

Vägval i klimatomställningen – avgörande för efterfrågan på metaller och mineral



Text: Louise Karlberg, Ecologidea
Bilder: Gettyimages
Layout: Sofia Liljander

Naturskyddsföreningen, september 2025
Box 4625
116 91 Stockholm
Tel: 08-702 65 00
www.naturskyddsforeningen.se

ISBN: 978-91-558-0287-5



Innehållsförteckning

	Förord	4
	Sammanfattning	5
1	Metaller och mineral för en	
	hållbar klimatomställning	8
2	En hel värld ska ställa om	10
	Efterfrågan på metaller och mineral	11
	Teknikval och teknikutveckling påverkar efterfrågan	11
	Återvinning har stor potential på sikt	13
	Begränsade tillgångar på metaller och mineral	15
	Gruvnäringens förutsättningar för ökad utvinning	17
	Internationell handel, värdekedjor och geopolitik	18
	Tillgångar möter inte efterfrågan utan stora målkonflikter	21
3	Sveriges roll som gruvnation i omställningen	23
	En liten gruvnation i världen, men viktig i EU	24
	Beräkning av mängden metaller och mineral	26
	Stor efterfrågan på metaller och mineral för genomförandet av en klimatomställning i Sverige	29
	<i>Vägval för Sverige</i>	35
	<i>Energisektorns omställning</i>	35
	<i>Transportsektorns omställning</i>	35
	<i>Gruvbrytning för att genomföra en klimatomställning</i>	36
	<i>Osäkerheter och felkällor</i>	37
4	Vägen framåt	38
	Framtidens energisystem: från bränsle till cirkulära produktionsenheter	39
	Framtidens transportsystem: från fordon till funktion	40
	Gruvnationen Sveriges roll i omställningsarbetet	42
	Slutsats	45
5	Referenser	47

Förord

Samhället står idag inför en trippelkris med klimatförändring, förlust av biologisk mångfald och spridning av miljögifter. Att hantera dessa är absolut nödvändigt och de måste hanteras tillsammans. För att möta kriserna behöver vi effektivisera, ställa om från fossila till förnybara energikällor, utveckla nya processtekniker och elektrifiera transportsektorn. Flera av dessa förändringar kräver omfattande användning av metaller och mineral – resurser vars utvinning i sig innebär svåra målkonflikter.

Omställningen måste ske inom planetens gränser. Vi ser med oro på en utveckling där olika miljömål ställs mot varandra, och där klimatet används som argument för kraftigt ökad exploatering – ibland även i projekt där klimatomställningen inte i praktiken är drivande.

Utfasningen av fossila bränslen, framför allt inom transport- och industrisektorerna, kommer öka efterfrågan på metaller och mineral. Men hur mycket metaller och mineral som behövs för klimatomställningen beror i hög grad på vilka vägval vi gör. En politik som ensidigt fokuserar på att möta en hög prognosticerad eller en antagen efterfrågan, riskerar att förbise möjligheten att påverka just denna efterfrågan. För att klara omställningen måste vi förändra våra samhällen och våra livsstilar.

Även en klimatomställning som bygger på resurseffektivitet och cirkularitet kommer att kräva nya naturresurser, som energi, mark och råvaror. I den här rapporten tar vi sikte på metaller och mineral, och undersöker hur olika vägval för att genomföra klimatomställningen påverkar efterfrågan på olika råvaror.

Stora mängder av de metaller och mineral som kan användas för att genomföra en klimatomställning finns redan i omlopp, men utnyttjas idag i alltför liten utsträckning. Vår analys visar att viss ny utvinning är nödvändig för att möjliggöra utfasningen av fossila bränslen, som i sig inte är förhandlingsbar – den måste accelerera för att avvärja en klimatkatastrof, men att mängden varierar kraftigt med hur vi ställer om. En verkligt hållbar omställning måste utöver effektivitet och cirkularitet också bygga på *tillräcklighet – det vill säga mänsklig välfärd inom planetens gränser*.

Rapporten är tänkt att fungera som en analytisk grund för förslag på hur klimatomställningen kan styras i en mer hållbar riktning, för en verkligt grön omställning. Den visar att det är fullt möjligt att genomföra en klimatomställning där mängden metaller och mineral som efterfrågas begränsas – men att det kräver modiga beslut, omfattande samhällsförändringar och en politik som tar de ekologiska och sociala förutsättningarna på allvar.

Karin Lexén

Generalsekreterare Naturskyddsföreningen

Sammanfattning

Klimatkrisens omfattning riskerar att resultera i långtgående negativa konsekvenser för människor och miljö, och det är därför viktigt med en rättvis klimatomställning med stora utsläppsminskningar i närtid. När transport- och energisystemen omformas för att minska klimatutsläppen uppstår dock en rad målkonflikter, bland annat kopplat till miljöpåverkan av metall- och mineralbrytning.

Åtgången av metall och mineral för de framtida energi- och transportsystemen kan komma att bli stor, visar ett flertal globala analyser. Den här rapporten analyserar hur efterfrågan på metall och mineral i Sverige beror av olika vägval för omställningen och utforskar tre möjliga framtider som utgår från några utvalda scenarier framtagna av Svenska kraftnät och Energimyndigheten över utvecklingen av transport- och energisystemen. De här scenarierna illustrerar på vilket sätt olika vägval spelar roll, men är inte uttömmande eller valda för att visa på en specifik önskvärd framtid.



Rapportens slutsatser:

Beräkningarna visar att klimatomställningen, med allra största sannolikhet, medför att användningen av metaller och mineral ökar, men att storleksordningen är kraftigt beroende av hur omställningen genomförs. Faktorer som påverkar hur stor nybrytningen av metaller och mineral blir, är vägval kopplade exempelvis till hur mycket elektricitet som produceras och hur transportsektorn ställs om.

I myndigheternas tre scenarier varierade efterfrågan på metaller och mineral för klimatomställningen i Sverige mellan 1,6 och 2,5 miljoner ton metaller (exklusive järn och stål) till år 2045, beroende på vilket sätt omställningen genomfördes. Det kan jämföras med en total gruvbrytning av zink och koppar i Sverige på 6,2 miljoner ton över motsvarande 20-årsperiod, baserad på dagens utvinningshastigheter. För övriga omställningsråvaror är landet dock en nettoimportör. Analyserna indikerar att om de globala reserverna fördelades jämnt mellan alla jordens invånare, skulle Sverige inte ha tillgång till tillräckligt med nickel, kobolt och litium – tre viktiga batterimaterial med dagens teknik – för att möta efterfrågan, oavsett scenario. Det här sätter fingret på vikten av att beakta åtgången av olika metaller och mineral för att genomföra en klimatomställning, så att inte orealistiska förväntningar skapas på storleken av en framtida energi- och transportsektor.

Av den totala efterfrågan på metaller och mineral utgjordes 60–80 procent av transportsektorn i scenarierna, vilket innebär att hur omställningen genomförs för denna sektor får en avgörande betydelse för den totala efterfrågan på resurser.

En ökad gruvbrytning medför alltid stora, irreversibla skador på ekosystem och risk för människors hälsa. Därför är det avgörande att genomföra en klimatomställning på ett sätt som minimerar efterfrågan på metaller och mineral. Därför anser Naturskyddsföreningen att politiken behöver bygga på tillräcklighet och effektivitet och baseras på:

- En minskad energi- och resursförbrukning. Transportsystemet behöver bli funktionscentrerat snarare än fordonscentrerat. Antalet fordon bör bli färre och batteriernas storlek mindre. Energianvändningen bör i möjligaste mån begränsas, samtidigt som elanvändningen ökar i förhållande till annan energianvändning.
- Ett effektivt utnyttjande av metaller och mineral. Den infrastruktur som innehåller metaller och mineral (t ex vindkraftverk och fordon) bör nyttjas intensivt för att begränsa efterfrågan på fler fordon eller energiproduktionsenheter, till exempel genom elbilspooler eller en flexibel elanvändning.
- Förbättrade förutsättningar för cirkularitet genom hela värdekedjan. Förutsättningar behöver skapas för ökad återvinning och sekundär utvinning, samt en starkt processindustri som inriktas på att omhänderta returflöden.
- Nya investeringar i teknik och styrning. Det behövs kraftiga investeringar i nya innovationssystem för energianvändning, transport och cirkulära flöden för att minska beroendet av nyutvunnen råvara som i förlängningen leder till nya gruvor.

Omställningen till en helt förnybar energisektor baseras till största del på metaller som utvinns i stor skala redan idag. Det finns en viss risk att den begränsade tillgången på sällsynta jordartsmetaller och nickel kan bromsa eller förändra tillverkningen av nya energiproduktionsenheter i Sverige. Efterfrågan på elektricitet är kraftigt beroende av åtgärder för minskad energianvändning och på utvecklingen av framtida industrisatsningar, som produktion av fossilfritt stål och vätgas. Inkluderas kärnkraft i energiportföljen kommer sektorn vara fortsatt beroende av en kontinuerlig tillförsel av ett icke förnybart bränsle, vilket leder till ett ständigt behov av nya urangruvor.

Omställningen av transportsektorn riskerar att bli mycket resurskrävande. Tillgången på många av de metaller och mineral som behövs för att bygga fossilfria fordon har både ekonomiska och fysiska begränsningar. Samtidigt är det också i denna sektor som teknikutvecklingen går som snabbast och där beteendeförändringar har allra störst potential. Den framtida utvecklingen är därmed osäker i nuläget och väldigt beroende av den politik som förs.

Olika teknologier baseras på olika metaller och mineral, och teknikutvecklingen går fort. Det innebär att det råder stora osäkerheter i uppskattningarna över vilka metaller och mineral utöver basmetallerna som kommer efterfrågas för att fasa ut fossila bränslen. Vad gäller batteritillverkning är detta påfallande tydligt, vilket har stor påverkan på efterfrågan av batteriråvaror.

Klimatomställningen behöver genomföras på ett sätt som minimerar irreversibla skador på miljön, och efterfrågan på nya gruvor måste därför begränsas. Eftersom metaller har mycket goda förutsättningar för återvinning är klimatomställningen av energi- och transportsektorn till stor del att betrakta som en engångsinvestering. Genom hela värdekedjan, från primär utvinning, bearbetning och processindustri, till framtagande av komponenter som turbiner, solceller och batterier, är EU för närvarande importberoende, vilket gör unionen mycket sårbar. Sammantaget kräver det här en politik som vidtar kraftfulla åtgärder för att minska efterfrågan, öka effektiviteten, förbättra teknologin och öka återvinningen, så att vi på sikt har genomfört den investering som nu krävs för att bygga upp en ny, robust infrastruktur för en fossilfri framtid med minsta möjliga negativa påverkan på människa och miljö.





Metaller och mineral för en hållbar klimatomställning

1

Klimatförändringen orsakar stora negativa konsekvenser för samhällen, ekosystem och människors hälsa (IPCC, 2022). Trots gemensamma ansträngningar av det internationella samfundet fortsätter utsläppen av växthusgaser att öka globalt (UNEP, 2024; WMO, 2024). Är vi oförmögna att hålla oss inom de planetära gränserna, riskerar vi att passera självförstärkande tröskelpunkter, som i sin tur riskerar förvärra läget ytterligare.

Den största delen av utsläppen av växthusgaser härrör från energi- och transportsektorn (IPCC, 2022), och därför är omställningen av dessa sektorer av största vikt för att bromsa klimatförändringarna. Men för att ställa om energi- och transportsektorn förutspås att stora mängder material kommer behövas för att bygga framtidens förnybara och fossilfria infrastruktur (IEA, 2021; ETC, 2023; Hund et al., 2020), vilket även gäller Sverige (Svemin, 2021; RFR, 2022; Malmaeus et al., 2025). Efterfrågan på mineral för utfasningen av fossila bränslen utgör nu ett av det snabbast växande segmenten inom gruvnäringen, med stora skillnader mellan olika material. Totalt uppskattas hundratals nya gruvor behövas globalt för att möta efterfrågan på metaller och mineral för att ställa om energi- och transportsektorn (ETC, 2023; IEA, 2021). Det här riskerar att leda till stor negativ påverkan på den lokala miljön, och även om antalet gruvor inte säger något om den exakta omfattningen av verksamheten och dess konsekvenser på människor och miljö, ger den en indikation på frågans betydelse.

Klimatomställningen måste genomföras, men den behöver genomföras på ett genomtänkt sätt för att inte samtidigt riskera andra värden. Därför behöver målkonflikten mellan den uppskattade efterfrågan på råvaror för utfasningen av fossila bränslen och den negativa påverkan på lokalsamhällen och miljö som primärutvinningen kommer att orsaka, belysas, så att den i nästa steg också kan begränsas. Hur mycket påverkas efterfrågan av vägval beträffande elektrifiering och framtidens energianvändning, teknikutveckling och effektivisering? Vilka metaller och mineral är det som efterfrågas och vad ska de användas till? Var finns råvaran, går det ens att få fram den, och vad skulle det innebära för konsekvenser att utvinna den? Och hur stor är potentialen för återvinning och utnyttjande av sekundära resurser?

En central utgångspunkt är att skilja mellan *behov* och *efterfrågan*. Med "efterfrågan" avses här samhällets sammantagna önskan eller vilja, medan "behov" relaterar till vad som anses vara *tillräckligt* ur ett samhällsperspektiv. Efterfrågan är aktivt formad av marknadsföring, normer och livsstilsideal, politiska beslut, brist på reglering och industriell produktion i sig, och därmed konstruerad och påverkbar. Energi- och transportsektorerna behöver ställas om för att begränsa klimatpåverkan. Samhället behöver också en viss mängd energi för att upprätthålla sina funktioner och verksamheter. Utbudet av billig energi är en viktig faktor för hög efterfrågan, vilket driver ohållbara konsumtionsmönster som i det här fallet materialiseras som en hög användning av metaller och mineral. Det finns ett antal vägval som leder mot en framtid där vi både tillfredsställer samhällets behov av energi och samtidigt säkerställer att resursanvändningen hålls inom planetens gränser. Men detta förutsätter att vi inte betraktar efterfrågan som något som, till skillnad från behov, till varje pris bör mötas.

Den här rapporten syftar till att kartlägga den förväntade efterfrågan på metaller och mineral i olika scenarier för klimatomställningen, för att jämföra konsekvenserna av olika vägval för både människor och natur. Scenarierna i denna rapport är utforskande och ska inte betraktas som illustrationer av en önskvärd framtid eller projektioner av en sannolik utveckling.

Rapporten inleds med en genomgång av olika faktorer som påverkar både tillgång och efterfrågan på metaller och mineral för att ställa om energi- och transportsektorn. Därefter undersöks möjliga utvecklingsvägar för energi- och transportsektorerna i Sverige och dessas konsekvenser för användningen av metaller och mineral i en scenarioanalys. Utifrån det här perspektivet diskuteras sedan vilken roll Sverige ska spela, risker och möjligheter analyseras, och vägval utforskas för att genomföra den nödvändiga klimatomställningen på ett klokt och genomtänkt sätt med en helhetssyn över miljö, klimat och samhälle.



En hel värld ska ställa om

2

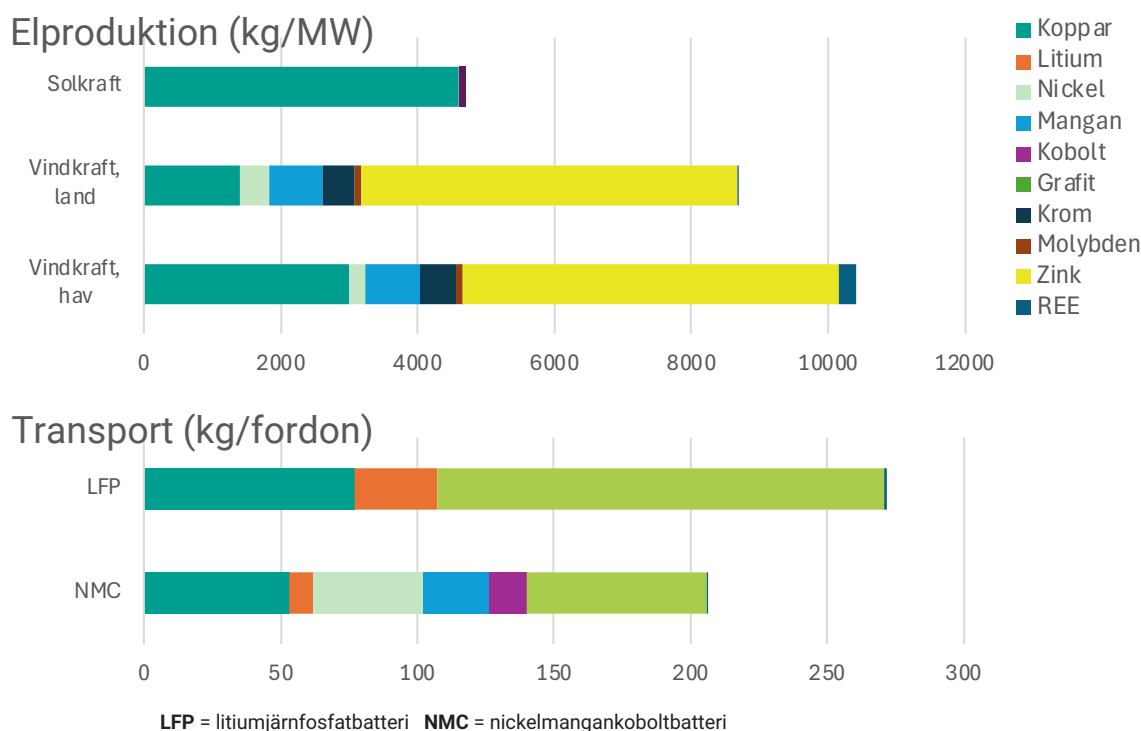
Efterfrågan på metaller och mineral har fått ökad uppmärksamhet internationellt sedan ett flertal rapporter behandlat den globala efterfrågan på metaller och mineral för att genomföra klimatomställningen (t ex IEA, 2021). Dessa rapporter har eftersträvat att uppskatta vilka kvantiteter av olika metaller och mineral som efterfrågas, samt risker och osäkerheter. Det internationella energirådet (International Energy Agency, IEA) började uppmärksamma frågan för knappt tio år sedan. Enligt deras analyser uppskattas efterfrågan öka med en faktor fyra till sex över tjugo år till år 2040, beroende på omställningens hastighet och omfattning (IEA, 2021). Transportsektorn uppskattas ha störst efterfrågan på metaller och mineral, följt av utbyggnad och uppgradering av distributionsnätverk för elektricitet, samt energisektorns omställning. De s.k. batterimetallerna litium, kobolt och nickel, samt grafit, uppvisar de största efterfrågeökningarna, tätt följt av den grupp av metaller som kallas sällsynta jordartsmetaller (eng. rare earth elements, REE).

