

Rapportering av regeringsuppdrag

Hållbar utvinning och återvinning av metaller och mineral från sekundära resurser

februari 2023

SGU:s diarie-nr: 311-781/2021

Naturvårdsverkets diarie-nr: NV-03617-21

Näringsdepartementets diarie-nr: N2021/01038

SGU RR 2023:01



Omslagsbild: Sandmagasinet vid Bäckegruvan, Skinnskattebergs kommun, med den f.d. gruvlaven och anrikningsverket i bakgrunden.
Fotograf: Alexander Lewerentz (SGU)

Regeringsuppdragets fullständiga namn: Uppdrag att öka
möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och
metall från sekundära resurser.

Redaktör: Lina Rönnåsen (SGU)

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning.....	7
1 Inledning.....	10
1.1 Uppdraget från regeringen	10
1.2 Definition av sekundära resurser.....	11
1.3 Medverkande	11
2 Behovet av metaller och mineral.....	12
2.1 Metaller och mineral behövs för klimat- och energiomställning	12
2.2 Omvärlden och geopolitisk instabilitet.....	12
2.3 Kritiska råvaror för EU	13
2.4 Metaller och mineral från sekundära resurser.....	15
3 Undersökning, provtagning och karaktärisering av historiska gruvavfall	17
3.1 Inledning	17
3.2 Bakgrund – gruvavfall.....	18
3.3 Metoder för provtagning och analys.....	19
3.4 Resultat från provtagning och analys av varphögar.....	20
3.5 Resultat från provtagning och analys av sandmagasin	24
3.6 Resultat från provtagning och analys av rödfyr.....	29
3.7 Resultat från provtagning och analys av slagg.....	32
3.8 Svårigheter och kvarstående frågeställningar.....	34
4 Aktiva gruvors avfall och avfallets innehåll.....	36
4.1 Inledning	36
4.2 Information om innehållet i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift	36
4.3 Aktiva gruvors avfall – sammanställningens omfattning.....	37
4.3.1 Källor som har använts.....	37
4.3.2 Gruvavfall som omfattas.....	37
4.3.3 Vilka ämnen ingår i sammanställningen.....	38
4.3.4 Undersökningsmetoder	38
4.3.5 Avfallsmängder	39
4.3.6 Avfallsströmmar	39
4.4 Sammanställning av uppgifterna om gruvavfallen.....	39
4.4.1 Halter av kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall	39
4.4.2 Mängder kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall.....	40
4.4.3 Ämnen som bedömts kritiska enligt EU utifrån utvinning eller bearbetnings- och raffineringsteget	41

4.4.4	Bas- och batterimetaller.....	42
4.5	Förslag på utveckling av informationen om aktiva gruvors avfall och avfallets innehåll...	42
5	Klassificeringsmetod för sekundära resurser.....	43
5.1	Inledning.....	43
5.1.1	Bakgrund om UNFC	43
5.1.2	SGU:s arbete med tillämpning av UNFC inom Norden.....	44
5.1.3	Olika tillämpningar av UNFC	45
5.2	Genomförande av uppdraget.....	46
5.2.1	Syfte.....	46
5.2.2	Avgränsningar.....	46
5.3	Klassificering av gruvavfall enligt UNFC.....	47
5.3.1	UNFC i tredimensionell form	48
5.3.2	UNFC i tvådimensionell form.....	51
5.4	UNFC-klassificering i förhållande till tillståndprocessen	53
5.4.1	E-axeln och tillståndprocessen	54
5.5	Naturvårdsverkets tolkning av UNFC i förhållande till miljöbalken	56
5.5.1	Klassificering på E-axeln utifrån tillstånd enligt miljöbalken.....	58
5.5.2	Klassificering på F-axeln utifrån tillstånd enligt miljöbalken.....	61
5.6	Utveckling av databas.....	63
5.6.1	Teknisk beskrivning av utvecklingsarbetet	63
5.7	Fallstudier med klassificering av gruvavfall.....	65
5.7.1	Fallstudie 1: Yxsjöberg.....	65
5.7.2	Fallstudie 2: Blötberget.....	66
5.7.3	Fallstudie 3: Grängesberg.....	66
5.8	Slutsatser och rekommendationer.....	68
6	Hinder för ökad användning av avfall som resurs för metaller och mineral.....	70
6.1	Inledning.....	70
6.1.1	Syfte.....	70
6.1.2	Genomförande av uppdraget.....	70
6.1.3	Avgränsningar.....	71
6.2	Legala hinder i miljöbalken för ökad användning av avfall som en resurs för metaller och mineral	71
6.2.1	Avfallsdefinitionen	71
6.2.2	Så kallad mellanlagring av avfall	72
6.2.3	End of waste – När avfall upphör att vara avfall.....	73
6.2.4	Prövning enligt miljöbalken av verksamheter med sekundär utvinning	73

6.2.5	Förorenade områden	75
6.3	Legala hinder i minerallagen för ökad användning av avfall som en resurs för metaller och mineral	77
6.4	Deponiskatten påverkar incitamenten för återvinning.....	78
6.4.1	Undantag från deponiskatt.....	78
6.4.2	Deponiskattens incitament för återvinning ur bottenaska	79
6.4.3	Lagring av avfall längre än tre år	79
6.4.4	En bredare översyn av deponiskatten behövs	80
6.5	Hinder för lönsamhet av utvinning ur gruvavfall	80
6.5.1	Utvinning från gruvavfall är en relativt ny företeelse på marknaden.....	80
6.5.2	Bristfällig information, för lite forskning och svag styrning	81
6.5.3	Möjliga styrmedel för att öka utvinning ur gruvavfall.....	81
6.5.4	Förslag i konsultrapporten som tas vidare inom regeringsuppdraget	82
6.6	Hinder för återvinning av metaller från produkter som blivit avfall.....	83
6.6.1	Återvinningen i dag.....	83
6.6.2	Barriärer och marknadsmisslyckanden bidrar till låga återvinningsnivåer	84
6.6.3	Vad behövs för att öka återvinningen?	86
7	Livscykelbaserat system för kartläggning av flöden av kritiska råvaror	88
7.1	Inledning	88
7.1.1	Bakgrund.....	88
7.1.2	Syfte.....	88
7.1.3	Tolkning av uppdraget och avgränsningar	89
7.2	Ett livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska metaller och mineral	89
7.2.1	Kritiska råvaror i kartläggningen och kartläggningssystemet.....	90
7.3	Pågående arbete med kopplingar till systemets utformning och en cirkulär ekonomi....	90
7.4	Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råvaror	92
7.5	System för kartläggning av mängder och flöden av kritiska råvaror	94
7.5.1	Metodologiskt ramverk.....	94
7.5.2	Grundläggande beräkningssteg	96
7.5.3	Databehov och befintliga datakällor för kartläggning och spårbarhet	98
7.6	Förslag på utveckling och införande av system för kartläggning av kritiska råvaror.....	98
7.6.1	Nästa steg – fortsatt utredning och ett koncepttest	100
7.6.2	Behov av förbättrad datainsamling.....	101
8	Förslag till regeringen och myndigheternas fortsatta arbete	103
8.1	Inledning	103
8.2	Förslag riktade till regeringen.....	103

8.2.1	Undersökning av berggrunden	103
8.2.2	Utveckling av geofysiska metoder.....	103
8.2.3	Fortsatt utveckling av UNFC-databasmodellen fram till implementering av databas	104
8.2.4	Fortsatt utredning av ekonomiska och praktiska hinder för ökad utvinning ur gruvavfall	104
8.2.5	Fortsatt utredning och ett koncepttest för ett kartläggningssystem för kritiska metaller	104
8.2.6	Innehåll av kritiska råvaror i EU:s produktpass.....	105
8.3	Myndighetsinsats för att öka användningen av avfall som en resurs för metaller och mineral.....	105
8.3.1	Utveckling av vägledning inom avfallshanteringsplaner.....	105
8.4	Konsekvenser av förslagen.....	106
8.4.1	Förslag om undersökning av berggrunden.....	106
8.4.2	Förslag om utveckling av geofysiska metoder.....	107
8.4.3	Förslag om fortsatt utveckling av UNFC-databas.....	107
8.4.4	Förslag om att fortsatt utreda ekonomiska och praktiska hinder för ökad utvinning ur gruvavfall.....	108
8.4.5	Utveckling och koncepttest av ett kartläggningssystem för kritiska metaller.....	109
8.4.6	Verka för innehåll av kritiska råvaror i EU:s produktpass	109
8.4.7	Utveckling av vägledning inom avfallshanteringsplaner.....	110
9	Referenser.....	111
Bilaga 1.	Undersökning av historiska gruvavfall.....	117
Bilaga 2.	Sekundär utvinning av mineral och metaller från gruvor.....	147
Bilaga 3.	Flöden av sekundära kritiska råmaterial i den svenska teknosfären.....	184
Bilaga 4.	Förslag på utformning av ett livscykelbaserat system för kartläggning av flöden av omställningskritiska råmaterial i den svenska teknosfären	273

SAMMANFATTNING

I denna rapport redovisar Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Naturvårdsverket regeringens uppdrag om att arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av metaller och mineral från sekundära resurser (N2021/01038).

Utifrån de uppnådda resultaten i uppdraget ger myndigheterna ett antal förslag till fortsatta insatser för att öka kunskapsbasen om sekundär resurspotential och för att bidra till cirkulär ekonomi och nå miljö- och klimatmålen.

SGU och Naturvårdsverket föreslår att Sverige bör verka för att de digitala produktpass som ska tas fram och specificeras inom EU-förordningen om ekodesign för hållbara produkter (ESPR), och annan relevant EU-lagstiftning ska deklarerarar med avseende på innehåll av kritiska råvaror. SGU och Naturvårdsverket föreslår vidare att regeringen ger myndigheterna följande uppdrag:

- SGU får i uppdrag att ta fram kunskap om berggrunden i anslutning till deponier av gruvavfall.
- SGU får i uppdrag att utveckla geofysiska metoder för att undersöka varphögar.
- SGU får i uppdrag att färdigställa redovisat utkast till databaskoncept/modell samt upphandla IT-kompetens och utveckla databasen för ändamålet. I uppdraget ingår även att implementera databasen med information från fortsatt inventering och vidaregående undersökningar och analyser av intressanta objekt med potentiella sekundära resurser.
- Naturvårdsverket får i uppdrag att vidare utreda samt genomföra ett koncepttest av ett livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska metaller och mineral för att på sikt kunna skapa säkrare dataunderlag.
- SGU och Naturvårdsverket får i uppdrag att fortsatt utreda de praktiska och ekonomiska hinder för utvinning ur gruvavfall som identifierats i redovisningen av regeringsuppdraget samt ge förslag på lösningar.

Dessa uppdrag förutsätter att en finansiering finns.

Naturvårdsverket har även formulerat ett åtagande för sitt arbete för de närmaste åren:

- Naturvårdsverket avser att utveckla vägledning om information om utvinningsavfallet i avfallshanteringsplanerna med syfte att främja återvinning.

Uppdraget (N2021/01038) gavs till myndigheterna den 24 mars 2021 och ska redovisas till Regeringskansliet (Näringsdepartementet) senast den 15 februari 2023. Uppdraget består av provtagning och undersökning av befintliga gruvavfall, utveckling av databas och klassificeringsmetoder för gruvavfall, bedömning av behov av ändringar i nuvarande lagstiftning, att ge en överblick av resursflöden och spårbarhet gällande kritiska metaller och mineral, samt utifrån resultaten av uppdraget föreslå ytterligare insatser för ökat kunskapsläge i frågan.

De sekundära resurser som har omfattats av uppdraget är gruvavfall samt avfall från teknosfären som innehåller metall och mineral. Biprodukter från gruvindustrin betraktas inte som avfall och har därför legat utanför uppdragets ram. Fokus för arbetet har legat på de metaller och mineral som finns på EU:s kritiska lista. Men även andra metaller och mineral, som bedöms som betydelsefulla för klimat- och energiomställningen och som efterfrågas i produktion av batterier, permanentmagneter och annan elektronik eller energiteknik, har tagits med i arbetet.

Inom uppdraget har gruvavfall från nedlagda gruvor undersökts, provtagits och karakteriserats. De nedlagda gruvornas avfall stod 2016 för omkring 15 procent av allt befintligt gruvavfall. Även

metallurgiskt slagg samt rödfyr, som är en rest av bränd alunskiffer, har undersökts. Totalt 70 platser har provtagits med sammanlagt 1 067 prov.

Resultatet visar att flera varphögar har mycket förhöjda halter av metaller som finns med på EU:s kritiska lista, men ofta i relativt begränsad mängd. Flera kritiska metaller kan dock påvisas i intressanta halter i vissa av de provtagna varphögarna: antimon, kobolt, sällsynta jordartsmetaller, vismut, volfram, i något enstaka fall indium, samt det kritiska grundämnet fosfor.

I de provtagna sandmagasinen har ett flertal fall av avsevärt förhöjda halter av metaller och mineral som finns med på EU:s kritiska lista påvisats. Det gäller även andra relevanta metaller som järn och basmetaller. Innehållet av kritiska metaller är mycket varierande, men liksom i varphögarna handlar det om titan, vanadin och volfram, antimon, kobolt och vismut, i något fall också om signifikanta halter av det kritiska mineralet flusspat.

Analyserna av rödfyr visar förhöjda medelhalter av vanadin, molybden och nickel, samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller, koppar, fosfor och gallium.

De historiska slaggerna innehåller, förutom relativt höga halter järn och koppar, också mycket höga halter av kobolt, med medelhalter upp till nära 3 300 ppm, och sällsynta jordartsmetaller, med medelhalter över 4 500 ppm, samt varierande förhöjningar av vismut, indium, volfram, guld och silver.

Inom uppdraget har SGU och Naturvårdsverket även sammanställt uppgifter om metaller och mineral i gruvavfall från 13 idag aktiva gruvverksamheter. De aktiva gruvornas avfall utgör i runda tal 85 procent av allt gruvavfall. Innehållet av metaller och mineral i detta avfall som finns med på EU:s kritiska lista har sammanställts utifrån uppgifter redovisade i de avfallshanteringsplaner bolagen måste ha och redovisa till tillsynsmyndigheten.

I gruvavfallen från de aktiva gruvorna finns enligt dessa uppgifter metaller och mineral som EU bedömt som kritiska och flera förekommer i förhöjda medelhalter. Bland annat förekommer kobolt, antimon, och vismut i förhöjda medelhalter, men även de sällsynta jordartsmetallerna cerium, lantan och yttrium. De uppskattade totala mängderna av dessa ämnen i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 96 000 ton kobolt, 5 400 ton antimon och 2 000 ton vismut, samt 500 000 ton sällsynta jordartsmetaller. Den uppskattade totala mängden sällsynta jordartsmetaller är förmodligen underskattad på grund av analysmetod och då endast tre av dem ingår.

Myndigheterna har tagit fram förslag till klassificeringsmetod för sekundära resurser i enlighet med resursklassificeringssystemet för utvinningsprojekt UNFC (United Nations Framework Classification for Resources). Klassificeringsmetoden har anpassats till förutsättningarna enligt svensk lagstiftning genom att varje administrativt beslut i miljöbalken och minerallagen för gruvverksamhet motsvaras av en kategori i UNFC.

Inom uppdraget har myndigheterna även tagit fram en struktur för en databas för klassificering enligt miljöbalken, som när den implementeras går att tillämpa på både gruvavfall och andra naturresurser.

SGU och Naturvårdsverket har vidare undersökt legala och praktiska hinder för att utnyttja gruvavfall och andra mineral- och metallförande avfall som resurs. Ett antal konsultationer med gruvnäringen, återvinningsindustrin, innovationsindustrin och tillsynsmyndigheter visade att det branscherna upplever som hinder är

- osäkerheter kring äganderätt för gruvavfall i minerallagen
- osäkerhet om ansvar för förorenad mark i samband med utvinning från historiskt gruvavfall

- osäkerheter kring miljöprövning av sekundär utvinning av avfall
- osäkerhet kring avfallsdefinitionen och mellanlagring av avfall
- regler för deponier.

Flera av hindren har undersökts i tidigare statliga utredningar eller regeringsuppdrag. Lösningssförslag finns i många fall framtagna och utredda, och denna utredning hänvisar i förekommande fall till dessa utredningars förslag. Andra förs fram i denna rapport som förslag till nya utredningar.

Brist på lönsamhet i återvinning och utvinning av sekundära resurser samt brister i forsknings-täckningen inom området sekundära resurser identifierades också.

Redovisningen innehåller även en överblicksbild över flöden av kritiska metaller och mineral i samhället, med extra fokus på massflödesbalansen för kobolt, platinagruppens metaller, neodym och indium. Flödena baseras på tillgängliga källor där data i många fall har bristande kvalitet och täckning, vilket innebär att flödesbilderna är osäkra.

Vidare har ett förslag på ett livscykelbaserat system för kartläggning av flöden av kritiska metaller och mineral i samhället tagits fram av konsortiet Svenska MiljöEmissionsData (SMED). Förslaget är ett system där fokus är på att kartlägga totala mängder, fördelning och användning av råvaror. För att beräkna flöden förordas en så kallad bottom-up ansats där data på produktnivå används för att beräkna det totala flödet av olika kritiska råvaror.

1 INLEDNING

1.1 Uppdraget från regeringen

Regeringen har uppdragit åt SGU att tillsammans med Naturvårdsverket arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära resurser (N2021/01038). Uppdraget består av provtagning och undersökning av befintliga gruvavfall, framtagande av klassificeringsmetoder för gruvavfall, bedömning av och förslag till ändringar i nuvarande lagstiftning, överblick av resursflöden och spårbarhet gällande kritiska metaller och mineral, samt utifrån resultaten av detta uppdrag föreslå ytterligare insatser för ökat kunskapsläge i frågan. De specifika uppdragsformuleringarna enligt regeringens beslut N2021/01038 lyder:

- SGU ska undersöka, provta och karakterisera befintliga gruvavfall som med utgångspunkt i redan känd information bedöms ha potential att kunna utnyttjas som sekundära resurser för mineral och metaller. Informationen ska tillhandhållas för exempelvis forskningsändamål och näringslivsutveckling samt tillgängliggöras såväl digitalt som i fysiska provarkiv.
- SGU ska med stöd av Naturvårdsverket ta fram ett förslag till klassificeringsmetod för sekundära resurser i enlighet med det av FN accepterade systemet för resursklassificering av råvaror *United Nations Framework Classification for Resources*, UNFC) och upprätta en databas i enlighet med denna. UNFC ska i första hand tillämpas på gruvavfall som undersökts enligt ovan. Databasen ska utformas så att en framtida klassificering av andra sekundära resurser möjliggörs. Miljökostnader enligt svensk lagstiftning och EU-rätt ska beaktas.
- SGU ska tillsammans med Naturvårdsverket och med beaktande av rapporten *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall* (dnr N2016/02787) analysera såväl kvarstående praktiska hinder som hinder i lagstiftningen mot att utnyttja gruvavfall eller andra mineral- och metallförande avfall som resurs. Myndigheterna ska föreslå kostnadseffektiva styrmedel, samt lämna författningsförslag där det bedöms lämpligt, som syftar till att öka möjligheterna att använda gruvavfall och andra mineral- och metallförande avfall som en resurs för mineral och metaller.
- SGU ska tillsammans med Naturvårdsverket ge en överblick över flöden av kritiska mineral och metaller samt föreslå hur system för livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi.
- SGU ska tillsammans med Naturvårdsverket, utifrån de uppnådda resultaten i uppdraget, föreslå fortsatta insatser för att öka kunskapsbasen om sekundär resurspotential och bidra till cirkulär ekonomi samt att nå miljö- och klimatmålen.

Uppdraget ska bidra till omställningen till en mer cirkulär och resurseffektiv ekonomi i enlighet med *Handlingsplan för Smart industri – en nyindustrialiseringsstrategi för Sverige* (N2016/04273) respektive *Cirkulär ekonomi – strategi för omställningen i Sverige* (M2020/01133) och fokusera på kritiska mineral och metaller, men kan även omfatta andra mineral och metaller. Uppdraget ska delrapporteras senast 1 december 2021 och slutrapporteras senast 15 februari 2023.

1.2 Definition av sekundära resurser

Det finns ingen generell definition för sekundära resurser av metaller och mineral. Definitionen inkluderar vanligtvis gruvavfall (gråberg, anrikningssand), slagg, rödfyr, avfallsströmmar som uppstår under produkters tillverkning samt produkter eller komponenter som har nått slutet på sin livscykel. I det här uppdraget undersöktes den sekundära resurspotentialen i svenska gruvavfall och andra mineral- och metallförande avfall, framför allt i form av produkter som förekommer i den svenska teknosfären och som blivit avfall. Hållbara och resurseffektiva mineralvärdekedjor innefattar både sekundär utvinning och återvinning från mineralbaserade avfallsströmmar relaterade till gruvdriftens hela livscykel, men också återvinning av uttjänta produkter.

1.3 Medverkande

SGU:s provtagning och undersökning av historiska gruvavfall har utförts av SGU:s geologer och geofysiker Mehrdad Bastani, Cecilia Brolin, Johan Camitz, Patrick Casey, Dick Claeson, Roger Hamberg, Erik Jonsson, Anna Ladenberger, Daniel Larsson, Virginie Leroux, George Morris, Lena Persson, Stefan Persson, Gunnar Rauséus, Helge Reginiussen, Johan Söderhielm och Björn Wiberg, med Alexander Lewerentz som projektledare. Rapportens avsnitt 3 har sammanställts av Erik Jonsson, med bidrag från Alexander Lewerentz och Lena Persson.

I arbetet med UNFC har för SGU:s del Nikolaos Arvanitidis, Magnus Johansson och Carolina Liljenstolpe deltagit, med bidrag från Sigurd Heiberg (Petronavit A.S.) som konsult.

Utredning och sammanställning av hinder för utvinning av sekundära resurser har för SGU:s del gjorts av Fredrik Gustafsson och Carolina Liljenstolpe.

Naturvårdsverkets projektgrupp har i huvudsak bestått av Ann-Marie Fällman, Linda Hellblom, Therese Fällgren, Sara Nordström, Lena Brunsell och Christian Junestedt, samt projektledare Erik Stigell.

2 BEHOVET AV METALLER OCH MINERAL

2.1 Metaller och mineral behövs för klimat- och energiomställning

Samhället är, och har under en lång tid varit, beroende av metaller och mineral. Efterfrågan har ökat exponentiellt under de senaste 100 åren (Krausmann m.fl. 2009). Klimat- och energiomställningen sker till stor del genom ökad elektrifiering av vägtransporter och ökad utbyggnad av förnybara energikällor (World Economic Forum 2019). Flera metaller och mineral har blivit innovationskritiska eftersom de behövs för exempelvis tillverkning av bränsleceller, lätta motorer, vindkraftverk, solcellspaneler, batterier och energilagrar. Viktiga metaller och mineral är exempelvis indium, kobolt, litium och grafit, men även basmetaller såsom koppar och aluminium samt järn behövs i dessa tekniker. Behovet av sällsynta jordartsmetaller – eller REE efter engelskans *Rare Earth Elements* – har också ökat kraftigt de senaste 20 åren. REE utgörs av en grupp med 16 grundämnen som alla är metaller. Vissa metaller och mineral har särskilt pekats ut som kritiska för vårt samhälle och välfärd, s.k. kritiska råvaror (CRM, se avsnitt 2.3).

Världsbanken uppskattar att 3 miljarder ton metaller och mineral kommer att behövas för att minska koldioxidutsläppen från det globala energisystemet år 2050, givet ett scenario där den globala uppvärmningen inte överstiger 2 grader. Efterfrågan på relevanta metaller såsom aluminium, kobolt, järn, bly, litium, mangan och nickel beräknas kunna öka med mer än 500 procent fram till 2050, givet detta scenario (World Bank Group 2020). Enligt OECD kommer den globala användningen av metall och mineral, trots förbättringar av materialsammansättningar och resurseffektivitet, mer än fördubblas, från 79 miljarder ton 2011 till 167 miljarder ton år 2060. När det gäller kritiska metaller och mineral förväntas efterfrågan öka med 150 procent under samma tidsperiod, från 8 till 20 miljarder ton (OECD 2019).

En omfattande efterfrågan i kombination med begränsat utbud påverkar prisutvecklingen. För exempelvis litium uppskattades efterfrågan under en period av år 2022 vara i storleksordningen 10 gånger mer än utbudet på marknaden. Detta ledde till en toppnotering på råvarubörsen (S&P Global Commodity Insights 2022). Det finns samstämmiga uppgifter om att efterfrågan på viktiga råvaror för klimat och energiomställningen kommer att tillta över tid. Exakt hur stor bristen kommer bli är oklart eftersom uppskattad efterfrågan bygger på prognoser (se exempelvis Alves Dias m.fl. 2018, Gregoir & van Acker 2021). Det har emellertid konstaterats att det kommer finnas ett stort behov av både ökad resurseffektivitet, ökad återvinning och ökad primär produktion, både inom och utanför EU, för att täcka efterfrågan med anledning av klimat- och energiomställningen (Gregoir & van Acker 2021).

2.2 Omvärlden och geopolitisk instabilitet

Utbud och efterfrågan av metaller och mineral inom EU och globalt påverkas till stor del av styrmedel och strategier på global, EU- och nationell nivå. På ett övergripande plan återfinns Agenda 2030. Handlingsplanen Agenda 2030 lyfter bland annat fram FN:s 17 globala hållbarhetsmål och syftar i stort till att utrota hunger och fattigdom, uppnå jämställdhet mellan könen och skydda vår planet från miljöförstöringar (United Nations 2015a). Handlingsplanen identifierar komplexa utmaningar inom hållbar utveckling som behöver lösas multilateralt. Agenda 2030 kan ses som en generell strategi eller förhållningssätt mellan länder. Parisavtalet är ett globalt klimatavtal som trädde i kraft 2016 (United Nations 2015b). Parisavtalet knyter i allra högsta grad an till de globala hållbarhetsmålen men är mer konkret i den bemärkelsen att en viktig punkt är att begränsa den globala temperaturökningen till under 2 grader och sträva efter att begränsa den till 1,5 grader.

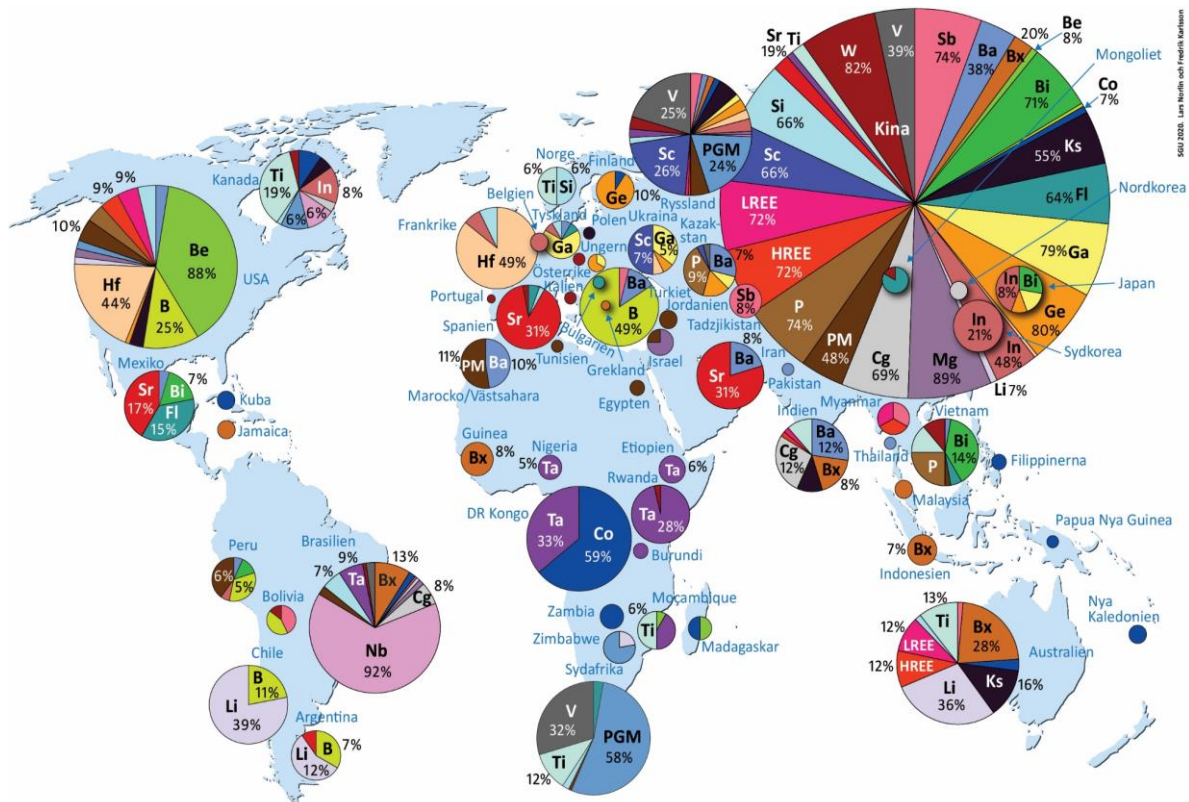
EU:s råvaruinitiativ utgör ett viktigt ställningstagande från EU. Här förordas ett minskat importberoende och en ökad självförsörjningsgrad av metaller och mineral för unionen (Europeiska kommissionen 2008). Den europeiska gröna given (European Green Deal) och säkerhetsläget i Europa understryker att självförsörjning av kritiska råvaror utgör en viktig del av klimat- och säkerhetsarbetet. Självförsörjning motiveras huvudsakligen genom att det råder högre miljöstandarder och bättre arbetsförhållanden inom EU jämfört med omvärlden. Detta motiverar att nya gruvinvesteringar ska ske inom EU (European Parliament 2022). I den uppdaterade industristrategin ingår en masterplan för en effektiv omvandling av EU:s energiintensiva industrier. Målet är att industrin ska vara klimatneutral och cirkulär till år 2050 (Europeiska kommissionen 2021a). Europeiska Batterialliansen syftar till att stärka strategiska värdekedjor för en framtida EU-industri, genom att bilda råvarurelaterade allianser (Europeiska kommissionen 2017). Europeiska Råvarualliansens mål är att säkra leveransen av hållbara råvaror och avancerade teknologier för att bygga upp EU:s resiliens och konkurrenskraft (ERMA 2022). Andra EU-styrande och drivande styrmedel utgörs exempelvis av taxonomiförordningen (Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2020/852). I denna definieras vilka fastställda krav som finansiella produkter och investeringar måste leva upp till för få benämnas som hållbara. I EU:s principer för hållbara råvaror ingår tillförlitlig gruvnäring och ansvarsfull gruvdrift. EU:s återhämtningsplan med avseende på samhällsspridningen av covid-19 (Europeiska kommissionen 2021b) beaktar både resiliens och s.k. grön omställning och har kopplingar till mineralmarknaden. Den nya strategiska genomförandeplanen av europeiska innovationspartnerskapet och EU:s ramprogram Horisont Europa, kan bidra till verkställande av forskning och innovation och därmed potentiellt också till råvarurelevant teknikutveckling (Europaparlamentets och rådets förordning (EU) 2021/695).

De globala värdekedjorna är dock sårbara för geopolitiska och andra allvarliga störningar. Detta har blivit tydligt i och med Rysslands invasion av Ukraina och samhällsspridning av covid-19. Hittills har dessa störningar orsakat flaskhalsar i leveranskedjorna. Yttre hinder på grund av händelser i omvärlden har exempelvis orsakat förseningar i leveranser av s.k. halvledare. Detta i sin tur fördröjer tillverkning av elfordon som ska sättas på marknaden (se exempelvis Motorbranschen 2021). Vidare har vi sett exempel på att makroekonomiska faktorer, såsom inflation och centralbankernas räntehöjningar, bidrar till allt högre eller starkt fluktuerande priser till konsument. Högre priser leder till lägre efterfrågan, vilket återigen kan bidra till att klimat- och energimål riskerar att inte uppnås. Höga priser väntas samtidigt ge incitament för industrin att göra marknadsanpassningar, exempelvis genom att finna substitut till kritiska metaller genom att utveckla nya batterityper med annan kemisk uppbyggnad (Gordon 2022).

2.3 Kritiska råvaror för EU

EU är till stor del beroende av import av kritiska råvaror. I Europa konsumeras ungefär en fjärdedel av världens produktion av metaller och mineral, men det produceras endast tre procent. Enligt EU är det därför väsentligt med en diversifierad och ostörd tillgång på kritiska råvaror och att produktionen inom Europa ska öka (Europeiska kommissionen 2020a). År 2011 presenterade kommissionen den första listan över kritiska råvaror (s.k. CRM, eng. *Critical Raw Materials*) som bedömdes vara kritiska för vårt samhälle och välfärd. De kritiska råvarorna väljs ut baserat på två viktiga kriterier: ekonomisk betydelse och tillgångsrisk. Listan innehöll då totalt 14 CRM. Förteckningen utökades från 27 CRM år 2017 till 30 CRM år 2020 (varav 29 av dem är metaller och mineral).

EU:s försörjning av de flesta kritiska metall- och mineralråvaror är koncentrerad till länder utanför EU. Kina tillhandahåller exempelvis 90 procent av EU:s import av sällsynta jordartsmetaller, Turkiet 98 procent av borat och Sydafrika 92 procent av iridium samt 71 procent av platina (fig. 1).



Kritiska råvaror som är upptagna på EU-kommissionens lista*

Sb Antimon	Li Litium
Bx Bauxit	Mg Magnesium
Ba Baryt	Nb Niob
Be Beryllium	HREE Tunga sällsynta jordartsmetaller
Bi Vismut	LREE Lätta sällsynta jordartsmetaller
B Borater	PGM Platinametaller
Cg Grafit	PM Fosfatmineral
Co Kobolt	P Fosfor
Fl Flusspat	Sc Skandium
Ga Gallium	Sr Strontium
Ge Germanium	Si Kisel
Hf Hafnium	Ta Tantal
In Indium	Ti Titan
Ks Koks	V Vanadin
	W Wolfram

*exklusive naturgummi

Figur 1. Produktionen av kritiska råvaror (CRM) i världen. Varje cirkel visar varje lands totala produktion, räknat på procent av vikt. Procentsatserna som står utskrivna för de olika metallerna visar andel av världsproduktionen för den metallen ("tårtbitarnas" sammanlagda ytor för en viss metall utgör tillsammans 100 procent, fortfarande baserat på vikt). Källa: SGU.

Klimat- och energiomställningen inom EU är sårbar. Produktionen av råvaror globalt sett, och framför allt inom EU, är för låg för att möta de framtida behov som finns (se avsnitt 2.1). Det finns dessutom en hög grad av marknadskoncentration längs hela värdekedjan. Kina och Ryssland är starka aktörer på världsmarknaden för primära råvaror. Kina samarbetar också med kobolt- och litiumgruvor över hela världen för att säkra landets tillgång till råvaror (se exempelvis The New York Times 2021).

Den framtida efterfrågan inom EU bedöms innebära fortsatt importberoende av primära råvaror, även på medellång till lång sikt. För att uppnå en mer diversifierad tillgång behöver EU säkerställa leveranskedjor för mineralråvaror och att bli mindre beroende av Kina, Ryssland och andra stora producenter av kritiska råvaror. Det är därför viktigt att utveckla EU:s tillgång och leverans av mineralråvaror genom ny hållbar gruvdrift inom EU och säkrad import från länder utanför EU som använder hållbara utvinningsmetoder.

2.4 Metaller och mineral från sekundära resurser

Ökad och mer effektiv användning av sekundära resurser ökar försörjningstryggheten för kritiska råvaror (jfr Europeiska kommissionen 2020a), vilket är viktigt för den teknologiska utveckling som anses krävas för energi- och klimatomställningen. Det finns dock en rad utmaningar kopplade till tillgången av råvaror för dessa teknologier, som geologiska förhållanden, geografisk koncentration av mineralfyndigheter och resurser, gruvor och förädling, marknadsstrukturer, geopolitiska faktorer, tekniska utmaningar, lönsamhet, negativa miljökonsekvenser liksom sociala dito. I synnerhet har bristande teknik och dåliga marknadsförutsättningar hindrat övergång till en effektiv resurshantering. Med ökande efterfrågan på många metaller, kombinerat med liten eller obefintlig återvinning, är detta problematiskt.

Den stora efterfrågan och beroendet av kritiska råvaror för nya teknologier aktualiserar frågan att skapa mer resurseffektiva flöden för mineralråvaror. Befintlig information visar att mindre än en tredjedel, av en sammanställning på totalt cirka 60 metaller, har mer än 50 procent återvinningsgrad under sin livstid (European Commission & Joint Research Centre 2021). Drygt hälften (34 av 60) av metallerna har mindre än 1 procent återvinningsgrad. Återvinningsgraden för vissa kritiska råvaror (sällsynta jordartsmetaller, indium, gallium, germanium, litium och beryllium) understiger 1 procent. Produktion och leverans av många metaller är alltså under överskådlig tid framöver beroende av primära mineraltillgångar, dvs. av gruvdrift. Exempelvis visar beräkningar att återvunnet material kan utgöra 65 procent av energiomställningens behov av kobolt, 75 procent av litium och upp till 90 procent av nickel år 2050 (Gregoir & van Acker 2021).

EU har potential inom återvinning (se exempelvis Northvolt 2021). Det finns emellertid inte tillräckligt med produkter att återvinna. Av den anledningen är EU fortfarande starkt beroende av primär brytning för att tillgodose den växande efterfrågan av kritiska metaller och mineral. EU har en god tillgång av primära mineralresurser. Europas geologiska miljöer innefattar mineralfält med hög potential för prospektering av kritiska råvaror, inklusive batteri- och andra strategiska mineral. En uppskattning visar exempelvis att 5 till 55 procent av Europas beräknade efterfrågan av metaller år 2030 kan komma från europeiska gruvor, beroende på vilken metall som avses. Speciellt för litium och sällsynta jordartsmetaller anses potentialen vara god (Gregoir & van Acker 2021).

Malmgeologisk undersökning och prospekteringsteknologier för mineralfyndigheter av kritiska råvaror behöver utvecklas vidare för att skapa trovärdiga resurstillgångar och därmed exploateringspotential. Enligt Nordiska ministerrådet sker det för lite forskning som relaterar till försörjningen av energikritiska metaller och mineral, exempelvis kring sambanden mellan förekomst, den geologiska utvecklingen inom Norden och utvinningsprocesser. Det senare gäller framför allt sekundära resurser. Nordiska ministerrådet understryker ett behov av att ansvariga myndigheter i de nordiska länderna i högre utsträckning tillhandahåller relevant och digital geologisk information rörande energikritiska metaller och mineral (Eilu m.fl. 2021). Flera studier har också pekat på att tillståndprocesserna i Sverige är tidskrävande och innebär en utmaning för gruvbrytning (Riksdagen 2022). Enligt en analys på internationell nivå framgår det att det i genomsnitt tar 16,5 år att utveckla projekt från upptäckt till produktion (IEA 2021).

Det pågår ett omfattande arbete kring sekundär utvinning från mineralbaserade avfall, dvs. gruvavfall såsom gråberg, anrikningssand och annat avfall som produceras under brytning, bearbetning och annan verksamhet längs mineralvärdekedjan. I EU och Sverige (inom ramen för föreliggande regeringsuppdrag, se avsnitt 3) genomförs för närvarande geologisk och geokemisk kartläggning, samt prospektering och återvinningstestning av avfall relaterat till historiska och aktiva gruvor. Globalt finns det uppskattningsvis 3 500 storskaliga aktiva gruvor som producerar över 100 miljarder ton gruvavfall per år (Mining Technology 2020). Motsvarande information om historiska gruvavfalldeponier är för närvarande okänd på grund av bristfälliga data. Det rör sig dock säkerligen om många fler än de aktiva. I ProMine-projektets databas om antropogena koncentrationer registrerades 3 408 historiska gruvavfall (Cassard m.fl. 2015). Enligt uppgift uppgår den globala mängden gruvavfall från kopparproduktion till 2,9 miljarder ton/år. Järnmalsproduktionen genererar ytterligare 1,6 miljarder ton gruvavfall (The Intelligent Miner 2019).

Det kan finnas en kommersiell potential för utvinning av resurser från gruvavfall. Utifrån ett antagande att en koppargruva producerade 1 miljon ton metall under 1990-talet med 90 procent utvinningsgrad gick återstående 10 procent koppar, cirka 111 000 ton, till avfall. Förmågan att tillhandahålla en miljövänlig, kostnadseffektiv metod för återvinning är dock en viktig faktor för att kunna nyttja sekundära resurser som råvaror.

Potential kan också finnas för uttjänta produkter och andra avfall från teknosfären. För gallium och indium bidrar sekundära material i teknosfären troligtvis endast marginellt. Troligtvis är också återvinningen av sällsynta jordartsmetaller, som neodym och dysprosium, från permanenta magneter i hårddiskar, vindkraftverk och elbilmotorer i det närmaste obefintlig under det kommande årtiondet. Komplexiteten i produkternas sammansättning och den miljöfarliga processen med befintlig teknik för att separera och återvinna är en stor utmaning. Det beräknas att det kommer att krävas mellan 5 och 10 år för att skapa en effektiv och fungerande återvinningsmetod för neodym och dysprosium (Yang m.fl. 2017). Däremot prognostiserar Yang m.fl. (2017) att den sekundära tillförseln av neodym och dysprosium från återvinning av permanenta magneter kan möta nästan 50 procent av efterfrågan år 2100.

Utifrån ett samhällsekonomiskt perspektiv finns en potential för sekundär utvinning i Sverige. Det finns bland annat fördelar med att lokalisera energiintensiva verksamheter till platser där det finns god tillgång till förnybara och fossilfria energilag för att minimera miljöpåverkan från utvinningsstegen. Sveriges elproduktion från förnybara energikällor uppgick till 60 procent under 2021 (SCB 2022). Enligt Business Sweden (2020) innehar Sverige optimala förutsättningar för elintensiv verksamhet, exempelvis för gruvor och vidare bearbetning av råvaror. Därutöver kan närhet till befintliga kluster med kompetens inom bland annat gruv- och mineralnäring vara en fördel. I bolaget Northvolts miljökonsekvensbeskrivning för utökad anläggning för storskalig produktion av litiumjonbatterier (2018) framgår att lokaliseringen i Skellefteå valdes på grund av den gynnsamma energimixen, men också bland annat på grund av närheten till befintliga kluster och nätverk av kompetens inom bland annat gruv- och mineralnäring.

Sammanfattningsvis bedöms det finnas en stor efterfrågan på ökad återvinning och en stor efterfrågan på nya gruvor, processanläggningar samt hållbar import för att diversifiera tillgången till råvaror. Eftersom det finns, och beräknas finnas, en hög efterfrågan på metaller och mineral under lång tid framöver utgör sekundära resurser en potential för att bidra till försörjningen. Det ska noteras att ökad primärproduktion av råvaror är en förutsättning för att återvinning på sikt ska vara tillräcklig för att uppnå cirkularitet.

3 UNDERSÖKNING, PROVTAGNING OCH KARAKTÄRISERING AV HISTORISKA GRUVAVFALL

3.1 Inledning

SGU hade i uppdrag att ”undersöka, provta och karakterisera befintliga gruvavfall som med utgångspunkt i redan känd information bedöms ha potential att kunna utnyttjas som sekundära resurser för mineral och metaller”. Under det aktuella projektet genomfördes provtagning, analys och utvärdering av ett flertal olika typer av gruvavfall (gråberg/varp, anrikningssand) samt slagg för eventuella halter av relevanta metaller, specifikt med inriktning mot sådana som idag klassificeras som kritiska inom EU (se avsnitt 2 samt Blengini m. fl. 2020). Urvalet av provtagningslokaler gjordes mot bakgrund av tidigare, översiktliga undersökningar av gruvavfall (Hallberg & Reginiussen 2018, 2020), liksom information om producerade mängder gruvavfall från SGU:s Malmdatabas (SGU 2020). Endast nedlagda gruvor var föremål för undersökning och provtagning. Totalt undersöktes 70 före detta gruvområden, från vilka över 1 000 prover samlades in och analyserades inom uppdraget (tabell 1).

Gällande avfall kring gruvor genomfördes provtagning främst av varp, dvs. högar av restmaterial av svagt mineraliserat sidoberg och låggradig malm som vanligen separerats ut löpande under driften (främst under äldre tid) samt material från sandmagasin, s.k. anrikningssand, vilken ofta förekommer i form av deponier av finmalet material som separerats från malmineralen med mer modern anrikningsteknik. I några fall samlades även prover av gråberg in, dvs. icke-mineraliserat sidoberg som främst genererats under modernare gruvdrift, där sådant förekommit. För dessa typer av gruvavfall genomfördes provtagning i gruvområden i Dalarnas, Gävleborgs, Västmanlands, Örebro, Södermanlands, Östergötlands, Västerbottens samt Norrbottens län. Vidare genomfördes provtagning och analys av två typer av restmaterial som mer indirekt har med gruvbrytning att göra, s.k. rödfyr och slagg. Rödfyr är en restprodukt från förbränning av alunskiffer och har provtagits i Närke, Västergötland, Skåne, trakten av Kalmar och på Öland. För slagg (historiska hyttslaggar) från pyrometallurgisk framställning av metaller, genomfördes provtagning i två delområden i Bergslagen – i Dalarnas samt Västmanlands län.

De insamlade provernas kemiska sammansättning karakteriserades genom analys för ett brett spektrum av grundämnen och sammanvägda medelvärden utgör grund för bedömning av de olika provtagningslokalernas potential som sekundära resurser. Kombinerat med uppgifter om mängder kvarvarande gruvavfall, uppskattade eller inhämtade från bergverksstatistik, bedömdes provtagningsobjektens kvarvarande metall- och mineralinnehåll.

Tabell 1. Antal undersökta objekt samt insamlade och analyserade prover per materialtyp.

Materialtyp	Antal objekt	Antal prov
Rödfyr	7	89
Anrikningssand	23	406
Slagg	6	40
Varp och gråberg	45	532
Summa	70	1 067

3.2 Bakgrund – gruvavfall

Gruvavfall uppvisar stor variation i sina egenskaper, vilket beror på kombinationer av geologisk bildningsmiljö och specifik malmtyp, vilka metaller och mineral som primärt varit i fokus under driften av en specifik gruva, samt under vilken tidsperiod och med vilka tekniker malmen brutits och bearbetats. Över lag finns en stor mängd olika typer av gruvavfall eller restprodukter med olika kornstorlek, mineral- och metallinnehåll, textur och struktur, samt generell kemisk sammansättning, vilka har genererats under olika typer av gruvdrift, anrikningsmetodik, samt eventuella efterföljande processer som exempelvis bränning, rostning och förhyttning (pyrometallurgisk bearbetning för framställning av råvaror).

Under äldre eller historisk tid var skrädning (manuell sortering; fig. 2) ofta den primära metoden för att separera den (rikare) malm som skulle hanteras vidare i processen från sådan som bedömdes för låghaltig (fattig) och icke-mineraliserat berg. De sistnämnda två hamnade således på varphögen. Då, som nu, lades sådant material i normalfallet direkt invid den aktiva gruvan då det var både enklast och billigast. Skrädningen gjordes för hand och kornstorleken på materialet som skräddes varierade oftast från nävestora bitar till många decimeter och ibland meterstora block. Från innan medeltiden fram till början av 1900-talet genererades främst varp som gruvavfall; även om s.k. vaskning och bokning ledde till finfördelning av malm så genererade metoderna inte mycket restvolym. Upptäckten och införandet av flotationstekniken för mineralseparering, från omkring 1910- till 1930-talen (beroende på var i världen man tittar), ledde till att avsevärt fattigare malmer kunde tillgodogöras och brytas ekonomiskt. Flotationsprocessen utförs medelst vätskor och luft(bubblor) och kräver malning av malmen. Till vilken specifik kornstorlek den mals baseras på kornstorlek och texturer hos de individuella relevanta malmmineralen i varje specifik malmförekomst. Införandet av denna teknik, liksom magnet- och gravitationsseparering, betydde alltså att en ny typ av finkorniga gruvavfall började genereras och lagras kring de aktiva gruvorna



Figur 2. Skrädplats nedan varphögen invid ett schakt; okänd gruva i Bergslagen, tidigt 1900-tal. Fotograf: okänd.

och deras anrikningsverk i form av anrikningssand. I dag är detta nästan alltid fallet vad gäller exempelvis bas- och ädelmetallmalmer. För vissa malmer var och är också gravimetrisk separering (baserad på de ingående mineralens olika densitet) liksom magnetseparering (baserad på mineralens magnetiska egenskaper) effektiva metoder som även de kräver krossning och malning av malmen innan processen och därmed också genererar anrikningssand.

Beroende på vilken typ av malm det handlar om (baserat på vilka de huvudsakliga malmmineralen är och hur malmen ursprungligen bildats) och hur man klassificerat det brutna grövre materialet som malm eller avfall (varp eller gråberg), så är potentialen mycket varierande för vad som kan finnas kvar av intressanta metaller och mineral i varphögarna. Det grövre material som idag produceras vid gruvbrytning benämns oftast ”gråberg” och utgörs i än högre grad än i fallet med gårdagens varphögar av icke-mineraliserat material. Även detta läggs typiskt i avfallsupplag invid en aktiv gruva. Den historiska handskrädningen gjordes baserat på utseende, uppskattad densitet och erfarenhet, varför ett avsevärt mått av subjektivitet och i värsta fall slump fanns bakom urvalet av vad som hamnade på varphögen. Man var dessutom fokuserad på att tillgodogöra sig rikare malmer än i dag. Med andra ord finns emellanåt mycket metallrika mineral kvar i många varphögar, framför allt i de som härstammar från gruvdrift i äldre tid (från omkring medeltid till en bit in på 1900-talet). Detta har påvisats vara fallet inte minst gällande ett flertal malmtyper i Bergslagen (se t. ex. Högdahl m. fl. 2015). I fallet med anrikningssand handlar det, förutom vilken malmtyp materialet kommer från, också om hur effektiv den specifika anrikningsprocessen var för att separera ut de malmmineral som var föremål för brytning, men även vad annat av potentiellt intressanta mineral som fanns i malmen men som man av en eller flera anledningar inte tog ut. Man bör också betänka att ingen metod eller process har ett hundra procentigt utbyte, utan en viss andel förloras alltid under bearbetningen. Med tanke på variabiliteten i både de geologiska materialen och utbytena i anrikningsprocesserna så kan man således förvänta sig att, särskilt för vissa malmtyper, kunna hitta signifikanta halter av olika intressanta metaller och mineral i anrikningssand.

I sammanhanget är det viktigt att konstatera att i äldre tid och ända fram till åtminstone 1990-talet så gjorde man ofta endast analyser på enstaka eller ett mindre urval metaller i sin malm, närmare bestämt de man visste om och var intresserad av, som till exempel koppar, guld, silver eller järn. Med dagens tillgång till snabba, effektiva och relativt billiga analysmetoder som kan ge information om halterna av flertalet metaller (och andra grundämnen) i ett geologiskt prov finns möjligheten att påvisa signifikanta halter av metaller som man inte visste eller brydde sig om under det att brytningen pågick. Nya insikter finns även om vilka geologiska processer som kan koncentrera olika metaller och kan därmed i viss utsträckning förutsäga om det är sannolikt att en viss malmtyp också kan innehålla andra metaller än de som en gång var anledningen till brytningen.

Vad gäller rödfyr, de rester från förbränning av alunskiffer som återfinns i några områden i södra Sverige, är det känt att ett flertal metaller som är anrikade i dessa skifferar också bör kunna återfinnas i rödfyren. För olika typer av slagg, dvs. rester efter förhyttning av malm inbegripande smältning, finns också en stor variation av material med olikartad potential till användning för olika tillämpningar (se t. ex. Lottermoser 2011). För de historiska slaggerna från medeltid till tidigt 1900-tal torde det huvudsakligen vara deras potentiella metallinnehåll som kan vara relevant.

3.3 Metoder för provtagning och analys

Provtagning av varphögar och gråbergsdeponier i denna undersökning gjordes för hand med geologhammare och associerade handredskap. Kompositprov insamlades enligt den metodik som presenterats av Sædbom & Bäckström (2018). Metoden innebär att prov tas slumpmässigt men jämnt fördelat över varphögens hela ytmässiga utbredning, vilket gör att beräknade medelvärden blir så nära som det är möjligt representativa för sammansättningen i hela varphögens volym.

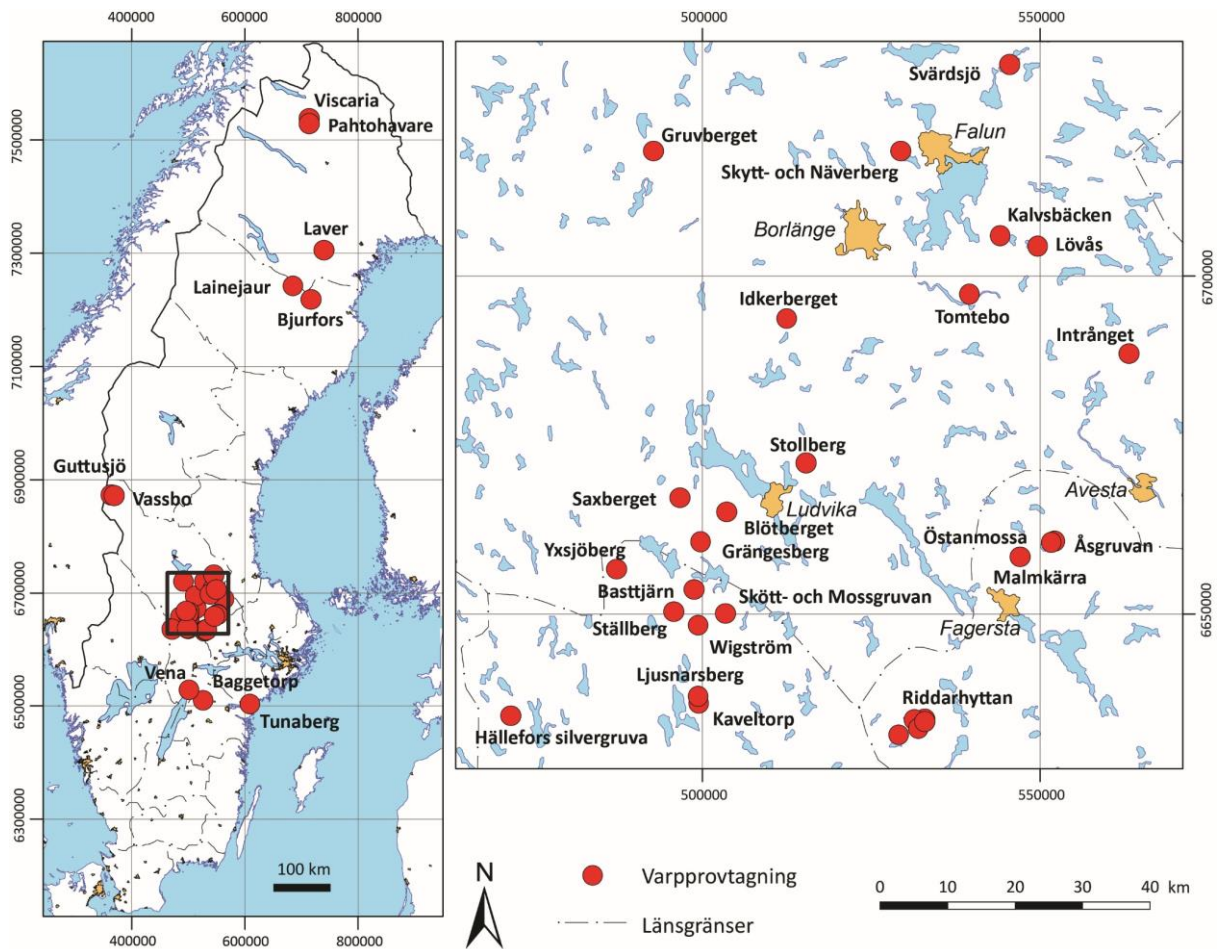
Ytnära provtagning av sandmagasin utfördes med spade och handborr (s.k. Edelman auger). Material insamlades i största möjliga mån under vittringshorisonten, på ett djup om cirka 60–120 cm under markytan. Syftet med ytprovtagningen var antingen att ge en första indikativ bild av metall- och mineralinnehåll i av SGU ej tidigare provtagna sandmagasin, eller att förtäta provtagningen och därmed få kännedom om möjliga variationer i sammansättningen i sandmagasin med redan känt innehåll av kritiska metaller eller mineral.

Maskinell provborrning av sandmagasin utfördes med SGU:s borrarbandvagn och provtagning gjordes i sektioner om 1 meter enligt metodik beskriven av SGF (2014). Syftet med provtagningen var att undersöka om och hur anrikningssandens sammansättning varierar med djupet i sandmagasin med sedan tidigare konstaterat innehåll av kritiska metaller och mineral. Kärnprovtagare användes i första hand för provtagningen, men fick i vissa fall ersättas med jordskruv då materialet antingen var för hårt för provtagaren att tränga genom, eller var vattenmättat och därmed svårt att tränga in i, eller rann ur provtagaren. Båda metoderna har fördelar och nackdelar. Kärnprovtagaren ger hela kärnor som kan delas upp i flera prov, och även sparas för vidare beskrivning, bearbetning eller som referens. Jordskruvn ökar risken för kontamination och ger endast ett samlat prov för det provtagna intervallet, men är samtidigt snabbare och ger ökad provtagningstakt.

Provberedning av insamlat material genomfördes av ALS Scandinavia i Öjebyn, Piteå, för vidare kemiska analyser i ALS Minerals laboratorium i Loughrea, Irland. Ett brett spektrum av huvud- och spårelement analyserades med masspektrometri enligt två olika huvudmetoder: metaborat-uppslutning och syrauppslutning (s.k. ”fyra syror” för bas- och ädelmetaller samt kungsvatten för spårämnen). Metaboratuppslutning lämpar sig bäst för att analysera prover dominerade av silikatmineral och andra svårslösliga mineral, medan syrauppslutning lämpar sig bäst för prover rika på sulfider och andra relativt lösliga mineral. Parallell användning av båda metoderna säkerställer att anomala halter av olika grundämnen kan upptäckas oavsett vilka värddmineral de förekommer i. Halterna av kol och svavel analyserades med infrarödspektroskopi. Ytterligare detaljer om analysmetoderna finns på analysföretagets hemsida (ALS 2022).

3.4 Resultat från provtagning och analys av varphögar

Provtagna varphögar i anslutning till nedlagda gruvor representerar det största antalet undersökta lokaler inom detta uppdrag, från Norrbotten i norr till Östergötland i söder (fig. 3, fig. 4). Den totala mängden varp i dem uppskattas till omkring 31 miljoner ton (främst baserat på SGU:s databaser; tabell 2). Förutsättningarna varierar stort vad gäller deras potential att ha förhöjda halter av inte minst kritiska metaller, som beskrivits ovan. Flera varphögar uppvisar mycket förhöjda halter av kritiska metaller, men ofta i relativt begränsade volymer/tonnage. I vissa fall kan det handla om liten (småskalig) primär produktion, men i vissa fall också om att en stor del av ursprunglig varp nyttjats för andra ändamål både under och efter gruvans aktiva period. De senare typerna av oftast dåligt eller alls ej dokumenterad varphantering gör att skattningar av i dag kvarvarande varpvolymer och -tonnage blir problematiska eller t.o.m. omöjliga att genomföra.



Figur 3. Gruvor med varphögar som provtagits inom detta uppdrag är markerade med rödfyllda cirklar. Svart ruta över del av Bergslagen i Sverigekartan (till vänster) motsvarar den mera detaljerade kartan till höger. Koordinatreferenser i Sweref 99 tm.



Figur 4. Karakteristiskt delvis rostvittrande varphögar (p.g.a. innehåll av sulfid-mineral), här vid Tomtebo gruvor, Dalarna. Foto: Helge Reginiussen.

Totalt sett har ett flertal kritiska och icke-kritiska, ekonomiskt liksom industriellt viktiga metaller och andra grundämnen påvisats i relativt sett intressanta koncentrationer i ett stort antal av de varphögar och gråbergsdeponier som provtagits, även om ganska många också uppvisat huvudsakligen modesta eller låga halter av basmetaller. För flertalet där totala tonnage av varp också kunnat beräknas har även potentiella totala mängder kvarvarande metaller kunnat uppskattas (tabell 2, bilaga 1a & 1b). I flertalet fall har varptonnage beräknats baserat på befintliga historiska uppgifter och i andra fall har de uppskattats (se bilaga 1a). Det bör i sammanhanget tydligt framhållas att de uppskattade mängderna kvarvarande metaller endast skall ses som indikativa och på intet vis som några faktiska resursberäkningar. Sådana kräver en mycket tätare provtagning och analys och en kontrollerad rumslig spridning som inbegriper de kompletta varpvolymerna. Kort sagt behöver en fullödig resursberäkning för vilket som helst sekundärt material omfatta samma grad av detaljnivå och såväl analytisk som statistisk tillförlitlighet för karakteriseringen av materialet som en malm (primär resurs) i ett modernt gruvprojekt. Därtill behöver externa faktorer som tex. återvinningsgrad, potentiella kostnader marknadspris och efterfrågan värderas för att kunna bedöma värdet av en fyndighet samt utvärdera behov av att inhämta ytterligare, mer djupgående information om densamma.

Bland flera kritiska metaller som påvisats i intressanta halter i vissa av de provtagna varphögarna är inte minst antimon, kobolt, sällsynta jordartsmetaller, vismut, volfram, i något enstaka fall indium, samt det kritiska grundämnet fosfor (främst i apatitjärnmalmer) värda att lyfta fram (tabell 2; bilaga 1b). Av järn, bas- och ädelmetaller har förhöjda till höga halter av järn, koppar, bly, zink liksom silver och guld påvisats i många av de provtagna förekomsterna (tabell 2; bilaga 1b).

Tabell 2. Potentiella kvarvarande mängder av kritiska metaller samt järn, bas- och ädelmetaller i varphögar och gråberg som undersökts inom detta uppdrag. Alla mängder är angivna i ton. För ytterligare detaljer, se bilagor 1a och 1b.

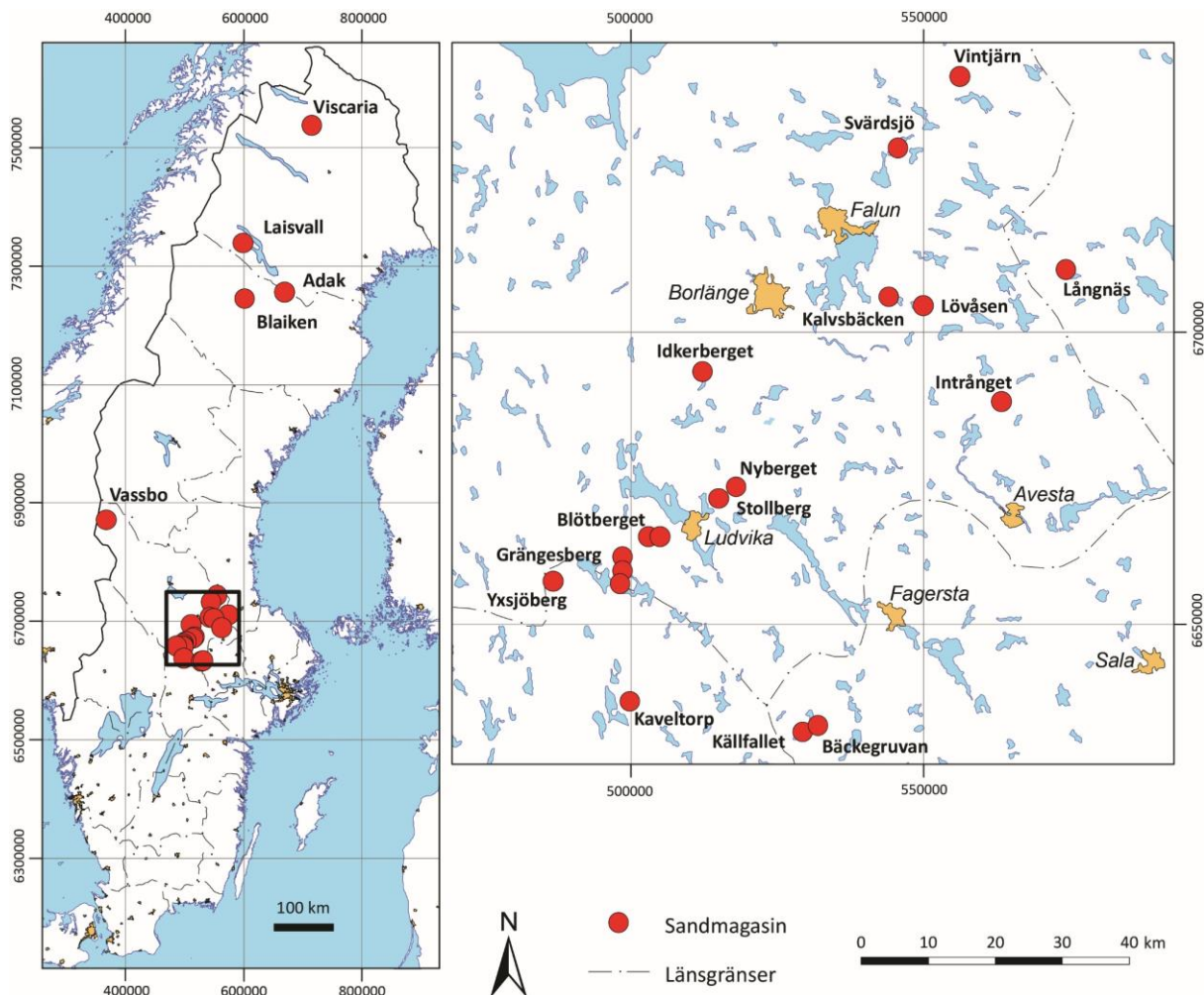
Gruva	Varp	Be	Bi	Co	Ga	Ge	Hf	In	Li	Nb	P	PGM	REE+Y	Sb	Sc	Sr	Ta	Ti	V	W	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
Baggetorp	270 000	0,1	13	2,2	4,3	0,1	1,3	<0,1	3,6	2,8	57	0,002	43	<0,1	2	29	0,3	480	12	92	6 600	3	39	2	13	0,09	0,001
Basttjärn	2 570 000	2,3	8,1	20	38	0,7	10	0,5	25	17	322	<0,015	290	1	5	47	1	1 200	24	25	350 000	8	420	300	540	1,13	0,010
Bjurfors	30 900	<0,1	0,3	1,9	0,7	<0,1	0,2	0,1	0,4	0,2	3,2	<0,001	5	0,1	0,2	1	<0,1	47	1	0,1	3 600	0,1	200	1	62	0,08	0,001
Blötberget	4 200 000	4,3	0,5	53	68	1,2	20	0,2	57	48	11 000	<0,025	2 500	3	22	260	7	3 400	1 100	50	660 000	90	24	28	120	0,04	0,008
Bäckegruvan	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grängesberg	6 000 000	10	0,9	110	120	2,0	27	0,2	170	64	24 000	<0,036	3 100	2	59	480	21	11 000	1 500	94	620 000	120	57	46	220	0,07	0,020
Gruvberget	122 000	0,1	0,8	3,1	1,5	<0,1	0,3	<0,1	2,4	0,7	47	<0,001	13	3	1	6	<0,1	240	8	0,5	8 600	2	260	1 200	2 900	3,29	0,017
Guttusjö	140 000	<0,1	<0,1	0,4	0,3	<0,1	4,2	<0,1	0,1	1,8	20	<0,001	20	0,2	0,4	5	0,1	750	4	0,1	1 200	0,3	2	1 600	20	0,28	<0,001
Hällefors silvergruvor	94 000	0,1	0,1	0,7	1,4	<0,1	0,3	0,3	0,6	0,8	18	<0,001	14	5	0,2	3	<0,1	14	3	0,2	9 700	1	11	910	1 300	2,97	0,005
Idkerberget	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kalvsbäcken	140 000	0,1	0,4	1,1	2,1	<0,1	0,5	0,2	1,1	1,0	17	<0,001	24	4	1	3	0,1	120	3	1	13 000	1	200	1 800	5 200	7,21	0,007
Kaveltorp	233 000	0,6	31	1,2	4,6	0,1	0,8	0,1	6,0	2,9	25	<0,001	52	1	1	3	0,5	73	2	6	15 000	1	630	3 600	5 200	3,63	0,036
Kittelgruvan	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Källfallsgruvan	1 070 000	7,7	5,8	16	35	0,6	4,5	0,2	12	12	52	0,006	1 300	0,1	3	7	1	520	6	37	140 000	8	220	3	9	0,05	0,012
Ljusnarsberg	122 000	0,3	7,4	1,6	1,7	0,1	0,5	0,1	4,7	1,2	13	<0,001	22	<0,1	0,4	1	0,2	38	1	5	23 000	0,3	310	190	290	0,39	0,005
Lainejaur	61 000	<0,1	<0,1	19	0,9	<0,1	0,1	<0,1	1,0	<0,1	33	0,001	5	1	1	12	<0,1	210	5	<0,1	5 600	180	170	2	11	0,11	0,010
Laver	133 000	<0,1	0,2	1,2	2,6	0,1	0,5	0,1	2,2	0,9	24	<0,001	19	0,1	1	25	0,1	130	3	0,3	4 200	2	590	18	94	1,72	0,006
Lövåsen	55 000	<0,1	5,6	1,7	0,5	<0,1	0,1	<0,1	0,1	0,2	12	<0,001	4	0,5	1	4	<0,1	64	3	0,3	11 000	1	23	340	400	0,48	0,002
Malmkärra	83 000	1,7	0,6	0,6	8,6	0,2	0,2	<0,1	0,8	0,5	8,0	<0,001	460	<0,1	0,3	1	<0,1	26	0,5	17	19 000	2	13	2	4	<0,01	<0,001
Mossgruvan	1 310 000	1,3	1,1	13	24	0,2	5,5	0,2	23	22	430	<0,008	260	0,1	6	71	3	1 100	77	12	85 000	11	37	21	70	0,04	0,003
Nya Bastnäs	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nävergruvan	644 000	29	76	14	13	0,4	2,7	0,5	5,6	6,5	230	0,004	140	0,1	6	30	0,4	910	64	450	45 000	16	170	2	63	0,05	0,025
Persgruvan	560 000	3,0	10	16	13	0,3	3,1	0,3	4,3	8,7	41	0,003	490	<0,1	2	2	1	330	5	12	68 000	4	420	2	6	0,04	0,017
Pahtohavare	1 700 000	1,0	<0,1	179	22	0,4	0,4	0,2	42	0,2	1 100	0,016	230	0,2	36	30	<0,2	4 400	410	<2	170 000	200	8 800	20	54	1,36	0,330
Skytt-Näverberg	171 000	0,1	0,9	6,6	2,5	0,1	0,3	0,1	0,6	0,8	82	<0,001	22	20	1	4	<0,1	170	4	1	13 000	2	820	5 700	15 000	23,9	0,091
Ställberget	5 500 000	11	22	53	72	0,9	18	2,3	29	38	960	<0,033	700	1	17	190	2	3 700	120	17	670 000	45	720	29	250	0,24	0,034
Svärdsjö	210 000	0,1	8,4	3,0	2,4	<0,1	0,3	0,1	0,6	0,8	18	<0,001	16	0,5	1	5	0,1	190	6	0,4	17 000	4	1 500	850	3 800	4,18	0,075
Tomtebo	76 000	<0,1	2,5	5,1	1,0	<0,1	0,1	0,1	0,7	0,3	4,6	<0,001	6	0,2	0,1	1	<0,1	42	4	0,2	9 200	0,1	290	120	110	1,22	0,038
Tunaberg	4 500	<0,1	0,1	0,2	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	<0,1	3,1	<0,001	1	0,0	0,0	0,2	<0,1	5	0,1	<0,1	380	0,1	4	3	29	0,02	<0,001
Vena	13 800	<0,1	1,8	2,1	0,3	<0,1	0,1	<0,1	0,3	0,1	7,5	<0,001	3	0,5	0,2	1	<0,1	35	1	<0,1	600	0,3	40	2	23	0,04	<0,001
Viscaria	4 500 000	1,1	2,4	318	82		10	0,8	180	0,6	2 800	0,038	480	1	150	3	1	10 500	1 300	<5	440 000	500	8 000	470	4 600	3,99	<0,005
Wigström	210 000	6,1	6,2	1,1	5,4	0,2	1,1	0,1	6,3	3,7	29	<0,001	43	0,1	1	5	0,4	170	5	110	12 000	1	3	4	41	0,01	0,002
Åsgruvan	570 000	1,1	0,4	4,8	9,2	0,4	1,5	0,3	1,8	3,8	78	0,003	260	1	3	22	0,3	420	12	26	110 000	4	79	1	21	0,02	0,001
Östanmossa	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totalt	30 800 000	82	210	850	530	8,1	110	7,1	580	240	42 000	0,1	10 000	46	330	1 300	39	40 000	4 600	950	3 500 000	1 200	24 000	17 000	41 000	57	0,8

Höga halter av sällsynta jordartsmetaller har påvisats i varphögarna från ett flertal gruvor och gruvfält, främst i Bergslagen. Detta gäller framför allt skarnjärnmalmsgruvor i den s.k. REE-linjen (Jonsson 2020, och referenser däri), men också de större apatitjärnmalmsgruvorna i Blötberget och Grängesberg (Dalarna; fig. 3). De sistnämnda två innehåller mycket förhöjda halter och sannolikt signifikanta tonnage sällsynta jordartsmetaller tillsammans med fosfor i både varphögar och sandmagasin (se nedan), medan REE-linjens dominerande varphögar (Östanmossa, Åsgruvan, Malmkärra, Persgruvan, Nya Bastnäs, Kittelgruvan; fig. 3) oftast är mera begränsade, men inte sällan betydligt rikare på just de sällsynta jordartsmetallerna. Varphögarna i Nya Bastnäs gav, som exempel, ett medelvärde på 0,81 procent sällsynta jordartsmetaller och många av dessa mineraliseringar uppvisar karakteristiskt också förhöjningar av exempelvis kobolt, molybden och vismut samt lokalt guld och silver, utöver järn och koppar. Undantag finnes dock i fallen med Bäckegruvan och Källfallet (fig. 3), vilka omfattar både lite större varpvolymer samt sandmagasin (se avsnitt 3.5 nedan) med relevanta halter av flertalet av dem, inklusive sällsynta jordartsmetaller. I sammanhanget bör det påpekas att både i fallet med apatitjärnmalmer och den aktuella typen av skarnjärnmalmer utgörs de rapporterade totala halterna sällsynta jordartsmetaller av en mycket stor andel av de lättaste, framför allt cerium och lantan, vilka idag generellt är de minst efterfrågade av dem. Det är alltså endast en viss andel av de totala jordartsmetallhalterna som utgörs av sådana med direkt användning i exempelvis ”gröna” energiteknologier, som neodym, praseodym och dysprosium. Hur stor respektive andel är varierar i sin tur mellan olika geologiska miljöer och malmtyper (se även bilagor 1a & 1b; Jonsson m. fl. 2019). I fallet med observerade förhöjda galliumhalter i sällsynta jordartsmetallrika skarnjärnmalmer i denna och andra studier så bör det framhållas att detta bör undersökas närmare, då det möjligen kan röra sig om artefakter med grund i den nyttjade analysmetodik.

