt – muligheter for å studere virkninger av UV-lys fra kraftledninger på reinsdyrs arealbruk. Refererad i Eftestøl m.fl. (2021).
- Eftestøl, S., Flydal, K., Tsegaye, D. & Colman, J. E. (2019). Mining activity disturbs habitat use of reindeer in Finnmark. *Northern Norway Polar Biology*, 42, 1849–1858.
- Eftestøl, S., Tsegaye, D., Alemu, D., Flydal, K. & Colman, J. E. (2021). Markkonflikter mellan vindkraft och renskötsel. Rapport 7012. Vindval, Naturvårdsverket.
- Espmark, Y. (1971). Mother-young relationship and ontogeny of behaviour in reindeer (*Rangifer tarandus* L.). *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 29, 42–81.
- Flydal, K., Reimers, E., Colman, J. E. & Eftestøl, S. (2004). Effects of wind turbines on area use and behaviour of semi-domestic reindeer in enclosures. *Rangifer*, 24(2), 55–66.
- Flydal, K., Tsegaye, D., Eftestøl, S., Reimers, E. & Colman, J. E. (2019) Rangifer within areas of human influence: understanding effects in relation to spatiotemporal scales *Polar Biology*, 42 1–16
- FN:s konvention om mänskliga rättigheter. Regeringskansliet (2011). Artikelnummer: A11.017. s. 16. <https://www.regeringen.se/globalassets/regeringen/bilder/kulturdepartementet/demokrati-och-mr/mr-sidorna/fns-konventioner-om-manskliga-rattigheter.pdf>
- Heldin, J. O., Jung, J., Neumann, W., Olsson, M., Skarin, A. & Widemo, F. (2012). *The Impacts of Wind Power on Terrestrial Mammals*. Rapport 6510. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Helle, T., Hallikainen, V., Sarkela, M., Haapalehto, M., Niva, A. & Puoskari, J. (2012). Effects of a holiday resort on the distribution of semi-domesticated reindeer. *Annales Zoologici Fennici*, 49(1–2), 23–35.
- Heesy, C. P. (2004). On the relationship between orbit orientation and binocular visual field overlap in mammals. *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology*, 281A(1), 1104–1110.
- Horstkotte, T., Lépy, É., Risvoll, C., m.fl. (2020). Stödutfodring i renskötseln – resultat från en workshop mellan renskötare och forskare från Norge, Sverige och Finland. Umeå universitet. Stödutfodring i renskötseln (sametinget.se).
- Horstkotte, T., Sandström, C. & Moen, J. (2014). Exploring the multiple use of boreal landscapes in northern Sweden: The importance of social-ecological diversity for mobility and flexibility. *Human Ecology*, 42(5), 671–682.

- Horstkotte, T, Kumpula, J., Sandström, P., m.fl. (2022). Pastures under pressure: Effects of other land users and the environment. In T. Horstkotte, Ø. Holand, J. Kumpula & J. Moen (red.), *Reindeer Husbandry and Global Environmental Change: Pastoralism in Fennoscandia* (s. 76–98). New York, NY: Routledge.
- Horstkotte, T., Sandström, P., Neumann, W., Skarin, A., Adler, S., Roos, U. & Sjögren, J. (2023). Semi-domesticated reindeer avoid winter habitats with exotic tree species: *Pinus contorta*. *Forest Ecology and Management*, 540, 121062.
- Johnson, C. J. (2016). Defining and identifying cumulative environmental, health, and community impacts. I M. Gillingham, G. Halseth, C. Johnson & M. Parkes (red.), *The Integration Imperative*. Cham: Springer.
- Karlsson, J., Støen, O.-G., Segerström, P., Stokke, R., Persson, L.-T., Stokke, L.-H., Persson, S., Stokke, N., Persson, A., Segerström, E., Rauset, G.-R., Kindberg, J., Bischof, R., Sivertsen, T. R., Skarin, A., Åhman, B., Ängsteg, I. & Swenson, J. (2012). *Björnpredation på ren och potentiella effekter av tre förebyggande åtgärder*. Rapport från Viltskadecenter. Riddarhyttan: Viltskadecenter, SLU.
- Kløcker Larsen, R., Raitio, K., Sandström, P., Skarin, A., Stinnerbom, M., Wik-Karlsson, J., Sandström, S., Österlin, C. & Buho, Y. (2016). *Kumulativa effekter av exploatering på renskötsel. Vad behöver göras inom tillståndsprocesser*. Rapport 6722. Stockholm: Vindval, Naturvårdsverket.
- Kløcker Larsen, R., Skarin, A., Stinnerbom, M., Vannar, J., Alam, M., Kuhmunen, M., Lawrence, R., Nygård, J., Raitio, K., Sandström, P., Sandström, S., Stinnerbom, J., Wik-Karlsson, J. & Österlin, C. (2020.) *Omtvistade landskap – Navigering mellan konkurrerande markanvändning och kumulativa effekter*. Rapport 6908. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Knight, R. L. & Cole, D. N. 1995. Factors that influence wildlife responses to recreationists. I R. L. Knight & H. K. Cordell (red.), *Wildlife and Recreation: Coexistence through Management and Research*. Washington D.C.: Island Press.
- Länsstyrelsen Norrbotten (2021). *Snö i framtida klimat. Rapport för våra sju nordligaste län*. Rapport nr 1/2021. Luleå.
- Löf, A., Sandström, P., Stinnerbom, M., Baer, K. & Sandström, C. (2012). Renskötsel och klimatförändring. Forskningsrapport nr 4/2012. Statsvetenskapliga institutionens skriftserie, Umeå universitet.
- Nellemann, C., Vistnes, I., Jordhoy, P. & Strand, O. (2001). Winter distribution of wild reindeer in relation to power lines, roads and resorts. *Biological Conservation*, 101, 351–360.

- Nieminen, M. (2012). Response distances of wild forest reindeer (*Rangifer tarandus fennicus* Lönnb.) and semi-domestic reindeer (*R. t. tarandus* L.) to direct provocation by a human on foot/snowshoes. *Rangifer*, 33, 1–15.
- Norges Høyesteretts dom 11. oktober 2021, HR-2021-1975-S (sak nr. 20-143891SIV-HRET, sak nr. 20-143892-SIV-HRET og sak nr. 20-143893SIV-HRET).
- Pinard, V., Dussault, C., Ouellet, J.-P., Fortin, D. & Courtois, R. (2012). Calving rate, calf survival rate, and habitat selection of forest-dwelling caribou in a highly managed landscape. *Journal of Wildlife Management*, 76(1), 189–199.
- Pollard R. H., Ballard W. B., Noel L. E. & Cronin M. A. (1996). Parasitic insect abundance and microclimate of gravel pads and tundra within the Prudhoe Bay oil field, Alaska, in relation to use by Caribou, *Rangifer tarandus granti*. *Canadian Field-Naturalist*, 110, 649–658.
- Prop. 1985/86:3. Regeringens proposition 1985/86:3 med förslag till lag om hushållning med naturresurser m.m. <https://data.riksdagen.se/fil/6665c18d-3cf8-4122-b5dafdd3f5a844bd>
- Rantanen, M., Kerpechko, A. Y., Lipponen, A., Nordling, K., Hyvärinen, O., Ruosteenoja, K., Vihma, T. & Laaksonen, A. (2022). The Arctic has warmed nearly four times faster than the globe since 1979. *Communications Earth & Environment (nature.com)*, 3, nr 168.
- Rautiainen, H., (2024). *Effects of Winter-Feeding on Reindeer's Future Ability to Utilize Natural Pastures*. Doktorsavhandling. Uppsala: Sverige lantbruksuniversitet, SLU.
- Reimers, E. & Colman, J. E. (2006). Reindeer and caribou (*Rangifer tarandus*) response towards human activities. *Rangifer*, 26, 55–71.
- Roturier, S. & Roué, M. (2009). Of forest, snow and lichen: Sámi reindeer herders' knowledge of winter pastures in northern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 258, 1960–1967.
- Sametingets handlingsplan för klimatanpassning (2023). <https://www.sametinget.se/klimat/handlingsplan>
- Sandström, P., Cory, N., Svensson, J., Hedenås, H., Jougda, L. & Borchert, N. (2016). On the decline of ground lichen forests in the Swedish boreal landscape: Implications for reindeer husbandry and sustainable forest management. *Ambio*, 45, 415–429.
- Sivertsen, T. R. (2017). Risk of brown bear predation on semi-domesticated reindeer calves: Predation patterns, brown bear–reindeer interactions and landscape heterogeneity. Doktorsavhandling. Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet.