De internationella studierna ger sålunda en uppskattning över *ungefär* hur mycket material det kan röra sig om, vilka metaller och mineral som kan komma i fråga, och vilka sektorer som uppvisar de största efterfrågeökningarna. Däremot utforskar de inte i någon högre utsträckning olika vägval för att begränsa själva efterfrågan, men inkluderar dock vissa antaganden om effektivisering.

Uppskattningarna av den framtida efterfrågan av specifika metaller och material för att fasa ut fossila bränslen är behäftade med stora osäkerheter som beror bland annat på teknikutveckling, policyramverk och styrmedel, tillgång på kapital och marknadsmekanismer, samt andra omvärldshändelser. Vad som efterfrågas påverkas dessutom av vad som finns att tillgå, vilket i sin tur har att göra med gruvbolagens lönsamhet, återvinningsgrad och vad samhället accepterar i form av negativ påverkan på lokal miljö och de människor som lever i närheten av gruvorna. Det här kapitlet behandlar den globala efterfrågan på metaller och mineral för att genomföra en klimatomställning, och hur det förhåller sig till tillgångarna på material. Specifikt undersöks förutsättningarna för hur en klimatomställning kan genomföras med så liten påverkan på lokalmiljön som möjligt, och risker för att klimatomställningen förhindras diskuteras.

Teknikval och teknikutveckling påverkar efterfrågan

En av de allra främsta faktorerna bakom osäkerheten i uppskattningarna av den framtida efterfrågan av metaller och mineral för klimatomställningen har att göra med teknikval, en snabb teknikutveckling och möjliga beteendeförändringar till exempel i våra transportsystem. På så sätt kan man tänka att det finns många olika klimatomställningar, snarare än en specifik och fördefinierad klimatomställning. Olika energislag och teknologier utnyttjar olika metaller och mineral (fig.1). Det är exempelvis stor skillnad på materialanvändningen uttryckt som vikt mellan vindkraft, som huvudsakligen behöver koppar, zink, mangan, krom och nickel, och solenergi som behöver mycket koppar och kisel. Men även inom ett visst kraftslag varierar efterfrågan på metaller mellan olika teknologier. Olika typer av vindkraft skiljer sig exempelvis åt i utnyttjandet av permanentmagneter, eller mellan land- och havsbaserad vindkraft där miljön ställer olika krav på produktionen.



Figur 1. Materialåtgång för olika energiproduktionsenheter samt olika batteriteknologier. Landbaserad vindkraft representeras av GB-DFIG-teknologi och havsbaserad vindkraft av DD-PMSG-teknologi. Ett fordon antas vara utrustat med ett 75 kWh batteri. Data från Carrara et al., 2020.

Utvecklingen av batteriteknologin går snabbt, delvis drivet av en brist på mineral. Den ökade användningen av koboltfria s k LFP-batterier (litium-järn-fosforbatterier) har resulterat i att den prognosticerade efterfrågan på kobolt, nickel och mangan har minskat med flera tiotals procent över de senaste fem åren (BNEF, 2024). De här batterierna förutspås användas för tyngre trafik medan personbilar i högre utsträckning förväntas utrustas med s k NMC-batterier (nickel-mangan-kobolt).

Utvecklingen av natriumjonbatterier kan också komma att få en stor betydelse för efterfrågan på batterimetaller (ICCT, 2024). ICCT har vidare visat att en minskning av batteriernas storlek har stor påverkan på efterfrågan på batterimetaller. Exempelvis uppskattas en minskning av ett batteri med 20 procent reducera efterfrågan på batterimetaller med hela 27 procent. Batteriutvecklingen går också mot högre energidensitet, dvs hur mycket energi som lagras per viktenhet. RMI uppskattar att efterfrågan på litium, nickel och kobolt kan komma att minska med 25, 40 respektive 75 procent till år 2050 jämfört med om inga förbättringar görs, genom en kombination av förbättrad batterikemi, ökad energidensitet och ökad återvinning (RMI, 2024).

Det finns också förhoppningar om att ett smartare transmissions- och distributionsnät ska minska behovet av en kraftig utbyggnad, och därmed åtgången av koppär och aluminium (DNV, 2022). Även ökad efterfrågefleksibilitet genom smart styrning av elanvändningen kan minska behovet av att förstärka elnätet (Energimyndigheten, 2023a). På energiproduktions-sidan har en ökad storlek på vindturbinerna och en högre effektivitet hos solenergisystemen resulterat i en minskad materialåtgång per producerad energienhet (ETC, 2023).

Återvinning har stor potential på sikt

Metaller går att återvinna ett oändligt antal gånger, vilket teoretiskt sett innebär att när omställningen av energi- och transportsektorn är genomförd, kommer återvunnen råvara kunna utgöra den huvudsakliga beståndsdelen i ny infrastruktur när den gamla blivit uttjänt och behöver ersättas. På så sätt är omställningen av dessa sektorer att betrakta som en engångsinvestering i material, där återvinningscentralerna och smältverken är framtidens gruvor.

Men trots att återvinning av metaller har en stor potential att minska efterfrågan på primär råvara, har den cirkulära ekonomin inte fått fäste, och bristande lönsamhet anges som det huvudsakliga skälet till detta (Tillväxtanalys, 2022). I Sverige är det idag bara bulkmetaller och ädelmetaller som återvinns i någon högre utsträckning (Tillväxtanalys, 2022). Internationellt växer dock återvinningen av batterimetaller snabbt. 2023 återvanns 40 procent av all nickel och kobolt, och 20 procent av all litium som var tillgänglig för återvinning (IEA, 2024b).

Det uppskattas att över hälften av all litium, kobolt och grafit och 30–40 procent av all koppar och aluminium för att fasa ut fossila bränslen skulle kunna komma från återvunnet material kring år 2050, enligt analyser av den globala efterfrågan (ETC, 2023). IEA gör en något mer konservativ uppskattning och beräknar att potentialen för återvinning av koppar och kobolt uppgår till 40 procent av den totala efterfrågan, och 25 procent för litium och nickel samma år (IEA, 2024b). Dessa uppskattningar är dock svåra att tolka eftersom de beror av hur stor den framtida efterfrågan beräknas vara, men ger ändå en indikation över att potentialen för återvinning är stor. Kring år 2030 uppskattas återvinning täcka ungefär 10 procent av efterfrågan. Den lägre siffran jämfört med uppskattningarna för 2050 beror på att produkterna metallerna ingår i ännu inte har nått slutet av sin livstid under den perioden (ETC, 2023).

Möjligheterna till återvinning varierar mellan olika produkter, vilket delvis beror på att tekniken för demontering utvecklas med fokus på en viss produkt, t ex ett vindkraftverk eller ett fordon, och inte på ett visst material, t ex koppar. Idag kommer den största andelen återvunnet material från restavfall från produktion, men från 2035 beräknas batterier från elfordon utgöra den största andelen (IEA, 2024b). År 2050 uppskattas nyproduktion av laddningsbara batterier helt kunna ske inom slutna kretslopp, teoretiskt sett (RMI, 2024). Återvinning av koppar i en rad olika produkter har även potential att öka kraftigt, liksom demontering och återvinning av permanentmagneter (IEA, 2024b).

Det finns även sekundära fyndigheter, dvs redan brutna malmer, i gruvavfall och uttjänt infrastruktur i marken, framför allt i städer. Även dessa resurser har potential att utnyttjas i högre grad, men begränsas av samma skäl som återvinningsindustrin generellt.

För att öka metallåtervinningen skulle ett flertal hinder behöva överkommas och positiva incitament skapas (se t ex Naturskyddsföreningen, 2021a). Av konkurrensskäl är utvinningsindustrin inte sällan subventionerad i form av skattelättnader eller att kostnader för negativa externaliteter som miljöpåverkan inte belastar gruvindustrin. Sekundära metaller, det vill säga metaller som redan har brutits och därmed kan återbrukas eller återvinnas, förekommer ofta i små kvantiteter i uttjänta produkter, och det saknas ofta information om vilka metaller det rör sig om, var metallerna finns och enkla sätt att ta isär produkten, vilket gör demonteringsarbete mycket arbetsintensivt. Bearbetnings- och processindustrin utgör en viktig länk i kedjan i det cirkulära samhället. En generellt hög kostnadsbild, bland annat till följd av att en stor energiåtgång, utgör dock en stor utmaning för denna industri inom EU, och exempelvis smältverken dras med utmaningar kring lönsamhet. Nettoresultatet är att sekundära metaller får svårt att konkurrera med primära metaller (Tillväxtanalys, 2022) och att lönsamheten generellt är låg (RFR, 2022). En högre grad av automatisering och större kvantiteter skulle öka lönsamheten för återvinning (IVL, 2023). Om smältverkens produktion av sekundära material ska öka behöver priset på återvunnet material gå upp i kombination med att andra sektorer fullt ut bär sina kostnader för negativa externaliteter.

Lagstiftning på EU-nivå har tillkommit för att öka återvinningsgraden. Idag uppskattas en tredjedel av alla uttjänade fordon (Mehlhart et al., 2017) och två tredjedelar och alla elektronikprodukter hanteras på ett olagligt sätt (Baldé et al., 2017) inom EU. Det är oklart vart detta material tar vägen, men det antas att en stor del blir illegalt dumpat eller exporterat till låginkomstländer (Baldé et al., 2017).

Sammanfattningsvis kan konstateras att det idag finns potential för att öka återvinningsgraden och utnyttjandet av sekundära fyndigheter, men att det kommer att ta tid innan återvunna material kan utgöra en större del av flödet. Det är viktigt att säkerställa att system kommer på plats som förbereder för ett framtida i det närmaste helt cirkulärt system redan nu när en stor del av den förnybara infrastrukturen byggs upp.



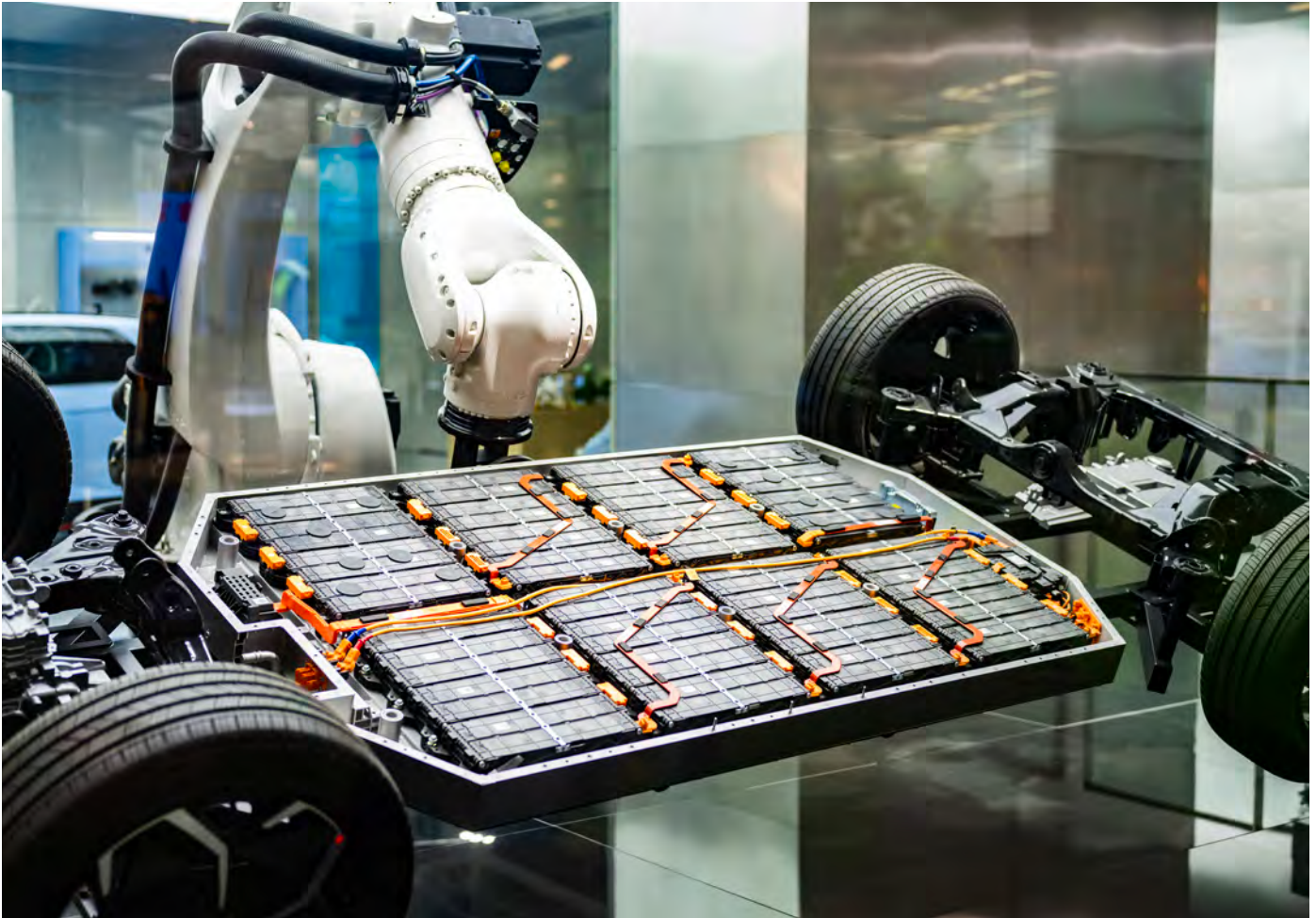
Begränsade tillgångar på metaller och mineral

Uppskattningarna över efterfrågan på material behöver ställas i relation till hur stora världens tillgångar är. I gruvsammanhang skiljer man mellan *resurser* som beskriver hur mycket material som finns totalt av ett visst ämne, och *reserver* som är den andel av den totala mängden som i nuläget anses brytningsvärd. De flesta internationella undersökningar som undersökt tillgången på material för att genomföra en klimatomställning stödjer sig på data från US Geological Survey (USGS, 2023), och drar slutsatsen att även i framtidsscenarioer med en hög energianvändning och hög elektrifieringsgrad kommer den totala resursmängden att räcka (IEA, 2021; ETC, 2023; Hund et al., 2020).

Men även om det finns tillräckligt med resurser kan inte samma sak sägas om reserverna, dvs det som anses vara brytningsvärt idag. Den totala mängden av ett visst grundämne (resursen) kan i många fall vida överstiga vad som någonsin kommer att vara realistiskt att bryta (reserven), men exakt vad som kommer att prioriteras i framtiden är mycket svårt att förutse. Ett flertal analyser pekar på en överhängande risk för begränsade reserver av metaller som koppar, nickel, litium och kobolt i relation till efterfrågan (t ex IEA, 2021; ETC, 2023). Uppskattningen av hur långt reserverna räcker för att möta efterfrågan skiljer sig åt mellan olika studier, beroende på exempelvis teknologisk utveckling, grad av återvinning osv. ICCT gör exempelvis en analys av efterfrågan av batterimetaller till år 2050 i relation till kända reserver, och uppskattar att den inte kommer att uppgå till mer än 49 procent för litium, 38 procent för nickel och 38 procent för kobolt (ICCT, 2024). Slutsatsen är att hela efterfrågan så som den beskrivits i dessa scenarier inte kommer att kunna mötas, och ger därmed en indikation på genomförbarheten i en klimatomställning som baseras på en obegränsad efterfrågan.

Allt fler analyser pekar ut tillgången på koppar som en begränsande faktor för omställningen. Koppar är en industrimetall med ett mycket brett användningsområde. En studie uppskattar att så mycket som 90 procent av alla kända resurser av koppar behövs för att klara 2-gradersmålet till år 2050 (Seck et al., 2020), vilket indikerar att tillgången på koppar kan vara en avgörande begränsande faktor för att fasa ut fossila bränslen utan att även arbeta med andra incitament och minska användningen av produktion och produkter. Det är i synnerhet den kommande 10-årsperioden som är kritisk. Endast 70 procent av efterfrågan på koppar och 50 procent av efterfrågan på litium förväntas kunna mötas med dagens gruvdrift (IEA, 2024). Totalt uppskattas hundratals nya gruvor behövas globalt för att möta efterfrågan på metaller och mineral för en klimatomställning (ETC, 2023; IEA, 2021), vilket ger en ungefärlig bild av magnituden på frågan. Även dessa uppskattningar pekar på att tillgången på metaller och mineral riskerar att ytterligare bromsa klimatomställningen, begränsa utvecklingen av andra sektorer, samt orsaka stor negativ miljöpåverkan om hela den projicerade efterfrågan på energi ska mötas.

Gruvbrytning medför ett irreversibelt ingrepp i miljön och riskerar att påverka lokalsamhällen negativt, vilket gör att mycket av de reserver som finns idag är direkt olämpliga att använda. Det innebär att reserven i praktiken – när hänsyn tas till exempelvis biologisk mångfald och urfolk – blir betydligt mindre. Eftersom detta avgörs från fall till fall när en gruva ansökt om tillstånd är det dock svårt att veta hur mycket detta påverkar den totala storleken på reserven.



Gruvnäringens förutsättningar för ökad utvinning

Även om det finns tillräckliga reserver av en viss metall kan det finnas skäl för gruvnäringen att inte utvinna vissa råvaror som ofta kopplar till ekonomisk risk. Detta kan begränsa vilken teknik som kan nyttjas eller hur mycket infrastruktur som kan byggas.