Sammanfattningsvis för varp och gråberg kan konstateras att intressanta halter av metaller och andra grundämnen påträffats vid flera provtagningslokaler. Dock rör det sig i de allra flesta fall om relativt små mängder, vilket torde begränsa det ekonomiska intresset i utvinning såvida den inte kan kombineras med fler avfallsupplag eller -typer alternativt primär gruvbrytning (se avsnitt 3.9 för ytterligare diskussion).

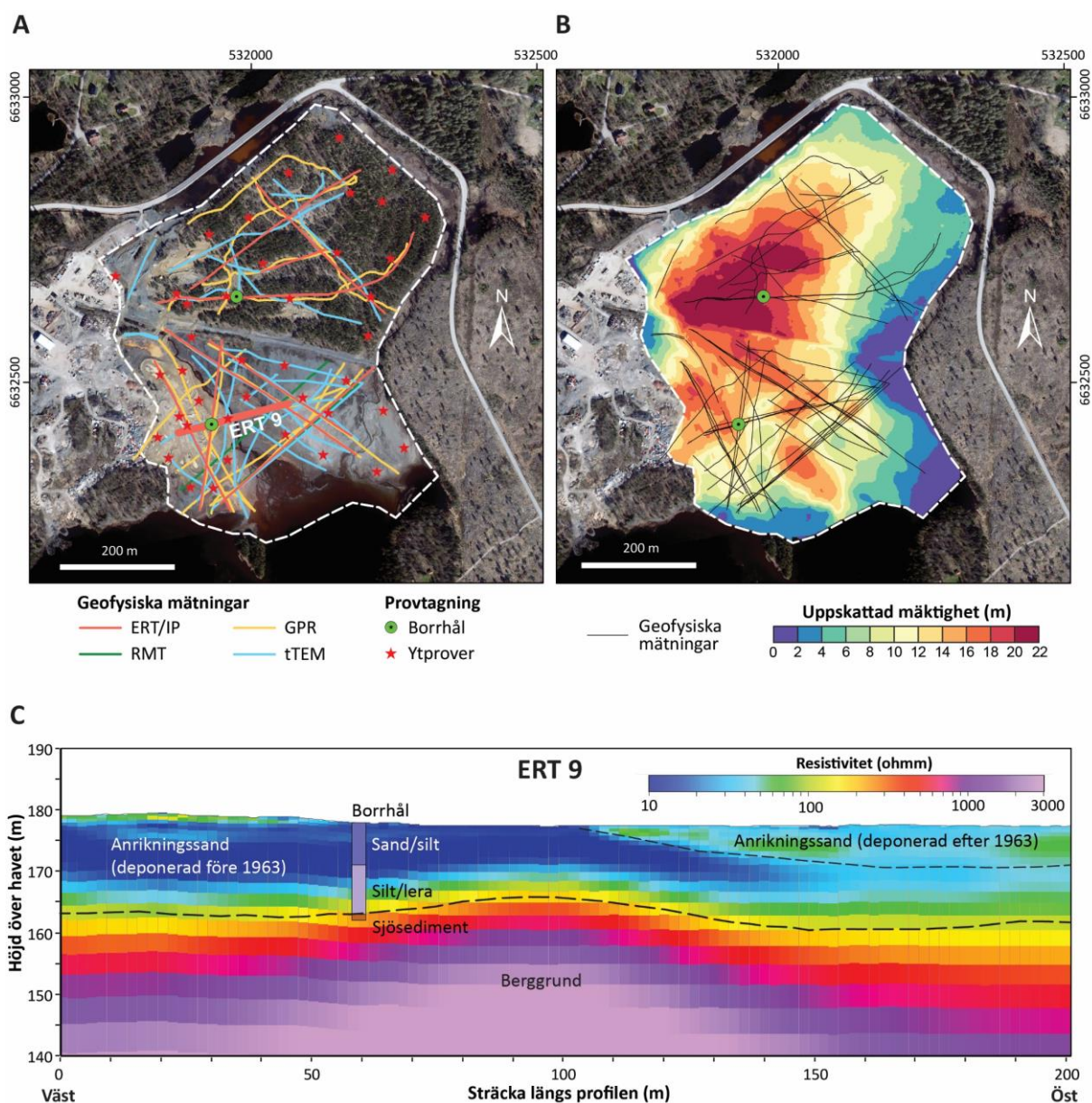
3.5 Resultat från provtagning och analys av sandmagasin

Sandmagasin lokaliserade i anslutning till ett antal äldre gruvområden med anrikningsverk i norra och mellersta Sverige har provtagits för analys av deras metallinnehåll (fig. 5). Liksom i fallet med varphögarna (avsnitt 3.4) har det största antalet provtagits i Bergslagen. Totalt uppskattas mängden anrikningssand i de magasin som undersökts i denna studie till drygt 121 miljoner ton (data främst från SGU:s databaser; tabell 3, bilaga 1a & 1c). I analogi med varphögar så varierar potentialen för relevanta halter av olika metaller och mineral i anrikningssand beroende på ett antal geologiska och tekniska parametrar.



Figur 5. Provtagna sandmagasin inom detta uppdrag är markerade med rödfyllda cirklar. Svart ruta över del av Bergslagen i Sverigekartan (till vänster) motsvarar den mera detaljerade kartan till höger. Koordinatreferenser i Sweref 99 tm.

De specifika anrikningsmetoderna liksom vilka malmer som bearbetats för att i slutändan generera avfallssanden kan också variera över tid för ett anrikningsverk, vilket påverkar sandens potentiella mineralinnehåll med djupet i magasinet. Sådana variationer har kunnat beläggas genom geofysiska mätningar på aktuella sandmagasin, vilka genomförts för att karakterisera både deras totala volym och sådan eventuell stratifiering på grund av ändringar i det deponerade materialet över tid (fig. 6). Sandmagasinen provtogs medelst handgrävning, handborrning samt kärnprovtagning med borrhandsvagn (fig. 7). Geofysiska mätningar har utförts på sandmagasinen vid Bäckegruvan, Källfallet, Yxsjöberg (Morkultjärnen), Grängesberg (Hötjärnen, Jan-Matsdammen och Svandammen), Blötberget (Norberget) och Stollberg (bilaga 1a). Borrning med borrhandsvagn gjordes, utöver de som nämnts för geofysiska mätningar, även på sandmagasinet i Kaveltorp; därtill erhöles prov externt från sandmagasinet i Viscaria.



Figur 6A. Ortofoto över Bäckegrubans sandmagasin med geofysiska mätprofiler samt positioner för borrhål och ytprovtagning markerade. Ortofoton har hämtats från lantmäteriets tjänst Ortofoto, koordinater enligt SWEREF 99 TM. **B.** Modell över anrikningssandens mäktighet, beräknad och tolkad från geofysiska mätningar. **C.** Geofysisk tvärprofil över del av Bäckegrubans sandmagasin (ERT 9, se **A**), vilken visar variationen i resistivitet i marken (hög resistivitet innebär dålig elektrisk ledningsförmåga, och låg resistivitet hög elektrisk ledningsförmåga). Metoden visar både sandmagasinets totala mäktighet och variationer inom själva anrikningssanden. En tydlig gräns ses i sandmagasinets botten, mellan deponerad anrikningssand och underliggande sjösediment (ovanpå fast berg). I profilens östra del finns ytterligare en tydlig gräns, vilken tolkas som gränsen mellan anrikningssand deponerad innan 1963 (underliggande) och efter 1963 (överliggande), då en ny, mer effektiv, process implementerades i anrikningsverket. De olika nivåerna som indikeras från geofysiska mätningar har även korrelerats med borrhål samt däri tagna och analyserade prover.



Figur 7. Förberedelser inför provtagning med borrhandsvagn på det delvis skogbevuxna sandmagasinet Jan-Matsdammen i Grängesberg (Dalarna). Foto: Patrick Casey.

I ett flertal fall har avsevärt förhöjda halter av kritiska metaller och mineral, såväl som på andra sätt relevanta metaller som järn och basmetaller, kunnat påvisas analytiskt i de provtagna sandmagasinen (tabell 3). Sandmagasinens tonnage har antingen baserats på befintliga/historiska uppgifter eller uppskattats på basis av geofysiska mätningar som beskrivits ovan tillsammans med bestämning av materialets skrymdensitet. Liksom i fallet med varphögarna bör det i sammanhanget tydligt framhållas att de uppskattade mängderna kvarvarande metaller (tabell 3) endast skall ses som indikativa och på intet vis som några faktiska resursberäkningar. Sådana kräver en mycket tätare provtagning och analys och en kontrollerad rumslig spridning som inbegriper de kompletta sandvolymerna. Därutöver har inga bestämningar gjorts av hur aktuella metaller uppträder, alltså i vilka värddmineral, eller huruvida de är möjliga att utvinna ur tekniska eller ekonomiska perspektiv.

De sandmagasin som är kopplade till anrikning av sulfidmalmer eller vissa sulfidförande oxidmalmer innehåller oftast förhöjda halter av järn och de aktuella basmetallerna samt inte sällan någon ädelmetall, vanligen silver men i flera fall också guld (tabell 3). Innehållet av kritiska metaller är mycket varierande, men liksom varphögarna handlar det utöver titan, vanadin och volfram främst om s.k. biproduktmetaller som antimon, kobolt och vismut, medan det i något fall också handlar om signifikanta halter av det kritiska mineralet flusspat (tabell 3). Anrikning av två specifika järnmalmstyper har företrädesvis givit upphov till sandmagasin med relativt höga halter av sällsynta jordartsmetaller, som i Grängesberg, Blötberget och Riddarhyttan. Andra, som sandmagasinet i Vintjärn (Dalarna), uppvisar utöver små mängder av exempelvis hafnium, kobolt och skandium i princip endast en måttlig förhöjning på järn.

Tabell 3. Potentiella kvarvarande mängder av kritiska metaller samt bas- och ädelmetaller i sandmagasin som undersökts inom detta uppdrag. Alla mängder är angivna i ton. För ytterligare detaljer, se bilagor 1a och 1c.

Provtagningsobjekt	Sand	Be	Bi	Co	Ga	Ge	Hf	In	Li	Nb	P	PGM	REE+Y	Sb	Sc	Sr	Ta	Ti	V	W	Fe	Ni	Cu	Pb	Zn	Ag	Au
Adak	5 400 000	1,0	41	850	87	1,1	1,4	3,8	55	1,7	3 100	<0,032	550	100	97	420	2,2	18 000	400	70	540 000	70	10 000	290	2 500	7,99	0,999
Blaiksjön	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Blötberget Glaningen	300 000	0,9	0,2	6,0	4,5	0,2	1,4	0,0	8,4	3	3 000	<0,002	370	0,1	2,8	10	0,3	330	88	5,6	40 000	12	1,6	2,8	17	0,01	0,005
Blötberget Norberget	4 400 000	7,8	1,4	43	67	1,9	18	0,3	66	49	28 000	<0,026	5 200	3,0	36	280	6,9	3 000	940	58	470 000	104	37	34	190	0,34	0,108
Bäckgruvan	5 300 000	18	290	1 700	68	11	20	17	120	54	610	0,032	5 700	5,0	21	180	4,0	2 900	30	280	670 000	24	6 300	24	180	2,36	0,372
Grängesberg HT*	8 400 000	56	3,1	170	200	9,4	20	1,9	820	130	81 000	<0,050	16 000	13	110	290	27	11 000	4 600	160	1 900 000	320	45	54	1 200	0,11	0,012
Grängesberg JMD*	2 550 000	12	1,4	37	50	2,2	7,8	0,2	290	55	58 000	<0,015	4 700	2,2	30	140	11	2 500	940	68	380 000	62	20	20	170	0,03	0,003
Grängesberg SD*	3 120 000	4,2	0,8	40	50	1,2	12	0,2	160	71	29 000	<0,019	2 800	1,8	48	230	11	4 000	410	29	230 000	67	14	28	140	0,07	0,018
Idkerberget	50 200	<0,1	<0,1	1,6	1,2	0,0	0,2	0,0	1,1	0,6	720	<0,001	57	<0,1	0,8	8,0	<0,1	240	17	0,2	6 400	1,9	1,3	0,7	3,7	0,00	<0,001
Intrånget	2 650 000	5,8	130	100	32	3,9	6,0	5,1	21	12	1 000	<0,016	540	0,6	28	220	0,4	3 900	150	180	300 000	54	4 000	540	2 600	4,12	0,342
Kalvsbäcken	280 000	0,1	0,3	1,7	2,7	0,1	0,6	0,0	2,3	1,4	22	<0,002	30	9,5	1,3	8,3	0,1	200	7,5	7,5	28 000	2,1	190	1 400	2 100	12,2	0,017
Kaveltorp	500 000	1,5	11	1,7	6,0	0,3	0,8	0,1	5,7	2,6	47	<0,003	53	2,1	0,9	9,3	0,3	100	5,0	29	25 000	1,7	610	3 800	4 600	3,16	0,036
Källfallet	940 000	7,2	20	22	30	1,2	4,5	0,4	10	11	110	<0,006	2 500	0,1	3,1	8,7	0,7	470	5,0	78	125 000	11	290	4,4	10	0,06	0,026
Laisvall	60 000 000	14	1,9	64	68	3,2	27	5,5	260	11	7 900	<0,360	3 600	75	52	4 700	<0,6	5 300	300	14	410 000	240	360	230 000	62 000	<0,60	<0,060
Långnäs	800 000	0,3	25	21	6,0	0,8	0,9	1,6	2,1	2,2	120	<0,005	81	0,9	3,3	42	0,1	580	19	35	120 000	4,9	200	160	440	1,74	0,101
Lövås	285 000	0,1	0,8	12	2,7	0,1	0,5	0,1	0,8	0,9	79	<0,002	28	10	2,1	17	<0,1	310	14	2,0	37 000	2,4	88	1 400	2 300	2,99	0,010
Nyberget	1 400 000	0,8	19	17	12	0,9	1,4	1,8	2,1	3,5	190	<0,008	350	0,3	3,3	40	0,1	520	16	25	140 000	4,4	140	18	140	0,05	0,006
Stollberg	2 800 000	5,0	7,1	10	53	0,9	6,2	2,3	15	15	610	<0,017	520	40	7,6	73	1,6	1 100	37	62	300 000	13	440	8 600	13 600	24,8	0,054
Svärdsjö	okänt	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vassbogruvan	4 430 000	0,3	0,1	10	6,1	<0,2	35	0,2	2,9	12	850	<0,027	240	5,4	5,1	690	1,3	5 400	35	5,3	26 000	8,1	63	14 000	2 000	6,58	0,005
Vintjärn	3 250 000	2,6	8,3	36	30	0,4	19	5,3	35	32	1 700	<0,020	770	<0,2	21	80	2,0	4 400	41	12	320 000	51	320	50	810	0,15	0,062
Viscaria	12 000 000	5,9	62	1 700	120	3,5	6,7	7,9	320	1,0	18 000	<0,072	4 300	6,9	110	590	0,1	24 000	1 900	8,0	1 200 000	1 500	36 000	1 700	33 000	11,4	0,611
Yxsjöberg MT*	2 200 000	290	1 000	55	50	6,4	4,9	8,1	13	13	400	<0,013	360	0,9	13	75	0,7	1 600	82	2 000	290 000	23	1 029	11	610	0,61	0,289
Totalt	121 100 000	430	1 700	4 900	940	48	190	62	2 200	480	240 000	0,032	49 000	280	600	8 100	70	90 000	10 000	3 100	7 600 000	2 600	60 000	260 000	130 000	79	3,1

*HT = Hötjärnen, JMD = Jan-Matsdammen, SD = Svandammen, MT = Morkultjärnen.

Till de mera omfattande och relevanta sandmagasinen hör alltså de som utgör avfall från tidigare bearbetning av apatitjärnmalmerna i Blötberget och Grängesberg (Dalarna; fig. 5), vilka utöver relativt stora mängder järn och en del vanadin och titan framför allt håller signifikanta mängder av sällsynta jordartsmetaller och fosfor. Som exempel så beräknas ett av (flera) sandmagasin vid Grängesbergssfältet, Hötjärnen, potentiellt kunna innehålla - givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandvolymen – cirka 1 900 000 ton järn, 81 000 ton fosfor, 16 000 ton sällsynta jordartsmetaller och 4 600 ton vanadin (tabell 3, bilaga 1a & 1c).

I fallet med sandmagasinet vid Bäckegruvan nära Riddarhyttan (Västmanland; fig. 5) så innehåller det utöver järn och koppar en större mängd av de sällsynta jordartsmetallerna, tillsammans med bland annat en del kobolt; givet att volyms- och tonnageberäkningar, provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller sanden vid Bäckegruvan potentiellt cirka 660 000 ton järn, 1 700 ton kobolt, 6 300 ton koppar, 35 000 ton barium och 5 700 ton sällsynta jordartsmetaller. Det närliggande sandmagasinet vid Källfallet innehåller med samma antaganden potentiellt cirka 130 000 ton järn, 320 ton molybden, 290 ton koppar och 2 500 ton sällsynta jordartsmetaller. (tabell 3, bilaga 1a & 1c). I sammanhanget är det också viktigt att påpeka att både i fallet med apatitjärnmalm och aktuella skarnjärnmalm utgörs de rapporterade totala halterna sällsynta jordartsmetaller av en mycket stor andel av de lättaste (jämför fallet varphögar, ovan), framför allt cerium och lantan, vilka idag generellt är de minst efterfrågade av dem.

Ett annat relevant exempel är Yxsjöbergs volfram-kopparmineralisering där, förutom varp, även sandmagasinet vid Morkultjärnen provtagits och analyserats. Baserat på geofysiska mätningar som gav volyms- och tonnagebestämning och under antagande att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 300 000 ton järn, 37 000 ton flusspat, 2 000 ton volfram, 1 000 ton koppar, 1 100 ton vismut, 8 ton indium och 290 ton beryllium.

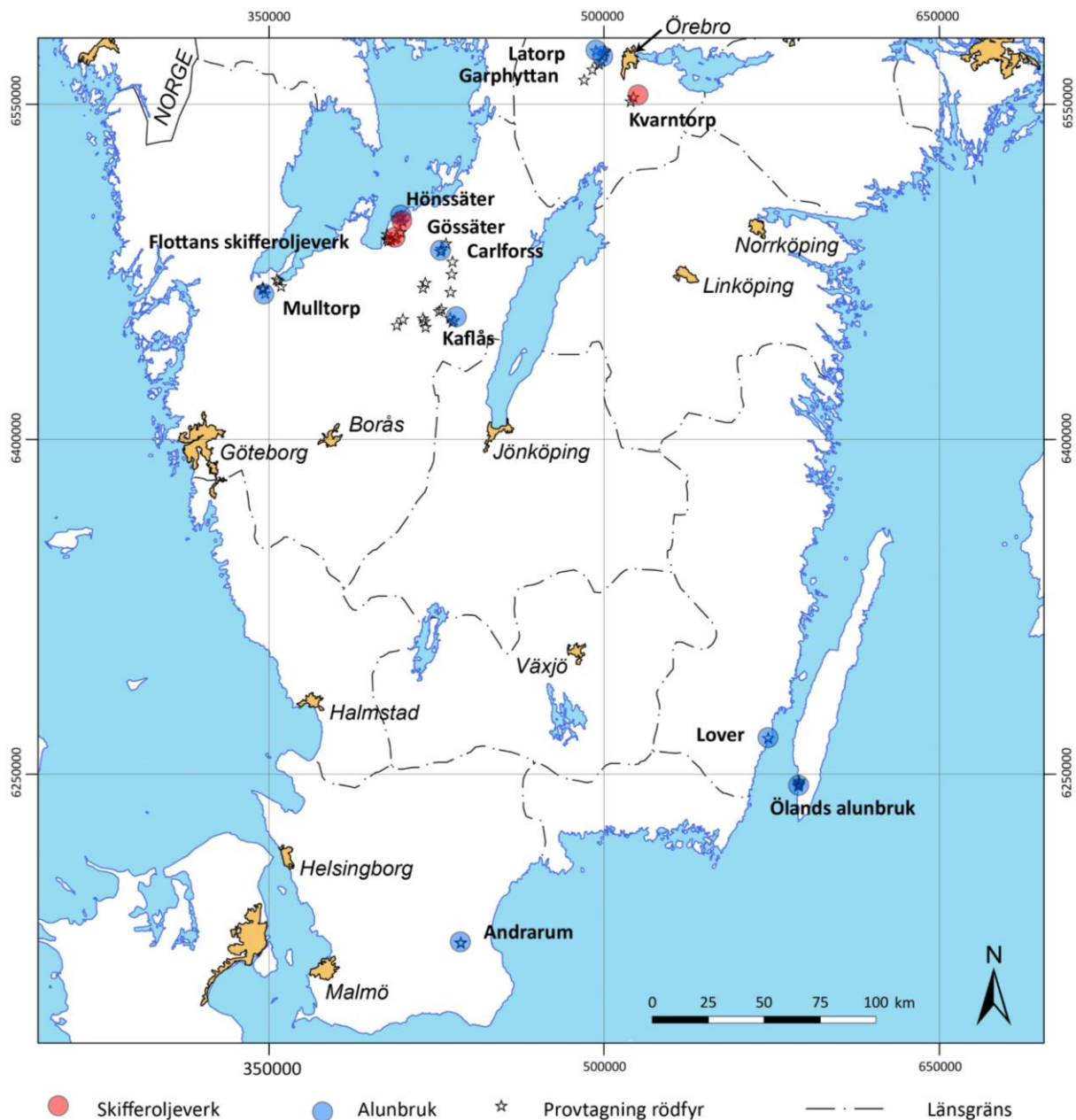
Vad gäller totala indikerade tonnage av olika metaller i både varphögar och sandmagasin så kan de sättas i perspektiv och jämföras med produktionen från dagens gruvor. Exempelvis genererade LKAB:s järnmalmgruvor under ett år, 2021, totalt 27 miljoner ton höggradiga järnmalm-produkter, medan en enda sulfidmalmsgruva som Bolidens i Garpenberg under samma tid genererade dryga 3 miljoner ton malm med 1,5% bly, 3,8% zink, 0,1% koppar, 118 ppm silver och 0,3 ppm guld (SGU 2021), vilket motsvarar omkring 45 000 ton bly och 114 000 ton zink.

Sammanfattningsvis kan konstateras att flertalet av de undersökta sandmagasinen uppvisat intressanta halter av ett antal metaller och mineral. Liksom för varphögarna (se avsnitt 3.4) är dock mängderna i de flesta fall relativt små, vilket även här bör påverka den ekonomiska potentialen om utvinning kan samordnas med annan primär eller sekundär källa. Som särskilt intressanta kan nämnas sandmagasin från tidigare brytning av apatitjärnmalm med förhöjda halter av sällsynta jordartsmetaller och fosfor (som t.ex. de här undersökta f.d. gruvorna i Blötberget och Grängesberg som refererats till ovan); man har genom åren gjort försök på flera håll i Sverige att utvinna dem parallellt med järnmalmen och nu gör man det igen i och med LKAB:s projekt ”ReeMAP” i Norrbotten. Tekniska förutsättningar och infrastruktur för utvinning av fosfor och sällsynta jordartsmetaller ur gruvavfall likt det som deponerats i Grängesberg och Blötberget kan sålunda finnas på plats i Sverige inom några år.

3.6 Resultat från provtagning och analys av rödfyr

Rödfyr är en restprodukt från förbränningen av alunskiffer, en för Sverige geologiskt ung bergart som endast finns bevarad i ett begränsat antal områden i landet, främst i södra Sverige och längs fjällkedjans östra kant. Sedan många århundraden har alunskiffern i södra Sverige använts för att

bränna kalk, framställa alun (kalium-aluminiumsulfat) och under 1900-talet också olja och uran (vid Ranstad; fig. 8). Inte minst i Västergötland finns rödfyr på flera platser i varierande mängd. Rödfyrshögar uppträder spridda, men typiskt i anslutning till alunskifferbrott och associerade bruksmiljöer (fig. 9). Sedan tidigare är det känt att vissa av de svenska alunskifferarna har förhöjda halter av vissa metaller, varför det antogs att också en avfallsprodukt som rödfyr i tillämpliga fall kunde ha ärvt dessa, eller att de kanske till och med kunnat anrikas.



Figur 8. Provtagna rödfyrsförekomster inom detta uppdrag är markerade med ofyllda stjärnor. Associerade alunbruk och skifferoljeverk är också utsatta. Koordinatreferenser i Sweref 99 tm.



Figur 9. Exempel på rödfyrshög vid Falköping. Foto: Anna Ladenberger.

Rödfyr provtogs och analyserades i fyra geografiska områden i Västergötland: kring Hunneberg, Kinnekulle, Billingen och Falköping (fig. 8). Analyserade prov från dessa områden uppvisar en förhållandevis homogen sammansättning och slås här samman till ett enda medelvärde för respektive relevant metall. Analyserna visar förhöjda medelhalter av vanadin (813 ppm), molybden (189 ppm) och nickel (205 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (286 ppm), koppar (175 ppm), fosfor (1 123 ppm) och gallium (26 ppm). Dessa halter kan jämföras med de som rapporteras för varp och anrikningssand (bilaga 1a och 1d).

Analyserade rödfyrsprov från Kalmarområdet och Öland (fig. 8) uppvisar höga medelhalter av vanadin (641 ppm), molybden (189 ppm) och nickel (160 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (232 ppm), koppar (224 ppm) och gallium (30 ppm).

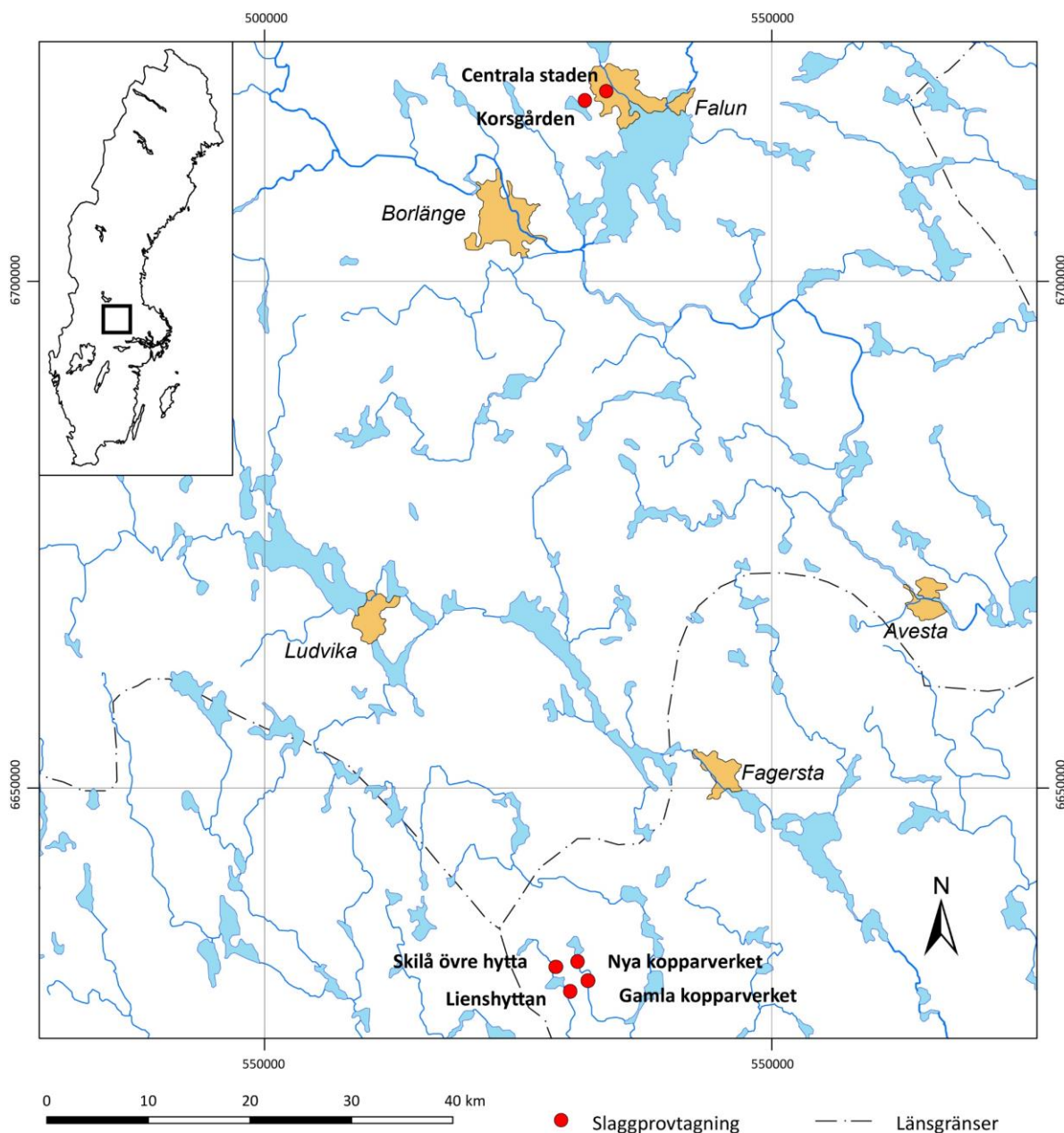
I Närke, väster och söder om Örebro finns ett stort område med rödfyrshögar (fig. 8). Av dessa var Latorp år 1859 Sveriges största alunbruk. Kvarntorp, söder om Örebro och öster om Kumla, är den största rödfyrshögen i Sverige och utgör avfall efter den skifferoljetillverkning som genomfördes här och som avslutades på 1960-talet. Provtagning och analyser visar höga medelhalter av vanadin (761 ppm), molybden (194 ppm), och nickel (186 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (269 ppm), koppar (199 ppm), fosfor (916 ppm) och gallium (32 ppm).

Den enda större förekomsten av rödfyr i Skåne ligger i Andrarum (fig. 8) som idag är industriminne och naturreservat. Alunskiffern som användes till alunframställningen bröts i ett fåtal dagbrott fram till början av 1900-talet. Provtagning och analyser uppvisar höga medelhalter av vanadin (1 355 ppm), molybden (130 ppm) och nickel (215 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (269 ppm), koppar (200 ppm) och gallium (31 ppm).

De sammanlagda resultaten visar på inte minst tämligen konsekvent förhöjda halter av den kritiska metallen vanadin, i Andrarum signifikant förhöjd med nära 1400 ppm, vilket var den högsta observerade medelhalten. Med undantag för Kvarntorpshögen i Närke så rör det sig om relativt begränsade volymer/tonnage, vilket tillsammans med frekvent lokalisering i kultur- och industrihistoriska miljöer liksom reservat torde minska deras relevans för eventuell metallutvinning.

3.7 Resultat från provtagning och analys av slagg

Slaggkomponenten inom detta uppdrag genomfördes som en jämförelsevis begränsad studie för att testa några utvalda områden med olika geologiska och geokemiska förutsättningar för bedömd kritisk metallpotential i materialet. Detta inte minst då denna typ av analyser i princip inte genomförts på slaggmaterial i någon skala i Sverige tidigare. Enstaka relativt nyligen gjorda försöksvisa analyser hade dock pekat på att exempelvis sällsynta jordartsmetaller (REE) mycket väl kunnat ansamlas i glasiga slaggsmältor om de processade malmerna hade förhöjda halter av dessa metaller (Jonsson 2020). På basis av kännedom om de REE-rika mineraliseringarna associerade med järnmalmer i Riddarhyttan (fig. 10) samt den i samma område kända kopplingen mellan



Figur 10. Provtagna slaggförekomster inom detta uppdrag är markerade med rödfyllda cirklar. Svart ruta i översiktlig kartbild över Sverige motsvarar utbredningen för den detaljerade kartan över provtagna slaggförekomster. Koordinatreferenser i SWEREF 99 TM.

kopparsulfidmineralisering, sällsynta jordartsmetaller och förekomst av kobolt (se t. ex. Tegen-
gren 1924; Jonsson m. fl. 2019, och referenser däri) valdes så Riddarhyttan ut som ett av
områdena för provtagning av slagg från både järn- och kopparframställning. I fallet med det
andra området, Falun (fig. 10), så bedömdes potential finnas för anrikning av andra metaller i
slaggena, kombinerat med en mycket lång historia av förhyttning av kopparrika sulfidmalmer i
området kring Falu gruva vilket följaktligen lett till mycket stora slaggvolymer (fig. 11).

I materialet från Riddarhytteområdet utmärktes analysresultaten från slaggprovtagningen som
väntat av två grupperingar; en med bas i förhyttning av kopparsulfidmalmer och en annan med
bas i förhyttning av järnoxidmalmer. De historiska kopparslaggena innehåller, förutom relativt
höga halter järn och koppar, också mycket höga halter av kobolt (medelhalter upp till nära
3 300 ppm) och sällsynta jordartsmetaller (medelhalter över 4 500 ppm), samt varierande
förhöjningar av vismut, indium, volfram, guld och silver. De historiska järnslaggena från
Lienshyttan och Skilå övre hytta innehåller, förutom förhöjda järnhalter, starkt förhöjda
koncentrationer av sällsynta jordartsmetaller, uppvisande medelhalter upp till 0,31 procent och
enskilda prov en magnitud högre. Dessa halter kan jämföras med, och överstiger i många fall, de
som rapporteras för varp och anrikningssand (bilaga 1a och 1e).



Figur 11. I och kring Falun finns idag mycket stora volymer av slagg kvar efter många århundraden av förhyttning av den
kopparmalm som framför allt bröts i Falu koppargruva. Här en vy över en ca 4–10 m hög slagggvarpplatå strax söder om
centrum, vy mot nordost (Lugnets hoppbacke kan ses i bakgrunden). Foto: Erik Jonsson.

De historiska kopparslaggerna från Falun innehåller förutom relativt höga halter av järn, koppar och zink också kobolt (medelhalter upp till 112 ppm), volfram (medelhalter upp till 155 ppm) och måttliga förhöjningar av sällsynta jordartsmetaller (medelhalter upp till 145 ppm) och vismut (medelhalter upp till 4,9 ppm), medan ädelmetallhalterna är relativt höga (medelhalter upp till 25 ppm silver och 0,7 ppm guld).

Sammanfattningsvis konstateras att kopparslaggernas delvis höga halter av inte minst kobolt kombinerat med varierande men ofta höga koppar- och guldhalter göra dem potentiellt intressanta. I fallet med vissa järnslaggar torde deras innehåll av sällsynta jordartsmetaller vara av största potentiell relevans, utan att lägga några konkreta teknisk-ekonomiska aspekter i endera bedömningen. Generellt kan konstateras att slaggar varit (är) dåligt kända vad gäller sitt metallinnehåll i Sverige, men att denna studie tydligt visar deras potential, inte minst vad gäller vissa kritiska och ädla metaller. I många fall är dock eventuell ekonomisk utvinning olönsams, inte minst beroende på relativt begränsade totala volymer (tonnage). En annan problematik rör deras frekventa klassning som fornminnen (se avsnitt 3.8).

3.8 Svårigheter och kvarstående frågeställningar

Över lag har förekomster av varp och sandmagasin med relevanta halter av en eller flera metaller störst rimlig möjlighet ur både ekonomiska och tekniska perspektiv att kunna nyttjas om de

- 1) omfattar stora tonnage/volymer
- 2) har relativt höga och framför allt jämna halter av aktuella, efterfrågade metaller
- 3) att dessa metaller sitter i ett eller få värddmineral av en typ som det finns etablerad teknologi för att anrika/utvinna dem ur
- 4) om detta kan genomföras i anslutning till pågående primär brytning och anrikning av samma typ av ursprungsmalm i närområdet, eller åtminstone parallellt med eventuella andra gruvavfallsförekomster (jfr avsnitt 6.5).

Inte minst den sistnämnda punkten bedöms spela en stor roll för att uppnå en ekonomisk hållbarhet i en sådan process. Därmed kan konstateras att de allra flesta inom detta uppdrag undersökta gruvavfallsförekomsterna, givet dagens tekniska och marknadsmässiga förutsättningar, är så små att de som enskilda prospekt troligen helt saknar ekonomisk relevans.

I de fall där återställning av gruvmiljöer genomförts fullskaligt, inklusive övertäckning av varp, gråberg och sandmagasin, har i flertalet fall materialet inte kunnat provtas inom ramen för det befintliga uppdraget. Som exempel på detta kan nämnas Adakfältets gruvor och sandmagasin (Västerbottens län) där åtkomst och provtagning endast kunde göras av mindre mängder material som vattentransporterats från sandmagasinet, varvid det också blandats med främmande material. Även andra former av efterbehandling har gjort varphögar otillgängliga för provtagning och i några fall också för i princip all framtida verksamhet. Ett exempel på detta är varparna vid Gladhammars gruvor i Småland, vilka genom sitt sedan tidigare kända innehåll av bland annat de kritiska metallerna kobolt och vismut, utöver exempelvis koppar och guld, varit mycket relevanta att provta inom ramarna för detta uppdrag. Nu är varpmaterialet till följd av efterbehandling nedlagt i en närbelägen sjö och är därför mycket svårt eller omöjligt att provta eller nyttja på något meningsfullt sätt. Återställning och efterbehandling är generellt att betrakta som försvårande omständigheter vid bedömning av ekonomiska förutsättningar för att ta till vara de metaller och mineral som finns i gruvavfall.

Det faktum att ett flertal slagghvarpar och några ordinära varphögar är klassade som fornminnen har inneburit att specifika tillstånd för provtagning har behövts för att genomföra projektet. Sådan klassificering innebär förstås också andra legala och praktiska hinder för eventuell framtida prospektering och nyttjande av deras metallinnehåll. Provtagningen och analyserna av pyrometallurgiska slagger inom detta projekt är att betrakta som en första pilotstudie avseende svenska slaggers metallpotential och fortsatta riktade undersökningar av dem torde vara rimliga.

Också i fallen med förekomster av rödfyr så utgör många av dem exempelvis industriminnen, reservats- eller friluftsområden med eller utan specifika klassningar, vilket i många fall förhindrar en enkel exploatering. Att områden med anrikningssand, som i fallet med Intrånget i Dalarna, ligger som vattenskyddsområde innebär i detta fall att provtagning med maskinborr inte genomfördes då en ansökningsprocess inte bedömdes rimlig att hinna med inom den befintliga tidsramen för uppdraget.

Gällande undersökning och provtagning av varphögar är det möjligt att geofysiska mätförfaranden skulle kunna förbättras för att bättre

1. ge underlag för bedömning av volym av varpmaterial
2. ge information om variationer i materialets egenskaper.

Någon för ändamålet specifik metodik finns dock inte i dagsläget, utan behöver i så fall utvecklas, något som inte rymts inom ramen för detta uppdrag. Förslag om detta läggs i avsnitt 8.2.6.

Slutligen kan konstateras att SGU efter genomförandet av detta uppdrag markant har förbättrat dataunderlaget gällande svenska historiska gruvavfalls kemiska sammansättning och andra karakteristika. I flera fall är nu kunskapsläget bättre för avfallen än för de primära malmer de en gång genererades ur. Med tanke på att primär brytning kan vara en förutsättning som möjliggör nyttjande av gruvavfall som resurs bör undersökning av deras källa, de primära mineraliseringarna med omgivande berggrund, prioriteras för framtida insatser. Detta gäller i synnerhet kritiska metaller och mineral, vilka i många fall aldrig har undersökts och det därmed helt saknas information om deras förekomst i berggrunden. Förslag om detta läggs i avsnitt 8.2.5.

4 AKTIVA GRUVORS AVFALL OCH AVFALLETS INNEHÅLL

4.1 Inledning

Enligt den första punkten i regeringsuppdraget ska SGU undersöka, provta och karakterisera befintliga gruvavfall som med utgångspunkt i redan känd information bedöms ha potential att kunna nyttjas som sekundära resurser för metaller och mineral. Informationen ska tillhandahållas för exempelvis forskningsändamål och näringslivsutveckling samt tillgängliggöras såväl digitalt som i fysiska provarkiv. Arbetet med att undersöka gruvavfallet delades upp i två avsnitt där avsnitt 3 beskriver SGU:s arbete med att undersöka gruvavfall vid nedlagda gruvor medan avsnitt 4 nedan beskriver Naturvårdsverkets arbete med att sammanställa befintliga uppgifter om innehållet i gruvavfall vid gruvverksamhet i drift. Undersökningarna redovisas i olika delar eftersom olika metoder har använts för att sammanställa innehållet i gruvavfallet. Undersökningen av gruvavfall vid gruvverksamhet i drift är avgränsat till 13 gruvverksamheter.

4.2 Information om innehållet i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift

Mängden gruvavfall vid aktiva gruvor är avsevärt mycket större än mängderna av gruvavfall inom så kallade historiska, nedlagda verksamheter. I ett underlag som SGU tog fram under det tidigare regeringsuppdraget *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall* finns information om mängderna gruvavfall inom aktiva respektive nedlagda gruvverksamheter (SGU & Naturvårdsverket, 2017).

Av de totala mängderna gruvavfall 2016, cirka 3 000 miljoner ton, fanns cirka 2 500 miljoner ton i avfallsanläggningar vid aktiva gruvverksamheter. Av den sammanlagda mängden gruvavfall 2016 fanns då cirka 85 procent i avfallsanläggningar vid verksamheter som var i drift. På grund av den stora mängden avfall är det därför väsentligt att uppskatta mängden av kritiska ämnen och andra ämnen i gruvavfallet vid gruvverksamheter i drift.

Naturvårdsverket har inom regeringsuppdraget sammanställt information om innehållet av ämnen som idag klassificeras som kritiska råvaror (enligt CRM, Europeiska kommissionen 2020a) och några andra metaller, i gruvavfall vid gruvverksamheter med avfallsanläggningar i drift, utifrån den information som finns i verksamhetsutövarnas avfallshanteringsplaner. Kompletterande uppgifter om aktuella mängder gruvavfall har hämtats från respektive verksamhets miljörapporter.

Varje verksamhetsutövare som driver en verksamhet som ger upphov till utvinningsavfall eller som driver en utvinningsavfallsanläggning ska ha en avfallshanteringsplan med information om karakteriseringen av utvinningsavfallen och totala mängden utvinningsavfall enligt 23 §, 24 § 4, 30–36 §§ förordningen (2013:319) om utvinningsavfall. Ett av syftena med avfallshanteringsplanen är att främja återvinningen av utvinningsavfall (Artikel 5.2 b Utvinningsavfallsdirektivet[2006/21/EG]). Utvinningsavfall är avfall som uppstår som en direkt följd av en täkt- eller gruvverksamhet och kallas ofta gruvavfall om det kommer från gruvverksamhet.

I *Vägledning för prövning av gruvverksamhet* som gemensamt har tagits fram av SGU, Naturvårdsverket och Länsstyrelsen i Västerbotten betonas just att utvinningsavfallsförordningen uttrycker en skyldighet att främja den återvinning som är lämplig från miljösynpunkt och att karakterisera utvinningsavfallet så att en sådan hantering kan främjas. Denna typ av information ska därför finnas i dokumentationen av karakteriseringen i avfallshanteringsplanen. Det kan exempelvis vara information om halter och förekomstformer av ämnen och mineral som kan vara intressanta för återvinning (SGU 2016).

I bestämmelserna om tillsyn av utvinningsavfallsanläggningar finns även en punkt som ska övervägas av tillsynsmyndigheten vid tillsynen av en avfallsanläggning i drift som omfattar uppföljning av det deponerade avfallets mängd och egenskaper i relation till tillståndet och prognoserna i avfallshanteringsplanen. Detta enligt 84 § utvinningsavfallsförordningen (EU-kommissionens genomförandebeslut (EU) 2020/248 av den 21 februari 2020 om fastställande av tekniska riktlinjer för inspektioner i enlighet med artikel 17 i Europaparlamentets och rådets direktiv 2006/21/EG bilagan del D.2)

4.3 Aktiva gruvors avfall – sammanställningens omfattning

4.3.1 Källor som har använts

Sammanställningen baseras på den information om halterna av metaller och andra ämnen samt mängderna gruvavfall som finns i avfallshanteringsplanerna vid gruvverksamheter i drift. Informationen kan finnas i såväl huvuddokumentet som i särskilda bilagor till avfallshanteringsplanen med information om materialkaraktiseringen eller efterbehandlingen av avfallsanläggningarna. I vissa fall har informationen hämtats från prøvotidsutredningar av efterbehandlingen. De använda dokumenten ingår i pågående eller avslutade tillståndsprövningar enligt miljöbalken. En sådan ansökan ska innehålla information om innehållet i avfallshanteringsplanen, vilket medför att planen oftast finns med som en bilaga i ansökan. Även om informationen från de senast uppdaterade avfallshanteringsplanerna har använts har informationen om materialkaraktiseringen i dem många gånger kommit från äldre material.

Kompletterande information om mängden utvinningsavfall har hämtats från respektive miljörapport i Svenska Miljörapporteringsportalen SMP, för att uppdatera mängderna till och med 2021, där det varit möjligt.

Sammanställningen omfattar information från gruvverksamheterna vid

- Kiirunavaara
- Svappavaara
- Malmberget/Vitåfors
- Aitikgruvan
- Kaunisvaara/Tapuligruvan
- Renströmsgruvan
- Kristinebergsgruvan
- Maurlidengruvan, västra och östra
- Svartlidengruvan
- Gruvverksamheten i Boliden
- Björkdalsgruvan
- Garpenbergsgruvan
- Zinkgruvan.

4.3.2 Gruvavfall som omfattas

Sammanställningen omfattar gruvavfall uppdelat utifrån vilken typ av utvinningsavfallsanläggning de deponeras i – avfallsmagasin eller avfallsupplag. Andra utvinningsavfall, såsom avrymningsmassor, har inte omfattats av sammanställningen.

I ett **avfallsmagasin**, ett så kallat sandmagasin, deponeras anrikningssand oftast tillsammans med processvattnet, där vattnet dräneras från avfallet för vidare hantering. Anrikningssand uppkommer vid anrikning av malm som är en bearbetning av utvunnet material för att skilja ut och koncentrera de eftersökta ämnena.

I ett **avfallsupplag** deponeras gråberg som är så kallat ofyndigt berg som behöver tas bort för att berget inte har de eftersökta mineralogiska egenskaperna. Ibland särhålls gråberg med olika egenskaper och deponeras i olika avfallsupplag. Den uppkomna mängden gråberg är oftast större vid dagbrott än vid underjordsgruva. Avfall från bearbetning av utvunnet material uppkommer även i kross-, sovrings- och sorteringsverk. Det benämns ofta sovringsberg och deponeras också i avfallsupplag, till skillnad från anrikningssanden. Begreppet avfallsupplag används därför för att inkludera dessa olika avfall i stället för det mer använda begreppet gråbergsupplag.

Ofta är materialkaraktiseringen utförd inför en ansökan om miljötillstånd och omfattar då information om det bergmaterial som bedöms bli gruvavfall. Är det en pågående gruvverksamhet kan karaktiseringen också avse gruvavfall i befintliga deponier. I något enstaka fall har det funnits uppföljande undersökningar i avfallshanteringsplanen av det gruvavfall som uppstår i verksamheten.

Antalet prov som ligger till grund för medelvärdena av uppmätta halter i gruvavfallet i denna sammanställning varierar kraftigt – från över hundra prover av gråberg vid en gruvverksamhet, där dessutom dubletter av proverna har analyserats, till verksamheter där det använda värdet baseras på en mätning i ett samlingsprov eller kanske analys av ett enstaka prov. De sammanställda resultaten får anses vara indikativa.

4.3.3 Vilka ämnen ingår i sammanställningen

Sammanställningen omfattar uppmätta halter av 21 ämnen på EU:s kritiska lista (Europeiska kommissionen 2020a) och dessutom metallerna koppar, mangan och nickel. De undersökta ämnena från EU:s kritiska lista är beryllium, vismut, cerium, kobolt, gallium, germanium, hafnium, indium, lantan, litium, magnesium, niob, fosfor, antimon, skandium, strontium, tantal, titan, vanadin, volfram och yttrium.

De metaller på EU:s kritiska lista som inte omfattas är dels 13 sällsynta jordartsmetaller, dels platinagruppens metaller. Endast i två fall har analyserna i avfallshanteringsplanerna omfattat fullständig analys av de sällsynta jordartsmetallerna. I de flesta fall har dock tre av dem analyserats: cerium och lantan, som ingår i de så kallat lätta sällsynta jordartsmetallerna (LREE), och yttrium, som ingår i de tunga sällsynta jordartsmetallerna (HREE). Även för platinametallerna har endast två analyserats i något fall. Dessutom omfattar inte sammanställningen ett antal andra ämnen/substanser på EU:s kritiska lista, såsom bauxit, borat, flusspat, fosforit, kiselmetall, kokskol, naturgummi och naturlig grafit.

4.3.4 Undersökningsmetoder

Bestämningen av halten av olika ämnen i prov från gruvavfallet görs i olika steg vid analyslaboratoriet. Innan själva analysen av halterna görs behöver det finmalda provet först lösas upp. Generellt har upplösningsmetoder med fyra syror, så kallad ”four acid digestion”, samt analys av 48 ämnen vid karaktiseringen av utvinningsavfallen använts. Denna metod anges inte säkerställa en fullständig upplösning för analys av sällsynta jordartsmetaller även om analysresultat anges. I vissa fall har upplösningen skett med litiumboratsmälta eller med kungsvatten före analys. Analysresultaten ligger, med få undantag, inom rapporteringsgränserna för analysmetoden.

4.3.5 Avfallsmängder

Avfallshanteringsplanen ska innehålla uppgifter om den totala mängden utvinningsavfall som kommer att uppstå. I många fall finns även uppgifter om hur mycket gråberg/sovringsberg respektive anrikningssand som har deponerats fram till en viss tidpunkt. Kompletterande information om mängderna till och med år 2021 har hämtats från respektive verksamhets miljörapport. I något fall har det dock inte gått att få fram de aktuella mängderna i utvinningsavfallsanläggningen och vid en anläggning har uppgifterna för gråberg/sovringsavfall från SGU (SGU & Naturvårdsverket, 2017) använts då uppgifter om totala mängder har saknats i avfallshanteringsplanen och miljörapporten. För gråberg inkluderas om möjligt den mängd som har återfyllts i dagbrott.

4.3.6 Avfallsströmmar

Vid några gruvverksamheter finns information om olika strömmar av gråberg eller anrikningssand med olika egenskaper. Medelhalter för dessa strömmar var för sig har då använts i sammanställningen. Vid en anläggning anrikas även slagg vid anrikningsverket, och i avfallshanteringsplanen redovisas såväl halter i den anrikningssand som uppkommer vid anrikning av slagg liksom halterna i anrikningssand från anrikning av malmerna i denna anläggning. Då dessa halter skiljer sig åt ingår medelhalterna för båda avfallsströmmarna var för sig i sammanställningen, trots att de deponeras i samma sandmagasin.

4.4 Sammanställning av uppgifterna om gruvavfallen

4.4.1 Halter av kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall

De sammanställda medelhalterna för sandmagasin eller strömmar till sandmagasin, samt avfallsupplag eller strömmar till avfallsupplag presenteras i tabell 4 som intervall för högsta och lägsta medelhalt.

De ämnen som har sammanställts är naturligt förekommande i berggrunden och de lösa jordlagren. Det går inte att göra någon bedömning av möjligheten att koncentrera och skilja ut kritiska ämnen och andra metaller från gruvavfallet endast utifrån de uppmätta halterna och ingen bedömning har gjorts av vid vilka halter som dessa ämnen skulle kunna utvinnas ur gruvavfallen. För det behövs bland annat även andra undersökningar, såsom hur ämnena förekommer i materialet. För att ge en indikation om ifall en halt är förhöjd görs jämförelse med uppskattade halter i jordskorpan (Smith & Huyck 1999).

Tabell 4. Intervall för sammanställda medelhalter (ppm) i sandmagasin, eller avfallsströmmar till sandmagasin, samt avfallsupplag, eller strömmar till avfallsupplag, avrundade till två värdesiffror, jämfört med halter i jordskorpan. Sällsynta jordartsmetaller och skandium anges kursivt då de kan vara ofullständigt upplösta och därmed underskattade.

		Intervall för sandmagasin (ppm)			Antal	Intervall för avfallsupplag (ppm)			Antal	Halter i jordskorpan ¹
Magnesium	Mg	4 900	–	110 000	14	7 400	–	70 000	16	21 000
Titan	Ti	700	–	7 500	13	820	–	4 300	16	5 000
Fosfor	P	170	–	16 000	13	120	–	>10 000	16	1 000
Strontium	Sr	29	–	1000	14	46	–	860	16	350
Vanadin	V	26	–	440	14	8,9	–	230	16	150
Litium	Li	4,6	–	38	9	4,9	–	48	12	30

Tabell 4. Fortsättning.

		Intervall för sandmagasin (ppm)			Antal	Intervall för avfallsupplag (ppm)			Antal	Halter i jordskorpan ¹
Kobolt	Co	13	–	420	14	4,2	–	47	16	25
Skandium	Sc	3,9	–	42	13	6,2	–	20	14	25
Niob	Nb	2,3	–	14	11	0,39	–	62	14	20
Gallium	Ga	8,1	–	35	8	6,7	–	22	12	17
Beryllium	Be	0,29	–	4,9	13	0,34	–	4,8	14	3
Tantal	Ta	0,18	–	28	8	0,0053	–	20	11	2
Germanium	Ge	0,17	–	3,2	8	0,092	–	0,38	12	1,5
Volfram	W	0,59	–	37	12	0,36	–	14	13	1
Vismut	Bi	0,017	–	29	11	0,01	–	3,6	12	0,2
Antimon	Sb	<0,8	–	660	11	0,09	–	73	14	0,2
Indium	In	0,093	–	19	8	0,023	–	0,37	11	0,1
Hafnium	Hf	1,5	–	4,1	8	0,23	–	6	11	-
Sällsynta jordartsmetaller (REE)										
Cerium	Ce	30	–	430	8	34	–	270	12	45
Lantan	La	12	–	230	12	16	–	130	14	35
Yttrium	Y	6,8	–	120	12	8,0	–	98	14	30
Summa analyserade REE		15	–	780		42	–	500		
Metaller utöver EU:s kritiska lista										
Mangan	Mn	470	–	7 000	13	250	–	6 800	16	900
Nickel	Ni	11	–	400	14	1,6	–	100	16	80
Koppar	Cu	25	–	5 600	14	3,9	–	620	16	68

¹Smith & Huyck (1999)

4.4.2 Mängder kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall

Den totala mängden gruvavfall vid gruvverksamheter i drift uppgick enligt sammanställningen till cirka 2 800 miljoner ton vid utgången av 2021, uppdelat på 1 250 miljoner ton anrikningssand och cirka 1 560 miljoner ton gråberg/sovringsavfall.

Mängderna kritiska ämnen och andra metaller i sandmagasin och avfallsupplag har uppskattats från de sammanställda medelhalterna och avfallsmängderna i respektive sandmagasin och avfallsupplag. När uppgifter finns om halter och mängder i separata avfallsströmmar till avfallsupplag har dessa använts för uppskattningen. De uppskattade totala mängderna kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift, såväl totalt som uppdelade i sandmagasin och avfallsupplag, ges i tabell 5. Ingen bedömning har gjorts av vilken andel av dessa mängder som skulle kunna utvinnas ur gruvavfallen.

Tabell 5. Uppskattade och summerade mängder kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift totalt samt uppdelat på sandmagasin och avfallsupplag, avrundade till två värdesiffror. Sällsynta jordartsmetaller och skandium anges kursivt då de kan vara ofullständigt upplösta och underskattade.

		Total mängd i sandmagasin (ton)	Antal sandmagasin	Total mängd i avfallsupplag (ton)	Antal avfallsupplag	Summerad mängd i gruvavfall (ton)
Magnesium	Mg	23 000 000	11	29 000 000	16	53 000 000
Titan	Ti	4 200 000	10	4 500 000	16	8 700 000
Fosfor	P	3 500 000	10	4 300 000	16	7 800 000
Strontium	Sr	450 000	11	220 000	16	670 000
Vanadin	V	170 000	11	200 000	16	380 000
Kobolt	Co	46 000	11	50 000	16	96 000
Litium	Li	32 000	7	45 000	12	78 000
Gallium	Ga	25 000	6	22 000	12	47 000
Skandium	Sc	18 000	10	19 000	14	37 000
Niob	Nb	9 600	7	8 000	14	18 000
Volfram	W	9 000	6	5 600	13	15 000
Hafnium	Hf	3 300	6	3 800	11	7 100
Beryllium	Be	2 600	10	3 300	14	5 900
Antimon	Sb	3 300	7	2 000	14	5 400
Vismut	Bi	1 200	8	770	12	2 000
Tantal	Ta	620	5	1 300	11	1 900
Germanium	Ge	290	6	360	12	640
Indium	In	130	6	120	11	260
Sällsynta jordartsmetaller (REE)						
Cerium	Ce	120 000	5	150 000	12	270 000
Lantan	La	64 000	9	84 000	14	150 000
Yttrium	Y	33 000	9	50 000	14	83 000
Metaller utöver EU:s kritiska lista						
Koppar	Cu	300 000	11	430 000	16	730 000
Mangan	Mn	2 300 000	10	990 000	16	3 300 000
Nickel	Ni	40 000	11	49 000	16	90 000

4.4.3 Ämnen som bedömts kritiska enligt EU utifrån utvinning eller bearbetnings- och raffineringsteget

De ämnen som finns på EU:s kritiska lista bedöms där som kritiska, antingen utifrån utvinning ur jordskorpan eller utifrån bearbetnings- och raffineringsteget, så kallad ”dubbel ingång”. För ett antal ämnen har båda dessa steg varit möjliga att bedöma och då har det steg som ansetts kritiskt angetts. För resterande ämnen på den kritiska listan har information för att bedöma om ämnet är kritiskt endast funnits för det ena steget. Ämnet har då bedömts som kritiskt av EU endast utifrån det steget, men det saknas då information om det även skulle bedömas kritiskt utifrån det ej bedömda steget.

Beryllium, kobolt och antimon är de ämnen som har bedömts som kritiska för utvinning ur jordskorpan, när EU:s kriterier kritiska listan för både utvinning och raffinering har bedömts. De uppskattade totala mängderna i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 5 900 ton beryllium, 96 000 ton kobolt och 5 400 ton antimon. Strontium och tantal är de ämnen som har bedömts som kritiska för utvinning ur jordskorpan, när endast det steget har bedömts. De uppskattade totala mängderna i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 670 000 ton strontium och 1 900 ton tantal.

De ämnen som har bedömts som kritiska för bearbetnings- och raffineringssteget efter utvinning ur jordskorpan, när både utvinning och raffinering har bedömts, är litium, titan, vanadin, volfram och sällsynta jordartsmetaller. De uppskattade totala mängderna i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 78 000 ton litium, 8,7 miljoner ton titan, 380 000 ton vanadin och 15 000 ton volfram. Den totala mängden sällsynta jordartsmetaller i gruvavfall på 500 000 ton är förmodligen underskattad då endast tre av de sällsynta jordartsmetallerna – cerium, lantan och yttrium – har analyserats, och då proverna kan vara ofullständigt upplösta.

De ämnen som har bedömts som kritiska för bearbetnings- och raffineringssteget efter utvinning ur jordskorpan, när endast det steget har bedömts, är vismut, magnesium, gallium, germanium, hafnium, indium, niob, fosfor och skandium. De uppskattade totala mängderna i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 2 000 ton vismut, 53 miljoner ton magnesium, 47 000 ton gallium, 640 ton germanium, 7 100 ton hafnium, 260 ton indium, 18 000 ton niob och 7,8 miljoner ton fosfor. Den uppskattade totala mängden skandium i gruvavfall på 37 000 ton är förmodligen underskattad då proverna kan vara ofullständigt upplösta.

4.4.4 Bas- och batterimetaller

Utöver ämnen på EU:s kritiska lista har sammanställningen även omfattat basmetallen koppar, samt de så kallade batterimetallerna mangan och nickel. De uppskattade totala mängderna i gruvavfall vid gruvverksamheter i drift är 730 000 ton koppar, 3,3 miljoner ton mangan och 90 000 ton nickel.

4.5 Förslag på utveckling av informationen om aktiva gruvors avfall och avfallets innehåll

I utvinningsavfallsförordningen finns en skyldighet att främja den återvinning som är lämplig från miljösynpunkt och att karakterisera utvinningsavfallet så att en sådan hantering kan främjas. Denna typ av information ska därför finnas i dokumentationen av karakteriseringen i avfallshanteringsplanen. Det kan exempelvis vara information om halter och förekomstformer i utvinningsavfallet av metaller och mineral som kan vara intressanta för återvinning för sekundär utvinning.

Sammanställningen av halter och mängder av kritiska ämnen och andra metaller i gruvavfall vid aktiva gruvor visar att informationen från materialkarakteriseringen i avfallshanteringsplanen och uppföljningen av den, behöver förbättras för att uppfylla sitt syfte att främja återvinning av avfallet.

Naturvårdsverket avser att utveckla vägledning om informationen om utvinningsavfallet i avfallshanteringsplanerna. Detta med syftet att främja återvinning av utvinningsavfall för sekundär utvinning genom bättre information. Vägledningen ska ske inom ramen för tillämpningsområdet för befintliga bestämmelser i miljöbalken och utvinningsavfallsförordningen, samt med hänsyn till EU:s intentioner inom området kritiska mineral, se avsnitt 8.3.1.

5 KLASSIFICERINGSMETOD FÖR SEKUNDÄRA RESURSER

5.1 Inledning

Inom ramen för föreliggande regeringsuppdrag hade SGU i uppdrag att, med stöd av Naturvårdsverket, ta fram ett förslag till klassificeringsmetod för sekundära resurser i enlighet med UNFC (eng. *United Nations Framework Classification for Resources*) och upprätta en databas i enlighet med denna. Enligt instruktionen från regeringen ska databasen vara utformad så att en framtida klassificering av andra resurser också möjliggörs. Miljökostnader enligt svensk lagstiftning och EU-rätt ska också kunna beaktas i klassificeringsmetoden.

UNFC är FN:s ramverk för klassificering av resursprojekt (UNECE 2019). UNFC:s primära syfte är att vara ett verktyg för att redovisa ett projekts materialtillgång och mognadsnivå. Systemets utformning möjliggör även redovisning av projektets miljömässiga, sociala och ekonomiska aspekter. Systemet återspeglar också projektets tekniska genomförbarhet och projektets olika skeden – från tidig prospektering till avveckling. De uppskattade mängder som ingår i klassificeringen är de resurser som projekt bär och som användare kan behöva för sitt beslutsstöd. Resurserna kan vara i form av direkta och indirekta kvantiteter som kan användas, återvinnas eller återanvändas, kapitalflöden eller leverans- och värdekedjor med exempelvis energiåtgång och arbetskraftsbehov. Marknadpriser påverkar dock projektets ekonomiska förutsättningar och därmed är resurser ett relativt begrepp. UNFC fångar in även denna aspekt genom att systemet är anpassat till varierande produktionsförutsättningar över tid.

Systemet har i detta uppdrag utformats för tillämpas för resursklassificering av sekundära mineralresurser i form av gruvavfall. UNFC är emellertid lika tillämpligt på andra utvinnings- eller produktionsaktiviteter, som exempelvis primär brytning, vattenproduktion eller för utvinning av gas och underjordiska lagrings- och geotermiska energiprojekt.

Andra vanligt förekommande ramverk för klassificeringar är kopplade till UNFC, exempelvis CRIRSCO-familjen av mineralklassificeringar, Petroleum Resource Management System för Society of Petroleum Engineers, liksom mineral- och petroleumklassificeringarna i Kina och Ryska federationen. Konvertering till UNFC från dessa system kan göras relativt enkelt genom sk. "bridging documents". Tillämpning av UNFC säkerställer därmed kompatibilitet och tillgänglighet till andra klassificeringssystem.

Europeiska kommissionen har valt UNFC som standard för klassificering av projekt som levererar produkter från primära och sekundära mineralförekomster. UNFC föredras på grund av att systemet omfattar flera aspekter som relaterar till hållbarhet, dess tillämpbarhet över olika resurs- och projekttyper och på grund av att systemet förvaltas av FN. En annan fördel som kommissionen ser är att systemet är kompatibelt med övriga system (Milan Grohol EC/DG Grow, muntlig kommunikation 2022-12-15).

5.1.1 Bakgrund om UNFC

Efter att industrialiseringen tog fart i början av 1900-talet växte det fram ett behov av att klassificera geologiska resurser. The Royal Geographical Society utvecklade inledningsvis ett system som delade upp kvantiteter i tre kategorier efter tillförlitlighet av geologiska observationer. Systemet fokuserade enbart på tonnage, dvs. storlek av fyndigheter. På 1970-talet utvecklade US Geological Survey (USA:s geologiska myndighet) systemet genom att även ta in ekonomiska kriterier (McKelvey 1972, US Bureau of Mines och US Geological Survey 1976). Utvecklingen drevs av efterfrågan på information om vad som är möjligt att prospektera. Det senare klassificeringssystemet är uppkallad efter upphovsmannen McKelvey.

Under 1990-talet utvecklades klassificeringssystemen vidare. Utgångspunkten för systemet var utifrån ett projekt. Utvecklingen efterfrågades framför allt av petroleumindustrin i Europa som behövde ett ändamålsenligt verktyg för dagligt beslutsfattande. Systemet introducerades av Norge i det som nu är World Petroleum Council (WPC). Systemet formaliserades under 2000-talet av Society of Petroleum Engineers (SPE), WPC och American Association of Petroleum Geologists i det som nu är SPE Petroleum Resource Management System (PRMS; Society of Petroleum Engineers 2000). Redan 1997 hade SPE tagit initiativet att gå från diskreta mått på osäkerheter i skattningar till att i stället använda mått som indikerar sannolikheter. Detta har förts vidare till UNFC, även om båda metoderna accepteras så länge de förmedlar samma information. Samtidigt tog Tyskland och Österrike fram föregångaren till det som idag utgör UNFC (UNECE 1997).