- Skarin, A. & Alam, M. (2017). Reindeer habitat use in relation to two small wind farms, during preconstruction, construction and operation. *Ecology and Evolution*, 7(11), 3870–3882.
- Skarin, A., Danell, Ö., Bergström, R. & Moen, J. (2004). Insect avoidance may override human disturbances in reindeer habitat selection. *Rangifer*, 24, 95–103.
- Skarin, A., Danell, O., Bergstrom, R. & Moen, J. (2008). Summer habitat preferences of GPS-collared reindeer *Rangifer tarandus tarandus*. *Wildlife Biology*, 14, 1–15
- Skarin, A. & Åhman, B. (2014). Do human activity and infrastructure disturb domesticated reindeer? The need for the reindeer's perspective. *Polar Biology*, 37, 1041–1054.
- Skarin, A., Nelleman, C., Rönnegård, L., Sandström, P. & Lundqvist, H. (2015). Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors. *Landscape Ecology*, 30(8), 1527–1540.
- Skarin, A., Sandström, P., Alam, M., Buhot, Y. & Nellemann, C. (2016). Renar och vindkraft II – Vindkraft i drift och effekter på renar och renskötsel. (294). Institutionen för husdjurens utfodring och vård, Sveriges lantbruksuniversitet.
- Skarin, A., Sandström, P. & Alam, M. (2018). Out of sight of wind turbines – Reindeer response to wind farms in operation. *Ecology and Evolution*, 8(19), 1–14.
- Skarin, A., Sandström, P., Brandão Niebuhr, B., Alam, M. & Adler, S. (2021). *Renar, renskötsel och vindkraft: vinter- och barmarksbete*. Rapport nr 7011. Stockholm: Vindval, Naturvårdsverket.
- Skarin, A., Brandão Niebuhr, B., Sandström, P. & Tømmervik, H. (2022). Den ekologiska bevisföringen i Fosenmålet – Analys av renens användning av vinterbetesmarkerna och konsekvenser av vindkraftutbyggnad. *Tidskriftet Utmark*, nr 1, 19–27.
- Skogsstyrelsen (2019). *Klimatanpassning av skogen och skogsbruket – mål och förslag på åtgärder*. Rapport nr 23/ 2019. Jönköping.
- Strand, O., Colman, J. E., Eftestøl, S., Sandström, P., Skarin, A. & Thomassen, J. (2018). *Vindkraft och renar – En kunskapssammanställning*. Rapport nr 6799. Stockholm: Vindval, Naturvårdsverket.
- Stokkan, K-A., Folkow, L., Dukes, J., Neveu, M., Hogg, C., Siefken, S., Dakin, S. C. & Jeffery, G. (2013). Shifting mirrors: Adaptive changes in retinal reflections to winter darkness in Arctic reindeer. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 280.
- Svenska Samernas Riksförbund (2010). Samisk markanvändning och MKB.

- Tsegaye, D., Colman, J. E., Eftestøl, S., Flydal, K., Røthe, G. & Rapp, K. (2017). Reindeer spatial use before, during and after construction of a wind farm. *Applied Animal Behaviour Science*, 195, 103–11.
- Tyler, N., Stokkan, K.-A., Hogg, C., Nellemann, C., Vistnes, A.-I. & Jeffery, G. (2014). Ultraviolet vision and avoidance of power lines in birds and mammals. *Conservation Biology* 28(3), 630–631.
- Vistnes, I. & Nellemann, C. 2001. Avoidance of cabins, roads, and power lines by reindeer during calving. *Journal of Wildlife Management*, 65(4), 915–925.
- Vistnes, I. & Nellemann, C. 2008. The matter of spatial and temporal scales: A review of reindeer and caribou response to human activity. *Polar Biology*, 31, 399–407.
- Walsh, J. E., Ballinger, T. J., Euskirchen, E. S., Hanna, E., Mård, J., Overland, J. E., Tangen, H. & Vihma, T. (2020). Extreme weather and climate events in northern areas: A review. *Earth-Science Reviews*, 209, 103324.
- Wiklund, E. & Malmfors, G. (2000). Renar på naturbete. Viltsmakande kött med fleromättat fett. SLU: *Fakta Jordbruk*, nr 8.
- Åhman, B., Turunen M., Kumpula J., m.fl. (2022). Role of supplementary feeding in reindeer husbandry. In T. Horstkotte, Ø. Holand, J. Kumpula & J. Moen (red.), *Reindeer Husbandry and Global Environmental Change: Pastoralism in Fennoscandia* (s. 76–98). New York, NY: Routledge.

Hemsidor

- Energimyndigheten 2023-05-03, <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2023/fortsatt-snabb-utbyggnad-av-vindkraften-kravs-for-omstallning/>.
- Energimyndigheten statistikdatabas 2023-05-10, https://pxexternal.energimyndigheten.se/pxweb/sv/Vindkraftsstatistik/Vindkraftsstatistik/EN0105_3.px/.
- Svevind, <https://svevind.se> 2023-05-03.
- Regeringen: Mål för energipolitiken, <https://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/mal-och-visioner-for-energi/> 2023-05-03.
- Naturskyddsföreningen, <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/vanliga-myter-om-vindkraft/> 2023-05-04.
- Sametinget, <https://www.sametinget.se/statistik/renhjorden> 2023-06-27.
- Vattenfall, <https://group.vattenfall.com/se/var-verksamhet/vindprojekt/storlandet> 2023-06-21.

Om författarna

Mirja Lindberget är utbildad husdjursagronom och biolog vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU). Hon är uppväxt i Ruvhten sijte som är Sveriges näst sydligaste sameby som har sina marker i Härjedalen och norra Dalarna. Efter studierna har hon arbetat med renskötselrelaterade frågor hos både Sametinget och Svenska Samernas Riksförbund där hon också i dag arbetar som projektledare för att stärka renskötseln.

M.Sc. Mirja Lindberget · Lindberget Konsult AB · Fugelsta 215 · 83498 Brunflo ·
Epost: mirjalindberget@gmail.com · Tel: +46 73-656 61 68

Anna Skarin är professor i renskötsel vid SLU. Hon har arbetat med renarnas och renskötselns markanvändning ur olika aspekter sedan 2000. Hon disputerade 2006 vid SLU på avhandlingen *Reindeer Use of Alpine Summer Areas* och blev docent i husdjursvetenskap med inriktning på extensiva betessystem i november 2017. Målet med forskningen är bland annat att förstå vad som driver renens beteende och val av betesområde i olika situationer, och hur renens val och betesbeteende påverkar miljön och den biologiska mångfalden och att tillsammans med renskötseln beskriva och finna lösningar på de utmaningar och problem som renskötseln möter. Hon har lett ett flertal forskningsprojekt om vindkraft och renar och renskötsel.

Professor Anna Skarin · Institutionen för husdjurens utfodring och vård ·
Sveriges lantbruksuniversitet · Box 7024 · 750 07 Uppsala · Epost: anna.skarin@slu.se ·
Tel: +46 73-581 13 66 · Personlig webb: <https://www.slu.se/cv/anna-skarin>

Per Sandström är docent i skogshushållning vid SLU i Umeå. Han har arbetat med markanvändarfrågor och hur renen och renskötseln påverkats under de senaste 25 åren. Han disputerade 2015 med avhandlingen *A Toolbox for Co-Production of Knowledge and Improved Land Use Dialogues – The Perspective of Reindeer Husbandry* och blev docent 2019. Genomgående har alla projekt genomlysts av en nära samverkan med samebyar där samproduktion av kunskap varit det rådande arbetssättet. Per har sedan 2009 arbetat i en serie projekt som specifikt berör effekter av vindkraftsetableringar på renskötseln.