Som redan konstaterats är den framtida teknologiska utvecklingen svår att förutse. Det här skapar en osäkerhet som bromsar investeringsviljan i ny gruvverksamhet (IEA, 2021), men även i återvinningsindustrin. Transportsektorns utveckling är ett bra exempel på detta. I nuläget riktas de största investeringarna mot fortsatt utveckling av elektriska fordon drivna med litiumjonbatterier. Samtidigt sker en stor produktutveckling av dessa batterier, vilket påverkar efterfrågan på exempelvis kobolt och nickel. Materialbrist driver innovation för att reducera behovet av de metaller som är mest begränsade, där så är möjligt. För utvinningsindustrin föreligger det med andra ord en ekonomisk risk i att satsa på "fel" metall. En annan bromsande faktor är generell osäkerhet kring det internationella samfundets klimatambitioner (IEA, 2021).

Investeringsviljan i nya gruvprojekt kan även begränsas av svårigheten att få ekonomi i brytningen av metaller och mineral som inte sammanfaller med brytning av en industrimetall som produceras i stor skala. Detta gäller till exempel för LKAB:s fyndighet av sällsynta jordartsmetaller i malmfälten, som kan vara brytningsvärd om den bryts tillsammans med fosfor och järnmalm. Sällsynta jordartsmetaller är inte fullt lika sällsynta så snart brytningen kommer igång och utbudet ökar. Därmed faller priserna, vilket genast minskar gruvans lönsamhet. En hög prisvolatilitet gör dessutom att det är behäftat med större risk att bryta exempelvis litium och kobolt än vad det är att producera koppar och aluminium (IEA, 2021). Under 2023 sjönk exempelvis priset på batterimaterial kraftigt till följd av bland annat ökad produktion (IEA, 2024a). Risken är att detta även leder till att oseriösa aktörer ger sig in i gruvbranschen i spekulativt syfte, vilket både ökar risker för miljön, för mänskliga rättigheter och för att den ökade tillgången till råvaror nyttjas till andra områden än för klimatomställningen eller andra samhällsnyttor.

Halterna av metaller minskar successivt i malmen, i takt med att de bästa fyndigheterna bryts ut. Över en tioårsperiod minskade exempelvis kopparhalten globalt med i genomsnitt 25 procent, och när brytningen skedde i berg med allt lägre metallhalter ökade energiåtgången inom brytningen exponentiellt (Calvo et al., 2016). Lägre metallhalter i malmen innebär att det går åt mer resurser för brytning, vilket gör lönsamheten lägre, samtidigt som utsläppen och avfallet ökar vid produktion. Det här kan få många gruvbolag att tveka inför den ekonomiska risk det innebär att investera i ett nytt gruvprojekt. Ur ett omställningsperspektiv blir till sist marginalnyttan med att utvinna råvaror för produktion av förnybar energi väldigt låg om själva energiåtgången för utvinningen är hög.

Tillgången på metaller och mineral påverkas kraftigt av långa ledtider från idé till produktion. Även om efterfrågan på metaller och mineral ökar snabbt, till stor del drivet av omställningen av energi- och transportsektorn, tar det i genomsnitt 15-20 år att starta en ny gruva (IEA, 2021; ETC, 2023). På grund av de stora riskerna för människor och miljö är tillståndsprocesserna av nödvändighet rigida i många, men tyvärr inte alla, länder. Det krävs ett gediget kunskapsunderlag innan ny verksamhet kan startas, vilket tar tid att samla in, sammanställa och utvärdera. Det innebär att även om nya gruvprojekt initieras nu, kommer det ta åtminstone 15 år innan dessa projekt börjar resultera i råvaror som kan nyttjas för ny energiinfrastruktur eller fossilfria fordon.

Slutsatsen är att även om det finns stora tillgångar (resurser) av metaller och mineral i berggrunden, föreligger många skäl, såväl ekonomiska som sociala och miljömässiga, för att anta att stora delar inte kommer att utvinnas, åtminstone inte i närtid. Det här påverkar förutsättningarna för hur en klimatomställning kan genomföras.

Internationell handel, värdekedjor och geopolitik

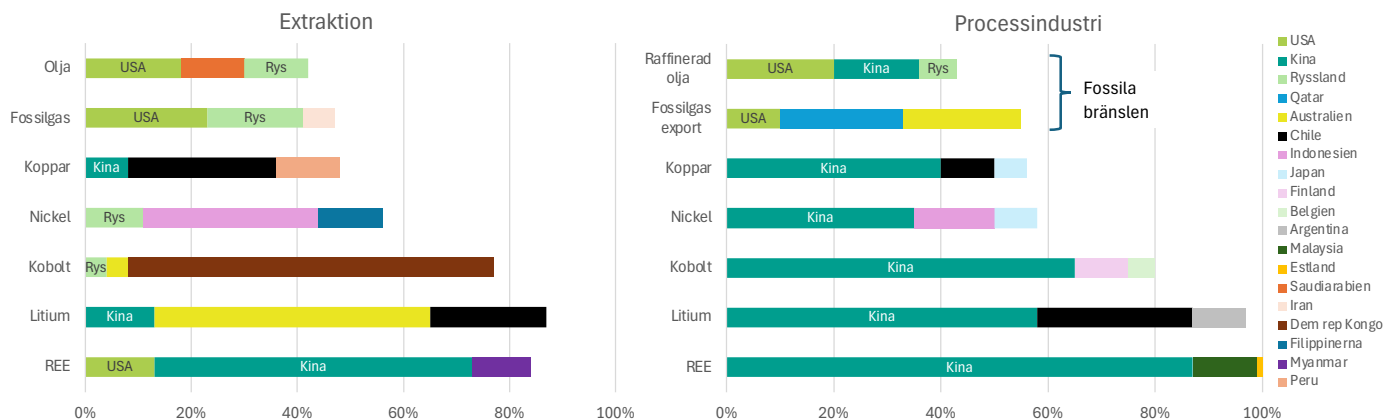
Fyndigheter av metaller och mineral är bundet till specifika platser som är ojämnt fördelade över världen, vilket återspeglas i produktionen (fig.2). En stor del av kopparproduktionen är koncentrerad till Sydamerika, medan Australien och Sydamerika tillsammans dominerar litiumbrytningen, och mer än hälften av all kobolt kommer från den Demokratiska Republiken Kongo, där brytningen delvis sker under usla arbetsförhållanden (Sovacool et al., 2020). Ett land, Kina, står för den överlägset största produktionen av sällsynta jordartsmetaller men även grafit och en rad andra metaller och mineral av betydelse för utfasningen av fossila bränslen.

Den ojämna fördelningen av metaller och mineral i jordskorpan gör gruvbrytning platsspecifik, och i en högteknologisk framtid som byggs av tekniker baserade på många olika råvaror, är alla regioner beroende av både import samt export av material. Varken Sverige eller EU kommer därför kunna möta sitt totala behov av enskilda metaller och mineral på egen hand. Vad som efterfrågas, i vilka kvantiteter och hur detta fördelas på ett rättvist sätt mellan regioner och stater, behöver därför diskuteras (Malmaeus et al., 2025).

Det finns förhoppningar om att om EU ökar primärproduktionen inom unionen kommer detta inte bara stärka EU:s självförsörjningsgrad och minska sårbarheten, utan även resultera i färre gruvor med dåliga arbetsvillkor och negativ miljöpåverkan internationellt. Detta förutsätter dock att konsumtionen begränsas så att den ökade tillförseln av resurser inte äts upp av ökad konsumtion. Gruvverksamheten i låginkomstländer kommer sannolikt fortsätta oavsett utvecklingen inom EU, och arbetet för social hållbarhet och förbättrade arbetsvillkor inom gruvindustrin kommer även fortsättningsvis vara viktigt.

Men det är inte bara råvaruproduktionen som är ojämnt fördelad i världen. Även processindustrin av metaller och mineral är koncentrerad till ett fåtal länder (fig.2), och i synnerhet Kina har en mycket stor dominans över några av de mest centrala metallerna för att genomföra en klimatomställning. Detta medför en gradvis maktförskjutning från de länder som dominerat produktionen av fossila bränslen, till de länder som profilerat sig inom industrin som ligger till grund för utfasningen av fossila bränslen. Lokaliseringen av processindustrin är inte knuten till en viss plats av fysiska skäl, utan kan styras av marknadsekonomiska och politiska förutsättningar.





Figur 2. Andelen producerad och processad råvara av fossila bränslen, samt metaller och mineral av stor betydelse för utvinningen av fossila bränslen, för de största producentländerna år 2019 (IEA, 2021).

Oligopolliknande situationer är sällan bra ut ett sårbarhets- och geopolitiskt perspektiv. EU antog 2023 förordningen om kritiska råvaror (se faktaruta) som bland annat syftar till att säkra tillgången till metaller och andra material som behövs för att genomföra en klimatomställning och minska regionens sårbarhet (EU-kommissionen, 2023). Även USA har en motsvarande strategi för att säkra landets tillgång till kritiska material (US Department of Energy, 2021). På nationell nivå tillsattes 2021 en utredning med uppgift att säkerställa en hållbar försörjning av innovationskritiska metaller och mineral (SOU, 2022), och på regeringsnivå pågår i skrivandets stund, arbetet med att ta fram en ny mineralstrategi.

Det finns fungerande marknader för bulkmetaller som antingen handlas på en metallbörs eller direkt i avtal mellan köpare och säljare (Tillväxtanalys, 2022). För innovationskritiska metaller saknas metallbörser och Kina utnyttjar sin oligopolställning inom utvinningen för att gynna inhemska kunder och därmed ta marknadsandelar högre upp i värdekedjan där lönsamheten är högre (Tillväxtanalys, 2022). Idag är Kina världsledande på bland annat litiumjonbatterier, permanentmagneter och solceller (Tillväxtanalys, 2022). Detta har en negativ påverkan på hela värdekedjan där internationella företag har svårt att ta marknadsandelar, och hämmar dessutom potentialen för återvinning då stater och regioner därmed ser sig nödgade att subventionera primärproduktionen för att förhindra att den slås ut.

I EU:s marknadsekonomi riktas kapital och innovation mot de verksamheter där möjlighet till ekonomisk vinst är som störst och till en acceptabel risk. Mer centralstyrda ekonomier kan dock nyttja andra möjligheter till att driva verksamheter mot ett visst mål, utan att på samma sätt låta sig styras av bristande lönsamhet i ett visst led i värdekedjan, vilket sannolikt är en förklaring till den ojämna fördelning av produktion och förädling av metaller och mineral för utfasningen av fossila bränslen som kan iaktas globalt. Sammanfattningsvis kan konstateras att ekonomiska faktorer påverkar vilka metaller och mineral som produceras, och detta har ett större inflytande i marknadsekonomier än i mer centralstyrda planekonomier.

Förordningen om kritiska råvaror

EU:s förordning om kritiska råvaror, eller Critical Raw Materials Act (CRMA) som den heter på engelska, antogs 2023 och har som mål att tillse att EU har en stabil och långsiktig tillgång till råvaror av avgörande betydelse för EU:s industri och minska importberoendet. Syftet är att stärka de inhemska leveranskedjorna och utveckla internationella partnerskap med länder utanför EU.

I förordningen listas både kritiska råvaror och strategiska råvaror som behövs för tekniska lösningar för den gröna och digitala omställningen och för försvars- och rymdindustrin.

År 2030 ska EU kunna producera **10 procent** av sitt årsbehov genom utvinning, **40 procent** genom bearbetning och **25 procent** genom återvinning. Högst **65 procent** av årsbehovet av varje viktig råvara, oavsett bearbetningsskede, får komma från ett enskilt land utanför EU.

Stärkta värdekedjor står i fokus i förordningen, från gruvdrift och raffinering till bearbetning och återvinning. Åtgärderna som föreslås är nationell prospektering, snabbare och mer förutsägbara tillståndsförfaranden och bättre tillgång till finansiering. Även återvinningen av råvaror ska öka och en stark andrahandsmarknad ska skapas genom att uppmuntra återvinning av kritiska råvaror från avfallsanläggningar.

Det går att läsa mer om förordningen på: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan/european-critical-raw-materials-act_sv



Tillgångar möter inte efterfrågan utan stora målkonflikter

Sammanfattningsvis kan konstateras att stora utmaningar föreligger för att möta efterfrågan på många av de metaller och mineral i en framtid som utgår från en hög energitillförsel och expanderande eller bibehållen fordonsflotta. Även om det finns tillgängliga reserver kommer dessa inte kunna utvinnas i tillräckligt hög takt, det saknas i många fall investeringsvilja från gruvnäringen, och de sociala och miljömässiga konsekvenserna kan vara så stora att de bör förhindra utvinning.

Stora osäkerheter föreligger i uppskattningarna över efterfrågan av metaller och mineral för att bygga ny förnybar energiinfrastruktur och fossilfria fordon. Snabb teknologisk utveckling, förändringar av fordons- och mobilitetssektorn, samt ekonomin och industrins utveckling, påverkar kraftigt prognoserna. Samtidigt styr tillgången och priset på material investeringar i innovation, vilket i sin tur styr teknikutvecklingen och därigenom efterfrågan. Den här utvecklingen har inte minst varit tydlig vad gäller batteritillverkningen, vilket har stor påverkan på efterfrågan av olika metaller. Tillgången på råvara påverkas dessutom av konkurrens från andra användningsområden av metaller och mineral, inte minst från en växande försvarsindustri.

Metaller lämpar sig väl för återvinning och sekundära material har på sikt potential att i det närmaste ersätta primär utvinning inom energi- och transportsektorerna men då måste förutsättningar skapas för detta. Än så länge behövs dock mer material för att bygga ny energiinfrastruktur och nya fossilfria fordon än vad som finns i cirkulation.

Hela värdekedjan, från första spadtaget fram till slutprodukt, karaktäriseras i mångt och mycket av en oligopolliknande och imperfekt marknad, där negativa externaliteter ofta inte prissätts, som påverkan på människor och miljö. Här föreligger också viktiga sårbarhetsaspekter och maktförhållanden mellan stater och regioner, vilket påverkar politiken och därmed delvis blir styrande för utvinningen av material.

Slutsatsen blir att mycket större kraft måste ägnas åt att utforska hur samhället kan utvecklas på ett önskvärt sätt och hur klimatomställningen kan genomföras inom planetens gränser, så att behovet av energi tillgodoses och fördelas rättvist, samtidigt som negativa konsekvenser på människor och lokalmiljö minimeras. Att söka lösningar på hur stora mängder material kan utvinnas med största möjliga hastighet för att möta en snabbt ökande efterfrågan är inte ett hållbart vägval.



Gruvbrytningens negativa konsekvenser för människor och miljö

Primärproduktion av metaller innebär ett ofrånkomligt och irreversibelt ingrepp i den naturmiljö där utvinningen sker. Hur stor skadan som uppkommer är beror av gruvans utformning, möjligheterna till efterbehandling, samt ekosystemens sårbarhet.

Gruvor genererar stora mängder avfall. Varje år beräknas enbart järnmalmsbrytning ge upphov till 2 400 miljoner ton avfall (IRP, 2019). Det mesta av det som bryts är nämligen inte användbart: malmhalten i järnmalm är i genomsnitt runt 30 procent och i sulfidmalmer (t ex koppar) mindre än en procent (SGU, 2025). Gråberg kallas det stenmaterial som inte innehåller någon malm, och blir till avfall. Själva malmen tillvaratas och mals ner till ett fint pulver, och ur det här pulvret utvinns sedan själva metallen i kemiska processer. Återstoden kallas anrikningssand och slutförvaras i stora sandmagasin s.k. gruvdammar, som övervakas noga inte minst för att anrikningssanden ofta är giftig. Om ett dammbrott sker, brister väggarna på dammen och stora mängder mer eller mindre giftigt anrikningsslam förflyttar sig ner genom landskapet. Genom historien har ett flertal otäcka dammbrott skett med förödande konsekvenser för människor och miljö nedströms gruvan. Ett av de värsta inträffade i Brasilien 2019 och resulterade i storskalig miljöförstöring där 270 människor miste sitt liv (Silva Rotta et al., 2020). Sulfidmineral ger vidare upphov till utsläpp av sura, metallhaltiga lakvatten. Rening av lakvatten sker därför före och efter sandmagasinen för att undvika urlakning av förorenat vatten till nedströms vattendrag.

Gruvbrytning riskerar även att leda till negativ påverkan på grundvattentillgångarna i närheten av gruvan genom påverkan på den lokala hydrologin. Utvinningsprocessen är mycket vattenkrävande, vilket är särskilt utmanande för de metaller och mineral som har stora förekomster i vattenstressade områden som exempelvis koppar och litium (Meissner, 2021; Vera et al., 2023).

Produktionen av metaller är mycket energikrävande och ger upphov till ca 30 procent av industrins utsläpp av växthusgaser (Raabe et al., 2019). Gruvindustrin ingår i EU:s handel med utsläppsrätter, vilket i Sverige har medfört en successiv omställning till elektrifierade processer. Det innebär att själva omställningen av gruvindustrin driver efterfrågan på elektricitet, vilket i sin tur ökar efterfrågan på metall och mineral för att bygga nya energiproduktionsenheter.

En gruva tar dessutom mycket mark i anspråk, i synnerhet ovanjordiska gruvor som sker i dagbrott. Ett av de mest kända dagbrotten i Sverige, Aitik koppargruva, är exempelvis tre kilometer långt och en kilometer brett, och utöver detta tillkommer ett sandmagasin som mäter två gånger fem kilometer. Då mark blir en alltmer begränsad resurs för mat och skogsproduktion, kolinlagring och biologisk mångfald, renskötsel och lokalisering av vind- och solcellsparker, sker gruvornas utbredning i allt större konkurrens med andra intressen.

Gruvbrytning har också stor påverkan på de samhällen som ligger i närheten av gruvan. Den här påverkan kan vara positiv i den bemärkelsen att gruvan innebär en försörjning för många som lever i samhällen nära gruvan. På många platser är dock arbetsvillkoren än idag undermåliga och sårbara grupper utnyttjas i förhållanden som liknats vid modern slavhandel (t ex Berthet et al. 2024, Sovacool et al., 2020).