Det har också utvecklats olika system för finansiell rapportering. Dessa styrs av nationella finansbestämmelser och huvudsakligen fokuserar på uppskattning av tonnage, dvs. storlek av mineralfyndigheter. I bland annat Australien, Kanada, Sydafrika och USA, finns bestämmelser som baseras på en industristandard som utvecklades av brittiska samväldet och finns sammanställd av Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO 2022). Standarden har utvecklats till flera olika regionala versioner. En av dessa är anpassad av en kommitté under European Federation of Geologists (EFG), Pan European Reserves & Resources Reporting Committee ("PERC Reporting Standard"). En av organisationerna som anslutit sig till PERC-standarderna är Fennoscandian Association for Metals and Minerals Professionals (FAMMP) och PERC har blivit ledande inom den svenska gruvindustrin. Den senaste versionen av "PERC Reporting Standard 2021" ska användas från 1 januari 2023 (PERC 2021), men utanför Norden är PERC-standarderna inte lika kända. I Norden förekommer förutom PERC ofta den australiska (JORC) och kanadensiska versionen (NI 43-101) av CRIRSCO-standarderna, då dessa länder utgör primära kapitalkällor för företagen.

I dag finns spår av det tidigare arbetet inom olika klassificeringar. De flesta klassificeringar som tillämpas idag närmar sig UNFC. Det gäller CRIRSCO, PRMS, den ryska klassificeringen som var utbredd under sovjettiden och det kinesiska klassificeringssystemet. Alla av dessa system är i dag fast knutna till och kompatibla med UNFC. I UNFC finns dock kategorier som ibland inte återfinns i andra klassificeringar, bland annat kategorier för resurshantering, företagsbeslut och kapitalförvaltning i form av tekniska, miljömässiga, sociala och ekonomiska kategorier samt en kategori för framtida avfallsproduktion. Därmed kan det saknas information när det görs överföringar från andra system till UNFC. Omvänt gäller att kategorier inom UNFC kan aggregeras och redovisas med god tillförlitlighet i andra system.

5.1.2 SGU:s arbete med tillämpning av UNFC inom Norden

I början av 2016 beslutade SGU att undersöka möjligheterna att inleda samverkan med de geologiska myndigheterna i Norge (NGU) och Finland (GTK) för att lära mer om och utveckla riktlinjer för hur UNFC skulle kunna tillämpas i de tre länderna. Detta eftersom SGU blivit kontaktade av företrädare för UNFC med önskemål om de nordiska ländernas engagemang.

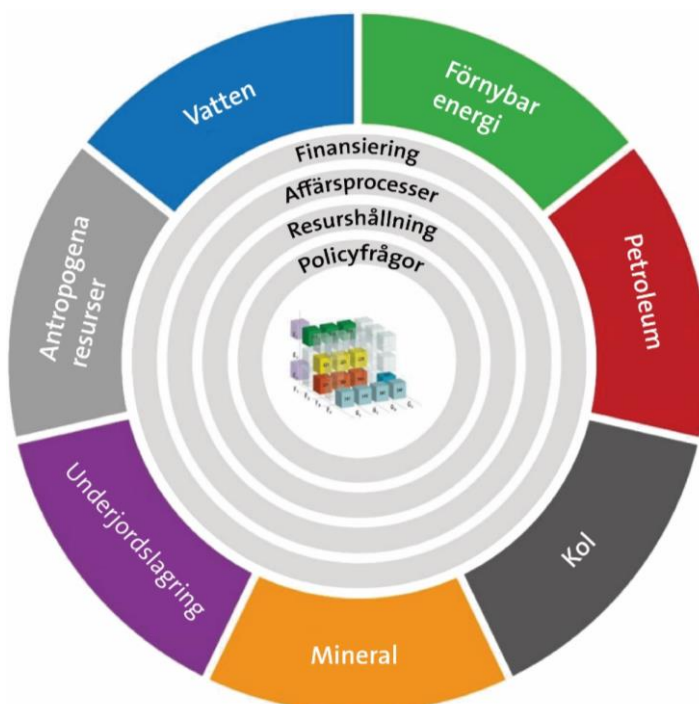
Året därefter, 2017, fick SGU genom regleringsbrevet av regeringen uppdraget att delta i FN:s arbete med UNFC. December 2017 rapporterade SGU regeringsuppdraget genom publiceringen av rapporten *UNFC – FN:s system för klassificering av råvaror* (SGU 2017). I rapporteringen av regeringsuppdraget presenterades resultatet av det samarbete som inleddes 2016 mellan de nordiska länderna om tillämpning av UNFC-klassifikationen. Regeringsuppdraget skulle utföras i samverkan med Naturvårdsverket, men då rapporten i princip redan var klar när SGU erhöll uppdraget var det inte möjligt för Naturvårdsverket att delta i arbetet.

På initiativ av SGU bildades ett nordiskt samarbete mellan SGU, GTK, NGU och Svemin (den svenska mineralnäringens branschorganisation) samt Petronavit a.s., ett norskt konsultföretag med medarbetare som varit med och utvecklat UNFC initialt och implementerat det för petroleumsektorn. En arbetsgrupp bestående av medarbetare från SGU, NGU och företagen Nordkalk, Forsand sandkompani och Petronavit tog fram ett utkast till vägledning. Vägledningen visar hur en UNFC-klassificering kan tillämpas på valda industrimineralprojekt (kalksten) i Estland och Sverige, samt tillämpning för ett sand- och grusprojekt i Norge (UNECE 2020). I arbetet med framtagandet fördes också dialog med det norska Oljedirektoratet, norska Direktoratet for mineralforvaltning, FinMin (Svemins finska motsvarighet), Statoil (nu Equinor), Division of Sustainable Energy of UNECE (FN:s ekonomiska kommission för Europa som omfattar Nordamerika, Europa, f.d. Sovjetunionen, Turkiet och Israel), samt medlemmar i UNECE Expert Group on Resource Classification, inklusive dess Technical Advisory Group. Dessa organisationer deltog dock inte i att ta fram utkastet till vägledning.

5.1.3 Olika tillämpningar av UNFC

Klassificeringar i UNFC-systemet möjliggör jämförelse mellan likartade projekt på olika platser, inte bara vad gäller tonnage och halter av resurser utan även utifrån tekniska, ekonomiska, sociala och miljömässiga aspekter. UNFC gör det också möjligt att följa utvecklingen och eventuella förändringar av ett projekt. Avsikten är att klassificeringen ska kunna utföras av ”certifierade” personer (s.k. ”Competent Person” enligt UNECE 2017). I praktiken innebär detta att systemet ska kunna användas av både investerare, gruv- och prospekteringsföretag som expertmyndigheter eller beslutsfattare.

Systemets olika tillämpningar presenteras i figur 12. Systemet kan användas för resursklassificering av primära mineralresurser, vatten, förnybara energikällor, petroleum, kol, mineral, underjordslagring, det vill säga Carbon Capture and Storage (CCS), gas m.m., men även för resurser från antropogena källor inkluderande gruvavfall (Economic Commission for Europe EGRC 2018).



Figur 12. UNFC är tillämpbart på naturresurser av många slag. Sekundära resurser faller inom resurskategorin antropogena resurser (omarbetad från EGRC 2018).

En expertgrupp (EGRM, Expert Group on Resource Management), bestående av expertis från FN:s medlemsländer, representanter från UNECE och från branschorganisationer samt privat sektor, har under 2022 tagit fram en vägledning för tillämpning av UNFC för mineral och antropogena resurser i Europa (UNECE 2021, UNECE 2022a). Vägledningen syftar till att underlätta klassificering enligt UNFC utifrån en europeisk kontext och ger rekommendationer om hur Inspire-direktivet kan användas för att arkivera resultaten (2007/2/EG).

Det finns generellt ett mycket stort behov av väldokumenterad information om gruvavfall när det gäller historiska förekomster, men också när det gäller aktuella avfallsflöden. Sverige ligger före övriga EU-länder genom SGU:s pågående arbete med att utveckla en UNFC-databas för sekundära resurser. Det finns ett stort intresse inom EU att tillämpa denna databas eftersom UNFC möjliggör effektiv insamling och tillgängliggörande av gruvavfallsinformation. Informationen kan i sin tur användas för testning av anrikningsteknik och därmed skapa nya nedströmsprojekt i mineralvärdekedjan. Exempelvis inom EuroGeoSurveys projekt (GSEU) där SGU deltar. För forskning och vidareutveckling inom detta område kommer det med stor sannolikhet kungöras ytterligare projektutlysningar med bäring på dessa frågor inom Horisont Europa.

5.2 Genomförande av uppdraget

SGU ansvarade för framtagandet av klassificeringsmetod och upprättandet av en databas. I arbetsgruppen på SGU ingick också medarbetare från Petronavit a.s. Naturvårdsverket bistod i arbetet med expertis inom tillståndsprövning enligt miljöbalken samt med information kring miljökostnader och annat avfall.

Arbetet följde UNFC:s definitioner (UNECE 2019). Vidare följdes tilläggspecifikationerna för mineraltillgångar (UNECE 2021). Under arbetet utarbetade UNECE en guide för tillämpningen av UNFC för mineral- och antropogena resurser i Europa (UNECE 2022a) vilken också beaktades. Definitionerna enligt specifikationen från 2019, inklusive tilläggspecifikationerna från 2021, hade dock företräde framför denna vägledning i händelse av skilda tolkningar.

Tillämpningen av UNFC ska ta hänsyn till de ramvillkor som gäller i de länder den tillämpas i. Det gäller i synnerhet bedömningar av vilka miljömässiga-, sociala och ekonomiska kategorier som ska användas (E-kategorierna). Bedömningarna av denna kategori byggde vidare på vad som tidigare gjorts i samarbete med bl.a. Finlands och Norges geologiska undersökningar samt Svemin (se avsnitt 5.1.2).

5.2.1 Syfte

I uppdraget redovisar SGU, med stöd från Naturvårdsverket, ett förslag till klassificeringsmetod för sekundära resurser i form av gruvavfall från enskilda projekt i enlighet med det av FN accepterade systemet för resursklassificering av resurser (UNECE 2019 och UNECE 2021). Vidare redovisas ett förslag på en databas i enlighet med denna. Databasen har som ett första steg utvecklats för klassificering av det historiska gruvavfall som undersökts inom ramen för regeringsuppdraget (se avsnitt 3).

5.2.2 Avgränsningar

Föreliggande redovisning av förslag på klassificeringssystem i enlighet med UNFC och tillhörande databas har utformats utifrån de krav som ställs vid klassificering enligt UNFC av sekundära mineralresurser i form av gruvavfall (UNECE 2021). Utformningen har dock tagit hänsyn till en framtida utveckling och att databasen ska kunna tillämpas på andra typer av resurser än mineralråvaror.

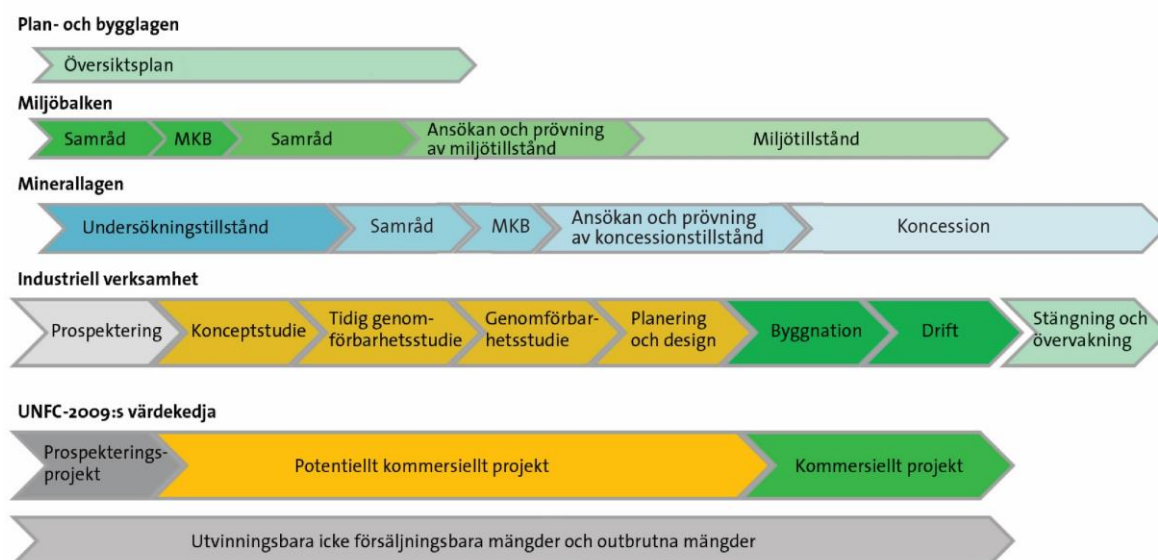
5.3 Klassificering av gruvavfall enligt UNFC

Strukturen i UNFC följer utvecklingen längs gruvcykel av ett utvinningsprojekt från geologisk undersökning/mineralprospektering, genom tillståndprocesser, driftsfas (brytning, bearbetning, förädling) och fram till slutlig avveckling. Klassificering enligt UNFC utgår från industrins och det offentliga värdekedjor, där de olika stegen i dessa värdekedjor påverkar hur ett projekt ska klassificeras. Som framgår i figur 13 förhåller sig UNFC-klassificering till befintliga ramverk såsom olika regleringar eller lagstiftning.

Förutom befintliga ramverk bygger UNFC-klassificering på ekonomiska och tekniska kriterier. Klassificeringen av tillgångar inom ett projekt baseras på tillgänglig information från en mängd olika källor, exempelvis från undersökningen av en fyndighet, projektets finansieringssituation, process eller teknikutveckling, ansökningar eller beslut i tillståndprocessen eller uppgifter kring försäljning och projektets avveckling. En klassificering i Sverige är därmed knuten till tillståndprocessen.

De olika stegen i värdekedjorna och tillståndprocessen i figur 13 definierar möjliga referenspunkter för en UNFC-klassificering. Referenspunkten anger förutsättningarna för en rapporterad uppskattning av en produkts kvantiteter och kan exempelvis vara ett mellanstadium i ett projekts utveckling (figurens mitt och vänstra del), eller att tillstånd finns på plats och produktion och försäljning av varor till marknad kan genomföras (figurens högra sida). I det första fallet representerar angivna kvantiteter en förlust, i det andra fallet en intäkt.

Alla kvantiteter och produkter som anges i en projektklassificering skall kunna kopplas till specifika referenspunkter som definierats och beskrivs i respektive klassificering. Ett projekt kan ha flera referenspunkter, till exempel en för materialförsörjning och en för varje försäljnings- och restprodukt. Detta kan leda till att projektet har flera komponenter som inte nödvändigtvis behöver befinna sig i samma UNFC-klass.



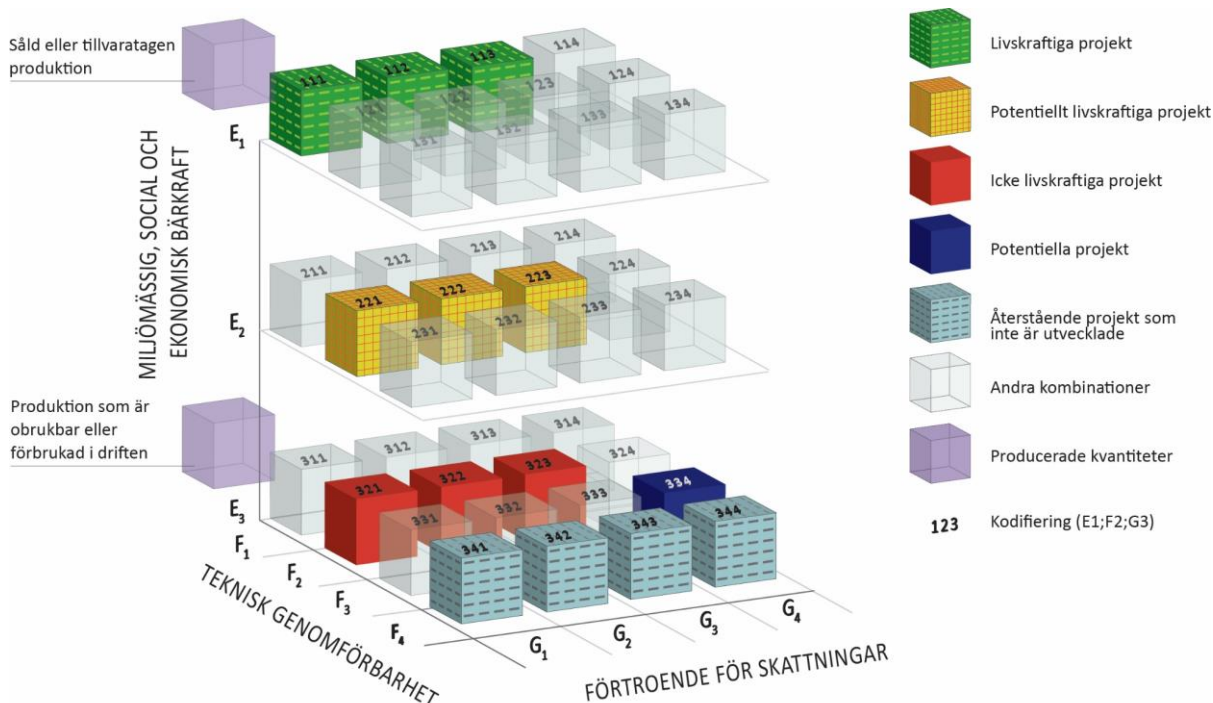
Figur 13. UNFC-klassificering av värdekedjor för projekt påverkas av lagstiftning och befintlig reglering (från SGU 2017).

5.3.1 UNFC i tredimensionell form

UNFC-systemet består av tre olika kategorier: E, F och G som kan illustreras som axlar i ett tredimensionellt koordinatsystem. E-axeln avser de sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter inom projektet som omfattar icke tekniska frågor. F-axeln avser projektets tekniska genomförbarhet. G-axeln representerar den geologiska kunskapen om fyndigheten, vilket redovisas i form av kvalitets- och sannolikhetsbedömningar (osäkerhetsintervall) för skattningar av kvantiteter. (UNECE 2021).

Klassificering av ett projekt enligt UNFC genererar sifferkombinationer som följer en alfabetisk ordning: E, F och G. Eftersom kategorierna alltid används i alfabetisk ordning kan bokstäverna tas bort och klasserna anges med alfabetsoberoende siffror, dvs. 1,1,1 i stället för E1F1G1. Klassificeringen kan teoretiskt sett anta samtliga möjliga kombinationer, men i praktiken är vissa kombinationer mer sannolika än andra (UNECE 2019). Klassificeringen är projektbaserad, den är ”levande” och förutsätts uppdateras löpande utgående från de aktiviteter som pågår i projektet. Eftersom klassificeringen bygger på olika kategorier kan UNFC användas för utvärdering av hur eventuella förändringar påverkar värderade tillgångar i ett projekt, till exempel förändringar i teknisk utveckling eller industriella processer, finansieringssituation eller lagstiftning påverkar värderade tillgångar i ett projekt.

UNFC-systemet kan översiktligt illustreras i form av en tredimensionell matris (fig. 14). Matrisen används för att på ett lättförståeligt sätt åskådliggöra projektklassificering i de tre UNFC-dimensionerna. För tillämpat arbete inom projekt används av praktiska skäl tvådimensionella matriser som möjliggör högre detaljeringsgrad (avsnitt 5.3.2).



Figur 14. UNFC-klassificeringen utgår från tre axlar, E-, F-, och G-axeln. Källa: UNECE (2019).

Färgsättningen i figur 14 återspeglar ett projekts utveckling. Gröna kuber utgörs av livskraftiga projekt, det vill säga projekt som är driftsatta eller redo för utveckling. Röda kuber motsvarar projekt som för tillfället klassificeras som icke livskraftiga. Gula kuber motsvarar potentiellt livskraftiga projekt, det vill säga projekt som har vissa kvarstående hinder som relaterar till E- eller F-axeln. Mörkblå kub kan motsvaras av potentiella projekt, det vill säga där det ännu inte finns kunskap om fyndighetens projektpotential. Streckade blå kuber illustrerar återstående projekt som inte är utvecklade. Dessa innefattar de kvantiteter som ett projekt inte kommer att kunna utvinna utifrån den nuvarande planen. Kuber som inte är färgade förekommer, men är inte lika ofta som de färgade.

Ovan beskrivna klassificeringskategorier skall ej ses som statiska eller slutliga utan kan ändras om nya förutsättningar föreligger. UNFC-systemets axlar E- och F används för att kategorisera processer som äger rum. Processer längs F avser den industriella värdekedjan som sträcker sig från utredning, genom design, utveckling till drift och nedläggning. Processer längs E avser miljömässiga, sociala och ekonomiska aspekter som kan innefatta både offentlig och privat förberedelse för beslutsfattande och beslutsfattande. Eftersom resultatet av klassificeringen beror av tillgängliga underlag sker förflyttning i matrisen beroende av vilka beslut som fattas inom och rörande projektet. Framdriften av ett projekt, eller projektmognad, illustreras genom att projektet över tid kan vandra fram eller tillbaka längs E- och F-axlarna. För att illustrera framdriften i den tredimensionella kuben mer i detalj, finns det definierade underkategorier på samtliga axlar. Arbetet med att avgöra vilka beslut som ska och inte ska fattas är givetvis både viktigt och komplicerat, men ligger utanför själva klassificeringsarbetet som begränsar sig till att redovisa resultatet.

Definitioner av kategorier och underkategorier för systemets axlar E, F och G presenteras i Annex I och II i vägledningens del 1 från FN (UNECE 2019). Här nedan följer en översiktlig beskrivning av respektive axel och kriterier för dessa. För en mer detaljerad beskrivning hänvisas till publicerade dokument från UNECE (2019, 2021, 2022a och 2022b).

E-axeln beskriver hur moget ett projekt är utifrån ett ekonomiskt, socialt och miljömässigt perspektiv. E omfattar icke tekniska frågor (UNECE 2021). E3.2 motsvarar ett projekt i ett mycket tidigt stadium eller där utvinning och försäljning inte kan bestämmas, och E3.3 ett projekt som inte förväntas bli socialt, ekonomiskt eller miljömässigt hållbart inom en överskådlig framtid. E3.1 speglar den del av projektet som producerar produkter som används internt i projektet eller som inte används, till exempel framtida gruvavfall. E2 (E2.1 och E2.2) beskriver ökad projektmognad. E1 (E1.1, E1.2 och E1.3) beskriver att det inte finns några miljömässiga, sociala eller ekonomiska hinder för att genomföra projektet, varken inom den offentliga eller privata sektorn.

F-axeln motsvarar hur livskraftigt ett projekt är utifrån vilket tekniskt stadium det befinner sig i den industriella värdekedjan från prospektering, projektdesign, utveckling och produktion. Beslut om att gå från ett led i värdekedjan till nästa fattas ofta utifrån parametrar om tillgänglig teknik för utvinningen i fråga eller om sådan behöver utvecklas samt om den fysiska infrastrukturen, inklusive sådant som avfallsanläggningar och deras efterbehandling. F-axeln illustrerar även om befintliga anläggningar behöver utvecklas eller om det behöver byggas nya för ändamålet. F4 och F3, med tre undernivåer vardera, kan motsvara ett projekt där teknisk lösning för utvinning eller anrikning saknas och behöver endera tas fram genom ny forskning eller genom vidare utveckling. En förflyttning till F2 (F2.1, F2.2 och F2.3) innebär att det finns en teknisk lösning som kan användas som underlag för att utforma ett projekt mer i detalj. F1 (F1.1, F1.2 och F1.3) motsvarar ett projekt där det inte finns kvarstående frågor avseende teknisk genomförbarhet och funktion.

G-axeln motsvaras av, för mineralnäringen, den geologiska kunskapen om fyndigheten i form av uppskattade mängder av den exploaterade fyndigheten och de produkter som kan bli ett resultat av produktionen. G redovisas i form av en skattning av osäkerhet (osäkerhetsintervall) för projektmått. För utvinningsverksamheter inom mineralnäring hämtas kunskapen utifrån exempelvis geologisk information, prospekteringsinsatser, provborrningar eller geofysiska mätningar. Här finns i regel osäkerheter i underlagen och därför bestäms G utifrån observationsunderlaget och tillhörande uppskattning av sannolikheten för att en resurs är av en viss storlek: G4 och totala produktmängder för projekt i de högre G-klasserna: G3, G2 och G1. För andra typer av skattningar, exempelvis för vatten eller petroleum är det vanligt att osäkerheterna uttrycks som sannolikhetsfördelning med olika konfidensintervall. Uppskattningen av osäkerheten utgår från ett antagande om att projektet kommer genomföras. Det finns emellertid ofta även en sannolikhet att projektet inte kommer att genomföras. Båda typerna av sannolikheter måste beaktas för att erhålla en överblick över de totala produktmängder som kan genereras av en projektportfölj.

G4 (t.ex. G4.1, G4.2 och G4.3) motsvarar en situation där fyndighetens mineralresurskvantitet endast är uppskattad indirekt. Det kan handla om ett prospekteringsobjekt där inga halter ännu har belagts och brist på analyser ger en stor osäkerhet i uppskattningen av mineralresursmängden. Innan projektet går vidare längs G-axeln behöver det läggas fram vidare analyser och beräkningar som visar förutsättningar för konturerna av ett projekt eller en projektplan som ger underlag för att uppskatta produktkvantiteter. G3 motsvarar en situation där fyndighetens mineralresurskvantitet kan uppskattas med låg konfidens, G2 där den kan uppskattas med en medelgod konfidens och G1 där den kan uppskattas med god konfidens.

På grund av ekonomiska skäl uppnås ofta en god konfidens för en mindre del av fyndigheten i taget. G1 är därmed en säker, men ofta för låg uppskattning av tillgängligt mineraltonnage inom en fyndighet. G1+G2 representerar det förväntade värdet och motsvarar en rimligt säker bedömning av en fyndighets tillgängliga mineraltonnage. På samma sätt motsvarar G1+G2+G3 ett större spann och därmed en visserligen större, men även osäkrare uppskattning av potentiellt tillgängligt mineraltonnage. I regel tilltar osäkerhet med högre värden på skattningar av kvantitet, varför det även finns ett visst samband mellan osäkerhet och mineralresursens storlek.

En observerad mineralresurs kommer alltid att ha en G1-storlek, men den kan vara liten och inte särskilt intressant. Detta eftersom det aldrig kommer att finnas full kunskap (G1) om den totala resursen i ett inledande skede; mer resurs upptäcks i regel över tid. Om den även har en G3-storlek måste det också finnas en G2-storlek, eftersom stigande grad av osäkerhet från G1 till G3 går via G2 kan inte kategorin G2 saknas i klassificeringen. Resursen fördelas över G-skalan, vilket innebär att om G1 och G3 finns behövs med all sannolikhet även G2. Det är osannolikt att det finns ”en lucka” i G-skalan.

Mängden, sammansättningen och kvaliteten på de produkter som klassificeras definieras som de produkter som klarar projektets referenspunkt. En referenspunkt kan vara en fysisk punkt, eller en punkt som planeras eller förutses i projektplanen. För produkter som säljs eller används utanför projektet kommer detta att vara försäljnings- eller leveransstället. För kvantiteter som används i projektet, eller som inte används, kommer referenspunkten ofta att vara en mätpunkt, eller en punkt där kvantiteterna rimligen kan uppskattas. För antropogena resurser kan en tredje referenspunkt vara där kvantiteter tillförs projektet under dess livstid. Materialbalansen styrs av att summan av de kvantiteter som går ut genom referenspunkten plus de ursprungligen närvarande kvantiteterna som inte kommer i produktion ska vara lika med de ursprungligen närvarande kvantiteterna plus de kvantiteter som tillförts projektet.

I praktiska, kommersiella tillämpningar har det visat sig att andra mätetal har använts för G-axeln. UNECE:s expertgrupp EGRM (Expert Group on Resource Management) har därför sett ett behov av att justera den formella definitionen. Gruppen konstaterade att G-axeln även bör inkludera data (mätt som projektet bär) och som behövs för beslutsfattande. Med detta menas utöver källor (i detta fall mineralresurser) och produkter, även insatsfaktorer såsom utsläpp, kostnader, intäkter, energikrav m.m. (UNECE 2022a). Måtten kan därför även vara både i form av ett mätetal eller som tidsserier. Man får här tillägga att brytbarheten av en mineralresurs generellt påverkas av värdet på råvaran där den bryts, vilket i sin tur påverkas av marknadsvärdet och alla kostnader mellan marknaden och platsen där den bryts, inklusive infrastrukturkostnader, avtalsvillkor, bruttoskatter (produktionsskatter), tekniska kostnader, kostnader i försörjnings- och produktkedjor, miljö- och sociala kostnader m.m. Värdet på råvaran där den bryts påverkar cut-off grade vid resursberäkning och därigenom både projektekonomin och produktkvantiteterna.

5.3.2 UNFC i tvådimensionell form

Klassificering enligt UNFC kan alternativt visualiseras utifrån en tvådimensionell form. Denna möjliggör en högre detaljeringsgrad i redovisning av ett projekts UNFC-klassificering samtidigt som komplex information och materialflöden kan redovisas.

I den tvådimensionella matrisen visas E- och F-kategorierna separat från G. Nedre delen av figur 15 utgörs av den information som projektet bär och som är relevant för beslutsfattande, i detta fall de geologiska resurserna och de produkter som dessa ger genom exploatering (G-axelns kategorier). Den tvådimensionella visningen av en UNFC-klassificering möjliggör därtill att underkategorier för E1, E3, F1-4 och G4 kan tillämpas.

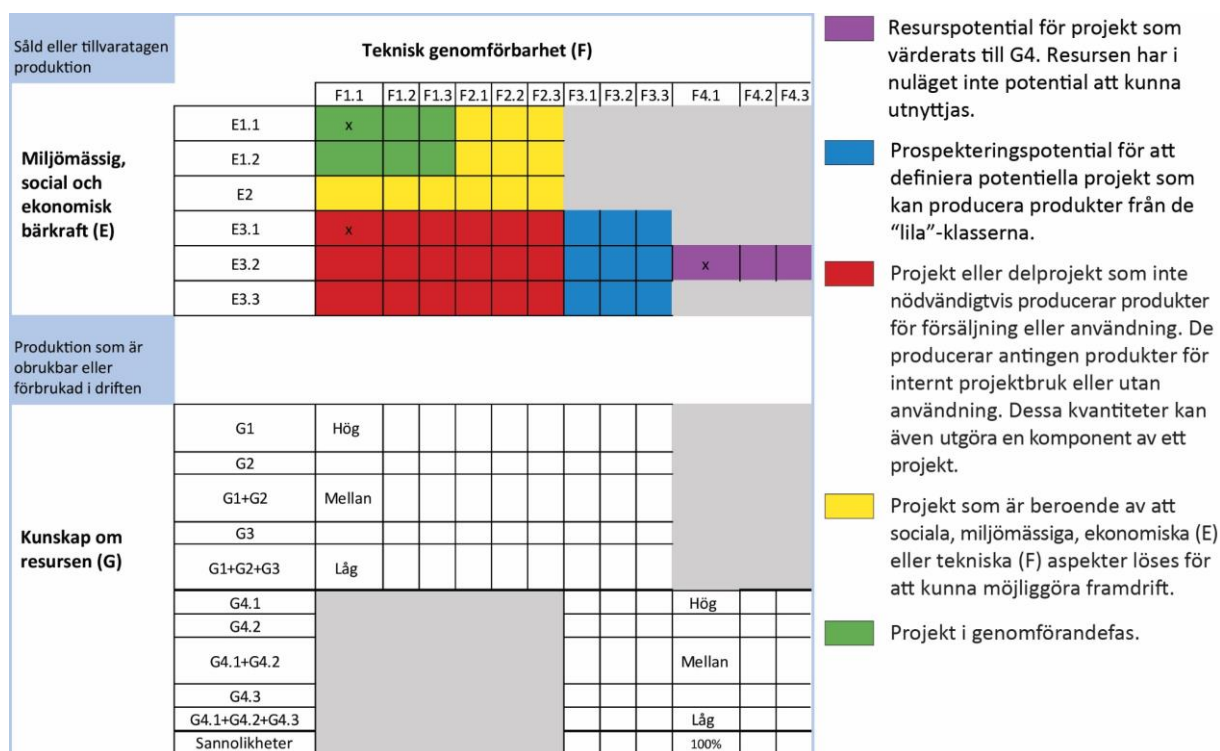
Som påtalats i ovanstående avsnitt 5.3.1 finns det i ett projekt ofta varierande kunskap om olika delar av resursen. Det måste finnas säker kunskap om mineralråvarubas för produktion i närtid, men man behöver inte ha lika god kännedom om den mineralråvarubas som krävs för brytning i ett längre perspektiv. Prospektering är kostsamt och oftast undersöks därför den del av en påvisad mineralresurs som är relevant för utvinning inom ett kortare tidsperspektiv noggrannast, och övriga delar mer översiktligt. Den första (mindre) delen klassas därmed som G1, medan övriga delar (vanligtvis en större del av fyndigheten) placeras inom exempelvis G2 eller G3. Efterhand som utvinningen framskrider utförs löpande en mer noggrann prospektering för att öka kvalité och upplösning på tillgänglig geologisk information inför brytning, och klassificering för berörda delområden uppgraderas. Därtill prospekteras nya områden för att lokalisera och undersöka eventuella mineralfyndigheter i närheten. Om prospekteringsfynd kan gå från en G4-kategorisering till G1 beror dels på geologiska förutsättningar, dels på fyndets uppskattade ekonomiska potential och genomförbarhet, vilket styr tillgång på riskkapital som krävs för fortsatta undersökningar.

Osäkerhetsmättet "Degree of confidence" för G-axeln används för att för att reflektera variationen av kunskap och värdering av en fyndighets olika delar tillämpas ofta osäkerhetsmätt Det finns i regel god kunskap (värdering med hög säkerhet/konfidens) om en mindre del av resursen (G1), men att endast ta hänsyn den volymen undervärderar mycket sannolikt en fyndighets verkliga potential. Man känner samtidigt till sannolika (större) volymer som dock inte undersökts lika väl (kategori G2 och större). För att ge en rättvisande bild av en fyndighets totala mineraltillgångar behövs en samlad bild av potentiellt tillgängliga mineralresurser, vilket görs genom att ange dessa i ett osäkerhetsspann. G1+G2 avser här rimligt säker värdering som samtidigt ger en volym som bättre speglar fyndighetens potentiellt tillgängliga mineralresurser (bästa uppskattning), vilket kan ge relevant information för potentiella investerare. Att använda G1+G2+G3 levererar å andra sidan en bedömning som kan motsvara det verkligt tillgängliga

mineraltonnaget i fyndigheten, dock till priset av en större osäkerhet i bedömningen. Stora delar av fyndigheten kan då vara endast översiktligt karterade och tillgängligt mineraltonnage kan ha överskattats, vilket innebär en större risk för potentiella investerare i projektet.

Geometrisk kroppar med en andel mineral som i sin tur har en procentandel som är möjlig att utvinna leder ofta till att utvinningsbara mängder har lognormala sannolikhetsfördelningar. dvs. att det kan bli några riktigt stora utfall och många mindre. Det kan vara oansvarigt att investera för att dra nytta av de stora utfallen givet den stora osäkerhet som är förknippad med dem. Däremot kan det vara intressant att investera i reella optioner (eng. *real options*) som kan aktiveras om det visar sig att de höga utfallen kan realiseras. Sådana reella optioner kan vara säkrande av mark, utbyggnadsmöjligheter för anläggningar etc. Därför är det viktigt att vara uppmärksam även på de stora utfallen.

Klassificering enligt UNFC illustreras i den tvådimensionella matrisens övre del med hjälp av kryssmarkeringar (fig. 15). Kryssen i den övre matrisen visar var projektet befinner sig avseende klassificering i E- och F-kategorierna, det vill säga projektets förhållande till de sociala, miljömässiga och ekonomiska förutsättningarna. I nedre matrisen redovisas förtroende för skattningen enligt kategori G.



Figur 15. Redovisning av UNFC i tvådimensionell form. Ett projekts placering på E- och F-skalorna markeras med X i tabellens övre del. I tabellens undre del skrivs relaterade tonnager till ovanstående E- och F-klassificering in. "Hög", "Mellan" och "Låg" avser säkerheten för respektive G-klassificering och har satts in som förtydligande för läsaren.

Projektet som exemplifieras i figur 15 är aktivt och i drift och det finns således inte några miljömässiga, sociala eller ekonomiska hinder. Det kategoriseras därför E1.1. Det finns inte kvarstående frågor avseende teknisk genomförbarhet och funktion (F1.1). Projektet producerar också produkter som används inom projektet eller som det inte finns någon användning för (det vill säga avfall som kategoriseras E3.1, F1.1). Vidare finns det outnyttjade resurser för vilka inget utvecklingsprojekt eller gruvdriftspotential har identifierats (E3.2 och F4.1). Var och en av projektets E- respektive F-klasser har måtvärden på G-axeln, i detta fall resurser och produkter. I den undre matrisen indikeras de genom konventionella mått på osäkerhetsintervall:

- En låg uppskattning med högt konfidensvärde, G1.
- Ett medelvärde eller bästa uppskattning kategoriserad som G1 + G2.
- Ett högt värde med låg konfidens, G1 + G2 + G3.

För de kvantiteter som återstår in situ och där tillgänglig information oftast är indirekt eller för ofullständig för att kunna klassa kvantiteten högre används G4-kategorierna.

5.4 UNFC-klassificering i förhållande till tillståndsprocessen

Som presenterats i ovanstående avsnitt 5.3 styrs UNFC-klassificering av en lång rad faktorer:

- De sociala, ekonomiska och miljömässiga aspekter som omfattar icke tekniska frågor (E).
- Projektets tekniska genomförbarhet (F).
- Den geologiska kunskapen om fyndigheten (G).

I den svenska kontexten är klassificeringen på E-axeln till stor del beroende av var i tillståndsprocessen projektet befinner sig (se avsnitt 5.3). Relevant svensk lagstiftning för E-axelns klassificering är miljöbalken, samt för koncessionsmineral minerallagen (1991:45; se fig. 13 samt avsnitt 6.2 och 6.3). Övrig svensk lagstiftning som exempelvis plan- och bygglagen (2010:900) eller arbetsmiljölagen (1977:1160) gäller parallellt och bedöms ej påverka ett projekts klassificering enligt UNFC. Klassificeringen av E-axeln beror därmed på hur långt tillståndsprocessen är gången, inklusive bland annat hur de juridiska, regulatoriska, miljömässiga, sociala och ekonomiska beslutsprocesserna ser ut för varje beslutsfattare (inklusive myndigheter).

Det finns dock en rad inbördes beroende mellan E-, F- och G-axeln. Däremot så klassificerar man inte samma saker på de olika axlarna. Som redovisats ovan omhändertar F-axeln projektets tekniska genomförbarhet. Den omfattar endast ”en bedömning av de tekniska förutsättningar som är relevanta för genomförbarheten” (UNECE 2021). F-axeln relaterar därmed till tillståndsprocessen på så sätt att en teknisk design endast kommer att vara genomförbar om den uppfyller de krav som ställs via miljöbalken. F-axeln speglar dock bara hur långt de tekniska förutsättningarna i projektet har kommit. Vid en förstudie undersöker företaget också om projektet är tekniskt genomförbart till en kostnad som medför att projektet kan vara ekonomiskt hållbart. Den analysen tar exempelvis hänsyn till förväntad efterfrågan och därmed påverkas F-axeln även av marknadspriser. Om projektet har gått för långt på F-axeln, utan att kunna uppfylla kraven på E-axeln, kommer det förr eller senare att misslyckas. För en effektiv resursförvaltning är det därför centralt att samtidigt driva fram projektet längs E- och F-axeln. F1 motsvarar ett projekt där det inte finns kvarstående frågor avseende teknisk genomförbarhet och funktion. Projektet kommer dock inte att kunna genomföras om inte E-kategorin är E1.

Även G-axeln relaterar till E och tillståndsprocessen. En grundförutsättning för att få till stånd tillräckligt med kunskap för att kunna utföra exempelvis en förstudie krävs att man har goda kunskaper om sannolikheten för att en resurs har en viss storlek, något som man bygger upp

genom prospektering. Kunskaperna om resursen beskrivs på G-axeln (se avsnitt 5.3.1). Om kunskaperna om resursen inte är tillräckliga eller om resursen inte är tillräckligt rik för att motivera utvinning, så kommer den inte att förflytta sig längs G-axeln. En resurs som man exempelvis bedömer som otillräcklig kommer då inte heller att förflytta sig från E2 till E1, eftersom det krävs en malmbevisning för att erhålla koncession enligt minerallagen. Det krävs dessutom en resurs med sannolikhet att vara tillräckligt rik för att det ska finnas skäl att investera i en förstudie, inför val av teknik etc. Därmed krävs även en förflyttning längs G-axeln för att göra en förflyttning F-axeln.

5.4.1 E-axeln och tillståndsprocessen

I avsnittet följer en mer detaljerad redogörelse för hur E-axeln bör förhålla sig till tillståndsprocessen. SGU:s bedömningar presenteras nedan och sammanfattas i tabell 6. SGU:s bedömningar tar avstamp i vägledningarna UNECE (2019) och UNECE (2021). Därtill följer SGU:s redogörelse av UNFC i förhållande till tillståndsprocessen två tidigare klassificeringar av mineralprojekt i Sverige (UNECE 2020 & UNECE 2022c). De två klassificeringarna genomfördes av SGU, NGU och företagen Nordkalk, Forsand sandkompani och Petronavit respektive av enbart SGU. Metodiken i de tidigare klassificeringarna har granskats av flera arbets- och expertgrupper inom UNECE, se respektive publikation. Naturvårdsverket har en avvikande bedömning om hur prövning enligt miljöbalken ska förhålla sig till E-axelns olika kategorier. Naturvårdsverkets bedömning av UNFC i förhållande till tillståndsprocessen presenteras i avsnitt 5.5.

Förutsättningar för klassificering E1

För klassificering E1 ska alla förutsättningar för ett projekts miljömässiga-, sociala- och ekonomiska bärighet inklusive tillstånd och avtal finnas på plats, så kallade livskraftiga projekt (eng. *viable project*) enligt UNECE (2019).

Klassificering E1 utifrån miljömässiga grunder bör innebära att verksamhet har tillstånd enligt miljöbalken utifrån den lokalisering och den huvudsakliga processutformning och kapacitet som bolaget har angett i sin ansökan. Miljöbalken reglerar genom samrådsprocessen även sociala aspekter som utgår från projektet och beaktar påverkan på omgivningens sociala faktorer (exempelvis störningar och olägenheter) som ett meddelat tillstånd kan medföra. E1 bör gälla som huvudregel när prövningsmyndigheten har bedömt att projektet miljömässigt, socialt och ekonomiskt livskraftigt och att underlaget är tillräckligt. Klassificeringen E1 utifrån miljömässiga grunder kan gälla trots att tillstånd inte vunnit laga kraft (Justified for Development enligt UNECE (2021)). Klassificering E1 kan även gälla trots uppskjutna frågor. Detta eftersom provisoriska föreskrifter kan ha föreskrivits i väntan på slutliga villkor. De uppskjutna frågorna har inte bedömts ha betydelse för att avgöra de samlade miljöeffekterna från verksamheten. Bolaget kan därför bedriva verksamheten när tillståndet vunnit laga kraft även om frågor har skjutits upp under en prövotid.

I de fall minerallagen är tillämplig på ett UNFC-projekt bedöms klassificeringen E1 motsvara att alla tillstånd inklusive bearbetningskoncession meddelats. Detta innebär att redovisad kunskap om teknisk lösning, fyndighetens storlek och ekonomisk möjlighet att utvinna dess resurser (projektets ekonomiska bärighet) bedömts vara tillfyllest för att söka tillstånd att utvinna densamma.

Förutsättningar för klassificeringen E1 finns vid aktiv produktion, vid kommande produktion då tillstånd till verksamheten har meddelats och vunnit laga kraft och då tillstånd till verksamheten har meddelats men inte vunnit laga kraft (tabell 6). E1 inkluderar tillåtlighet av en begränsad

verksamhet och inkluderar även situationer då verksamhetens tillstånd enligt miljöbalken har vunnit laga kraft, men slutliga villkor i frågor har skjutits upp (exempelvis provotid för utsläppsvillkor). E1 (eng. *justified for development*) bör användas om tillstånd meddelats men inte vunnit laga kraft. Om projektet överklagas flyttas projektet dock ner till E2.

Klassificeringen E1 genom prövning enligt såväl miljöbalk som minerallag innebär ofta att klassificering F1 föreligger eller kan bestämmas (tekniska förutsättningar för utvinning och anrikning finns och kan tillämpas). Provotid inom meddelat tillstånd enligt miljöbalken är avsedd för verifiering av befintlig och fungerande teknik.

Förutsättningar för klassificering E2

En klassificering enligt E2 innebär att ett UNFC-projekt bedöms vara potentiellt genomförbart, ”potentially viable projects” enligt UNECE (2019).

Vid klassificering E2 är projektets förutsättningar för miljömässig-, social- och ekonomisk bärighet ej klargjorda, men det finns en realistisk bedömning att projektet kan uppfylla dessa krav inom en överskådlig framtid (tabell 6).

För klassificeringen E2 har tillståndprocessen vanligtvis initierats, det vill säga att utredning av miljömässiga-, sociala och ekonomiska faktorer pågår men är ej slutförda. E2 innebär att utredning och prospektering går framåt. Det kan finnas oförutsedda händelser inom projektet, men det jobbas aktivt med att ta fram lösningar, som kan komma inom rimlig tidsram. E2 kan även innebära att projektet är pausat på grund av det för närvarande finns stora icke-tekniska oförutsedda händelser (t.ex. miljö- eller sociala frågor) som måste åtgärdas och lösas innan projektet kan utvecklas vidare.

I de fall minerallagen är tillämplig på projektet har projektet för att erhålla klassificering E2 exempelvis ett undersökningstillstånd för fyndigheten och giltig arbetsplan, en koncessions-ansökan kan ha initierats (eng. *development pending* eller *development on hold*, enligt tabell 6).

Förutsättningar för klassificering E3

Enligt UNECE (2019) innefattar E3 projekt som är icke genomförbara (eng. *non viable projects*).

Klassificeringen E3 är den lägsta nivån för klassificeringen på E-axeln och används när förutsättningarna för klassificeringen E1 eller E2 för tillfället inte är uppfyllda. Detta innebär att projektet befinner sig i ett så tidigt skede att en rimlig bedömning av projektets förutsättningar ännu inte kan genomföras, det vill säga att projektet inte förväntas kunna uppnå förutsättningar för miljömässig-, social- och ekonomisk bärighet inom överskådlig framtid (E3.2). E3.3 motsvarar en situation där det inte är sannolikt att projektet kommer uppnå miljömässig, social eller ekonomisk bärkraft. Det kan exempelvis handla om att det tänkta projektet är lokaliserad i en nationalpark. I E3.1 finns uppskattningar av de produkter som kan användas internt i projektet eller som inte kommer användas, till exempel framtida gruvavfall.

Klassificeringen E3 bör användas när ett tillstånd enligt gällande lagstiftning som kan ligga till grund för bedömning av projektets position i tillståndprocessen inte föreligger. Däremot kan en ansökan om undersökningstillstånd vara påbörjad eller inlämnad, se tabell 6.

Tabell 6. Tolkning av UNFC-klassificering av E-axeln i förhållande till tillståndsprocessen

Kategori		Ej översatt definition enligt UNECE (2019, 2021)	Tolkning i svensk kontext (enligt tillståndsprocessen)
E1	Viable project	On production	Aktiv produktion: brytning och försäljning.
E1	Viable project	Approved for development	Tillstånd med villkor enligt miljöbalken/ev. koncession har meddelats och har vunnit laga kraft
E1	Viable project	Justified for development	Tillstånd med villkor enligt miljöbalken/ev. koncession har meddelats men inte vunnit laga kraft
E2	Potentially viable	Development Pending, Development and operation are expected to become environmental, economically, socially viable in the foreseeable future	Inväntar tillstånd Prospektering enligt befintligt undersökningstillstånd
E2	Potentially viable	Development on hold	Paus i projektet
E.3.1	Non-viable	Development unclarified	Uppskattningar finns av avfallsmängder eller över den del av projektet som kan användas internt.
E3.2	Non-viable	Development not viable	Stora osäkerheter, men det kan gå att göra en rimlig prognos över projektet. Förberedelse för ansökan om undersökningstillstånd. Ansökan om undersökningstillstånd inlämnad men inte beviljad. Arbetsplan ännu ej fastställd
E3.3	Non-viable	Development not viable	Utifrån realistiska bedömningar av framtida förhållanden är det inte sannolikt att uppnå miljömässig, social eller ekonomisk bärkraft.

5.5 Naturvårdsverkets tolkning av UNFC i förhållande till miljöbalken

Naturvårdsverket delar inte SGU:s bedömningar av förutsättningarna för klassificering enligt UNFC i förhållande till den svenska tillståndsprövningen enligt miljöbalken. Naturvårdsverket gör andra bedömningar än SGU av hur klassificeringen i kategorier och underkategorier enligt definitionerna i UNFC-ramverket (UNECE 2019) och de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021) bör göras i förhållande till en tillståndsprövning enligt miljöbalken. Naturvårdsverket och SGU är överens om att Naturvårdsverket därför redogör för sin bedömning i detta avsnitt.

Klassificeringen av ett mineralprojekt enligt UNFC i Sverige är beroende av var i tillståndsprocessen enligt miljöbalken projektet befinner sig. För den här bedömningen av UNFC-klassificeringen av E- och F-axlarna utifrån tillståndsprocessen enligt miljöbalken används förutom UNFC:s ramverks definitioner (UNECE 2019) även de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021). Dessa specifikationer är ytterligare preciseringar, med samma dignitet som ramverket, om hur klassificeringssystemet ska tillämpas som kompletterar ramverksdokumentets definitioner. Under arbetet med regeringsuppdraget utarbetade UNECE även en guide för tillämpningen av UNFC för mineral- och antropogena resurser i Europa (UNECE 2022a). Definitionerna, inklusive de kompletterande specifikationerna för mineral, har enligt vägledningen dock företräde framför denna i händelse av skilda tolkningar.

Naturvårdsverket uppfattar UNFC-systemet så att definitionerna av kategorierna och underkategorierna på E-, F- och G-axlarna enligt UNECE (2019 och 2021) används för att klassificera ett projekt i en kategori eller underkategori för respektive axel. UNFC begränsar inte möjliga kombinationer av E-, F- och G-kategorier, men anger att vissa kombinationer är mer användbara

än andra. UNFC har då tillhandahållit beteckningar för vissa kluster av kombinationer av E-, F- och G-kategorier som de kallar "classes". Innan ett projekt kan placeras i en sådan "class" ska det alltså ha klassificerats i en kategori eller underkategori för respektive axel. Naturvårdsverket anser att det utifrån UNFC:s klassificeringssystem inte är möjligt att tolka E-axeln utifrån beteckningarna för dessa "classes" istället för utifrån definierade kategorier och underkategorier. Ett sådant sätt inte är förenligt med UNFC:s klassificeringssystem.

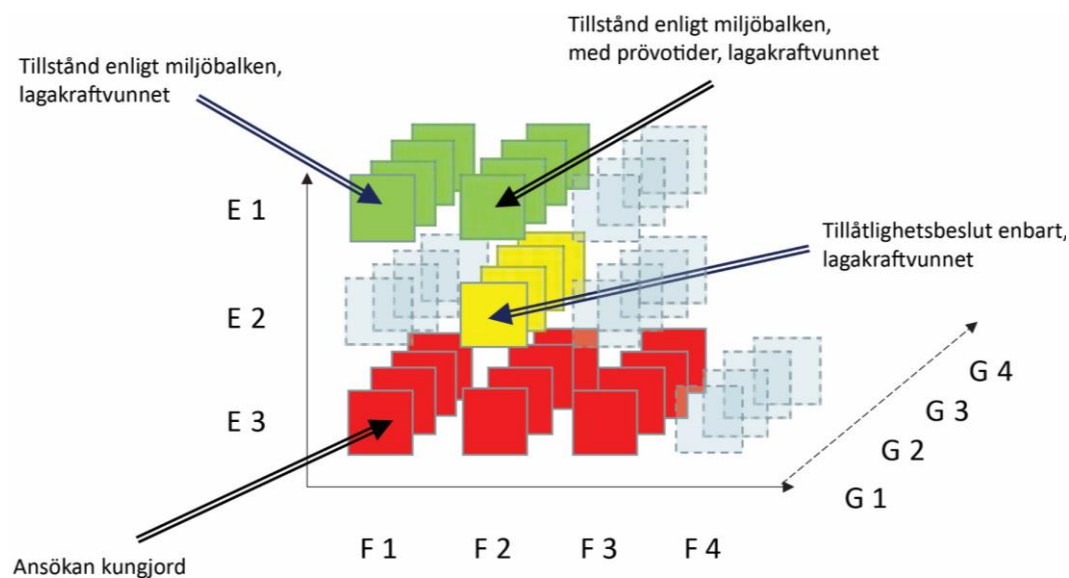
E-axeln omfattar ett projekts miljömässiga-, sociala- och ekonomiska bärighet där den social dimensionen huvudsakligen tas upp av planprocesser och andra prövningar än tillståndprocessen enligt miljöbalken.

G-axeln omfattar klassificering av tillförlitligheten i uppskattade mängder och tas inte upp i den här bedömningen utifrån tillstånd enligt miljöbalken.

Naturvårdsverkets bedömning av klassificeringen enligt UNFC i förhållande till tillståndsprocessen enligt miljöbalken utvecklas nedan men sammanfattas i följande punkter och illustreras i figur 16.

Naturvårdsverket gör sammanfattningsvis bedömningen att

- ett tillstånd enligt miljöbalken utan uppskjutna frågor medför att förutsättningar finns för klassificeringen E1F1 i relation till miljöbalken
- ett tillståndsbeslut med provotider medför förutsättningar för klassificeringen E1F2 i relation till miljöbalken
- ett tillåtlighetsbeslut i mark- och miljödomstol medför förutsättningar för klassificeringen E2F2 i relation till miljöbalken
- en ansökan om tillstånd enligt miljöbalken som kungörs av mark- och miljödomstolen medför förutsättningar för klassificeringen E3F1 i relation till miljöbalken.



Figur 16. Naturvårdsverkets sammanfattande bedömning av klassificeringen enligt UNFC i förhållande till tillståndsprocessen enligt miljöbalken.

5.5.1 Klassificering på E-axeln utifrån tillstånd enligt miljöbalken

Definitionerna av kategorierna på E-axeln, med de stödjande förklaringarna i de kompletterande specifikationerna för mineral, återges i tabell 7 och definitionerna av underkategorierna på E-axeln återges i tabell 8 (UNECE 2021).

Tabell 7. Definitionerna av kategorierna på E-axeln med de stödjande förklaringarna i de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021, s. 12, Table 3). Texten från UNFC (UNECE 2019) i kursiv.

Category	Definition	Supporting explanation for minerals
E1	<i>Development and operation are confirmed to be environmentally-socially- economically viable.</i>	<i>Development and operation (prospecting, exploration, mine production, processing, sales-access to market, rehabilitation) are environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions. All necessary conditions have been met (including relevant permitting and contracts) or there are reasonable expectations that all necessary conditions will be met within a reasonable timeframe and there are no impediments to the delivery of the product to the user or market. Environmental-socio-economic viability is not affected by short-term adverse conditions provided that longer-term forecasts remain positive.</i>
E2	<i>Development and operation are expected to become environmentally-socially-economically viable in the foreseeable future.</i>	<i>Development and operation (prospection, exploration, mine production, processing, sales-access to market, rehabilitation) are not yet confirmed to be environmentally-socially-economically viable but, on the basis of realistic assumptions of future conditions, there are reasonable prospects for environmental-socio-economic viability in the foreseeable future.</i>
E3	<i>Development and operation are not expected to become environmentally-socially-economically viable in the foreseeable future or evaluation is at too early a stage to determine environmental-socio-economic viability.</i>	<i>On the basis of realistic assumptions of future conditions, it is currently considered that there are not reasonable prospects for environmental-socio-economic viability of mining in the foreseeable future; or, environmental-socio-economic viability cannot yet be determined due to insufficient information (e.g. during prospecting and exploration). Also included are estimates associated with projects that are forecast to be developed, but which will be unused or consumed in operations (sub-economic ore, waste).</i>

Tabell 8. Definitionerna av underkategorierna på E-axeln i de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021, s. 13, Table 4). Texten från UNFC (UNECE 2019) i kursiv.

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
E1	E1.1	<i>Development and operation is environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions.</i>
	E1.2	<i>Development and operation is not environmentally-socially-economically viable on the basis of current conditions and realistic assumptions of future conditions, but is made viable through government subsidies and/or other considerations.</i>
E2	No Sub-categories defined	
E3	E3.1	<i>Estimate of mineral product that is forecast to be developed, but which will be unused or consumed in operations.</i>
	E3.2	<i>Environmental-socio-economic viability cannot yet be determined due to insufficient information.</i>
	E3.3	<i>On the basis of realistic assumptions of future conditions, it is currently considered that there are not reasonable prospects for environmental-socio-economic viability in the foreseeable future.</i>

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin E1 utifrån miljömässiga grunder finns

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin E1 utifrån miljömässiga grunder finns då tillstånd enligt miljöbalken till verksamheten har meddelats och har vunnit laga kraft. Det inkluderar även situationer då verksamhetens tillstånd enligt miljöbalken har vunnit laga kraft, men slutliga villkor i frågor har skjutits upp.

Då verksamheten har fått tillstånd enligt miljöbalken så innebär det ett miljöbalkstillstånd till den sökta verksamheten med den lokalisering och den huvudsakliga processutformning och kapacitet som bolaget har angett i sin ansökan. Mark- och miljödomstolen har då bedömt att underlaget är tillräckligt för att meddela tillstånd. Provisoriska föreskrifter kan även ha föreskrivits i väntan på slutliga villkor. De uppskjutna frågorna har inte bedömts ha betydelse för att avgöra de samlade miljöeffekterna från verksamheten. Bolaget kan därför bedriva verksamheten när tillståndet vunnit laga kraft även om frågor har skjutits upp under en provotid. Detta bör medföra klassificeringen i kategorin E1 utifrån miljömässiga grunder trots uppskjutna frågor.

Däremot kan utredningsvillkoren medföra att de ekonomiska faktorerna inte anses vara tillräckligt bekräftade för kategorin E1 utifrån ekonomiska grunder. Det skulle då kunna saknas förutsättningar för klassificeringen i kategorin E1 utifrån ekonomiska grunder (se UNECE (2021) s. 17 stycke 34 och 35 samt UNECE (2022) s. 43 som avser E-axeln och den ekonomiska bedömningen utifrån "feasibility studies").

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin E1 utifrån miljömässiga grunder saknas

Så länge ett lagakraftvunnet tillstånd enligt miljöbalken inte finns bör verksamheten inte kunna klassificeras i kategorin E1.

Om det har meddelats ett miljöbalkstillstånd utan verkställighetsförordnande och tillståndet överklagas innan det har vunnit laga kraft, får inte verksamheten sättas i gång eller bedrivas innan domstolen har tagit ställning till överklagandet. Det är inte möjligt att göra någon bedömning av sannolikheten för hur utfallet av överklagandet blir, eftersom det skulle föregå överprövningen av tillståndet.

Vid ett överklagande av ett miljöbalkstillstånd som inkluderar ett verkställighetsförordnande, får verksamheten sättas igång och bedrivas enligt tillståndet, men med risk för att förutsättningarna kan ändras eller tillståndet kan upphävas. Den stöttande förklaringen i definitionen av kategorin E1 i de kompletterande specifikationerna för mineral beskriver inte en sådan situation. Där anges att "there are reasonable expectations that all necessary conditions will be met within a reasonable timeframe and there are no impediments to the delivery of the product to the user of the market." (UNECE 2021). Att göra bedömningen att ett överklagat beslut omfattas av klassificeringen i kategorin E1 skulle vara att föregå prövningen av överklagandet.

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin E2 utifrån miljömässiga grunder finns

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin E2 utifrån miljömässiga grunder finns då verksamheten har bedömts tillåtlig av mark- och miljödomstolen och beslutet vunnit laga kraft.

Mark- och miljödomstolen kan bedöma att en verksamhet är tillåtlig genom ett tillåtighetsbeslut. Mark- och miljödomstolen bedömer då att tillstånd enligt miljöbalken med villkor kommer att kunna meddelas för den sökta verksamheten som den beskrivits i ansökan, men utan att bedöma det faktiska behovet av villkor och skälighetsbedömningen av dem. För att bedöma om den sökta verksamheten är tillåtlig ska ansökans omfattning, valet av processteknik och verksamhetens lokalisering särskilt beaktas. En tillåtighetsbedömning innebär även att de samlade miljöeffekterna ska kunna bedömas. Därtill ska även förutsättningarna för att kunna begränsa utsläpp, störningar och olägenheter till en godtagbar nivå beaktas.

Om verksamheten har bedömts tillåtlig och tillåtligheten har vunnit laga kraft kommer bolaget att få tillstånd enligt miljöbalken till den sökta verksamheten med den lokalisering och den huvudsakliga processutformning och kapacitet som bolaget angivit. Däremot kan den kommande tillståndsdomen begränsa verksamheten mer eller på annat sätt än enligt ansökan. Bolaget kan dock inte påbörja någon drift/produktion med stöd av ett tillåtighetsbeslut varför ett sådant bör medföra klassificeringen i kategorin E2 utifrån miljömässiga grunder.

Klassificeringen i kategorin E3 utifrån miljömässiga grunder

Då verksamheten inte uppfyller förutsättningarna för klassificeringen i kategorin E1 eller E2 enligt ovan, till exempel då en inlämnad ansökan ännu inte är prövad eller under prövning eller då en ansökan om tillstånd enligt miljöbalken har blivit avvisad eller avslagen av prövningsmyndigheten, bör klassificeringen i kategorin E3 användas. Den klassificeringen bör även användas tills ett tillstånd eller tillåtighetsbeslut har vunnit laga kraft. Klassificeringen i kategorin E3 bör även användas när ingen ansökan finns som kan ligga till grund för bedömning av tillstånd enligt miljöbalken eller för bedömning av tillåtligheten för verksamheten.

Kategorin E3 är den lägsta nivån för klassificeringen på E-axeln och används när förutsättningarna för klassificeringen i kategorin E1 eller E2 inte är uppfyllda. Det medför att en ansökan om tillstånd, eller tillåtighet, enligt miljöbalken som har lämnats in och har bedömts tillräcklig för att tas upp till prövning och kungjorts, men ännu inte har prövats, fortfarande bör klassificeras i kategorin E3 utifrån miljömässiga grunder. Naturvårdsverket har övervägt att situationen där en mark- och miljödomstol har kungjort ett mål skulle kunna omfattas av kriterierna för kategorin E2. När en ansökan har kungjorts har domstolens bedömning endast omfattat om ansökan är tillräcklig för att tas upp till prövning och någon prövning av ansökan har alltså ännu inte skett. Därmed skulle det vara att föregå domstolens prövning av verksamheten i sak att bedöma att projektet i kungörelseskedet omfattas av kriterierna i E2 som innebär att ett tillstånd förväntas medges inom en överskådlig framtid. Vid prövningen är det så att mark- och miljödomstolen kan komma fram till att verksamheten inte kan tillåtas och att ansökan ska avslås.

5.5.2 Klassificering på F-axeln utifrån tillstånd enligt miljöbalken

Definitionerna av kategorierna på F-axeln, med de stödjande förklaringarna i de kompletterande specifikationerna för mineral, återges i tabell 9 och definitionerna av underkategorierna på F-axeln återges i tabell 10 (UNECE 2021).

Tabell 9. Definitionerna av kategorierna på F-axeln med de stödjande förklaringarna i de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021, s 13, Table 5). Texten från UNFC (UNECE 2019) i kursiv.

Category	Definition	Supporting explanation for minerals
F1	<i>Technical feasibility of a development project has been confirmed.</i>	<i>Development or operation is currently taking place or, sufficiently detailed studies have been completed to demonstrate the technical feasibility of development and operation. A commitment to develop should have been or will be forthcoming from all parties associated with the project, including governments.</i>
F2	<i>Technical feasibility of a development project is subject to further evaluation.</i>	<i>Preliminary studies of a defined project provide sufficient evidence of the potential for the development and that further study is warranted. Further data acquisition and/or studies maybe required to confirm the feasibility of development.</i>
F3	<i>Technical feasibility of a development project cannot be evaluated due to limited data.</i>	<i>Very preliminary studies of a project indicate the need for further data acquisition or study in order to evaluate the potential feasibility or development. Additional exploration and investigation are required to confirm or to assess the technical feasibility of the project.</i>
F4	<i>No development project or mining operation has been identified.</i>	<i>Remaining quantities of product not developed by any project (not recoverable ore, at least not with available technology, too deep, groundwater issues etc.).</i>

Tabell 10. Definitionerna av underkategorierna på F-axeln i de kompletterande specifikationerna för mineral (UNECE 2021, s. 14, Table 6). Texten från UNFC (UNECE 2019) i kursiv.

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
F1	F1.1	<i>Production or operation is currently taking place.</i>
	F1.2	<i>Capital funds have been committed and implementation of the development is underway.</i>
	F1.3	<i>Studies have been completed to demonstrate the technical feasibility of development and operation. There shall be a reasonable expectation that all necessary approvals/contracts for the project to proceed to development will be forthcoming</i>
F2	F2.1	<i>Project activities are ongoing to justify development in the foreseeable future.</i>
	F2.2	<i>Project activities are on hold and/or where justification as a development may be subject to significant delay.</i>
	F2.3	<i>There are no plans to develop or to acquire additional data at the current time due to limited potential.</i>
F3	F3.1	<i>Site-specific studies have identified a potential development with sufficient confidence to warrant further testing.</i>
	F3.2	<i>Local studies indicate the potential for development in a specific area but requires more data acquisition and/or evaluation in order to have sufficient confidence to warrant further testing.</i>

Tabell 10. Fortsättning.

Category	Sub-Category	Sub-Category Definition
F4	F3.3	<i>At the earliest stage of studies, where favourable conditions for the potential development in an area may be inferred from regional studies.</i>
	F4.1	<i>The technology necessary is under active development, following successful pilot studies, but has yet to be demonstrated to be technically feasible for this project.</i>
	F4.2	<i>The technology necessary is being researched, but no successful pilot studies have yet been completed.</i>
	F4.3	<i>The technology is not currently under research or development.</i>

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken finns

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken finns då den tekniska beskrivningen i ansökan om tillstånd enligt miljöbalken är fullständig och inga frågor finns avseende teknisk genomförbarhet som förutsätter fortsatt utredning under provotid.

Alla studier för ”technical feasibility of development and operation” ska ha slutförts för att kategorin F1 ska kunna ges. Det inkluderar även utredningarna om stängning, återställning och efterbehandling. Enligt de kompletterande specifikationer för mineral är ”technical aspects of legal and governmental obligations” en relevant teknisk parameter och den inkluderar åtgärder för stängning, återställning etc. enligt t.ex. 22 kap. 1 § och 25 a § 4 miljöbalken samt 25 § första stycket 4 utvinningsavfallsförordningen (UNECE 2021, s. 18, punkt 38). Det finns därför inte utrymme för uppskjutning av frågor för att få klassificeringen i kategorin F1. Detta gäller även underkategorierna F1.1–1.3 som handlar om hur långt upphandlingar och förpliktelser har nått. Ett tillstånd enligt miljöbalken utan uppskjutna frågor medför då att förutsättningar finns för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken.

När en ansökan om tillstånd enligt miljöbalken har lämnats in bedömer prövningsmyndigheten om den är tillräcklig för att tas upp till prövning och att den därmed kan kungöras. Det finns då inga frågor om teknisk genomförbarhet som hindrar att ansökan kungörs. Förutsättningar för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken finns då den tekniska beskrivningen av verksamheten är tillräcklig för att ansökan om tillstånd, eller enbart tillåtlighet, enligt miljöbalken ska kunna tas upp till prövning. En ansökan som kungörs medför då förutsättningar för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken.

Förutsättningar för klassificeringen i kategorin F1 i relation till miljöbalken ännu inte uppfyllda

Det kan dock finnas frågor av mindre art som vid prövningen förutsätter en fortsatt utredning. Vid ett tillståndsbeslut medför det att sådana frågor fortsatt ska utredas under en provotid för att slutliga villkor för verksamheten ska kunna meddelas. Att frågor behöver sättas på fortsatt utredning betyder att den tekniska genomförbarheten av projektet inte har utretts tillräckligt som exempelvis den slutliga utformningen av försiktighetsmått och skyddsåtgärder i något visst avseende. När så sker har inte tillräckliga utredningar genomförts för klassificeringen i kategorin F1 och ett tillståndsbeslut med provotider bör därför medföra klassificeringen i kategorin F2 i relation till miljöbalken. Underkategorin F2.1 bör även kunna användas då den definieras som *Project activities are ongoing to justify development in the foreseeable future*. Provotider förutsätter den uppskjutna frågan skall avgöras så snart som möjligt vilket får bedömas vara inom en överskådlig framtid.

Vid en prövning av enbart tillåtligheten ska de samlade miljöeffekterna kunna bedömas och förutsättningarna för att kunna begränsa utsläpp, störningar och olägenheter till en godtagbar nivå beaktas. Däremot bedöms inte det faktiska behovet av villkor och skälighetsbedömningen av dem. Huruvida underlaget är tillräckligt utan ytterligare utredningar har därför inte prövats och ett tillåtlighetsbeslut bör därför medföra klassificeringen i kategorin F2 i relation till miljöbalken.

Naturvårdsverket delar dessutom inte uppfattningen att det tekniska underlaget för prövning enligt minerallagen förutsätter samma klassificering, kategorin F1, som det tekniska underlaget i en ansökan enligt miljöbalken som tas upp för prövning. Enligt Vägledning för prövning av gruvverksamhet kräver Bergsstaten att det av en ansökan om bearbetningskoncession ska framgå att sökanden har kännedom om fyndighetens omfattning och halt som minst motsvarar FRB-standardens benämning indikerad mineraltillgång. (SGU 2016, s. 27). Denna standard bygger enligt samma referens på CRIRSCO, men är anpassad till skandinaviska förhållanden. Enligt den översättning mellan CRIRSCO och UNFC som visas i UNFC vägledning för Europa (UNECE 2022, s. 7, tabell 1) motsvarar indikerad mineraltillgång som högst kategorin F2.