Docent Per Sandström · Institutionen för skoglig resurshushållning ·
Sveriges lantbruksuniversitet · 901 83 Umeå · Epost: per.sandstrom@slu.se ·
Personlig webb: <https://www.slu.se/cv/per-sandstrom>

KAPITEL 9

Vindkraft och hälsoproblem

– forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk*

HELEN KARLSSON

Om författaren

Se sid. 340 för en presentation.

* Citeras som: Karlsson, Helen (2024), "Vindkraft och hälsoproblem – forskningsläget gällande effekter på människor och djur av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk". I Magnus Henrekson (red.), *De norrländska stålsatsningarna – frälsare eller gökunge?* (s. 321–340). Stockholm: Samhällsförlaget.

Arbetet med detta kapitel har finansierats via ett ramanslag från Marianne och Marcus Wallenbergs Stiftelse till Institutet för Näringslivsforskning.

Sammanfattning

Till följd av klimatförändringarna sker nu ett viktigt arbete där man strävar efter att ersätta fossila bränslen med alternativa förnybara energikällor. En av dessa energikällor som även förekommer frekvent i dagens mediala debatt i Sverige är vindkraft. Sannolikt kan detta förklaras av den pågående och omfattande etableringen av landbaserad vindkraft i kombination med det tydliga budskapet att denna etablering planeras att öka väsentligt även till havs. Det tydliga förespråkandet kan även bero på okunskap om dess eventuella negativa bieffekter. Av den anledningen har i denna forskningsöversikt vetenskaplig litteratur studerats för att undersöka vad som enligt vetenskapen är känt gällande möjliga effekter på människor och djur till följd av exponering för ljudföroreningar, kemikalier och partiklar från vindkraftverk.

Sökningar har skett under maj 2023 i den biomedicinska databasen PUBMED för att garantera rapporternas kvalitet. Huvudfokus har legat på rapporter från 2020 och senare.

Litteraturgenomgången visar att det finns kunskapsluckor i vetenskaplig litteratur som begränsar möjligheten att beräkna risken för exponeringsrelaterade hälsoeffekter till följd av såväl partikel- som kemikalieexponering i relation till vindkraftverksamhet.

Gällande besvär till följd av exponering för ljudföroreningar från vindkraft kan baserat på tillgänglig litteratur konstateras att människor och djur riskerar exponeringsrelaterade negativa hälsoeffekter. Dock finns behov av mer forskning rörande mätteknik samt biologiska mekanismer bakom upplevd ohälsa. Dessutom saknas fortfarande kunskap om hur djur upplever och beter sig vid exponering och då med särskild tonvikt på marin miljö.

Försiktighetsprincipen är ett redskap för att hantera risker. Även om de indikationer som finns beskrivna i vetenskapen i nuläget inte är entydiga, kan det vara läge att överväga om försiktighetsprincipen bör tillämpas givet det rådande kunskapsläget.

Summary in English

As a result of climate change, important work is being done to replace fossil fuels with alternative renewable energy sources. One of these energy sources that appears frequently in the current media debate in Sweden is wind power. This can likely be explained by the ongoing and extensive establishment of land-based wind power in combination with the clear message that wind power establishment is planned to increase significantly also at sea. However, the strong advocacy of wind power can also be due to ignorance of some of its side effects. For this reason, scientific literature has been surveyed to investigate what is known regarding potentially harmful effects on humans and animals of exposure to noise pollution, chemicals, and particles from wind turbines.

The biomedical database PUBMED was searched in May 2023 to ensure the quality of the reports. The main focus was on published research since 2020.

The literature review shows that there are knowledge gaps in the scientific literature that limit the possibility of calculating the risk of exposure-related health effects due to both particle and chemical exposure in relation to wind power activities.

With regard to problems resulting from exposure to noise pollution from wind power, the available literature shows that humans and animals risk exposure-related negative health effects. However, there is a need for more research on measurement techniques and biological mechanisms behind perceived ill health. In addition, there is still a lack of knowledge about how animals experience and behave during exposure, with particular emphasis on the marine environment.

The precautionary principle is a tool for managing risks. Although the indications described in the scientific literature are currently not conclusive, it may be appropriate to consider whether the precautionary principle should be applied given the current state of knowledge.

Bakgrund

Till följd av klimatförändringarna sker nu ett viktigt arbete där man strävar efter att ersätta fossila bränslen med alternativa förnybara energikällor. I det här skedet är det oerhört viktigt att man med ett tvärvetenskapligt angreppssätt studerar de nya energikällornas för- och nackdelar i relation till samhällsekonomi såväl som risk för miljö- och hälsopåverkan. Det är även viktigt att hela livscykeln hos den nya energikällan inkluderas i analysen. Tyvärr saknas idag av olika skäl vetenskapligt baserade konsekvensanalyser för flera av dessa alternativa energikällor, vilket har givit utrymme för motstridig information från olika aktörer. Detta har i sin tur resulterat i debatter i media där man använder sig av starka värdeord såsom "sant" och "falskt", vilket är synnerligen olyckligt och förvillande för dem som saknar detaljkunskaper på de specifika ämnesområdena.

En av de energikällor som förekommer frekvent i medial debatt i Sverige idag är vindkraft. Sannolikt kan detta förklaras av den pågående och omfattande etableringen av landbaserad vindkraft i kombination med det tydliga budskapet att vindkraftsetableringen planeras att öka väsentligt även till havs (Declaration of Energy Ministers 2022). Vid stora omställningar i samhället är det oundvikligt att befolkningen påverkas, vilket av naturliga skäl initierar reflektioner av olika slag. Då är det särskilt viktigt att den information som presenteras bygger på saklig grund.

Denna kunskapssammanställning kommer att fokusera på att studera vad forskningen säger i relation till de nyckelfrågor som har lyfts i media och som har ställts till våra universitet eller arbets- och miljömedicinska kliniker. Dessa är:

- Hur ska vi tolka budskapet när vindindustrin anger att låga halter av partiklar eroderar från rotorbladen under drift (Svensk Vind 2023), medan vetenskaplig litteratur beskriver problem med erosion som leder till energi/ekonomiska förluster samt höga underhållskostnader för vindkraftsbolagen?
- Finns det risk för spridning av fritt bisfenol A (BPA) alternativt epoxi/BPA-partiklar från rotorblad i drift i sådana koncentrationer att det kan påverka hälsan hos människor och djur?
- Kan per- och polyfluorerade alkylsubstanter (PFAS), som kan användas vid ytbehandling av rotorblad, erodera vid drift och därmed förekomma i koncentrationer som kan påverka hälsan hos människor och djur?
- Kan ljudföroreningar från vindkraftverk påverka livsvillkor och hälsa hos människor och djur?

Ovanstående frågor förtjänar väl underbyggda svar då dagens rotorblad till stor del innehåller epoxy och BPA (EpoxyEU 2015) samt då Europeiska myndigheten för livsmedels-säkerhet (EFSA), baserat på ny kunskap, rekommenderat en historiskt kraftig sänkning av tolerabelt dagligt intag (TDI) av bisfenol A (BPA) (EFSA 2023). Dessutom även mot bakgrund av Europeiska kemikaliemyndighetens (ECHA) nya föreslagna direktiv gällande användning av PFAS (ECHA 2023), där man förespråkar ett förbud mot användning av hela PFAS-familjen på grund av att de är långlivade och kan påverka hälsan negativt.

Däremot kommer inte möjliga hälsoeffekter i relation till återvinning, destruktion eller lagring av rotorblad att beröras här då information om hur detta i praktiken går till idag är svårtillgänglig och då processen fortfarande är under utveckling (Vestas 2023; Siemens Gamesa 2022). Dock finns en aktuell uppdatering i ämnet i två rapporter publicerade av Miljöstyrelsen i Danmark (Miljöstyrelsen 2023). I en experimentell studie har man undersökt om PFAS-ämnen och BPA kan läcka ut från rotorblad som ligger på deponi och i en studie har man beräknat mängder av kompositavfall från danska vindkraftverk samt undersökt vilka möjligheter som finns för hantering av detta avfall i Danmark och övriga närliggande EU-länder. Kort summerat konstaterar de baserat på sina resultat att det inte kan uteslutas att PFAS-ämnen och BPA kan läcka ut från rotorblad till spillvatten vid deponering, att 85–90 % av materialet i ett vindkraftverk återvinns i dag samt att hantering av kompositmaterialet är problemet som behöver lösas. De efterfrågar därför en dialog med branschen.