Samerna är Europas enda urfolk och metall- och mineralreserverna återfinns ofta i Sápmi. Detta kräver särskild hänsyn, inte minst kopplat till hur mycket metall och mineral ett land som Sverige skulle kunna bidra med. Historiskt sett har gruvdrift inte sällan haft stor negativ påverkan på renskötseln (Amnesty International, 2025).



Sveriges roll som gruvnation i omställningen

3

Den globala kontexten skapar förutsättningar för att genomföra en klimatomställning i Sverige. Samtidigt påverkar Sverige även möjligheterna för andra länders klimatomställning genom nivån på den nationella exporten och importen av metaller och mineral, samt inhemsk teknikutveckling. I det här avsnittet analyseras konsekvenserna av möjliga utvecklingsvägar för Sveriges klimatomställning med fokus på metaller och mineral.

En liten gruvnation i världen, men viktig i EU

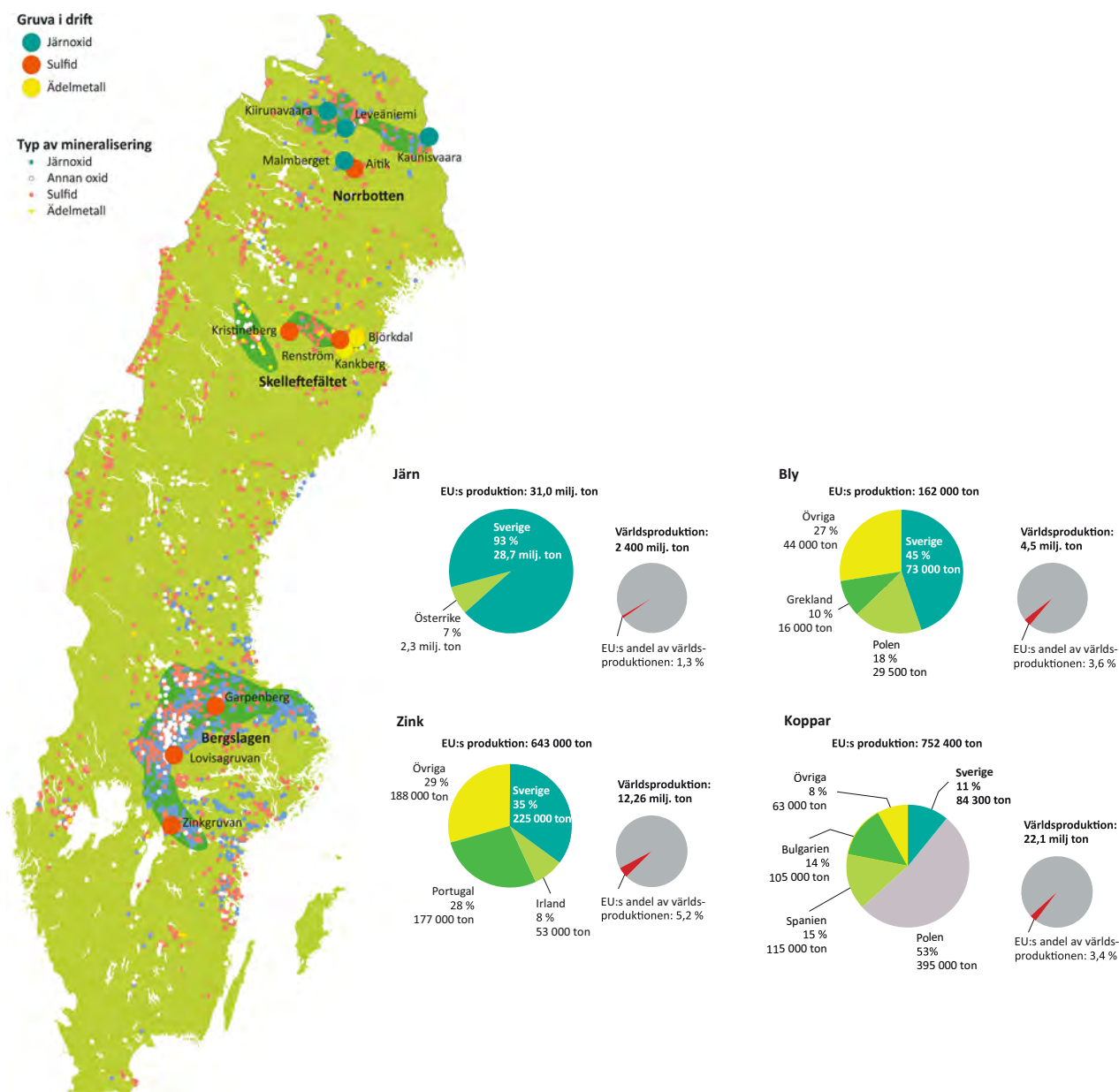
Sverige är en av världens äldsta gruvnationer. Redan på medeltiden bedrevs organiserad gruvsdrift i så kallade bergslag. Järn, koppar, silver, guld, zink och bly bröts i det område som idag kallas för Bergslagen (fig.4). Från 1600-talet började även järnmalm brytas i malmfälten belägna kring Kiruna och Gällivare i Norrbotten. Det tredje stora gruvområdet, Skelleftefältet, ligger i Västerbotten och togs i drift på 1920-talet. I Ytterby gruva på Resarö i Stockholms skärgård från 1700-talet har inte mindre än nio olika grundämnen upptäckts, varav åtta är sällsynta jordartsmetaller.

Arbetet var tungt och smutsigt och arbetsförhållandena var svåra. Ett flertal olyckor med dödlig utkomst skedde. Dessutom inverkade gruvsdriften negativt på andra områden/sektorer. En sektor som drabbats särskilt hårt av gruvsdriften är renskötseln. Samtidigt har gruvor också medfört arbetstillfällen. Historiskt sett har hanteringen av gruvavfall haft obefintlig eller svag reglering. Det innebär att det idag finns miljöskadligt gruvavfall som ingen privat aktör har ansvar för utan saneringskostnaderna tillfaller därmed inte sällan kommunerna.

Dagens malmbrytning är fortfarande koncentrerad till Bergslagen, Skelleftefältet och Malmfälten. Från att ha varit världsledande på järnmalmproduktion är Sveriges gruvbrytning nuförtiden liten med internationella mått mätt (fig.4). Istället är det Australien, Brasilien, Kina, Indien och Ryssland som är de stora producenterna på världsmarknaden. Trots att den järnmalm som bryts i Norrbotten utgör nästan hela Europas produktion så motsvarar den bara en bråkdel av EU:s förbrukning (Screen, 2020). Sverige framställer även zink, bly och koppar i kvantiteter som är relativt stora ur ett europeiskt perspektiv, men små på den internationella marknaden. Utöver detta bryts guld och silver i mindre mängder.

Idag är arbetsvillkoren i de svenska gruvorna avsevärt mycket bättre, och arbetet automatiseras successivt, vilket minskar risken för olyckor. Efterbehandlingen av gruvavfallet är tydligt reglerat i lagstiftningen. Men det finns stora åsiktsskillnader gällande vilka gruvor som bör beviljas tillstånd och inte, där skiljelinjen ofta går mellan renskötsel och miljöintressen på den ena sidan, och gruvindustrin på den andra (se faktaruta om gruvbrytningens negativa miljöpåverkan).

Den prövning i flera steg som finns idag har klara brister. Prövningarna brister generellt när det gäller kunskaper och lokalisering (Naturvårdsverket och SGU, 2017). Att miljöaspekterna inte provas samlat vid ett och samma tillfälle gör det svårare att göra en allsidig sammanvägning av de hänsyn som ska tas enligt miljöbalken (Naturvårdsverket, 2019). Det finns också legala hinder för ökad användning av avfall som resurs för metallutvinning (SGU, 2023).



Figur 3. Sveriges befintliga gruvor samt primär utvinning av basmetaller 2023. I Sverige bryts även silver och guld när de förekommer tillsammans med basmetallerna. Källa: Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 2025.

I den svenska berggrunden finns även resurser av andra metaller och mineral med relevans för genomförandet av en klimatomställning, än de som bryts idag. Hit hör exempelvis grafit, kobolt, litium, mangan, nickel och vanadin (tabell 1). Generellt tycks uppskattningen av resurserna i Sverige vara tämligen okända och osäkerheten i uppskattningen av dessa är därmed stor.

I Rönnbäcken utanför Storuman har en nickelfyndighet resulterat i en bearbetningskoncession för ett bolag som i nuläget saknar investeringskapital. Vanadinfyndigheterna är relativt stora men så låghaltiga att brytning inte har bedömts ekonomiskt genomförbar. Även sällsynta jordartsmetaller av betydelse för genomförandet av en klimatomställning förekommer i den svenska berggrunden. Detta innefattar exempelvis dysprosium i Norra Kärr, Östergötland, och en rad olika sällsynta jordartsmetaller i LKAB:s gruvor i malmfälten. Dessa metaller kan användas i de permanentmagneter som finns i vindkraftverk, men exakt vilka metaller permanentmagneterna innehåller varierar mellan olika teknologier. Grafitbrytning planeras utanför Vittangi i ett dagbrott som erhållit bearbetningskoncession.

Det finns även sekundära fyndigheter i slagghögar, sandmagasin, andra deponier och metallskrot, samt i uttjänt infrastruktur huvudsakligen nedgrävd i mark i städer. Uppskattningen av storleken på dessa är behäftat med stora osäkerheter, men indikerar att det kan finnas potential till utvinning av både koppar och mangan, och möjligen också andra metaller (tabell 1)

Metall	Kritisk råvara	Användningsområde	Kända resurser
Grafit (C)	Ja	Litiumjonbatterier, elektroder	10,5 Mton.
Kobolt (Co)	Ja	Litiumjonbatterier	24 000 ton. 96 000 ton i gruvavfall
Litium (Li)	Ja	Litiumjonbatterier	3 240 ton (osäker).
Mangan (Mn)	Nej	Batterier, vindkraftverk	190 000 ton i gruvavfall.
Nickel (Ni)	Ja	Batterier, vindkraftverk	2,6 Mton.
Sällsynta jordarts-metaller	Ja	Magneter (vindkraftverk)	0,21 Mton. ¹ 0,5 Mton i gruvavfall
Vanadin	Ja	Redoxbatterier.	4,6 Mton. Låghaltig i Sverige. ²

Tabell 1. Resurser av metaller och mineral som inte produceras i dagsläget med relevans för genomförandet av en klimatomställning.

¹ 9% av kända globala resurser på Grönland, samt i Sverige och Norge. Innefattar dysprosium i Östergötland och neodym och praseodym i malmfälten.

² 10% av kända globala resurser i Norden.

Källa: Eilu et al., 2021; USGS, 2025. SGU, 2025.

Sverige har inte enbart en roll som primärproducent av råvara, utan verkar även högre upp i värdekedjan. Boliden driver idag fem smältverk i Norden, varav Rönnskärsverken utanför Skellefteå är det största i Sverige. Dessa smältverk tar även emot uttjänta produkter som elektronikskrot och producerar exempelvis koppar, zink, nickel, bly, guld och silver genom återvinning.

Beräkning av mängden metaller och mineral

För att uppskatta storleken på utvinningen och råvarutillgångarna i relation till efterfrågan, beräknades den framtida metallåtgången i tre scenarier som beskriver olika sätt att genomföra en klimatomställning på. Beräkningarna utgår från redan existerande scenarier framtagna av myndigheter. Dessa kontrasterar olika vägval och representerar inte en viss önskvärd utveckling, utan utforskar konsekvenserna av olika utvecklingsmöjligheter.

Svenska kraftnät och Energimyndigheten publicerar regelbundet scenarier över hur energitillförsel och -användning skulle kunna utvecklas i framtiden (t ex Energimyndigheten, 2023b; 2025; Svenska kraftnät, 2023). Dessa scenarier baseras på den kunskap som finns om dagens användning och produktion, kända kommande investeringar och beslutade projekt, samt rådande politik och historiska erfarenheter. Beräkningarna baseras på tre scenarier som beskrivits av Svenska kraftnät: "Elektrifiering planerbart" (EP), "Elektrifiering förnybart" (EF), samt "Småskaligt förnybart" (SF) (Svenska kraftnät, 2025) (tabell 2). Dessa scenarier valdes eftersom de illustrerar skillnader i vägval med direkt betydelse för klimatomställningen.

Alla scenarier utgår från att det svenska klimatmålet om netto-nollutsläpp uppnås till år 2045, men är inte preskriptiva utan utforskar olika möjliga utvecklingsvägar. Resultaten ska därför användas för att jämföra konsekvenserna av olika vägval med avseende på total energianvändning, skillnader i elproduktion mellan olika kraftslag, samt storleken på fordonsflottan. Analysen sträcker sig från 2025 fram till år 2045 och innefattar tre sektorer: energiproduktion, transport och eldistribution.

Scenarierna Elektrifiering planerbart och Elektrifiering förnybart utforskar en framtid där elanvändningen uppgår till 365 TWh/år 2045 till följd av stor tillverkning av fossilfritt stål, vätgas, nya serverhallar och batterifabriker. Småskaligt förnybart karakteriseras istället av effektivisering och begränsad energianvändning, och i detta scenario uppgår den totala elanvändningen till 210 TWh/år 2045. I de expansiva elektrifieringsscenarierna är skillnaden att i Elektrifiering planerbart bidrar kärnkraft till energiförsörjningen, medan den avvecklas i Elektrifiering förnybart (tabell 2). Precis som i Elektrifiering förnybart avvecklas kärnkraft även i Småskaligt förnybart. I båda dessa scenarier byggs istället vindkraft ut, med skillnaden att havsbaserad vindkraft utvecklas betydligt mer i Elektrifiering förnybart.

Idag finns knappt fem miljoner personbilar i Sverige (Mobility Sweden, 2023). I Energimyndighetens framtidsscenarier bedöms antalet personbilar öka från 0,5 till 0,6 personbilar/invånare till år 2050 (Energimyndigheten, 2023b). Detta överensstämmer relativt väl med energiförbrukningen i fordonsflottan i Elektrifiering planerbart och Elektrifiering förnybart, och därför utnyttjas Energimyndighetens uppskattning av antalet fordon i analysen.

Vidare används uppskattningen av energiåtgången för transporter i Småskaligt förnybart samt antalet fordon i de övriga två scenarierna för att interpolera fram antalet fordon i Småskaligt förnybart. Det totala antalet nytillverkade elektriska fordon av olika kategorier återfinns i tabell 2. För att uppskatta metallinnehållet i fordonen har data från IEA, 2021, använts. Personbilar antas köras med NMC-batterier med en genomsnittlig storlek på 74kWh, och att lätta lastbilar antas innehålla 1,5 gånger så mycket metaller i batterierna som en personbil. För tunga lastbilar och bussar antogs istället att dessa drivs av LFP-batterier på 500 kWh (jmf figur 1 ovan).

Framtidens elproduktion väntas bli alltmer utspridd geografiskt i och med en större andel förnybar energi. Samtidigt står transmissions- och distributionsnätverket inför en stor upprustning den kommande tioårsperioden. Idag omfattas det svenska kraftnätet av 596 000 km ledning, varav 444 000 är jordkabel (Energiföretagen, 2025). Transmissionsnätet, stamnätet i Sverige som också ansvarar för utlandsförbindelserna, förvaltas av Svenska kraftnät. I sin rådande nätutvecklingsplan planeras för en utbyggnad av transmissionsnätet med 1500 km den kommande tioårsperioden, vilket motsvarar 10 procent av det totala stamnätet (Svenska kraftnät, 2024).

I rapporten baseras beräkningarna på antagandet att samma utbyggnadstakt i hela transmissions- och distributionsnätverket gäller för alla scenarier. Det här motsvaras av 15 200 km luftburen ledning, och 44 400 km markkabel för alla scenarier (tabell 2). Vidare antogs en standarddimension om 50 mm² för markkabel och 470 mm² för luftburen ledning.

Scenariot "Småskaligt förnybart" har betydande likheter med framtidsscenariet för den svenska energiomställningen som Naturskyddsföreningen presenterade i rapporten *Fossilfritt, förnybart, flexibelt – framtidens hållbara energisystem* men är mer aktuellt särskilt i relation till nya industriprojekt (Naturskyddsföreningen, 2019). En betydande skillnad mellan "Småskaligt förnybart" och Naturskyddsföreningens framtidsscenario är storleken på fordonsflottan, vilken är betydligt större i "Småskaligt förnybart". Dessutom går antalet bussar ner i "Småskaligt förnybart", vilket skiljer sig från Naturskyddsföreningens framtidsscenario där bussarna istället ökar när personbilarna minskar.

	Elektrifiering planerbart	Elektrifiering förnybart	Småskaligt förnybart
Energislag (GW)			
Vattenkraft	0	0	0
Kärnkraft	7,8	0	0
Vindkraft hav	5,7	16	0,5
Vindkraft land	12,2	32,1	22,3
Solkraft	14,1	21,3	11,3
Distribution (km)			
Luftburen ledning	15 200	15 200	15 200
Markkabel	44 400	44 400	44 400
Transport (antal fordon)			
Personbilar	6 408 000	6 408 000	5 175 453
Lätta lastbilar	720 000	720 000	583 648
Tunga lastbilar	125 520	125 520	68 862
Buss	18 187	18 187	9 464

Tabell 2. Antaganden om nytillkommen effekt, utbyggnad av transmissions- och distributionsnätverket, och antal nytillkomna batteridrivna fordon (Li-Ion-batterier) per scenario.

Beräkningarna baseras på *nytillkomna* kraftverk för elproduktion, fordon och ledningar från 2023 och tar ingen hänsyn till produktionsenheter som behöver bytas ut under den undersökta perioden eller återvinningsgraden av uttjänta produkter. Dessutom inkluderas inte stationära batterier för att stabilisera elnätet i beräkningarna. Analysen har heller inte innefattat en uppskattning av den energi som åtgår vid själva materialutvinningen.

Slutligen innefattar beräkningarna inte heller metallåtgången för framställning av vätgas som energibärare, eftersom en överslagsräkning visade på att denna befanns vara mycket liten i förhållande till övrig efterfrågan. För att beräkna hur mycket metall som åtgår för att tillverka de produktionsenheter som ska framställa den nytillkomna energin, har data från Carrarra et al., 2020 samt IEA, 2020, använts.