5.6 Utveckling av databas

Inom uppdraget ingick att ta fram förslag på en databas eftersom det i dagsläget inte finns möjligheter att lagra aggregerade data enligt UNFC. I uppdraget har det utvecklats en demoversion av en UNFC-databas. Databasen utgör i dagsläget en bas som är tänkt att kunna justeras eller byggas på efter projektets slutförande. Exempelvis finns behov av att utveckla visualiseringen av UNFC-kuben, anpassa gränssnittet till användare av databasen samt att koppla databasen till Inspire-kodning. Databasen skall kunna hantera både primära och sekundära mineralresurser och den konstrueras med tanke på att möjliggöra en framtida vidareutveckling och tillämpning av databasen på andra UNFC-resurskategorier (se fig. 12).

5.6.1 Teknisk beskrivning av utvecklingsarbetet

Arbetet har till stor del utformats genom en iterativ process mellan systemutvecklare på SGU och delar av projektgruppen. Ett övergripande syfte i utvecklingen var att databasen ska kunna fungera för alla projekt som kan hanteras inom UNFC:s ramverk (se fig. 12) och databasen skall kunna hantera såväl primära som sekundära mineralresurser. Databasen avser att underlätta för de olika målgrupperna att genomföra analyser av projekt utan att själva alltid behöva ta fram eller sammanställa de data som behövs.

Arbetet med att utveckla databasen tog utgångspunkt från användarbehoven och vilken typ av information som dessa kan tänkas ha tillgång till och vilken leverans de efterfrågar. För att erhålla en bild av detta hölls flertalet workshoppar med IT-utvecklare och projektgruppen. Erfarenheter av dessa visar att det finns ett stort kontinuerligt behov av iterering mellan systemutvecklare och projektgrupp. Utfallet från workshopparna redovisades i form av två olika användarberättelser. Berättelserna utgörs av specifika inmatningsscenarier vid användning, dvs. olika berättelser eller tänkte händelseförlopp från olika typer av användare. User-stories gjorde det möjligt för IT-utvecklarna att förstå behov av kodning och ev. hur olika delar i databasen behöver hänga ihop för att databasen ska kunna tillämpas som avsett. För underlätta kommunikationen i framtagandet av user-stories konstruerades hypotetiska användargränssnitt, som justerades efter hand.

Utifrån user-stories specificerades en tänkt modell över databasen i programmet Enterprise architect. Modellens flödesschema visar hur databasens olika delar är tänkt att hänga ihop för att fungera så som är avsett. Genom att det tillsågs att varje fältnivå fanns med databasmodellen kan dubbellagring undvikas. Databasmodellen låg därmed även till grund för att fastställa en

arbetsordning för själva utvecklingen: olika uppgifter med ev. kravställda kriterier som inledningsvis listades i en tabell. Uppgifterna, eller sk issues, lades sedan upp i Gitlab som är IT-utvecklarnas kommunikationsplattform. Under arbetet gång användes också Gitlab för att hålla ihop projektets olika delar. Efter färdigställande av en uppgift kopplades den färdiga koden till varje issue i Gitlab.

Som databas/backend användes PostgreSQL 11.2 (en open source) eftersom det inte går att koppla externa användare till en SQL server. För att ta hand om geometrierna används extension post-GIS. All kommunikation med databasen sker via applikationsgränssnittet RESTtjänst.api. API:erna skrevs med programspråket Java i programmet IntelliJ. Systemet måste vidare innehålla många olika URL-koder för att hämta och lagra begärda uppgifter från databasen. För att det inte ska finnas luckor i systemet måste samtliga tänkbara kombinationer av användarval finnas kodat. I utvecklingen ingår också att koppla ihop samtliga till gränssnittet/frontend. Gränssnittet måste även ta särskild hänsyn till exempelvis tillgänglighet, ev. mobilanpassning etc. Gränssnittet utvecklades via: Javascript biblioteket React.

Den tredimensionella grafiska visningen i UNFC-kuben är speciell att utveckla. För närvarande utreds bland annat huruvida javascript biblioteket: Threejs kan användas samt hur nedladdning i pdf för utskrift ska kunna göras.

UNFC-databasen får gränssnitt för inmatning av nya projekt, uppdatering av befintliga, samt sökning och visning/jämförelse av registrerade projekt (fig. 17). På söksidan kan användare genomföra olika typer av sökningar på registrerade projekt. Vid träff i databasen visas sökresultatet längst ned på sidan med ett urval av relevanta parametrar. Vid klick på ikoner för UNFC-kub eller karta visas dessa för respektive projekt. Ett eller flera projekt ur sökresultatet kan även bockas för och visas gemensamt för att kunna jämföra läge i UNFC-kub eller på en Sverigekarta.

Söksida "main page"

E
*

F
3

G
*

Sök UNFC-klassificering



Klickbar Masterkub / kartvisare
för alla sökresultat

Sökresultat								
Val	Projekt Namn	ID	Datum	Bild på projektkub	Kartvisare	E	F	G
☒	Yxsjöberg	342	2022-10-03			3.2	3	1+2
☒	Blötberget	7843	2022-08-08			3.2	3	1+2
☒	Grängesberg	73456	2022-07-11			3.2	3	1+2

Klickbar Masterkub / kartvisare
enskilda sökresultat

Figur 17. UNFC-databasens gränssnitt. Databasens söksida. Tre träffar från en databassökning på registrerade projekt med UNFC-klassificering F=3 visas. Klick på ikonen för UNFC-kuben till vänster visar projektens klassificering och inbördes läge i UNFC-kuben. Klick på kartikon öppnar kartvyn.

5.7 Fallstudier med klassificering av gruvavfall

För bättre förståelse av hur en grundläggande resursklassificering genom UNFC kan tillämpas presenteras i detta avsnitt några aktuella fallstudier. Fallstudierna utgörs av förekomster med sekundära resurser som SGU undersökt inom ramen för föreliggande regeringsuppdrag (avsnitt 3). Fallstudierna användes också som underlag vid arbetet med att utveckla UNFC-databasens prototyp. Nedanstående redovisningar syftar primärt till att presentera tänkbara sökningar i databasen. Därmed presenteras endast översiktliga redovisningar av bedömningar med avseende på klassificeringen av respektive resurs.

5.7.1 Fallstudie 1: Yxsjöberg

Det första av de tre projekten från databassökningen, Yxsjöberg, är en koppar-volfram-mineralisering (Cu-W) som även innehåller vismut (Bi), beryll (Be) och tenn (Sn). På den första inmatningssidan i databasens gränssnitt väljs klassificering E,F,G ur kodlista, motivering av genomförda val skrivs in som fritext (fig. 18). På E-axeln kan fyndigheten ännu inte kan bedömas, då erforderlig kunskap om sociala, ekonomiska och miljömässiga förutsättningar inte föreligger (vare sig ansökning eller tillståndprocess har påbörjats). Detta innebär en placering i kategori E3.2.

Projektet har ingen verifierad teknisk lösning för anrikning av identifierade resurser från befintliga sandmagasin och klassas därmed till F3 (praktiska tester av tänkt anrikningsteknik saknas) och ingen ansökan om miljötillstånd finns. Viss prospektering med undersökning och analys av tillgängliga mineralresurser har genomförts och en uppskattning av tillgängligt tonnage finns tillgänglig. En osäkerhetsbedömning av uppskattat tonnage har dock ej genomförts och klassning av G redovisas därför som ett spann, G1+G2 (bästa uppskattning). Fältet "Referens" innehåller inlagda referenser (pekning) till publicerade artiklar, böcker, andra databaser. I "Filer" läggs tex. foton, rapporter, kartor som finns tillgängliga som filer. Projektet Yxsjöbergs förutsättningar och tidigare brytning beskrivs i avsnitt 3.8.3.

The screenshot shows the UNFC database input interface for project Yxsjöberg. It features three main columns for classification E, F, and G. Each column has a header with a box containing the classification code (E: 3.2, F: 3, G: 1+2) and a sub-header 'Motivering av' followed by a text box for motivation. Below the motivation boxes are input fields for 'Yxsjöberg' (with an ID field), 'Plats' (with a map icon and 'Öppna i kartvisare' link), 'Referens' (with a list of references and a '+' button), and 'Filer' (with a file upload button). A 'Kategorier' dropdown menu is located below the 'Referens' field. Navigation arrows for 'Föregående version' and 'Ny version' are on the left and right respectively. The top right corner indicates 'Input page 1'.

Figur 18. UNFC-databasens gränssnitt. Ett projekts första inmatningssida. Klassificering av projektet Yxsjöberg i UNFC, Klassificering E3.2: Fyndigheten kan ännu inte bedömas avseende sociala, ekonomiska och miljömässiga attribut då kunskapen om dessa inte är tillräckliga. Ingen tillståndsansökan finns. F3: ingen teknisk lösning för anrikning av mineralresurser från sandmagasinen har verifierats. G1+G2: uppskattning av kvantiteter finns men redovisas som ett spann (bästa uppskattning) då osäkerhetsbedömning av bedömda kvantiteter ej genomförts.

5.7.2 Fallstudie 2: Blötberget

Sökningens andra projekt, Blötberget, är en mineralisering med apatitjärnmalm som förutom järn även innehåller fosfor (P) och sällsynta jordartselement (REE). Geologiskt och mineralogiskt uppvisar Blötberget stora likheter med Grängesberg (fallstudie 3). UNFC-klassificeringen för Blötberget blir utgående från tillgänglig information och samma generella projektförutsättningar som Yxsjöberg densamma, dvs. E3.2, F3, G1+G2 med identiska motiveringar (se fig. 18).

Projektet Blötbergets förutsättningar och tidigare brytning beskrivs i avsnitt 3.8.1.

5.7.3 Fallstudie 3: Grängesberg

Det tredje exemplet som beskrivs är Grängesberg, som uppvisar liknande mineralogiska och geologiska förutsättningar som Blötberget, även detta en apatitjärnmalm med fosfor och REE. Liksom ovan beskrivna fallstudier saknas även här alla tillstånd, ingen ansökan har påbörjats, praktiska tester för teknisk process för utvinning och anrikning har ej genomförts. Även här har man tack vare genomförd kartering och analys av prover dock en uppfattning om tillgängliga mineralresurser. När Grängesbergprojektet matas in i databasen får det därför samma klassificering och motivering som föregående exempelprojekt Yxsjöberg (fig. 18) och Blötberget.

Vid en senare tidpunkt inkommer ny information från företaget Grängesberg Exploration AB som meddelar att en produktionsprocess för anrikning och utvinning av fosfor nu testats och verifierats fungera. Detta innebär att projektet nu kan klassas om avseende F-axeln och bedöms nu ligga på F2.2. Vid uppdatering av information i databasen och ny klassificering av ett projekt liksom här skett skapas en ny projektversion. Klassificering av E och G ändras i detta fall ej då varken ytterligare undersökningar av resursen genomförts eller en tillståndsprocess påbörjats. Därmed kvarstår tidigare status från föregående version (E3.2, G1+G2). Användare kan bläddra mellan olika versioner inom ett projekt i databasen genom klick på svarta pilar till vänster (fig. 19).

E 3.2
Motivering av E
Ansökningsprocess för koncession / miljötillstånd har ej startat = E kan ej bedömas. Utvinning av sekundära resurser antas ej omfattas av mineral-lagen (koncessionsansökan ej erforderlig)

F 2.2
Motivering av F
Aktivt arbete med processer rörande teknisk status & genomförbarhet pågår. Praktiska anrikningstester för fosfor ur apatit har gjorts. Företaget äger mark vid magasinen och anrikningsverk.

G 1+2
Motivering av G
En uppskattning av kvantiteter finns tillgänglig. Osäkerhetsbedömning har ännu inte gjorts

Input page 1

Grängesberg ID Datum:

Plats
E N Öppna i kartvisare

Föregående version Ny version

Referens
Rapport 1256F3 +
Karta 32-4

Kategorier
Mineral
Sekundära Resurser
.....

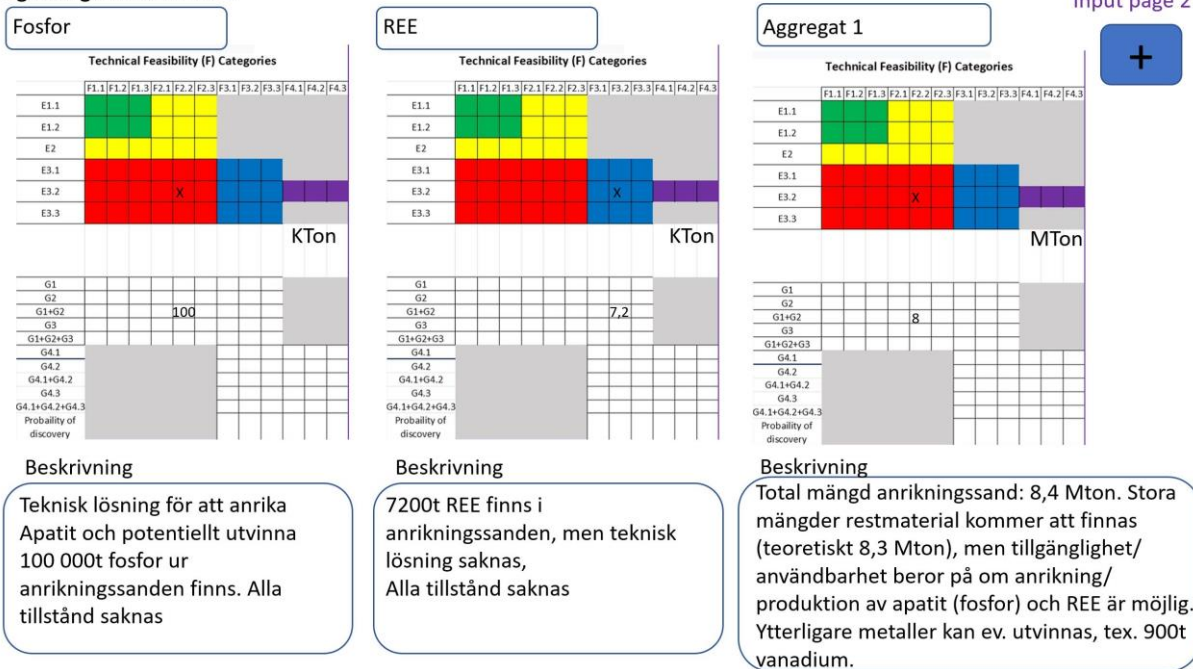
Filer
Häll.png
Rapport.doc

Figur19. UNFC-databasens gränssnitt. Grängesbergprojektets första inmatningssida efter uppdatering av bedömning för F-axeln (=ny projektversion skapas). Teknisk lösning för anrikning och utvinning fosfor ur apatit har nu verifierats = projektet rör sig från F3 till F2.2. Teknisklösning för anrikning och utvinning av REE ur apatit ännu ej verifierad. Kommer denna på plats kommer även REE-resursen att flyttas från F3 till F2.

Projektet Grängesbergs förutsättningar och tidigare brytning beskrivs i avsnitt 3.8.2. Databasgränssnittets andra inmatningssida för Grängesbergsprojektet uppdateras i och med ny klassificering av F-axeln för fosfor. Markering för fosfor flyttas nu från E3.2; F3 (blått område i matrisen) till E3.2; F2.2 (rött område). På motsvarande sätt flyttas tidigare identifierat tonnage (G1+G2) till vänster i tabellen till spalt F2.2. Tidigare klassificering av identifierade tonnage för REE och Aggregat från föregående projektversion kvarstår dock och respektive matris uppdateras därför ej. Vid projekt vars mineralresurser uppvisar olika klassificering kan krävs att ett nytt projekt skapas för att kunna hantera avvikande klassificering i databasen för projektets olika resurser. För klassificeringen av projektet används det nya värdet för fosfor, dvs F2.2. Detta framgår av tillhörande motivering på inmatningssidan (fig. 19). Har ett projekt flera mineralresurser visas klassificeringarna bredvid varandra på den andra inmatningssidan (fig. 20).

Databasens projekt kan för bättre förståelse visualiseras i den s.k. "UNFC-kuben". Kuben kan med fördel användas för att jämföra olika projekt, eller som i figur 21, för att jämföra två olika projektversioner med varandra, i detta fall för Grängesberg. Efter att produktionsprocessen för anrikning och utvinning av fosfor under 2022 verifierats fungera i praktiken kan en ny F-klassificering genomföras och därmed skapas en ny version av projektet och sparas i databasen. Projektets förflyttning längs F-axeln från 2021 till 2022 avseende fosforutvinning blir tydlig i den grafiska visningen i UNFC-kuben.

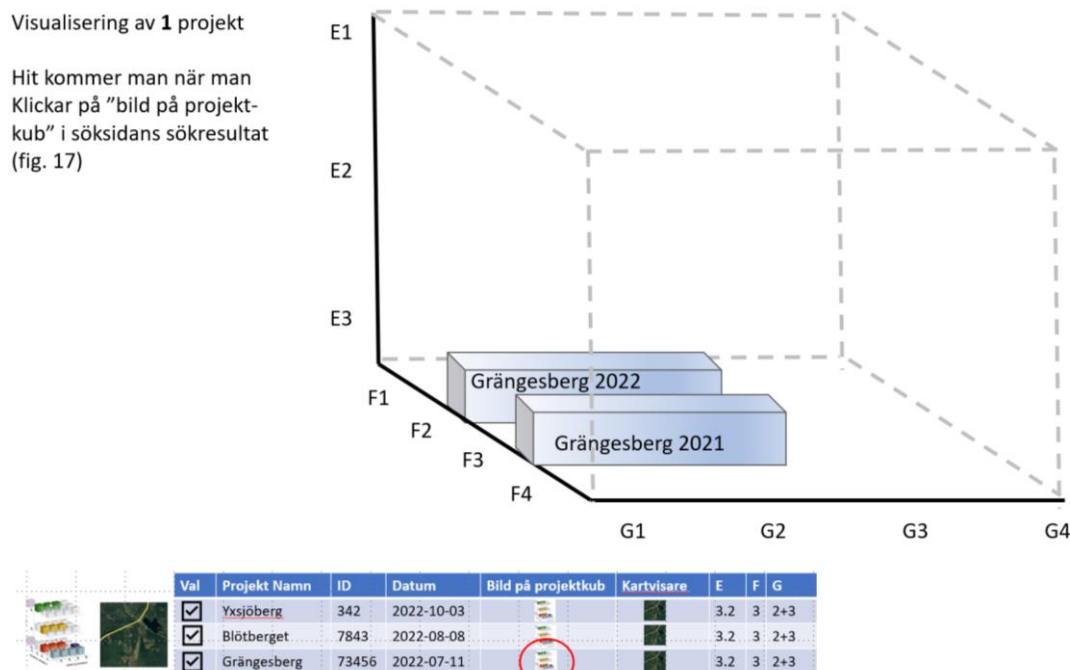
Grängesberg: Svandammen



Figur 20. UNFC-databasens gränssnitt. Grängesbergsprojektets andra inmatningssida "UNFC-matrisen". Figuren korresponderar med Grängesbergs uppdaterade projektversion (ny klassificering på F-axeln för fosfor då teknisk lösning för utvinning presenterats, jfr. med fig. 19). Klassificering av övriga identifierade mineralresurser (REE, aggregat) har ej ändrats (verifierad teknisk lösning saknas fortsatt).

Visualisering av 1 projekt

Hit kommer man när man Klickar på "bild på projekt-kub" i söksidans sökresultat (fig. 17)



Figur21. UNFC-databasens gränssnitt. "UNFC-kuben". Grängesbergsprojektet före och efter omvärderingen av F-axelns klassificering. Projektet har tack vare att en produktions- och anrikningsprocess för fosfor ur apatit verifierats fungera flyttats längs F-axeln från F3 till F2. I exemplet ovan befinner sig båda projektversioner dock fortsatt i G1+G2 respektive E3, då dessa klassificeringar ej förändrats.

5.8 Slutsatser och rekommendationer

Leveransen från uppdraget är en demoversion av en UNFC-databas som hittills har tillämpats på projekt som har undersökts inom ramen för föreliggande regeringsuppdrag. Stor del av arbetet har fokuserats på inmatning av data och visualisering av inmatade data. Mer avancerade funktioner kommer behöva utvecklas och kan först implementeras i senare versioner av databasen. Det kvarstår därmed arbete med utveckling för att möjliggöra en bred driftsättning av databasen, som även innefattar andra typer av naturresurser än gruvavfall. Det fortsatta utvecklingsarbetet med databasen berör bland annat

- visualisering av UNFC-kuben i 3D, 3D-visning och utskrift
- gränssnitt för användare (nuvarande databas har ett demo-gränssnitt) samt anpassning för mobilgränssnitt
- koppling till Inspirekoder
- kodlista för aggregat som behöver tas fram i samarbete med bland annat branschorganisationen SBMI
- kodlista för natursten som eventuellt behöver tas fram
- hantering av resurser vars värde ej är kopplat till vikt (vissa råvarors värde mäts ej i kg)
- koppling till framtida databaser från tex. EuroGeoSurveys projekt GSEU (Geological Service for Europe)
- koppling till EU projektet FutuRam (Future Availability of Secondary Raw Materials) där SGU leder arbetet om gruvavfall
- anpassning av databasen för probabilistisk analys och tillhörande stokastisk aggregering av kvantiteter för portföljanalyser.

Vidare kvarstår utredningsarbete, exempelvis kring klassificering i förhållande till minerallagen och miljöbalken och kring eventuella behov av att inmatade uppgifter ska granskas, vem som ska kunna lägga in uppgifter i databasen och om det är motiverat att eventuellt föreskriva användning av databasen. Förslag kring det fortsatta utvecklingsarbetet läggs i avsnitt 8.

Det finns flera potentiella synergier att beakta i det fortsatta utvecklingsarbetet av en databas för UNFC-klassificering. SGU deltar för närvarande i EuroGeoSurveys Horizon Europe-projekt "Geological Service for Europe" (GSEU), där SGU:s UNFC-databas för sekundära resurser är tänkt att kunna implementeras vid en inventering av tillgängliga sekundära resurser i övriga EU-stater. Den nyckelkompetens och erfarenhet som SGU kommer att få genom fortsatt databas-utveckling, inventering av svenska förekomster av sekundära resurser och implementering av dessa i databasen är av stor vikt för att nå framgång på EU-nivå inom GSEU-projektet.

UNFC:s klassificeringssystem har konstruerats för att kunna användas övergripande och är generellt tillämpligt på en rad olika resurskategorier (se avsnitt 5.1.3, fig. 12). Databasen som tagits fram i detta uppdrag har därmed stor potential att vidareutvecklas för att kunna hantera övriga UNFC-resurskategorier, såsom grundvatten, underjordslagring (till exempel CCS) och mineral (primära, jungfruliga mineralresurser). Detta möjliggör att det grundläggande arbete som hittills lagts ned på databasen kan tillgodogöras även i andra projekt. SGU har bland annat erhållit ett regeringsuppdrag att utreda lämpliga platser för koldioxidlagring i Sverige, samt analysera förutsättningarna för driften av lagringsplatserna. Detta skulle kunna innebära en möjlighet att vidareutveckla UNFC-databasen för att omfatta projekt inom resurskategorin underjordslagring i syfte att redovisa resultat från regeringsuppdraget.

6 HINDER FÖR ÖKAD ANVÄNDNING AV AVFALL SOM RESURS FÖR METALLER OCH MINERAL

6.1 Inledning

Både sekundär utvinning från gruvavfall och återvinning av kritiska metaller och mineral från produkter som blivit avfall kan bidra till att minska behovet av primär utvinning och därmed bidra till ökad resurseffektivitet, ökad cirkularitet och mindre miljöpåverkan. Det kan även vara ett sätt att bidra till tryggad försörjning av kritiska metaller och mineral. Sekundär utvinning från gruvavfall är en relativt ny typ av verksamhet som kräver ny teknik och nya processer. För en så pass ny verksamhetstyp finns det fortfarande en del juridiska oklarheter som kan hämma utvecklingen. Det finns även utmaningar med lönsamheten i verksamheten. När det gäller återvinning av metaller och mineral från uttjänta produkter har återvinning av bulkmetaller skett under en lång tid och där finns en fungerande marknad. För kritiska metaller och mineral är dock återvinningsnivåerna i de flesta fall mycket låga och för flera metaller och mineral sker ingen återvinning alls. Återvinning av metaller har pågått under lång tid och här finns således inga juridiska oklarheter, men det finns även här utmaningar vad gäller lönsamhet. Redovisningen nedan fokuserar därför framför allt på sekundär utvinning från gruvavfall.

Enligt tredje punkten i regeringsuppdraget ska SGU och Naturvårdsverket med beaktande av rapporten *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall* (dnr N2016/02787), analysera såväl kvarstående praktiska hinder som hinder i lagstiftningen mot att utnyttja gruvavfall eller andra metall- och mineralförande avfall som resurs. Myndigheterna ska föreslå kostnadseffektiva styrmedel, samt lämna författningsförslag där det bedöms lämpligt, som syftar till att öka möjligheterna att använda gruvavfall och andra metall- och mineralförande avfall som en resurs för metaller och mineral.

6.1.1 Syfte

Syftet med uppdraget är att analysera såväl praktiska hinder som hinder i lagstiftningen mot att utnyttja gruvavfall eller andra metall- och mineralförande avfall som resurs samt, om så bedöms lämpligt, lämna författningsförslag som syftar till att öka möjligheterna att använda gruvavfall och andra metall- och mineralförande avfall som en resurs.

6.1.2 Genomförande av uppdraget

I denna rapport avses med begreppet gruvavfall detsamma som avses i 4 § utvinningsavfallsförordningen samt sådant utvinningsavfall som uppkommit innan förordningens ikraftträdande. Förutom sedvanligt utredningsarbete har SGU och Naturvårdsverket under februari och mars 2022 hållit ett antal konsultationer med representanter från länsstyrelserna, gruvnäringen, återvinningsindustrierna, innovationsaktörer och Riksantikvarieämbetet. Under dessa konsultationer lyftes ett antal områden som ansågs problematiska eller som skulle kunna innebära svårigheter vid ett framtida utnyttjande av gruvavfall som en resurs. De främsta hinder som påtalades under konsultationerna var avfallsbegreppet, så kallad mellanlagring av avfall, när avfall upphör att vara avfall (inklusive så kallade end of waste-kriterier), prövningen av verksamheter som enbart omfattar gruvavfall, miljöansvaret enligt 10 kap. miljöbalken samt otydligheten i om minerallagens regler om undersökningstillstånd och bearbetningskoncession är tillämpliga på verksamheter som enbart omfattar gruvavfall. Även bristen på lönsamhet i återvinning av sekundära resurser togs upp av branschen. Dessa hinder utreds i avsnitt 6.2-6.3 nedan. Utöver konsultationerna som hölls under våren 2022 har SGU och Naturvårdsverket under hösten 2022

även haft enskilda möten med några företrädare för utvinningsindustrin för att diskutera huruvida det vore lämpligt att minerallagen görs tillämplig på utvinning av gruvavfall och vilka för- och nackdelar det finns med de olika alternativen.

Under konsultationerna lyftes även skatten på avfall (deponiskatten) upp som ett hinder för ökad återvinning ur flera olika perspektiv. Dessa hinder och möjligheten att hantera dem beskrivs i avsnitt 6.4. Till följd av att lönsamhet lyftes som ett hinder för utvinning ur gruvavfall under konsultationerna gjordes en upphandling av ett konsultbolag som fick i uppdrag att analysera praktiska hinder för utvinning av metaller och mineral från gruvavfall och eventuellt föreslå nya styrmedel. Resultaten från den studien presenteras i avsnitt 6.5. Utöver regelgeringar i befintlig lagstiftning som enligt aktörerna försvårar återvinning lyftes även bristande lönsamhet som ett hinder när det gäller återvinning av metaller från produkter som blivit avfall. Hinder och marknadsmisslyckanden gällande återvinning från produkter som blivit avfall hanteras översiktligt i avsnitt 6.6.

6.1.3 Avgränsningar

Ett av de hinder som lyftes från återvinningsbranschen under konsultationen var utmaningar med långa tillståndprocesser och möjligheter att göra ändringar i tillstånd. Den tekniska utvecklingen går snabbt inom vissa områden och det framfördes att det ibland kan vara så att det befintliga tillståndet inte är anpassat för den teknik som måste användas. Miljöprövningsutredningen som har sett över prövningsprocesserna lämnade sitt betänkande *Om prövning och omprövning – en del av den gröna omställningen* (SOU 2022:33) i juni 2022 och regeringen har, såvitt Naturvårdsverket och SGU vet, ännu inte behandlat författningsförslagen vidare. Av denna anledning har myndigheterna inte gått vidare med dessa hinder i detta regeringsuppdrag.

6.2 Legala hinder i miljöbalken för ökad användning av avfall som en resurs för metaller och mineral

Nedan följer en översiktlig analys av de legala hinder som lyftes i konsultationerna med branschföreträdare.

6.2.1 Avfallsdefinitionen

Under konsultationerna framkom att det hos deltagarna finns en viss osäkerhet huruvida sekundära resurser ska betraktas som avfall eller inte. Vad som utgör avfall definieras i 15 kap. 1 § första stycket miljöbalken och där framgår att varje föremål eller ämne som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med är ett avfall. Bestämmelsen utgår från den definition som finns i avfallsdirektivet (2008/98/EG). Så som ”avfall” är definierat i avfallsdirektivet och miljöbalken är det nästan alltid så att det framför allt är den intention som innehavaren av egendomen har i fråga om ämnets eller föremålets fortsatta hantering som avgör om det är avfall eller inte (det så kallade kvittblivningsintresset; se t.ex. *Porr Bau GmbH C-238/21*, EU:C:2022:88 p. 33–38.) Så länge något definieras som en produkt kan det inte samtidigt vara ett avfall.

Produkt eller restprodukt

Det är viktigt att bestämma om något som framställs är en produkt eller en restprodukt. En produkt är det som avsiktligt framställs i en tillverkningsprocess. En restprodukt är material som oavsiktligt produceras eller uppstår till följd av eller i en tillverkningsprocess av en produkt. Om en verksamhetsutövare avsiktligt väljer att producera materialet, t.ex. genom ett tekniskt val, är detta en indikation på att det inte handlar om en restprodukt, utan om en produkt. Om det är

möjligt att producera en avsedd produkt utan att producera ett annat material i processen och man ändå väljer att producera det andra materialet är det en indikation på att det andra materialet är en produkt och inte en restprodukt. (Naturvårdsverket 2022b)

Biprodukt eller avfall

Om ett ämne eller material inte utgör en produkt, utan en restprodukt, måste det avgöras om den utgör ett avfall eller är en biprodukt. Reglerna om biprodukter (de så kallade biproduktskriterierna) finns i 15 kap. 1 § andra stycket miljöbalken, jfr artikel 5 i avfallsdirektivet. Ämnet eller materialet utgör en biprodukt om,

1. det är säkerställt att ämnet eller föremålet kommer att fortsätta att användas,
2. ämnet eller föremålet kan användas direkt utan någon annan bearbetning än den bearbetning som är normal i industriell praxis,
3. ämnet eller föremålet har producerats som en integrerad del av produktionsprocessen, och
4. att den användning som avses i 1 inte strider mot lag eller annan författning och inte leder till allmänt negativa konsekvenser för miljön eller människors hälsa.

Bestämmelserna är kumulativa, vilket innebär att alla krav i punkterna 1–4 måste vara uppfyllda för att ett ämne eller ett föremål ska anses vara en biprodukt. Om ett ämne eller föremål bedöms vara en biprodukt kan det inte samtidigt utgöra ett avfall. Det är viktigt att komma ihåg att gränsen mellan avfall och biprodukt inte har med materialets sammansättning att göra. I en del fall kan restprodukten bestå av exakt samma material som primärprodukten. Om verksamhetsutövaren gör sig av med eller avser att göra sig av med restprodukterna är de ändå att anse som avfall. Konsekvensen av det blir att avfallsregelverket inte ska tillämpas i den fortsatta hanteringen av biprodukten och att andra regelverk i stället blir aktuella (prop. 2019/20:22, s. 26.).

Vad som utgör en produktionsprocess ska tolkas så att det omfattar en ekonomisk omvandlingsprocess och går utöver det som sker uteslutande i ett industriellt sammanhang. (Se Porr Bau GmbH C-238/21, där domstolen bedömde att den jord som ett byggföretag levererade till jordbrukare var en biprodukt och inte ett avfall.)

6.2.2 Så kallad mellanlagring av avfall

I detta uppdrag har behovet av en översyn av bestämmelserna om så kallad mellanlagring lyfts under konsultationerna. Begreppet mellanlagring av avfall används inte längre i lagstiftningen utan har ersatts av begreppet ”lagring som en del av att samla in avfall” (se 29 kap. 48–51 §§ miljöprövningsförordningen [2013:251]). I detta regeringsuppdrag har Naturvårdsverket och SGU, för att undvika missförstånd, valt att fortsatt använda begreppet mellanlagring eftersom det är det begrepp som använts under konsultationerna. Både gruvnäringen, återvinningsindustrierna och innovationsaktörerna påtalar behovet av att kunna mellanlagra avfall som innehåller mineral eller metaller under en längre tid än tre år i avvaktan på ny återvinningsteknik eller högre metallpriser. Detta utan att det för den skull ska anses utgöra en deponi enligt förordningen (2001:512) om deponering av avfall.

Naturvårdsverket har i redovisningen av regeringsuppdraget *Hantering av schaktmassor och annat naturligt förekommande material som kan användas för anläggningsändamål*, föreslagit att det införs en ny bestämmelse i 15 kap. miljöbalken som syftar till att överlåta till tillsynsmyndigheten att i vissa fall besluta att lagring av inert och icke farligt avfall ska kunna ske i mer än tre år utan att det för den skull utgör en deponi. I uppdraget föreslogs även nya bestämmelser i miljöprövningsförordningen och deponiförordningen (Naturvårdsverket 2022a, s. 140 ff.). Regeringen har under sommaren/hösten 2022 remitterat uppdraget men, såvitt Naturvårdsverket och SGU vet, i övrigt ännu inte

behandlat författningsförslagen vidare. Naturvårdsverket och SGU ser ingen anledning att göra någon annan bedömning av hur en ny bestämmelse om mellanlagring av avfall enligt deponiförordningen och deponidirektivet (1991/31/EG) skulle kunna se ut, utan ansluter sig till det förslag som lämnades i regeringsuppdraget om schaktmassor. Det bör dock noteras att deponiförordningen och även deponidirektivet undantar avfall som omfattas av utvinningsavfallsförordningen och utvinningsavfallsdirektivet. Det innebär att de föreslagna författningsändringarna inte omfattar utvinningsavfall. När det gäller mellanlagring av avfall som innehåller betydande mängder kritiska metaller och mineral har *Utredningen om en hållbar försörjning av innovationskritiska metaller och mineral* (FIMM-utredningen) i betänkandet föreslagit ett uppdrag för att undersöka lämpligheten av att även tillåta lagring av avfallsströmmar med betydande koncentrationer av vissa ämnen under längre tid än tre år (SOU 2022:56, s. 534).

6.2.3 End of waste – När avfall upphör att vara avfall

Ytterligare ett problem som lyftes under konsultationerna är avsaknaden av nationella end of waste-kriterier, vilket efterfrågades av branschföreträdare. Det upplevs som ett problem att det saknas tydliga regler för när något som har klassificerats som ett avfall upphör att vara ett avfall och i stället övergår till att vara en produkt.

Bestämmelserna om när avfall upphör att vara avfall finns i 15 kap. 9 a-c §§ miljöbalken och reglerar bland annat återvinningsförfarandet. När ett avfall ska materialåtervinnas måste det i något skede upphöra att vara avfall och när så har skett upphör avfallsagstiftningen att vara tillämplig. Att återvinna avfall så att det upphör att vara avfall kan i vissa fall vara en mycket komplicerad process, men det kan även vara relativt enkelt, till exempel genom provtagning som visar att avfallet har motsvarande egenskaper som andra produkter på marknaden, se skäl 22 till avfallsdirektivet, samt även avsnitt 6.2.4 nedan.

För att avfall ska upphöra att vara avfall behöver återvinnaren göra en bedömning enligt fastställda kriterier. Inom EU finns det tre olika typer av kriterier som kan användas för att bedöma när avfall har upphört att vara avfall. Dessa är EU-gemensamma end of waste-kriterier, nationella kriterier för när visst avfall upphör att vara avfall och bedömning enligt miljöbalkens generella kriterier. Det saknas EU-gemensamma end of waste-kriterier för utvinningsavfall och Sverige har heller inte tagit fram några nationella kriterier. Det är således återvinnaren som ska göra en bedömning i enlighet med de generella kriterier som finns i 15 kap. 9 a § miljöbalken. Det är många gånger lämpligt att verksamhetsutövaren rådgör med tillsynsmyndigheten vid denna bedömning (Naturvårdsverket 2022c).

För närvarande pågår ett arbete på EU-nivå för att hitta lämpliga avfalls- eller materialströmmar för vilka det utvecklas biprodukts- eller end of waste-kriterier. Naturvårdsverket rekommenderade i regeringsuppdraget *Avfall som resurs* att regeringen skulle avvakta med att införa nationella end of waste-kriterier (Naturvårdsverket 2021, s. 37). Det saknas anledning att inom ramen för detta regeringsuppdrag vare sig göra någon annan bedömning eller lämna några andra rekommendationer till regeringen i denna fråga.

6.2.4 Prövning enligt miljöbalken av verksamheter med sekundär utvinning

En av de frågor som lyfts under konsultationerna gällde frågan om prövning enligt miljöbalken. År 2016 fick Naturvårdsverket och SGU i uppdrag av regeringen att bland annat ta fram en långsiktig strategi för hantering av gruvavfall och bedömning av åtgärder för efterbehandling av gruvverksamhet. I rapporten *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall* konstaterade Naturvårdsverket och SGU att det inte finns några formella hinder i miljöbalken beträffande möjligheten att

få en sekundär utvinning prövad. Sådan verksamhet kan prövas på olika sätt enligt balken (SGU & Naturvårdsverket 2017, s. 42). I detta avseende hänvisar strategin till ett tidigare regeringsuppdrag, *Återvinning ur nedlagda avfallsanläggningar*, där Naturvårdsverket konstaterat att det inte finns några särskilda bestämmelser om prövning av återvinning ur utvinningsavfallsanläggningar i miljöbalken eller dess förordningar (Naturvårdsverket 2015).

Under arbetet med regeringsuppdraget har såväl länsstyrelserna som gruvnäringen framfört att det är oklart hur en verksamhet som avser utvinning ur sekundära resurser ska prövas enligt miljöbalken. Det finns därför anledning att kort redogöra för gällande rättsläge.

För att utvinna metaller och mineral behöver bearbetning ske, vanligen genom någon form av anrikningsprocess. Anläggningar för bearbetning eller anrikning av malm och mineral omfattas av tillståndsplikt enligt 4 kap. 12–14 §§ miljöprövningsförordningen.

Efter bearbetning uppstår ett avfall som måste tas om hand. I de flesta fall bortskaffas detta avfall genom deponering. Det kan ske på samma plats där avfallet från början hämtades eller på annan plats. Utvinningsavfallsförordningen gäller för hanteringen av avfall från utvinningsindustrin. Avfall som uppkommer efter bearbetning av tidigare bortskaffat utvinningsavfall (exempelvis anrikningssand) utgör även det utvinningsavfall som omfattas av förordningens tillämpningsområde.

Avfall från utvinningsverksamhet, såsom anrikningssand och gråberg, kan användas som sekundär resurs för utvinning av metaller och mineral. Avfallet finns typiskt sett i anslutning till gruvor i drift eller nedlagda sådana. För att utvinna mineral behöver avfallet tas om hand och bearbetas på nytt. Omhändertagandet kan innebära att avfallet provtas, grävs eller schaktas ut från avfallsupplaget och flyttas till bearbetningsanläggningen eller anrikningsverket, som antingen kan finnas i anslutning till avfallsupplaget eller på annan plats.

Vid sekundär utvinning av gruvavfall är det ett avfall som hanteras och det omfattas således av bestämmelserna i 29 kap. miljöprövningsförordningen. Eftersom ett visst ämne enligt avfallslagstiftningen inte samtidigt kan vara både ett avfall och en produkt är därmed 4 kap. 12–14 §§ miljöprövningsförordningen inte tillämpliga så länge gruvavfallet är att betrakta som just ett avfall.

Bestämmelserna i 15 kap. 9 a § miljöbalken reglerar när ett befintligt avfall kan upphöra att vara avfall. Enligt bestämmelsen är det en förutsättning att avfallet har genomgått ett återvinningsförfarande och att bestämmelsens samtliga punkter är uppfyllda. I avgörandet *Porr Bau GmbH C-238/21* p. 66–68, konstaterar domstolen att ett återvinningsförfarande, för att avfallet ska upphöra att vara avfall, kan vara så enkelt som en kontroll av om avfallet uppfyller kriterierna för att det ska upphöra att vara avfall. Vidare konstaterar domstolen att en undersökning för att fastställa kvaliteten och förekomsten av föroreningar eller kontaminerings i uppgrävda massor kan klassificeras som en ”kontroll” som omfattas av begreppet ”förberedelse för återanvändning”. Följaktligen kan avfall som är föremål för en sådan ”förberedelse för återanvändning” anses ha genomgått ett återvinningsförfarande om återanvändningen inte kräver någon annan förbehandling. För det fall att 15 kap. 9 a miljöbalken kan tillämpas i det aktuella fallet upphör gruvavfallet att utgöra avfall och kommer därefter att betraktas som en produkt. Detta innebär att bestämmelserna i 4 kap. 12–15 §§ miljöprövningsförordningen kan tillämpas i den fortsatta hanteringen. Notera dock anmälningsplikten i 28 § förordningen (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd (i det följande FMH).

För det fall att bestämmelserna i 15 kap. 9 a § miljöbalken inte kan tillämpas kommer avfallet inte upphöra att vara ett avfall vilket innebär att ett omhändertagande då är tillståndspliktigt enligt 29 kap. miljöprövningsförordningen. Utöver detta framgår det direkt av 9 kap. 6 a § miljöbalken att även om tillståndsplikt inte följer av miljöprövningsförordningen får tillsynsmyndigheten besluta att förelägga en verksamhetsutövare att ansöka om tillstånd, om verksamheten medför risk för betydande föroreningar eller andra betydande olägenheter för människors hälsa och miljön. En verksamhetsutövare kan även frivilligt ansöka om tillstånd även om det inte krävs, se 9 kap. 6 b § miljöbalken. Om utvinningen av metaller och mineral ur gruvavfall sker inom ramen för en pågående gruvverksamhet avgörs eventuell tillstånds- eller anmälningsplikt av omfattningen av gällande tillstånd för verksamheten. I de fall den sekundära utvinningen inte omfattas av gällande tillstånd kan anmälnings- eller tillståndsplikt aktualiseras för ändringen av verksamheten. Det är alltså en bedömning som behöver göras i varje enskilt fall.

Det finns således redan idag möjlighet att hantera prövning av sekundär utvinning enligt miljöbalken. I regeringsuppdraget *Återvinning ur nedlagda avfallsanläggningar* konstaterades att det i och för sig kan finnas skäl att behandla utvinning ur utvinningsavfallsanläggningar separat från andra deponier och avfallsanläggningar. Denna typ av verksamhet är dock inte så omfattande att det motiverar införandet av en ny prövningspunkt i miljöprövningsförordningen, eftersom en miljöprövning ändå kan ske. Om denna typ av verksamhet ökar bör dock en ny prövningspunkt övervägas (Naturvårdsverket 2015, s. 63–69).

Verksamheter med utvinning ur sekundära resurser kan se mycket olika ut och bedrivs ännu inte i någon större utsträckning i Sverige. Mot bakgrund av ovanstående bedömer Naturvårdsverket och SGU att det fortfarande saknas behov av en ny prövningspunkt i miljöprövningsförordningen.

6.2.5 Förorenade områden

Under arbetet med regeringsuppdraget har ett flertal aktörer påpekat att bestämmelserna i 10 kap. miljöbalken utgör hinder för sekundär utvinning av gruvavfall från nedlagda gruvor, framför allt med beaktande av svårigheten att förutse vilket ansvar enligt 10 kap. som följer om en verksamhet påbörjas i ett förorenat område. Inledningsvis bör klargöras att 10 kap. miljöbalken endast är tillämpligt om en förorening konstaterats och denna medför risker för hälsa och miljö. Förvaring av ämnen eller deponier som kan komma att förorena och där det ska ske ett avhjälpande i preventivt syfte bedöms i stället enligt 2 kap. miljöbalken. Om det däremot har skett en förorening i området, exempelvis genom läckande tunnor eller lakvatten från deponier, kan ansvar enligt 10 kap. miljöbalken aktualiseras.

Upplag med gruvavfall från nedlagda verksamheter utgör ofta förorenade områden enligt 10 kap. miljöbalken. Som huvudregel gäller att den som bedriver eller har bedrivit en verksamhet som har bidragit till en föroreningsskada är ansvarig för att avhjälpa skadan, 10 kap. 2 § miljöbalken. Av 8 § i lagen (1998:811) om införande av miljöbalken framgår dock att 10 kap. 2 § endast ska tillämpas på verksamheter vars faktiska drift har pågått efter den 30 juni 1969 om verkningarna av verksamheten alltså pågår vid tiden för miljöbalkens ikraftträdande och det föreligger behov av att avhjälpa skador eller olägenheter som har orsakats av verksamheten.

Den som brukar en fastighet och upptäcker en förorening som kan medföra skada eller olägenhet för människors hälsa eller miljön är skyldig att underrätta tillsynsmyndigheten, oavsett om området tidigare ansetts förorenat, se 10 kap. 11 § miljöbalken. Skyldigheten är straffsanktionerad enligt 29 kap. 5 § första stycket 3 miljöbalken. Adressat för underrättelseskyldigheten är bland annat exploatörer och andra tillfälliga nyttjare av en fastighet. Genom underrättelsen får tillsynsmyndigheten kännedom om föroreningen och kan inom ramen för tillsynen meddela föreskrifter om skyddsåtgärder och försiktighetsmått.

Vidare är det förbjudet att utan anmälan till tillsynsmyndigheten vidta en avhjälpandeåtgärd med anledning av en föroreningsskada i ett mark- eller vattenområde, om åtgärden kan medföra ökad risk för spridning eller exponering av föroreningarna och denna risk inte bedöms som ringa, se 28 § FMH. Med avhjälpande avses utredning, efterbehandling och andra åtgärder för att avhjälpa en föroreningsskada eller en allvarlig miljöskada, se 10 kap. 1 § tredje stycket miljöbalken (notera dock övergångsbestämmelserna i lagen [2007:660] om ändring i miljöbalken). Alla åtgärder som vidtas i ett förorenat område utgör således inte avhjälpande i miljöbalkens mening. I de fall sekundär utvinning utgör en del av ett avhjälpande av föroreningsskada är dock verksamheten anmälningspliktig enligt 28 § FMH.

När det är fråga om sekundär utvinning ur gruvavfall är det mest sannolikt att det är någon av två olika typer av utvinning som kan komma att ske. Det ena är så kallad utvinning ur historiskt avfall, det vill säga ett avfall som är utbrutet för lång tid sedan och där det idag inte finns någon aktiv verksamhetsutövare. Det andra fallet är utvinning ur sådant avfall där det finns en pågående verksamhet eller där verksamheten nyligen efterbehandlats av en alltjämt existerande aktör. För de fall där det fortfarande finns en annan ansvarig aktör gäller följande. Av förarbetena till 10 kap. 4 § miljöbalken framgår att om en verksamhetsutövare kan visa att en del av föroreningen endast beror på åtgärder av andra verksamhetsutövare bör det normalt inte vara skäligt att ålägga honom efterbehandlingsansvar för den delen av föroreningen (se prop. 1997/98:45, del 2, s. 121 och MÖD 2014:2).

Enligt praxis är det sällan motiverat att i undersökningsskedet jämka omfattningen av ansvaret (se MÖD 2003:127 och MÖD 2006:36). Detta gäller även om bolagets bidrag till föroreningen varit begränsat (MÖD 2014:2).

I förarbetena anges även att om en bedömning enligt 4 § första stycket skulle medföra att det inte är skäligt att utkräva mer än ett begränsat ansvar för någon eller några av de ansvariga ska inte det solidariska ansvaret få till följd att ansvar utöver begränsningen utkrävs (se prop. 1997/98:45, del 2, s. 122). Lagtextens ordalydelse tillsammans med förarbetsuttalandena innebär att det saknas rättsligt stöd för att enligt 10 kap. 6 § miljöbalken göra ett bolag ansvarigt för efterbehandlingsåtgärder utöver det ansvar som bestämts enligt 4 § samma kapitel (MÖD 2014:2).

Enligt praxis har det ansetts möjligt att rikta krav på efterbehandling mot konkursbon i två fall: dels om konkursboet fortsätter att driva konkursgäldenärens verksamhet och därigenom bidrar till föroreningen, dels om konkursboet inte bedriver någon verksamhet i egentlig mening men förvarar något som kan ge upphov till förorening och har rådighet över det som förvaras (MÖD 2013:36 Blaiken/Svärträsk).

För det fall en verksamhetsutövare önskar bedriva sekundär utvinning av historiskt gruvavfall behöver frågan om åtkomst till marken beaktas. Om verksamhetsutövaren önskar få åtkomst till fastigheten genom förvärv från den nuvarande fastighetsägaren, och denne inte är ansvarig för föroreningen i egenskap av verksamhetsutövare, är det sannolikt att detta skulle aktualisera bestämmelsen i 10 kap. 3 § miljöbalken. Bestämmelsen reglerar fastighetsägarens ansvar för avhjälpande och innebär i korthet att den som förvärvar en förorenad fastighet är ansvarig för avhjälpande om förvärvaren kände till föroreningen eller borde ha upptäckt den. Bestämmelsen ska dock inte tillämpas på förvärv som skett före miljöbalkens ikraftträdande, enligt 15 § lagen om införande av miljöbalken. Det kan inte uteslutas att bestämmelsen om fastighetsägarens ansvar har en viss hämmande effekt på en potentiell verksamhetsutövare som inte får åtkomst till den sekundära resursen på annat sätt än genom fastighetsförvärv. Den eventuella merkostnad ett sådant ansvar innebär kan bidra till att en sekundär utvinning inte anses lönsam. När det är fråga

om utvinning från historiska avfallshögar är det inte osannolikt att verksamheten avslutats före 1969 och att den då aktuella verksamhetsutövaren inte heller längre finns kvar. Vid sekundär utvinning av historiska avfallshögar kan utvinningen i vissa fall innebära en miljöförbättrande åtgärd eftersom det material som leder till föroreningsskadan tas bort. I rättsfallet NJA 2012 s. 125, konstaterade Högsta domstolen att den som har bidragit till en föroreningsskada således är att betrakta som verksamhetsutövare enligt 10 kap. 2 § miljöbalken även om åtgärderna vidtas för att den samlade belastningen på miljön i förlängningen ska minska. De åtgärder som vidtagits på fastigheten genom grävning och schaktning hade ofrånkomligen lett till att föroreningar frigjorts och spridits till omgivningen. Ett sådant frigörande och spridande av föroreningar hade medfört skada och olägenhet för miljön. Det aktuella bolaget hade således bidragit till en föroreningsskada och var att anse som verksamhetsutövare i den mening som avses i 10 kap. 2 § miljöbalken.

SGU och Naturvårdsverket bedömer att det i de fall när det är fråga om sekundär utvinning där det redan finns en verksamhetsutövare som är ansvarig för det avfall som hittills uppkommit, är möjligt att hantera ansvarsfrågan enligt gällande bestämmelser i 10 kap. miljöbalken och att den sekundära verksamhetsutövarens ansvar för miljöskadan sannolikt kommer att begränsas. Det kan dock uppstå fall där den som bedriver sekundär utvinning kan bli ansvarig för merparten av en föroreningsskada, framför allt när det är fråga om historiskt gruvavfall och det inte finns något annan verksamhetsutövare att rikta krav mot. Med hänsyn till att det i dagsläget är mycket oklart hur sekundär utvinning kommer att bedrivas och därmed även under vilka förutsättningar den kommer ske är det inte möjligt att inom ramen för detta uppdrag föreslå justeringar i 10 kap. miljöbalken. SGU och Naturvårdsverket konstaterar därför endast att det i FIMM-utredningen föreslås ett uppdrag rörande underlättning av utvinning ur avfall från gruv- och metallverksamhet vid sanering av förorenad mark inklusive hur miljöansvaret ska fördelas och lönsamheten stärkas.

6.3 Legala hinder i minerallagen för ökad användning av avfall som en resurs för metaller och mineral

Vid den konsultation som hölls med gruvnäringen, återvinningsindustrier, innovationsaktörer, länsstyrelser och Riksantikvarieämbetet framförde flera deltagare bland annat att det är oklart om minerallagen är tillämplig vid undersökning och bearbetning av enbart gruvavfall. Det framfördes även att det oklara rättsläget medför en oförutsägbarhet, vilket hämmar utvecklingen av projekt som syftar till utvinning av metaller och mineral från gruvavfall.

I rapporten *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall* beskrevs att äganderätten till mineral är oklar, något som redan konstaterats i juridisk litteratur. Det är också oklart om det finns hinder i minerallagen för en eventuell sekundär utvinning bland annat då det kan finnas ett stort antal tänkbara scenarier som är svåra att förutse. Det finns därmed ett behov av att utreda om det finns hinder i minerallagen för sekundär utvinning (SGU & Naturvårdsverket 2017, s. 42).

Vidare anges i strategin att SGU åtog sig att utreda om det finns juridiska hinder i minerallagen som försvårar möjligheterna till sekundär utvinning och vid behov lämna förslag (se Fröberg & Lundholm Advokatbyrå AB 2019). Att eventuella hinder identifieras och hanteras förväntas bidra till att främja en sekundär utvinning (SGU & Naturvårdsverket 2017, s. 69–70).

I betänkandet av *Utredningen om innovationskritiska metaller och mineral* (SOU 2022:56) föreslås att en utredning tillsätts med uppdrag att se över hur regelverket för primär och sekundär utvinning av metaller och mineral bör vara utformad för att tillgodose krav på resurseffektivitet och även i övrigt vara anpassad till moderna krav och behov. SGU och Naturvårdsverket föreslår därför inte något eget författningsförslag i frågan om ett förtydligande om huruvida minerallagen ska vara tillämplig på gruvavfall.

Vissa branschföreträdare har föreslagit att det ska införas ett förenklat prövningsförfarande för verksamheter som endast omfattar gruvavfall och att man behöver se över om vissa bestämmelser ska omfatta sådan verksamhet. Mot bakgrund av den föreslagna utredningen har SGU och Naturvårdsverket inte sett någon anledning lämna något författningsförslag i denna del.

6.4 Deponiskatten påverkar incitamenten för återvinning

Skatt på avfall som deponeras (nedan kallad deponiskatten) infördes 1 januari 2000 genom lagen (1999:673) om skatt på avfall. Enligt propositionen som föregick skattens införande (prop. 1998/99:84) är syftet med skatten att styra avfall bort från deponering och i stället mot ökad återanvändning, materialåtervinning, materialutnyttjande eller förbränning med energiåtervinning. Skatten syftar även till att minska uppkomsten av avfall. Skatt tas ut på avfall som förs in till avfalls- eller industrianläggningar där det deponeras mer än 50 ton avfall per år och gäller för avfall som förvaras mer än tre år. Skattesatsen som gällde under 2022 var på 573 kr/ton för alla skattepliktiga material. Avfallsskatten är konstruerad med utgångspunkt från nettodeponimetoden. Detta innebär, något förenklat, att skatt tas ut för i princip allt avfall som förs in till en avfallsanläggning och att avdrag får göras för skatt på avfall som förs ut från anläggningen. En stor andel av det avfall som deponeras i dag är skattebefriat genom undantag eller avdragsmöjligheter. Bergrester från gruvindustriell verksamhet, avfallssand från gruvindustriell verksamhet och avfall från vattenrening vid sådan verksamhet samt järnhaltigt avfall från rökgasrening vid tillverkning av järnmalmspellet är till exempel helt undantagna från deponiskatt.

På de konsultationer som genomfördes som en del av regeringsuppdraget lyftes återkommande deponiskatten upp som ett hinder för ökad utvinning från sekundära resurser. De argument som fördes fram var:

- När avfall förs ut från en deponi för att metaller i avfallet ska återvinnas blir de avfallsrester som blir över skattepliktiga när de ska deponeras igen. Detta anges påverka lönsamheten vid återvinning och ge konkurrensfördelar till primär utvinning där avfallet är undantaget från deponiskatt. Ett alternativ är att återvinningen sker på plats på deponin men ett problem är att många äldre deponier saknar el. Att använda mobila maskiner som körs på diesel innebär ökade utsläpp av växthusgaser. Dessa utmaningar innebär i många fall att avfallet måste flyttas ut från deponin och att de rester som sedan deponeras blir skattepliktiga.
- Aska från förbränning är skattepliktig. Bottenaskan innehåller en hög andel metaller som kan återvinnas. För 10–15 år sedan sorterades inte dessa metaller ut. För att undkomma deponiskatt används askan som täckningsmaterial på deponier. Det innebär att den metallinnehållande askan blir utspridd över stora områden och fast i konstruktioner som försvårar återvinning. Deponiskatten ger incitament till användning av det skattepliktiga avfallet på sätt som försvårar återvinning i framtiden.
- Begränsningen att avfall endast får lagras i tre år innan det blir skattepliktigt är för kort anger flera av aktörerna på konsultationerna. Man ser ett behov av att kunna lagra avfallet längre än så för återvinning i framtiden.

6.4.1 Undantag från deponiskatt

Deponiskatten och delar av den har setts över vid flera olika tillfällen och i olika sammanhang (se t.ex. Naturvårdsverket 2022, SOU 2022:9, Konjunkturinstitutet 2016, SOU 2005:64, Naturvårdsverket 2015 och Naturvårdsverket 2013). Till följd av den översyn som gjordes av Naturvårdsverket (och Skatteverket) 2015 är det sedan 1 januari 2021 även möjligt att få återbetalning av skatt för avfall som flyttas ut från anläggningar som inte längre är skattepliktiga, vilket tidigare

inte varit möjligt. Detta innebär att återvinning från deponianläggningar som inte längre är skattepliktiga inte missgynnas jämfört med återvinning från avslutade deponier som finns inom en anläggning som fortfarande är skattepliktig.

Samma utredning visade även att det inte är möjligt att införa ett undantag för deponiskatt vid återdeponering av restavfall från deponiåtervinning. Ett sådant undantag skulle innebära att ett avfallsslag behandlas olika beroende på under vilka omständigheter det uppstår. Det skulle då anses som ett otillbörligt gynnande och därmed utgöra ett statsstöd enligt EU:s statsstödsregler. Enligt Skatteverkets analys kräver statsstödsreglerna i praktiken återbetalning från staten direkt till stödmottagaren, det vill säga avfallslämnaren. Skattens grundkonstruktion (nettodeponimodellen) innebär att avdrag för skatten får göras när avfall förs ut från en skattepliktig, eller tidigare skattepliktig, anläggning. Det kan därför inte samtidigt införas bestämmelser om att samma skatt ska återbetalas till avfallslämnaren. För att kunna införa ett undantag för restavfall från deponiåtervinning krävs att grundkonstruktionen för hur skatten ska tas ut ändras (Naturvårdsverket 2015, s 43–49). Även i SOU 2022:9 har ett undantag från sekundäravfall utretts. Utredarens slutsats är att ett generellt undantag för sekundäravfall inte förväntas främja återvinning av material och resurser. Detta eftersom skatten ger incitament att minska mängden avfall som lämnas till deponering (SOU 2022:9, s 77).

6.4.2 Deponiskattens incitament för återvinning ur bottenaska

Slaggrus (bottenaska från förbränning) används idag som konstruktionsmaterial och täckmaterial för deponier och är därmed undantaget från deponiskatten. Ytterligare metaller skulle potentiellt kunna återvinnas ur slaggruset. De återstående resterna behöver då deponeras eftersom de, efter krossning, inte längre kan användas som konstruktionsmaterial, och omfattas då av deponiskatt. Frågan om ett undantag för slaggrus utreddes i SOU 2022:09. Det hinder mot materialåtervinning som deponiskatten utgör bör enligt utredaren undanröjas. Hindret kan antingen undanröjas genom att resterna som blir kvar från återvinning av slaggrus undantas deponiåtervinning eller att det inte längre är tillåtet att använda slaggrus som konstruktionsmaterial vid deponitäckning. Eftersom det andra alternativet låg utanför utredningens mandat utreddes ett undantag från deponiskatten. Dock såg utredaren att utformningen av ett sådant undantag skulle medföra komplicerade gränsdragningar, vara svårt att tillämpa samt öka administrationen, framför allt för myndigheterna. Utredaren landade därför i slutsatsen att skälen till att undanta resterna från återvinning av slaggrus från deponiskatten inte uppväger den rättsosäkerhet som ett sådant undantag skulle innebära (SOU 2022:09, s 81–83).

6.4.3 Lagring av avfall längre än tre år

I SOU 2022:9 utreddes även om det bör införas tidsbegränsade undantag för vissa avfallsslag som möjliggör att avfallet kan lagras i mer än tre år utan att belastas med deponiskatt. Utredarens slutsats är att ett tidsbegränsat undantag är problematiskt ur ett rättssäkerhetsperspektiv och skulle medföra flera komplicerade och svåra gränsdragningar. Ett tidsbegränsat undantag skulle även medföra en ökad administrativ börda för myndigheterna och att kontinuerliga bedömningar av möjligheterna till teknisk utveckling måste göras. Förutom att sådana bedömningar är mycket vanskliga att göra anser utredaren att det är olämpligt att sådana bedömningar ska ligga till grund för möjligheterna att få tidsbegränsade undantag från beskattning, vilket ytterst vore att betrakta som ett slags skattekrediter. (SOU 2022:9, s. 83–85) Avfall kan redan i dag lagras på en anläggning som omfattas av avfallsskatten och när det därefter förs ut från anläggningen så kan avdrag göras eller återbetalning ske om anläggningen upphört att vara en anläggning som omfattas av avfallsskatten.

Se även avsnitt 6.2.2 ovan om så kallad mellanlagring av avfall. Som nämns där lämnas i SOU 2022:56 ett förslag om att Naturvårdsverket och SGU bör få i uppdrag att undersöka lämpligheten av att även tillåta lagring av avfallsströmmar med betydande koncentrationer av kritiska metaller och mineral under längre tid än tre år.

6.4.4 En bredare översyn av deponiskatten behövs

De aspekter som lyftes av aktörerna under de konsultationer som hölls i februari 2022 har redan i viss utsträckning utretts av Naturvårdsverket 2015 och SOU 2022:9. Myndigheterna ser inte att det finns anledning att omvärdera de slutsatser som tidigare utredningar har kommit fram till. Dock ställer sig myndigheterna bakom rekommendationen i SOU 2022:9 och i Naturvårdsverket (2022) om att en bredare översyn av avfallsskatten är motiverad, detta för att se över skattens verkningsfullhet och samhällsekonomiska effektivitet. Någon heltäckande utvärdering av avfallsskatten har ännu inte genomförts. Sedan deponiskatten infördes har flera andra styrmedel som styr mot minskad deponering införts. Flera av de utredningar som har gjorts har framför allt fokuserat på befintliga undantag eller behovet av fler undantag, men ingen utredning har haft i uppdrag att göra en generell utvärdering av skattens effekter och samhällsekonomiska effektivitet.

6.5 Hinder för lönsamhet av utvinning ur gruvavfall

Inom ramen för detta regeringsuppdrag genomfördes även en samhällsekonomisk analys av konsultföretaget WSP. Rapporten från WSP presenteras i sin helhet i bilaga 2. Syftet var att analysera praktiska hinder för utvinning av metaller och mineral från gruvavfall och eventuellt föreslå nya styrmedel. Vid den konsultation som hölls med gruvnäringen, återvinningsindustrier, innovationsaktörer, länsstyrelser och Riksantikvarieämbetet lyftes vissa praktiska hinder som relaterar till lönsamheteventuellt kan finnas på marknaden och som inte är kopplade till legala förutsättningar som exempelvis provning enligt minerallagen och miljöbalken. Hinder som exemplifierades i konsultationen var bland annat för låga marknadspriser, tillgång till infrastruktur, kunskaps- eller kompetensbrist. Som utgångspunkt för WSP:s analys genomfördes därför en kartläggning av produktionsförutsättningar för primär utvinning respektive utvinning från gruvavfall. Kartläggningen genomfördes med hjälp av intervjuer med olika branschföreträdare och faktaisamling från befintlig litteratur och statistik inom området.

6.5.1 Utvinning från gruvavfall är en relativt ny företeelse på marknaden

Kartläggningen visade att hinder ofta uppstår på grund av avsaknaden av en särskild marknad för metaller och mineral som utvinns från gruvavfall. Samtliga råvaror, oavsett ursprung, konkurrerar på en global marknad. Sekundär utvinning från gruvavfall är en relativt ung företeelse med, relativt sett, ung teknik och nya processer. Dessutom kan metall- eller mineralinnehåll i gruvavfall vara lågt jämfört med malmer inom primär brytning. Detta bekräftas till viss del av SGU:s undersökning, provtagning och karaktärisering av historiskt grundavfall (se avsnitt 3). Liksom för primär utvinning bedöms utvinningsverksamhet för sekundär utvinning vara kapitalintensiv. Sammantaget kan det därför finnas utmaningar med att få lönsamhet i den sekundära utvinningen. Förutsättningar för lönsamhet konstateras dock skilja sig mellan utvinning från sekundära flöden i aktiva gruvor och utvinning från historiskt gruvavfall. Vid aktiva gruvor kan ett första steg mot att utvinna ur det deponerade gruvavfallet, vara att utvinna ytterligare metaller i den pågående produktionen, så kallade biprodukter, och på så sätt förebygga avfall. Vid sekundär utvinning vid befintliga gruvor finns ett lägre avkastningskrav och produktionen kan dessutom bland annat utnyttja befintlig infrastruktur. Utvinningen är alltså mindre priskänslig än utvinning från historiska gruvavfall. Den senare kan i viss mån ibland utnyttja befintlig

infrastruktur vilket minskar kostnaderna. Ett annat sätt att minska kostnaderna är att återvinning från det historiska avfallet kombineras med återöppning av den primära brytningen.

6.5.2 Bristfällig information, för lite forskning och svag styrning

Det finns brist på information för vissa marknadsaktörer inom utvinning av gruvavfall. Utifrån den samhällsekonomiska analysen konstaterades att det finns en rad osäkerheter om hur regler, lagar eller andra gällande styrmedel tillämpas för gruvavfall, mycket beroende på att det ännu inte finns en fullskalig, fungerande marknad. Förutom otydligheter i minerallagen och eventuella målkonflikter i miljöbalken, nämndes i detta sammanhang att det är centralt med information om gruvavfallet i sig. Det behövs information och kunskap om var de sekundära resurserna i form av gruvavfall som potentiellt kan utvinnas är belägna. Utan den typen av information finns inga förutsättningar att etablera en marknad. Information är dessutom en förutsättning och ett nödvändigt komplement till andra typer av styrmedel, inte minst ekonomiska styrmedel som ska öka incitamenten för utvinning från gruvavfall.

Analysen påtalade också att det finns ett stort behov av att utveckla ny kunskap och teknik samt forskning kring hur befintlig kunskap eller teknik kan tillämpas för gruvavfall. Det konstaterades att det finns få studier som behandlar utvinning från gruvavfall och att det kan finnas utmaningar med att erhålla finansiering för projekt som syftar till utveckling av teknologier och processer. Dessutom bedömdes företagskluster för aktörer inom mineralnäringen i Sverige kunna spela en avgörande roll för att det ska ske en snabbare etablering av utvinning från gruvavfall.

Politiska mål och genomslag av klimatpolitiken framfördes också som ett hinder som indirekt kan påverka lönsamheten för återvinning generellt. I detta sammanhang påtalades att generella politiska mål som exempelvis miljömålen har svårt att slå igenom i tillräckligt hög utsträckning. Trots att de i viss mån styr mot ökad utvinning av metaller och mineral av gruvavfall. Det konstaterades att politiken för klimatomställning i högre utsträckning än i dag borde speglas i priserna på marknaden. Politiken ansågs inte ställa lika tydliga och tuffa krav på återvinning som i samband med andra miljöproblem, såsom skydd från utsläpp eller föroreningar. Politiken för ökad återvinning och cirkularitet inriktas i dag på några få delar av ekonomin.

6.5.3 Möjliga styrmedel för att öka utvinning ur gruvavfall

Rapporten landar i slutsatsen att styrmedel för ökad återvinning från gruvavfall bör ta avstamp från en näringspolitisk snarare än från en miljöpolitisk kontext. Med det menas att det finns behov av en tydlig politisk inriktning för sekundär utvinning från gruvavfall, snarare än att detta flöde ska ses som ett substitut till primär utvinning från gruvor. Detta inte minst beroende på att mängderna mineral i gruvavfall i många fall inte bedöms räcka för att täcka energi- och klimatomställningens behov, varken i dag eller i framtiden. Det innebär att, för ett stort antal metaller och mineral, kan sekundär utvinning inte ersätta primär utvinning, endast komplettera, och därmed inte heller åstadkomma de stora miljöförbättringar som skulle uppstå om sekundär utvinning ersätter primär utvinning. Samtliga flöden bedöms komma att behövas för omställningen. För att flödet ska öka i omfattning konstateras därför att det finns behov av en tydlig politisk strategi med näringspolitiska argument till varför sekundär utvinning från gruvavfall måste öka. Det konstaterades även finnas säkerhetspolitiska skäl till detta eftersom säkrad inhemsk tillgång är av stor strategisk betydelse. Vidare behöver klimatpolitiska styrmedel vara mer teknikneutrala som leder till anpassningar i hela ekonomin. Exempelvis leder reduktionsplikten, stöd till elbilar, men även Klimatklivet och Industriklivet till specifika lösningar och har inget brett genomslag på priserna på marknaden och påverkar därför inte utvinning av metaller och mineral i tillräckligt hög utsträckning. Direkta subventioner till återvinning kan också vara en möjlig väg att gå.