Möjliga effekter på ekosystemen studeras delvis här men ett nytt intressant arbete publicerat i *Nature* (Galparsoro m.fl. 2022) belyser att det finns risk för att den planerade utbyggnaden av energiproduktion från havsvind kan leda till betydande miljöpåverkan. Man understryker att studier av ekologiska risker för marina ekosystem till följd av elproduktion från vind är lägligt och viktigt både för branschen och för miljön.

Hälsoeffekter av partiklar och/eller kemikalier

Vid en sökning i den biomedicinska databasen PUBMED (PUBMED) finns till skillnad från ljudföroreningar, som diskuteras nedan, inga träffar på studier av hälsoeffekter på varken människor eller djur som kan härledas till exponering för partiklar eller kemikalier från vindkraftverk. Dock beskriver en översiktsartikel (Freiberg m.fl. 2018) studier av hälsoeffekter hos yrkesverksamma inom vindindustrin, vilka innefattar irritation i hud samt luftvägar till följd av exponering för främst epoxy och styrener vid sidan av ljudföroreningar och olycksrisiker.

Frånvaron av rapporter i sökningen ovan var väntad då hälsoeffekter till följd av exponering för partiklar och/eller kemikalier är svårbedömda, om de inte är yrkesrelaterade, eftersom både människor och djur exponeras för en mängd olika miljöföroreningar från olika källor dagligen. Det kan även ta lång tid innan eventuell sjukdom utvecklas och då är sannolikheten stor att symptomen beror på summan av alla exponeringar, vilket ytterligare minskar möjligheten att spåra en specifik källa. Av den anledningen arbetar man preventivt i samhället genom att kontinuerligt mäta halter av ämnen i luft, jord eller vatten för att kontrollera att man inte överskrider angivna gränsvärden. Gränsvärden baseras på resultat från vetenskapliga studier och uppdateras kontinuerligt. Som exempel kan nämnas regelverket för utomhusluftens kvalitet (Naturvårdsverket 1). Det finns miljökvalitetsnormer (MKN) för kvävedioxid/kväveoxider, svaveldioxid, bly, partiklar (PM10/PM2.5), marknära ozon, bensen, kolmonoxid, arsenik, kadmium, nickel och bens(a)pyren då man vet att exponering för dessa ämnen kan leda till ökad risk för ohälsa. De flesta normerna är så kallade gränsvärdesnormer som ska följas, medan några är så kallade målsättningsnormer som ska eftersträvas. Mätningar samt moduleringar sker kontinuerligt i landets kommuner för att kunna säkerställa att miljökvalitetsnormerna inte överskrids.

Ett ytterligare viktigt initiativ där man arbetar preventivt är Sveriges handlingsplan för plast (Regeringen 2022). I Fokusområde 3 med titeln *Giftfria och cirkulära kretslopp av plast och plastprodukter* ingår punkt 3.5 *Minskad förorening av mikroplaster i miljön* där Naturvårdsverket utreder hur miljöövervakningen kan utvecklas för att också omfatta kartläggning av mikroplaster. Naturvårdsverket ska, i ett uppdrag som ska redovisas våren 2024, redovisa metoder och kostnader för att över tid kunna få en bild och följa spridning och exponering av mikroplaster i Sverige.

Mikroplaster i miljön är ett forskningsområde som är högaktuellt. Typ av plast, storlek, samt vad plasten innehåller eller bär på sin yta har avgörande betydelse för exponeringsrelaterad hälsorisk. För den som är intresserad summerar Bajt (2021), baserat på tidigare studier, hur nedbrytning av plast i miljön kan resultera i mikroplaster som sedan kan tas upp av levande organismer. Här diskuteras även hälsorisker med att kemikalier förekommande i mikroplaster eller som sitter på mikroplasternas yta frisätts efter intag. Intressant är att frisättning av kemikalier från mikroplast i en experimentell human mag/tarm-modell nyligen har studerats (Peters m.fl. 2022). Där skriver de att baserat på detta samt andras arbete kan man dra slutsatsen att mikroplaster bör betraktas som en potentiell källa till mänsklig exponering för kemikalier som har hormonstörande effekt.

Att mikroplast kan tas upp av människor bekräftas av bland andra Leslie m.fl. (2022). De har identifierat och kvantifierat plastpartiklar i människors blod. En annan studie är Horvatits m.fl. (2022). De finner närvaro av mikroplaster i levern hos individer med skrumplever men inte hos individer med en frisk lever. Man kan dock inte dra några slutsatser om huruvida mikroplast bidragit till leversjukdom eller om leversjukdomen möjliggjort ackumulering av mikroplast.

För att kunna göra en liknande bedömning av möjliga risker med spridning av partiklar/mikroplast eller kemikalier från vindkraftverk är det helt avgörande att utforska *om* det finns en spridning och, *om* så är fallet, *hur* omfattande den är.

Följdfrågan blir då om det finns vetenskapliga artiklar som har gjort mätningar/moduleringar/analyser av erosionsprodukter från vindkraftverk som kan ligga till grund för bedömning av risk för ohälsa hos djur och människor?

Vid sökning i PUBMED på "microplastics wind turbines" återfanns en fallstudie som relaterar till en havsbaserad vindkraftpark i Kina (Wang m.fl. 2018). Här har man påvisat närvaro av mikroplast i ytvatten och i sediment i och utanför vindkraftsparken. De konstaterar att mikroplasthalterna i parkområdet är lägre än halterna precis utanför samt att halterna utanför är högre än vad som beskrivits från andra kustområden i världen. Dessutom noteras i studien att det inte kan uteslutas att vindkraftsparken som sådan kan påverka flöden och underlätta bortförsl av partiklar. Som uppföljare studerades sedan karaktär och fördelning av mikroplast i yt sediment i thailändska havsområden med syfte att lära sig mera om miljörisker relaterade till mikroplaster i marina ekosystem (Wang m.fl. 2020).

Vid en sökning i PUBMED med sökorden "particle emissions wind turbines" kan en av fem funna artiklar relateras till vindkraftverksamhet med titeln "Elektrifiering på landsbygden med förnybara energiresurser och dess miljökonsekvensbedömning" (Kamal m.fl. 2022). Med hjälp av en genomförbarhetsanalys visar studien att det är kostnadseffektivt att använda ett hybridenergisystem vid nyetablering men det finns inga publikationer där man praktiskt har utfört kartläggning av utsläpp som inkluderar mätningar/insamling/analys av partiklar i luft, mossa, vatten eller sediment från områden med vindkraftverksamhet. Det

kan bero på att det är utforskat men inte publicerat på grund av avsaknad av signifikanta mätresultat eller på att det faktiskt inte gjorts. Vid sökning på "chemical emissions wind turbines" får man nio träffar där forskarna i de träffar som berör vindkraft simulerar eller diskuterar reduktion av växthusgaser samt påverkan på klimatet jämfört med förbränning av fossila bränslen. De diskuterar även här hur man ska kombinera vindkraft med planerbara energikällor för att stabilisera elnätet (Keith m.fl. 2004; Baird m.fl. 2021).

Ändras sökorden i PUBMED till "erosion wind turbines" resulterar det i sex arbeten som är relaterade till vindkraftverk. Här beskrivs bland annat regnrelaterade erosionsproblem (Cortes m.fl. 2017; Ibrahim m.fl. 2020), samt i två översikter, orsaker till problem med rotorbladens hållbarhet (Mishnaevsky 2022) och atmosfäriska drivkrafter för erosion (Pryor m.fl. 2022), vilka bekräftar att erosion är ett väsentligt problem för branschen. Baserat på publikationer om erosion samt sökningar på ytbehandling av rotorblad framgår att arbete pågår med att lösa erosionsproblemen genom att just ytbehandla rotorbladen eller genom att utveckla metoder för att reparera verken på plats. För information om detta får man söka i Google på "surface treatment wind turbine blades" eller "onsite reparation wind turbine blades".