Vilka metaller som inkluderats i analysen kompliceras av att behovet av metaller varierar kraftigt med val av teknik för energiproduktion och transportsystem. Den här studien innefattar metallerna aluminium, kobolt, koppar, krom, litium, mangan, nickel, zink samt grafit, vilka är de mest relevanta ur ett klimatomställningsperspektiv. Även sällsynta jordartsmetaller (REE) är inkluderade, vilket i det här fallet innefattar dysprosium, neodym, praseodym, terbium och yttrium.

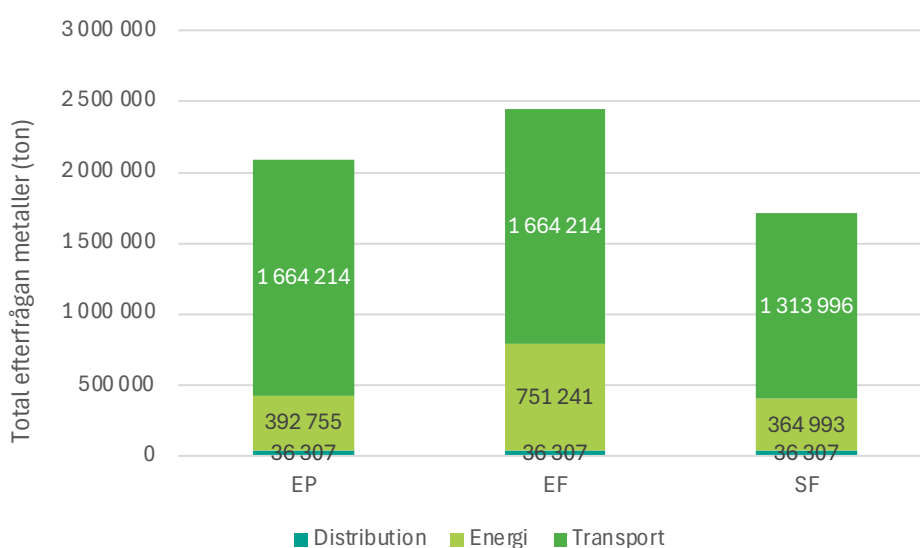
Stor efterfrågan på metaller och mineral för genomförandet av en klimatomställning i Sverige

Beräkningarna visar att ytterligare 1,6 till 2,5 miljoner ton metaller (exklusive järn och stål) efterfrågas till år 2045 specifikt för energi- och transportsektorn samt eldistribution, beroende på vilket sätt omställningen genomförs (fig.5). Det kan jämföras med den årliga gruvbrytningen i av zink och koppar på 0,31 miljoner ton metaller, eller 6,2 miljoner ton över motsvarande 20-årsperiod. Det betyder alltså att även om det rör sig om olika sorters råvara så är den svenska brytningen av ny råvara större än den totala mängden metaller och mineral som efterfrågas för att genomföra en klimatomställning i alla de tre undersökta scenarierna.

Figur fem visar också tydligt att efterfrågan på metaller och mineral är allra störst för omställningen av transportsektorn (blå staplar), vilken varierar mellan 60-80 procent av den totala efterfrågan mellan de olika scenarierna. Naturskyddsföreningens framtidsvision för energi- och transportomställningen skiljer sig markant åt från dessa scenarier vad beträffar storleken på fordonsflottan år 2040. Jämfört med Småskaligt förnybart (SF) är fordonsflottan ungefär hälften så stor i Naturskyddsföreningens eget scenario (Naturskyddsföreningen, 2019), vilket motsvarar en total efterfrågan på ungefär 1,0 miljon ton metaller - alltså avsevärt mindre än alla de undersökta scenarierna. Därtill finns en potential att minska storleken på batterierna, något som är utforskat i dessa scenarier. Hur transportsektorns omställning genomförs får med andra ord avgörande betydelse för hur mycket metaller och mineraler som krävs för klimatomställningen.

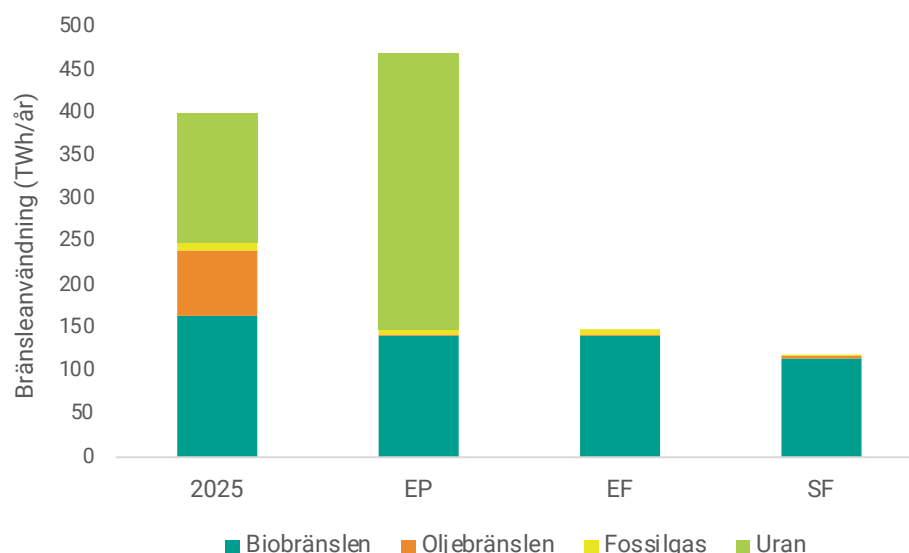
Undersöks istället energisektorns efterfrågan på metaller och mineral (figur 5, orange staplar), kan konstateras att den är högst i en framtid med hög energianvändning som helt baseras på förnybara energikällor (EF). Däremot krävs det i scenariot som inkluderar kärnkraft ett fortsatt inflöde av uran som bränsle. I jämförelse med de två scenarier som antingen baseras på en lägre grad av energianvändning (SF) eller som inkluderar kärnkraft (EP), är den totala metallåtgången för energiproduktion nästan dubbelt så stor.

Slutligen kan konstateras att efterfrågan på metaller för transmissions- och distributionssystemets utveckling (figur 5, gröna staplar) är mycket lägre än för de övriga två sektorerna.



Figur 4. Efterfrågan på metaller för att ställa om transport, energi och distribution för tre olika framtidsscenarier.

Den ökade metallanvändningen för genomförandet av en klimatomställning bör relateras till bränsleanvändningen i varje scenario för att ge en heltäckande bild av den totala miljö- och klimatpåverkan. Det finns dock en avgörande skillnad mellan användning av metaller och mineral å ena sidan, och bränsle å den andra. Förutsatt en hög framtida återvinning, utgör metallerna och mineralerna som används för att bygga själva produktionsenheterna för energi- och transportsystemet en engångsinvestering. I ett fullständigt slutet system återvinns allt detta material över tid för att skapa nya enheter (t ex nya bilar, vindkraftverk osv). Beräkningarna baseras därför på *den totala mängden material* som efterfrågas fram till år 2045 då en klimatomställning antas vara fullt genomförd. Bränsle däremot är något som kontinuerligt måste tillföras. I figur 6 illustreras detta som en viss bränsleförbrukning per år. När energiportföljen baseras på förnybar energi (EF och SF), minskar den totala bränsleanvändningen kraftigt jämfört med idag, och består nästan helt av biobränslen. I scenariot som bygger på en utbyggnad av kärnkraften (EP) ökar istället den totala bränsleanvändningen i jämförelse med idag, och uppgår år 2045 till mer än dubbelt så mycket som i de övriga två scenarierna. År 2045 uppskattas totalt 322 TWh produceras av kärnkraft brutto, vilket motsvarar en årlig förbrukning av uran på ca 3000 ton¹.

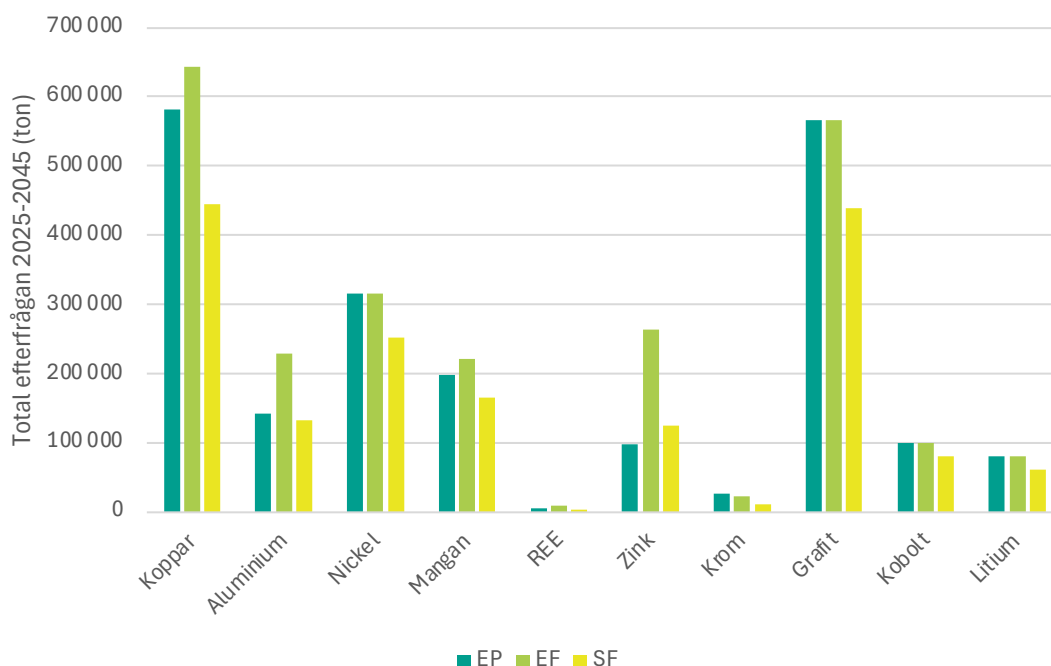


Figur 5. Total årlig bränsleanvändning per scenario och bränsletyp.

Eftersom de olika metallerna ofta inte kan ersätta varandra i de produkter de ingår i, är det stor skillnad mellan hur mycket som efterfrågas av *olika enskilda metaller och mineral*, vilket visas i figur 7. Högst är efterfrågan på koppar som behövs inom alla de undersökta sektorerna. Batterimetallerna kobolt och litium, samt grafit, efterfrågas i mycket hög grad i de två scenarierna som beskriver en framtid med en utökad fordonsflotta (EP och EF). Det här gäller även nickel och mangan som är viktiga metaller i elbilar. När energitillförseln är hög och dessutom helt förnybar (EF), efterfrågas i sin tur mycket aluminium och zink för att kunna generera stora mängder elektricitet från vind- och solkraft.

Idag producerar Sverige ungefär fyra gånger så mycket koppar och tjugo gånger så mycket zink som den uppskattade efterfrågan i alla de tre scenarierna. Sett till dessa två metaller är Sveriges nuvarande gruvbrytning alltså mer än tillräcklig för att klara omställningen, enbart i Sverige oavsett vägval. Men för alla övriga metaller som ingår i analysen – aluminium, nickel, mangan, krom, grafit, kobolt, litium och sällsynta jordartsmetaller – är landet nettoimportör, eftersom dessa inte bryts i nuläget. Att bara titta på den totala mängden metaller och mineral ger alltså en förenklad bild över hur efterfrågan förhåller sig till tillgångarna.

¹ Uppskattat från dagens import på 1500 uran, vilket används för att producera ca 150 TWh (Energiföretagen, 2023).

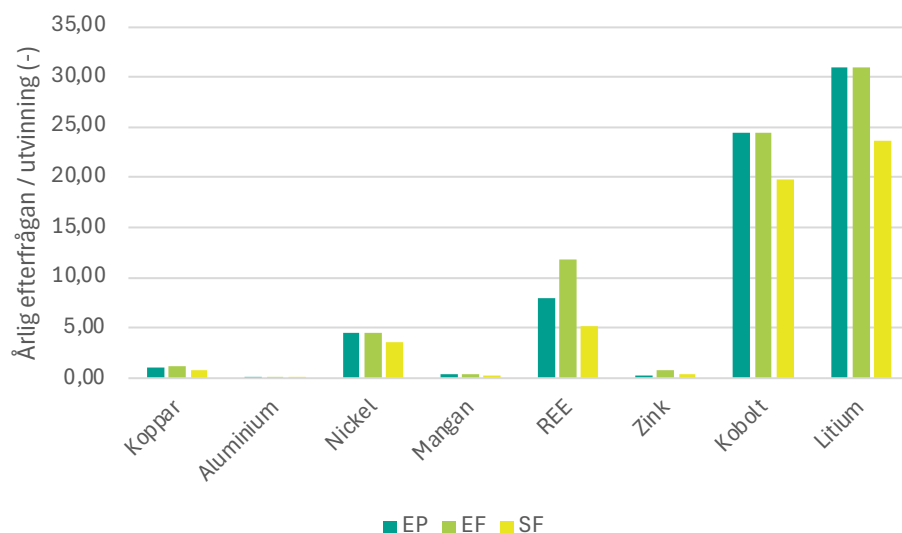


Figur 6. Sveriges totala efterfrågan på olika metaller och mineral för olika vägval för att genomföra en klimatomställning.

Sverige kommer därmed även fortsättningsvis att behöva importera vissa metaller och mineral som bryts utanför landets gränser. Den här importen behöver ställas i relation till dagens globala utvinningsnivåer för att få en uppfattning om storleksordningen på efterfrågan, och därmed även realiserbarheten om hela världen ska genomföra en klimatomställning.

Eftersom olika länder är olika stora behöver både den globala utvinningen och Sveriges efterfrågan räknas om så att de blir per invånare för att få jämförbara siffror. Därefter analyseras förhållandet mellan Sveriges efterfrågan per person, med utvinningen av råvaror globalt per person. Ett värde större än ett betyder det att den svenska efterfrågan enkom för att genomföra en klimatomställning överskrider den andel av utvunnen primärråvara som landet skulle ha tilldelats om alla nationer erhöll lika mycket metaller och mineral i proportion till sin befolkning. Under en sådan utvecklingsväg skulle alltså Sveriges anspråk på vissa metaller och mineral försvåra för andra länder att genomföra en klimatomställning med motsvarande efterfrågan på metaller och mineral som i Sverige.

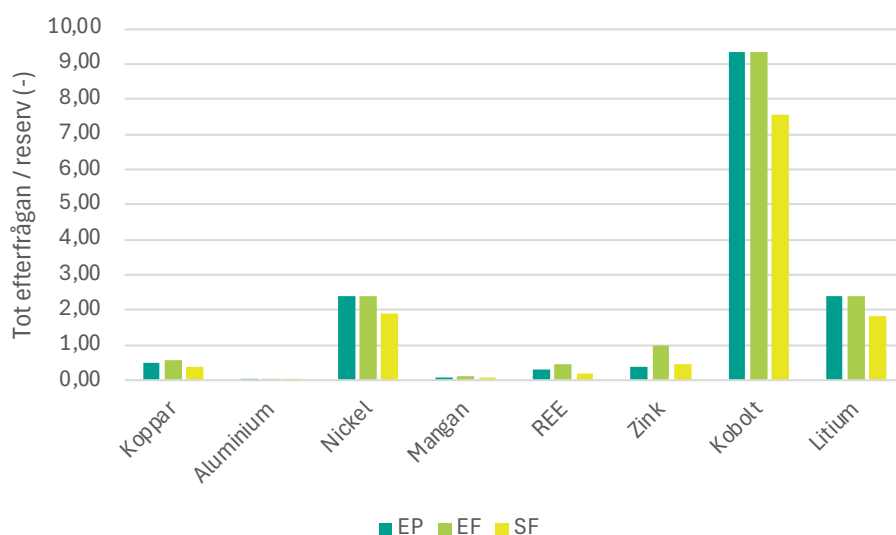
Resultatet illustreras i figur åtta och visar att för litium och kobolt i hög grad, men även för sällsynta jordartsmetaller och nickel, riskerar Sveriges klimatomställning att försvåra omställningen för andra länder. Det här gäller oavsett vilken utvecklingsväg Sverige tar. Även om det är skillnad mellan olika utvecklingsvägar är den största utmaningen i nuläget att det inte är möjligt att med dagens utvinningstakt möta efterfrågan för vissa metaller och mineral om tillgången fördelas jämnt mellan alla världens länder.



Figur 7. Sveriges årliga efterfrågan jämfört med den årliga utvinningstakten (globala produktionen) per capita i medeltal mellan 2018-2022. Värden över ett indikerar att Sveriges efterfrågan överskrider den mängd som finns tillgänglig om utvinningen fördelades jämnt mellan alla invånare globalt.

En snabbare utvinningstakt skulle möjligen kunna hantera problemet med att tillgångarna av vissa metaller och mineral inte räcker för att möta efterfrågan, om alla länder hade samma nivå på efterfrågan som i Sverige. Den svenska efterfrågan jämfördes därför även med de globala reserverna per person. Precis som i det förra exemplet betyder ett värde över ett att det inte går att möta efterfrågan.

Som illustreras i figur nio visar den här analysen att även om all råvara kunde utvinnas, skulle de totala reserverna av framför allt kobolt, men även litium och nickel, inte vara tillräckliga för att möta efterfrågan om reserverna fördelades jämt i något av de undersökta framtiderna. Igen överskuggas olikheterna mellan scenarierna av stora skillnader i tillgång mellan olika metaller och mineral.