Bland förslag på informativa styrmedel för att uppnå en fungerande marknad betonas betydelsen av geologisk information. För att möjliggöra och uppmuntra till ökad utvinning av gruvavfall skulle motsvarande information kunna tillgängliggöras genom att SGU tillhandahåller geologisk information om historiskt gruvavfall. Även högre tillgängliggörande av information om avfall från aktiva gruvor anses vara samhällsekonomiskt motiverat. Mer information kan sänka inträdeshindren för aktörer att påbörja en verksamhet för sekundär utvinning. Dessa förändringar är nödvändiga för att skapa både fungerande drivkrafter och incitamentsstrukturer på marknaden för sekundär utvinning från gruvavfall.

För att ge återvinningen högre status och öka konkurrenskraften för sekundär utvinning från gruvavfall i Sverige lyfts behovet av mer investeringar i grundforskning och i innovation, dessutom bör mer tillämpad forskning och utveckling (FoU även inkludera sekundär utvinning). Det kan handla om att utveckla ny kunskap eller sprida kunskap från primär utvinning till sekundär utvinning. Genom till exempel riktade FoU, demonstrationsanläggningar för specifika utmaningar och svårigheter som finns för sekundär utvinning från gruvavfall. Sekundär utvinning kräver ofta en annan process- och förädlingsteknologi. Till exempel innebär utvinning av jordartsmetaller och fosfor från apatitrikt gruvavfall en tillämpning av olika teknologier som i sin tur måste anpassas till järnmalmens utvinningsteknologi. Även system som hubbar eller kunskapscentrum borde uppmärksamma villkoren för utvinning av gruvavfall.

Det identifierades även ett potentiellt behov av satsningar på infrastruktur som är specifika för gruvavfall. Deponier vid nedlagda gruvor kan till exempel vara otillgängliga för att transportvägarna är föråldrade eller för att annan infrastruktur inte längre fungerar.

Sveriges produktion av metall och mineral utgör endast en liten del av den globala marknaden och produktionsvillkor för enskilda verksamheter bestäms till stor del på en global marknad. Tillgång till kapital är avgörande för att kunna vara konkurrenskraftig. Det identifierades ett behov av någon form av certifiering av produktion som tar relativt större hänsyn till miljö- samt etiska och moraliska aspekter. Eftersom gruvindustrin i dag, och historiskt, har haft rykte om sig att leda till stora negativa miljöeffekter samt till dålig hälsa för arbetare och lokalbefolkningar kan certifiering eller märkning utgöra avgörande information för investerare. Miljötullar för metaller och mineral med få produktionsplatser pekades också ut som ett möjligt styrmedel i detta sammanhang.

Utvinning av metaller och mineral karaktäriseras generellt av höga risker. Rapporten identifierar ett behov av att staten går in och tar en del av dessa risker för sekundär utvinning från gruvavfall om detta flöde anses vara strategiskt viktig för klimat- och energiomställningen. Som exempel på riskavlastning nämns möjligheter till billigare lån eller krediter. Vidare föreslås i konsultrapporten en anpassning av nuvarande gröna garantier så att de även inkluderar sekundär utvinning från gruvor. Regeringen har gett Riksgälden i uppdrag att ställa ut statliga kreditgarantier för gröna industriinvesteringar för att främja miljö- och klimatpolitiska mål.

6.5.4 Förslag i konsultrapporten som tas vidare inom regeringsuppdraget

En generell slutsats som kan dras utifrån föreliggande rapport är att det inom minerallagen och miljöbalken kan finnas en del inneboende problematik för återvinning. Dessa två legala aspekter avgränsades visserligen från uppdraget, men under konsulternas arbete visade det sig svårt att helt utesluta dessa från hindersanalysen. Eventuella legala hinder i minerallagen och miljöbalken analyseras dock utförligt ovan, i avsnitt 6.2 och 6.3, varför denna rapport inte tar vidare uppdragets slutsatser kring detta. Vad gäller insikten om att det finns behov av en tydlig politisk strategi med näringspolitiska argument till varför sekundär utvinning från gruvavfall måste öka

kan konstateras att detta ligger i linje med en av slutsatserna i regeringsuppdraget *Samverkan om hållbar batterivärdekedja* (Energimyndigheten, Naturvårdsverket & SGU 2022). SGU och Naturvårdsverket vill därmed än en gång understryka behovet av en nationell strategisk plan och riktning för att klara en hållbar försörjning av kritiska råvaror genom återvinning, lokal produktion och hållbar import.

Inom föreliggande regeringsuppdrag kommer Naturvårdsverket och SGU lägga förslag till regeringen och förslag om myndighetsinsatser som relaterar till behovet av geologisk information. Förslaget om fortsatt utveckling av UNFC-databas (se avsnitt 8.2.1), undersökning av berggrunden, utveckling av geofysiska metoder (se avsnitt 8.3.1 och 8.3.2) samt åtagande om vägledning för avfallshanteringsplaner kan till viss del möta behov av mer information. Vidare finns ett förslag i ovanstående regeringsuppdrag om ”skapande och ökat tillgängliggörande av geologisk information” för att underlätta för aktörer i branschen att snabbare ta fram beslutsunderlag, för grundforskning och tillämpad forskning.

En viktig insikt är att det finns ett stort behov av fortsatt utredning av de praktiska och ekonomiska hinder för utvinning ur gruvavfall som identifierats i rapporten. Det kan bland annat finnas behov av riskavlastning, stöd till infrastruktur, utveckling av nya tekniker och stöd till innovation och FoU. Certifiering av produktion som tar relativt större hänsyn till miljö- och etiska och moraliska aspekter, subventioner till återvinning och miljötullar kan också behöva utredas vidare. Rapporten presenterar därför ett förslag om fortsatt utredning av detta i avsnitt 8.2.4.

6.6 Hinder för återvinning av metaller från produkter som blivit avfall

Ytterligare ett möjligt sätt att öka utbudet av kritiska metaller och mineral är att återvinna dessa från produkter som blivit avfall. Den svenska handlingsplanen för en cirkulär ekonomi lyfter fram kritiska metaller och mineral som en prioriterad ström i omställningen till en cirkulär ekonomi (Regeringskansliet 2021). Under de konsultationer som hölls inom ramen för regeringsuppdraget lyftes, utöver de juridiska hinder som lyfts ovan (se avsnitt 6.2–6.3) svårigheter att få lönsamhet i verksamheten, delvis kopplat till världsmarknadspiset på metaller och mineral, befintlig lagstiftning med rapporteringskrav och regleringar kring transport av avfall som ökar kostnaderna och försvårar återvinning och utveckling av denna.

6.6.1 Återvinningen i dag

Generellt sett är återvinningsgraderna för de kritiska metallerna mycket låga i dag (se även avsnitt 7). Enligt tabell 11 står återvinningen av sällsynta jordartsmetaller för cirka 3–8 procent av den globala produktionen. När det gäller litium och grafit är återvinningsgraden närmare noll. Tittar man på vissa bulkmetaller och ädelmetaller är återvinningsgraderna mycket högre, för stål och guld utgör till exempel återvinning cirka 26 procent av det totala utbudet.

Tabell 11. Global produktion av metaller (miljoner ton år 2018) och hur stor andel av detta som är sekundärt

Metall	Produktion	Sekundärt	Metall	Produktion	Sekundärt
Stål	1860	26 %	Kobolt	0,144	<5 %
Aluminium	63,2	16 %	Litium	0,086	~ 0 %
Koppar	24,5	18 %	Sällsynta jordartsmetaller	0,220	3–8 %
Guld	0,004	26 %	Grafit	1,100	~ 0 %

Källa: Tabell från SOU 2022:56, s. 104.

Kritiska metaller ingår bland annat i produkter som fordon, batterier till elfordon, solceller, magneter till vindkraftverk, batterier till stationär lagring, mobiltelefoner, datorer, bildskärmar och annan elutrustning.

6.6.2 Barriärer och marknadsmisslyckanden bidrar till låga återvinningsnivåer

Barriärer och marknadsmisslyckanden som bidrar till att återvinningen av kritiska metaller är relativt låg har analyserats i flera olika utredningar under senare år. Se till exempel SOU 2022:56, Tillväxtanalys (2022), Söderholm (2021) och Tillväxtanalys (2015). Något som poängteras i dessa rapporter är att förutsättningarna för att öka återvinningen av olika kritiska metaller skiljer sig åt mellan olika metaller och även mellan olika typer av produkter som metallerna ingår i. Att förutsättningarna skiljer sig åt beror bland annat på att metallerna ingår i en rad olika produkter, och i dessa förekommer i olika legeringar och i olika kombinationer med andra material. Mängden metall och förutsättningarna för att få ut dessa skiljer sig alltså åt från olika produkter. Återvinningstekniken ser dessutom olika ut för olika metaller och olika regelverk reglerar olika produkter som innehåller kritiska metaller. Sammantaget innebär detta att det krävs ett produktfokus för att ta fram effektiva förslag som syftar till att öka återvinningen av en viss metall, där hinder och marknadsmisslyckanden i just den värdekedjan analyseras.

Barriärer som begränsar återvinningen av kritiska råvaror från produkter som blivit avfall

Det finns en rad barriärer som påverkar återvinningen av kritiska mineral och metaller och utvecklingen av denna. Barriärer utgör vanligtvis inget marknadsmisslyckande i strikt mening och det är därmed inte motiverat att staten går in med styrmedel för att försöka motverka dessa barriärer. I tidigare rapporter (se föregående stycke) har tre viktiga barriärer, som alla påverkar marknaden för återvunna kritiska metaller, identifierats. En av dessa är tillgången på återvinningsbart material. Utbudet av metallskrot för återvinning är i stor utsträckning beroende av konsumtionen under tidigare år, både vad gäller mängd och typ av metaller. De metaller som återvinns i dag utvanns ofta i slutet av 1900-talet. Det innebär att tillgången på återvinningsbart material i dag är betydligt lägre än dagens efterfrågan på metall. En ökad efterfrågan på, och användning av, kritiska metaller innebär dock att de faktiska mängderna återvinningsbart material kommer att öka framöver. Hur stor andel av efterfrågan som kan täckas av återvunnet material beror på hur stor den totala efterfrågan är, fortsätter den att öka kan andelen även framöver vara relativt låg. Att öka mängden återvinningsbart material, det vill säga att öka avfallsmängderna innehållande kritiska material är inte en önskvärd utveckling. Det kan däremot vara motiverat att utreda möjligheter att förbättra insamlingen, och kvaliteten i insamlingen av återvinningsbart material i olika produktflöden.

Även de volatila priserna på metallskrot utgör en barriär för ökad återvinning, något som lyftes under konsultationerna. Det ekonomiska värdet av metallåtervinning bestäms av marknadspriset på den återvunna metallen samt kostnaderna för insamling, demontering och förädling av metallen. Det ekonomiska värdet är det som styr återvinningen på en fri marknad. Vanligtvis återvinns de metaller som förekommer i större volym och som har ett högt värde per kilogram (se även fig. 23 i avsnitt 7.4). Metaller med ett lägre värde och där arbetet för att skapa stora volymer (insamling och demontering) är mer komplext återvinns som regel inte. Utöver detta påverkas förutsättningarna för investeringar i återvinning av osäkerheten om prisutvecklingen för den aktuella metallen. Precis som för primära metaller är marknaderna för återvunna metaller volatila, vilket innebär att priserna ofta varierar mycket sett över tid. Detta förklaras dels av en inkomstkänslig efterfrågan, dels ett prisokänsligt utbud (utbudet beror på tidigare tillverkning, konsumtionsmönster och innehållet av metaller i produkterna som blir avfall). Ytterligare en förklaring är att efterfrågan på vissa metaller kan skifta snabbt till följd av teknikutveckling och

innovation. Enligt Söderholm (2021, s. 130–131) är det osannolikt att försök att stabilisera priserna skulle bidra till effektivare marknader och tidigare försök har inte varit framgångsrika. Tvärtom kan de volatila priserna på både primära och återvunna metaller ge incitament till att utveckla affärsmodeller där äganderätten till metallerna i produkterna bibehålls när produkterna blir avfall.

Den tredje barriären som identifierats är kopplad till olika teknologiska restriktioner. För att effektiva marknader för återvunnen metall ska uppstå, måste det, utöver ett relativt högt värde på metallen, vara relativt enkelt och billigt att samla in och bearbeta stora volymer rent material. Detta är en utmaning när det kommer till de kritiska metallerna eftersom koncentrationen av metallerna i respektive produkt ofta är låg och dessutom att de ofta ingår i legeringar. I många fall finns det inte heller någon effektiv automatisk process för att demontera produkter och ta hand om metallerna, i många fall sker detta manuellt. Medan den primära produktionen gynnas av skalfördelar (låg styckkostnad till följd av att produktionen sker i stor skala) har återvinningen länge drivits av små, decentraliserade företag (Söderholm 2021).

Marknadsmislyckanden som kan förekomma i värdekedjor för kritiska metaller

Utgångspunkten i en analys av marknadsmislyckanden är att identifiera de hinder som bidrar till att incitamenten för industrin att handla med återvunna metaller brister eller saknas. Det vill säga de hinder som innebär att marknaden inte fungerar effektivt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv och där de beslut som köpare och säljare tar inte sammanfaller med vad som är optimalt utifrån samhällets perspektiv. Det är politikens uppgift att införa styrmedel som hanterar dessa marknadsmislyckanden så att de incitament som ges till köpare och säljare speglar vad som är önskvärt ur samhällets perspektiv. Även om marknadsmislyckanden behöver analyseras mer i detalj utifrån respektive värdekedja där de kritiska metallerna ingår finns det ett antal marknadsmislyckanden kopplade till återvinning av kritiska metaller som i olika utsträckning sannolikt förekommer i de flesta värdekedjor där metallerna ingår.

Ett marknadsmislyckande som gäller för återvinning av alla metaller är att de negativa effekter som uppstår från primär produktion av metaller inte fullt ut är internaliserade i priset på metaller. Detta innebär att produktionen inte bär de fulla kostnaderna och därmed att priset på de primära metallerna är för lågt ur samhällets perspektiv. Detta får till följd att värdet på metallerna i avfallsledet är lägre än vad det borde vara och att primära och sekundära metaller inte konkurrerar på samma villkor. Det mest effektiva skulle vara att internalisera de negativa miljöeffekter som uppstår i olika led i värdekedjan. När det inte är möjligt att internalisera negativa effekter uppströms kan det i stället vara motiverat att ge incitament till att öka återvinningen för att på så sätt minska den negativa påverkan av primärproduktion genom att den på sikt kan minska till följd av återvinning.

Andra marknadsmislyckanden som bidrar till låga återvinningsnivåer är höga kostnader för säljare och köpare att hitta varandra och att ingå avtal (så kallade transaktionskostnader). Detta kan framför allt vara ett problem på marknader där det finns många mindre aktörer och där kvaliteten på avfallet och råvaran kan variera, vilket till stor del kännetecknar återvinningsmarknaderna för kritiska metaller. Det förekommer även flera olika typer av informationsmislyckanden som bidrar till ineffektiva återvinningsmarknader. I många fall saknas till exempel information om avfallens metallinnehåll och kvaliteten på metallerna, vilket innebär att det ekonomiska värdet på metallerna är osäkert. Det kan även finnas problem med asymmetrisk information där en säljare av avfall ofta har bättre kunskap om avfallens innehåll och kvalitet än vad köparen av avfallet har. En konsekvens av asymmetrisk information är att skrot med relativt sett lägre kvalitet blir det som bjuds ut på marknaden. Så länge det inte finns något sätt för säljaren att bevisa kvaliteten på avfallet kommer en köpare inte att vara beredd att betala mer för

högre kvalitet. På efterfrågesidan finns det informationsmisslyckanden i form av brist på information om materialets användbarhet i olika produktionsprocesser. Är man inte säker på att det återvunna materialet håller rätt kvalitet för att användas i en produktionsprocess ökar sannolikheten för att den återvunna metallen används i tillverkningen av produkter där kvaliteten inte är lika viktig, så kallad downcycling. Att produkterna i många fall tillverkas på ett sätt som innebär att kostnaderna för aktörer längre ned i värdekedjan ökar innebär att det finns i externa effekter (det vill säga konsekvenser som påverkar någon annan) i produktionskedjan vilket utgör ytterligare ett marknadsmisslyckande. I dessa fall saknas det till exempel möjlighet för återvinnare att ge incitament till tillverkare att ändra produktdesign eller innehåll i produkten för att kostnaderna för återvinning ska blir lägre.

Ytterligare en bidragande faktor till de låga återvinningsgraderna av kritiska metaller är att effektiv teknologi för återvinning saknas. Det kan till viss del förklaras av att det förekommer flera olika typer av innovationsrelaterade marknadsmisslyckanden. Ett vanligt marknadsmisslyckande är att samhällets nytta av ny kunskap eller ny teknologi ofta är större än den privata nyttan eftersom ett företag som utvecklar nya teknologier sällan kan tillgodogöra sig alla fördelar som investeringen ger. Ofta kan även andra aktörer gynnas av ett företags investeringar i ny teknik eller ny kunskap. Det innebär att de privata incitamenten för att investera är lägre än de samhällsekonomiska. Enligt Söderholm (2021) är det sannolikt att metallåtervinningsindustrin är en av flera sektorer där denna typ av marknadsmisslyckande förekommer och där investeringarna i ny kunskap därmed är för låga ur samhällets perspektiv. Ett annat marknadsmisslyckande som kopplar till innovation är att de investeringsrisker som privata aktörer är villiga att ta, ofta är lägre än vad som är effektivt ur ett samhällsekonomiskt perspektiv. Riskerna rör dels osäkerheter kring den teknologi som utvecklas, den framtida marknaden, dels osäkerheter kring den politiska utvecklingen vad gäller styrmedel. Även befintlig lagstiftning kan innebära att incitamenten för återvinning påverkas. Det gäller till exempel EU:s avfallslagstiftning som reglerar bland annat vad som är avfall, hantering av avfall och transport av avfall. Flera av de marknadsmisslyckanden som kan förekomma i värdekedjorna för olika metaller sammanfaller med de som identifierades när det gäller utvinning ur gruvavfall (se avsnitt 6.5). Det gäller till exempel brist på information, innovationsrelaterade misslyckanden och höga investeringsrisker.

6.6.3 Vad behövs för att öka återvinningen?

För att ta fram specifika förslag till styrmedel som syftar till att undanröja marknadsmisslyckanden som nämnts ovan och därmed öka incitamenten för återvinning metaller och mineral från produkter när de blir avfall krävs detaljerade analyser av de värdekedjor där dessa ingår. Det är ett omfattande arbete som kräver flera olika kompetenser och inte sällan ett arbete där flera olika myndigheter måste involveras eftersom alla steg i värdekedjan behöver analyseras.

Det pågår även arbete på flera olika håll som rör återvinningen av olika produkter eller produktgrupper som innehåller kritiska råvaror. I den preliminära överenskommelsen om ny batteriförordning (2020/0353 (COD), hädanefter refererad till som *kommande batteriförordning*) finns bland annat föreslagna krav på återvinningsnivåer för till exempel litium, kobolt, nickel och koppar i litiumjonbatterier samt mål för innehåll av återvunnet material för litium, kobolt nickel och bly i bland annat batterier för el-fordon. Parallellt med detta har Energimyndigheten, Naturvårdsverket och SGU tillsammans arbetat med samverkan för etablering av en hållbar batterivärdekedja och lämnade i oktober 2022 en rapport med förslag på åtgärder (Energimyndigheten, Naturvårdsverket & SGU 2022). Kommissionen arbetar med en revidering av direktivet för uttjänta bilar (Europaparlamentets och rådets direktiv 2000/53/EG av den 18 september 2000 om uttjänta fordon) där ett förslag som följer ett liknande upplägg som

batteriförordningen förväntas komma under första kvartalet 2023. Kommissionen har även påbörjat en utvärdering av direktivet för el-utrustning (Europaparlamentets och rådets direktiv 2012/19/EU av den 4 juli 2012 om avfall som utgörs av eller innehåller elektrisk och elektronisk utrustning (WEEE)). Beroende på utfallet i utvärderingen kan sedan en revidering av direktivet komma att ske under 2023 eller tidigt 2024. I den föreslagna förordningen om ekodesign för hållbara produkter finns bland annat innehåll av återvunnet material, möjlighet till materialåtervinning och resursanvändning eller resurseffektivitet med bland de aspekter som kommissionen kan fastställa krav på ekodesign för att förbättra. FIMM-utredningen som presenterade sitt betänkande i oktober 2022 lämnar några övergripande förslag som syftar till att på sikt öka återvinningen av kritiska metaller (SOU 2022:56). Riksrevisionen granskar just nu hanteringen av uttjänta solcellspaneler, där resultaten ska redovisas i juni 2023. Samtidigt har Statens energimyndighet fått i uppdrag av regeringen att utreda hur solcellspaneler i högre utsträckning kan omhändertas på ett giftfritt och cirkulärt sätt. Uppdraget ska redovisas senast 31 mars 2024. Ett viktigt steg för att öka återvinningen är att produkterna blir mer återvinningsbara. Ett steg på vägen är att information om produkters innehåll och ursprung görs tillgängligt. De förslag som läggs fram i denna rapport om fortsatt utredning och koncepttest av ett kartläggningssystem och att verka för att produktpassen som föreslås inom EU-lagstiftningen innehåller information om kritiska metaller och mineral förväntas på sikt bidra till att ge viktig kunskap om var och i vilka värdekedjor ytterligare insatser kan behövas för att öka återvinningen. Samtidigt är det viktigt att specifika hinder och marknadsmisslyckanden i olika värdekedjor analyseras för att kunskapen ska öka och för att specifika förslag på styrmedel ska kunna tas fram.

7 LIVSCYKELBASERAT SYSTEM FÖR KARTLÄGGNING AV FLÖDEN AV KRITISKA RÅVAROR

7.1 Inledning

Enligt den internationella resurspanelen (IRP) står uttaget och utparbetningen av naturresurser globalt sett för mer än 90 procent av utarmningen av den biologiska mångfalden och vattenbristen samt för cirka hälften av klimatpåverkan (IRP 2019). Flöden av kritiska råvaror behöver så snart och i så stor utsträckning som möjligt bli mer cirkulära. Samtidigt är en långsiktigt trygg och hållbar försörjning av råvaror av kritisk betydelse för Sverige och EU. Cirkularitet i form av återvinning är ett sätt att öka försörjningsgraden. EU-kommissionens kommande batteriförordning (2020/0353 (COD)), och relaterade europeiska näringslivsinitiativ på olika nivåer ska främja detta och på så vis möta den växande globala konkurrensen om bland annat batterimetaller. För att kunna återvinna specifika material ur komplexa produkter, till exempel elfordonsbatterier, är det nödvändigt att aktörerna i olika steg av produktens livscykel har tillräckligt detaljerad och tillförlitlig information om produkten och dess innehåll.

Enligt fjärde punkten i regeringsuppdraget ska SGU tillsammans med Naturvårdsverket ge en överblick över flöden av kritiska metaller och mineral samt föreslå hur system för livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi. Arbetet har genomförts i två olika uppdrag utförda av SMED (Svensk MiljöEmissionsData som är ett samarbete mellan IVL Svenska miljöinstitutet, Statistiska centralbyrån, Sveriges lantbruksuniversitet samt Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut). SMED:s rapport om flöden finns i bilaga 3 och rapporten om system för kartläggning finns i bilaga 4. Detta avsnitt baseras på de rapporter som SMED har tagit fram.

7.1.1 Bakgrund

Den säkerhetspolitiska och energipolitiska händelseutvecklingen i Europa under 2022 har ytterligare accelererat EU:s arbete med att säkra tillgången till kritiska råvaror, minska medlemsländernas sårbarhet och ställa om till ett fossilfritt energisystem. Ett exempel på det är det pågående arbetet med European Critical Raw Materials Act (Europeiska kommissionen 2022). Det sker en snabb ökning av kunskapen om tillgång och efterfrågan på kritiska råvaror inom EU. EU-kommissionens förslag till ramförordning om krav på ekodesign för hållbara produkter (ESPR, eng. *Ecodesign for Sustainable Products Regulation*) innehåller bland annat krav på att digitala produktpass införs. Produktpassen föreslås inte täcka hela livscykeln och har fler och delvis andra syften än att främja cirkularitet. I dagsläget är det osäkert när produktpassen blir verklighet och det är inte heller säkert att de kommer att innehålla information om kritiska råvaror. Även om mycket fortfarande är oklart förväntas de digitala produktpassen sannolikt att på sikt ge förbättrade möjligheter att kartlägga produkt- och materialflöden.

7.1.2 Syfte

Syftet med denna del i regeringsuppdraget är att kunskapen om flöden av kritiska metaller och mineral i den svenska teknosfären förbättras samt att ett förslag på system för kartläggning av kritiska råvaror tas fram.

7.1.3 Tolkning av uppdraget och avgränsningar

Spårbarhet är ett brett begrepp som kan används för att beskriva många olika system, med mer eller mindre olika syften. För det förslag som har tagits fram inom ramen för det här regeringsuppdraget har tyngdpunkten lagts på totala mängder, fördelning och användning av råvaror, snarare än genom vilka värdekedjor ett visst delflöde av råvaror har flödat eller vilket hållbarhetsavtryck det råvaruflödet har orsakat. För att tydliggöra denna avgränsning benämns det system som föreslås i den här studien för ett kartläggningssystem i stället för ett spårbarhets-system.

För att förstå varför det föreslagna systemet utformats på det sätt som beskrivs i avsnitt 7.5 är det viktigt att förklara hur LCA-begreppet tolkats inom ramen för uppdraget. Livscykelanalys (LCA) beskriver en produkts eller en råvaras totala påverkan genom hela dess livscykel, från råvaruutvinning, via tillverkningsprocesser och användning till avfallshanteringen, inklusive alla transporter och all energiåtgång i mellanleden, och fokuserar på olika miljöproblem såsom klimatförändring, försurning, övergödning och utarmning av icke-fossila resurser. En LCA ger med andra ord detaljerad information om en produkts eller råvaras livscykel, men svarar varken på frågor om hur mycket av produkten eller råvaran det finns totalt eller hur de totala mängderna fördelar sig i teknosfären eller de olika stadierna av livscykeln. Livscykelinventering (LCI) är den del av analysen där alla nödvändiga data som krävs för att kunna genomföra en LCA samlas in och sammanställs. Det är den del i analysen som är mest komplex och därigenom mest resurskrävande. Att sammanställa redan genomförda LCA-studier kräver att resultaten är tillgängliga för allmänheten och dessutom behövs i allmänhet en tolkning av resultaten då en LCA-studie ofta genomförs med en specifik frågeställning och därmed inte kan nyttjas på ett allmängiltigt sätt. Ett system för att spåra eller kartlägga kritiska råvaror med syftet att bidra till en cirkulär ekonomi bör initialt inte inriktas på att samla in LCI-data och att ta fram nya LCA-undersökningar utan i stället fokuseras på var olika material finns, i vilka mängder dessa förekommer samt var i livscykeln (teknosfären) dessa befinner sig och när de, om möjligt, kan bli tillgängliga för att återanvändas eller återvinnas. I ett uppbyggnadsskede är det därmed ett livscykelperspektiv som behövs i systemet, inte ett system för livscykelanalys.

Kartläggningen och det föreslagna systemet för kartläggning har avgränsats till sekundära flöden i den svenska teknosfären i form av uttjänta produkter. Sekundära flöden i form av rester från gruvindustri och råvaruframställning inkluderas däremot inte.

7.2 Ett livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska metaller och mineral

I regeringsuppdraget efterfrågas hur ett system för livscykelanalys (LCA) och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi. I arbetet med att föreslå utformningen av systemet har visionen i den svenska handlingsplanen för en cirkulär ekonomi beaktats. Visionen är: ”Ett samhälle där resurser används effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material”.

Systemet bör utformas för att kunna hantera information om i vilka produkter och materialflöden det går att hitta kritiska råvaror, samt hur användningen av dessa material/produkter förändras över tid. Systemutformaren behöver också beakta vilken information som finns tillgänglig i andra redan framtagna system och vad som är på gång, för att i möjligaste mån kopplas till dessa. Systemet bör även utformas för att kunna innehålla information om befintlig och framtida användning, återanvändning och återvinning av kritiska råvaror.

Mot bakgrund av att det är själva tillgången till materialen som gör att de är kritiska bör huvudsyftet vid utformningen av systemet vara att bidra till att primära material ersätts. Systemet bör därför innehålla information om mängd och koncentration av kritiska råvaror och hur de flödar

genom teknosfären, på ett sätt så att det ska gå att identifiera när och var ett material riskerar att förloras genom materialläckage och downcycling. Med materialläckage avses att material går förlorat ur kretsloppet, till exempel genom att produkter hamnar på deponi. Det kan både bero på att produkten inte alls samlas in för återvinning och/eller inte kan återvinnas, antingen på grund av att designen omöjliggör det eller för att det saknas information om hur produkten ska återvinnas. Detta gäller bland annat batterier, där en stor del av Europas batterier försvinner ut ur EU i slutet av livscykeln (ECOS 2021). Downcycling innebär att ett material med hög renhet återvinns till ett nytt material med lägre renhet. Dess specifika egenskaper går delvis förlorade. Exempel är stål som smälts om till armeringsjärn. Det är ett exempel på så kallad icke-funktionell återvinning.

Vid utformningen av systemet har utgångspunkten varit att inte begränsa antalet råvaror. De råvaror som av EU listas som kritiska behöver ingå, men systemet kan behöva ta höjd för fler råvaror som framöver kan ses som strategiska trots att de inte finns med på listan i dag. Eftersom antalet råvaror är stort kan det finnas ett behov av att införa en metodik i systemet som möjliggör prioriteringar av hur olika råvaror hanteras. Exempel på kriterier kan vara råvaror som kommer att behövas för att genomföra omställningen som ett led i att klara klimatmålen.

7.2.1 Kritiska råvaror i kartläggningen och kartläggningssystemet

Kritiska råvaror är inte en entydigt eller för all framtid definierad grupp av material. Kommissionens lista över råvaror av avgörande betydelse (CRM), innehåller för närvarande 27 enskilda ämnen och tre ämnesgrupper. Dessa ämnesgrupper består i sin tur av totalt 16 lätta och tunga sällsynta jordartsmetaller och sex olika platinagruppermetaller. En uppdatering av nuvarande förteckning är planerad till våren 2023. I kartläggningen har utöver CRM dessutom koppar, mangan och nickel inkluderats eftersom de bedöms vara särskilt viktiga ur ett svenskt perspektiv. Detta eftersom de är nödvändiga för de tekniker som bedöms vara viktiga för den svenska klimat- och energiomställningen under de kommande decennierna: litiumjonbatterier, vindturbin-generatorer, elmotorer, bränsleceller/elktrolysörer och fotovoltaiska solceller. Vad som är kritiskt beror med andra ord på sammanhang och perspektiv i förhållande till faktisk ekonomisk betydelse och utbud. I den här delen av regeringsuppdraget syftar begreppet kritiska råvaror därför på de material som samhället vid en given tidpunkt bedömer vara nödvändiga för att genomföra klimat- och energiomställningen. Det innebär att det inkluderar de 52 ämnen som beskrivs ovan. Därtill kan det finnas ytterligare råvaror som är eller kan komma att klassas som kritiska sett ur ett nationellt försvars- eller samhällsförsörjningsperspektiv.

7.3 Pågående arbete med kopplingar till systemets utformning och en cirkulär ekonomi

Vid utformningen av ett nytt system för kartläggning behöver hänsyn tas till den lagstiftning som redan finns på plats och de förslag till ny lagstiftning som är på gång.

Som en del av den europeiska handlingsplanen för cirkulär ekonomi (Europeiska kommissionen 2020a) har det under senare tid kommit flera förslag till ny eller reviderad lagstiftning med syfte att uppnå mer resurseffektiva flöden och för att hushålla med jordens naturresurser. Bland dessa kan nämnas den kommande batteriförordningen (2020/0353 (COD)), förslaget om ESPR, initiativ till en ny rättsakt om kritiska råvaror samt taxonomiförordningen som syftar till att säkerställa en hållbar finansiering. Utöver detta kan även FN:s system för klassificering och förvaltning av energi- och mineralresurser (United Nations Framework Classification for Resources, UNFC) nämnas (se avsnitt 5).

Av redan etablerade system pekar flera aktörer på OECD Due Diligence Guidance som en användbar grund för ett standardiserat arbetssätt för hållbarhetsarbete (UN Global Compact 2014, Tillväxtanalys 2019)

I den kommande batteriförordningen (2020/0353 (COD)) ingår bland annat märknings- och informationskrav, både i form av fysisk märkning och information via QR-kod. För industribatterier, batterier för lätta transportmedel (elcyklar och elsparkcyklar) och batterier till elektrifierade vägfordon väntas ett produktpass införas. Företag åläggs att ge omfattande information om sina batterier, inklusive andel återvunnet material, koldioxidavtrycket från tillverkningen och information för att underlätta återvinning och återbruk. Dessutom kommer produktpassen innehålla information om batteriernas innehåll, t.ex. förekomsten av kritiska råvaror. De flesta typer av batterier innehåller ofta både kritiska råvaror och andra råvaror av högt värde. Som exempel ingår koppar och grafit i ett flertal batterityper. Kobolt, litium, nickel och mangan går att hitta i litiumjonbatterier, nickel, kobolt och sällsynta jordartsmetaller i nickelmetallhydridbatterier, antimon är vanligt i blybatterier och i alkaliska batterier finns mangan och små mängder av indium.

Kommissionens förslag till ESPR syftar till att möjliggöra reglering av produkters hållbarhet genom hela livscykeln. Förslaget innebär att kommissionen ges befogenhet att sätta ekodesignkrav för produktgrupper för bland annat hållbarhet, återanvändbarhet, reparerbarhet, innehåll av skadliga ämnen, innehåll av återvunnet material, återtillverkning och återvinning och förväntad mängd avfall som produkten ger upphov till. Förslaget innehåller också krav på att digitala produktpass tas fram för de produktgrupper som kommer att regleras. Syftet med produktpassen är att alla aktörer längs en produkts värdekedja ska få relevant information för att kunna hantera produkten, förenkla marknadskontroll och säkerställa spårbarhet. Utformningen av och innehållet i produktpassen kommer att regleras i de delegerade akterna för respektive produktgrupp, där det bland annat kommer att anges på vilken nivå (individ, batch, modell) de ska implementeras. I dagsläget pekas elektronisk utrustning, batterier, textil samt möbler och heminredning ut som några av de första produktgrupperna att regleras i delegerade akter. Tidigast år 2025 väntas de första produktpassen vara framtagna. I dagsläget finns ingen specifik skrivning för information om kritiska råvaror i förslaget. Beroende på vilka produktgrupper eller branscher som kommer att omfattas är det troligt att viss information om kritiska råvaror kan komma via de digitala produktpassen, och i framtiden bör det system som förslås i denna rapport sammankopplas med systemet för produktpassen.

EU kommissionens initiativ till en ny rättsakt om kritiska råvaror (Europeiska kommissionen 2022) syftar till att stärka EU:s övervakningskapacitet och dess värdekedja, detta genom att kartlägga projekt för mineralresurser och råvaror i EU:s strategiska intresse. Även EU:s internationella politik för viktiga råvaror ska stärkas. Rättsakten ska bli en del i EU:s arbete för att klara den gröna och digitala omställningen genom att avsevärt öka tillgången till kritiska råvaror, diversifiera vår försörjning och stödja forskning och innovation. Initiativet har varit ute för konsultation under hösten 2022 och ett förslag till förordning från kommissionen väntas under första kvartalet 2023. Eftersom förslaget fortfarande vare sig är slutligt formulerat eller förhandlat är mycket ännu osäkert om utfall och tidsplan.

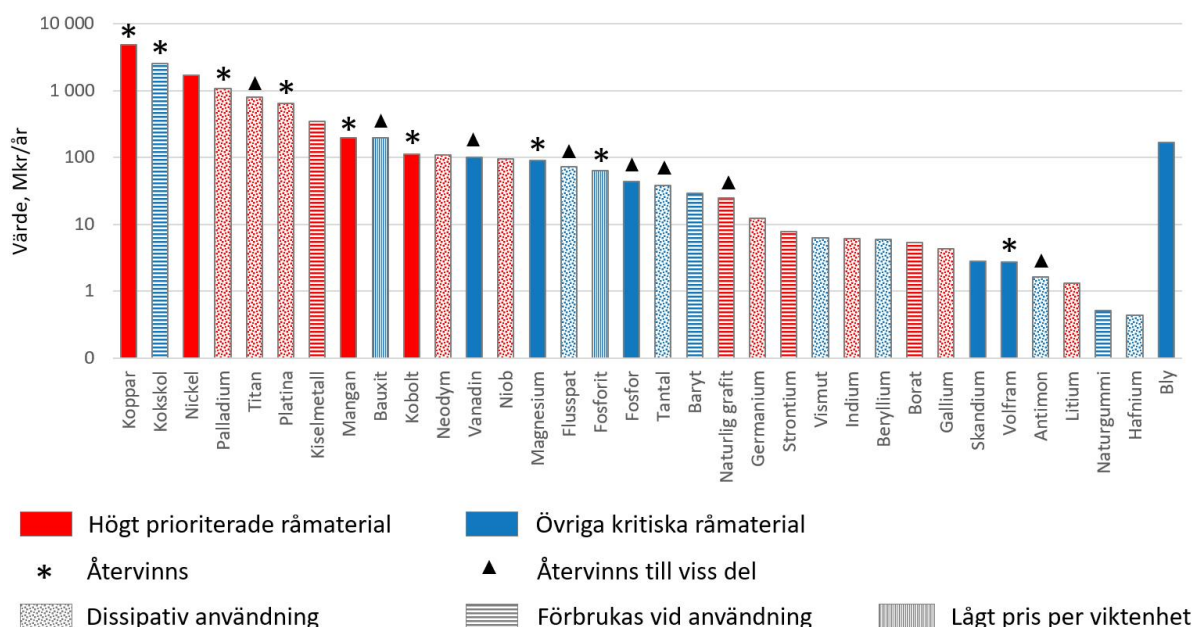
De flesta av de regleringar som redan finns på plats eller är på gång kommer att påverka näringslivet både direkt och indirekt. Det gäller kanske i särskilt hög grad införandet av digitala produktpass. Flera svenska företag har arbetat med spårbarhetssystem av olika slag under längre tid och sedan en tid tillbaka finns också ett antal svenska näringslivsinitiativ för att agera proaktivt inför införandet av digitala produktpass. Två exempel är Trace4Value som driver flera projekt för hållbar systemtransformation och ProPare som satsar på att utveckla den underliggande infrastrukturen för digitala produktpass.

7.4 Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råvaror

De råvaror som studerades i kartläggningen bestod av alla ämnen på EU:s förteckning av kritiska råvaror (se avsnitt 2.3 och 7.2.1), samt koppar, nickel och mangan. Samtliga ämnen karaktäriserades kvalitativt med avseende på betydelse för tillverkning av energitekniker för klimat- och energiomställningen samt återvinningspotential. Av de studerade ämnena bedömdes 19 vara av särskilt stor betydelse och av dessa valdes kobolt, platinagruppmetaller, neodym och indium ut för en fördjupad kartläggning av flöden och trender (fig. 22). Dessa ämnen valdes dels för att de representerar de olika teknikslagen, dels för att deras sekundära flöden är tillräckligt väl beskrivna i tillgängliga data. På grund av databrist var det inte möjligt att kartlägga samtliga 19 ämnen inom ramen för studien.

Kartläggningen visade att återvinningen är låg för många av de kritiska och strategiskt viktiga råvarorna. I de flesta fall beror det på att det totala värdet av materialet är för lågt för att motivera återvinningskostnaden. Det är, generellt sett, också en lägre återvinningsgrad av de ämnen som huvudsakligen används i låga koncentrationer i många produkter, så kallad dissipativ användning. Vissa kritiska råvaror är dessutom så gott som omöjliga att återvinna tillbaka till sin ursprungliga form efter den användning som är vanligast idag, till exempel kokskol som förbränns till koldioxid och kiselmetall som oxideras till kisel-dioxid.

Internationellt finns flera exempel på att stora återvinnare av kritiska och strategiskt viktiga råvaror är samma aktörer som även tar emot primära flöden. Den sekundära råvaran fungerar då som i stort sett vilken råvarukälla som helst och går in i flödet ihop med till exempel koncentrat. Möjligheterna och lönsamheten för ökad sekundärproduktion kan därför komma att gå hand i hand med primärproduktion av kritiska råvaror.



Figur 22. Figuren illustrerar värdet för 33 av 52 studerade råvaror. I figuren saknas samtliga sällsynta jordartsmetaller utom neodym samt fyra platinagruppmetaller. Utöver de 17 ämnena med röda staplar bedöms även jordartsmetallerna dysprosium och praseodym vara av särskilt stor betydelse för den svenska omställningen. Råvarorna har sorterats utifrån uppskattat ekonomiskt värde, i fallande storleksordning med ett högt värde till vänster i figuren och lågt värde till höger i figuren. Logaritmisk skala. Diagrammet är hämtat från bilaga 3.

Både det totala värdet och användningen av kritiska och strategiskt viktiga råvaror kommer att ändras i och med en ökad efterfrågan till följd av omställningen av energi- och transportsektorerna. Den tekniska utvecklingen och ekonomiska betydelsen bedöms inom en snar framtid att leda till investeringar i funktionell återvinning av i första hand neodym och niob. Förändringarna i materialflöden kommer att påverka bland annat metallernas uppehållstider i teknosfären, återvinningspotential och vilka aktörer som ingår i respektive värde-/försörjningskedja. En utmaning för att uppnå återvinning och därmed ökad cirkularitet är att flera klimatvänliga energitekniker kräver hög renhet på materialet. Det är så gott som alltid lättare att återvinna ett material med hög renhet till ett nytt material med lägre renhet, så kallad downcycling, än tvärtom. Det gör till exempel att det är svårt att låta kobolt från en legering återvinnas för att ingå i ett batteri, men det kan fungera att återvinna koboltinnehållande batterier till en legering.

Den fördjupade kartläggningen av kobolt, platinagruppermetaller, neodym och indium gav följande resultat, samtliga värden är dock mycket osäkra:

Kobolt är en viktig komponent i bland annat litiumjonbatterier för elfordon. Mängden kobolt i dagens sekundära flöden skattas till cirka 900 ton/år, varav 50 procent ingår i legeringar för hårdbeläggningar och höghållfasthetsstål, endast 5 procent i elfordonsbatterier och ytterligare 10 procent i andra batterier. Totalt återvinns cirka 400 ton/år, 200 ton/år exporteras och 300 ton/år förloras, det vill säga försvinner ur de spårbara flödena. Elektrifieringen av transportsektorn och energisystemet kommer att bidra till en stor ökning av litiumjonbatterier som används i Sverige. Redan 2030 bedöms det sekundära flödet ha mer än fördubblats till 2 000 ton/år, vilket inkluderar både inhemskt och importerat material. Den viktigaste förändringen i flöden kommer från Northvolts långt gångna planer på att återvinna 800 ton/år. Enligt Northvolt kan deras återvinningskapacitet på längre sikt öka till så mycket som 4 000 ton kobolt/år.

Platinagruppermetaller förväntas få en ökad användning i elektrolysörer för vätgasframställning och i bränsleceller. Dagens sekundära flöde av platinagruppermetaller skattas till cirka 4 ton/år, varav 1 ton/år kommer från fordonskatalysatorer och 2 ton/år från elektronik. Totalt återvinns cirka 3 ton/år, 0,5 ton vardera exporteras och går förlorat. Av det totala flödet på cirka 4 ton kommer ungefär hälften från import eller ett okänt ursprung som inte gick att spåra i statistiken. Fram till 2045 bedöms den ackumulerade mängden av platinagruppermetaller i den svenska teknosfären minska med cirka 0,5 ton. Orsaken är att antalet fossildrivna fordon kommer att sjunka i takt med att de ersätts av elektrifierade fordon. Minskningen av platinagruppermetaller i katalysatorer bedöms bli större än ökningen av metallerna i energitekniker som bränsleceller och elektrolysörer.

Neodym spelar, tillsammans med de sällsynta jordartsmetallerna praseodym och dysprosium, en viktig roll i framställningen av permanentmagneter, så kallade NdFeB-magneter. Mängden neodym i dagens sekundära flöde skattas till cirka 150 ton/år. Än så länge bidrar elfordon och vindkraft till blygsamma 3 procent av dessa sekundära flöden. Huvuddelen kommer från elektronik (40 procent) och övriga magneter (drygt 50 procent). Idag är återvinningen försumbar, men troligtvis finns en mycket stor potential. Användningen av neodym förutspås öka kraftigt de närmaste åren, framför allt inom sektorerna vindkraft och elektrifierade fordon. Eftersom det rör sig om komponenter med lång teknisk livslängd, särskilt för vindkraft, kommer det att vara en betydande eftersläpning innan det sekundära flödet ökar i motsvarande grad.

Indium används bland annat i olika plattskärmar men även i solceller. Dagens sekundära flöde av indium skattas till 2 ton/år, varav förekomst i olika former av plattskärmar (tv, LCD-monitorer, mobiler och laptoppar) utgör 70 procent, innehåll i alkaliska batterier utgör 10 procent och resten utgörs av användning i bland annat halvledare, lödmetall, legeringar och termiskt gränssnittsmaterial. Andelen sekundärt indium från solceller är svår att bedöma då det saknas information

om vilka typer av solceller som används, men det bedöms än så länge vara lägre än 1 procent. Även om solcellsinstallationerna ökar mycket snabbt kommer det att dröja flera decennier innan det ger en märkbar ökning i det sekundära flödet. Återvinningen av indium från uttjänta produkter är mycket låg och förutspås fortsätta vara låg om inte råvarupriset ökar. Däremot kan återvinning av indium ur industriavfall bli aktuellt med tanke på att det kräver en betydligt enklare process.

7.5 System för kartläggning av mängder och flöden av kritiska råvaror

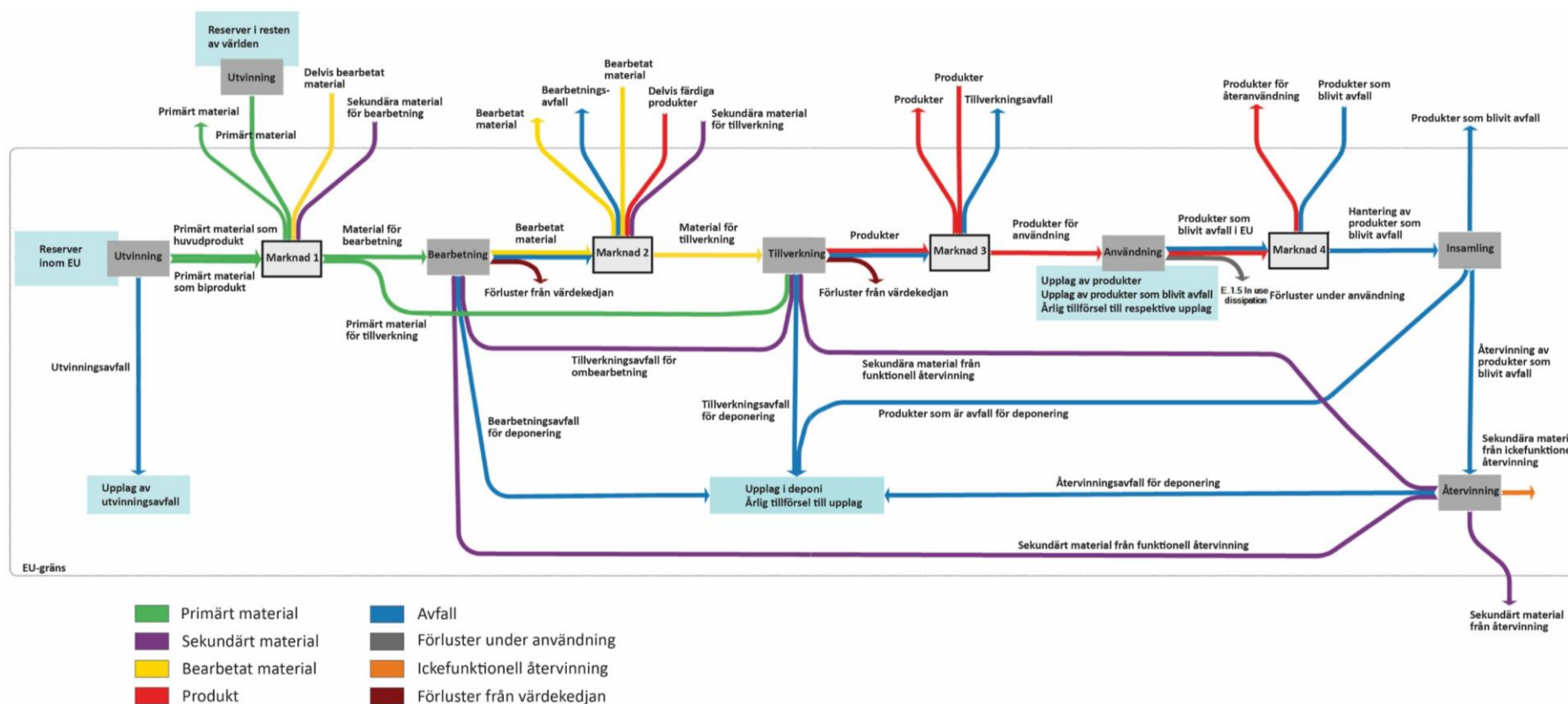
Det förslag till kartläggningssystem som SMED har tagit fram och som presenteras kortfattat här kommer att kunna generera en dynamisk karta över var i teknosfären kritiska råvaror uppehåller sig. Det blir möjligt att se hur mycket som tillförts, har försvunnit respektive cirkulerats under en viss tidsperiod. Det blir också möjligt att se vilka länder det importeras från eller exporteras till, då uppgift om detta ligger med i grunddata. Däremot kommer man inte att kunna spåra genom vilka värdekedjor ett visst delflöde av råvaror har flödat eller vilket hållbarhetsavtryck det råvaruflödet har orsakat.

Genom att utnyttja information om vilka produkter som innehåller olika kritiska råvaror och i vilka koncentrationer råvaran förekommer i respektive produkt, kommer det att gå att härleda materialkvalitet, vilket också är önskvärt. Detta kan kombineras med information om vilka insamlings- och återvinningsmetoder som används, vilket inkluderar huruvida materialet återvinns funktionellt eller inte. Det ska på så sätt vara möjligt att i kartläggningssystemet se var i värdekedjan som det skulle vara strategiskt lämpligt med åtgärder för att exempelvis minimera leveransrisk eller maximera funktionell återvinning. Utmaningen att kartlägga totala mängder av kritiska råvaror påminner om utmaningen att få kunskap om mängden farliga ämnen i samhället. Både på EU- och nationell nivå har kartläggning av farliga ämnen bedrivits under relativt lång tid av flera olika myndigheter. Därigenom har både kunskap och metoder utvecklats, som delvis har legat till grund för det kartläggningssystem och den sammanställning av datakällor som presenteras i den här studien.

7.5.1 Metodologiskt ramverk

Det föreslagna kartläggningssystemet utgörs av en materialsystemanalys (MSA) med en så kallad bottom-up-ansats. MSA är en metod som undersöker upplag och flöden av material längs den övergripande försörjningskedjan, från utvinning till hantering av uttjänta produkter. Bottom-up-ansatsen innebär att data på produktnivå används för att beräkna det totala flödet av kritiska råvaror. Det kan exempelvis vara att ett flöde av litium beräknas utifrån hur många elbilar som produceras i Sverige och hur mycket litium som finns i varje elbilsbatteri.

Kartläggningssystemet baseras på den MSA som utvecklats för EU (fig. 23). Eventuellt behöver extra marknadssteg mellan avfalls- och återvinningsstegen inkluderas i själva beräkningen.



Figur 23. MSA-system med alla processer (materiallivscykelstadiet), flöden och lager som beaktas i en MSA, inklusive marknadssteg. Systemgränsen är EU:s geografiska gräns. (omarbetad från Torres de Matos m.fl. 2020.)

Man kan använda två olika ansatser för att beräkna alla flöden: bottom-up eller top-down. I det förslag som SMED har tagit fram rekommenderas att bottom-up-ansatsen används för samtliga livscykelsteg för flöden av kritiska råvaror i Sverige. Huvudargumentet emot en bottom-up-ansats är att den kräver mer högupplöst data, som är mer arbetskrävande att samla in. SMED gör bedömningen att förutsättningarna framöver kommer att förändras i och med införandet av produktpass så att datainsamlingen underlättas. Även om data med avseende på CRM-innehåll inte blir högupplösta i produktpassen så kommer det förbättrade kunskapsläget om förekomst och flöden av olika produkter att underlätta och möjliggöra mer detaljerade och preciserade analyser av de befintliga datakällorna. Det innebär att argumentet mot en bottom-up-ansats försvagas. Det starkaste argumentet för en bottom-up-ansats är att den ger en mer detaljerad beskrivning av förekomster och flöden av CRM i den svenska teknosfären än en top-down-ansats förmår göra. Närheten till ursprungsdata ökar kunskapen om datakvalitet och osäkerheter, liksom till möjligheter för anpassade analyser. Utifrån befintliga och framtida datakällor, som beskrivs i bilaga 4, bör det vara fullt möjligt att få fram de data som krävs för en MSA med en bottom-up-ansats även för tillverkning, användning, insamling och återvinning och annan avfallsbehandling.

7.5.2 Grundläggande beräkningssteg

De grundläggande beräkningsstegen i systemet, som krävs för att beräkna mängder och flöden i teknosfären, syftar till att tillhandahålla följande information:

1. Mängden av varje produkt (eller avfall) som ingår i varje pil i figur 23.
2. Koncentrationer av kritiska råvaror i produkterna eller avfallet.
3. Förväntad uppehållstid i varje livscykelsteg innan produkten går vidare till ett annat flöde (vilket är viktigast i användningsfasen för produkter med lång livslängd, men kan vara värt att känna till även för andra steg).

I beskrivningen nedan ges exempel på specifika beräkningssamband och vilken indata de olika stegen nyttjar. I ett tidigt skede, eller där övriga data saknas, kan det vara värt att utgå från de data som beräknats eller samlats in på EU-nivå (Europeiska kommissionen 2020b), exempelvis via den top-down-metod som användes av Bio by Deloitte (2015) och Torres de Matos m.fl. (2020).

På lite längre sikt kommer sannolikt de digitala produktpass och batteripass som håller på att arbetas fram på EU-nivå, att kunna tillhandahålla information om innehåll av kritiska råvaror på ett sätt som är lättare att automatisera. En utförligare förteckning över datakällor ges i bilaga 4 under rubriken Databehov och befintliga datakällor för kartläggning och spårbarhet.

Mängden av olika produkter

Mängden av varje produkt kan beräknas genom en summering av data för varuimport, varuexport och industrins varuproduktion som årligen rapporteras in till SCB. De flesta produkter går att placera i ett flöde utifrån namnet och vilken KN-kod som används (se SCB om varukoder). I figur 23 innefattas malmer i de gröna pilarna, metaller och salter i de gula pilarna, skrot och slagg i de blå eller lila pilarna och mer avancerade produkter går in i de röda pilarna. En del produkter innehåller komponenter och sub-komponenter som kan rapporteras på egna KN-koder, vilket medför att tillverkningsfasen kommer att kräva en mer avancerad beräkning, vilket bland annat inkluderar interna flöden inom livscykelsteget för att flödena ska kunna återspegla verkligheten. Det förekommer också att processade material upparbetas ytterligare, vilket innebär att det kommer krävas en beräkning som inkluderar interna flöden även i det steget. Det är då lämpligt att beräkningen tar höjd för att kunna inkludera en del liknande interna flöden i alla livscykelsteg. För vissa produkter kan det vara önskvärt med mer information (högre detaljeringsgrad) än vad som går att få fram via KN-koder. Då krävs att data kompletteras från andra källor.

Koncentrationer av kritiska råvaror i olika produkter

Koncentrationen av kritiska råvaror i varje produkt är betydligt svårare att samla in och kommer att kräva ett flertal olika källor. Modellen bör designas så att processen för att hämta in data om koncentrationer av kritiska råvaror görs så automatiserad som möjligt, för att effektivisera arbetet framöver. De två första livscykelstegen, utvinning och upparbetning, ligger utanför den här studiens avgränsningar. Statistik om import av kritiska råvaror finns hos SCB, utrikeshandel med varor. För vissa produkter där värdet av råvaran utgör en väsentlig del av värdet av själva produkten (till exempel skrot av platina) går det, att utifrån rapporterade uppgifter till SCB om mängd (ton) och värde (tkr) samt råvarans pris över tid beräkna en ungefärlig koncentration av kritiska råvaror. Viss information om koncentrationer av kritiska råvaror går att hitta i den vetenskapliga litteraturen, vilket tyvärr kräver en process som är svår att automatisera och kan kräva flera källor för att få en uppfattning om hur koncentrationen eventuellt har förändrats över tid för en viss produkt. Produkter som det utförts en LCA för kan ha medföljande materialförteckning (BOM, bill of materials) som kan användas. Dessa kan hittas i LCA-databaser så som ELCD (European Platform on Life Cycle Assessment; <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/>) eller ecoinvent (<https://ecoinvent.org/>).

Uppgift om koncentrationen av kritiska råvaror i olika typer av avfall är oftast svår att få tag på. För vissa avfallsslag som är extra relevanta ur perspektivet kritiska råvaror går det att hitta mätningar via internationella vetenskapliga tidskrifter, rapporter eller ibland direkt från företaget/avfallslämnaren. Med hjälp av uppskattade livslängder för olika produkter, kombinerat med den information som inhämtats historiskt om produktion, import och export av samma produkter, är det också möjligt att göra en uppskattning av avfallets sammansättning. Det går till exempel att göra en uppskattning som säger att av den it- och telekomutrustning som samlades in år 2022 till en viss andel bestod av mobiltelefoner från 2017 och en annan andel av mobiltelefoner från 2018, och motsvarande för andra årtal. Samma sak går då att göra för bärbara respektive stationära datorer. Dessa uppskattningar av vad avfallet innehåller går att kombinera med exempelvis plockanalyser och enkätundersökningar. Uppgifter om farligt avfall rapporteras kontinuerligt in till Avfallsregistret hos Naturvårdsverket, både för det avfall som har uppkommit och det avfall som har behandlats. Även import och export av anmälningspliktigt avfall rapporteras till Naturvårdsverket. Farligt avfall registreras med en sexsiffrig avfallskod som ger en indikation om vad avfallet kan innehålla för uttjänta produkter, eller delar av dem. För elutrustning redovisas även ytterligare detaljer så att det exempelvis går att särskilja mellan stora hushållsapparater, små hushållsapparater respektive it- och telekomutrustning. Det går dock inte att exempelvis särskilja mellan mobiltelefoner och datorer. Det går att få fram en del detaljer om batterier, vilket gör det möjligt att särskilja mellan exempelvis alkaliska/brunstensbatterier och litium-, litiumjon- och litumpolymerbatterier. Det går dock inte att exempelvis särskilja mellan batterier baserat på olika litiumkemi, såsom litiumjärnfosfat eller nickel-mangan-kobolt-oxid (vilket i och för sig inte går att utläsa ur KN-koderna heller). För avfall i form av uttjänta fordon och vindkraftverk kan det gå att få ut mer detaljerad information, såsom tillverkare och modell, från Transportstyrelsens vägtrafikregister och Vindbrukskollen.

Olika produkters livslängd

Livslängd och uppehållstid går att uppskatta utifrån en kombination av flera metoder. För fordon går det att inhämta data direkt från Transportstyrelsens vägtrafikregister. För de varor där det är möjligt att göra en uppskattning av hur många (eller hur stor total vikt) som finns i Sverige vid en specifik tidpunkt, förutsatt att det antalet (eller den vikten) är någorlunda konstant och känd, så går det att göra en uppskattning av medellivslängd utifrån hur många (eller hur stor vikt) som konsumeras varje år (import plus produktion minus export). Det går till exempel att utläsa från import/export/produktion att Sverige konsumerar cirka 3 miljoner mobiltelefoner per år. Om det

finns cirka 10 miljoner mobiltelefoner i användning i Sverige innebär det att en mobiltelefon har en medellivslängd på ungefär 3,3 år. Det går också att göra uppskattningar av varors livslängd utifrån vilka garantier som ges för typiska produkter inom en viss kategori, eller utifrån enkätundersökningar eller expertutlåtande. På lite längre sikt kan ytterligare detaljer om produkters förväntade livslängd gå att få in på ett sätt som är lättare att automatisera. Det kan till exempel vara via de digitala produkt- och batteripass som håller på att arbetas fram på EU-nivå. Inom regeringsuppdraget *Ökad återvinning och återanvändning av elutrustning* som Naturvårdsverket fick i regleringsbrevet för 2022 pågår ett arbete med att se över rapporteringen inom producentansvaret för elutrustning. Där utreds bland annat rapportering av genomsnittlig livslängd för vissa prioriterade produktgrupper av elutrustning som samlats in som avfall. Genomsnittlig livslängd på relevanta, reglerade produkter anges som en central indikator i ESPR för att övervaka genomförandet av förordningen och effekterna av den. Även detta kan bidra till att öka kunskapen om olika produkters förväntade livslängd.

7.5.3 Databehov och befintliga datakällor för kartläggning och spårbarhet

Som framgår i beskrivningen av kartläggningssystemet ovan, saknas i dagsläget data för innehåll av olika kritiska råvaror i olika produkter. Mängden kritiska råvaror i teknosfären behöver därför skattas och räknas fram. Det kräver data om material och produktflöde i olika steg av kretsloppet.

Statistik finns redan idag för inhemsk produktion av varor samt import och export av varor, samt uppkomst och behandling av avfall. Det går dock inte att direkt koppla dessa data till mängden kritiska råvaror, eftersom innehållet av kritiska råvaror i olika produkter inte är känt. En sammanställning av befintliga datakällor som skulle kunna användas för att uppskatta mängden av kritiska råvaror i teknosfären finns i bilaga 4 under rubriken Databehov och datakällor för kartläggning och spårbarhet.

7.6 Förslag på utveckling och införande av system för kartläggning av kritiska råvaror

Utifrån de möjligheter till beräkning och de tillgängliga och troligtvis kommande datakällor som redovisats i bilaga 4 är det möjligt att utveckla ett system för kartläggning av kritiska råvaror. Att kunna spåra råvaran med en högre detaljnivå kommer att kräva tillgång till nya datakällor som i dagsläget är sekretessbelagda och/eller som bedöms att i alltför hög grad öka bördan för uppgiftslämnaren.

Kartläggningssystemet kommer att kunna generera en dynamisk karta över var i teknosfären kritiska råvaror uppehåller sig. Det blir möjligt att se hur mycket som tillförts, försvunnit respektive cirkulerats under en viss tidsperiod (år). Det blir också möjligt att se vilka länder det importerats från eller exporteras till.

Det pågår mycket arbetet på EU- och internationell nivå gällande spårbarhetssystem och produktpass. Trots, eller delvis tack vare, den utvecklingen finns det goda skäl att överväga att utveckla ett svenskt kartläggningssystem. Genom att samla in mer grunddata direkt, i stället för att förlita sig på aggregerad eller syntetiserade data från till exempel EU, kommer kännedom om osäkerheter och antaganden att öka och med det möjligheterna att identifiera förbättrings- och utvecklingsbehov samt tillåta anpassade och fördjupade specialanalyser. Sannolikt kan materialflödesberäkningarna därmed bli mer exakta. Bedömningen är att ett kartläggningssystem för den svenska teknosfären inte skulle ersätta eller konkurrera med de informations- och kartläggningsystem som byggs upp inom EU, utan tvärtom komplettera dem till ömsesidig nytta och med en högre detaljeringsgrad för den svenska teknosfären.

Det system som föreslås här bygger på en massbalansmodell. Massbalans innebär att mängden material/produkter med en viss egenskap måste vara densamma in i ett processteg som ut ur densamma, men egenskapen måste inte följa samma fysiska enheter in och ut. En begränsning med att det föreslagna systemet inte spårar enskilda produkter genom livscykeln är att det inte tillhandahåller produktspecifik information (utöver materialinnehåll per produkt eller produktkategori) såsom råvarors ursprung, reparations- eller demonteringsinformation. Fördelarna överväger dock, eftersom modellen dels uppfyller syftet med systemet, dels kan använda data från befintliga datakällor under det inledande skedet. De digitala produktpassen, som bland annat ska innehålla information om ursprungsmärkning och klimatavtryck, kommer att behöva en annan modell. Massbalansmodeller kan använda data som spåras i och med sådana modeller trots att det motsatta inte gäller fullt ut. Det är ytterligare en fördel med valet av massbalansmodell. Avslutningsvis talar marknadslogiken för att använda massbalans, eftersom både primära och sekundära metaller och mineral från olika gruvor och återvinnare blandas i smältverken (Svemin 2019).

SMED:s rekommendation är att ett framtida livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska råvaror i den svenska teknosfären utvecklas med en så kallad bottom-up-ansats. Även om det innebär ett mer komplext system som ställer större krav på datainsamlingen lägger det grunden för ett system som kan bli varaktigt över tid. Den pågående och samhällsengreppande omställningen av energisystemen kommer att innebära ett växande materialberoende. Ett kartläggningssystem kommer därför med stor sannolikhet vara relevant under lång tid framöver, vilket väl motiverar en hög inledande ambitionsnivå för att från början utveckla ett system att växa i. Det innebär dessutom ett system som fullt ut kan dra fördel av den ökning av tillgängliga produktdata som de digitala produktpassen förväntas ge.

Den pågående utvecklingen som innebär ett växande materialberoende innebär i sin tur att kartläggningssystemet med stor sannolikhet kommer att vara relevant under lång tid framöver. Det motiverar en hög inledande ambitionsnivå för att från början utveckla ett system att växa i. Systemet kommer att vara mycket dataintensivt, men bygger i hög grad på data som samlas in centralt. Det är en fördel med det föreslagna kartläggningssystemet jämfört med ett spårbarhetssystem. Systemet behöver inte direkt engagera alla de aktörer som behöver bidra med indata. Genom att inledningsvis utnyttja olika nationella datakällor för att i ett senare skede dra nytta av data från de digitala produktpassen eliminerar det föreslagna kartläggningssystemet behovet av att övervinna denna utmaning. Det föreslagna systemet är också förenligt med såväl EU:s Raw Material Information System (RMIS) och kommissionens befintliga förslag om ESPR, det gäller särskilt de digitala produktpassen.

Under den inledande fasen måste systemet i högre grad vila på antaganden och sekundära data på grund av begränsningar i datatillgång. Efterhand kommer andelen primära data att öka och ersätta antaganden och sekundärdata. Systemet kommer därmed successivt att få allt högre riktighet och precision. Primärdata syftar här på kvalitetssäkrade data som kan användas av systemet i sin grundform. Det betyder inte att primärdata rapporteras in exklusivt för att tillgodose det här systemets behov. Tvärtom bygger systemet på att så långt som möjligt dra nytta av data som ändå samlas in, för andra ändamål, i andra system. Medan data rapporteras in fortlöpande är systemets antaganden och algoritmer konstanta mellan återkommande uppdateringstillfällen. Systemet behöver vara levande för att bibehålla sin ändamålsenlighet och öka sin användbarhet. Ett kontinuerligt förbättringsarbete kan ske med hjälp av så kallad hotspot-analys där fokus läggs på de detaljer som bedöms få störst effekt. I takt med att allt fler datakällor har kvalitetssäkrats och integrerats i systemet bör inläsning och hantering av data automatiseras. Givet de senaste årens omvälvande utveckling inom digitalisering och AI kommer också avancerade felkontroller och utvärderingar av rimlighet och konsistens av data att bli möjliga att göra.

Det är möjligt att utöka systemet för att inkludera andra ämnen och råvaror av intresse, till exempel plast, farliga ämnen eller råvaror som inte är kritiska i dagsläget, men eventuellt blir så i framtiden. Det kan också vara möjligt att skala upp det föreslagna systemet till EU-nivå, till exempel som en utvidgning av RMIS. Ett samarbete på EU-nivå har god potential att förbättra de antaganden och algoritmer som behöver byggas upp och även förenkla det arbete som behöver läggas på de data som trots allt behöver matas in manuellt.

7.6.1 Nästa steg – fortsatt utredning och ett koncepttest

Fokus i det här uppdraget har varit att ta fram ett första förslag på en digital lösning för ett kartläggningssystem över kritiska metaller och mineral. Utöver en digital lösning finns det en rad förvaltningstekniska och juridiska aspekter som måste utredas i nästa steg. Frågor som behöver utredas är bland annat det övergripande ansvaret för att realisera, finansiera, äga och förvalta den digitala lösningen samt frågor om informationsägarskap, åtkomsträttigheter, sekretess och säkerhetskrav kopplat till olika datakällor. Det bör även utredas hur det föreslagna kartläggningssystemet berörs av olika direktiv och lagar som rör tillgängliggörande av data och vilka eventuella undantag som krävs för att möjliggöra kartläggningssystemet och dess datamängd. Nästa steg bör även inkludera att göra en kostnadsuppskattning för det föreslagna kartläggningssystemet tillsammans med en fullständig konsekvensanalys.

Det föreslagna kartläggningssystemet är komplext. En del i nästa steg bör därför vara att genomföra ett koncepttest (eng. *proof of concept*). Koncepttest genomförs tidigt i en innovationsprocess för att demonstrera genomförbarheten av en viss metod eller idé, eller för att verifiera att det teoretiskt tänkta fungerar i praktiken. Ett koncepttest genomförs i liten skala och behöver inte vara fullständigt. I det här fallet skulle ett koncepttest kunna innebära att ett urval av de befintliga datakällorna kopplas ihop. Data om innehållet av kritiska råvaror i prioriterade material och produkter kartläggs med hjälp av litteratordata samt intervjuer med relevanta aktörer. I testet kan då flöden och mängder av kritiska råvaror genom den svenska teknosfären uppskattas. I ett koncepttest bör fokus ligga på att testa en automatiserad inhämtning av data för ett mindre antal produkter, att systematisera antaganden och generalisera beräkningar samt omfatta fler kritiska råvaror. Testet skulle samtidigt ytterligare öka kunskapen om mängder och flöden av kritiska råvaror i den svenska teknosfären och ge värdefulla designerfarenheter av hur effektiv processen kan göras. Utöver detta kan statistiska analyser för modellen per material vara ett sätt att utvärdera och jämföra hur säkra resultaten är, samt för att peka på var förbättringar i indata behövs mest.

Då litiumjonbatterier och permanentmagneter bedöms vara viktiga för den svenska omställningen av energi- och transportsektorn, samtidigt som de har god potential för återvinning, rekommenderas att följande produktkategorier prioriteras vid ett eventuellt koncepttest:

- fordon
- batterier
- elmotorer och generatorer (inklusive vindturbiner)
- övrig elektronik.