Kemikalier som kan finnas i ytbehandlingsprodukter för rotorblad är bland andra PFAS-ämnen (Ameduri 2018). Vid en sökning i PUBMED på "PFAS wind turbines" får man endast Ameduri som träff relaterad till vindkraftverksamhet. Nästa omdiskuterade kemikalie är BPA som är en viktig beståndsdel i majoriteten av dagens rotorblad (EpoxyEU 2015) och vid en sökning på "Bisphenol A wind turbines" så resulterar det i två träffar. En artikel som beskriver hudbesvär vid arbete med epoxy i vindindustrin (Christiansen m.fl. 2022) samt en artikel som föreslår ett övergångsmetallkatalyserat protokoll för återvinning av polymerbyggstenen bisfenol A och intakta fibrer från epoxikompositer som alternativ till dagens deponier (Ahrens m.fl. 2023).

Hälsoeffekter av ljudföroreningar

Buller är den påverkan på miljön som berör flest människor i Sverige. På kort sikt kan buller leda till bland annat koncentrationssvårigheter och sömnstörningar. På längre sikt kan risken för exempelvis hjärt- och kärlsjukdomar öka. Naturvårdsverket vägleder om hur buller utomhus bör hanteras och vid vilka ljudnivåer man bör vidta åtgärder (Naturvårdsverket 2). Verket har också tagit fram en särskild informativ och detaljerad vägledning för buller i relation till vindkraftsverksamhet (Naturvårdsverket 2020). Tyvärr har det visat sig att det förekommer att boende i närheten av vindkraftsverksamhet upplever besvär av ljudföroreningar trots att beräkningar och åtgärder gjorts för att förhindra detta. Det har man även observerat på landets arbets- och miljömedicinska kliniker där den dominerande typen av besvär som man sökt för om man bor i närheten av vindkraftsverksamhet är just besvär av ljudföroreningar.

För att få en översikt över de senaste åren gällande vad vetenskapen säger om effekter av ljudföroreningar på människor och djur i relation till vindkraft så görs här sökningarna i PUBMED.

Ljudföroreningar och människor

van Kamp m.fl. (2021) konstaterar i en forskningsöversikt att ett klart samband mellan ljud genererade av vindturbiner och hälsoeffekter inte kan påvisas, men de konstaterar samtidigt att långvarig irritation i sig kan ha betydelse för hälsan. De föreslår att om de berörda involveras tidigt i etableringsprocessen så kan oro/irritation reduceras och därmed den negativa upplevelsen av ljudföroreningarna. En ytterligare översikt (Teneler 2023) summerar arbeten mellan 2010 och 2020 och kommer i stället fram till att kunskapen om och attityden till vindkraftverk kan förvandlas till irritation och symtom om de audiovisuella effekterna av turbinerna begränsar vardagslivets aktiviteter.

Om vi tittar på experimentella studier så har Dunbar m.fl. (2022) genomfört en laboratoriestudie där en typ av EEG mätningar gjorts när försökspersoner exponerats för ljud från trafik eller vindkraftverk i sömnen. Personerna exponerades i tre minuter för tre olika ljudnivåer (33, 38 och 43 dBA). Man såg skillnader i respons på ljudpåslag där delta-, theta- och beta-aktivitet var signifikant lägre vid exponering för vindkraftsljud medan alpha-aktivitet i de lägre ljudfrekvenserna 33 och 38 dBA var signifikant högre vid expo-

nering för vindkraftsljud jämfört med trafikljud. I studien konstateras att spektralanalyser visar subtila effekter av buller på sömnen och att elektroencefalogramförändringar efter vindkraftsbuller och vägtrafikbuller varierar beroende på ljudtrycksnivåer. Dock behövs fler studier för att kunna dra slutsatser om sömnkvalitet och om det påverkar hur man fungerar dagen efter. En annan ny studie har simulerat infraljud från vindturbiner och exponerat ljudkänsliga men annars friska vuxna i 72 timmar för att studera möjliga hälsoeffekter (Marshall m.fl. 2023) men här visade inte försökspersonerna några mätbara tecken på så kallat vindturbinsyndrom (yrsel, sömnstörning, trötthet).

I ytterligare en ny studie har man studerat om stokastiskt och modulerat vindkraftsinfraljud påverkar människans mentala prestationsförmåga jämfört med stabila signaler utan modulering (Malecki m.fl. 2023). Studien fann inga signifikanta skillnader i testresultat eller i antalet rapporterade känslor och besvär efter exponering under olika exponeringsstillstånd när män och kvinnor analyserades var för sig, men efter en djupgående statistisk analys fann forskarna däremot ett signifikant samband mellan välbefinnande före exponering och rapporterade klagomål efter exponering. Ytterligare en studie som indikerar att exponerade kan uppleva besvär av lågfrekvent ljud är Chiu m.fl. (2021). Den studien finner negativa effekter på hjärtslagsvariation, vilket är en stressmarkör, hos boende nära vindkraftverksamhet.

Det finns även svensk forskning (Smith m.fl. 2020) där man gjort en laboratoriesömnstudie bland individer som bor nära vindkraftverk och bland individer som inte gör det. Här används metoderna polysomnografi, elektrokardiografi och (mätning av) salivkortisol i kombination med frågeformulär. Här visade resultaten att en enda natts vindturbinljudsexponering ((WTN) förkortade REM-sömnen men att inga effekter av WTN på andra uppmätta fysiologiska utfall kunde upptäckas, inkluderat autonom aktivering, upphetsningar, uppvaknanden, salivkortisol, sömnstartsfördröjning, sömntid eller djupsömn. Man konkluderar att amplitudmodulerad kontinuerlig WTN kan påverka självbedömd sömnkvalitet samt vissa fysiologiska aspekter av sömn. För framtiden efterfrågas liknande studier utanför laboratoriet som genomförs under en lägre tidsperiod.

Ljutföroreningar och djur

Rörande exponering för landbaserad vindkraft så har en studie av grävlingar (Agnew m.fl. 2016) baserat på hårkortisolmätningar funnit att vindturbiner orsakar kronisk stress hos de grävlingar som bor inom en radie på en kilometer jämfört med grävlingar som bor mer än tio kilometer från vindturbiner. Forskarna bedömer att effekten sannolikt är ljudrelaterad (Agnew m.fl. 2016). I en senare studie har japanska lövgrodor av hankön studerats (Park m.fl. 2022). Resultaten visar att grodor som samlats in från risfält med vindkraft uppvisade en snabbare kommunikationshastighet och högre salivkoncentration

av stresshormonet kortikosteron. Dessa grodor hade också ett sämre medfött immunförsvar än grodor i områden utan vindkraft.

I en ytterligare studie från 2022 har Gomez-Catasus m.fl. (2022) studerat hur ljud från vindturbiner påverkar vokalisering hos en hotad buskstäppstättning. Resultaten visade förändrat läte hos exponerade individer, vilket resulterat i att forskarna rekommenderar att framtida vindenergiprojekt måste innehålla finskaliga bullerbedömningar för att kvantifiera konsekvenserna av kronisk bullerexponering. Gällande effekter på fågelliv har Husby m.fl. (2022) noterat att vindkraft och högspänningsledningarna får örnugglor att lämna sina territorier. Här har man dock inte kunnat skilja på bygg- och driftfas. De konkluderar att noggranna undersökningar behövs för att upptäcka eventuell förekomst av örnuggla nära alla typer av byggnadsarbeten.