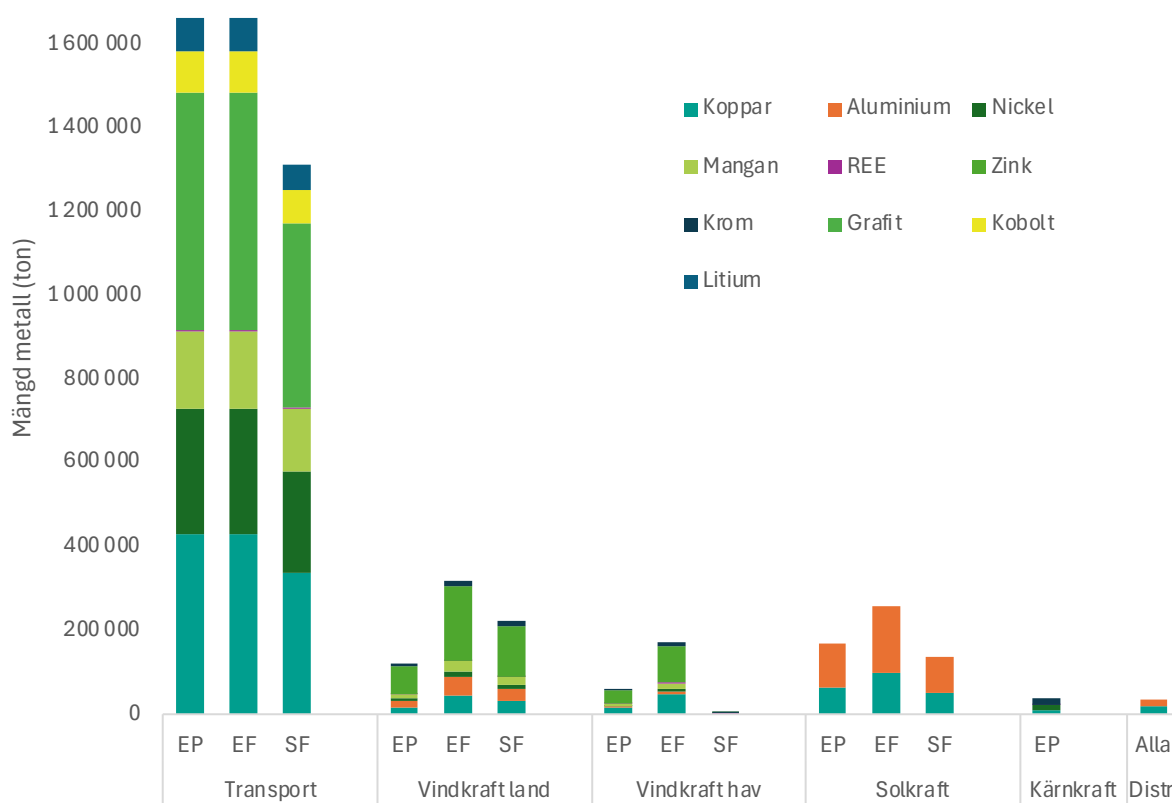


Figur 8. Total efterfrågan på olika metaller och mineral under perioden 2025-2045 jämfört med de totala globala reserverna. Värden över ett indikerar att Sveriges efterfrågan överskrider den mängd som finns tillgänglig om reserverna fördelades jämnt mellan alla invånare globalt.

Teknikval har stor betydelse för vilka metaller och mineral som efterfrågas för olika energiproduktionsenheter och batterier, och val av teknik kommer med all säkerhet påverkas av tillgången på råvara. I den här rapporten baseras analysen på de rådande teknikvalen, och de är likadana för alla de undersökta utvecklingsvägarna.

Skillnaderna mellan olika användningsområden framgår tydligt när behovet av metaller redovisas separat för varje enskild slutprodukt, vilket illustreras i figur 10. Eftersom efterfrågan på metaller och mineral för att tillverka batterier är stor i alla de undersökta scenarierna, blir efterfrågan på batterimaterialen koppar, nickel, mangan, grafit, kobolt och litium följaktligen också hög. Något lägre blir den i scenariot småskaligt förnybart (SF), eftersom fordonsflottan är något mindre här.

För att bygga nya energiproduktionsenheter – vindkraftverk och solkraftsanläggningar – går det åt mycket koppar, aluminium och zink. Därför är efterfrågan på dessa metaller högst i Elektrifiering förnybart (EF), vilket återspeglar den storskaliga utbyggnaden av vind- och solkraft. I Småskaligt förnybart (SF) är efterfrågan på energi generellt lägre, och i synnerhet vad gäller de metaller som i högre grad används för havsbaserad vindkraft - koppar, krom och sällsynta jordartsmetaller. I det scenario där kärnkraft ingår i energiportföljen (EP) är utbyggnaden av vindkraft lägre än i de övriga två, vilket resulterar i en lägre efterfrågan på koppar och zink.



Figur 9. Efterfrågan på metaller per användningsområde för olika framtidsscenarier.

Men det finns även andra faktorer än tillgång och efterfrågan som sätter ramarna för hur en klimatomställning kan genomföras. Hit hör exempelvis teknikutveckling framför allt inom batteriindustrin, metallernas prisvolatilitet som påverkar sannolikheten för att en viss råvara kommer att utvinnas, och miljökrav.

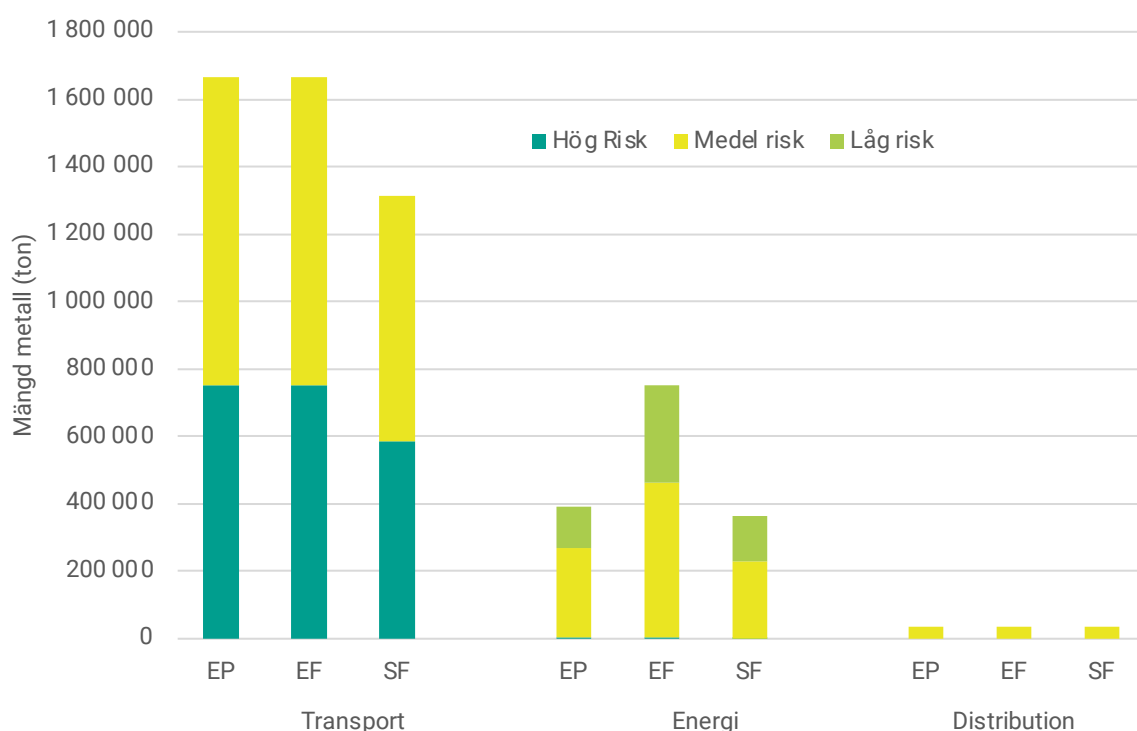
För att skatta den sammanvägda risken för att omställningen bromsas av materialbrist (fysisk eller ekonomisk), klassificerades därför de ingående metallerna och mineralen i analysen i tre kategorier (tabell 3). Metaller där reserverna överskrider efterfrågan, och marknaden är stabil och okänslig inför val av teknik klassificeras som låg risk. Om reserverna däremot är begränsande klassas metallen som medelhög risk. Koppar inkluderades i denna kategori då ett flertal studier har indikerat att koppar som ingår i många olika produkter i samhället de facto kan utgöra en viktig flaskhals för utfasningen av fossila bränslen. Slutligen, om reserverna är begränsade, och marknaden är instabil och beroende av teknikval, klassificeras metallen som hög risk.

Metall	Aluminium	Zink	Mangan	Nickel	Koppar	Litium	Kobolt	Grafit	REE
Risk	1	1	1	2	2	3	3	3	3

Tabell 3. Riskklassificering av metaller och mineral, där 1=låg risk, 2=medelhög risk, 3=hög risk.

Risikanalysen visar på hög till medelhög risk för omställningen av transportsektorn. Här går teknikutvecklingen fort, vilket kan leda till att gruvbolagen tvekar inför att öppna nya gruvor för att möta efterfrågan på metaller som specifikt är kopplat till en viss teknologi. Vissa av de ingående metallerna förekommer inte heller i en sådan utsträckning att det ens är fysiskt möjligt att möta efterfrågan. Det här kommer med största sannolikhet bana väg för ny teknik, samtidigt som drivkraften för en förflyttning från fordon till funktion i transportsektorn ökar.

Energisektorns omställning är i risikanalysen behäftat med lägre risk, vilket framför allt beror på en stor efterfrågan av aluminium och zink. Däremot skapar en stor efterfrågan på koppar osäkerhet, liksom tillgången på sällsynta jordartsmetaller. I scenariot Elektrifiering förnybart (EF) är den totala efterfrågan på metaller högre än i de andra två på grund av en hög energianvändning. Det är dock svårt att göra en rättvisande jämförelse med Elektrifiering planerbart (EP), eftersom risken kopplat till tillgången på uran inte är inkluderat i analysen.



Figur 10. Riskanalys över metaller och mineral där efterfrågan kan begränsas av tillgången och därmed bromsa omställningen.

Vägval för Sverige

Användningen av metaller och mineral behöver öka för att en klimatomställning ska vara möjlig, men storleken på råvarutillförseln och vilka metaller och mineral som efterfrågas varierar stort mellan olika utvecklingsvägar.

Energisektorns omställning

Resultaten pekar på att omställningen av energisektorn inklusive tillhörande utbyggnad av distributionssystemet kommer att innebära en kraftig ökning av användningen av metaller under den period då ny produktionskapacitet byggs upp, men att stora skillnader föreligger mellan en expansiv (EP, EF) och en energieffektiv omställning (SF). Det finns långtgående planer på tillverkning av fossilfri vätgas för produktion av fossilfritt stål, men även utbyggnad av serverhallar och batteriproduktion, vilket driver upp prognoserna över den framtida efterfrågan på förnybar el. Samtidigt visar flera studier på stora möjligheter med energieffektivisering (t ex Energimyndigheten, 2024).

Den största mängden metaller som ingår i förnybara energiproduktionsenheter bryts redan i stor skala idag. Analysen visar dock på en viss risk för att tillgången på sällsynta jordartsmetaller och nickel skulle kunna bromsa eller förändra tillverkningen av nya energiproduktionsenheter, i synnerhet om en jämlik fördelning av metallanvändning eftersträvas globalt. Även tillgången på koppar riskerar att kunna bli problematisk i framtiden. Koppar är ett grundämne som har ett brett användningsområde på grund av sin goda ledningsförmåga, tålnbarhet och rostbeständighet. Utvecklingen inom andra sektorer som använder koppar är svårt att förutse, och påverkar i hög grad tillgången på resurser inom energisektorn.

Analysen visar vidare att omställningen går att genomföra utan att inkludera kärnkraft i energiportföljen, men om detta inte samtidigt åtföljs av minskad energianvändning riskeras en mycket stor materialåtgång av framför allt zink och aluminium, men även andra metaller som t ex sällsynta jordartsmetaller. I en framtid baserad på förnybar energi minskar den årliga förbrukningen av bränslen successivt. Det gäller olja, kol, fossilgas och uran – alla med olika påverkan på klimat och miljö. Om kärnkraften tvärtom byggs ut ökar istället bränsletillförseln, eftersom efterfrågan av uran ökar kraftigt.

Sol- och vindkraftparkerna behöver placeras ut i landskapet, vilket ger en negativ påverkan på människor och miljö lokalt, och konkurrerar i vissa fall med annan markanvändning. För att det ska ske med en så liten negativ miljöpåverkan som möjligt bör lokala förutsättningar som höga naturvärden och påverkan på lokalsamhällen beaktas (se t ex Naturskyddsföreningen, 2021b; 2024a).

Transportsektorns omställning

Omställningen av transportsektorn riskerar att bli mycket resurskrävande och är därtill behäftad med stora osäkerheter. Brytningen av metaller är starkt beroende av teknikval, marknaderna är volatila och dagens utvinning är lägre än den uppskattade framtida efterfrågan. För vissa metaller, som kobolt, litium och nickel, räcker inte ens kända reserver om hela världen skulle ha samma efterfrågan på batterimaterial som Sverige. Man kan vidare konstatera att i jämförelse med energisektorn är den totala efterfrågan på material väldigt stor i alla scenarierna.

Det finns därmed stor anledning till att utveckla strategier för omställningen av transportsektorn för att undersöka alternativ för att minska resursutnyttjandet, och som inte enbart bygger på att ersätta fossildrivna fordon med elfordon, utan som tar ett större grepp om transportsektorns syfte – exempelvis att förflytta människor och saker (se t ex Naturskyddsföreningen, 2019). Det här inkluderar både en generell minskning av antalet fordon och storleken på batterierna, men även en ökad effektivisering av all infrastruktur i sektorn. Även i en framtid med en halverad fordonsflotta åtgår nästan dubbelt så mycket metaller och mineral för omställningen av transportsektorn jämfört med energisektorn i det mest energieffektiva scenariot i Sverige, vilket visar på vikten av en kombination av olika åtgärder för att kraftigt minska efterfrågan på metaller och mineral inom sektorn.

Gruvbrytning för att genomföra en klimatomställning

Närmar vi oss istället frågan ur ett gruvbrytningsperspektiv kan det konstateras att Sverige i dagsläget är självförsörjande på koppar och zink, och det finns även planer på att initiera brytning av sällsynta jordartsmetaller som en biprodukt till järnmalm och fosforbrytning som skulle generera en utvinning som överskrider efterfrågan. Man bör i sammanhanget ta i beaktande att både koppar och zink används till andra saker utöver utfasningen av fossila bränslen. De internationella utblickarna pekar på en generell brist på koppar, vilket pekar på vikten av satsningar på både tekniska och policymässiga åtgärder för att minska efterfrågan på elektricitet.

Vad gäller Sveriges import av metaller och mineral för genomförandet av en klimatomställning visar analysen på ett fortsatt stort importberoende av exempelvis aluminium, nickel, litium och kobolt. Om världens resurser skulle fördelas lika är det svårt att se hur Sverige ska kunna genomföra sin omställning utan att kraftigt reducera den inhemska efterfrågan i kombination med resursbesparande teknikutveckling och ökad återvinning.

All form av gruvbrytning medför sociala, ekonomiska och miljömässiga risker. Att öppna nya gruvor måste därför ske restriktivt och med stor försiktighet. Ovanstående analys bygger på uppskattningar av framtida utveckling inom energitillförsel, distribution och transport, och innehåller stora osäkerheter. Valet av tekniklösningar, i synnerhet i transportsektorn, påverkar kraftigt behovet av metaller. Detta kommer få radikalt olika betydelse för efterfrågan på metaller, och ökar den ekonomiska risken för gruvindustrin. Det samma gäller produktionen av metaller med ett kraftigt begränsat utbud, som exempelvis sällsynta jordartsmetaller. Skalas produktionen av dessa upp ökar också utbudet och därmed faller priset. Den mycket svajiga prisutvecklingen för vissa metaller utgör därmed en hög ekonomisk risk för gruvföretagen, vilket bromsar investeringsviljan i nya gruvprojekt.



Osäkerheter och felkällor

De stora osäkerheterna till trots ger analysen en indikation över den totala materialåtgången för genomförandet av tre möjliga klimatomställningar i Sverige, vilka illustrerar olika vägval inom energi- och transportsektorn. Analysen aspirerar inte på att vara en framtidsprojektion, utan utforskar konsekvenserna av olika utvecklingsvägar. Metoden som använts i analysen bygger på att känd efterfrågan summeras för att ge en indikation över den totala materialåtgången. Sannolikt innebär det att åtgången på material skulle bli högre än vad beräkningarna indikerar, eftersom ett flertal poster inte ingått i analysen, t ex åtgången för metaller för elstolpar, produktionsenheter för vätgas, nya transformationsstationer osv.

Samtidigt har potentialen för transporteffektivisering underskattats i de analyserade scenarierna, där det finns betydande besparingar att göra. Ett undantag är dock lastbilar och bussar som antogs minska på samma sätt som personbilarna i scenariot Småskaligt förnybart. Dessutom kommer ett antal uttjänta elbilar och vindkraftverk att behöva ersättas under den period som studien omfattar, och det är inte sannolikt eller ens möjligt att återvinningsgraden är 100 procent, vilket också bidrar till en underskattning av den totala metallefterfrågan i analysen.

Vidare behöver ett antal kärnkraftsreaktorer på motsvarande sätt bytas ut, vilket specifikt leder till att metallåtgången för det scenario som inkluderar kärnkraft har underskattats. Å andra sidan gjordes analysen baserad på känd teknik, vilket innebär att framtida materialbesparande effektivitetsförbättringar och teknikutveckling inte är inkluderade, inklusive antaganden om förändrad konsumtion.

Metallerna och mineralerna som ingår i analysen jämförs med varandra utifrån den mängd som efterfrågas i de olika scenarierna. Det är delvis missvisande av flera skäl. Till exempel förekommer olika metaller i olika halter i jordskorpan, vissa metaller behövs bara i små mängder i relation till andra metaller, och vissa metaller kan ersättas av andra i högre utsträckning än andra. Detta behöver tas i beaktande när resultaten av beräkningarna analyseras.