Dessutom rekommenderas att koncepttestet inkluderar några av de kritiska råvaror som krävs för de föreslagna produktkategorierna samt det avfall som uppstår från produkterna, alltså alla steg i livscykeln inom Sveriges gränser. De råvaror som bör vara prioriterade i ett koncepttest är koppar, nickel, mangan, kobolt, litium, neodym, dysprosium och praseodym.

Ett koncepttest kan genomföras i följande steg:

1. Val av prioriterade produktkategorier.
2. Kartläggning av relevanta KN-koder för de utvalda produktkategorierna samt vilka återvinningstekniker som finns tillgängliga för dessa, med fokus på materialseparation.
3. Kartläggningen av innehållet av kritiska råvaror i varje produkt och produktens uppskattade livslängd med hjälp av intervjuer och litteraturstudie, med en utvärdering av huruvida flera KN-koder kan buntas ihop.
4. Kartläggning av de råvaror som krävs för de utvalda produktkategorierna.
5. Hopkoppling av produktkategorierna med relevanta avfallskoder och kartläggning av det avfall som uppstår, samlas in och återvinns.
6. Skapandet av en beräkningsmodell för mängder och flöden av kritiska råvaror enligt bottom-up-ansatsen, som beskrivits i den här studien.
7. Beräkning av end of life-flöden för tre av råvarorna för vilka storleken, osäkerheten och konfidensintervallet är kända.
8. Utvärdering av resultatet, en uppskattning av hur väl det illustrerar det totala flödet av de utvalda råvarorna genom den svenska teknosfären.

Kostnaden för ett koncepttest enligt ovan beror på hur mycket tid som läggs på steg 3–5 samt hur många produkter som kopplas till de utvalda produktkategorierna. Rimligtvis bör exempelvis en del, men inte riktigt all, övrig elektronik inkluderas. Detta eftersom det lätt kan bli för många produkter som endast bidrar marginellt till flödet av de studerade råvarorna. En första version med ett begränsat antal produkter skulle troligen kunna tas fram med en budget på omkring 650 000 kr. Systemet som byggs upp kan därefter användas för att bygga ut studien med flera produkter och senare flera produktkategorier.

7.6.2 Behov av förbättrad datainsamling

För att på sikt förbättra kvaliteten på insamlade data och på så vis göra kartläggningssystemet mindre beroende av antaganden, och öka riktigheten och precisionen i beräknade mängder och flöden, har SMED lämnat fem rekommendationer (se bilaga 4).

Den första rekommendationen är att Sverige bör verka för att de digitala produktpassen som föreslås på EU-nivå också ska deklarerar innehåll av kritiska råvaror. Enligt gällande förslag till en förordning om ekodesign för hållbara produkter ska innehåll av skadliga ämnen redovisas. Det innebär att produktpassen kommer att utformas så att materialinnehåll kan redovisas. SMED:s bedömning är att inkludering av kritiska råvaror i produktpassen skulle innebära den enskilt största förbättringen av insamling av kritiska råvarudata för användarfasen.

Den andra rekommendationen är att Naturvårdsverket bör utreda möjligheterna att kräva att import och export av avfall enbart rapporteras till Naturvårdsverket med avseende på mängd per avfallskod (LoW) och per behandlingstyp. Det skulle innebära att redovisningsgrupperna ”Kombination av olika avfallsslag” och ”Kombination av olika behandlingstyper” försvinner, vilket skulle ge mycket hög kvalitet på data.

Den tredje rekommendationen Naturvårdsverket bör få i uppdrag att utreda är förutsättningarna för att kräva att verksamheter som producerar, transporterar, samlar in, mälkar, handlar eller behandlar vissa typer av avfall som identifierats som viktiga med hänsyn till sitt innehåll av

kritiska råvaror rapporterar in detta. Naturvårdsverkets bedömning är att ett sådant uppdrag bör genomföras först efter att ett koncepttest av kartläggningssystemet genomförts. Detta för att ett sådant test visar på genomförbarheten av kartläggningssystemet och kan ge erfarenheter som är viktiga att ha med sig i genomförandet av ett sådant uppdrag.

SMED rekommenderar även att SCB bör få i uppdrag att utreda om det är möjligt att tillgänggöra grunddata från den officiella statistiken över Utrikeshandel med varor och Industrins varuproduktion (IVP) för kartläggningssystemet på ett säkert sätt. Uppgifter om vilka företag som har rapporterat på en viss KN-kod och vilka branscher de tillhör styrs av offentlighets- och sekretesslagstiftningen och lämnas inte ut utan en juridisk prövning. Även i det här fallet gör Naturvårdsverket bedömningen att ett koncepttest bör genomföras som ett första steg för att visa på det föreslagna kartläggningssystemets genomförbarhet och för att ge värdefull input till det fortsatta arbetet med att utveckla och tillgängliggöra statistik.

Naturvårdsverket har valt att i denna redovisning gå vidare med den första rekommendationen (se avsnitt 8.2.3). De övriga, som handlar om möjligheter att förbättra statistiken, är dock viktiga att ha med sig i ett fortsatt arbete med ett kartläggningssystem.

8 FÖRSLAG TILL REGERINGEN OCH MYNDIGHETERNAS FORTSATTA ARBETE

8.1 Inledning

I detta avsnitt lämnas förslag på åtgärder som myndigheterna bedömer kan öka kunskapsbasen om sekundär resurspotential och bidra till cirkulär ekonomi samt att nå miljö- och klimatmålen. Åtgärderna är uppdelade i dels sådana som behöver utredas mer genom uppdrag till en eller flera myndigheter, dels åtgärder som myndigheterna åtar sig inom ramen för sitt beslutsmandat och sin budget. Kapitlet avslutas med en övergripande konsekvensanalys av åtgärdsförslagen.

8.2 Förslag riktade till regeringen

8.2.1 Undersökning av berggrunden

Regeringen föreslås att ge SGU i uppdrag att samla in, förbättra och förtäta den geologiska, mineralogiska och geofysiska informationen om berggrunden i anslutning till deponier av gruvavfall. Uppdraget bedöms inte att rymmas inom myndighetens nuvarande ram, därför bör uppdraget inkludera finansiering om ca 38 miljoner kronor

Genom föreliggande regeringsuppdrag är kunskapen i många fall bättre om avfallen än om de mineraliseringar de en gång genererades från. Kunskap om källan (berggrunden) är mycket viktig vid bedömning av potentialen för utvinning av resurser från avfall, eftersom speciering (det vill säga i vilka mineral eller andra kemiska föreningar resurserna är bundna) är viktig för val av extraktionsmetod. Mineralogiska studier av exempelvis anrikningssand har visat sig vara både utmanande och tidskrävande, vilket gör studier av den primära mineralogin än viktigare. Likaså är kunskap om de ursprungliga malm- och mineralbildande processerna central, då dessa styr vilken typ av malm som bildats liksom vilka metaller och mineral som ingår däri.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 3.8.

8.2.2 Utveckling av geofysiska metoder

Regeringen föreslås att ge SGU i uppdrag att utveckla metodik för geofysisk undersökning av varphögar, med fokus på tredimensionell tolkning av utbredning av och variationer inom varpmaterialet. Uppdraget bedöms inte att rymmas inom myndighetens nuvarande ram, därför bör uppdraget inkludera finansiering om ca 2 miljoner kronor.

Geofysiska metoder har inom föreliggande regeringsuppdrag visat sig vara mycket användbara för undersökning av sandmagasin. För varp och gråberg finns dock inte motsvarande metodik. Geofysiska undersökningar skulle kunna möjliggöra undersökning av varp i 3D, för bedömning av volym men även sammansättning av varpmaterialet, och därmed förbättra underlaget för bedömning av varphögars potential som sekundära mineralresurser.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 3.8.

8.2.3 Fortsatt utveckling av UNFC-databasmodellen fram till implementering av databas

Regeringen föreslås ge SGU i uppdrag att färdigställa redovisat utkast till databaskoncept/-modell samt upphandla IT-kompetens. Dessutom att utveckla databasen för ändamålet och implementera den med information från fortsatt inventering och vidaregående undersökningar och analyser av intressanta objekt med potentiella sekundära resurser. Uppdraget bedöms inte att rymmas inom myndighetens nuvarande ram, därför bör uppdraget inkludera finansiering om ca 500 000 kronor.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 5.7.

8.2.4 Fortsatt utredning av ekonomiska och praktiska hinder för ökad utvinning ur gruvavfall

Regeringen föreslås ge SGU och Naturvårdsverket i uppdrag att fortsatt utreda de praktiska och ekonomiska hinder för utvinning ur gruvavfall som identifierats i redovisningen av regeringsuppdraget samt att ge förslag på lösningar. Arbetet bör ta som utgångspunkt att energi- och klimatomställningen ställer höga krav på tillgång till flera olika materialflöden och att branschen är kapitalintensiv. Det senare medför utmaningar för etablering av nya tekniker och aktörer på marknaden. Allmänna ramvillkor fastställda av regeringen och styrmedel såsom kreditgarantier, importtullar och investeringsstöd till infrastruktur bör utredas. Även behov av ett riktat FOU-stöd bör utredas som ett sätt att överbygga eller minska hindren för ökad utvinning ur gruvavfall. Kostnaden för att utreda förslaget uppskattas till minst 500 000 kronor. Eftersom denna kostnad inte bedöms rymmas inom de båda myndigheternas nuvarande ram, så bör uppdraget inkludera finansiering om ca 1 miljon kronor.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 6.5.4.

8.2.5 Fortsatt utredning och ett koncepttest för ett kartläggningssystem för kritiska metaller

Regeringen föreslås ge Naturvårdsverket i uppdrag att vidare utreda ett kartläggningssystem för kritiska metaller och mineral samt genomföra ett koncepttest av ett livscykelbaserat kartläggningssystem (spårbarhetssystem) för kritiska metaller och mineral i teknosfären. Kostnaden för att genomföra ett koncepttest uppskattas till minst 650 000 kronor. Eftersom denna kostnad inte bedöms rymmas inom myndighetens nuvarande ram, så bör uppdraget inkludera finansiering om ca 1 miljon kronor.

För att återvinningen av kritiska metaller och mineral ska kunna öka på ett effektivt sätt krävs att välgrundade beslut kan fattas, vilket i sin tur kräver kunskap om nuläget. Hur och var används de olika råvarorna? I vilka mängder använder vi råvarorna? Vad händer med avfallet? Den kartläggning som gjordes inom uppdraget visade att det i många fall var svårt att spåra kritiska metaller och mineral genom dess livscykel. Inom föreliggande regeringsuppdrag har ett förslag på ett livscykelbaserat kartläggningssystem tagits fram. Syftet med kartläggningssystemet är att spåra de totala mängderna av kritiska råvaror och hur de flödar genom teknosfären, detta för att bidra med kunskap för en effektiv övergång till ett cirkulärt flöde för dessa råvaror. Kartläggningssystemet kan även användas till att identifiera risker för materialförluster genom materialläckage och downcycling.

För att utveckla förslaget behöver bland annat frågor om ägarskap och andra förvaltningstekniska och rättsliga frågor utredas och genomförbarheten av det föreslagna kartläggningssystemet testas.

Ett koncepttest genomförs i liten skala för att demonstrera genomförbarheten av det livs-cykelbaserade kartläggningssystem som föreslås i rapporten. Ett urval av de befintliga data-källorna kopplas ihop och data om innehållet av några prioriterade kritiska råvaror i ett antal produktkategorier kartläggs för att uppskatta flöden och mängder av kritiska råvaror genom den svenska teknosfären. Uppdraget förväntas öka kunskapen om mängder och flöden av kritiska råvaror i den svenska teknosfären och ge förslag på hur kartläggningssystemet kan utvecklas, identifiera dataluckor samt ge förslag på hur dessa luckor kan åtgärdas.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 7.6.

8.2.6 Innehåll av kritiska råvaror i EU:s produktpass

Regeringen föreslås verka för att de digitala produktpassen inom ESPR och annan relevant EU-lagstiftning ska deklarerat innehåll av kritiska råvaror.

En utmaning när det gäller återvinning av metaller är komplexiteten i produkterna och att det vid produktionen inte ges förutsättningar för att produkter enkelt ska kunna demonteras och återvinnas i avfallsledet. En viktig förutsättning för att kunna öka återvinningsbarheten är att information om produkters innehåll och sammansättning finns tillgänglig.

Den föreslagna ESPR innehåller förslag om produktpass. Det gör även den kommande EU-förordningen för batterier som anges vara en förebild för revideringen av bland annat direktivet för uttjänta bilar och direktivet för elutrustning.

Enligt gällande förslag i ESPR ska innehåll av ämnen som inger betänkligheter redovisas i produktpasset. Det innebär att produktpassen kommer att utformas så att materialinnehåll kan redovisas. Det framstår därför som att steget är kort till att också inkludera kritiska råvaror i produktpassen.

Bedömningen är att detta skulle innebära en viktig förbättring vid insamling av data om kritiska råvaror för användar- och avfallsfaserna. På samma sätt som det är nödvändigt att öka kunskapen om förekomst av ämnen som inger betänkligheter för att kunna fasa ut dem ur den cirkulära ekonomin, är det nödvändigt att öka kunskapen om förekomst av kritiska råvaror för att kunna öka återvinningen och bidra till cirkulära flöden för kritiska råvaror.

En förutsättning för att produktpass ska uppfylla syftet att underlätta återvinning är att kraven ställs på EU-nivå, detta eftersom en stor andel av de produkter som innehåller metaller produceras utanför Sverige och utanför EU. Att inkludera flera uppgifter i produktpassen innebär ökade administrativa kostnader för de aktörer som ska lämna information. En avvägning behöver därför göras för varje enskild produkt eller produktgrupp vilka metaller som ska redovisas.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 7.6.2.

8.3 Myndighetsinsats för att öka användningen av avfall som en resurs för metaller och mineral

8.3.1 Utveckling av vägledning inom avfallshanteringsplaner

Naturvårdsverket avser att utveckla vägledning om informationen om utvinningsavfallet i avfallshanteringsplanerna. Detta med syfte att främja återvinning av utvinningsavfall för sekundär utvinning genom bättre information. Vägledningen ska ske inom ramen för tillämpningsområdet för befintliga bestämmelser i miljöbalken och utvinningsavfallsförordningen, samt med hänsyn till EU:s intentioner inom området kritiska mineral (CRM).

I utvinningsavfallsförordningen finns en skyldighet att främja den återvinning som är lämplig från miljösynpunkt och att karakterisera utvinningsavfallet så att en sådan hantering kan främjas. Denna typ av information ska därför finnas i dokumentationen av karakteriseringen i avfalls-hanteringsplanen. Det kan exempelvis vara information om halter och förekomstformer i utvinningsavfallet av ämnen och mineral som kan vara intressanta för återvinning.

Sammanställningen av halter och mängder av kritiska ämnen i gruvavfall vid aktiva gruvor visar att informationen från materialkarakteriseringen i avfallshanteringsplanen och uppföljningen av den, behöver förbättras för att uppfylla sitt syfte att främja återvinning av avfallet.

Läs mer om bakgrunden till förslaget i avsnitt 4.5.

8.4 Konsekvenser av förslagen

8.4.1 Förslag om undersökning av berggrunden

Tabell 12.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Förslaget innebär att SGU får i uppdrag att ta fram kunskap om berggrunden i anslutning till undersökta deponier av gruvavfall.
Motivering	Kunskap om källan (berggrunden) är mycket viktig vid bedömning av potential för utvinning av resurser från avfall eftersom speciering är viktig för val av extraktionsmetod. Mineralogiska studier av till exempel anrikningssand har visat sig vara både utmanande och tidskrävande.
Genomförande	Arbetet bör påbörjas 2024, genomföras under en 4-årsperiod och omfatta: undersökning, provtagning, analys och utvärdering av berggrund i anslutning till deponier av gruvavfall.
Bakgrund	Bedömning av mineraltillgång och ekonomisk brytvärdhet utgår vanligen från olika typer av undersökningar med provtagning och karakterisering. Användning av resultat finns därför hos aktörer inom prospektering, men även hos myndigheter och inom forskning.
Förväntade effekter	Minskad osäkerhet om mineraltillgångar kan öka incitamenten att starta upp utvinningsverksamhet från gruvavfall, samt även för primär utvinning i anslutning till gruvavfall.
Förväntade indirekta effekter	Om uppdraget finansieras via omfördelning av nuvarande resurser som går till SGU, kan andra av myndighetens uppdragsområden erhålla mindre resurser.
Samhällsekonomiska konsekvenser	Tillhandahållande av geologisk information kan bidra till att minska trösklarna för prospektering och exploatering av sekundära mineralresurser.
Effekter på statsbudgeten	Om nuvarande resurser till SGU inte omfördelas kommer förslaget ge negativa effekter på statsbudgeten. Förslaget uppskattas kosta 38 miljoner kronor per år.
Uppföljning och utvärdering	Insamlad information tillgängliggörs, utöver genom del- och slutrapportering av uppdraget, via tekniska rapporter och i SGU:s databaser. Uppföljning och utvärdering sker i enlighet med SGU:s reguljära undersökningsverksamhet.

8.4.2 Förslag om utveckling av geofysiska metoder

Tabell 13.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Förslaget innebär att SGU får i uppdrag att utveckla geofysiska metoder för undersökning av varphögar.
Motivering	Geofysiska metoder har visat sig vara mycket användbara för undersökning av sandmagasin. För varp finns dock inte motsvarande metodik.
Genomförande	Arbetet bör påbörjas under 2024, löpa under en 3-årsperiod och omfatta metodikutveckling för geofysiska undersökningar av varp i 3D.
Bakgrund	Bedömning av mineraltillgång och ekonomisk brytvärdhet utgår vanligen från olika typer av undersökningar med provtagning och karaktärisering. Användning av metodiken, liksom de resultat som indirekt insamlas under dess framtagande, finns därför hos aktörer inom prospektering, men även hos myndigheter och inom forskning.
Förväntade effekter	Metodik för framtagande av ett förbättrat underlag om varphögars potential som sekundära mineralresurser kan öka incitamenten för utvinning av resurser från gruvavfall.
Förväntade indirekta effekter	Om uppdraget finansieras via omfördelning av nuvarande resurser som går till SGU, kommer andra av myndighetens uppdragsområden erhålla mindre resurser.
Samhällsekonomiska konsekvenser och kostnadseffektivitet	Tillhandahållande av geologisk information kan bidra till att effektivare förvaltning av mineraltillgångar, minska transaktionskostnader och inträdeskostnader på marknaden.
Effekter på statsbudgeten	Om nuvarande resurser till SGU inte omfördelas förväntas förslaget ge negativa effekter på statsbudgeten. Förslaget uppskattas kosta 2 miljoner kr per år.
Uppföljning och utvärdering	Den framtagna metoden liksom under arbetet insamlade data tillgängliggörs, utöver i samband med del- och slutredovisning av uppdraget, via tekniska rapporter och i SGU:s databaser. Uppföljning och utvärdering sker i enlighet med SGU:s reguljära geofysiska undersökningsverksamhet

8.4.3 Förslag om fortsatt utveckling av UNFC-databas

Tabell 14.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	SGU får i uppdrag att färdigställa redovisat utkast till databas/modell genom att upphandla IT-kompetens för databasutveckling. Information från fortsatt inventering, undersökningar och analyser av potentiella sekundära resurser från gruvavfall ska ingå i databasen.
Motivering	Styrmedlets syfte är att tillgängliggöra geologisk information om både historiskt gruvavfall och avfall från aktiva gruvor, för myndigheter och aktörer i mineralnäringens värdekedjor.
Genomförande	Arbetet bör påbörjas och genomföras under 2024. Slutprodukten ska tas fram utifrån målgruppernas olika behov samt rekommendationer och vägledningar inom UNFC. Ett stort fokus i arbetet bör därmed ligga på definitioner för klassificering och databasfunktioner som inte har redovisats i demoversionen inom föreliggande uppdrag.
Bakgrund	Klassificeringssystem för geologisk information är ett viktigt verktyg för att bedöma potential av projekt. Användning för UNFC-databas finns hos exempelvis aktörer inom prospektering, myndigheter och forskning. UNFC möjliggör jämförelse mellan likartade projekt på olika platser, inte bara vad gäller tonnage och halter av resurser utan även utifrån perspektiven teknisk, ekonomisk, social och miljömässig hållbarhet. UNFC gör det också möjligt att följa utvecklingen och eventuella förändringar i ett projekt över tid.
Förväntade effekter	Förslaget bedöms i viss utsträckning kunna bidra till förbättrad tillgång till information. Genom minskad osäkerhet om innehåll i gruvavfall finns incitament till ökad verksamhet med utvinning från gruvavfall.
Förväntade indirekta effekter	Aktörer får merkostnader i form av administration. Ansvarig myndighet får ökade kostnader i form av lagring och viss kvalitetssäkring av information.

Tabell 14. Fortsättning.

Rubrik	Beskrivning
Samhällsekonomiska konsekvenser och kostnadseffektivitet	Förslaget kan i förlängningen underlätta för aktörer att starta verksamhet för utvinning av metaller och mineral från gruvavfall genom att underlag från databasen kan ligga till grund för beslut om investering. Tillhandahållande av information som bidrar till att minska transaktionskostnaderna och de höga inträdeskostnader som finns för utvinning ur gruvavfall. Vidare främjas resurseffektivitet, vilket är viktigt i omställningen till en mer cirkulär ekonomi.
Effekter på statsbudgeten	Förslaget i sig innebär kostnader för den fortsatta utvecklingen som uppskattas till ca 500 000 kronor. I förlängning antas dock en vidareutvecklad UNFC-databas kunna bidra till effektivisering av myndigheternas arbete med geologiska kartläggningar, analyser och resurshantering.
Uppföljning och utvärdering	Förslaget är i ett första steg en fortsatt utredning och således blir uppföljningen de delleveranser och slutleveranser som sker i den fortsatta utvecklingen.
Lagstiftning/regelverk	I förslaget behöver befintliga nationella och EU-lagstiftningar och regelverk beaktas.

8.4.4 Förslag om att fortsatt utreda ekonomiska och praktiska hinder för ökad utvinning ur gruvavfall

Tabell 15.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Regeringen ger SGU och Naturvårdsverket i uppdrag att fortsatt utreda de praktiska och ekonomiska hinder för utvinning ur gruvavfall som identifierats i redovisningen av regeringsuppdraget samt ge förslag på lösningar.
Motivering	Branschen är kapitalintensiv och få aktörer på en global marknad medför volatila priser. Det bör utredas om staten kan ta en del av riskerna, underlätta genom allmänna ramvillkor fastställda av regeringen, ekonomiska styrmedel, infrastruktur, teknikframtagning samt kunskapsutveckling kring utvinning från gruvavfall.
Genomförande	Arbetet bör påbörjas och genomföras under 2023. Styrmedel såsom kreditgarantier, importtullar och investeringsstöd till infrastruktur bör utredas. Även behov av ett riktat FOU-stöd bör utredas som ett sätt att överbrygga eller minska hindren för ökad utvinning ur gruvavfall.
Bakgrund	Energi- och klimatomställningen ställer höga krav på tillgång till flera olika materialflöden. Sekundär utvinning från gruvavfall har också andra önskvärda effekter för samhället i form av undvikande av kostnader för sanering.
Förväntade effekter	Förslaget bedöms kunna bidra till att det blir mer attraktivt att utvinna från gruvavfall samt till en grund för kunskap och samarbete. Det kan i sin tur bidra till fler verksamheter som utvinna från gruvavfall och bidrar till nationell råvaruförsörjning.
Förväntade indirekta effekter	Om förslaget finansieras via omfördelning av nuvarande resurser till andra aktörer eller statliga projekt, kan dessa påverkas negativt. Riktade styrmedel till återvinning från gruvavfall kan också bidra till omprioritering av återvinningsprojekt.
Samhällsekonomiska konsekvenser och kostnadseffektivitet	Ekonomiska styrmedel kan stimulera verksamheter för utvinning från och sanering av gruvavfall. Samhällsekonomiskt är det positivt att gynna och stimulera till fler verksamheter som bidrar till flera samhällsmål samtidigt, det vill säga förhindra eller förebygga miljöförstöring från gruvavfall samtidigt som metaller och mineral viktiga för klimatomställningen utvinns.
Effekter på statsbudgeten	Förslaget i sig innebär kostnader för fortsatt utredning som uppskattas kosta 1 miljon kronor. I förlängningen kan vissa förslag också orsaka högre kostnader för staten. Detta beror emellertid på möjligheten till eventuella omfördelningar i statsbudgeten.
Uppföljning och utvärdering	Förslaget är i ett första steg en fortsatt utredning och därmed blir uppföljningen de delleveranser och slutleveranser som sker i det fortsatta arbetet
Lagstiftning/regelverk	Analysen ska ta hänsyn till EU-lagstiftning inom området. Utredning kopplat till prövningen enligt minerallagen eller miljöbalken ingår ej.

8.4.5 Utveckling och koncepttest av ett kartläggningssystem för kritiska metaller

Tabell 16.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Naturvårdsverket får i uppdrag att fortsatt utreda ett livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska metaller och mineral samt att genomföra ett koncepttest av det föreslagna systemet.
Motivering	Ett kartläggningssystem för kritiska metaller syftar till att ge bättre information om metallernas flöde i samhället. Ett koncepttest innebär ett första praktiskt test av det kartläggningssystem som föreslås i denna redovisning. Samtidigt kvarstår flera frågor rörande ägande, förvaltning och olika juridiska aspekter att utreda.
Genomförande	Uppdraget kommer delvis att genomföras genom upphandling. I uppdraget bör även fortsatt arbete med ett kartläggningssystem för resurser i teknosfären identifieras. Kostnader för att bygga upp och driva ett kartläggningssystem bör utredas, liksom kostnader för olika berörda aktörer.
Bakgrund	Ett förslag på hur system för livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi skulle tas fram inom nuvarande uppdrag. Ökad kunskap om metallernas flöde i samhället är en viktig utgångspunkt för att utreda förslag som syftar till att öka återvinningen av metaller från uttjänta produkter.
Förväntade effekter	Fortsatt utredning och ett koncepttest väntas ge ökad kunskap om möjligheter och brister med det föreslagna systemet. Detta utgör viktiga steg i ett fortsatt arbetet med att utveckla ett kartläggningssystem.
Förväntade indirekta effekter	På sikt förväntas ökad kunskap om metallernas flöde i samhället bidra till ökad återvinning av dessa.
Samhällsekonomiska konsekvenser	Ökad kunskap om flöden av kritiska metaller förväntas ge information för återvinningsaktörer om återvinningspotentialer. Myndigheter får viktig information för ett fortsatt arbetet med styrmedel för att öka återvinningen. Kartläggningssystemet förväntas sammanföra information från olika befintliga register och därmed inte skapa merkostnader för verksamhetsutövare.
Effekter på statsbudgeten	Ett koncepttest har uppskattats kosta cirka 650 000 kr. Den totala kostnaden för uppdraget uppskattas till ca 1 miljon kr, vilket inte rymms inom Naturvårdsverkets befintliga ram.
Uppföljning och utvärdering	Ett koncepttest innebär att det system som föreslås testas och utvärderas. En vidareutveckling av systemet kommer att kräva flera kontrollstationer där systemet och de kostnader de innebär granskas och utvärderas.
Lagstiftning/regelverk	En del i uppdraget består av att identifiera befintlig lagstiftning som måste beaktas.

8.4.6 Verka för innehåll av kritiska råvaror i EU:s produktpass

Tabell 17.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Regeringen föreslås verka för de digitala produktpassen också ska deklarerat innehåll av kritiska råvaror.
Motivering	En viktig förutsättning för att kunna öka återvinningen av kritiska metaller och mineral är att information om produkters innehåll och sammansättning finns tillgänglig.
Genomförande	Regeringen uppmuntras att verka för att information om kritiska råvaror ingår i produktpass vid framtagning av ny lagstiftning samt vid revidering av befintlig lagstiftning där produktpass föreslås.
Bakgrund	Produktpass finns i både den kommande batteriförordningen (2020/0353 (COD)) och förslaget för ekodesignkrav för hållbara produkter. Inte i något av de ursprungliga förslagen ingår innehåll av kritiska metaller som något som ska redovisas i produktpassen.

Tabell 17. Fortsättning.

Rubrik	Beskrivning
Förväntade effekter	Att innehåll av kritiska råvaror är något som i aktuella fall kan inkluderas i produktpass på EU-nivå.
Förväntade indirekta effekter	Att inkludera flera uppgifter i produktpassen innebär ökade administrativa kostnader för de aktörer som ska lämna information. En avvägning av vilka metaller som ska redovisas behöver därför göras för varje enskild produkt eller produktgrupp.
Samhällsekonomiska konsekvenser	Förslaget kan i förlängningen innebära att informationen om innehåll av kritiska råvaror i produkter ökar, vilket förväntas ge ökade förutsättningar för återvinning av kritiska metaller och mineral.
Effekter på statsbudgeten	Förslaget förväntas inte påverka statsbudgeten.
Lagstiftning/regelverk	Produktpass förekommer i den kommande förordningen om batterier, förslag till förordning om ekodesignkrav för hållbara produkter och kan förväntas förekomma i kommande revideringar av direktivet för uttjänta bilar och direktivet för avfall från elutrustning.

8.4.7 Utveckling av vägledning inom avfallshanteringsplaner

Tabell 18.

Rubrik	Beskrivning
Förslag	Naturvårdsverket avser att utveckla den befintliga vägledningen om avfallshanteringsplaner. Vägledningen behöver utvecklas rörande informationen om utvinningsavfallet i avfallshanteringsplanerna, detta med syftet att genom bättre information främja återvinning av utvinningsavfall för sekundär utvinning.
Motivering	Den sammanställning av halter och mängder av kritiska ämnen i gruvavfall vid aktiva gruvor som genomfördes i detta uppdrag (se avsnitt 4) visar att informationen från materialkaraktiseringen i avfallshanteringsplaner, och uppdateringen av dessa, behöver förbättras för att uppfylla sitt syfte att främja återvinning av avfallet. I underlagsrapporten från WSP (bilaga 2) lyfts information om innehåll av metaller och mineral i gruvavfall och tillgängliggörande av denna information som en förutsättning för ökad sekundär utvinning.
Bakgrund	I utvinningsavfallsförordningen finns en skyldighet att främja den återvinning som är lämplig från miljösynpunkt och att karakterisera utvinningsavfallet så att en sådan hantering kan främjas. Denna typ av information ska därför finnas i dokumentationen av karakteriseringen i en avfallshanteringsplan. Det kan exempelvis vara information om halter och förekomstformer i utvinningsavfallet av metall och mineral som kan vara intressanta för återvinning.
Förväntade effekter	En förbättrad vägledning förväntas leda till bättre information i avfallshanteringsplanerna om resultaten av materialkaraktisering, vilket i förlängningen förväntas bidra till att främja återvinning av gruvavfall.
Förväntade indirekta effekter	Naturvårdsverket måste avsätta resurser för arbetet med vägledningen och verksamhetsutövarna förväntas få ökade kostnader för provtagning och analys av prover och eventuellt även ökade administrativa kostnader.
Samhällsekonomiska konsekvenser	Ökad information om utvinningsavfallet kan bidra till att minska transaktionskostnaderna och inträdeskostnaderna för sekundär utvinning. Ökad återvinning av gruvavfall är generellt sett positivt ur ett miljöperspektiv.
Effekter på statsbudgeten	Inga effekter för statsbudgeten förväntas.
Lagstiftning/regelverk	miljöbalken, förordningen (2013:319) om utvinningsavfall

9 REFERENSER

- ALS, 2022: *Rock characterisation*, ALS Global.
<<https://www.alsglobal.com/en/geochemistry/rock-characterisation/>> Senast åtkommen den 14 november 2022.
- Alves Dias, P., Blagoeva D., Pavel C. & Arvantidis, N., 2018: *Cobalt: demand-supply balances in the transition to electric mobility*. EUR 29381 EN, Publications Office of the European Union.
- BIO by Deloitte, 2015: *Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials*. Framtagen för Europeiska kommissionen, DG GROW.
- Blengini, G. A., Latunussa, C. E. L., Eynard, U., Torres de Matos, C., Wittmer, D., Georgitzikis, K., Pavel, C., Carrara, S., Mancini, L., Unguru, M., Blagoeva, D., Mathieux, F. & Pennington, D., 2020: *Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Final Report*. European Commission, 152 s.
- Business Sweden, 2020: Opportunities within the battery value chain. Automotive Electrification. Presentationsmaterial 2020-08-14, Energimyndighetens diarienumr. 2022-024029.
- Cassard, D., Bertrand, G., Billa, M., Serrano, J.-J., Tourliere, B., Angel, J.M. & Gaal, G., 2015: *ProMine Mineral Databases: New Tools to Assess Primary and Secondary Mineral Resources in Europe*. Doi: 10.1007/978-3-319-17428-0_2.
- CRIRSCO, 2022: Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards
<www.criirco.com> Senast åtkommen 22 december 2022.
- Economic Commission for Europe EGRC, 2018: Guidance for the Application of the UNFC for Mineral Resources in Finland, Norway and Sweden. Expert Group on Resource Classification Ninth session Geneva, 24–27 April 2018, 36s.
- 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.
- Energimyndigheten, Naturvårdsverket och SGU, 2022: Utveckla myndighetssamverkan för Sveriges delar av en hållbar europeisk värdekedja för batterier. ER 2022:14.
<<https://www.energimyndigheten.se/4a9ad0/globalassets/forskning--innovation/overgripande/slutrapport-av-uppdraget-utveckla-myndighetssamverkan-for-sveriges-delar-av-en-hallbar-europeisk-vardekedja-for-batterier-6.pdf>>
- ERMA, 2022: European Raw Materials Alliance. <<https://erma.eu/eu-policy/>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Europeiska kommissionen, 2008: Råvaruinitiativet – Att uppfylla våra kritiska behov av tillväxt och arbetstillfällen i Europa. Meddelande från kommissionen till europaparlamentet och Rådet. KOM 2008, 699 slutlig.
- Europeiska kommissionen, 2017: *European Battery Alliance*. <https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_en> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Europeiska kommissionen, 2020a: Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet. Meddelande från kommissionen till Europaparlamentet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén. Bryssel 2020. COM 2020/474 final.
- Europeiska kommissionen, 2020b: En ny handlingsplan för den cirkulära ekonomin – För ett renare och mer konkurrenskraftigt Europa. Meddelande från kommissionen till

- Europaparlamentet, rådet, europeiska ekonomiska och sociala kommittén samt regionkommittén. Bryssel den 11.3.2020. COM (2020), 98 final.
- Europeiska kommissionen, 2021a: European industrial strategy.
<https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/europe-fit-digital-age/european-industrial-strategy_en> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Europeiska kommissionen, 2021b: Faciliteten för återhämtning och resiliens.
<https://ec.europa.eu/info/business-economy-euro/recovery-coronavirus/recovery-and-resilience-facility_sv> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Europeiska kommissionen, 2022: *EU-rättsakt om kritiska råvaror*.
<https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-EU-rattsa-kt-om-kritiska-ravaror_sv> Senast åtkommen den 19 december 2022.
- Europaparlamentet, 2022: EU responses to climate change.
<<https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/priorities/climate-change/20180703STO07129/eu-responses-to-climate-change>> [2022-09-23].
- Fröberg & Lundholm Advokatbyrå AB, 2019: PM Minerallagen och möjligheterna till sekundär utvinning, Dnr 423-2601/2019 [2019-12-05].
- Gordon, D., 2022: *Battery market forecast to 2030: Pricing, capacity, and supply and demand*.
<source.com> [2022-03-15] Senast åtkommen 10 augusti 2022.
- Gregoir, L., & van Acker, K, 2021: Metals for Clean Energy: Pathways to solving Europe's raw materials challenge. KU Leuven på uppdrag av Eurometaux, 2021-04.
- Hallberg, A. & Reginiussen, H., 2018: Slutrapportering av regeringsuppdrag: Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral. *Regeringsrapport 2018:05*, Sveriges geologiska undersökning, 90 s.
- Hallberg, A. & Reginiussen, H., 2020: Critical raw materials in ores, waste rock and tailings in Bergslagen. *SGU-rapport 2020:38*, Sveriges geologiska undersökning, 60 s.
- Högdahl, K., Jonsson, E., Sahlström, F. & Kritikos, A. 2015: Turning yesterday's waste into tomorrow's treasure: searching for base and critical metals in central Sweden's ancient mine dumps. I: A.-S. André-Meyer et al. (red.): *Mineral Resources in a Sustainable World*, 757–760.
- IEA, 2021: The Role of Critical World Energy Outlook Special Report Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report.
- IRP, 2019: *Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want*. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya.
- Jonsson, E., 2020: REE-linjen i Bergslagen – sammanfattning av provtagning och analyser. *SGU-rapport 2020:17*, 37 s.
- Jonsson, E., Nysten, P., Bergman, T., Sadeghi, M., Söderhielm, J. & Claeson, D., 2019: REE mineralisations in Sweden. I: M. Sadeghi (red.): Rare earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. Sveriges geologiska undersökning, *Rapporter & Meddelanden 146*, 20–111.
- Konjunkturinstitutet, 2016: *Årsrapporten om cirkulär ekonomi*. ISBN: 978-91-86315-76-4, ISSN: 2001-3108.
- Krausmann, S. Gingrich, N. Eisenmenger, K.-H. Erb., 2009: Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. *Ecol Econ*, 68, pp. 2696–2705.
- Lottermoser, B. G., 2011: Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes. *Elements* 7, 405–410.

- McKelvey, V. E., 1972: Mineral Resource Estimates and Public Policy: Better methods for estimating the magnitude of potential mineral resources are needed to provide knowledge that should guide the design of many public policies. *American Scientist* 60(1), 32–40.
- Mining Technology, 2020: *Circular economy: the projects leading the way in mining waste recovery*. <<https://www.mining-technology.com/analysis/circular-economy-the-projects-leading-the-way-in-mining-waste-recovery/>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Motorbranschen, 2021: *Komponentbristen ger problem*. <<https://motorbranschen.mrf.se/komponentbristen-ger-problem/>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Naturvårdsverket, 2013: Översyn av deponiskatten. Redovisning av ett regeringsuppdrag. NV-00338-13.
- Naturvårdsverket, 2015: Återvinning ur nedlagda avfallsanläggningar – redovisning av ett regeringsuppdrag. NV-00308-15.
- Naturvårdsverket, 2021: Avfall som resurs. NV-00196-21.
- Naturvårdsverket, 2022a: Hantering av schaktmassor och annat naturligt förekommande material som kan användas för anläggningsändamål – Redovisning av regeringsuppdrag. NV-01151-21.
- Naturvårdsverket, 2022b: *Avfall eller biprodukt, tillsynsvägledning*. <www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/avfall-eller-biprodukt> Senast åtkommen 16 december 2022.
- Naturvårdsverket, 2022c: *Bedömning av när avfall upphör att vara avfall, vägledning*. <www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/bedomning-av-nar-avfall-upphor-att-vara-avfall> Senast åtkommen 16 december 2022.
- Northvolt, 2018: MKB Utökad anläggning för storskalig produktion av litiumjonbatterier, Northvolt Ett, Skellefteå kommun. [2018-10-10].
- Northvolt, 2021: *Northvolt produces first fully recycled battery cell* <Northvolt produces first fully recycled battery cell> [2021-11-12] Senast åtkommen 14 augusti 2022.
- OECD, 2019: *Global Material Resources Outlook to 2060. Economic drivers and environmental consequences*. <<https://www.oecd.org/environment/waste/highlights-global-material-resources-outlook-to-2060.pdf>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Regeringskansliet, 2021: *Cirkulär ekonomi – Handlingsplan för omställning av Sverige*. Miljödepartementet.
- Riksdagen, 2022: *Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt*.
- S&P Global Commodity Insights, 2022: *Global lithium market to remain tight*. <spglobal.com> Senast åtkommet 5 maj 2022.
- SCB, 2022: Elproduktion och förbrukning i Sverige. [2022-09-06]
- Smith, K.S. & Huyck, H.L.O., 1999: An Overview of the Abundance, Relative Mobility, Bioavailability, and Human Toxicity of Metals. In G.S. Plumlee and M.J. Logsdon (Eds.): *The Environmental Chemistry of Mineral Deposits, Reviews in Economic Geology, Volume 6A*, pp. 29–70.
- SGF, 2014: Geoteknisk fälthandbok. *Svenska Geotekniska Föreningen Rapport 1:2013*, 214 s.
- SGU, 2016: Vägledning för prövning av gruvverksamhet. *SGU-rapport 2016:23*, Sveriges geologiska undersökning, s. 57.
- SGU, 2017: UNFC – FNs system för klassificering av råvaror. Rapportering av regeringsuppdrag, RR 2017:13, Sveriges geologiska undersökning, diarie-nr: 21-2925/2016.
- SGU, 2020: Malmer och anriktningsverk (öppna data) – databas. Uttaget 28 september 2022.
- SGU, 2022: Bergverksstatistik 2021. Sveriges geologiska undersökning, *Periodiska publikationer 2022:1*, 82 s.

- SGU & Naturvårdsverket, 2017: Förslag till strategi för hantering av gruvavfall. Redovisning av ett regeringsuppdrag. NV-03195-16, SGU: 311-888/2016.
- SOU 2005:64: en BRASkatt! – beskattning av avfall som deponeras, Slutbetänkande av BRAS-utredningen, Stockholm 2005.
- SOU 2022:9: Avfallsbeskattning – en fråga om undantag. Slutbetänkande av Undantagsutredningen, Stockholm 2022.
- SOU 2022:33: Om prövning och omprövning – en del av den gröna omställningen. Betänkande av Miljöprövningsutredningen, Stockholm 2022.
- SOU 2022:56. En tryggad försörjning av metaller och mineral. Betänkande av Utredningen om en hållbar försörjning av innovationskritiska metaller och mineral. Stockholm 2022. ISBN 978-91-525-0489-5.
- Society of Petroleum Engineers SPE, 2000: *Petroleum Resources Classification System and Definitions*, Society of Petroleum Engineers SPE <www.spe.org/en/industry/petroleum-resources-classification-system-definitions> Senast åtkommen 22 december 2022.
- Svemin, 2019: *Traceability of sustainable metals – a blockchain-based solution*. <<https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbe174fee4974b25ec/1603289493500/Tracea>> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- Sädbom, S. & Bäckström, M., 2018: Sampling of mining waste – historical background, experiences and suggested methods. Bergskraft Bergslagen AB, *Report BKBAB 18-109*, 71 s.
- Söderholm, P., 2021: Barriärer och styrmedel för återvinning av innovationskritiska metaller: lärdomar från forskningslitteraturen. Rapport på uppdrag av Riksdagsförvaltningen. Bilaga 3 i Innovationskritiska metaller och mineral – en forskningsöversikt. ISBN 978-91-7915-049-5. Riksdagstryckeriet, Stockholm 2022. 2021/22:RFR10.
- Tegengren, F. R., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*, 654 s.
- The Intelligent Miner, 2019: *Mine tailings: reprocess, recover & recycle*. <<https://theintelligentminer.com/2019/09/13/mine-tailings-reprocess-recover-recycle/>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- The New York Times, 2021: *A power struggle over cobalt rattles the clean energy revolution*. <<https://www.nytimes.com/2021/11/20/world/china-congo-cobalt.html>> Senast åtkommen 23 september 2022.
- The Pan European Reserves and Resources Reporting Committee (PERC), 2021: *Perc reporting standard 2021*. <percstandard.org/perc-standard/#2021> Senast åtkommen 22 december 2022.
- Tillväxtanalys, 2015: Innovativ metallåtervinning för ökad resurseffektivitet. *PM 2015:10*, Dnr. 2014/263.
- Tillväxtanalys, 2019: Spårbarhet och märkning av hållbara metaller och mineral – insatser för ökad transparens, trovärdighet och efterfrågan. *PM 2019:01*.
- 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*.
- Torres de Matos, C., Wittmer, D., Mathieux, F. & Pennington, D., 2020: Revision of the material system analyses specifications. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10734-7, doi: 10.2760/374178, JRC118827.

- UN Global Compact, 2014: A Guide to Traceability – A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains.
<https://d306pr3pise04h.cloudfront.net/docs/issues_doc%2Fsupply_chain%2FTraceability%2FGuide_to_Traceability.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 1997: United Nations International Framework Classification for Reserves/Resources. Solid Fuels and Mineral Commodities.
<https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/unfc_fc_sf/ENERGY.WP.1.R.70_e.pdf> Senast åtkommen 22 december 2022.
- UNECE, 2017: Guidance Note on Competent Person Requirements and Options for Resources Reporting. Geneva: UNECE.
<https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/UNFC-Guidance-Notes/Guidance_Note_on_Competent_Person_Requirements_and_Options_for_Resource_Reporting.pdf> Senast åtkommen 13 januari 2023.
- UNECE, 2019: United Nations Framework Classification for Resources – uppdaterad version 2019. Geneva: UNECE.
<https://unece.org/DAM/energy/se/pdfs/UNFC/publ/UNFC_ES61_Update_2019.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 2020: United Nations Framework Classification for Resources. Case study from Finland/Estland, Sweden and Norway - Nordkalk Limestone and Forsand sand and gravel mines. Geneva: UNECE.
<https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/egrm/egrm11_apr2020/ECE_ENERGY_GE.3_2020_10.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 2021: Supplementary Specifications for the Application of the United Nations Framework Classification for Resources to Minerals. Geneva: UNECE.
<<https://unece.org/sites/default/files/2022-01/UNFC%20Mineral%20Specifications%202021.pdf>> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 2022a: Guidance for the Application of the United Nations Framework Classification for Resources (UNFC) for Mineral and Anthropogenic Resources in Europe. Geneva: UNECE. <https://unece.org/sites/default/files/2022-11/UNFC%20GUIDANCE%20EUROPE-FINAL_0.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 2022b: United Nations Framework Classification for Resources – Glossary of Common Terms. Geneva: UNECE. <https://unece.org/sites/default/files/2022-03/ECE_ENERGY_GE.3_2022_3.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- UNECE, 2022c: United Nations Framework Classification for Resources Case Study: Rare Earth Elements, Exploration Prospects and Secondary Resources in Sweden. Geneva: UNECE. <https://unece.org/sites/default/files/2022-05/ECE_ENERGY_GE.3_2022_12.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- United Nations, 2015: Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. *A/RES/70/1*.
- United Nations, 2015: *Paris Agreement*.
<https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf> Senast åtkommen 10 februari 2023.
- US Bureau of Mines and US Geological Survey, 1976: Principles of the mineral resource classification system of the U.S. Bureau of Mines and U.S. Geological Survey. *U.S. Geol. Survey Bull.* 1450-A, 5.

- World Bank Group, 2020: *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. <<https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>.> Senast åtkommen 23 september 2022.
- Yang, Y., Walton, A., Sheridan, R., Güth, C., Gauß, R., Gutfleisch, O., Buchert, M., Steenari, B.-M., van Gerven, T., Jones, P.T. & Binnemans, K., 2017: REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap: A Critical Review. *Journal of Sustainable Metallurgy* 3, 122–149.

BILAGA 1. UNDERSÖKNING AV HISTORISKA GRUVAVFALL

Bilaga 1A. Beskrivning av och resultat från undersökning av historiska gruvavfall

I bilagan presenteras kortfattat bakgrund, resultat och potential för samtliga förekomster av historiskt gruvavfall som provtagits inom regeringsuppdraget. En detaljerad sammanställning av medel-, maximi- och minimihalter av kritiska och andra relevanta metaller för de olika förekomsterna återfinns i tabellbilagorna 1b-e. Kartor över de olika gruvavfallsförekomsternas lokalisering återfinns i rapportens avsnitt 3. *Observera att uppskattade mängder kvarvarande material endast ska ses som indikativa och på intet sätt som faktiska resursberäkningar.* Osäkerheterna i dessa uppskattningar är stora eftersom mängden kvarvarande avfall i många fall är okänd eller dåligt avgränsad. Det har heller inte gjorts några bedömningar av hur stor del av en potentiell kvarvarande metallmängd som faktiskt är utvinningsbar ur vare sig tekniska eller ekonomiska perspektiv.

Varp och anrikningssand i Norrbottens län

Laisvall (anrikningssand)

Laisvallgruvan är belägen cirka 35 km nordost om Arjeplog i Norrbottens län (Sweref 733832/597640). Laisvallmineraliseringen består av impregnationer av blyglans och zinkblände i ediacarisk till kambrisk sandsten. Gruvan bröts aktivt under åren 1943–2001, och under den tiden producerades cirka 64 miljoner ton malm med genomsnittshalter om 4% bly, 0,67% zink och 9 ppm silver. Genom bearbetning av malmen under brytningen genererades också cirka 60 miljoner ton anrikningssand (Holmqvist 2001).

Sandmagasinen provtogs med spade på ett djup av 0,5 m. Analyser av de 18 insamlade proverna visar förhöjda halter av framför allt bly (0,38%) och zink (0,10%). Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 230 000 ton bly och 62 000 ton zink.

Laver (varp)

Lavergruvan är belägen 37 km västnordväst om Älvsbyn i Norrbottens Län (Sweref 7304401/739988). Lavergruvan bröts på en sulfidmineralisering med kopparkis och magnetkis som dominerande malmmineral. Gruvan bröts 1934–1946 (Kathol m.fl. 2012) och produktionen uppgick till 1,5 miljoner ton kopparmalm med 1,51% koppar, 0,2 ppm guld och 36 ppm silver (Fredriksson 1983). För produktionen av avfall finns endast uppgift om varp, vilken uppgick till 130 000 ton (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 16 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av koppar (0,45%). Givet att provtagning och analyser är representativa och under antagande att ingen varp avlägsnats från platsen finns i deponierna potentiellt cirka 600 ton koppar.

Pahtohavare (varp)

Pahtohavaregruvan är belägen cirka 10 km sydväst om Kiruna i Norrbottens län (Sweref 752778/714460). Mineraliseringen består av kopparkis och därutav sekundärt bildade kopparoxidmineral samt gediget guld. Gruvan bröts aktivt under åren 1989–1996, och under den tiden producerades cirka 1,7 miljoner ton malm med en kopparhalt på 4% och en guldhalt om 9 ppm.

Varpdeponin provtogs med totalt 18 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda halter av framför allt koppar (1,75%). Mängden varp på platsen är okänd, varför resurspotentialen inte kan bedömas.

Viscaria (varp, anrikningssand)

Viscariagruvan är belägen cirka 5 km nordost om Kiruna i Norrbottens län (Sweref 753817/715769). Fyndigheten består av ett antal massiva sulfidmineraliseringar, där kopparkis och magnetit ingår som malmmineral. Gruvan bröts aktivt under åren 1983–1996, och under den tiden producerades cirka 12,5 miljoner ton malm med en kopparhalt på 2,3%. Under den aktiva tiden genererades cirka 12 miljoner ton anrikningssand och 4,5 miljoner ton varp (Copperstone 2022).

Varpdeponin provtogs med totalt 16 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda halter av framför allt koppar (0,18%) och zink (0,10%). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns i varpdeponierna potentiellt cirka 8 000 ton koppar och 4 600 ton zink.

Sandmagasinet provtogs genom maskinbörning (djup: 0,5 – 19 m) med totalt 18 prover, för vilka analyser påvisar förhöjda halter av framför allt koppar (0,30%) och zink (0,27%). Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 36 000 ton koppar och 33 000 ton zink.

Varp och anrikningssand i Västerbottens län

Adakfältet (anrikningssand)

Adakfältets gruvor är fem till antalet och fältet omfattar en markyta på 4 × 5 kilometer, beläget cirka 20 km nordnordväst om Malå i Västerbottens län. Gruvorna, som samtliga ägdes av staten, är Adakgruvan (Sweref 7254600/669188), Lindsköldgruvan (Sweref 7254902/669077), Brännmyrangruvan (Sweref 7254040/671040), Karlssongruvan (Sweref 7255020/669793) och Rudtjebäckengruvan (Sweref 7255930/672420). Adakfältets gruvor bröts främst på kopparsulfidmalm och en mindre andel zinkmalm, i vilka malmmineral som kopparkis respektive zinkblände dominerade. Brytningen utfördes av Boliden AB åren 1940–1977 (Amdahl 1979). Malmen fraktades till Kristinebergs anrikningsverk fram till 1945, då anrikningsverket vid Adakgruvan stod klart. Den totala produktionen uppgick till 6,34 miljoner ton malm, med genomsnittliga halter om 2,02% koppar, 0,6 ppm guld och 9 ppm silver. Mellan åren 1945 och 1977 genererades 5,4 miljoner ton anrikningssand (SGU 2020). Från 1966 användes den grova fraktionen av anrikningssanden som återfyllnadsmaterial i Adak- och Lindsköldgruvorna (Amdahl 1979).

Adakfältets sandmagasin är efterbehandlat och därmed övertäckt. Tre prov kunde dock tas med spade av material som med tiden läckt ut (vattentransporterats) och återfinns mellan sandmagasinet och sjön Ruhtjiejávrrie. Detta material har dock både sorterats och uppblandats med främmande material under transporten från sandmagasinet mot sjön. De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av koppar (0,19%) och kobolt (158 ppm). Resultatet ger en fingervisning om sammansättningen av anrikningssanden i sandmagasinet, men är sannolikt inte representativt för det i sin helhet eftersom det påverkats i okänd omfattning efter ursprunglig deponering. I kombination med att den totala mängden kvarvarande anrikningssand är okänd är det inte möjligt att idag bedöma potentiella metallmängder i sandmagasinet. Det kan även noteras att sanden innehåller mycket höga halter arsenik (ett prov nådde analystaket om >1%).

Blaiken (anrikningssand)

Blaikengruvan är belägen 30 km norr om Storuman i Västerbottens län (Sweref 7250656/601247). Vid Blaikengruvan fanns ett anrikningsverk som även processerade material från Svärträskgruvan (Hemberget, 7229135/605447). I Blaikengruvan och Svärträskgruvan bröts zinkmineraliseringar och i Blaikengruvan även en mindre andel guldmineralisering (Ersmarksberget). Gruvorna bröts åren 2006 till 2007 av Scan Mining AB. Under 2009 bearbetade även Lappland Goldminers AB ett tidigare lager av guldförande malm i anrikningsverket. Den totala produktionen uppgick till 578 000 ton malm från Blaikengruvan, med en genomsnittlig metallhalt om 1,53% zink och 0,4 ppm guld, och från Svärträskgruvan 170 000 ton malm med en genomsnittlig halt om 2,5% zink. Som avfall från båda gruvorna genererades därtill 3,2 miljoner ton varp och 813 000 ton anrikningssand (SGU 2020).

Anrikningssand provtogs från Blaiksjöns botten (6 prov) medelst båt och sedimentprovtagare. Det sammanslagna medelvärde för provernas kemiska sammansättning visar en svagt förhöjd halt av zink (0,31%). Mängden anrikningssand som deponerats i sjön är inte känd.

Bjurfors (varp)

Bjurforsgruvan är belägen 12 km nordnordöst om Norsjö i Västerbottens län (Sweref 7217173/717369). Mineraliseringen som bröts i Bjurforsgruvan bestod av massiv sulfidmalm, ur vilken koppar och svavel utvanns. Gruvan bröts aktivt åren 1934–1935 och 1941–1945 (Einarsson och Lindberg 1988). Den totala produktionen uppgick till 201 482 ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 2,6% koppar, samt som avfall därtill 30 900 ton varp (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 10 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt koppar (0,64%) och zink (0,20%). Under antagande att prov och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 200 ton koppar och 62 ton zink kvar i högarna.

Lainejaur (varp)

Lainejaurgruvan är belägen 12 km nordöst om Malå i Västerbottens län (Sweref 7240713/685632). Lainejaurgruvans mineralisering utgörs av en magmatisk nickel-kopparsulfidmalm med magnetkis, pentlandit, kopparkis och nickelin som dominerande malmmineral. Gruvan bröts 1941–1945 och produktionen uppgick till 100 526 ton nickelmalm med 2,2% nickel, 0,93% koppar och 0,1% kobolt (Grip 1961). För produktionen av avfall finns endast uppgift om varp, vilken uppgick till 61 000 ton (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 19 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av nickel (0,29%) och koppar (0,28%). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen skulle potentiellt cirka 180 ton nickel och 170 ton koppar finnas kvar i högarna. Flygbilder från 1958 visar tydligt de varphögar som fanns kvar efter gruvdriften. Under 1970- och/eller 80-talen fraktades dock större delen av dem bort för att användas som makadam vid vägbyggnationer i Lainejaur's samhälle; den kvarvarande potentialen bedöms därför som ringa.

Varp, anrikningssand och slagg i Dalarnas län

Blötberget (varp, anrikningssand)

Blötbergets gruvor är belägna 7 km sydväst om Ludvika i Dalarnas Län (Sweref 6665171/504041). Vid Blötberget består mineraliseringarna av apatitjärnmalm. Gruvan bröts aktivt åren 1859–1863,

1896–1897 och 1900–1979 (Svenskt Stål AB 1980). Den totala produktionen uppgick till 15,7 miljoner ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 40% järn och 0,5% fosfor, samt i form av avfall 4,2 miljoner ton varp och 4,7 miljoner ton anrikningssand. Sanden deponerades i två sandmagasin; ett mindre sandmagasin, Glaningen, och ett större, Norberget. (Svenskt Stål AB 1980). Malmens innehåll av sällsynta jordartsmetaller och fosfor gör att dessa kan ha potential som biprodukter från eventuell framtida brytning, liksom för eventuell utvinning ur avfallsmaterial (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019 och referenser däri).

Varparna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (15,7%), fosfor (0,27%), sällsynta jordartsmetaller (592 ppm), vanadin (261 ppm) och titan (0,14%). Givet att prov och analyser är representativa och under antagande att ingen varp avlägsnats från platsen finns i deponierna potentiellt cirka 650 000 ton järn, 11 000 ton fosfor, 2 400 ton sällsynta jordartsmetaller, 1 000 ton vanadin och 3 400 ton titan.

Norbergets sandmagasin provtogs genom maskinbörning (40 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (10,6%), fosfor (0,61%), sällsynta jordartsmetaller (0,12%), vanadin (215 ppm) och titan (693 ppm). Genom geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 2 360 000 m³, vilket utifrån uppmätt skrymdensiteten om 1,86 ton/m³ ger en uppskattad mängd anrikningssand på 4,4 miljoner ton. Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 470 000 ton järn, 28 000 ton fosfor, 5 200 ton sällsynta jordartsmetaller, 3 000 ton titan och 940 ton vanadin.

Glaningens sandmagasin provtogs med spade (10 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (13,3%), fosfor (0,99%), sällsynta jordartsmetaller (0,12%) vanadin (294 ppm) och titan (0,11%). Ingen data finns om mängden anrikningssand i denna deponi, men givet att 4,4 miljoner beräknas ha deponerats i Norberget återstår 300 000 ton av den totala mängden anrikningssand som enligt bergverksstatistik genererats från Blötbergets anrikningsverk. Detta stämmer även väl överens med beräkning baserad på uppskattad mäktighet (1–1,5 m), area uppskattad från höjddata (160 000 m²) och uppmätt skrymdensitet (1,21 ton/m³). Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet finns här potentiellt cirka 40 000 ton järn, 2 900 ton fosfor, 370 ton sällsynta jordartsmetaller och 330 ton titan.

Falun (slagg)

I södra delen av Falun, Dalarnas län, ligger Falu koppargruva (Sweref 6718321/533554), vilken började brytas omkring 400-800 e. Kr. och var i någon form av storskalig drift från åtminstone 1100-talet (Tegengren 1924; Eriksson & Qvarfort 1996) till dess nedläggning 1992. Då kopparmalmen mestadels processerades (förhyttades) i närheten av gruvan har pyrometallurgisk framställning av koppar ur sulfidmalm gjorts här mer eller mindre kontinuerligt sedan åtminstone 800 till 1100 år och ett resultat av detta är mycket stora mängder slagg (slaggvarp) i olika delområden (se t. ex. Tegengren 1924, Lindroth 1955). Sannolikt är idag också stora slaggvolymer övertäckta av annat material. Faluslaggerna uppvisar en viss variation i utseende och provtagningen har genomförts för att belysa denna variabilitet. På basis av deras geografiska spridning beskrivs resultaten av analyser av slaggar från centrala Falun separerat från slaggar i Korsgårdensområdet cirka 3 km sydväst om stadens centrum.

Slaggerna från områden kring Falu gruva provtogs i form av totalt 13 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av kobolt (88 ppm), ppm) och volfram (155 ppm), utöver järn (36,6%) och basmetaller som koppar (0,89%) och zink (1,87%). De sällsynta jordartsmetallerna är

endast måttligt förhöjda (145 ppm), medan kritiska metaller som antimon och vismut uppvisar ytterst modesta förhöjningar. Vad gäller ädelmetaller så visar analyserna på en ganska stor variabilitet i halterna, men över lag för höjningar av både silver (13 ppm) och guld (0,6 ppm).

Slaggerna från Korsgårdenområdet provtogs och analyserades i form av fem prov. Analyserna visar något förhöjda medelhalter av kobolt (112 ppm), vismut (4,9 ppm) och volfram (137 ppm), utöver järn (38,9%) och basmetaller som koppar (1,37%) och zink (1,67%). Även i dessa prov (jämfört med ”centrala Falun”, ovan) varierar ädelmetallhalterna avsevärt, men över lag är de förhöjda för både silver (25 ppm) och guld (0,7 ppm).

Gruvberget (varp)

Gruvberget är beläget 11 km väster om Gagnef i Dalarnas Län (Sweref 6718303/492820). Vid Gruvberget består mineraliseringarna av en skarnsulfidmalm. Gruvan bröts aktivt åren 1909–1910, 1927, 1929–1931, 1933–1937, 1952 och 1989. Den totala produktionen uppgår till 45 000 ton malm, med genomsnittliga metallhalter om 5% zink, 1,9% bly, 0,3% koppar och 90 ppm silver, samt som avfall genererades därtill 122 000 ton varp (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt zink (2,35%), bly (0,95%), silver (27 ppm) och koppar (0,21%). Under antagande att prov och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns i högarna potentiellt cirka 2 900 ton zink, 1 200 ton bly, 260 ton koppar och 3,3 ton silver.

Grängesberg (varp, anrikningssand)

Grängesbergs gruvfält är beläget i södra Dalarnas län (Sweref 6660665/499847). Här bröts i omgångar en apatitjärnmalm, med magnetit som dominerande malmmineral. Grängesbergsmalmen bröts aktivt åren 1783–1789, 1791–1796, 1799–1881, 1883–1885, och 1887–1989 (SGU 2020). Malmen bröts huvudsakligen från två fält: Exportfältet och Risbergsfältet. Den totala produktionen uppgår till 132 miljoner ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 50% järn och 0,88% fosfor, samt som avfall därtill genererades 73,7 miljoner ton varp. I samband med bearbetning av malmen producerades 14,07 miljoner ton anrikningssand som deponerades i 3 sandmagasin; Hötjärnen, Jan-Matsdammen och Svandammen (SGU 2020). Malmens innehåll av sällsynta jordartsmetaller och fosfor gör att dessa kan ha potential som biprodukter från eventuell framtida brytning liksom för eventuell utvinning ur avfallsmaterial (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019 och referenser däri).

Varparna vid Grängesbergs Exportfält provtogs med totalt 17 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (10,3%), fosfor (0,40%) och sällsynta jordartsmetaller (510 ppm). Andra kritiska metaller som förekommer i förhöjda halter är vanadin (242 ppm), och titan (0,18%). Hur mycket av varpen som finns kvar på platsen är svårbedömt, då varp bland annat använts till (delvis omfattande) konstruktion av banvallar och som vallar runt områdets sandmagasin. Varp kan även ha forslats bort för att användas som byggnadsmaterial på andra platser. Baserat på historiska flygbilder samt aktuella ortofoton och höjddata görs bedömningen att åtminstone 6 miljoner ton varp finns kvar i området, lättillgängligt i högar. Det innebär, givet att prov och analyser är representativa för den totala uppskattade varpvolymen, att varphögarna har ett potentiellt innehåll om minst 620 000 ton järn, 24 000 ton fosfor, 11 000 ton titan, 3 000 ton sällsynta jordartsmetaller och 1 500 ton vanadin.

Hötjärnens sandmagasin provtogs både med spade (10 prov) och genom maskinbörning (47 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (22,8%), fosfor (0,97%), sällsynta jordartsmetaller (0,19%) och vanadin (551 ppm). Genom

geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 5 200 000 m³, vilket tillsammans med uppmätt skrymdensitet (1,6 ton/m³) ger en uppskattad mängd anrikningssand på upp emot 8,4 miljoner ton. Baserat på detta finns, givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandvolymen, potentiellt cirka 1 900 000 ton järn, 81 000 ton fosfor, 16 000 ton sällsynta jordartsmetaller och 4 600 ton vanadin i magasinet.

Jan-Matsdammens sandmagasin provtogs både med spade (8 prov) och genom maskinbörning (36 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (15,0%), fosfor (2,29%), sällsynta jordartsmetaller (0,18%), titan (980 ppm) och vanadin (368 ppm). Geofysiska mätningar ger en uppskattad volym om 1 430 000 m³, vilket med uppmätt skrymdensitet (1,43 ton/m³) ger en uppskattad mängd anrikningssand om 2,55 miljoner ton. Baserat på denna uppskattning, och förutsatt att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinets sammansättning, finns potentiellt 380 000 ton järn, 58 000 ton fosfor, 4 700 ton sällsynta jordartsmetaller, 2 500 ton titan och 940 ton vanadin i det.

Svandammens sandmagasin provtogs både med spade (10 prov) och genom maskinbörning (17 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (7,37%), fosfor (0,93%), titan (0,13%) och sällsynta jordartsmetaller (902 ppm). Det har inte varit möjligt att uppskatta mängden anrikningssand i Svandammen, men borträknat den sand som deponerats i Hötjärnen och Jan-Matsdammen återstår cirka 3,12 miljoner ton av den totala mängden anrikningssand som enligt bergverksstatistik producerats i området (SGU 2020). Givet att ingen anrikningssand forslats bort och att provtagning och analyser är representativa för sandmagasinets sammansättning finns potentiellt cirka 230 000 ton järn, 29 000 ton fosfor, 4 000 ton titan och 2 800 ton sällsynta jordartsmetaller.

Guttusjön (varp)

Guttusjögruvan ligger vid fjällranden, ungefär 20 km nordväst om Idre i Älvdalen, Dalarnas län (Sweref 6871852/363545). Mineraliseringen uppträder i ediacarisk sandsten till kvartsit. Blyglans är det dominerande malmmineralet, men också zinkblände förekommer i mindre mängder. Grubbrytningen vid Guttusjön pågick mellan åren 1979 och 1981. Malmproduktionen uppgick till 84 000 ton innehållande 3,5% bly. Varp och gråberg från brytningen uppgick till cirka 140 000 ton (GTK 2014, SGU 2020). Malmen bearbetades vid det närliggande anrikningsverket i Vassbo, varför inget sandmagasin föreligger i anslutning till gruvan.

Varpdeponin provtogs med totalt 15 prov. De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda medelhalter av framför allt bly (1,13%). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns i deponin potentiellt cirka 1 600 ton bly.

Idkerberget (varp, anrikningssand)

Idkerbergsfältet är beläget 29 km norr om Ludvika i Dalarnas län (Sweref 6693571/512599). Den brutna mineraliseringen utgörs av apatitjärnmalm med magnetit som dominerande malmmineral. Malmbrytning pågick 1860, 1867–1868, 1870, 1878, 1887, 1901–1921, och 1923–1977. Den totala malmproduktionen uppgick till cirka 11,044 miljoner ton med en genomsnittlig halt om 62,5% järn, 0,11% mangan, 0,70% fosfor och 0,01% svavel (GTK 2014; SGU 2020). Malmens halter av sällsynta jordartsmetaller och fosfor är relativt signifikanta (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019 och referenser däri). Brytning och bearbetning av malmen resulterade i cirka 7,8 miljoner ton varp och 50 200 ton anrikningssand (SGU 2020).

En del av varpen som genererades har använts som ballast och fyllnadsmaterial, något som gör det svårt att bedöma kvarvarande tonnage och därmed totalt uppskattat metallinnehåll. En befintlig varphög provtogs med två prov, för vilka analyser inte visar nämnvärda förhöjda medelhalter av någon metall utöver järn (15,6 %). Analyser av varpprov och borrhärdor under tidigare studier visar dock på förhöjningar av sällsynta jordartsmetaller (se t. ex. Högdahl m. fl. 2015).

Sandmagasinet provtogs med spade och handhållen jordborr (7 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (12,8%), fosfor (1,43%) och sällsynta jordartsmetaller (0,11%). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 6 400 ton järn, 720 ton fosfor och 57 ton sällsynta jordartsmetaller.

Intrånget (anrikningssand)

Intrångets gruvor (Sweref 6688405/563204) ligger ungefär 2 till 3 km nordväst om Garpenberg i Dalarnas län. Mineraliseringarna domineras av skarnjärnmalm som bröts i omgångar under perioden 1912–1969. Både underjordsbrytning och dagbrottsbrytning förekom och det producerades cirka 5,12 miljoner ton malm med en halt på 41,4% järn, 0,27% mangan och 0,15% koppar. Ett anrikningsverk var i drift under åren 1915 till 1969. Även malm från ytterligare gruvor och malmfält i området bearbetades här, vilka inkluderar Långviksfältet, Smältarmossen, Bispbergsfältet, Broddgruvefältet och Björngruvan. Totalt anrikades med magnetiska metoder cirka 4,28 miljoner ton malm innehållande 37,5% järn, 0,3% mangan, 0,19 % koppar och 0,83% svavel (SGU 2020). Som restprodukt genererades 2,65 miljoner ton anrikningssand som deponerades i ett sandmagasin som täcker en yta på ungefär 11 hektar.

Intrångets sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (9 prov). Sandmagasinet var inledningsvis även utpekad som intressant för maskinprovbörning, men eftersom det är beläget inom ett vattenskyddsområde krävdes en tillståndprocess som inte bedömdes genomförbar inom tidsramen för uppdraget. De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (11,4%), koppar (0,15%), zink (0,10%), vismut (49 ppm) och guld (0,13 ppm). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller anrikningssanden potentiellt cirka 300 000 ton järn, 4 000 ton koppar, 2 600 ton zink, 130 ton vismut och 340 kg guld.