Mot bakgrund av den omfattande etablering av havsbaserad vindkraft som är planerad är det intressant att ta del av vad som är känt om effekter av ljudföroreningar i marina miljöer. Mooney m.fl. (2020) utvärderar kunskapsläget gällande akustiska effekter av vindkraft till havs på fiskeresurser. De finner att det för vissa aktiviteter runt etablering av vindkraftsparkar finns en liten mängd tillgängliga data som gör det möjligt för intressenter att utvärdera effekterna för åtminstone vissa djurarter. Men data saknas fortfarande för de flesta arters populationer och livsstadier.

Vid specifika studier av hälsoeffekter har Solick m.fl. (2021) konstaterat att fladdermöss söker sig till havsbaserade turbiner, vilket innebär att kollisionrisken kan öka. På liknande sätt har Pollock m.fl. (2021) studerat risker för olika populationer och åldersklasser av havssulor till följd av havsvindkraftsparkar i södra Nordsjön. De finner att södra Nordsjön är av särskild betydelse när det gäller de potentiella kollisionriskerna med havsbaserade turbiner för havssulor under höstvandringsperioden varje år. En ytterligare intressant studie är av lommar i tyska Nordsjön. Man såg att utbredningen och förekomsten av lommar förändrades avsevärt från perioden före till perioden efter byggnation av havsbaserade turbiner. Tätheten av lommar reducerades avsevärt på avstånd upp till 9–12 km från turbinerna och i stället ansamlades de i stora kluster på långt avstånd från det bebyggda området (Garthe m.fl. 2023).

En ny översikt (Chahouri m.fl. 2022) tar upp ämnet marina ljudföroreningar (inklusive från vindkraft) och understryker vikten av att ta hänsyn till marina däggdjur, fiskarter och ryggradslösa djur, genom att kontrollera utvecklingen på ett hållbart sätt genom miljö- och bullerstrategier med målet att bevara marint och mänskligt liv. I ett annat arbete har man konstaterat att det finns hälso- och beteendeffekter på vattenlevande djur vid påljning av fundament (van der Knaap m.fl. 2022). På grund av upptäckter som dessa föreslås i en översiktsartikel i stället flytande vindkraftverk för att reducera negativa effekter på marina arter och habitat (Maxwell 2022).

Genom studier av vad som händer i havet har Cresci m.fl. (2023) studerat om riktad rörelse av fisklarver till havs påverkas av lågfrekvent kontinuerligt ljud från havsbaserade vindkraftverk. Exponeringen påverkade inte rutinmässiga och maximala simhastigheter eller larvernas vändningsbeteende, men de exponerade larverna orienterade sig mot källan till lågfrekvent ljud och partikelrörelse medan kontrollarverna orienterade sig mot nordväst.

En annan intressant studie är Puig-Pons m.fl. (2021). De har studerat hur blåfenad tonfisk i bur reagerar vid exponering för driftljud från fartyg och vindkraftsparker till havs. Vid exponering för ljud från vindkraft tolkades tonfiskens rörelse som undvikande. Man konstaterar att beteendeförändringar i samband med buller är svåra att observera, särskilt i halvfria förhållanden; det presenterade tillvägagångssättet erbjöd således möjligheten att koppla mänsklig aktivitet med möjliga effekter på en given marin art, vilket gjorde det möjligt att uppnå ett mer realistiskt scenario för att bedöma effekterna av undervattensbuller på marina djur.

En ytterligare hälsoeffekt, som strikt sett ligger utanför denna kunskapssammanställning men som i likhet med effekter av ljudföroreningar är möjlig att direkt relatera till vindkraftverksamhet, är skador och död till följd av att insekter och fåglar kolliderar med verkens rotorblad. Mera om detta kan återfinnas i Choi m.fl. (2020) och Voigt (2021).

Ärenden hos landets arbets och miljömedicinska kliniker

När det gäller arbetsmiljö i relation till vindkraftverksamhet så har nedanstående ärenden beskrivits av landets kliniker:

- Besvär relaterade till damm, isocyanat-exponering, buller, arbete på hög höjd, belastningsskada, vibrationskada och annan skada.

Gällande ej yrkesrelaterade besvär i relation till vindkraftverksamhet kan följande utläsas:

- Telefonsamtal där berörda individer oroar sig för risker med partikel, kemikalie- eller bullerföreningar.
- Konkreta ärenden där man störs av redan etablerade vindturbiner domineras av problem till följd av ljudföreningar.

Sammanfattningsvis kan en ökning ses av främst telefonsamtal och mejl med frågeställningar som beskriver befolkningens oro inför nyetablering av vindkraftverksamhet både på land och till havs. Man efterfrågar regelverk samt redan erhållen kunskap från individer, myndigheter och vårdgivare med erfarenheter från vindkraftrelaterade verksamheter.

Slutsatser

Vad gäller partiklar, kemikalier och dessas hälsorisker kan inte den genomgång av den vetenskapliga medicinska litteraturen som gjorts här ge något entydigt svar. Litteraturgenomgången indikerar att erosion från turbinerna är ett problem för branschen, men den bidrar inte med information om vad eller hur mycket som eroderar, vilket innebär att bedömningen av möjliga hälsorisker blir osäker även om vissa av kemikalierna och deras negativa hälsoeffekter är kända. Detta kan och bör undersökas, förslagsvis i samarbete mellan branschen och forskare. Om branschen väger rotorbladen före och rengör och väger dem efter användning samt om besiktning utförs vid underhåll bör en uppskattning av erosionens omfattning kunna erhållas. Detta kan koordineras med insamling och analys av partiklar och kemikalieanalyser i miljöer med vindkraftverksamhet. Detta kan göras effektivt med metoder som finns etablerade hos flera av landets forskarlag.

En ytterligare fråga som behöver utredas innan eventuella hälsorisker hos människor och djur kan bedömas är vilka kemikalier som kan lakas ut både i naturen och i magtarmkanalen hos levande organismer. Vid sidan av fältstudier kan dessa försök göras på malda rotorblad i laboratorier med redan tillgänglig teknik. Att utreda dessa nyckelfrågor skulle vara till stor hjälp för branschen i det fortsatta miljö, hälso- och säkerhetsarbetet (EHS) såväl som för berörda i samhället. Då vindkraften är i en expansiv fas både när det gäller antalet verk och deras storlek finns även fördelar med att eventuella erosionsprodukter identifieras tidigt då de sedan kan ingå som markörer för vindkraftsverksamhet i befintliga eller kommande långtidsmätningar i vår yttre miljö.

Ett antal publikationer gällande ljudföroreningar från vindkraftsverksamhet i relation till människor och djur kan återfinnas i PUBMED, men genomgången lämnar många frågetecken. Baserat på den litteraturgenomgång som redovisats här finns ett flertal studier som dokumenterar ljudrelaterade besvär från vindkraftsverksamhet hos både djur och människor. Frågan är dock oerhört komplex då många faktorer såsom val av mätmetod, verkens storlek, topografi, väder, vind eller byggkonstruktion på bostaden kan påverka ljudexponeringsrelaterade upplevda effekter. Hur man som exponerad upplever ljudstörningen kan förstärkas av en känsla av hjälplöshet och påverkas av individuella skillnader i känslighet. Gemensamt för människor och djur ser ut att vara irritation och stress där vissa av djuren uppvisar ett flyktbeteende och andra stannar i habitatet med förhöjda nivåer av mätbar stress eller stressbeteenden. Drabbade människor upplever dessutom en rad olika symptom som ännu ej kan bekräftas till fullo med hjälp av de medicinska kontroller som används vid exponering för trafik- eller flygbuller.

Då vindkraft är en förhållandevis ny form av exponering för buller, partiklar och kemikalier är det viktigt att vara ödmjuk i frågan både gällande mättekniker och möjliga förklaringsmekanismer för upplevd ohälsa. Förutom mer klinisk forskning kan optimering av mätmetoder eller eventuellt nya mätmetoder för bedömning av vindkraftsrelaterade ljudföroreningar vara aktuellt, särskilt för lågfrekvent ljud. Dessutom saknas fortfarande information om artspecifika exponeringsrelaterade effekter hos djur och då särskilt i marina miljöer.