Vägen framåt

4

Framtidens fossilfria och förnybara samhälle styrs inte längre av en kontinuerlig tillförsel av bränsle. Energikällan i framtiden – solen – finns i överflöd och möjliggör till exempel sol- och vindkraft. I ett fossilfritt och förnybart samhälle är det *antalet produktionsenheter och storleken på dessa*, samt var de placeras i landskapet, som sätter ramarna för vad samhället förmår leverera inom planetens gränser. Det här ställer krav på en mental förflyttning som behöver genomsyra hela det framtida samhällsbyggandet. Det är inte längre en kontinuerlig tillförsel av bränslen som föder systemet, utan istället ett antal produktionsenheter som ska tillverkas, placeras ut i landskapet, och i slutet av sin livslängd, återbrukas och återvinnas.

Utvinnningen av metaller och mineral orsakar en oersättlig skada på miljön, och bör därför minimeras. Mot detta ska vägas samhällsnyttan av ett fossilfritt och förnybart energi- och transportsystem, samt andra nyttor som materialet bidrar till. Men metaller och mineral lämpar sig för återvinning och i ett helt cirkulärt system är uppbyggnaden av framtidens energi- och transportsystem en engångsinvestering i material. Frågan är därmed hur stor investeringen i material ska vara för att skapa välbefinnande.

Framtidens energisystem: från bränsle till cirkulära produktionsenheter

Solceller, vindturbiner och lagringsmöjligheter, samt ett utbyggt distributionssystem, behöver komma på plats i genomförandet av en klimatomställning för att kunna fasa ut fossila bränslen. Energisektorn behöver övergå från linjära, bränslebaserade system, till cirkulära system där antalet energiproduktionsenheter avgör hur mycket energi som kan produceras. Tillgången på metaller och mineral sätter fysiska ramar för utvecklingen, vilket även gäller utplaceringen av energiproduktionsenheterna i landskapet. Dessutom begränsar hänsyn till miljön och sociala faktorer energisektorns expansionspotential.

Pågående teknikutveckling resulterar fortfarande i betydande kapacitetsökningar, dvs mer elektricitet per produktionsenhet, vilket gör att mer energi kan produceras per enhet ingående råmaterial. Det är avgörande för omställningen att den ökade tillförseln av förnybar el åtföljs av en motsvarande minskning av fossil energi, och i förlängningen vår totala energikonsumtion. Går tillförseln istället till att öka energikonsumtionen är inget vunnet ur ett miljöperspektiv.

Energisektorn konkurrerar om metaller och mineral med andra sektorer, där byggindustrin är en av de största, men där en utbyggnad av den europeiska Försvarsmakten med stor sannolikhet också kommer att leda till ökad efterfrågan på metall. Även mellan länder råder konkurrens om fördelningen av material. Här döljer sig en viktig rättvisaspekt mellan hög- och låginkomstländer, där höginkomstländerna redan har tagit mycket material i anspråk som idag finns lagrat i samhällets infrastruktur inte minst i städerna. Det finns en berättigad förväntan från de länder som inte kommit lika långt i sin samhällsutveckling att få genomföra samma resa, och därmed tillgodogöra sig en större del av den mängden tillgängliga metaller och mineral.

Ur ett klimatperspektiv kan diskuteras var metaller och mineral gör mest nytta. Det går både att hävda att det är i länder där energianvändningen per capita är låg, eller i länder där utsläppen av växthusgaser per person är störst. Ur ett rättviseperspektiv framförs ofta att låg- och medelinkomstländerna ska ges möjlighet att direkt utveckla en förnybar energi- och transportsektor. Utvinning och återvinning av metaller och mineral är i sig en mycket energikrävande process. Det är inte självklart vid vilken energiinsats som klimatnyttan av ny, fossilfri och förnybar energiproduktion ska anses vara lägre än klimatpåverkan i själva tillverkningsprocessen.

Återvinning är den uppenbara lösningen på målkonflikten mellan tillverkningen av produktionsenheter av förnybar energi och resursåtgång. Idag har mycket infrastruktur som innehåller metaller och mineral ännu inte nått sin tekniska livslängd. Men redan i tillverkningsledet

behöver mycket göras för att underlätta för reparationer, återbruk och demontering – alla arbetskrävande processer som skapar hinder för den cirkulära ekonomin. Men det handlar också om värdering av naturresurser, om att kostnader för negativ påverkan på miljön måste bäras av den som orsakar skadan enligt principen om förorenaren betalar, och om vikten av goda arbetsvillkor och skäliga löner i hela värden.

Men oavsett teknikutveckling och återvinningsgrad kommer energitillförseln aldrig vara oändlig, eftersom materialet som krävs för att bygga energiinfrastrukturen är begränsat. Vår analys visar på att konsekvensen av omställningen av energisektorn, även med en lägre energianvändning per capita, med allra största sannolikhet kommer att innebära en ökad åtgång av metaller och mineral för att bygga ny infrastruktur för energiproduktion med risk för stor negativ påverkan på den lokala miljön där metallerna och mineralerna utvinns.

För att minimera den skadan behövs kraftfulla åtgärder för att minska efterfrågan på energi i största möjliga mån. Analysen visar på kraftiga variationer i metall- och mineralåtgång beroende på hur expansiv energiomställningen blir. Styrmedel som skulle kunna införas för att effektivisera energianvändningen inkluderar exempelvis stöd för energieffektivisering i flerkammarhus, en progressiv energiskatt och utfasning av direktverkande eluppvärmning (Naturskyddsföreningen, 2024b).

För Sveriges del är en avgörande fråga hur mycket av en nettoexportör av förnybar el och fossilfritt stål landet vill vara. Industrisatsningarna i Norrbotten och Västerbotten som delvis syftar till att ta fram råvaror och produkter för att minska klimatpåverkan och bidra till en klimatomställning (t ex fossilfri vätgas för framställning av fossilfritt stål), är mycket energikrävande processer. I slutändan handlar den här frågan om att eftersträva så låg energianvändning som möjligt, vilket i sin tur beror av samhällets genomsnittliga konsumtionsnivå och fördelningen av resurser. Med andra ord vad vi anser vara en tillräckligt bra levnadsstandard och hur mycket energi som åtgår för att upprätthålla den.

Framtidens transportsystem: från fordon till funktion

Framtidens transportsystem behöver inriktas på att skapa effektiva fordon och en effektiv mobilitet så att den totala mängden metaller och mineral som finns uppbunden i transportsektorn vid ett givet tillfälle blir så låg som möjligt. Analysen visar att det är en stor risk att det material som behövs för att ställa om framtidens fordonsflotta inte kommer att räcka till om vi inte lyckas minska antalet och storleken på fordonen (inkl. batteriernas storlek) rejält, vilket även är samstämmigt med slutsatserna i andra analyser (e.g. Seck et al., 2020; WWF, 2023). Vidare behöver framtidens mobilitetssystem även begränsa energianvändningen inom sektorn generellt.

Det storskaliga införandet av personbilen har inte mer än 75 år på nacken, men ändå har det skapat en hel infrastruktur, kultur och föreställning kring hur vi transporterar oss. Då färdmedel som tåg och buss betraktas som kollektiva transportmedel, uppfattas resandet med bil som något man till största del utför med en privat tillhörighet.

Den största potentialen i utvecklingen av framtida transportsystem är system som förflyttar dagens fokus från fordon till det som fordonen avser åstadkomma, nämligen själva funktionen att transportera eller sammankoppla personer och varor. Ur ett användarperspektiv innebär det att hitta mobilitetslösningar som fungerar sömlöst mellan olika fortskaffningsmedel och som anpassas efter användarens varierande behov. Som användare köper man tjänsten transport, snarare än en viss vara. Ur fordonstillverkarens perspektiv är det tjänsten transport man tillhandahåller, där tillverkning och nyttjande av fordonen är en del av verksamheten, som också inkluderar underhåll och service.

Här kommer städer och tätorter att spela en viktig roll. I dag lever 9,27 miljoner svenskar i tätorter, vilket utgör 88 procent av hela befolkningen (SCB, 2025). Av dem bor 3,6 miljoner i tätorter större än 100 000 invånare. I den urbana miljön finns stora vinster med att tänka nytt kring mobilitet. Partiklar från vägtrafiken orsakar stora kostnader för sjukvården och vållar lidande. En stor yta utnyttjas ineffektivt för uppställning av fordon som endast används en bråkdel av sin totala livslängd. Dessutom börjar många av de vägar, broar och andra konstruktioner som uppfördes när bilismen gjorde sitt intåg i stadsbilden nå slutet av sin tekniska livslängd, vilket innebär att frågan om hur människor och varor förflyttas inom och till staden åter aktualiseras, inklusive hur mycket som ska investeras i upprustning av vägar i relation till kollektiva transportslag. För att nå den stora grupp av människor som bor i förorterna en bit utanför stadskärnorna behövs satsningar på lokal service. Att många människor samlas i en stad skapar också möjligheter för effektiva tjänster av leveranser och upphämtning av varor till och från hemmen, vilket minskar betydelsen av ett eget transportfordon och möjliggör även en anpassning av fordonets storlek så att lastutrymmen som används sällan kan begränsas.

Delar av landsbygden har fått uppleva hur service minskar och försvinner i takt med en minskande befolkning, vilket ökar bilberoendet och skapar svårigheter för boende på landsbygden utan tillgång till egen bil. Att minska fordonsflottan och fordonens och batteriernas storlek i städer och tätorter ger ökade frihetsgrader för att möta landsbygdens transportbehov. Samtidigt behövs en generell satsning på lokal service och kollektiva transportmedel för att skapa en levande landsbygd. När en ökande del av befolkningen inte äger ett privatfordon, behövs nya lösningar för att underlätta lokala transporter av människor utanför kollektivtrafikens räckvidd. Detta går hand i hand med ett minskat behov av metaller för transportsektorn. Styrmedel som skulle kunna införas för att ställa om transportsektorn inkluderar exempelvis en differentierad vägskatt, ett avståndsbaserat och färdmedelsneutralt reseavdrag, justerade parkeringsavgifter samt satsningar på kollektivtrafik, cykel- och gångvägar och järnväg (Naturskyddsföreningen, 2024b). Detta kan kombineras med satsningar på att underlätta bil-delning och mikromobilitet.



Gruvnationen Sveriges roll i omställningsarbetet

På kort tid har tillgången på metaller och mineral blivit en viktig fråga internationellt, både med avseende på den pågående utfasningen av fossila bränslen, såväl som för andra intressen. Gruvbranschen kännetecknas av att vara både platsspecifik och global. Europa befinner sig i en sårbar situation då kontinentens efterfrågan på metaller och mineral kraftigt överskrider tillgångarna. Här produceras basmetaller som järn, koppar, zink, nickel och bly, men det råder i nuläget ett stort gap mellan i synnerhet tillgång och efterfrågan på litium och sällsynta jordartsmetaller. Sårbarheten gäller dessutom hela värdekedjan, från utvinning till processindustri och hela vägen upp till framtagandet av specifika komponenter och produkter.

Det är i den situationen möjligt att tänka att lösningen på Europas och världens predikament står i att snabbt bevilja tillstånd för ökad gruvdrift för att säkra tillförseln av metaller och mineral och minska beroendet av omvärlden (t ex IVA, 2024). Mångas ögon riktas därmed mot Sverige och landets fyndigheter av exempelvis sällsynta jordartsmetaller, grafit och vanadin. Det finns dock många skäl till att förhålla sig skeptisk och kritiskt analyserande till det önskvärda med en sådan utveckling, liksom sannolikheten för att detta kommer att ske i praktiken.

För det första innebär primär utvinning av metaller och mineral en irreversibel skada på miljön. Det är av den anledningen som gruvdrift omges av rigorösa tillståndsprocesser. Dessa ska givetvis inte kompliceras eller förlängas i onödan, men datainsamling och analys tar tid, och att öppna en ny gruva tar runt femton år. Att kraftigt öka utvinningen av omställningskritiska råvaror inom unionen ter sig som en tämligen orealistisk förhoppning, åtminstone på kort sikt. Dessutom finns mycket av de svenska metall- och mineralreserverna i Sápmi, hemmet för Europas enda urfolk.

Vidare är marknadskoncentrationen högre i processled och även i tillverkningen av vissa komponenter och produkter som är väsentliga för utfasningen av fossila bränslen, där Kina innehar en dominerande ställning. Metaller och mineral är platsbundna och både Sverige och EU kommer även fortsättningsvis att vara både nettoimportörer och -exportörer av råvara. Ur ett rent sårbarhetsperspektiv vore det sannolikt klokt att satsa på dessa steg i värdekedjan, vilket delvis också är ambitionen inom förordningen om kritiska råvaror, i kombination med kraftiga åtgärder för att minska efterfrågan inom unionen. En sådan inriktning innebär ett ökat fokus på process- och tillverkningsindustrin, produktdesign och återvinning. Den långsiktiga målsättningen bör vara att låta återvinningscentralerna och smältverken ta över gruvornas roll vad beträffar tillförseln av råvara i ett cirkulärt samhälle, och införa styrmedel som baseras på mineralhierarkin (se faktaruta).



Sverige har idag ett enda smältverk, Rönnskärsverken, vilket på sikt bör utgöra hjärtat i den cirkulära metallekonomin. Men istället för att vara en lukrativ sektor med framtiden för sig, dras smältverken med utmaningar kring lönsamhet och tvingas skära ner på verksamheten. Detta är ett allvarligt hot mot EU:s motståndskraft som riskerar att öka sårbarheten och försvåra omställningen till ett cirkulärt samhälle. Här krävs ett långsiktigt och strategiskt tänkande för att förbereda en transsession av industrin och värdekedjorna, så att en infrastruktur skapas som gynnar ökat återbruk och återvinning med största möjliga effektivitet och goda ekonomiska förutsättningar. Dessutom behöver lokala miljöaspekter beaktas för att minimera risken för negativ påverkan på närmiljön av denna tunga och resurskrävande industri. Ur ett geopolitiskt perspektiv är frågan om smältverkens framtid också en säkerhetsfråga, då Europa till stor del saknar processindustri kring metaller och mineral.

För det andra leder bristande lönsamhet och hög risk till att investeringsviljan är låg i projekt för att utvinna omställningskritiska metaller och mineral, vilket gör att det går att ifrågasätta sannolikheten för att nya projekt kommer att genomföras i den hastighet som uttrycks i exempelvis CRMA. Kontentan är att Sveriges pågående gruvbrytning av koppar, zink och järn sannolikt kommer förbli viktig för det fortsatta arbetet med att genomföra en klimatomställning. Dessa metaller är av stor betydelse *oavsett teknikval*, och har därutöver viktiga marknader utöver omställningen av energi- och transportsektorn. Sekundära fyndigheter av metaller som exempelvis mangan och vanadin, vilka används för vindkraftsproduktion och för vissa batterityper, skulle eventuellt kunna vara av intresse för Sverige att utvinna om de ekonomiska förutsättningarna förändras. Här är leddiderna för utvinning snabbare och risken för att gå i otakt med den teknologiska utvecklingen lägre. Som konstaterats gynnas stor-skalig vindkraftsproduktion av tillgången till vissa sällsynta jordartsmetaller, som neodym, praseodym och dysprosium. Dessa kommer möjligen att tillvaratas om de förekommer tillsammans med en basmetall i pågående gruvbrytning. Utvinning av metaller som specifikt kopplar till produktionen av litiumjonbatterier såsom kobolt, grafit och litium medför en hög risk om utvecklingen av alternativa tekniker som natriumjonbatterier tar fart.

Som konstaterats är metaller och mineral ojämnt fördelade i jordskorpan och EU är därmed beroende av import av vissa råvaror. I sina handelsrelationer bör Sverige och EU ställa tydliga krav på upprätthållandet av mänskliga rättigheter och miljö, så att ett skydd för människor och miljö upprätthålls genom hela värdekedjan, även i länder med svag arbets- och miljölagstiftning. Den nuvarande utvecklingen inom EU exempelvis med avseende på det s.k. omni-buspaketet är ur det perspektivet problematisk och oroväckande.



Mineralhierarki

Mineralhierarkin är ett ramverk som bör ligga till grunden för policy som rör gruvbrytning. Den vilar på principen om att gruvdrift bör ske först när andra alternativ uttömts. I genomförandet av en klimatomställning kommer fokus de kommande åren att ligga på att minimera efterfrågan (A) samt utvinna vissa råvaror som behövs för att bygga nya energiproduktionsenheter och batterier till elfordon (D och E). Samtidigt behöver förutsättningar skapas redan i produktionsfasen för att förbereda för återbruk (B) och återvinning (C) när den tekniska livslängden på den nya infrastrukturen går ut.

Mineralhierarkin:

- A Minimera efterfrågan av metaller och andra mineral
- B Återbruka produkter och komponenter
- C Återvinn redan brutna mineral
- D Tillämpa alternativa metoder förutvinning (dvs sekundär utvinning ur gruvavfall, deponier och nedlagd infrastruktur)
- E Utvinn nya mineral (gruvdrift)

Källa: Naturskyddsföreningen, 2021a



Slutsats

Användningen av metaller och mineral behöver med största sannolikhet öka för att genomföra en klimatomställning, men det är tydligt att hur mycket som behövs och av vad är kraftigt beroende av hur omställningen genomförs. Utvecklar sig energi- och transportsektorerna enligt några av de framtidsscenarier som Svenska kraftnät och Energimyndigheten tagit fram, motsvarar det en ökad svensk efterfrågan på totalt 1,6 till 2,5 miljoner ton metaller (exklusive järn och stål) till år 2045 specifikt för energi- och transportsektorn samt eldistribution, beroende på hur omställningen genomförs. Det kan jämföras med en total svensk gruvbrytning av zink och koppar på 6,2 miljoner ton över motsvarande 20-årsperiod, baserad på dagens utvinningshastigheter.

För övriga omställningsråvaror är landet dock en nettoimportör. Analyserna indikerar att om de globala reserverna fördelades jämnt mellan alla jordens invånare, skulle Sverige inte ha tillgång till tillräckligt med nickel, kobolt och litium – tre viktiga batterimaterial med dagens teknik – för att möta efterfrågan. Det här sätter fingret på vikten av att beakta åtgången av olika metaller och mineral för att genomföra en klimatomställning, så att inte orealistiska förväntningar skapas på storleken av en framtida energi- och transportsektor.