Kalvsbäcken (varp och anrikningssand)

Kalvsbäcksgruvorna ligger 15 km sydost om Falun i Dalarnas län (Sweref 6705816/544146). Mineraliseringarna är av skarntyp och domineras av sulfidmalm innehållande zinkblände, kopparkis, blyglans, pyrit och magnetkis. Brytning pågick 1901–1903, 1915–1921 samt 1924–1963. Malmproduktionen uppgick till 550 000 ton, innehållande bly (3,3%), zink (8,9%), koppar (0,73%), svavel (14,5%), guld (0,19 ppm) och silver (94 ppm). Varpavfallet från brytningen uppgick till 140 000 ton. Ett flotationsanrikningsverk var i drift under åren 1922 till 1958; totalt bearbetades där 360 000 ton malm som genererade 280 000 ton anrikningssand som avfall, vilket deponerades vid gruvområdet (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt sju prov, för vilka analyserna påvisar förhöjda medelhalter av framför allt zink (3,74%), bly (1,26%), koppar (0,14%), silver (51 ppm) och antimon (29 ppm). Under antagande att ingen varp avlägsnats från platsen och att provtagning och analyser är representativa finns potentiellt cirka 5 200 ton zink, 1 800 ton bly, 200 ton koppar, 7 ton silver och 4 ton antimon i materialet.

Kalvsbäckens sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (6 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av zink (0,74%),

bly (0,48%), koppar (670 ppm), silver (44 ppm), guld (0,06 ppm) och antimon (34 ppm). Det kan dessutom noteras att svavelhalten i sanden är hög (medelhalt 6,16%). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 2 100 ton zink, 1 400 ton bly, 190 ton koppar, 12 ton silver och 9 ton antimon.

Lövås (varp och anrikningssand)

Lövås gruvfält ligger ungefär 10 km nordost om Stora Skedvi i Dalarnas län (Sweref 6704720/549730). Fältet består av ett antal gruvor inklusive Lövåsgruvorna, Augustaschaktet och Nybergsfältet. Mineraliseringarna är av skarntyp och domineras av sulfidmalm innehållande bly, zink och koppar. Järnoxidmalm förekommer också. Brytning pågick i omgångar under perioden 1835 till 1954. Malmproduktionen uppgick till ungefär 300 000 ton innehållande bly (3,4%), zink (2,6%) och koppar (0,8%). Varp från brytningen uppgick till ungefär 55 000 ton. Ett anrikningsverk baserat på flotation var i drift under åren 1944 till 1954 och bearbetade 300 000 ton malm, vilket i sin tur genererade 285 000 ton anrikningssand (SGU 2020).

Varphögarna vid Nybergsfältet provtogs med totalt 3 prov, för vilka analyserna påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (20,0%), zink (0,73%), bly (0,62%), koppar (415 ppm), vismut (102 ppm) och silver (9 ppm). Givet att provtagning och analyser är representativa finns i varphögarna cirka 11 000 ton järn, 400 ton zink, 340 ton bly, 23 ton koppar, 6 ton vismut och 480 kg silver.

Sandmagasinet provtogs med spade och handhållen jordborr (9 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (12,8%), zink (0,80%), bly (0,49%), koppar (307 ppm), antimon (36 ppm), och silver (10 ppm). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 2 300 ton zink, 1 400 ton bly, 87 ton koppar, 10 ton antimon och 3 ton silver. Det är även relativt höga halter arsenik i sanden (medelhalt 0,43%).

Nyberget (anrikningssand)

Nybergsfältet (Sweref 6673115/518655) ligger ungefär 5 km norr om Smedjebacken i Dalarnas län. Brytning av skarnjärnmalm från flera gruvor i fältet under åren 1858–1967 producerade cirka 3,2 miljoner ton malm som innehöll 37,2% järn och 0,2% mangan. Brytningen genererade cirka 930 000 ton varp. Bearbetning av totalt 2 miljoner ton malm vid anrikningsverket i Nyberget under åren 1912 till 1963 genererade 1,4 miljoner ton anrikningssand. Ett mindre tonnage med sulfidmalm från Grängsgruvan och Sala gruva anrikades också vid verket 1950–1953 (SGU 2020).

Nybergets sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (6 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (9,80%) och givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller sanden potentiellt cirka 137 000 ton av denna metall. Det kan även noteras att enstaka prov visar förhöjda arsenikhalter om upp till 0,18%, vilka åtminstone delvis torde representera sand från de sulfidmalmer som processerats enligt ovan.

Skyttgruvan-Näverberg (varp)

Skyttgruvan-Näverbergsgruvorna (Sweref 6718312/529478) ligger 4 km väster om Falun i Dalarnas län. Området omfattar ett antal gruvhål där brytning pågått i perioderna 1890–1908, 1934, 1940–1941 och 1947–1948. Mineraliseringarna utgörs av skarnassocierad sulfidmalm, dominerad av zink och bly. Malmproduktionen uppgick till 65 000 ton malm med 41% zink och brytningen genererade 171 000 ton varp (SGU 2020). Skyttgruvan är klassad som fornlämning av Riksantikvarieämbetet.

Varphögarna provtogs med totalt 10 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt zink (8,92%), bly (3,36%), koppar (0,48%), silver (140 ppm), antimon (117 ppm) och guld (0,5 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 15 000 ton zink, 5 800 ton bly, 820 ton koppar, 24 ton silver, 20 ton antimon och 100 kg guld i varphögarna.

Stollberg (anrikningssand)

Stollbergs gruvfält är beläget 5 km nordost om Ludvika i Dalarnas län (Sweref 6671508/515263). Vid Stollberg består mineraliseringarna av sulfidförande skarnmalm som ställvis övergår i en manganhaltig skarnjärnmalm. Flera gruvor av varierande storlek bröts längs det 5 km långa stråk som utgör Stollbergsfältet. Den största gruvan var Stollbergsgruvan, vilken bröts aktivt åren 1874–1875, 1884–1886, 1889–1893, 1899–1914, 1927–1929, 1944–1979 och 1981 (SGU 2020). Den totala produktionen uppgick till 3,37 miljoner ton malm med en genomsnittlig metallhalt om 16,5% järn, 3,4% bly, 2,47% zink, 0,06% koppar och 80 ppm silver, samt som avfall därtill 850 000 ton varp och gråberg. Den näst största gruvan var Grängsgruvan, av samma mineraliseringstyp, men med högre guldhalter. Grängsgruvan bröts 1945–1953 och 1965–1978. Den totala produktionen från Grängsgruvan uppgick till 700 000 ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 4,9% zink, 2,3% bly, 0,10% koppar, 32 ppm silver och 0,18 ppm guld. Malmen från båda gruvorna processerades i ett anrikningsverk 1 km söder om Stollbergsgruvan, och drygt 3 miljoner ton sand har deponerats som avfall där (SGU 2020).

Sandmagasinet vid Stollberg är efterbehandlat genom övertäckning varför provtagning endast var möjlig genom maskinborrning (64 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (10,6%), zink (0,49%), bly (0,31%), antimon (14 ppm) och silver (8,9 ppm). Genom geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 1 813 000 m³, vilket utifrån uppmätt skrymdensitet ger en uppskattad mängd anrikningssand om 2,8 miljoner ton. Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 299 000 ton järn, 13 600 ton zink, 8 500 ton bly, 39 ton antimon och 25 ton silver.

Svärdsjö (varp och anrikningssand)

Svärdsjö gruva ligger ungefär 8 km nordost om Sundborn (Sweref 6731176/545585) i Dalarnas län. Mineraliseringarna är av skarntyp och domineras av sulfidmalm innehållande zink, bly och koppar. Brytning pågick 1887, 1893, 1901, 1916–1930, 1953–1972, 1983–1985 samt 1988–1989. Malmproduktionen uppgick till 1 miljon ton innehållande bly (2,6%), zink (6%), koppar (0,6%), svavel (5,7%), silver (112 ppm) och guld (0,37 ppm). Varp genererad under brytningen uppgick till 210 000 ton (SGU 2020). Enligt uppgift på platsen var ett anrikningsverk i drift under 1920-talet, men det finns inga data om tonnage och halter från denna produktion i SGU:s databaser. En del av malmen som bröts på 1950-talet transporterades till Kalvsbäcken för anrikning. På 1960–1970 talet anrikades malm från Svärdsjö gruva i Garpenberg (SGU 2020).

Under fältbesök vid Svärdsjö hösten 2021 observerades en mindre ackumulation av sand vid Svartviksgruvan. På grund av osäkerhet om detta verkligen utgör sand från anrikning här togs endast två prover med spade och handhållen jordbör. Medelvärdet för dessa två provers kemiska sammansättning visar förhöjda halter av zink (0,68%), bly (0,31%), koppar (745 ppm), silver (20 ppm) och guld (0,05 ppm).

En mindre varphög provtogs (ett prov) för vilket analyserna påvisar förhöjda medelhalter av framför allt zink (1,79%), bly (0,41%), koppar (0,70%), silver (20 ppm), guld (0,4 ppm) och vismut (40 ppm). På grund av de osäkerheter som beskrivs ovan gällande den provtagna sandens

ursprung, samt det faktum att en hel del av varpen har flyttats, omöjliggörs beräkningar av kvarvarande metallinnehåll.

Tomtebo (varp)

Tomtebofältet är beläget ungefär 5 km väster om Stora Skedvi i Dalarnas län (Sweref 6697426/540029). Tomtebomineraliseringarna utgörs av sulfidmalm rik på framför allt koppar, bly och zink. Gruvorna bröts 1914–1919, 1942–1945 och 1965–1968. Den totala produktionen uppgår till 122 000 ton malm, med genomsnittliga metallhalter för koppar (4,4%), bly (13%), guld (2 ppm), silver (15 ppm) och svavel (37%), samt därtill cirka 76 000 ton varp som avfall (GTK 2014, SGU 2020).

Varphögarna i anslutning till Steffenburgs schakt i Tomtebo provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt koppar (0,39%), bly (0,16%), zink (0,15%), vismut (33 ppm), silver (16 ppm) och guld (0,5 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 290 ton koppar, 110 ton zink, 120 ton bly, 2,5 ton vismut, 1,2 ton silver och 38 kg guld i varphögarna.

Vassbo (anrikningssand)

Vassbogruvan ligger vid fjällranden, 15 km nordväst om Idre i Älvdalen, Dalarnas län (Sweref 6870680/369731). Malmen är en sulfidmalm som uppträder i ediacarisk sandsten till kvartsit. Blyglans var det dominerande malmineralet, men även zinkblände förekommer i mindre mängder. Brytning i Vassbogruvan pågick 1956–1982 (SGU 2020) och malmproduktionen uppgick till 4,9 miljoner ton innehållande bly (4,6%), zink (0,26%) och silver (14 ppm). Malm från Vassbogruvan och den närbelägna Guttusjögruvan bearbetades vid anrikningsverket i Vassbo. Mängden producerad anrikningssand uppgick till 4,43 miljoner ton och deponerades i ett sandmagasin på platsen (SGU 2020).

Vassbogruvans sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (13 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av bly (0,32%), zink (458 ppm) och silver (1,5 ppm). Det bör dessutom noteras att sanden är synnerligen kiselrik med en medelhalt på 95% kiseldioxid (SiO_2). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet och att inget material forslats bort innehåller anrikningssanden potentiellt cirka 14 000 ton bly, 2 000 ton zink och 6 ton silver.

Vintjärn (anrikningssand)

Vintjärnsfältet ligger ungefär 25 km nordost om Falun i Dalarnas län (Sweref 6743925/556670). Skarnjärnmalm bröts här i perioderna 1834–1850, 1858–1928, 1930 och 1939–1978. Malmproduktionen för hela fältet uppgick till 6,13 miljoner ton innehållande järn (35%) och mangan 0,49%). Ett anrikningsverk var i drift under perioden 1907–1978. Anrikningssanden (3,25 miljoner ton) deponerades i ett sandmagasin i anslutning till sjön Vintjärnen (SGU 2020).

Vintjärns sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (7 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar mycket låga halter av alla bas- och ädelmetaller. Järnhalten uppgår till endast 9,88%. Under förutsättning att proverna är representativa för hela sandmagasinet innehåller anrikningssanden potentiellt cirka 320 000 ton järn.

Varp, anrikningssand och slagg i Gävleborgs län

Långnäs (anrikningssand)

Skarnjärnmalm från flera järnmalmsgruvor kring sjön Stor-Gösken, däribland Nyängsfältet och Vingesbackegruvan, processerades vid anrikningsverket i Långnäs (Sweref 6710751/574530), cirka 4 km sydost om Hofors i Gävleborgs län. Nyängsfältet inkluderar flera gruvor som bröts under åren 1836–1850 och 1858–1966. Fältet producerade cirka 2,24 miljoner ton malm som innehöll 39,6% järn och 1,1% mangan. Vingesbackegruvan var i produktion 1950–1980 och producerade 3,49 miljoner ton malm som innehöll 39,2% järn och 0,39% mangan. Bearbetning av malm vid anrikningsverket i Långnäs påbörjades 1906 och pågick fram till nedstängningen av Vingesbackegruvan. Totalt genererades cirka 800 000 ton anrikningssand som deponerades vid Norr-Göskens norra del (SGU 2020).

Långnäs sandmagasin provtogs med spade och handhållen jordborr (6 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (15,1%), zink (546 ppm), silver (2,2 ppm), guld (0,13 ppm) och vismut (31 ppm). Det bör även noteras att halten av arsenik i anrikningssanden är relativt hög (medelvärde 228 ppm). Givet att analyser och provtagning är representativa för hela sandmagasinet och att inget material forslats bort innehåller sanden potentiellt cirka 120 000 ton järn, 440 ton zink, 25 ton vismut, 1,8 ton silver och 100 kg guld.

Varp, anrikningssand och slagg i Västmanlands län

Bäckegruvan (varp, anrikningssand)

Bäckegruvan är belägen inom Riddarhyttefältet, cirka 7 km väster om Skinnskatteberg i Västmanlands län (Sweref 6631900/0533300). Bäckegruvan och området därkring har brutits sedan 1200-talet och fram till anrikningsverkets nedläggning 1982. I området karakteriseras malmerna av bandade till massiva magnetitmalm, ställvis med skarn och impregnation av kopparkis med flera sulfider samt lokalt förande koboltmineral. Under åren 1900–1979 har Bäckegruvans anrikningsverk processerat 9,27 miljoner ton malm med en genomsnittlig metallhalt av 33,98% järn, 1,35% svavel och cirka 0,1% koppar, samt genererat 5,4 miljoner ton anrikningssand (SGU 2020). Brytningen ledde också till en okänd, men avsevärd mängd varp.

De varpdeponier som provtogs i anslutning till Bäckegruvans anrikningsverk var lokaliserade öster om Östergruvan-Jacobsgruvan (15 prov) och Haggruvan (15 prov), för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (24,7%), koppar (0,47%), barium (0,19%), sällsynta jordartsmetaller (770 ppm), kobolt (286 ppm) och vismut (105 ppm).

Sandmagasinet provtogs både med spade (43 prov) och genom maskinbörning (49 prov) fördelade på två borrhål. De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (12,5%), barium (0,66%), koppar (0,12%) sällsynta jordartsmetaller (0,11%) och kobolt (321 ppm).

Genom geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 3,3 miljoner kubikmeter, vilket baserat på uppmätt skrymdensitet ger en uppskattad mängd anrikningssand om 5,3 miljoner ton, vilket är i linje med tillgängliga uppgifter från bergverksstatistik (SGU 2020). Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller sanden cirka 670 000 ton järn, 35 000 ton barium, 6 300 ton koppar, 5 700 ton sällsynta jordartsmetaller och 1 700 ton kobolt.

Kittelgruvan (varp)

Kittelgruvan är belägen inom Riddarhyttfältet, cirka 6 km västnordväst om Skinnskatteberg i Västmanlands Län (Sweref 6634100/533000) och är en del av Bastnäs-fältet (Gamla Bastnäs-fältet). Vid Kittelgruvan består mineraliseringarna av amfibolskarn och hydrotermalomvandlade metavulkaniter, med både järnoxid- och sulfidmineralisering med kopparkis, koboltglans och molybdenglans. Gruvbrytningen i området startade på 1600-talet och fortsatte till början av 1900-talet. Den totala mängden bruten malm är okänd.

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (12,4%), koppar (0,18%), molybden (0,29 %), kobolt (371 ppm), vismut (340 ppm), guld (0,24 ppm) och sällsynta jordartsmetaller (0,82%). Varpen har en yta av omkring 500 m².

Källfallsgruvan (varp, anrikningssand)

Källfallsgruvan är belägen inom Riddarhyttfältet 10 km väster om Skinnskatteberg i Västmanlands län (Sweref 529390/6631900). Källfallsgruvans mineralisering består av järnoxidmineraliserad glimmerskiffer och skarnjärnmalm. Gruvan var i drift från 1897 fram till och med 1967. Totalt processerades 3,57 miljoner ton malm från Källfallsgruvan, men även närliggande gruvor, i anrikningsverket, vilket resulterade i 2,01 miljoner ton avfall och 1,5 miljoner ton koncentrat med genomsnittlig metallhalt omkring 36,9% järn, 0,02% koppar och 0,05% molybden (SGU 2020). Avfallet utgörs av både varp och anrikningssand, men mängderna av respektive avfallstyp är ej kända från bergverksstatistik.

Genom geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 553 000 m³, vilket baserat på uppmätt skrymdensitet (1,7 ton/m³) ger en uppskattad mängd anrikningssand omkring 0,94 miljoner ton. Detta ger i sin tur ett antaget varptonnage om 1,07 miljoner ton, baserat på uppgiften om total mängd avfall från bergverksstatistik.

Varphögarna provtogs med totalt 17 prover, för vilka analyser visar förhöjda medelhalter av framför allt järn (13,3%), sällsynta jordartsmetaller (0,12%) och molybden (153 ppm). Baserat på uppskattningar av varptonnage, givet att provtagning och analyser är representativa och att inget material avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 140 000 ton järn, 1 300 ton sällsynta jordartsmetaller, 160 ton molybden och 220 ton koppar i varpen.

Sandmagasinet provtogs både med spade (31 prov) och genom maskinbörning (21 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (13,3%), sällsynta jordartsmetaller (0,27%), koppar (313 ppm) och molybden (284 ppm). Givet att provtagningen och analyserna är representativa för hela sandmagasinet och att inget material forslats bort innehåller det potentiellt cirka 130 000 ton järn, 2 500 ton sällsynta jordartsmetaller, 320 ton molybden och 300 ton koppar.

Malmkärra (varp)

Malmkärragruvan är belägen mellan Norberg och Fagersta i Västmanlands Län (Sweref 99 547100/6658340). Vid Malmkärragruvorna består mineraliseringarna främst av magnetitförande amfibolskarn. Gruvan bröts aktivt åren 1874, 1885–1931 och 1935–1937. Den totala produktionen uppgår till 0,21 miljoner ton malm med en genomsnittlig halt om 47% järn, 0,06% svavel och 0,005% fosfor, samt avfall i form av cirka 83 000 ton varp (SGU 2020). Malmkärragruvorna är typlokal för mineralen västmanlandit-(Ce), ulfanderssonit-(Ce) samt gadolinit-(Nd), vilka tillsammans med flera andra mineral innehåller (mycket) höga halter av sällsynta jordartsmetaller (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019 och referenser däri).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (22,6%), sällsynta jordartsmetaller (0,55%), volfram (200 ppm), koppar (162 ppm), och gallium (104 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa samt att ingen varp avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 19 000 ton järn, 460 ton sällsynta jordartsmetaller, 17 ton volfram, 13 ton koppar och 9 ton gallium i högarna.

Lienshyttan (slagg)

Lienshyttan ligger vid Riddarhyttan, cirka 26 km sydväst om Fagersta i Västmanlands län (Sweref 662997/530187). I Lienshyttan har förhyttning av malm sannolikt gjorts sedan 1500-talet, medan modernare pyrometallurgisk framställning av järn ur järnoxidmalm gjordes från omkring 1847 fram till 1959 (se t. ex. Skyllberg 1997). Detta har resulterat i särskilt en större ansamling av slagg (slaggvarp). Även om slaggerna här till synes domineras av gröna, glasiga dito finnes en viss variation i utseende och provtagningen har genomförts för att belysa denna variabilitet.

Slaggerna från Lienshyttan provtogs med 5 prov, för vilka analyser påvisar kraftigt förhöjda medelhalter av sällsynta jordartsmetaller (0,31%), utöver järn (4,68%). Inga uppgifter finns om slaggernas totala volym, varför en bedömning av den kvarvarande resurspotentialen inte är möjlig.

Nya Bastnäs (varp)

Nya Bastnäs är beläget inom Riddarhyttedältet, cirka 6 km västnordväst om Skinnskatteberg i Västmanlands län (Sweref 6634100/533000) och är en del av Bastnäsfältet. Vid Nya Bastnäs består mineraliseringarna främst av polymetalliska magnetitskarn och hydrotermalomvandlade metavulkaniter och bandade järnmalm, omfattande både järnoxid- och sulfidmineraliseringar med kopparkis, koboltmineral, vismutglans och molybdenglans. Därutöver innehåller framför allt skarnen lokalt mycket rik REE-mineralisering. Nya Bastnäs är upptäcktslokalen för de sällsynta jordartsmetallerna cerium och lantan liksom typlokal för minst 9 mineral, varav de flesta är mycket REE-rika (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019, och referenser däri). Ett exempel på sådana mineral är cerit-(Ce), som utgjorde ursprungsmaterialet för sagda grundämnesupptäckter. Gruvbrytning i området startade på 1600-talet och brytning fortsatte till början av 1900-talet (SGU 2020). I Ceritgruvan bröts sällsynta jordartsmetaller under åren 1875–1888 med en totalproduktion om cirka 4 500 ton malm (Carlborg 1923). Den totala produktionen i Nya Bastnäs, utöver den i Ceritgruvan, är okänd.

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, från en uppskattad area om cirka 6 000 m², för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (24,2%), sällsynta jordartsmetaller (0,81%), barium (0,14%), koppar (0,12%), kobolt (202 ppm) och vismut (101 ppm). Ingen uppskattning av mängd kvarvarande resurser har kunnat göras eftersom uppgifter om varparnas omfattning saknas.

Persgruvan (varp)

Persgruvan är belägen cirka 10 km väster om Skinnskatteberg i Västmanlands län (Sweref 531450/6634270). Mineraliseringen består av kvartsbandad järnmalm. Gruvan bröts aktivt åren 1879–1885, 1887, 1895–1920, 1922–1925, 1928–1931 och 1938–1967 (SGU 2020). Från 1943 fram till och med nedläggningen 1967 transporterades malmen för anrikning vid närliggande Källfallsgruvan och senare Bäckegruvan. Den totala produktionen uppgår till omkring 1,28 miljoner ton med en genomsnittlig halt av 43,3% järn, 0,27% svavel, 0,05% koppar och 0,005% fosfor. Mängden avfall som genererades i form av varp uppgår till 0,56 miljoner ton (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (12,2%), sällsynta jordartsmetaller (871 ppm) och koppar (749 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns potentiellt cirka 69 000 ton järn, 490 ton sällsynta jordartsmetaller och 420 ton koppar i högarna.

Riddarhyttans kopparverk (slagg)

Riddarhyttan ligger cirka 26 km sydväst om Fagersta i Västmanlands län (Sweref 6630181/530466). Vid Riddarhyttan har pyrometallurgisk framställning av koppar ur sulfidmalm gjorts under perioder sedan åtminstone 1500-talet och ett resultat av förhyttningsprocessen är relativt stora mängder kvarvarande slagg (slaggvarp). Från 1616 uppbyggdes en kopparhytta och förhyttning genomfördes åtminstone till sent 1700-tal ("Gamla Kopparverket"; Sweref 6633000/530794), varefter en ny anläggning ("Nya Kopparverket"; Sweref 6631009/531930) uppfördes under det tidiga 1800-talet (i bruk från 1819) från vilken kopparproduktion bedrevs fram till 1873 (Carlborg 1923; Tegengren 1924). Över den långa tiden som hyttorna var i bruk togs kopparmalm från ett flertal olika gruvor i området. Slaggerna har en viss variation i utseende och provtagningen har genomförts för att belysa denna variabilitet.

Slaggerna från Gamla respektive Nya Kopparverket i Riddarhyttan provtogs i form av totalt 12 prov. Resultaten redovisas separat för de två lokalerna, då både ändringar i metodik/teknik och specifika källor till råmalm över tid bör ha kunnat medföra skillnader i slaggernas kemiska sammansättning. Analyserna visar förhöjda medelhalter av, för Gamla Kopparverket (7 prov), framför allt kobolt (1385 ppm) och sällsynta jordartsmetaller (>4 500 ppm), utöver järn (47,2%) och koppar (2,00%). Också för vismut (40 ppm), indium (6,9 ppm) och volfram (101 ppm) noteras förhöjda medelhalter, liksom för ädelmetallerna guld (0,44 ppm) och silver (7,5 ppm)

I fallet med slaggerna från Nya Kopparverket (5 prov) är de i ännu högre grad rika på kobolt (3 275 ppm), järn (47%) och koppar (2,2%), samtliga angivna som medelhalter. Sällsynta jordartsmetaller är mera måttligt förhöjda i dessa prov (medelhalt 465 ppm).

Skilå övre hytta (slagg)

Skilå övre hytta ligger vid Källfallet, strax nordväst om Riddarhyttan, cirka 26 km sydväst om Fagersta i Västmanlands län (Sweref 6632355/528745). Här har pyrometallurgisk framställning av järn ur järnoxidmalm gjorts mellan 1653 och 1802 (se t. ex. Skyllberg 1997), vilket resulterat i ansamlingar av idag mestadels av mossor och skog övervuxen slagg (slaggvarp). Bäcka, Skärsjö och Bastnäs gruvor skall över tid ha levererat järnmalm hit. Även om slaggerna här till synes domineras av gröna och blå, ofta glasiga dito finnes en viss variation i utseende och provtagningen har genomförts för att belysa denna variabilitet.

Slaggerna från Skilå övre hytta provtogs i form av totalt 5 prov, för vilka analyser påvisar en kraftigt förhöjd medelhalt av sällsynta jordartsmetaller (2 531 ppm).

Åsgruvan (varp)

Åsgruvan är belägen strax norr om Norberg i Västmanlands län (Sweref 6660650/552170). Mineralisering utgörs av en manganfattig skarnjärnmalm med lokal mindre förekomst av sulfider. Gruvbrytning startade 1860 och pågick i omgångar fram till och med 1964. Den totala produktionen i området Getbacks- och Rörbäcksfälten, där Åsgruvan ingår, uppgår till 2,7 miljoner ton. Åsgruvans produktion uppskattas utgöra minst en tredjedel av detta (Hellström m.fl. 2022). Malmen höll genomsnittlig metallhalt om 31% järn, 0,19% svavel och 0,01% fosfor.

Mängden varp uppgår till 0,57 miljoner ton (SGU 2020). En viss förekomst av REE-mineralisering har tidigare noterats i Åsgruvan (se t. ex. Jonsson m.fl. 2019 och referenser däri).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (20,0%) och sällsynta jordartsmetaller (457 ppm). Varpområdet uppgår till cirka 7 000 m² med ett okänt antal ton varp, varför en uppskattning av mängden kvarvarande metaller inte är möjlig.

Östanmossa (varp)

Östanmossagruvan är belägen i Norberg, cirka 16 km nordost om Fagersta i Västmanlands län (Sweref 6660650/552150). Gruvan bröts på järnoxidmineralisering i skarn och magnesium-omvandlade metavulkaniter associerade med dolomithorisonter. Lokalt riklig förekomst av REE-mineral har noterats i gruvan (se t. ex. Jonsson m. fl. 2019, och referenser däri) och den är typlokal för tre mineral, av vilka två är REE-rika; dollaseit-(Ce) och arrheniusit-(Ce). Den totala järnmalmsproduktionen under åren 1859–1931 uppgick till cirka 400 000 ton. Gruvan ingår i Getbacks- och Rödbergsfälten, som tillsammans med Smörbergsfältet och Klackberg-Kolningsbergsfälten levererade malm till ett och samma anrikningsverk i Östanmossen, vilket var i produktion 1910–1960. Totalt processades 1,69 miljoner ton järnmalm inom detta område.

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (21,8%) och sällsynta jordartsmetaller (0,18 %). Något tonnage för de kvarvarande varphögarna har inte kunnat beräknas eftersom uppgifter om producerad mängd varp saknas.

Varp och anrikningssand i Örebro län

Bastkärn (varp)

Bastkärns gruva är belägen 16 km norr om Kopparberg i Örebro Län (Sweref 6653479/498801). Bastkärnmineraliseringen består av manganhaltig skarnjärnmalm med mindre inslag av sulfidmalm. Gruvan bröts aktivt åren 1875–1876, 1899–1925 och 1927–1978. Den totala produktionen uppgår till 3,75 miljoner ton malm med en genomsnittlig metallhalt om 40% järn och 3,9% mangan, samt som avfall därtill 2,57 miljoner ton varp (Bastkärns grufaktiebolag 1980).

Varpdeponierna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (13,6%) och titan (447 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa och att ingen varp avlägsnats från platsen finns i deponierna potentiellt cirka 350 000 ton järn och 1 200 ton titan.

Hällefors silvergruva (varp)

Hällefors silvergruva är belägen 8 km norr om Hällefors i Örebro län (Sweref 6634849/471138). Mineraliseringarna som brutits här består av en form av sulfidförande skarnmalm, rik på koppar, zink och bly, som ställvis övergår till skarnjärnmalm med inslag av mangan. Gruvan bröts aktivt åren 1878–1880, 1884–1886, 1888–1896, 1915–1916 och 1977–1978. (SGU 2020). Den totala produktionen uppgick till 74 000 ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 4,3% zink, 4% bly, 0,07% Cu, 99 ppm silver och 0,2 ppm guld, samt som avfall därtill 94 000 ton varp.

Varphögarna provtogs med totalt 17 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (10,3%), zink (1,35%), bly (0,97%), antimon (49 ppm) och silver (31 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 9 700 ton järn, 1 200 ton zink, 900 ton bly, 4 ton antimon och 3 ton silver i varphögarna.

Kaveltorp (varp, anrikningssand)

Kaveltorpsgruvan är belägen i Kopparberg i Örebro län (Sweref 6636695/499605).

Mineraliseringen utgörs av skarnsulfidmalm, rik på koppar, zink och bly, vilken ställvis övergår i skarnjärnmalm. Gruvan bröts aktivt åren 1874–1920, 1922–1949, 1952 och 1967–1971. Den totala produktionen uppgår till 920 000 ton malm med en genomsnittlig metallhalt om 5,1% zink, 3,6% bly, 0,34% Cu, 44 ppm silver och 0,32 ppm guld, samt som avfall därtill 233 000 ton varp och 500 000 ton anrikningssand (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 17 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (6,24%), zink (2,24%), bly (1,56%), koppar (0,27%), vismut (131 ppm) och silver (16 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns det potentiellt cirka 14 500 ton järn, 5 200 ton zink, 3 600 ton bly, 625 ton koppar, 31 ton vismut, och 3,6 ton silver i varphögarna.

Kaveltorps sandmagasin provtogs med spade (10 prov) och genom maskinborrning (11 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (4,94%), zink (0,92%), bly (0,77%), koppar (0,12%), vismut (21 ppm) och silver (6 ppm). Givet att analyser och provtagning är representativa för hela sandmagasinet innehåller det potentiellt cirka 24 000 ton järn, 4 600 ton zink, 3 800 ton bly, 600 ton koppar, 10 ton vismut och 3 ton silver.

Ljusnarsberg (varp)

Ljusnarsbergs gruvfält är beläget i Kopparberg i Örebro län (Sweref 6637891/499291).

Mineraliseringarna bestod av sulfidskarnmalm rik på koppar, zink och bly, som ställvis övergår till skarnjärnmalm. Gruvan bröts småskaligt från 1700-talet, men i större skala under åren 1874–1878, 1881–1886, 1889–1896, 1899–1902, 1912, 1939–1966 och 1968–1975 (SGU 2020). Den totala produktionen uppgår till 920 000 ton malm med en genomsnittlig metallhalt om 21,5% järn, 2% zink, 1,5% bly, 1,2% koppar, 14 ppm silver och 0,26 ppm guld, samt som avfall därtill 122 000 ton varp (Bäckström & Sädbom 2008, SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (19,1%), zink (0,24%), bly (0,16%), koppar (0,25%), vismut (61 ppm) och silver (3 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 180 000 ton järn, 2 000 ton zink, 1 400 ton bly, 2 300 ton koppar, 55 ton vismut i varphögarna och 3 ton silver.

Moss- och Sköttgruvan (varp)

Moss- och Sköttgruvorna är belägna 13 km nordost om Kopparberg i Örebro län (Sweref 6649943/503534). Mineraliseringarna här bestod av en manganhaltig skarnjärnmalm. Aktiv brytning ägde rum under 1868, 1873, 1882–1925, 1927–1930 och 1933–1972. Den totala produktionen uppgår till 3,2 miljoner ton malm med en genomsnittlig metallhalt om 40% järn och 1,9% mangan, samt som avfall därtill genererades 1,31 miljoner ton varp (SGU 2020).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (6,49%) och titan (831 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 85 000 ton järn och 1 800 ton titan i varphögarna.

Ställberg (varp)

Ställbergsgruvan är belägen 13 km norr om Kopparberg i Örebro län (Sweref 6649646/495949). Ställberg bröts på ett järn- och manganhaltigt skarn. Gruvan bröts aktivt åren 1870, 1873–1874, 1876–1880 och 1882–1977. Den totala produktionen uppgick till 6,5 miljoner ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 50% järn och 4,7% mangan, samt som avfall därtill 5,5 miljoner ton varp (Ställbergsbolaget AB 1982).

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (12,2%) och titan (667 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 670 000 ton järn och 3 700 ton titan i högarna.

Yxsjöberg (varp, anrikningssand)

Yxsjöbergs gruva är belägen i Örebro län, 15 km sydväst om Grängesberg (Sweref 6656471/487368). Vid Yxsjöberg består den brutna mineraliseringen av ett volframrikt skarn med mindre mängder, ofta kopparrika, sulfidmineral och därutöver flusspat. Gruvan bröts aktivt åren 1897, 1902–1904, 1906–1908, 1918–1920, 1935–1963 och 1973–1989 (AB Statsgruvor 1991). Den totala produktionen uppgår till 4,95 miljoner ton malm med en genomsnittlig halt om 5,8% flusspat, 0,26% volfram, och 0,16% koppar, samt som avfall därtill 644 000 ton varp. Vid bearbetning av malmen genererades också 5,2 miljoner ton anrikningssand som deponerats i två sandmagasin, varav det ena, Morkulltjärnen, provtogs inom detta uppdrag.

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt järn (6,98%), volfram (692 ppm), koppar (260 ppm), vismut (188 ppm) och beryllium (45 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 38 000 ton järn, 640 ton volfram, 75 ton vismut och 28 ton beryllium i högarna.

Sandmagasinet vid Morkulltjärnen provtogs med spade (9 prov) och genom maskinbörning (44 prov). De sammanslagna medelvärdena för provernas kemiska sammansättning visar förhöjda halter av järn (13,3%), flusspat (1,69%), volfram (897 ppm), vismut (475 ppm), koppar (468 ppm), beryllium (129 ppm) och indium (3,6 ppm). Genom geofysiska mätningar har sandmagasinets volym uppskattats till 1 400 000 m³, vilket baserat på uppmätt skrymdensitet ger en uppskattad mängd anrikningssand om 2 200 000 ton. Givet att provtagning och analyser är representativa för hela sandmagasinet innehåller anrikningssanden vid Morkulltjärnen potentiellt cirka 290 000 ton järn, 37 000 ton flusspat, 2 000 ton volfram, 1 100 ton vismut, 1 000 ton koppar, 290 ton beryllium och 8 ton indium.

Wigström (varp)

Wigströmsgruvan är belägen 15 km norr om Kopparberg i Örebro Län (Sweref 6648189/499465). Vid Wigströmsgruvan består mineraliseringarna av ett volfram-molybdenförande skarn. Gruvan bröts aktivt åren från 1978–1981 för tillskottsproduktion till Yxsjöbergs anrikningsverk. Den totala produktionen uppgick till 120 000 ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 0,04% volfram, 4,88% flusspat samt som avfall därtill 210 000 ton varp (AB Statsgruvor 1983).

Varpdeponierna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt volfram (507 ppm) och vismut (29 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 128 ton volfram och 7 ton vismut i varpen.

Vena gruvfält (varp)

Vena gruvfält är beläget cirka 7 km öster om Askersund i Örebro län (Sweref 6526700/502700). Vena gruvfält bröts på sulfidmineraliseringar med bland annat kopparkis, koboltglans och sulfosaltmineral, vilka förekommer i en felsisk metavulkanit. Området har också brutits på järnmalm i hundratals gruvor sedan medeltiden. Vena koppar- och koboltgruvor var aktiva i olika perioder mellan 1770–1880. Den totala produktionen inom gruvfältet uppgår till 6 200 ton malm, varav 416 ton malm med en genomsnittlig koboltkoncentration av 0,1–0,5% (SGU 2020). Den totala kända mängden avfall i form av varp uppgår till 13 800 ton.

Varpdeponierna i gruvfältets sydöstra del provtogs med totalt 45 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt koppar (0,29%), zink (0,17%), kobolt (156 ppm) och vismut (130 ppm). Den totala volymen av kvarvarande varphögar är ej känd, men deras area uppskattas till cirka 3 hektar.

Varp och anrikningssand i Södermanlands län

Tunabergs gruvfält (varp)

Tunabergs gruvfält är beläget omkring 15 km sydväst om Nyköping i Södermanlands län (Sweref 6501860/609815), och består av ett flertal gruvor. Inom fältet finns flera typer av mineraliseringar i form av skarnjärnmalmer, sulfidmineraliseringar med koppar, kobolt, zink och bly samt en manganrik silikatbergart (s.k. eulysit) som har brutits i Uttervik. I området har gruvdrift förekommit sedan medeltiden, men den huvudsakliga brytningen pågick från slutet av 1700-talet och fram till 1920-talet, medan manganbrytningen i Uttervik pågick under två perioder mellan 1918 och 1953. Dokumenterad produktion vid Tunaberg uppgår till drygt 70 000 ton malm (SGU 2020), vilket inkluderar samtliga mineraliseringstyper. Mängden varp är osäker men samtliga varphögar är relativt små. Stora Utterviks mangangruva har en redovisad varpmängd på omkring 4 500 ton (SGU 2020). Inga sandmagasin förekommer i området.

Varphögarna provtogs med totalt 11 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt zink (0,65 %), koppar (953 ppm) och bly (763 ppm). Variationen är dock stor mellan de olika provtagna varphögarna. Som exempel visar analys av prov från Skaragruvan en zinkhalt på 6,3%, medan prover från två gruvor i Koppartorp innehåller 0,3% koppar. Brist på uppgifter om varptonnage gör att bedömning av resurspotentialen inte är möjlig för detta område.

Varp i Östergötlands län

Baggetorp (varp)

Baggetorpsgruvan är belägen 12 km sydväst om Finspång i Östergötlands län (Sweref 6509000/526800). Baggetorpsgruvan bröts på en gångmineralisering med wolframit (specifikt ferberit), scheelit och molybdenglans. Vismutmineral förekom också. Gruvan bröts aktivt åren 1944–1958 av Berglund & Co genom ägarna till Yxsjöbergs gruvor (SGU 2020). Den totala produktionen uppgår till 0,27 miljoner ton malm, med en genomsnittlig metallhalt om 0,2% volfram samt avfall i form av 94 000 ton varp (SGU 2020) och en okänd mängd anrikningssand som täcker en yta av cirka 3 hektar.

Varphögarna provtogs med totalt 15 prov, för vilka analyser påvisar förhöjda medelhalter av framför allt volfram (343 ppm) och molybden (110 ppm). Under antagande att provtagning och analyser är representativa, samt att ingen varp avlägsnats från platsen, finns potentiellt cirka 32 ton volfram och 10 ton molybden i varphögarna.

Rödfyr

Rödfyr i Västergötland

Rödfyr är en restprodukt (gruvindustriellt avfall) från förbränningen av alunskiffer. Sedan många århundraden har alunskiffer använts för att tillverka kalk, alun och under 1900-talet olja och uran (vid Ranstad). I Västergötland finns rödfyr på flera platser i varierande mängd. Rödfyrshögar uppträder spridda utan mönster men typiskt i anslutning till alunskifferdagbrott och gamla bruksmiljöer.

Rödfyr provtogs i fyra geografiska områden i Västergötland: kring Hunneberg (11 prov), Kinnekulle (15 prov), Billingen (11 prov) och Falköping (10 prov). Analyserade prov från dessa områden har sinsemellan en förhållandevis homogen sammansättning och slås här samman till ett enda medelvärde för respektive relevant metall. Analyserna visar förhöjda medelhalter av vanadin (813 ppm), molybden (189 ppm) och nickel (205 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (286 ppm), koppar (175 ppm), fosfor (1 123 ppm) och gallium (26 ppm).

Rödfyr i Närke

Väster om Örebro, mellan Latorp och Vintrosa, finns ett stort område med rödfyrshögar. Dessa ligger ofta i mindre skogsdungar bland åkermark. Latorp var år 1859 Sveriges största alunbruk. Kvarntorp, söder om Örebro och öster om Kumla, är den största rödfyrshögen i Sverige och utgör avfall efter den skifferoljetillverkning som genomfördes här och som avslutades på 1960-talet. De fasta resterna som återstod efter förbränningen av alunskiffern brinner fortfarande inuti högen, vilken övervakas kontinuerligt. Idag är Kvarntorp ett industriminne och populärt friluftsområde med en golfbana, skidbacke och flera vandringsleder.

Totalt 12 prov togs i Närke och analysresultaten visar höga medelhalter av vanadin (761 ppm), molybden (194 ppm), och nickel (186 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (269 ppm), koppar (199 ppm), fosfor (916 ppm) och gallium (32 ppm).

Rödfyr vid Kalmar och på Öland

Alunbruket vid Lover och Degerhamn använde samma alunskiffer för aluntillverkning och presenteras här tillsammans. Lovers bruk som ligger strax söder om Kalmar och anlades här år 1724 på grund av de stora mängder ved som behövdes till alunproduktionen. Alunskiffer bröts i dagbrott i Degerhamn på Öland och transporterades med båt till andra sidan av Kalmarsund. Lovers bruk lades ned på 1830-talet och kvar blev de stora rödfyrshögar som omfattar en yta om cirka 5,5 hektar.

Alunbruket i Degerhamn, Ölands Alunbruk, etablerades i början av 1800-talet. Den alunskiffer som brändes här är rik på kolväten och kan användas som bränsle. Den alunskiffer och kalksten som bröts i Degerhamn, och till viss del fortfarande bryts, processerades till alun, kalk och cement. Denna industri hade en stor påverkan på landskapet i form av de avfallshögar av rödfyr som genererades och finns kvar än idag. Den enda verksamma industrin i området idag är Cementa AB Degerhamnsfabriken, f.d. Ölands Cement AB. Det gamla alunbruket i Degerhamn är ett skyddat industriminne.

Åtta prover av rödfyr från Lover och Degerhamn uppvisar höga medelhalter av vanadin (641 ppm), molybden (189 ppm) och nickel (160 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (232 ppm), koppar (224 ppm), och gallium (30 ppm).

Rödfyr i Skåne

Den mest kända och enda större förekomsten av rödfyr i Skåne ligger i en gammal bruksmiljö i Andrarum som idag är industriminne och naturreservat. Innan aluntillverkningen tog fart var Andrarum ett kalkbruk. Alunskiffern som användes till alunframställningen bröts i ett fåtal dagbrott i direkt anslutning till bruket. Brytningen upphörde i början av 1900-talet. Den totala produktionen år 1682–1912 var cirka 77 500 ton alun, vilket genererade restmaterial (avfall) i form av rödfyr som samlades i högar.

Två representativa prov togs från Andrarum och analyserna uppvisar höga medelhalter av vanadin (1 355 ppm), molybden (130 ppm) och nickel (215 ppm), samt måttliga halter av sällsynta jordartsmetaller (269 ppm), koppar (200 ppm), och gallium (31 ppm).

Referenser

- AB Statsgruvor, 1983: *Karta över Wigströmgruvan inom Ljusnarsbergs socken och kommun, Örebro län*, 7 s.
- AB Statsgruvor, 1991: *Yxjöberg 1970-1990*, 181 s.
- Amdahl, K., 1979: Adakfältet 1920 - 1979. En dokumentation, bilaga till anslagsframställning för 1980/1981. *Sveriges geologiska undersökning BRAP 200216*, 245 s.
- Bastkärns grufaktiebolag, 1980: *Beskrivning till slutkarta över Bastkärnsfältet beläget i Ljusnarsbergs socken Örebro län*, 17 s.
- Bäckström, M. & Sädbom, S., 2008: Risk assessment of historical mine waste using chemical analysis and ocular mineral/rock classification—a comparison. *Publications of the Australasian Institute of Mining and Metallurgy* 8, 85-90.
- Carlborg, H., 1923: Historik. I: Geijer, P. & Carlborg, H.: Riddarhytte malmfält i Skinnskattebergs socken, Västmanlands län. *Kungliga Kommerskollegium, Beskrivningar över mineralfyndigheter N:r 1*, 139–212.
- Copperstone, 2022. *Avfallshanteringsplan, Viscaria, Bilaga E*, 91 s.
- Einarsson, U. & Lindberg, R., 1988: Berggrunden inom Norsjö kommun. Malm-, industrimineral, prydnadssten och vaskguldintressanta områden. *Sveriges geologiska undersökning. PRAP88006*, 36 s.
- Eriksson, J. A. & Qvarfort, U., 1996: Age determination of the Falu copper mine by ¹⁴C-datings and palynology. *GFF* 118, 43-47.
- Fredriksson, G., 1983: Estimate of mineral resource potential for five areas in Sweden. *PRO 8336*, LKAB Prospektering AB, 179 s.
- Grip, E., 1961: Geology of the nickel deposit at Lainijaur in northern Sweden and a summary of other nickel deposits in Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 577*, 79 s.
- GTK, 2014: Fennoscandian Ore Deposit Database (FODD) - databas. 2022-09-30.
- Hellström, F., Bergman, B., Hildebrand, L. & Berggren, R., 2022: Malmer, industriella mineral och bergarter i Norbergs kommun, Västmanlands län. *Rapporter och meddelanden 151*, Sveriges geologiska undersökning, 189 s.

- Högdahl, K., Jonsson, E., Sahlström, F. & Kritikos, A., 2015: Turning yesterday's waste into tomorrow's treasure: searching for base and critical metals in central Sweden's ancient mine dumps. I: A.-S. André-Meyer et al. (red.) *Mineral Resources in a Sustainable World*, 757–760.
- Holmqvist, B., 2001: Laisvall slutkarta: karta över Laisvallgruvan belägen i Arjeplogs kommun inom Norrbottens län. 41 s.
- Jonsson, E., Nysten, P., Bergman, T., Sadeghi, M., Söderhielm, J. & Claeson, D., 2019: REE mineralisations in Sweden. I: Sadeghi, M. (red.), Rare earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. *Rapporter och meddelanden* 146, 20–111.
- Kathol, B., Jönberger, J., Kumpulainen, R. & Larsson, D., 2012: Beskrivning till berggrunds-kartorna 25K Harads NV, NO, SV & SO. *Sveriges geologiska undersökning K406-409*, 33 s.
- Lindroth, S. 1955: *Gruvbrytning och kopparhantering vid Stora Kopparberget intill 1800-talets början. Del II. Kopparhanteringen*. Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag, Almqvist & Wiksells Boktryckeri AB, Uppsala, 454 s.
- Lovisagruvan AB, 2022. Pahtohavare Joint venture. <<https://www.lovisagruvan.se/lovisagruvan-utveckling-ab/pahtohavare/>> Åtkommen 7 september 2022.
- SGU, 2020: Malmer och anrikningsverk (öppna data) – databas. 2022-09-28.
- Skyllberg, E., 1997: Skinnskattebergs bergslag. Atlas över Sveriges bergslag, Jernkontoret – Bergshistoriska utskottet, Serie H 105. 194 s.
- Ställbergbolaget AB, 1982: *Beskrivning till slut karta över Ställbergsfält*, 15 s.
- Svenskt Stål AB, 1980: *Blötbergets gruvor: Beskrivning till slutkarta*, 27 s.
- Tegengren, F.R. m.fl., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*, 406 s.

Bilaga 1B: Medel-, maximum- och minimumkoncentrationer av kritiska metaller, järn, basmetaller och ädelmetaller i prover från varp.

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Baggetorp	medel (n=15)	0,34	48,8	8	16,0	0,19	4,8	0,067	13,3	10,5	209	0,006	158	0,16	9	108	1,0	1 762	46	343	2,46	9	143	7	49	0,33	0,003
	max	0,50	229	16	31,1	0,87	7,5	0,130	19,4	23,2	436	0,007	348	1,68	15	149	3,1	2 698	76	2610	3,44	33	381	36	103	3,05	0,007
	min	0,16	0,60	2	11,0	0,10	2,9	0,028	6,8	4,5	43,6	0,006	85,7	0,05	4	66,1	0,4	719	9	4	1,20	2	42	3	30	0,04	0,001
Basttjärn	medel (n=15)	0,91	3,13	8	14,8	0,28	3,9	0,209	9,7	6,6	125	<0,006	114	0,24	2,1	18,4	0,5	477	10	10	13,7	3	164	115	211	0,44	0,004
	max	1,58	12,5	36	19,2	0,52	5,1	0,294	16,8	10,0	305	<0,006	165	0,66	2,9	28,9	0,9	810	13	39	21,5	6	479	442	294	1,88	0,010
	min	0,42	0,34	1	10,9	0,09	2,5	0,144	4,3	3,3	87,3	<0,006	71,0	0,10	1,6	13,6	0,1	210	5	3	7,45	2	10	16	145	0,05	0,001
Bjurfors	medel (n=10)	0,10	10	61	21,6	0,20	5,1	2,58	11,6	6,2	104	<0,006	153	2,29	7	27,6	0,5	1 535	33	2	11,6	2	6465	36	1 992	2,5	0,037
	max	0,13	20,9	86	29,2	0,32	6,8	7,73	16,0	7,9	218	<0,006	341	3,18	10	52,1	0,7	1 918	59	3	13,7	5	18 500	121	9 140	6,6	0,061
	min	0,08	4,13	29	16,0	0,13	3,7	0,466	8,5	4,4	<50	<0,006	94,4	1,56	4	9,8	0,3	1 139	18	1	9,79	1	1 045	13	94	<0,5	0,020
Blötberget	medel (n=15)	1,02	0,12	13	16,2	0,30	4,7	0,048	13,7	11,5	2 650	<0,006	592	0,71	5,3	62,2	1,6	815	261	12	15,7	21	6	7	29	0,01	0,002
	max	1,84	0,18	19	19,5	0,42	5,5	0,116	21,6	17,0	4 670	<0,006	1 741	2,05	7,8	103	3,3	1 220	392	77	22,3	36	17	20	40	0,01	0,005
	min	0,51	0,08	6	11,6	0,23	3,0	0,024	9,0	7,4	567	<0,006	228	0,09	3,7	43,4	0,6	580	108	2	12,1	10	1	3	21	0,01	0,001
Bäckgruvan	medel (n=30)	1,73	104	286	13,7	0,95	3,9	3,29	20,0	11,0	66,9	0,006	768	0,25	4	12,7	0,8	597	7	40	24,7	5	4 705	5	18	1,54	0,141
Riddarhyttan	max	11,9	414	922	19,1	1,68	5,7	9,14	32,1	14,9	262	0,006	2 286	0,82	5	44,7	1,8	1 978	20	503	37,6	15	9 660	12	30	2,94	0,546
	min	0,55	8,4	51	9,9	0,31	2,4	0,53	11,5	7,0	43,6	0,006	181	0,11	3	4,5	0,3	360	5	5	10,4	1	788	3	9	0,22	0,021
Exportfältet	medel (n=37)	1,72	0,16	18	19,2	0,33	4,5	0,041	28,6	10,7	4020	<0,006	510	0,34	9,9	80,3	3,4	1 834	243	16	10,3	20	9	8	37	0,01	0,003
Grängesberg	max	3,85	0,32	27	22,1	0,56	6,5	0,067	51,8	14,6	13 600	<0,006	1 429	1,28	12,3	135	12,3	2 430	471	191	23,3	43	58	20	62	0,03	0,013
	min	0,93	0,08	14	16,0	0,20	3,2	0,029	6,4	7,3	742	<0,006	235	0,07	7,7	46,3	0,4	1 140	99	1	5,24	10	3	2	21	0,01	0,001
Gruvberget	medel (n=15)	0,52	6,84	26	12,2	0,13	2,6	0,246	20,0	6,1	387	<0,006	103	26,5	9	50,6	0,3	1 958	68	4	7,06	14	2 141	9 519	23 550	27,0	0,137
	max	0,75	21,3	70	15,8	0,22	3,8	0,590	28,2	9,0	524	<0,006	136	64,2	17	73,5	0,6	2 757	130	7	8,74	26	4 700	21 600	58 600	63,8	0,286
	min	0,35	1,79	6	9,1	0,09	1,1	0,069	11,6	3,4	218	<0,006	59,5	6,40	3	35,7	0,2	899	28	2	5,12	5	635	742	4 540	6,77	0,045
Guttusjö	medel (n=15)	0,13	0,04	3	2,3	0,05	29,7	0,027	1,0	12,7	143	<0,006	143	1,55	3	39,2	0,9	5 379	26	1	0,88	2	12	11 300	140	1,97	0,001
	max	0,17	0,05	4	3,2	0,05	56,1	0,059	3,0	21,9	262	<0,006	199	2,43	4	57,4	1,5	8 871	34	2	1,07	4	17	20 700	672	3,22	0,001
	min	0,11	0,03	2	1,6	<0,05	19,3	0,017	0,5	9,7	43,6	<0,006	116	0,52	2	28,2	0,7	4076	19	1	0,78	1	5	2 840	21	0,62	<0,001
Hällefors silvergruvor	medel (n=19)	0,81	0,58	7	15,0	0,09	3,4	3,57	6,7	8,8	188	<0,006	150	49,4	2,4	32,6	0,5	150	35	2	10,4	8	113	9 665	13 520	31,6	0,056
	max	1,37	3,58	16	18,9	0,12	6,7	20,1	14,4	15,0	393	<0,006	255	137,5	6,9	77,0	0,9	255	103	5	21,5	22	348	39 400	62 000	101	0,387
	min	0,47	0,11	1	10,1	0,06	1,1	0,048	2,6	3,2	43,6	<0,006	74,6	2,42	0,8	12,6	0,2	74,6	5	1	3,34	1	12	120	205	0,70	0,001

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Idkerberget	medel (n=2)	0,75	0,06	25	20,0	0,24	3,0	0,024	10,3	11,9	3 380	<0,006	293	0,19	24	319	1,0	6 324	419	3	15,6	48	20	63	181	0,25	0,002
	max	0,87	0,07	28	21,5	0,29	3,0	0,025	11,7	13,3	4 100	<0,006	329	0,20	24	395	1,4	6 773	503	3	18,4	56	25	75	184	0,27	0,002
	min	0,62	0,05	23	18,5	0,19	2,9	0,023	8,9	10,4	2 660	<0,006	257	0,18	23	242	0,5	5 874	334	2	12,8	40	15	50	177	0,23	0,001
Kalvsbäcken	medel (n=7)	0,55	3,15	8	15,1	0,14	3,6	1,20	8,1	7,0	118	<0,006	175	29,3	6	22,1	0,4	839	23	6	9,23	7	1 409	12 600	37 410	51,5	0,052
	max	0,67	8,34	14	19,1	0,18	5,5	3,26	9,8	9,9	218	<0,006	257	79,8	7	33,4	0,8	1 019	31	12	10,7	12	4 550	22 900	68 500	103	0,095
	min	0,31	0,76	4	11,7	0,07	2,5	0,233	4,9	5,5	43,6	<0,006	129	8,88	5	6,6	0,3	719	<5	1	6,78	1	370	3360	11 750	20,2	0,037
Kaveltorp	medel (n=15)	2,60	131	5	19,6	0,34	3,4	0,440	25,6	12,5	109	<0,006	222	2,92	2,8	13,3	2,0	314	10	27	6,24	4	2 682	15 600	22 390	15,6	0,156
	max	7,04	594	32	25,7	0,68	4,8	1,49	37,4	25,9	175	<0,006	350	11,7	3,8	23,6	6,4	500	22	96	8,74	7	5 440	58 400	62 400	54,9	0,492
	min	1,21	2,58	2	10,2	0,24	1,4	0,097	18,8	6,1	43,6	<0,006	156	0,20	1,9	6,9	0,5	150	5	3	4,23	1	452	531	510	0,92	0,012
Kittelgruvan	medel (n=15)	4,35	340	371	44,9	1,75	3,6	2,47	11,9	10,4	98,9	<0,006	8 201	0,24	3	5,3	0,7	603	14	9	12,5	43	1 807	23	19	0,67	0,235
Riddarhyttan	max	20,7	1 125	1 200	93,5	5,11	5,3	10,3	22,9	15,0	393	<0,006	27 800	0,49	14	11,7	0,9	2 758	95	77	24,1	141	5 120	65	32	2,23	0,748
	min	1,16	18,3	36	25,1	0,25	2,5	0,21	6,3	6,5	43,6	<0,006	507	0,06	1	1,7	0,2	300	5	1	6,64	8	86	7	13	0,03	0,013
Källfallet	medel (n=17)	7,16	5,41	15	32,5	0,57	4,2	0,233	11,2	11,6	48,8	0,006	1 227	0,13	3	6,2	0,8	487	5	35	13,3	8	204	3	9	0,05	0,011
Riddarhyttan	max	50,1	28,1	55	43,9	0,94	5,1	1,61	14,6	20,0	87,3	0,006	2 724	1,25	4	8,4	1,3	599	8	90	22,0	14	2 970	6	16	0,48	0,062
	min	1,08	0,29	2	22,0	0,16	3,1	0,059	6,6	7,4	43,6	0,006	366	0,05	2	3,1	0,4	360	5	6	4,62	4	1	2	5	0,01	0,001
Ljusnarsberg	medel (n=15)	2,23	60,7	13	14,1	0,44	3,8	0,531	38,5	10,2	106	<0,006	180	0,27	3,2	8,0	1,4	311	6	42	19,1	2	2 514	1570	2 403	3,21	0,044
	max	6,45	184	47	23,4	0,76	8,9	1,090	81,5	24,3	218	<0,006	280	0,98	5,8	17,8	6,6	720	9	170	33,4	4	4 900	11 000	7 500	9,00	0,121
	min	0,32	15,0	1	5,7	0,23	1,2	0,137	9,6	2,3	43,6	<0,006	49,0	0,06	0,9	2,8	0,1	50,0	5	13	8,50	1	538	44	220	0,34	0,011
Lainejaur	medel (n=19)	0,14	0,62	308	14,5	0,21	2,1	0,089	16,2	0,1	540	0,014	76,8	14,8	19	197	0,1	3 455	88	<1	9,13	2 934	2 775	28	175	1,78	0,161
	max	0,24	2,93	1 430	16,7	0,33	3,7	0,173	21,0	0,1	655	0,104	141	72,6	22	242	0,3	4 376	110	4	12,2	6 650	6 400	64	266	3,51	0,485
	min	0,08	0,16	58	12,5	0,14	1,5	0,044	13,1	0,1	436	<0,006	56,4	2,67	15	162	0,1	2 398	69	<1	6,49	864	1 360	8	103	0,82	0,045
Laver	medel (n=16)	0,18	1,49	9	19,6	1,04	3,9	0,588	16	7,1	180	<0,006	143	0,85	5	188	0,6	985	25	3	3,18	12	4 456	138	706	12,9	0,048
	max	0,26	3,43	32	23,7	1,20	4,7	1,36	30	9,6	349	<0,006	185	2,36	10	228	0,7	1 858	34	8	6,16	32	15 650	1 005	1 940	46,0	0,137
	min	0,09	0,23	4	14,8	0,80	3,5	0,065	10	6,2	87,3	<0,006	65,0	0,13	1	135	0,5	480	13	1	1,83	5	487	30	140	1,40	0,004
Lövåsen	medel (n=3)	0,44	102	31	9,5	0,25	1,4	0,103	2,1	3,6	218	<0,006	79,2	8,73	10	66,9	0,2	1 159	53	6	20,0	9	415	6217	7 320	8,76	0,035
	max	0,47	299	37	10,4	0,27	1,8	0,125	2,4	4,3	175	<0,006	81,8	17,7	13	94,7	0,2	1 558	83	9	17,5	18	509	14 500	17 750	16,0	0,084
	min	0,39	2,56	26	8,7	0,23	1,2	0,072	2,0	3,1	436	<0,006	76,2	2,21	7	45,5	0,2	899	29	5	16,9	3	362	1790	1 060	4,93	0,007
Malmkärra	medel (n=15)	20,0	7,62	7	104	1,83	2,1	0,232	9,7	6,5	96,0	0,006	5 486	0,33	4	10,6	0,5	312	6	200	22,5	23	162	21	51	0,04	0,004
	max	61,5	53,0	11	180	6,01	4,7	0,451	18,1	13,5	131	0,006	21 500	1,68	7	16,3	0,9	719	12	589	36,7	82	611	54	74	0,16	0,026
	min	1,59	0,50	3	51,7	0,32	1,0	0,078	4,3	2,0	43,6	0,006	773	0,07	1	4,4	0,2	180	5	7	3,03	3	3	7	19	0,01	0,001

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Mossgruvan	medel (n=15)	1,02	0,80	10	18,5	0,15	4,2	0,159	17,3	17,0	326	<0,006	195	0,09	4,7	54,0	2,4	831	59	9	6,49	9	28	16	53	0,03	0,002
	max	1,72	2,24	18	21,1	0,28	5,0	0,269	25,9	21,8	567	<0,006	667	0,14	6,2	166,5	3,6	1 230	92	93	11,0	30	88	43	86	0,13	0,005
	min	0,55	0,17	6	14,4	0,10	3,3	0,099	11,7	13,8	175	<0,006	123	0,06	2,9	24,8	1,6	450	14	1	4,50	2	6	9	28	0,01	0,001
Nya Bastnäs	medel (n=15)	8,98	101	202	28,8	1,95	2,7	1,27	8,2	7,1	164	0,006	8 107	2,33	3	16,2	0,5	555	13	20	24,2	35	1 181	3	20	0,22	0,057
Riddarhyttan	max	26,8	783	421	45,5	4,94	5,2	2,03	12,3	14,2	305	0,007	18 700	6,88	6	49,5	1,0	1 319	28	49	33,6	76	3 190	6	27	0,56	0,180
	min	1,32	1,43	12	11,5	0,25	1,3	0,374	4,4	3,0	87,3	0,006	466	0,62	1	6,6	0,2	180	5	2	10,32	1	3	1	12	0,01	0,001
Nävergruvan	medel (n=15)	45,3	118	22	19,7	0,65	4,2	0,80	8,7	10,0	349	0,006	210	0,16	9,9	46,5	0,6	1 414	100	692	6,98	24	263	4	99	0,08	0,039
Yxsjöberg	max	169	535	40	25,6	1,83	5,7	1,89	20,8	13,2	524	0,010	564	0,43	18,4	66,9	1,0	2 640	141	1 770	11,1	48	1 120	9	192	0,26	0,230
	min	0,92	0,27	12	15,3	0,17	1,5	0,07	4,4	4,8	218	<0,006	113	0,08	5,5	33,8	0,2	870	52	33	3,87	8	14	2	30	0,01	0,001
Pahtohavare	medel (n=18)	0,57	0,05	105	12,9	0,22	0,2	0,114	24,5	0,1	625	0,010	135	0,11	21,1	17,8	<0,1	2 569	243	<1	10,1	119	5 150	12	32	0,80	0,194
	Max	0,17	0,08	244	21,3	0,31	0,4	0,299	41,2	0,2	1 740	0,038	516	0,17	37,4	35,4	<0,1	4 250	324	1	13,6	159	24 400	36	68	1,10	0,005
	Min	0,06	0,01	41	8,4	0,16	0,1	0,031	16,2	0,1	310	<0,006	57,7	0,06	7,4	4,6	<0,1	1 810	162	<1	7,80	88	318	2	13	0,50	0,162
Persgruvan	medel (n=15)	5,39	17,4	28	22,8	0,53	5,5	0,598	7,6	15,6	72,7	0,006	871	0,06	4	4,3	1,0	587	8	21	12,2	7	749	3	12	0,07	0,030
Riddarhyttan	min	40,8	163	107	39,0	1,18	7,5	2,30	13,8	21,6	218	0,006	3 295	0,08	5	9,2	1,6	899	44	83	25,7	21	3 910	9	29	0,24	0,159
	max	0,60	0,03	1	14,3	0,14	4,1	0,026	4,2	11,4	43,6	0,006	252	0,05	3	2,0	0,6	480	5	3	2,15	1	1	2	4	0,01	0,001
Skytt-Näverberg	medel (n=10)	0,67	5,49	38	14,4	0,74	2,0	0,464	3,7	5,0	480	<0,006	131	118	4	22,0	0,3	983	22	7	7,64	9	4 777	33 600	89 190	140	0,533
	max	1,46	8,56	255	22,9	2,32	3,3	0,955	13,6	8,4	2 880	<0,006	166	422	11	33,3	0,5	2 997	61	17	12,9	16	8 050	65 400	179 000	310	2,520
	min	0,16	1,34	4	7,5	0,13	0,7	0,211	0,5	1,5	<50	<0,006	96	3,10	1	12,7	<0,1	300	7	3	3,40	1	912	7 520	12 000	12,4	0,057
Ställberget	medel (n=15)	2,02	4,05	10	13,2	0,16	3,2	0,421	5,2	6,8	175	<0,006	127	0,19	3,1	33,8	0,3	679	23	3	12,2	8	131	5	45	0,04	0,006
	max	17,2	21,8	13	15,4	0,22	4,1	0,747	8,9	8,8	436	<0,006	150	0,26	5,1	79,0	0,6	1 580	51	7	18,6	23	331	14	73	0,10	0,032
	min	0,48	0,34	6	10,1	0,14	2,3	0,248	3,2	5,0	87,3	<0,006	96,8	0,13	1,8	18,5	0,1	360	6	1	7,73	1	17	3	33	0,01	0,001
Svärdsjö	(n=1)	0,24	40,1	14	11,4	0,22	1,4	0,580	2,7	3,7	87,3	<0,006	76,7	2,24	5	22,6	0,3	899	28	2	8,11	21	6 960	4 050	17 900	19,9	0,358
Tomtebo	medel (n=15)	0,50	33,1	68	13,1	0,15	1,9	0,951	8,9	3,6	61,0	<0,006	79,2	3,21	2	12,4	0,3	551	54	3	12,1	2	3 856	1 579	1 476	16,0	0,505
	max	0,73	105	207	15,7	0,24	2,5	4,95	13,9	5,4	87,3	<0,006	102	25,3	3	22,9	0,5	779	180	16	17,3	4	7 810	10 050	3 310	37,0	1,170
	min	0,32	14,0	22	9,0	0,11	1,5	0,166	6,0	2,6	<50	<0,006	46,9	0,75	1	7,6	0,1	420	<5	1	8,36	<1	1 730	347	569	7,94	0,185
Tunaberg	medel (n=11)	0,85	32,7	38	12,5	0,20	2,5	0,245	14,9	6,6	698	0,006	154	8,43	6	54,3	0,6	1 041	32	1	8,37	17	953	762	6 520	3,66	0,015
	max	2,31	160	148	26,3	0,47	5,3	0,591	31,8	13,1	2 880	0,009	229	71,7	11	103	1,2	2 278	127	3	23,4	63	3 180	3 160	63 300	13,3	0,045
	min	0,05	0,79	5	1,4	0,06	0,1	<0,005	1,1	0,5	131	0,006	67,8	0,06	1	24,9	0,1	59,9	5	1	2,69	4	28	5	41	0,23	0,001

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Vena	medel (n=45)	0,66	130	156	20,6	0,20	4,4	0,390	24,3	9,4	546	0,006	182	34,5	14	90,0	0,7	2 515	91	1	4,31	20	2 896	162	1 695	3,12	0,007
	max	1,15	961	1 140	24,9	0,28	5,4	0,751	36,5	11,8	873	0,009	274	154	19	149	0,9	3 417	139	3	7,10	39	6 810	1 125	3 800	11,9	0,035
	min	0,30	1,66	16	16,6	0,14	3,5	0,077	14,8	7,8	393	0,006	121	2,04	12	48,4	0,6	2 158	69	1	3,01	11	484	20	282	0,43	0,001
Viscaria	Medel (n=18)	0,25	0,53	71	18,2	<0,05	2,3	0,167	39,4	0,1	628	0,008	106	0,26	34	0,7	0,2	2 340	290	<1	9,87	110	1 775	105	1 015	0,89	<0,001
	Max	0,23	3,35	146	19,7	<0,05	3,4	0,656	45,3	0,2	1 010	0,013	157	0,45	41	1,6	0,4	2 590	332	<1	10,5	126	8 570	425	1 730	1,60	<0,001
	Min	0,10	0,13	48	17,0	<0,05	1,8	0,047	30,6	0,1	390	<0,006	65,4	0,16	30	0,3	0,1	2 100	265	<1	9,34	94	173	12	366	0,50	<0,001
Wigström	medel (n=15)	29,1	29,4	5	25,5	0,95	5,1	0,365	30,2	17,7	136	<0,006	205	0,52	4,4	21,4	2,0	806	25	507	5,60	3	15	18	196	0,05	0,009
	max	113	85,0	12	31,4	2,87	6,9	0,748	46,2	26,4	393	<0,006	296	1,88	9,6	35,3	3,6	1 210	85	1 610	7,97	8	45	73	421	0,09	0,021
	min	2,72	1,04	1	21,7	0,15	2,5	0,068	13,8	10,5	43,6	<0,006	146	0,11	1,8	10,1	0,9	410	6	68	3,32	1	4	5	89	0,01	0,001
Åsgruvan	medel (n=15)	1,85	0,75	8	16,1	0,74	2,6	0,533	3,1	6,8	137	0,006	457	1,87	4	39,0	0,4	739	20	45	20,0	7	138	3	36	0,03	0,002
	max	3,43	2,03	15	20,5	1,17	4,7	0,800	5,9	14,7	262	0,006	1 313	7,26	10	80,4	1,0	1 739	63	94	31,8	27	1 460	4	54	0,35	0,008
	min	1,21	0,33	3	12,8	0,31	1,2	0,309	1,2	3,0	43,6	0,006	155	0,43	1	16,6	0,1	180	5	8	5,40	1	1	2	16	0,01	0,001
Östanmossa	medel (n=15)	10,3	3,35	10	17,1	0,99	0,9	0,569	1,5	2,3	66,9	0,006	1 573	0,52	1	15,9	0,2	132	5	84	21,8	7	194	2	26	0,02	0,006
	max	16,9	21,9	15	22,1	1,26	2,2	0,931	2,8	5,4	131	0,006	2 366	0,76	2	35,0	0,4	300	5	161	28,3	13	607	3	39	0,07	0,018
	min	3,69	0,62	8	13,2	0,62	0,1	0,309	0,7	0,4	43,6	0,006	726	0,28	1	6,8	0,1	59,9	5	36	12,3	3	4	1	20	0,01	0,001

*Av platinagruppens metaller ingår här Pd och Pt.