Det är svårt att dra slutsatser när tillgänglig vetenskaplig information fortfarande är så begränsad. Men det går inte att undgå att fråga sig om inte risken finns att fler landlevande arter än grävlingar kan uppvisa liknande symptom av stress som beskrivits ovan vid exponering för ljud från vindturbiner? Hur kommer djuren att må i längden om de stannar i sina revir eller kommer många av dem att byta habitat? Vilka problem kan en förflyttning föra med sig för ekosystemen och djurens förmåga att finna föda eller interagera? I marina miljöer är kunskapen ytterligare begränsad men även här finns oroande tecken på potentiellt negativa effekter. Vad blir till exempel effekten av att exponerade torsklarver rör sig mot källan till lågfrekvent ljud och partikelrörelse medan ej exponerade torsklarver rör sig mot nordväst? Vad händer om torsklarvers naturliga spridningsmönster förändras? Det är även angeläget att undersöka om undvikande beteende som man tyckt sig se både på land och i havet förekommer generellt samt vad detta i förlängningen kan innebära.

Försiktighetsprincipen är ett redskap för att hantera risker. Den innebär att om en viss politik eller en viss åtgärd kan utgöra fara för allmänheten eller miljön och om forskarvärlden ännu inte är enig i frågan, bör politiken eller åtgärden inte genomföras. Försiktighetsprincipen får endast åberopas om det finns en potentiell risk och får inte användas för att motivera godtyckliga beslut (Försiktighetsprincipen 2023). Kanske borde vi fråga oss om de indikationer som finns beskrivna i vetenskapen, vilka i nuläget inte är entydiga, i kombination med den stora okunskap som vi fortfarande har är tillräckligt för att överväga att tillämpa försiktighetsprincipen tills vidare?

Referenser

- Agnew, R. C. N., Smith, V. J. & Fowkes, R. C. (2016), "Wind turbines cause chronic stress in badgers (MELES MELES) in Great Britain". *Journal of Wildlife Diseases* 52(3), 459–467. <https://doi.org/10.7589/2015-09-231>
- Ahrens, A., m.fl. (2023), "Catalytic disconnection of C-O bonds in epoxy resins and composites". *Nature*, ahead of print. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05944-6>
- Ameduri, B. (2018), "Fluoropolymers: The right material for the right applications". *Chemistry Europe* 24(71), 18830–18841. <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/chem.201802708>
- Baird, Z. S., m.fl. (2021), "Comparison of the most likely low-emission electricity production systems in Estonia". *PLoS One* 16(12), e0261780. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261780>
- Bajt, O. (2021), "From plastics to microplastics and organisms". *FEBS Open Bio* 11(4), 954–966. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13120>
- Chahouri, A., Elouahmani, N. & Ouchene, H. (2022), "Recent progress in marine noise pollution: A thorough review". *Chemosphere* 291(2), 132983. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132983>
- Chiu, C.-H., m.fl. (2021), "Effects of low-frequency noise from wind turbines on heart rate variability in healthy individuals". *Scientific Reports* 11(1), 17817. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97107-8>
- Choi, D. Y., Witting, T. W. & Kluever, B. M. (2020), "An evaluation of bird and bat mortality at wind turbines in the Northeastern United States". *PLoS One* 15(8), e0238034. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0238034>
- Christiansen, A. G., m.fl. (2022), "Prevalence of skin sensitization and dermatitis among epoxy-exposed workers in the wind turbine industry". *British Journal of Dermatology* 187(6), 988–996. <https://doi.org/10.1111/bjd.21830>
- Cortes, E., m.fl. (2017), "On the material characterisation of wind turbine blade coatings: The effect of interphase coating–laminate adhesion on rain erosion performance". *Materials* 10(10), 1146. <https://doi.org/10.3390/ma10101146>
- Cresci, A., m.fl. (2023), "Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae are attracted by low-frequency noise simulating that of operating offshore wind farms". *Communications Biology* 6(1), 353. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-04728-y>

- Declaration of Energy Ministers (2022), https://en.kefm.dk/Media/637975454923038956/Declaration%20of%20Energy%20Ministers_310822.pdf
- Dunbar, C., m.fl. (2022), "EEG Power spectral responses to wind farm compared with road traffic noise during sleep: A laboratory study". *Journal of Sleep Research* 31(3), e13517. <https://doi.org/10.1111/jsr.13517>
- EFSA (2023), <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/bisphenol>
- EpoxyEU (2015), https://epoxy-europe.eu/wp-content/uploads/2015/07/epoxy_erc_bpa_whitepapers_wind-energy-2.pdf
- EU-ECHA (2023), https://echa.europa.eu/sv/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas?gclid=Cj0KCQjwwtWgBhDhARIsAEMcxeA_m9PqsaF42srxVBsBlns1Et1cmZ67vkUM-guWDAWVM6qsuY_Ng5G8aAjt_EALw_wcB
- Freiberg, A., m.fl. (2018), "Health effects of wind turbines in working environments – A scoping review". *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 44(4), 351–369. <https://doi.org/10.5271/sjweh.3711>
- Försiktighetsprincipen, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=LEGISSUM:precautionary_principle
- Galparsoro, I., m.fl. (2022), "Reviewing the ecological impacts of offshore wind farms". *NPJ Ocean Sustainability* 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s44183-022-00003-5>
- Garthe, S., m.fl. (2023), "Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern". *Scientific Reports* 13, 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- Gomez-Catusas, J., m.fl. (2022), "Wind farm noise shifts vocalizations of a threatened shrub-steppe passerine". *Environmental Pollution* 303, 119144. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119144>
- Horvatits, T., m.fl. (2022), "Microplastics detected in cirrhotic liver tissue". *eBioMedicine* 82, 104147. <https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2022.104147>
- Husby, M. och Pearson, M. (2022), "Wind farms and powerlines have negative effects on territory occupancy in Eurasian eagle owls (*bubo bubo*).". *Animals (Basel)*, 12(9), 1089.
- Ibrahim, M. E. och Medraj, M. (2020), "Water droplet erosion of wind turbine blades: Mechanics, testing, modeling and future perspectives". *Materials* 13(1), 157. <https://doi.org/10.3390/ma13010157>
- Kamal, M., m.fl. (2022), "Rural electrification using renewable energy resources and its environmental impact assessment". *Environmental Science and Pollution Research* 29, 86562–86579. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22001-3>

- Keith, D. W., m.fl. (2004), "The influence of large-scale wind power on global climate". *PNAS* 101(46) 16115-16120. <https://doi.org/10.1073/pnas.0406930101>
- Leslie, H. A., m.fl. (2022), "Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood". *Environment International* 163, 107199. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Malecki, P., m.fl. (2023), "Does stochastic and modulated wind turbine infrasound affect human mental performance compared to steady signals without modulation? Results of a pilot study". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 20(3), 2223. <https://doi.org/10.3390/ijerph20032223>
- Marshall, N. S., m.fl. (2023), "The health effects of 72 hours of simulated wind turbine infrasound: A double-blind randomized crossover study in noise-sensitive, healthy adults". *Environmental Health Perspectives* 131(3), 37012. <https://doi.org/10.1289/EHP10757>
- Maxwell, S. M., m.fl. (2022), "Potential impacts of floating wind turbine technology for marine species and habitats". *Journal of Environmental Management* 307, 114577. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114577>
- Miljöstyrelsen (2023), <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2023/apr/oeget-sporbarhed-paa-haandteringen-af-affald-fra-vindmoellevinger/>
- Mishnaevsky, L. (2022), "Root causes and mechanisms of failure of wind turbine blades: Overview". *Materials* 15(9), 2959. <https://doi.org/10.3390/ma15092959>
- Mooney, T. A., Andersson, M. H., & Stanley, J. (2020), "Acoustic impacts of offshore wind energy on fishery resources: An evolving source and varied effects across a wind farm's lifetime". *Oceanography* 33(4), 82–95. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.408>
- Naturvårdsverket 1, <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/luft-och-klimat/miljokvalitetsnormer-for-utomhusluft/>
- Naturvårdsverket 2, <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/buller/>
- Naturvårdsverket (2020), "Vägledning om buller från vindkraftverk". <https://www.naturvardsverket.se/globalassets/vagledning/vindkraft/vagledning-om-buller-fran-vindkraftverk.pdf>
- Park, J.-K. & Do, Y. (2022), "Wind turbine noise behaviorally and physiologically changes male frogs". *Biology* 11(4), 516. <https://doi.org/10.3390/biology11040516>
- Peters, R., m.fl. (2022), "Release and intestinal translocation of chemicals associated with microplastics in an in vitro human gastrointestinal digestion model". *Microplastics and Nanoplastics* 2, 3. <https://doi.org/10.1186/s43591-021-00022-y>