Av den totala efterfrågan på metaller och mineral utgörs 60-80 procent av transportsektorn, vilket innebär hur omställningen genomförs för denna sektor får en avgörande betydelse för den totala efterfrågan på resurser. Med en väl utformad politik finns goda möjligheter att begränsa efterfrågan från transportsektorn kraftigt jämfört med utfallet i analysen.

Gruvbrytning medför stora, irreversibla skador på ekosystem och risk för människors hälsa. Därför är en politik som tar utmaningarna på allvar helt avgörande. Här finns viktiga politiska vägval att göra som styr hur mycket elektricitet som produceras, hur transportsystemen ser ut och hur rättvist resurserna fördelas mellan olika länder. Dagens energisystem är beroende av en kontinuerlig tillförsel av bränslen, och om kärnkraft inkluderas i den framtida energiportföljen kommer sektorn vara fortsatt beroende av nya urangruvor. Förnybar energiproduktion och en fossilfri fordonsflotta är istället till stor del att betrakta som en engångsinvestering, då metaller lämpar sig för återvinning om bra förutsättningar ges för detta.

En förnybar energisektor kan till största del baseras på metaller som utvinns i stor skala redan idag. Analysen visar på en viss risk för att den begränsade tillgången på sällsynta jordartsmetaller och nickel skulle kunna bromsa eller förändra tillverkningen av nya energiproduktionsenheter. Hur mycket förnybar elektricitet som efterfrågas är till exempel beroende av framtida industrisatsningar, som produktion av fossilfritt stål och vätgas, och hur transportsektorn ställer om, men också av hur mycket av den stora effektiviseringspotential som realiseras.

Omställningen av transportsektorn riskerar att bli mycket resurskrävande och tillgången på många av de metaller och mineral som behövs för att bygga fossilfria fordon har både ekonomiska och fysiska begränsningar. Detta ska inte ses som ett argument för att omställningen av transportsektorn inte ska genomföras - att fortsätta med en transportsektor beroende av fossila bränslen är inte ett alternativ – men det belyser nödvändigheten i att utforma framtidens transportsystem på ett sätt som minimerar andra negativa konsekvenser på klimat och miljö. En risk med dagens batteriteknik är att tillgången till vissa av de metaller och mineral den baserar sig på är osäker, och att omställningen därmed inte sker i den takt som behövs för att begränsa klimatpåverkan. Samtidigt är det också i denna sektor som teknikutvecklingen går som snabbast och där beteendeförändringar har stor potential.

För att minska målkonflikten mellan genomförandet av en klimatomställning och dess negativa påverkan på ekosystem och människors hälsa från ökad utvinning av metaller och mineral, behövs en politik som bygger på tillräcklighet och effektivitet, och baseras på:

- En minskad energi- och resursförbrukning. Transportsystemet behöver bli funktionscentrerat snarare än fordonscentrerat. Antalet fordon bör bli färre och batteriernas storlek mindre. Energianvändningen bör i möjligaste mån begränsas, samtidigt som elanvändningen ökar i förhållande till annan energianvändning.
- Ett effektivt utnyttjande av metaller och mineral. Den infrastruktur som innehåller metaller och mineral (t ex vindkraftverk och fordon) bör nyttjas intensivt för att begränsa efterfrågan på fler fordon eller energiproduktionsenheter, till exempel genom elbilspooler eller en flexibel elanvändning.
- Förbättrade förutsättningar för cirkularitet genom hela värdekedjan. Förutsättningar behöver skapas för ökad återvinning och sekundär utvinning, samt en stärkt processindustri som inriktas på att omhänderta returflöden.
- Nya investeringar i teknik och styrning. Det behövs kraftiga investeringar i nya innovationssystem för energianvändning, transport och cirkulära flöden för att minska beroendet av nyutvunnen råvara som i förlängningen leder till nya gruvor.

Frågan om klimatomställningens behov av metaller och mineral kan inte isoleras till en enskildhet om vad Sverige ska producera för att möta sina egna behov. Klimatutmaningen är till sin natur global, och det gäller även gruvnäringen då råvarorna inte är jämnt fördelade i jordskorpan. Hur stor importen och exporten av metaller och mineral är i slutändan en värderingsfråga som handlar om rättvis och effektiv resursfördelning, andra länders möjlighet till ekonomisk utveckling, urfolks rätt till marken de brukar, de lokala ekosystemens sårbarhet, och om tillräcklighet och livsstil.

Vi kan konstatera att Sverige står inför svåra målkonflikter kring lokalisering av gruvdrift och negativ påverkan i gruvans närmiljö, vilket inte går att bortse från. Slutsatsen av detta är inte att en klimatomställning inte ska genomföras. Sverige både kan och bör vara ett föregångsland i skapandet av välmående samhällen inom planetens gränser, som bygger på ett minskat resursutnyttjande, ett klokt och rättvist nyttjande av de resurser som brukas, och ett ökat skapande av andra, kvalitativa värden.

En nyckel är att driva en politik utifrån samhällets behov, snarare än bara individens efterfrågan som delvis drivs av ohållbara konsumtionsmönster. Det kräver ett politiskt ledarskap som vidtar kraftfulla åtgärder för att minska efterfrågan, förbättra teknologin och öka återvinningen, så att vi på sikt har genomfört den investering som nu krävs för att bygga upp en ny infrastruktur för en fossilfri framtid med minsta möjliga negativa påverkan på människa och miljö.





Referenser

5

Amnesty International, 2025: Just transition or green colonialism. How mineral extraction and new energy projects without free, prior and informed consent are threatening indigenous Sámi livelihoods and culture in Sweden, Norway and Finland. Samerådet, Amnesty International. https://www.amnesty.se/documents/278/Final_Just_transition_or_Green_colonialism.pdf

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P.: The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna.

Berthet, E., Lavalley, J., Anquetil-Deck, C., Ballesteros, F., Stadler, K., Soytaş, U., Hauschild, M. och Laurent, A., 2024. Assessing the social and environmental impacts of critical mineral supply-chains for the energy transition in Europe. *Global Environmental Change* 86. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378024000451?via%3Dihub>

BNEF, 2024: Electrical Vehicle Outlook. Bloomberg NEF. <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., 2016: Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality? *Resources*, 5(4), 36; <https://doi.org/10.3390/resources5040036>

Carrara, S., Alves Dias, P., Plazzotta, B., och Pavel, C. 2020. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonised energy system. Joint Research Centre (JRC). doi:10.2760/160859. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119941>

DNV, 2022: Future-proofing our power grids. Making mass electrification possible. Energy Industry Insights 2022. Power Grids Research Report. <https://www.dnv.com/energy/insights/energy-industry-insights/future-proofing-our-power-grids/>

Eilu, P., Bjerkgård, T., Franzson, H., Gautneb, H., Häkkinen, T., Jonsson, E., Keiding, J.K., Pokki, J., Raaness, A., Reginiussen, H., Róbertsdóttir, B.G., Rosa, D., Sadeghi, M., Sandstad, J.S., Stendal, H., Þórhallsson, E.R. & Törmänen T., 2021: The Nordic supply potential of critical metals and minerals for a Green Energy Transition. Nordic Innovation Report. ISBN 978-82-8277-115-3 (digital publication), ISBN 978-82-8277-114-6 (printed). <https://www.nordicinnovation.org/2021/nordic-supply-potential-critical-metals-and-minerals-green-energy-transition>

Energiföretagen, 2023: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/produktion/karnkraft/uran/>

Energiföretagen, 2025: <https://www.energiforetagen.se/energifakta/elsystemet/elnatet-distribution-av-el/elnatets-langd/>

Energimyndigheten, 2023a. Smart styrning av elanvändning Analys av tekniska förutsättningar för utrustning samt rekommendationer för ökad efterfrågefleksibilitet. Statens energimyndighet. ER 2023:13. <https://www.energimyndigheten.se/496615/contentassets/6e9cf812401549158e5739fd259ce8e5/slutredovisning-av-deluppdrag-4.pdf>

Energimyndigheten, 2023b: Scenarier över Sveriges energisystem 2023. Med fokus på elektrifieringen 2050. Statens energimyndighet. ER 2023:07. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/sveriges-energisystem-2050--sa-kan-det-se-ut/>

Energimyndigheten, 2024: Effektiv användning av energi, effekt och resurser. För att underlätta elektrifieringen. Statens energimyndighet. ER 2024:03. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=0e274642c00a-4132844c6ed198997d93&q=2024:03&lstqty=1>

Energimyndigheten, 2025: Scenarier över Sveriges energisystem 2025. Vägar till ett energisystem med nettonollutsläpp 2050. Statens energimyndighet. ER 2025: 13. <https://energimyndigheten.a-w2m.se/System/TemplateView.aspx?p=Arkitektkopia&id=1173312576a-844f5a08e2c4a2005ccfb&l=t&cat=%2FPrognoser%20och%20Scenarier&lstqty=1>

ETC, 2023: Material and resource requirement for the energy transition. The barriers to clean electrification series. Energy Transitions Commission. Executive Summary, July 2023, version 1.0. <https://www.energy-transitions.org/home-materials-report/>

EU-kommissionen, 2023: Critical Raw Materials Act. https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials/critical-raw-materials-act_en

Hund, K., La Porta, D., Fabregas, T.P., Laing, T., Drexhage, J., 2020. Minerals for Climate Action: the Mineral Intensity of the Clean Energy Transition. The World Bank, Washington. <https://pubdocs.worldbank.org/en/961711588875536384/Minerals-for-Climate-Action-The-Mineral-Intensity-of-the-Clean-Energy-Transition.pdf>

ICCT, 2024: Electrifying road transport with less mining. A global and regional battery mineral outlook. The International Council on Clean Transportation (ICCT). <https://theicct.org/publication/ev-battery-materials-demand-supply-dec24/>

IEA, 2021: The role of critical minerals in clean energy transitions. World Energy Outlook Special Report. International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>

IEA, 2024a: Global critical minerals outlook 2024. International Energy Agency (IEA). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ee01701d-1d5c-4ba8-9df6-abeeac9de99a/GlobalCriticalMineralsOutlook2024.pdf>

IEA, 2024b: Recycling of critical minerals. Strategies to scale up recycling and urban mining. A world energy outlook special report. International Energy Agency (IEA). <https://iea.blob.core.windows.net/assets/3af7fda6-8fd9-46b7-bede-395f7f8f9943/RecyclingofCriticalMinerals.pdf>

IPCC, 2022: Climate change 2022. Mitigation of climate change. [IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgiii/full-report/)

IRP, 2019: Global Resource Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A report of the International Resource Panel. United Nations Environmental Programme. Nairobi, Kenya. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/27517>

IVA, 2024: Metaller och mineral för en hållbar utveckling och stärkt konkurrenskraft. Slutrapport inom projektet: vägval för metaller och mineral. <https://www.iva.se/det-iva-gor/projekt-och-program/vagval-for-metaller-och-mineral/>

IVL, 2023: Förutsättningar för en ökad återvinning av kritiska råmaterial i Sverige. Rapport C757.

Malmaeus, M.J., Alfredsson, E.C., Lindblom, C., 2025: On the allocation of critical metals between nations for a green and just transition. Environmental Development 54. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101157>

Material Economics, 2021: Kritiska metaller för klimatomställningen – möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring. <https://materialeconomics.com/sites/default/files/2024-06/material-economics-kritiska-metaller-faor-klimatomstaallningen-online-version.pdf>

Mehlhart, G., Kosińska I., Baron, Y., Herman, A., 2017: Assessment of the implementation of Directive 2000/53/EU on end-of-life vehicles (the ELV Directive) with emphasis on the end-of-life vehicles of unknown whereabouts. Publications Office of the EU. https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/ELV_Report_European-Commission_Oeko-Institut.pdf

Meinssner, 2021: The impact of metal mining on global water stress and regional carrying capacities - a GIS-based water impact assessment. Resources10, 120. <https://doi.org/10.3390/resources10120120>

Mobility Sweden, 2023: Data över fordonsbestånd. <https://mobilitysweden.se/statistik/Fordonsbestand>

Naturskyddsföreningen, 2019: Fossilfritt, förnybart, flexibelt. Framtidens hållbara energisystem. Rapport. https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2021/05/11102916/fossilfritt_fornybart_flexibelt_-_framtidens_hallbara_energisystem.pdf

Naturskyddsföreningen, 2021a: Metaller och mineral – en ändlig resurs med oändlig potential. Rapport. <https://www.naturskyddsforeningen.se/artiklar/rapport-metaller-en-andlig-resurs-med-oandlig-potential/>

Naturskyddsföreningen, 2021b: Vindkraft. En viktig del av framtidens energisystem. Rapport. <https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2021/06/11151042/rapport-naturskyddsforeningen-vinkraft-en-viktig-del-i-framtidens-energisystem.pdf>

Naturskyddsföreningen, 2024a: Positionspapper om solenergi. <https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2024/09/positionspapper-solenergi.pdf>

Naturskyddsföreningen, 2024b: Rättvis klimatomställning i praktiken. Så ställer vi om Sveriges persontransporter och energianvändning. Rapport. <https://cdn.naturskyddsforeningen.se/uploads/2024/11/rattvis-klimatomstallning-i-praktiken-v2.pdf>

Naturvårdsverket & SGU 2017: Förslag till hantering av gruvavfall. <https://www.naturvardsverket.se/4ac3fc/contentassets/6104a3383a9949e99f8ee28d94f2375c/strategi-forslag-hantering-gruvavfall-20170913.pdf>

Naturvårdsverket 2019: Fördjupad utvärdering av miljömålen, sidan 25. <https://www.naturvardsverket.se/4ac206/globalassets/media/publikationer-pdf/6800/978-91-620-6865-3.pdf>

Raabe, D., Tasan, C.C. & Olivetti, E.A. 2019. Strategies for improving the sustainability of structural metals. *Nature* **575**, 64–74. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1702-5>

RFR, 2022: Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt. 2021/22: RFR10. <https://data.riksdagen.se/fil/50082AF1-58DE-4F2B-9FF8-A121ABBC88D3>

RMI, 2024: The battery mineral loop. The path from extraction to circularity. <https://rmi.org/insight/the-battery-mineral-loop/>

Seck, G.S., Hache, E., Bonnet, C., Simoën, M. och Carcanague, S. 2020: Copper at the crossroads: Assessment of the interactions between low-carbon energy transition and supply limitations. *Resources, Conservation & Recycling* 163. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105072>

Silva Rotta, L.H., Alcântara, E., Park, E., Galante Negri, R., Lin, Y.N., Bernardo, N., Gonçalves Mendes, T.S., Souza Filho, C.R., 2020: The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation* 90. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102119>

SOU, 2022: En tryggad försörjning av metaller och mineral. Betänkande av Utredningen om en hållbar försörjning av innovationskritiska metaller och mineral. Statens offentliga utredningar SOU 2022:56. <https://www.regeringen.se/rattsliga-dokument/statens-offentliga-utredningar/2022/10/sou-202256/>

Sovacool, B., Hook, A., Martiskainen, M., Brock, A., Turnheim, B., 2020: The decarbonization divide: Contextualizing landscapes of low-carbon exploitation and toxicity in Africa. *Global Environmental Change* 60. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.102028>

Svemin, 2021: Klimatambitioner och metallbehov – möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring. https://www.swedishmininginnovation.se/wp-content/uploads/2021/10/klimatambitioner-enkelsidor_for-print_final.pdf

Svenska kraftnät, 2023: Långsiktig marknadsanalys. Scenarier för kraftsystemets utveckling fram till 2050. Ärende nr 2023/4164. https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2024/lma_2024.pdf

Svenska kraftnät, 2024: Nätutvecklingsplan 2024-2033. https://www.svk.se/siteassets/om-oss/rapporter/2023/svk_natutveckling_2024-2033.pdf

Sveriges Geologiska Undersökning (SGU), 2025: www.sgu.se

Sveriges Geologiska Undersökning 2023, Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser, sidan 77.

Tillväxtanalys, 2022: Marknadsbarriärer för återvinning av metaller. En omvärldsanalys av vad som hindrar och främjar konkurrensen mellan utvinnings- och återvinningsindustrin.

Rapport AU 2022:03:01. <https://www.tillvaxtanalys.se/publikationer/pm/pm/marknadsbarriarerforatervinningavmetaller.125333.html>

US Department of Energy, 2021: Critical minerals and materials. US Department of Energy's strategy to support critical mineral and material supply chains. (FY 2021-FY2031). https://www.energy.gov/sites/prod/files/2021/01/f82/DOE%20Critical%20Minerals%20and%20Materials%20Strategy_0.pdf

UNEP 2024: No more hot air, please. Emissions gap report. [Emissions Gap Report 2024 | UNEP - UN Environment Programme](https://www.unep.org/emissions-gap-report-2024)

USGS, 2023: Mineral Commodity Summaries. US Geological Survey. Report. DOI: [10.3133/mcs2025](https://doi.org/10.3133/mcs2025)

Vera, M.L., Torres, W.R., Galli, C.I., Chagnes, A., Flexer, V., 2023: Environmental impact of direct lithium extraction from brines. *Nat Rev Earth Environ* 4, 149–165. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00387-5>

WMO (World Meteorological Organization) 2024: WMO Greenhouse gas bulletin, no 20. https://library.wmo.int/viewer/69057/download?file=GHG-20_en.pdf&type=pdf&navigator=1

WWF, 2023: When you know the rest of the story. Report. WWF France, EY.

Naturskyddsföreningen är Sveriges största miljöorganisation och en folkrörelse som sedan 1909 står upp för naturen. Vi sprider kunskap, bildar opinion och påverkar beslutsfattare – lokalt, nationellt och globalt. Klimat, skog, jordbruk, miljögifter, vatten, hav och hållbar konsumtion är våra viktigaste arbetsområden. Bra Miljöval är vår miljömärkning och Sveriges Natur vår medlemstidning. Välkommen att bli medlem, engagera dig eller skänk en gåva. Tillsammans har vi kraft att förändra.

PG 90 19 09-2

Åsögatan 115
Box 4625, SE-116 91
Stockholm, Sweden

+46 (0)8 702 65 00
www.naturskyddsföreningen.se



Naturskyddsföreningen