- Pollock, C. J., m.fl. (2021), "Risks to different populations and age classes of gannets from impacts of offshore wind farms in the southern North Sea". *Marine Environmental Research* 171, 105457. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2021.105457>
- Pryor, S. C., m. fl. (2022), "Atmospheric drivers of wind turbine blade leading edge erosion: Review and recommendations for future research". *Energies* 15(22), 8553. <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/22/8553>
- PUBMED, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>
- Puig-Pons, V., m.fl. (2021), "Monitoring of caged bluefin tuna reactions to ship and offshore wind farm operational noises". *Sensors* 21(21), 6998. <https://doi.org/10.3390/s21216998>
- Regeringen (2022), "Sveriges handlingsplan för plast – en del av den cirkulära ekonomin". <https://www.regeringen.se/rapporter/2022/02/sveriges-handlingsplan-for-plast/>
- Siemens Gamesa (2022), "Commanding circularity: Siemens Gamesa announces RecyclableBlade for onshore wind power projects". <https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2022/09/092222-siemens-gamesa-press-release-onshore-recyclable-blade>
- Smith, M. G., m.fl. (2020), "A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: Results of the polysomnographic WiTNES study". *Sleep* 43(9), 46. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa046>
- Solick, D. I. & Newman, C. M. (2021), "Oceanic records of North American bats and implications for offshore wind energy development in the United States". *Ecology and Evolution* 11(21), 14433–14447. <https://doi.org/10.1002/ece3.8175>
- Svensk Vind (2023), <https://svenskvindenergi.org/fakta/mikroplaster-fran-vindkraftverk>
- Teneler, A. A. & Hassoy, H. (2023), "Health effects of wind turbines: A review of the literature between 2010–2020". *International Journal of Environmental Health Research* 33(2), 143–157. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2010671>
- van Kamp, I. & van den Berg, F. (2021), "Health effects related to wind turbine sound: An update". *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(17), 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>
- van der Knaap, I., m.fl. (2022), "Effects of pile driving sound on local movement of free-ranging Atlantic cod in the Belgian North Sea". *Environmental Pollution* 300, 118913. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118913>
- Wang, T., m.fl. (2018), "Microplastics in a wind farm area: A case study at the Rudong offshore wind farm, Yellow Sea, China". *Marine Pollution Bulletin* 128, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.050>

- Wang, T., m.fl. (2020), "Occurrence and distribution of microplastics in surface sediments from the Gulf of Thailand". *Marine Pollution Bulletin* 152, 110916.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110916>
- Vestas (2023), "Vestas unveils circularity solution to end landfill for turbine blades".
<https://www.vestas.com/en/media/company-news/2023/vestas-unveils-circularity-solution-to-end-landfill-for-c3710818>
- Voigt, C. C. (2021), "Insect fatalities at wind turbines as biodiversity sinks". *Conservation Science and Practice* 3(5), e366. <https://doi.org/10.1111/csp2.366>

Om författaren

Helen Karlsson är sedan 2009 anställd på Region Östergötland på avdelningen för Arbets- och miljömedicin (AMM), Universitetssjukhuset, Linköping och är adjungerad som biträdande professor i miljömedicin vid Linköpings universitet. Helen Karlsson har en examen i biologi (2002) och disputerade vid Linköpings universitet med avhandlingen *Lipoproteomics* år 2007. Därefter var hon aktiv som postdoktor i projektet "Functional genomics of inborn errors and therapeutic interventions in high density lipoprotein (HDL) metabolism".

Helen Karlsson blev docent i miljömedicin år 2017. Hennes forskning fokuserar på att optimera preventiva insatser vid partikel- och kemikalieexponering, vilket kan innefatta mättekniker eller biologiska exponeringsmarkörer. Dessutom genomförs studier med proteomikteknik för att identifiera möjliga exponeringsrelaterade hälsoeffekter. Helen Karlsson är representant för Linköpings universitet i Swedish Academic Consortium on Chemical Safety (SWACCS) och styrelsemedlem i Östergötlands Luftvårdsförbund samt ingår i expertpanelen på SweNanoSafe-plattformen, KI. Hon är även jordbruksutbildad och driver ett ekologiskt jordbruk med köttproduktion och hästavel.

Biträdande professor Helen Karlsson · Institutionen för hälsa, medicin och vård (HMV) ·
Linköpings universitet · 581 83 Linköping · Epost: helen.m.karlsson@liu.se ·
Tel: +46 73-644 23 38

Magnus Henrekson, professor i nationalekonomi,
Institutet för Näringslivsforskning

David Sundén, ekonomie doktor i nationalekonomi,
Lakeville Consulting

Johan Gärdebo, filosofie doktor i historia,
Uppsala universitet och Cambridge University

Christian Sandström, docent i företagsekonomi,
Jönköping International Business School och
Ratio, Stockholm

Jan Blomgren, professor i kärnteknik och
konsult i energifrågor

Per Fahlén, professor emeritus, energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola

Mirja Lindberget, Master of Science i
husdjursagronomi, Lindberget Konsult AB

Anna Skarin, professor i renkötsel,
Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala

Per Sandström, docent i skogshushållning,
Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå

Helen Karlsson, medicine doktor och adjungerad
biträdande professor i arbets- och miljömedicin,
Linköpings universitet



FOTO: KARL GABOR

Magnus Henrekson

DE NORRLÄNSKA STÅLSATSNINGARNA

– FRÄLSARE ELLER GÖKUNGE?

REDAKTÖR: MAGNUS HENREKSON

Satsningarna på grönt stål i Norrland är ett högriskprojekt där skattebetalarna till stor del tar risken om projektet inte lyckas. Stålsatsningarna kräver el motsvarande hela 65 procent av dagens förbrukning samtidigt som vi redan nu har svårt att få fram tillräckligt med el. Investeringarna bygger dessutom på helt oprövad teknik som kan slås ut av nya och bättre tekniker. Det skulle ge stora negativa effekter för hushåll och företag. I den här antologin belyser tio forskare och utredare vilka dessa effekter förväntas bli.

Grönt stål är den största industrisatsningen i Sveriges moderna historia både i absoluta tal och i relation till ekonomins storlek. Bakom den statliga gröna Hybrit-satsningen står LKAB, SSAB och Vattenfall. Dessutom finns den privata uppstickaren H2 Green Steel (H2GS), med riskkapitalisten Harald Mix som grundare, som fått stora statliga och europeiska garantier för sitt projekt. Satsningarna förutsätter exceptionellt stora investeringar i elproduktion, elnät, järnvägs- och hamnkapacitet, bostäder och offentlig service.

Antologin utgör den första omfattande utvärderingen av projekten ur flera aspekter: företagsekonomiska, teknologiska och samhällsekonomiska risker, statens dominerande roll som företagsägare, finansär och borgenär, påverkan på elmarknaden, effekter på närmiljö och konkurrerande verksamheter av den utbyggnad av elproduktionen som krävs och risken för undanträngning av existerande verksamheter.

Ett litet land bör avstå från så här stora och riskfyllda satsningar, menar forskarna. Slutsatsen förstärks av att satsningarna förutsätter en unikt stor utbyggnad av elproduktion och elnät i en landsända där det saknas alternativa användningsområden för denna el om de elkrävande projekten blir olönsamma.

Antologins redaktör, Magnus Henrekson, är professor i nationalekonomi och verksam vid Institutet för Näringslivsforskning (IFN).

With summaries in English of all chapters and a chapter in English appraising the comprehensive evaluations of the fossil-free steel projects.



Samhällsförlaget