Bilaga 1C. Medel-, maximum- och minimumkoncentrationer av kritiska metaller, järn, basmetaller och ädelmetaller i prover från anrikningssand.

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Adak	medel (n=3)	0,2	7,61	158	16,2	0,20	0,3	0,712	10,2	0,3	582	<0,006	102	19,1	18	78,1	0,4	3 300	74	13	9,92	13	1 874	54	458	1,48	0,185
	max	0,2	11,4	288	17,6	0,25	0,3	1,16	12,2	0,8	611	<0,006	165	35,7	22	159	0,8	3 500	94	20	1,32	18	3 790	84	736	2,67	0,342
	min	0,2	1,39	9	14,8	0,10	0,2	0,108	7,2	0,1	524	<0,006	64,9	1,84	11	33,8	0,2	2 900	46	2	0,42	7	106	22	110	0,22	0,037
Blaiksjön	medel (n=6)	0,8	0,43	18	10,7	0,15	3,7	0,162	61,6	9,4	600	<0,006	189	4,64	16	153	0,7	3 730	193	5	5,10	102	72	1 084	3 185	2,01	0,043
Blaiken	max	1,0	0,50	20	11,0	0,17	3,8	0,212	67,1	10,8	630	<0,006	206	5,06	17	157	0,9	3 960	203	8	5,69	119	82	1 250	4 590	2,09	0,065
	min	0,5	0,35	16	10,5	0,14	3,6	0,129	52,5	8,2	580	<0,006	180	4,09	14	150	0,6	3 540	185	4	4,85	89	63	809	2 380	1,86	0,021
Bäckgruvan	medel (n=92) [†]	3,4	54,0	321	12,8	2,09	3,8	3,28	23	10,2	115	0,006	1 080	0,95	4	34,0	0,8	548	6	52	12,5	4	1 191	5	34	0,45	0,070
Riddarhyttan	max	8,1	268	1 720	22,7	11,0	5,9	8,48	40	15,4	218	0,009	2 890	4,89	6	57,2	1,7	839	10	302	26,2	17	7 450	20	180	2,66	0,350
	min	1,4	7,07	31	8,0	0,60	2,6	1,51	10	7,5	43,6	0,006	321	0,15	2	14,9	0,1	360	5	8	7,62	1	326	2	15	0,12	0,008
Glaningen	medel (n=10)	3,0	0,52	20	15,1	0,58	4,6	0,100	27,9	10,8	9 900	<0,006	1 240	0,35	9,3	32,3	1,1	1 105	294	19	13,3	39	5	9	56	0,04	0,016
Blötberget	max	1,3	0,16	7	10,8	0,41	2,9	0,046	42,3	7,4	7 770	<0,006	898	0,10	6	26,0	0,8	490	165	10	8,29	21	2	4	23	0,01	0,002
	min	5,1	2,31	26	19,4	0,74	6,3	0,164	12,8	13,0	12 700	<0,006	1 710	1,10	11	60,2	1,5	1 590	738	29	27,6	45	16	15	72	0,09	0,024
Hötjärnen	medel (n=57)	6,7	0,37	20	23,8	1,12	2,4	0,230	97,7	15,3	9 650	<0,006	1 940	1,60	13	34,1	3,2	1 300	552	18	22,8	38	5	6	137	0,01	0,001
Grängesberg	max	15	0,78	31	46,1	1,74	3,9	0,521	168	20,8	27 000	<0,006	3 370	3,37	21	56,8	6,7	2 450	1 060	62	45,6	53	19	14	294	0,05	0,003
	min	2,3	0,13	10	13,4	0,60	1,1	0,052	35,9	12,3	3 060	<0,006	1 020	0,54	7	17,0	0,8	660	292	4	9,90	16	1	3	<2	0,01	0,001
Idkerberget	medel (n=7)	0,7	0,47	31	23,2	0,60	3,6	0,047	21,6	12,1	14 300	<0,006	1 140	0,22	16	159	0,7	4 680	336	5	12,8	38	27	15	74	0,03	0,001
	max	0,9	1,02	36	26,0	0,69	4,5	0,066	29,3	14,9	19 000	<0,006	1 410	0,43	19	195	1,2	5 580	579	6	21,6	44	42	23	94	0,05	0,001
	min	0,5	0,27	27	21,4	0,51	2,6	0,034	14,9	9,0	11 400	<0,006	958	0,09	14	134	0,1	4 020	227	3	9,65	33	14	6	60	0,01	0,001
Intrånget	medel (n=9)	2,2	48,5	38	12,2	1,46	2,3	1,93	7,8	4,7	388	<0,006	204	0,21	11	83,7	0,2	1 490	55	68	11,4	20	1 525	202	978	1,56	0,129
	max	4,2	86,5	49	15,5	6,00	2,9	3,07	10,3	6,0	567	<0,006	278	0,46	12	106	0,4	2 040	71	275	13,5	29	2 900	469	1 830	4,50	0,275
	min	0,9	31,5	28	9,7	0,25	1,6	1,37	4,6	3,6	305	<0,006	122	0,13	9	64,6	0,1	1 140	34	21	9,97	8	555	91	207	0,50	<0,001
Jan-Matsdammen	medel (n=42)	4,9	0,56	15	19,6	0,88	3,0	0,087	114	21,4	22 900	<0,006	1 850	0,87	11,9	53,0	4,1	980	368	26	15,0	24	8	8	66	0,01	0,001
Grängesberg	max	13	0,69	26	30,8	1,10	4,2	0,246	180	36,3	29 700	<0,006	2 180	2,07	17	63,6	9,0	1 530	662	52	29,9	50	14	16	184	0,03	0,002
	min	2,9	0,20	11	15,5	0,34	1,9	0,044	50	13,2	5 060	<0,006	567	0,31	9	40,0	0,7	770	117	4	5,62	18	3	6	34	0,01	0,001

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Kalvsbäcken	medel (n=6)	0,5	1,11	6	9,5	0,19	2,3	0,155	8,3	5,1	80,0	<0,006	108	33,9	5	29,7	0,2	709	27	27	10,1	8	670	4 833	7 367	43,6	0,061
	max	0,6	3,37	11	13,6	0,19	3,3	0,287	10	7,5	175	<0,006	172	58,0	6	47,0	0,4	899	38	38	15,2	11	2 200	11 400	21 200	151	0,178
	min	0,4	0,18	1	6,3	0,18	1,3	0,072	3,6	3,1	43,6	<0,006	68,5	12,3	3	20,6	0,1	480	<5	11	7,55	2	207	1 480	1 760	8,90	0,020
Kaveltorp	medel (n=21)	2,9	21,5	3	12,0	0,56	1,5	0,147	11,3	5,2	93,5	<0,006	107	4,10	1,7	18,6	0,5	207	10	58	4,94	3	1 215	7 658	9 213	6,32	0,072
	max	4,3	50,3	6	15,5	0,73	3,2	0,291	45,8	8,4	218	<0,006	136	11,8	8,1	107	1,9	550	24	81	6,41	9	2 070	21 400	22 400	18,3	0,137
	min	1,4	8,02	2	9,5	0,20	1,0	0,068	2,9	3,6	43,6	<0,006	80,2	2,12	1,0	8,1	0,1	130	5	23	2,90	1	566	3 340	3 410	2,12	0,026
Källfallet	medel (n=52) [†]	7,6	21,5	23	32,0	1,24	4,8	0,375	10,3	11,6	113	<0,006	2 680	0,16	3	9,3	0,7	504	5	83	13,3	12	313	5	10	0,06	0,027
Riddarhyttan	max	14	166	126	45,3	7,00	6,0	0,745	20	15,0	175	<0,006	6 390	1,20	4	26,3	1,3	659	8	325	32,8	31	1 550	12	27	0,50	0,263
	min	4,0	2,22	6	20,3	0,57	3,5	0,169	3,8	9,1	43,6	<0,006	1 270	0,05	2	3,4	0,1	360	5	26	6,32	3	27	2	3	0,01	0,005
Laisvall	Medel (n = 18)	0,2	0,03	1	1,1	0,05	0,4	0,092	4,3	0,2	132	<0,006	60,6	1,25	0,9	78,5	<0,01	88	5	0,2	0,68	4	6	3 847	1 034	<0,01	<0,001
	Max	0,6	0,07	2	2,8	0,06	1,0	0,197	11,0	0,5	310	<0,006	129	2,93	1,9	116	<0,01	120	11	1	0,85	6	20	8 130	3 710	<0,01	<0,001
	Min	0,1	0,02	1	0,7	0,05	0,2	0,041	1,7	0,1	70	<0,006	35,0	0,65	0,5	34,1	<0,01	50	3	0,1	0,54	1	3	2 280	137	<0,01	<0,001
Långnäs	medel (n=6)	0,4	31,0	27	7,6	0,94	1,1	2,02	2,6	2,8	145	<0,006	102	1,12	4	52,1	0,2	719	24	44	15,1	6	245	200	546	2,18	0,126
	max	0,6	52,7	84	9,4	1,4	1,6	3,31	4,5	3,4	218	<0,006	114	4,40	7	73,9	0,3	1 380	56	74	18,7	12	467	447	714	6,2	0,201
	min	0,3	20,3	8	6,6	0,55	0,7	0,764	1,1	1,9	43,6	<0,006	86,2	0,08	3	25,4	0,1	420	16	20	11,5	2	99	20	252	0,26	0,057
Lövås	medel (n=9)	0,4	2,9	43	9,6	0,32	1,6	0,185	2,7	3,3	276	<0,006	99,0	36,4	7	59,4	0,2	1 070	48	7	12,8	9	307	4 884	7 991	10,5	0,034
	max	0,6	4,5	67	11,6	0,37	2,1	0,255	3,0	4,2	524	<0,006	120	56,9	10	69,8	0,3	1 440	73	10	17,8	12	624	6 830	12 550	13,9	0,059
	min	0,4	2,2	27	8,7	0,29	1,3	0,095	2,5	2,2	218	<0,006	79,8	22,3	6	51,5	0,1	839	31	5	9,65	4	165	2 930	4 760	6,20	0,018
Morkultjärnen	medel (n=53)	129	473	25	22,8	2,89	2,2	3,66	5,8	5,9	181	<0,006	164	0,42	5,9	34,1	0,3	742	37	897	13,4	10	468	5	275	0,28	0,131
Ysxjöberg	max	223	1 010	55	31,1	4,36	3,0	6,09	11	14,7	655	<0,006	217	0,79	8,4	49,5	0,9	1 110	64	4 090	19,6	16	1 145	25	380	0,57	0,239
	min	39	143	8	18,4	0,78	1,4	1,33	1,6	4,5	43,6	<0,006	130	0,13	1,5	20,0	0,1	450	16	250	9,30	4	113	1	200	0,09	0,045
Norberget	medel (n=40)	1,8	0,32	10	15,2	0,43	4,1	0,061	15	11,0	6 310	<0,006	1 180	0,68	8	64,6	1,6	693	215	13	10,6	24	8	8	43	0,08	0,025
Blötberget	max	3,6	1,40	20	24,2	0,78	5,4	0,165	70	18,0	9 600	<0,006	2 060	1,52	12	87,1	2,7	1 090	815	30	30,0	44	43	21	216	0,52	0,215
	min	1,2	0,12	6	12,0	0,24	2,8	0,024	10	8,2	3 320	<0,006	653	0,19	5	49,5	0,9	490	106	6	5,96	16	3	5	18	0,02	0,003
Nyberget	medel (n=6)	0,6	13,6	12	8,4	0,62	1,0	1,32	1,5	2,5	138	<0,006	252	0,21	2	28,5	0,1	370	11	18	9,80	3	96	13	100	0,04	0,004
	max	1,2	19,4	27	10,4	0,95	1,3	1,70	2,3	3,4	175	<0,006	621	0,48	3	43,3	0,1	599	19	33	14,5	8	170	17	147	0,05	0,006
	min	0,3	8,07	3	7,4	0,3	0,7	1,01	0,7	1,7	87,3	<0,006	119	0,11	1	13,9	0,1	240	5	8	5,00	1	32	8	56	0,02	0,002

Objekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Stollberg	medel (n=64)	1,8	2,53	3	18,8	0,33	2,2	0,816	5,3	5,3	217	<0,006	187	14,2	2,7	26,0	0,6	385	13	22	10,7	5	159	3 062	4 858	8,87	0,019
	max	5,3	5,66	9	33,7	0,46	3,1	2,890	9,5	8,6	611	<0,006	231	29,1	4,9	39,7	2,4	600	22	42	15,9	8	367	7 450	18 300	21,6	0,039
	min	1,0	0,79	1	8,9	0,24	1,2	0,330	2,4	3,1	87,3	<0,006	144	5,78	1,6	12,6	0,1	200	7	8	4,48	2	78	994	1 880	2,67	0,005
Svandammen	medel (n=27)	1,4	0,27	13	16,0	0,39	3,8	0,058	50,3	22,8	9 330	<0,006	902	0,58	15	72,3	3,6	1 290	130	9	7,37	21	5	9	45	0,02	0,006
Grängesberg	max	3,1	0,38	23	21,1	0,50	4,9	0,180	80,3	47,8	12 900	<0,006	1 090	1,30	26	84,5	5,9	2 240	218	19	13,8	33	10	35	127	0,08	0,026
	min	0,8	0,19	8	12,8	0,25	2,9	0,029	32,0	14,1	6 900	<0,006	723	0,29	10	59,2	2,2	830	76	4	4,94	13	2	4	25	0,01	0,001
Svärdsjö	medel (n=2)	0,7	2,71	8	8,8	0,22	4,4	0,609	5,6	6,3	284	<0,006	255	4,97	6	27,2	0,3	989	19	9	9,79	8	745	3 132	6 802	20,5	0,046
	max	0,8	4,51	12	8,9	0,24	6,6	1,09	6,7	6,9	480	<0,006	412	9,64	6	35,1	0,3	1 140	20	10	14,0	13	1 370	6 170	13 200	40,4	0,075
	min	0,6	0,91	5	8,7	0,19	2,2	0,127	4,4	5,7	87,3	<0,006	99,2	0,30	5	19,2	0,3	839	17	7	5,63	3	119	94	404	0,57	0,016
Vassbogruvan	medel (n=13)	0,1	0,03	2	1,4	<0,05	7,9	0,036	0,7	2,7	191	<0,006	54,5	1,23	1	156	0,3	1 230	8	1	0,59	2	14	3 175	458	1,49	0,001
	max	0,1	0,07	4	2,4	<0,05	11,9	0,074	1,2	5,3	393	<0,006	91,7	1,99	2	253	0,4	2 400	18	2	0,70	3	25	4 630	1 320	1,92	0,002
	min	0,1	0,01	2	0,7	<0,05	4,1	0,011	0,4	1,5	131	<0,006	39,1	0,83	1	63,1	0,2	719	5	1	0,46	1	8	2 020	79	0,97	0,001
Vintjärn	medel (n=7)	0,8	2,55	11	9,2	0,12	5,9	1,63	10,9	9,9	530	<0,006	236	<0,05	7	24,8	0,6	1 340	13	4	9,88	16	98	15	248	0,05	0,019
	max	1,1	9,84	15	11,6	0,14	9,4	1,70	15,9	13,7	785	<0,006	276	<0,05	8	32,7	0,9	1 860	18	8	12,3	20	194	27	437	0,07	0,033
	min	0,7	0,69	8	7,5	0,10	3,4	1,83	7,9	7,9	393	<0,006	200	<0,05	6	10,4	0,5	1 140	7	2	8,78	13	61	10	114	0,03	0,015
Viscaria	Medel (n=18)	0,5	5,16	141	9,8	0,29	0,6	0,661	26,5	0,1	1 530	<0,006	360	0,58	9,3	49,4	0,01	2 010	154	1	10,4	124	2 999	142	2 731	0,95	0,051
	Max	1,1	9,29	256	13,5	0,55	0,7	0,946	44,8	0,2	2 290	<0,006	500	1,08	13,8	72,2	0,01	3 310	187	1	18,2	150	7 980	329	5 260	1,80	0,114
	Min	0,3	1,81	102	7,2	0,13	0,4	0,208	13,8	0,1	840	<0,006	242	0,25	6,1	22,8	0,01	1 280	120	0,4	7,29	103	1 075	26	609	0,60	0,023

*Av platinagruppens metaller ingår här Pd och Pt.

†Inkluderar även prover från Hallberg & Reginiussen 2020.

Bilaga 1D. Medel-, maximum- och minimumkoncentrationer av kritiska metaller, järn, basmetaller och ädelmetaller i prover från rödfyr.

Provtagningsobjekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti %	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Hunneberg	medel (n=11)	3,24	0,23	33	22,6	<0.05	3,6	0,036	42	15,9	1 220	0,012	233	2,31	14	176	0,9	0,55	599	2	6,78	147	147	53	76	0,6	0,007
<i>Västergötland</i>	max	4,10	0,65	44	24,5	<0.05	4,7	0,070	60	17,9	2 140	0,018	288	3,61	27	452	1,2	1,33	871	4	10,8	201	193	87	121	0,6	0,021
	min	0,91	0,05	21	18,9	<0.05	3,0	0,014	10	12,7	785	0,007	129	0,20	10	90,1	0,7	0,41	360	2	5,53	60	27	8	43	0,5	0,001
Kinneulle	medel (n=15)	4,89	0,16	37	25,7	<0.05	4,0	0,038	47	17,6	1 270	0,013	323	3,05	13	146	1,1	0,50	853	3	7,69	209	185	34	104	0,7	0,006
<i>Västergötland</i>	max	6,32	0,50	47	29,0	<0.05	5,0	0,059	60	21,8	2 050	0,019	528	5,58	17	195	1,4	0,62	1 120	4	8,78	296	212	46	161	1,0	0,009
	min	4,12	0,05	6	20,9	<0.05	2,9	0,029	20	13,6	436	0,007	220	2,30	11	77,9	0,8	0,37	602	2	5,68	63	140	22	56	0,5	0,004
Billingen	medel (n=11)	5,84	0,15	35	27,9	<0.05	4,2	0,029	36	17,2	980	0,012	287	1,72	14	77,0	1,2	0,49	878	4	7,60	230	185	54	112	0,6	0,005
<i>Västergötland</i>	max	6,94	0,48	40	30,4	<0.05	4,8	0,040	60	18,5	1 220	0,019	350	2,68	15	124	1,3	0,53	1 040	5	9,48	274	202	84	171	0,8	0,008
	min	4,34	0,03	29	24,5	<0.05	3,7	0,021	20	15,0	873	0,008	218	1,29	11	58,3	1,0	0,43	733	3	6,22	167	142	30	88	0,5	0,004
Falköping	medel (n=10)	6,47	0,08	34	28,3	<0.05	4,4	0,025	40	17,1	1 030	0,012	301	1,52	14	82,9	1,2	0,51	916	4	7,43	233	185	41	112	0,6	0,005
<i>Västergötland</i>	max	7,27	0,19	38	30,7	<0.05	5,1	0,035	50	19,2	1 350	0,017	329	3,03	15	205	1,4	0,55	1 120	4	8,08	291	201	54	166	0,7	0,007
	min	5,51	0,03	31	23,0	<0.05	3,7	0,020	30	13,9	829	0,008	266	1,00	13	53,9	1,0	0,44	803	3	6,90	190	170	23	81	0,5	0,004
Latorp/Vintrosa/Kvarntorp	medel (n=12)	5,57	0,06	35	28,3	<0.05	4,6	0,024	56	18,0	916	0,015	269	1,18	15	80,1	1,2	0,54	761	4	8,00	186	199	37	104	0,7	0,006
<i>Närke</i>	max	6,04	0,21	42	31,6	<0.05	4,9	0,041	80	19,0	1 350	0,018	324	2,76	16	106	1,3	0,59	853	5	9,13	213	227	76	203	0,7	0,008
	min	4,62	0,01	19	24,6	<0.05	4,3	0,012	40	16,1	698	0,007	171	0,31	13	57,1	1,2	0,47	648	3	6,80	118	150	16	59	0,5	0,004
Andrarum	medel (n=12)	5,68	0,10	33	31,3	1,3	4,8	0,029	15	19,0	633	0,019	269	1,60	17	61,2	1,4	0,61	1 360	3,3	7,14	215	200	26	126	0,8	0,003
<i>Skåne</i>	max	5,98	0,11	36	31,8	1,5	4,9	0,031	20	19,6	742	0,019	280	1,83	18	84,8	1,4	0,62	1 550	3,3	7,73	274	223	27	130	0,8	0,003
	min	5,37	0,08	30	30,8	1,0	4,7	0,026	10	18,5	524	0,019	258	1,37	15	37,5	1,4	0,59	1 170	3,2	6,55	156	177	24	121	0,7	0,003
Lovers alunbruk/Degerhamn	medel (n=18)	4,95	0,10	51	29,9	1,6	4,4	0,034	44	17,2	611	0,024	232	3,43	15	61,1	1,3	0,56	641	2,9	12,2	160	224	33	192	0,8	0,012
<i>Kalmar/Öland</i>	max	5,77	0,24	64	32,2	2,0	4,8	0,076	60	18,4	1 000	0,025	284	5,21	17	88,0	1,3	0,58	923	3,5	13,3	239	254	53	247	1,2	0,013
	min	4,31	0,05	39	27,9	1,1	4,1	0,019	30	15,7	393	0,022	177	2,17	14	46,5	1,2	0,52	484	2,5	10,3	117	205	25	121	0,7	0,009

*Av platinagruppens metaller ingår här Pd och Pt.

Bilaga 1E. Medel-, maximum- och minimumkoncentrationer av kritiska metaller, järn, basmetaller och ädelmetaller i prover av slag

Provtagningsobjekt	Värde	Be ppm	Bi ppm	Co ppm	Ga ppm	Ge ppm	Hf ppm	In ppm	Li ppm	Nb ppm	P ppm	PGM* ppm	REE+Y ppm	Sb ppm	Sc ppm	Sr ppm	Ta ppm	Ti ppm	V ppm	W ppm	Fe %	Ni ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Au ppm
Gamla kopparverket	medel (n=7)	2,75	39,5	1385	10,4	2,56	1,7	4,90	6,9	5,6	103	<0,006	>4 500	0,42	2,4	24,0	0,5	385	11	101	47,2	9	20 000	3	55	7,52	0,435
<i>Riddarhyttan</i>	max	11,1	140	3960	16,0	6,80	2,9	11,4	12,4	9,3	218	<0,008	>23 100	1,78	5,3	31,1	0,6	839	15	299	60,9	36	53 400	5	108	28,2	1,650
	min	0,20	0,09	240	1,9	0,45	0,5	1,20	1	2,1	21,8	<0,006	152	<0,05	1,1	5,2	0,2	59,9	7	14	31,1	0,7	3 370	0,4	9	0,26	0,006
Nya kopparverket	medel (n=5)	0,36	2,96	3275	7,98	0,65	0,5	2,50	7,1	6,2	140	<0,006	465	<0,1	<3	49,3	0,5	875	13	16	47,3	6	21 800	7	42	5,12	0,072
<i>Riddarhyttan</i>	max	0,76	11,7	5640	21,8	1,50	1,2	6,80	20	18,0	480	<0,006	818	0,43	11,0	134	1,3	3 237	18	39	69,5	20	63 600	21	73	18,4	0,190
	min	0,18	0,90	123	2,3	0,14	0,1	0,668	1,5	1,7	43,6	<0,006	184	<0,05	<1	18,3	0,2	180	7	2,8	3,72	1	5 130	1	25	1,30	0,019
Lienshyttan	medel (n=5)	22,2	0,34	7	8,8	0,90	1,5	0,082	20	7,7	61,1	<0,006	3 087	<0,1	6,8	277	0,6	1 703	24	<3,3	4,68	7	76	2	34	0,02	0,003
<i>Riddarhyttan</i>	max	24,5	0,92	21	20,0	1,07	1,7	0,129	22	12,0	87,3	<0,006	3 662	0,30	8,0	390	1,0	1 798	43	8	8,85	9	255	5	57	0,06	0,005
	min	21,0	0,13	2	0,2	0,62	1,2	0,031	16	2,2	21,8	<0,006	2 594	<0,05	6,0	207	0,5	1 619	6	<0,05	0,66	6	10	1	10	0,01	0,001
Skilå övre hytta	medel (n=5)	6,17	0,02	0,9	2,8	0,29	0,2	<0,005	3,6	5,5	69,8	<0,006	2 531	<0,4	1,3	80,8	0,4	803	33	2	3,28	10	6	6	5,2	<0,01	<0,001
<i>Riddarhyttan</i>	max	11,9	0,03	1,5	5,3	0,37	0,3	0,01	5,4	7,4	87,3	<0,006	4 072	0,15	1,9	126	0,6	1 259	96	4	5,15	16	8	18	8	<0,01	<0,001
	min	1,44	0,01	0,5	0,4	0,23	0,1	<0,005	2,5	3,0	43,6	<0,006	1 408	<0,05	0,7	55,3	0,2	599	10	0,9	1,51	6	4	1	3	<0,01	<0,001
Centrala staden	medel (n=13)	<0,08	3,36	88	20,3	0,43	1,2	3,02	1,0	3,1	124	<0,006	145	2,55	1,9	20,8	<0,09	378	13	155	36,6	2	8 921	1 397	18 760	12,7	0,584
<i>Falun</i>	max	0,14	18,2	226	25,4	0,92	1,9	5,69	1,5	4,8	175	<0,006	378	12,9	3,0	25,8	0,2	480	16	329	44,7	5	41 500	2 500	29 300	61,1	5,800
	min	<0,05	0,84	38	16,4	0,24	0,8	1,48	0,7	2,0	43,6	<0,006	90	0,43	1,0	17,8	<0,01	240	10	66	29,0	0,4	2 130	423	7 940	3,09	0,020
Korsgården	medel (n=5)	0,08	4,90	112	16,7	0,31	0,1	4,72	1,5	2,6	11 600	<0,006	98	2,15	2,6	25,5	<0,1	480	13	137	38,9	3	13 800	1 295	16 700	25,3	0,672
<i>Falun</i>	max	0,13	14,6	177	19,0	0,34	0,2	6,86	2,0	4,5	19 800	<0,006	124	4,26	3,3	46,4	0,1	899	20	238	43,4	7	41 700	1 690	20 300	70,6	1,605
	min	<0,05	0,82	86	13,5	0,30	0,1	3,33	1,1	1,8	8 030	<0,006	78	1,71	1,8	16,0	<0,1	300	9	86	34,3	1	4 760	874	14 450	4,30	0,036

*Av platinagruppens metaller ingår här Pd och Pt.

SEKUNDÄR UTVINNING AV MINERAL OCH METALLER FRÅN GRUVOR

SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS AV STYRMEDEL

FEBRUARI 2023



SEKUNDÄR UTVINNING AV MINERALER OCH METALLER FRÅN GRUVOR

SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS AV STYRMEDEL

UPPDRAGSNAMN
UPPDRAGSNUMMER
DATUM
FÖRFATTARE
GRANSKAD AV
GODKÄND AV

SEKUNDÄR UTVINNING AV MINERAL OCH METALLER - SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS AV STYRMEDEL
10341568
2022-11-8
FICRE ZEHAIE, SIRJE PÅDAM, NEZANET HABTOM, AARON ÅBERG & JESSICA LIDBERG

KUND

Sveriges geologiska undersökning, SGU

KONSULT

WSP Advisory

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7
Tel: +46 10-722 50 00
WSP Sverige AB
Org nr: 556057-4880

wsp.com

KONTAKTPERSONER

Carolina Liljenstolpe, SGU
Carolina.liljenstolpe@sgu.se

Ficre Zehaie, WSP
ficre.zehaie@wsp.com

INNEHÅLL

1.	INLEDNING	4
1.1	Bakgrund	4
1.2	Syfte	4
1.3	Metod	4
1.4	Avgränsningar	4
2.	Marknaden för gruvavfall	6
2.1	Gruvavfall Introduktion	6
2.2	(Viktiga egenskaper som karaktäriserar marknaden för gruvavfall	10
2.3	Ökat Behov av mineral och metaller från gruvavfall	12
3.	Utbud mineral och metaller i gruvavfall	14
3.1	Mineral och metaller från avfall från pågående gruvbrytning	14
3.2	Mineral och metaller i historiskt gruvavfall	14
3.3	Produktionsförutsättningar för utvinning från gruvavfall	16
4.	Nuvarande styrning	21
4.1	Information - en förutsättning för gruvverksamhet	21
4.2	Minerallagen	21
4.3	Miljöbalken	21
4.4	Andra styrmedel	22
4.5	Stöd till forskning	22
4.6	Styrmedel som indirekt påverkar utvinning från gruvavfall	23
5	Sammanfattning och styrmedelsförslag	24
5.1	Vårt uppdrag	24
5.2	Ekonomiska styrmedel för sekundär utvinning från gruvor	24
5.3	Att utforma styrmedel för sekundär utvinning från gruvor	26
5.4	Förslag på styrmedel för sekundärutvinning	28
	REFERENSER	31
	Bilaga 1: Aktörskartläggning	34
	Bilaga 2: Intervjuade organisationer	36

1. INLEDNING

WSP har fått i uppdrag av SGU att genomföra en kartläggning och analys av vad som påverkar förutsättningarna för att öka sekundär utvinning från gruvor, med andra ord öka utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Uppdraget utgör ett underlag för myndigheternas regeringsuppdrag (N2021/01038) att analysera hinder mot att utnyttja gruvavfall eller andra mineral- och metallförande avfall som resurs.

1.1 BAKGRUND

Omställning till en mer hållbar och klimatneutral ekonomi kommer att ha en stor effekt på efterfrågan av mineral- och metallråvaror inom både Sverige och Europa. Det gäller dels de mineral och metaller som återfinns på EU:s lista över kritiska råvaror, dels järn och basmetaller såsom koppar, zink eller aluminium. Sekundär utvinning av mineral och metaller från gruvor, historiska gruvavfall eller avfall från befintliga gruvor, ibland benämnd som fallande avfall, har potentiell att tillgodose en del av den ökande efterfrågan (COM, 2020).

Gruvavfall har historiskt sett, men även i modern tid, genererats i stora mängder. I vissa fall har ekonomiska och tekniska begränsningar bidragit till att mineral och metaller kasserats, i andra fall har råvaror för tiden vid utvinning saknat värde. Därmed utgör gruvavfall i många svenska regioner en potentiell resurs av mineral- och mineralråvaror, även för sådana som idag betraktas som kritiska (Blengini, Mathieux, Mancini, Nyberg, & Viegas, 2019).

Regeringen har en ambition att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära resurser. För att säkerställa råvaruförsörjning via sekundära resurser krävs politiska reformer, styrmedel, innovativ teknisk kapacitet och väldefinierade affärsplaner. Därför har Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Naturvårdsverket (NV) fått ett Regeringsuppdrag för att undersöka möjligheterna att öka hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser (N2021/01038). I regeringsuppdraget ska myndigheterna bland annat analysera praktiska hinder i lagstiftningen mot att utnyttja gruvavfall eller andra typer av avfall som innehåller mineral och metaller. Uppdraget ska om lämpligt även föreslå kostnadseffektiva styrmedel för att öka användningen av mineral i gruvavfall och andra avfall som innehåller mineral och metaller.

1.2 SYFTE

Det övergripande syftet med uppdraget är att kartlägga och analysera incitamentsstrukturen för sekundär utvinning av mineral och metaller i Sverige. Utifrån analysen föreslås ändringar av befintlig politik och styrmedel samt nya styrmedel med mål att öka sekundär utvinning från gruvor.

1.3 METOD

Marknaden för sekundär utvinning i Sverige har kartlagts och har analyserats med focus på utbudssidans produktionsförutsättningar.

Kartläggningen i föreliggande rapport baseras på en litteraturstudie samt svar från genomförda intervjuer från aktörer som idag redan investerat eller överväger att investera i sekundär utvinning från gruvor, aktörer som efterfrågar mineral och metaller samt experter från universitetet och myndigheter. Litteraturstudien inkluderar både vetenskapliga skrifter och myndighetsrapporter samt annat underlag framtaget av konsulter.

Analysen utgår från de uppgifter som framkommit från kartläggningen.

1.4 AVGRÄNSNINGAR

I rapporten har sekundär utvinning av mineral och metaller begränsats till att enbart gälla gruvavfall och inkluderar exempelvis inte urban mining eller återvinning av metall från befintliga produkter såsom batterier och tv-apparater. De legala förutsättningarna för utvinningsverksamhet utreds i andra projekt och har lämnats utanför uppdraget på så sätt att det inte ska lämnas förslag kopplat till prövningen enligt minerallagen eller miljöbalken. Avfall från metallurgiska processer som slagg från smältverk eller stålverk omfattas inte i rapporten. Vidare är rapporten även geografiskt begränsad till att enbart fokusera på potentialen för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall i Sverige.



2. Marknaden för gruvavfall

Gruvavfall är det som blir kvar när mineral och metaller utvinns från vår berggrund (SGU, 2020a). I det kvarlämnade avfallet finns mineral och metaller med potential att användas i ekonomin. I detta kapitel redogörs för de mängder mineral och metaller som finns i gruvavfall och förutsättningar för att de ska kunna sekundärt utvinnas. Kapitlet diskuterar också efterfrågan på mineral och metaller från gruvor samt hinder och barriärer för marknaden för gruvavfall.

2.1 GRUVAVFALL INTRODUKTION

Marknaden för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall är en del av den totala marknaden för mineral- och metaller. På utbudssidan kommer de största volymerna av mineral och metaller från primär utvinning. Primär utvinning genererar även gruvavfall som innehåller värdefulla resurser. Idag finns inte en etablerad och välfungerande marknad för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Det finns inte heller en tydlig avgränsning av vad som räknas till gruvavfall. I juridisk mening definieras avfall enligt 15 kap. 1§ miljöbalken som varje ämne eller föremål som innehavaren gör sig av med eller avser eller är skyldig att göra sig av med. Med gruvavfall avses utvinningsavfall från utvinning och bearbetning av koncessionsmineral enligt 1 kap. 1§ 1-2 p i minerallagen (1991:45).” I juridisk mening gråberg och anrikningssand blir alltså avfall om innehavaren vill bli av med det. Om ett ämne eller föremål uppkommer i en produktionsprocess där avsikten inte är producera det och därmed är en restprodukt kan det, under förutsättning att det uppfyller biproduktskriterierna i 15 kap. 1§ andra stycket miljöbalken, vara en biprodukt och därmed inte avfall. Om ett ämne eller föremål är en biprodukt träffas inte ämnet eller produkten av reglerna om avfall.

Ur ett ekonomiskt perspektiv för att kunna analysera de incitamentsstrukturen som råder på marknaden är det viktigt att göra distinktion mellan huvudproduktion och biproduktion¹. Huvudproduktion är det som en gruva huvudsakligen avser att producera medan biproduktion är annan produktion för att malmen råkar innehålla andra värdefulla mineral och metaller än det som huvudsakligen produceras. Söderholm (2021) beskriver huvudprodukt i en gruva som något viktigt som att den ensam påverkar produktionsbesluten för verksamheten medan bilproduktion produceras vid sidan om och produktionsbesluten för biprodukten påverkar inte huvudprodukten. Eftersom rapportens huvudsyfte är att utreda ekonomiska styrmedel som kan påverka incitamentsstrukturen för utvinning från gruvavfall hädanefter om inget annat anges används biproduktion som ett begrepp för att beskriva de ekonomiska besluten av en produktion vid sidan av huvudproduktionen.

I den här rapporten kommer vi att betrakta gruvavfall som dels de avfallsfraktioner som uppkommit vid historisk gruvbrytning, dels de flöden av mineral och metaller som inte tas till vara i pågående gruvbrytning. Därmed kommer vi att behandla två typer av gruvavfall, där den förstnämnda benämns *historiskt gruvavfall* och den andra *avfall vid pågående brytning*. Notera att avfall vid pågående gruvbrytning, som ibland även benämns fallande avfall, är restprodukter från gruvdrift som innehavaren vill bli av med. Det innebär att avfall vid pågående brytning gruvavfallet är gråbergen och anrikningssanden som innehavaren vill bli av med.

Utvinning av mineral och metaller från dessa *historiska gruvavfall* och avfall vid *pågående gruvbrytning* i Sverige är det denna rapport analyserar och fokuserar på. Dessa mineral och metaller utgör en del av totala utbudet mineral och metaller i Sverige. Ytterligare utbud av mineral och metaller kommer från återvinning av varor från varumarknaden, såsom till exempel uttjänta batterier, samt annat elektriskt och elektroniskt avfall. Som bilden nedan tydliggör är efterfrågan på mineral och metaller gemensam och möter alla typer av utbud av mineral och metaller som nämns ovan. År 2021 fanns inget utbud av mineral och metaller från gruvavfall i Sverige (SGU, 2021a). I Europa står det största flödet av mineral och metaller av primär gruvbrytning och cirka 12% kommer från återvinning från varumarknaden och återfyllning från gruvor (European Commission, 2021). Tillväxtanalys (2022a) i en tabell sammanställer sekundär utvinning från varumarknaden, ibland benämnd som utbud från teknosfären. Utvinningen för bulkmetaller ligger på över 10%, på mindre än 5 % för kobolt, 3–8 % för jordartsmetaller och närmst 0 för litium och grafit.

¹ Genom att använda bilproduktion undviker att använda det juridiska begreppet biprodukt.

```
graph TD; subgraph Gruvdrift; GB[Gruv-brytning]; AN[Anrikning]; VF[Vidare-förädling]; end; GB -- Gruvavfall --> GR[Gråberg]; AN --> AS[Anriknings-sand]; VF --> MS[Metallurgiskt slagg]; GR --> GG[Gamla gruvor (gråberg som anrikningssand)]; AS --> GG; MS --> GG; GG --> EF[Efterfrågan på mineral och metaller]; EF --> AV[Återvinning varumarknad en];
```

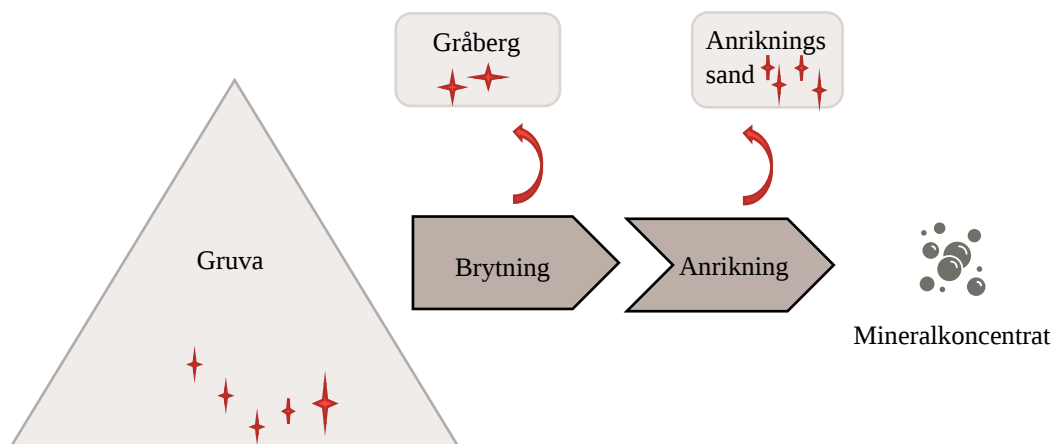
The diagram illustrates the mining value chain. It begins with the **Gruvdrift** (Mining) stage, which includes **Gruv-brytning** (Mining), **Anrikning** (Concentration), and **Vidare-förädling** (Further processing). From **Gruv-brytning**, **Gruvavfall** (Mining waste) is produced, leading to **Gråberg** (Tailings). From **Anrikning**, **Anriknings-sand** (Concentrate) is produced. From **Vidare-förädling**, **Metallurgiskt slagg** (Metallurgical slag) is produced. These three products (**Gråberg**, **Anriknings-sand**, and **Metallurgiskt slagg**) are then processed into **Gamla gruvor (gråberg som anrikningssand)** (Old mines (tailings as concentrate)). Finally, the **Gamla gruvor** are processed into **Efterfrågan på mineral och metaller** (Demand for minerals and metals), which is then sold on the **Återvinning varumarknad en** (Recycling market).

Under 2020 genererades i Sverige sammanlagt 152 miljoner ton avfall, varav 116 miljoner ton är mineraliskt gruvavfall ifrån gruvbranschen. Det innebär att gruvavfallet står för tre fjärdedelar av den totala mängden avfall i Sverige. En övervägande del av gruvavfallet som uppstod 2020, cirka 111 miljoner ton, klassas som icke-farligt och består främst av gråberg och anrikningssand (Naturvårdsverket, 2022a). Mellan perioden 1833 och 2021 uppskattades den totala mängden gruvavfall utgöra cirka 3 477 miljoner ton (SGU, 2021a).

När gruvprocessen väl är i gång kan det avfall som uppstår vid gruvbrytning och anrikning delas in i två typer av avfall: gråberg och anrikningssand. Från förädlingsprocessen uppstår även slagg men tas in te upp i rapporten. Gråberg uppkommer när malmer separeras från omkringliggande berg. Gråberget förvaras ofta i anslutning till gruvan. Mängden gråberg som genereras beror också på malmtypen, om malmen bryts i dagbrott eller under jord samt vilken brytmetod som används.

SEKUNDÄR UTVINNING AV MINERAL OCH METALLER - SAMHÄLLSEKONOMISK ANALYS AV STYRMEDEL | 7

anrikningssand är mineral- och metallpriser. Högre priser leder till att det blir attraktivt att utvinna mer mineral från gruvor och med lägre koncentration vilket i sin tur tenderar att skapa mer anrikningssand. Dessutom spelar malmtypen och dess sammansättning roll. Järnmalm som vanligtvis har höga halter av åtråvärd mineral resulterar ofta i mindre anrikningssand medan en del koppar-och guldmalmer som i vissa fall har lägre halter åtråvärd mineral resulterar i mer anrikningssand (SGU, 2017). Hur mycket anrikningssand som uppstår beror även på malmtypen, det finns till exempel koppargruvor med lägre halter anrikningssand.

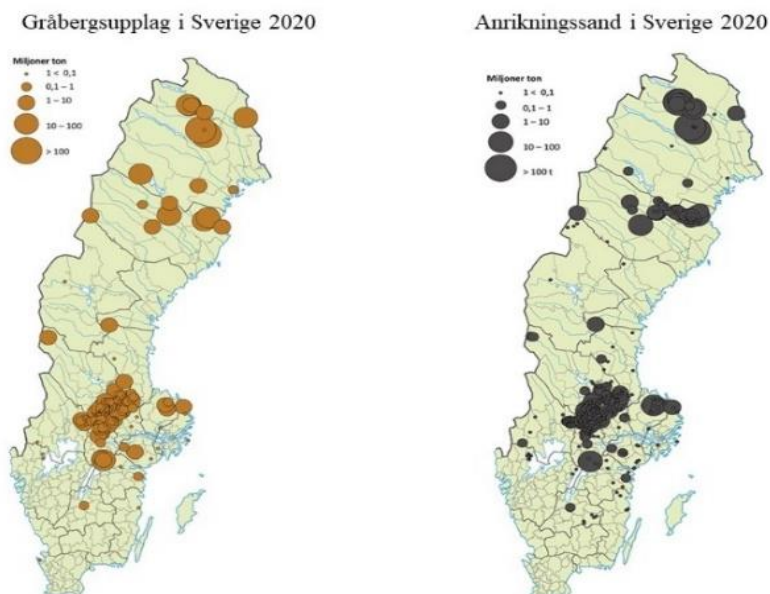


Figur 2. Illustration om hur mineral och metaller kan lämnas som avfall både i gruvan och vid de utgrävda jordmassorna som sedan blir gruvavfall. Vid pågående brytning blir mineral och resurser i gråberg och anrikningssand gruvavfall och när gruvan läggs ner blir alla mineral och metaller i bilden historiskt gruvavfall.

Figur 2 kan användas för att tydliggöra skillnaden mellan primär- och sekundär utvinning. Primär utvinning är det som direkt grävs upp från berggrund för första gången vare sig det är ny eller en gammal gruva. Sekundär utvinning är mineral och metaller från restmaterial som tagit upp från berggrunden som till allra största delen består av gråberg och anrikningssand.

Historiskt gruvavfall

Sverige har en mer än tusen år lång historia av malmbrytning och metallframställning. Uppemot 3 000 gruvor har funnits i landet (SGU, 2020a). Figur 3 visar var i Sverige gruvavfall i form av gråberg och anrikningssand förekommer idag. Geografisk sett finns den största andelen historiskt gruvavfall i form av både anrikningssand och gråberg vid gruvverksamheterna i Norrbotten, kring Skellefteåfältet och Bergslagen. Vid gruvområden som Aitik, Kirunavaara och Malmberget i Bergslagen finns gråbergsupplag och anrikningssand med en storlek på över 1000 miljoner ton.

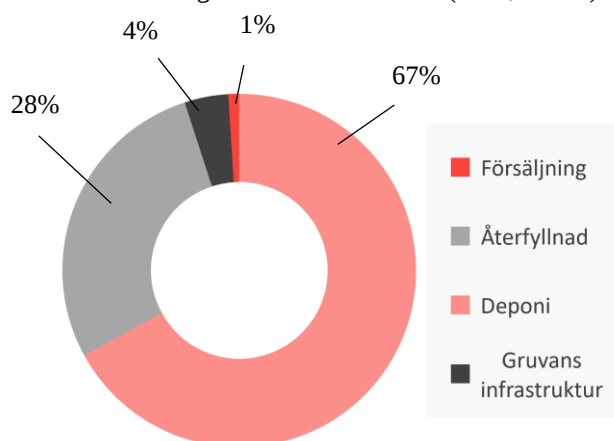


Figur 3. Karta som visar läge och storlek av gråbergssupplag och sandmagasin i Sverige. Storleken är uttryckt i miljoner ton gråberg respektive anrikningssand. Data från SGU:s databas Malm och mineral, se kartvisaren Malm och mineral.

Gruvavfall från pågående gruvdrift

Totalt finns idag tolv aktiva gruvor i Sverige med sex olika innehavare som alla dagligen genererar gruvavfall. Det bolag med flest antal gruvor är Boliden Mineral AB med totalt sex gruvor följt av LKAB med två gruvor. Björkdalsgruvan AB, Kaunis Iron AB, Lovisagruppen AB och Zinkgruvan AB är idag innehavare av en gruva vardera (SGU, 2021a). Från den primära gruvdriften idag bildas stora mängder gruvavfall. Exempelvis produceras årligen runt 6 miljoner ton apatitrik anrikningssand från LKAB:s gruvdrift vilket kan vidareförädlas till fosfor, sällsynta jordartsmetaller, gips och fluor (LKAB, 2022).

Den mängd gruvavfall som årligen bildas från pågående brytning varierar. År 2021 uppkom drygt 130 miljoner ton gruvavfall. Enligt Bergverksstatistik 2021 (se Figur 4) gick den största mängden gruvavfall till deponi (67%). En del av gruvavfallet användes som återfyllnad (28%) eller inom gruvans infrastruktur (4%). Det gruvavfall som bedömdes ha lägst risk för att vara miljöskadligt såldes för användning som ballast (1%) (SGU, 2021a). Denna flödestrend såg liknande ut för 2020 (SGU, 2020b).



Figur 4. Andel av inrapporterade mängder gruvavfall år 2021 som gick till försäljning, återfyllnad, deponi och gruvans infrastruktur. Källa: (SGU, 2021a).

2.2 (VIKTIGA EGENSKAPER SOM KARAKTÄRISERAR MARKNADEN FÖR GRUVAVFALL)

En självklar men viktig aspekt att ta hänsyn till är att gruvavfall är ett avfall. Det för i sin tur med sig två viktiga förutsättningar som har stor betydelse för utvinning av resurser från gruvavfall. Det första gäller att avfall är något innehavaren vill bli av med. Det andra, som är en konsekvens av det första, är att i vissa fall är information om avfallet bristfällig, av osäker kvalitet, otillgänglig eller kan till och med saknas (främst äldre gruvavfall).

Gruvavfall- något någon inte vill ha

Avfall är föremål eller ämnen som innehavaren vill göra sig av med eller är skyldig att göra sig av med (Naturvårdsverket, 2022b). Det innebär att innehavaren vid en viss tidpunkt beslutat sig för att bli av med de mineral och metaller som finns i gruvavfall. I de flesta fall för att befintlig information visar att de ekonomiska värdena är låga, men kan även vara ett beslut som grundar sig på brist på erfarenhet eller vilja att skapa en ny parallell produktionslinje (intervju gruvföretag, 2022).

Gruvavfall uppstår som en konsekvens av att berggrunden består av en ekonomiskt brytbar mineralresurs och sidoberget som inte har samma ekonomiskt intresse. Det innebär att gruvbolagen, efter att ha utvunnit ekonomiskt lönsamma mineral och metaller, har kvar material som behöver hitta avsättning eller deponeras. Detta kvarvarande material kan fortfarande innehålla värdefulla beståndsdelar och utgör grunden för en potentiell marknad för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall.

En orsak till att ekonomiskt värdefull mineral och metall lämnas kvar är att innehavaren inte har kunskap eller erfarenhet om efterfrågan för all mineral som finns i gruvan. Innehavaren kan också sakna kunskap om den teknik som krävs för brytning av flera av de mineral och metaller som finns i gruvan. I intervjuer framkommer det till exempel att gruvbolagen specialiserats sig i utvinning av en mineral som huvudproduktion och lämnar andra kvar som avfall. En orsak är att riskerna i att investera i utvinning av andra mineral och metaller är för stora. Detta för att produktionsprocessen för utvinning från gruvor är långsamma och hinner inte anpassas till de betydligt snabbare förändringar på efterfrågesidan. Förändringar på efterfrågesidan drivs av en alltmer accelererande teknik- och produktutveckling och med undantag för basmetallerna ingen på marknaden kan garantera priser för mineral och metaller på längre sikt.

Teknikutvecklingen innebär också att andel metaller i produkterna sjunker och leder till att mängd efterfrågad mineral och metall minskar. Det innebär att gruvbolagen tar stora risker av att som nämndes ovan de inte hinner möta de snabba svängningarna på efterfrågesidan och av att efterfrågan på grund av teknikutvecklingen minskar över tid. De flesta gruvor bryter dock flera, ibland många, mineral och metaller. En tänkbar förklaring är därför att ekonomiska avvägningar gör att vissa mineral och metaller utvinns och andra inte.

Den samlande bilden är att intäkter från utvinning av många mineral och metaller från biproduktionen i nuläget inte bär de extra investeringskostnader som krävs för att utvinna dem.

Brist på information hindrar potentiella privata aktörer från att använda resurser i avfall

Att innehavaren saknar kunskap, teknik eller processer för att utvinna samtliga resurser i en gruva är inte en tillräcklig förklaring till att användbara resurser slutar upp som avfall. Befintliga gruvaktörer har kännedom om vad som finns i avfaller från sina egna gruvor, men informationen når sällan andra aktörer på marknaden. Därmed informationen når inte aktörer med potentiell att utvinna dessa mineral. Om gruvaktörer som lämnar mineral som avfall och aktörer med potential att utvinna dem har vetskap om varandra skulle de kunna förhandla på marknaden och komma till ett avtal som leder till ett mindre resurser blir avfall.

En möjlig förklaring till att detta samarbete inte sker är att befintliga gruvaktörer investerat stora summor i form av brytning, uppföring och, i fallet med anrikningssand, finfördelning och vill därmed själva utvinna dessa resurser när lönsamhet finns (intervju gruvföretag, 2022). En annan förklaring är de höga transaktionskostnader som finns. Det vill säga den kostnad som tillkommer aktörer vid genomförandet av en transaktion på marknaden. Det kan exempelvis vara kostnaden att identifiera och leta fram en motpart. Att teckna ett avtal kan anses dyrt i förhållande till det värde innehavaren ser i avfallet. Eller att det saknas annan infrastruktur som försvårar mineral och metaller att slutmarknaden. Med andra ord är det för dyrt att leverera resursen till dem som har möjligheter att utvinna den.

Bristen på information sträcker sig även till innehållet i gruvavfall tillhörande nedlagda gruvor. Här sker dock prospekteringsinsatser som kan hjälpa potentiella intressenter att starta verksamhet för utvinning av mineral och metall i gruvavfall (SGU, 2021b).

Dessa inneboende problem av att utvinna från avfall kanske till viss del kan förklara varför det idag saknas en fungerande marknad för mineral och metaller från gruvavfall i Sverige. Det finns däremot potential för en marknad, särskilt för utbud av mineral och metaller från pågående brytning. Att marknaden inte är fungerande innebär att analysen försvåras av att det saknas såväl vetenskapliga studier, empiriska observationer och praktisk erfarenhet om hur denna marknad fungerar. Mycket av de uppgifter som finns, kommer därför från de aktörer som investerar och planerar för utvinning från gruvavfall.

Sekundär utvinning från gruvor är gruvverksamhet.

Att utvinna resurser från berggrunden är en kapitalintensiv verksamhet och aktörer som vill ta sig in på marknaden möts av höga inträdeskostnader. Enligt en analys på internationell nivå framgår det att det i medel tar 16,5 år att utveckla projekt från upptäckt till produktion (IEA, 2021). Det har i sin tur bidragit till att endast ett fåtal aktörer är verksamma på marknaden idag. En marknad med höga inträdeshinder och därav få aktörer innebär risk för bildning av en monopolitisk eller oligopolitisk marknad med begränsad konkurrens. Exempelvis har Kina under många år varit världens största exportör av sällsynta jordartsmetaller och stått för över hälften (cirka 65 procent) av förädlingen. Landet har kunnat styra tillgängligheten av många sällsynta jordartsmetaller för resten av världen genom sin dominans på den globala marknaden. Kina har även kunnat skaffa sig fördelar genom att bli ledande i hela värdekedjan kring sällsynta jordartsmetaller genom att bland annat hålla nere priserna (Tillväxtanalys, 2017).

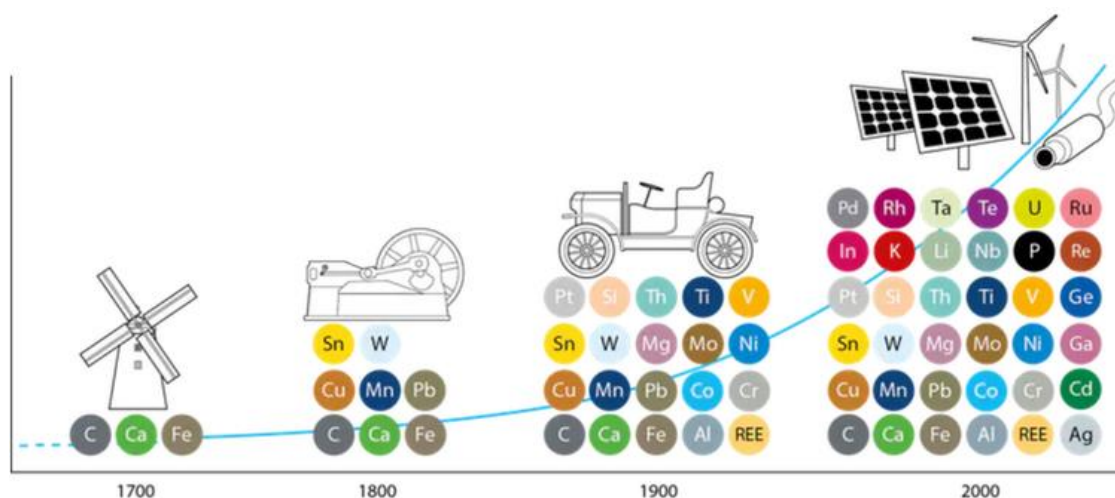
Gruvdrift är också platsspecifikt. Varje mineralisering har olika förutsättningar och vid varje fall måste det göras en bedömning om utvinning kan ske med ekonomisk lönsamhet. Som en konsekvens har i princip varje plats olika produktionsförutsättningar och i praktiken måste processerna därför skräddarsys för varje gruva (SGU, 2021). De fyndigheter i form av malm som sedan utvinns tenderar ofta att ha olika sammansättningar och halter. Utvinning av dessa koncentreras därför till några få platser och länder i världen. Trots att marknaden för utvinning av mineral och metaller oftast beskrivs i termer av en, består den egentligen av ett flertal mindre marknader för de olika mineral och metallerna. I många fall är inte heller dessa marknader enkla att skala upp, särskilt för de mineral och metaller som handlas i mindre mängder på världsmarknaden.

Gruvdrift har även en stor miljöpåverkan. Det kan vara allt från utsläpp av föroreningar till vatten, mark, och luft, förlust av biologisk mångfald. Storleksordning av påverkan beror dock på förutsättningar på plats. Gruvdrift har även stor påverkan på landskapet i omgivningen vilket ofta står i målkonflikt med rennärings-, skogsbruk, turism och jordbruk i Sverige (SGU, 2017). Vidare innefattar gruvdrift i delar av världen även kränkningar av mänskliga rättigheter och bristfälliga arbetsvillkor (UNCTAD, 2020). Detta har enligt intervju med ett företag som efterfrågar (2022) även betydelse för den allmänna debatten och att gruvindustrin historiskt betraktats som en dålig verksamhet ur miljösynpunkt, inte minst vad gäller möjligheter att få finansiering för nya investeringar.

2.3 ÖKAT BEHOV AV MINERAL OCH METALLER FRÅN GRUVAVFALL

Klimatomställning ökar efterfrågan på mineral och metaller

Den globala efterfrågan på innovationskritiska mineral och metaller förväntas öka kraftigt till år 2050 (Världsbanken, 2022). Med innovationskritiska mineral och metaller menas de mineral och metaller som återfinns på EU:s lista över kritiska råvaror. En lista som refererar till metaller och mineral som är av stor ekonomisk betydelse för en viss bransch eller industrisektor eller ett geografiskt område och som det av olika orsaker riskerar att bli försörjningsbrist på. Hur kritiskt ett råmaterial är kan förändras över tid och reflekterar bl.a. nuvarande och förväntad framtida efterfrågan, globala politiska förhållanden och teknisk utveckling (Näringsutskottets grupp för uppföljning och utvärdering, 2022). Som Figur 5 visar har antalet mineral och metaller som används i produkter utvecklats i takt med att nya och mer avancerade tekniker vuxit fram (European Commission, 2016).



Figur 5. Utveckling av användning av mineral och metaller i teknik (1700-2000). Källa: (European Commission, 2016)

Det är flera olika faktorer som driver på det ökande behovet, bland annat takten på den ekonomiska och tekniska utvecklingen, ökad levnadsstandard samt metallintensitet och återvinningsgrad i samhället. Men den enskilt viktigaste drivkraften bakom den ökade efterfrågan är klimatomställningen till ett fossilfritt samhälle (Material Economics, 2021). Enligt Internationella energirådet bedöms det behövas mellan fyra till sex gånger mer mineral och metaller än dagens nivå för att uppnå klimatmålen i Parisavtalet genom omställning till förnybar energi och elbilar (IEA, 2021).

Den omfattande klimatomställningen och elektrifieringen som världen står inför, bland annat inom transport- och energisektorn, skapar en snabbt ökande efterfrågan på innovationer vars funktionalitet är beroende av mineral och metaller som inte tidigare utvunnits eller använts i större skala. Störst efterfrågan förväntas uppstå för de kritiska metallerna litium, sällsynta jordartsmetaller (REE), nickel, indium, kobolt och grafit. Efterfrågan förväntas öka med minst 300 procent till 2050 jämfört med dagens nivå (SweMin, 2021). Även efterfrågan på basmetaller förväntas öka kraftigt, främst koppar som behövs för elektrifiering. Eftersom bulkmetaller redan finns idag i stora omlopp i ekonomin till skillnad från de energikritiska metallerna beräknas tillväxten till endast 25–188 procent (Material Economics, 2021). Sammanfattningsvis kommer ambitionsnivån i klimatomställningen att påverka efterfrågan kraftigt.

Att informationsteknologi och klimatomställning har ökat behov av mineral och metaller i ekonomin innebär oundvikligen att efterfrågan och därmed priserna på världsmarknaden går upp. För att möta det växande behovet av metaller lyfts ofta återvinning, återanvändning och andra cirkulära metoder fram som lösningar. Men även dessa metoder är inte tillräckliga för att möta det framtida behovet. Enligt Världsbanken kan endast 15–30 procent av efterfrågan år 2050 tillgodoses vid maximerad återvinning. Resten behöver fortsatt komma från gruvbrytning (Världsbanken, 2020).

Ökad efterfrågan på etiskt och hållbar utvinning av mineral och metaller

Utöver att klimatomställningen ökar efterfrågan på mineral och metaller i stort, ökar den även efterfrågan på en mer resurseffektiv och miljövänlig utvinning av mineral och metaller. Som nämnts i kapitel 2.2. tar gruvor mycket mark i anspråk där en uppenbar effekt är att landskapsbilden förändras (SGU, 2020). Bland annat kan exploateringen av mark till följd av gruvverksamhet påverka den biologiska mångfalden, grundvatten och ytvatten i närområdet samt konkurrera med andra intressen som rennäringen eller turism (Naturvårdsverket, 2022c). Utvinning av mineral och metaller från gruvavfall är därmed ett mer hållbart alternativ som kan utöver att minska klimatavtrycket för den totala metallproduktionen även bidra till återställande av miljö och landskap i anslutning till övergivna gruvområden (Blengini, Mathieux, Mancini, Nyberg, & Viegas, 2019).

Enligt intervju med ett svenskt företag som efterfrågar kritiska mineral och metaller (2022) finns det dessutom en stor efterfrågan på mineral och metaller som kommer från Europa. Från ett moraliskt perspektiv finns det ett värde av att minska importen av mineral och metaller från länder som inte tillämpar en strikt miljölagstiftning eller som har sämre arbetsvillkor. Istället ska brytning ske i länder som Sverige som har bättre miljölagstiftning och arbetsvillkor för sina anställda (Material Economics, 2021).

Geopolitisk sårbarhet ökar efterfrågan på utvinning av mineral och metaller i Sverige

Efterfrågan på gruvbrytning i Sverige och Europa drivs även på utifrån ett geopolitiskt perspektiv. Idag är produktionen av de innovationskritiska metallerna starkt koncentrerad till ett fåtal länder och regioner, exempelvis Kina. Det innebär i sin tur en viss sårbarhet för Sverige och Europa då dessa mineral och metaller bland annat används inom försvarsindustrin (Tillväxtanalys, 2021). För att trygga den egna försörjningen och minska den geopolitiska sårbarheten efterfrågas därav mer utvinning i närområdet.

Prisutveckling

Metallpriset påverkas av många faktorer som kvalitet, transportavstånd och händelser i omvärlden. Sett från efterfrågesidan finns ett tydligt samband mellan händelser i omvärlden och den globala prisutvecklingen på mineral och metaller. Utbudet är däremot på kort sikt oelastiskt då det begränsas av den tillgängliga produktionskapaciteten som kräver tid och stora investeringar för att ställas om. Det gör i sin tur att variationer i efterfrågan har en stor betydelse för prisbildningen (Tillväxtanalys, 2021).

Historiskt sett har prisutveckling för mineral och metaller varit volatil, det vill säga priserna för mineral och metaller har fluktuerat relativt mycket över tid. Efter IT-bubblan i början av millennieskiftet tog den internationella konjunkturen och efterfrågan fart samtidigt som Kina, Indien och Brasilien tog mer plats på den globala marknaden. Det medförde en snabbt ökad efterfrågan och priserna på metaller fyrfaldigades. Under finanskrisen följde dock ett prisfall på 60 procent på metaller. Marknaden återhämtade sig efter ett markant uppsving, men följdes återigen av en nedgång. När den globala industrikonjunkturen tog fart under 2016–2018 kom återigen en uppgång (Teknikföretagen, 2021).

Under 2020-talet har flera oroligheter i omvärlden skapat osäkerhet på den internationella marknaden. Nya utbrott och fortsatt omfattande nedstängningar i Kina, som står för mer än hälften av den globala efterfrågan av metaller, har fortsatt skapa osäkerhet vilket självfallet har påverkat metallpriserna kraftigt. Batterimetallerna litium och kobolt har under senaste åren uppvisat mycket kraftiga prisökningar. När det gäller litium är det tydligt hur utbudet inte hänger med den starka efterfrågan, vilket leder till ökande priser. Kriget i Ukraina är också en av de större händelserna som satt spår i världsekonomin. Metallbörsen London Metal Exchange (LME) överväger att förbjuda handel med och lagring av ryska metaller. En blockad mot Ryssland som är en stor producent av aluminium, nickel och koppar skulle därmed ge betydande konsekvenser på det globala utbudet (SGU, 2022e).

Efterfrågan på metaller är även inkomstkänslig. Detta då den totala efterfrågan av produkter där mineral och metaller ingår ofta är knuten till inkomstnivå (BNP) och används i hög grad i de sektorer som är konjunkturberoende, t.ex. biltillverkning och byggande (Tillväxtanalys, 2021). Exempelvis avtog under andra halvåret 2022 prisökningarna för litium och kobolt på grund av bland annat inflationen, räntehöjningar samt problem i leveranskedjor i världen. Även basmetallerna koppar, zink, bly och aluminium påverkades starkt av ökad inflation och centralbankernas räntehöjningar (SGU, 2022f) (SGU, 2022g)).

Produktionen av nickel har ökat kraftigt, vilket lett till att produktionen och utbud av kobolt, som är en biprodukt till nickel, ökat kraftigt. Det har i sin tur lett till att priset på kobolt sjunkit så pass mycket att det inte längre är lönsamt och planerade investeringar för utvinning av kobolt i Sverige har lagts ner (Företag som efterfrågar, 2022).

3. Utbud mineral och metaller i gruvavfall

I det föregående kapitlet redovisades det att förutsättningar för utvinning av mineral och metaller från gruvor kan ändras över tid. Vidare ger tillväxt i ekonomin generellt, men även tillväxt i it- och informationsteknologi samt satsningar mot en mer klimatneutral ekonomi en kraftigt ökad efterfrågan på mineral och metaller. I detta kapitel diskuteras förutsättningar för att utbudet kan möta efterfrågan.

Kapitlet syftar på att besvara hur mycket mineral och metall som finns i gruvavfall samt kartlägga produktionsförutsättningarna för sekundär utvinning av dessa resurser. Som tidigare nämnts finns idag ingen fungerande marknad för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Därmed är de flesta uppgifter i det här kapitlet baserat på de intervjuer som genomförts med aktörer inom gruvbranschen, varav en del aktörer har kommande planer att påbörja utvinning av mineral och metaller från gruvavfall.

3.1 MINERAL OCH METALLER FRÅN AVFALL FRÅN PÅGÅENDE GRUVBRYTNING

Pågående brytning genererar restmaterial, Om innehavaren vill bli av med restmaterialet blir det avfall och blir avfall från pågående gruvbrytning. Den totala mängd och koncentration av mineral och metall som inte tas till vara på i pågående gruvbrytning är svåruppskattad. Inte minst för att data på aggregerad nivå saknas och att gruvbolagen själva främst publicerar information kring den mineral och metall som bryts, inte den mineral som ej bryts och slutar upp som avfall. Trots det har verksamhetsutövare skyldighet att karaktärisera sitt gruvavfall enligt avfallshanteringsplanen i förordning (213:319) om utvinningsavfall med syfte att bland annat främja återvinning (Naturvårdsverket, 2022d). Det gör att aktiva gruvbolag troligen har god kännedom om mineral och metall i det egna avfallet. Detta bekräftas från intervju med ett gruvföretag (2022). I intervju med LKAB (2022) har det bland annat framkommit att det årligen bildas 6 miljoner ton anrikningssand från deras gruvdrift. Där uppskattas cirka 400 000 ton apatitkoncentrat kunna framställas som innehåller värdefulla mineraler som fosfor, sällsynta jordartsmetaller och fluor. I det årliga genererade gruvavfallet vid Bolidens Aitikgruva återfinns pyritkoncentrat innehållande svavel och järnoxid (hematit). Där finns även potential för molybden.

De aktiva gruvbolagens information om mineral och metaller i det egna avfallet är inte tillgänglig för andra aktörer och kan gå förlorad när avfallet slutförvaras.

3.2 MINERAL OCH METALLER I HISTORISKT GRUVAVFALL

När det gäller äldre gruvavfall kan det idag vara möjligt att med nya metoder utvinna mineral och metaller som inte var ekonomiskt åtråvärda eller tekniskt utvinningsbara under tiden då gruvan var i drift. Det råder dock en stor osäkerhet kring hur stor koncentration och volym som finns av mineral- och metaller i äldre gruvavfall. Dessutom kan den mineral som från början förekommit i sandmagasin ändrat malmkaraktär över tid då andra mineral dominerar vid det läget sammansättningen eller att den kan ha oxiderat och vittrat till följd av kontakt med syre. Regeringen har uppdragit åt SGU att genomföra provtagningar och undersökningar av gruvavfall i syfte av att minska osäkerheten och kartlägga vad som återfinns i historiskt gruvavfall. Det har hittills genomförts runt 900 insamlade prover från cirka 58 objekt bestående av sandmagasin och gråberg (SGU, 2021).

Exempelvis har historisk brytning av apatitjärnmalm från den nedlagda gruvan Blötberget genererat cirka 4,2 miljoner ton gråberg innehållande järn, fosfor, sällsynta jordartsmetaller samt vanadium Dessutom finns runt 4,7 miljoner ton anrikningssand innehållande järn, fosfor, sällsynta jordartsmetaller samt volfram. Avfallsströmmarna från historisk gruvbrytning av apatitjärnmalm i Grängesberg har genererat 0,62 miljoner ton

gråberg samt 8,4 miljoner ton anrikningssand. Koncentration mineral och metall i gruvavfallet i Blötberget och Grängesberg redovisas i Tabell 1 nedan. SGU (2022a)

Metall/ Mineral	Blötberget	Grängesberg
Gråberg		
Järn	22%	14,85%
Fosfor	0,60%	1,23%
REE	0,06%	0,06%
Volfram	0,03%	
Anrikningssand		
Järn	20,56%	8,92%
Fosfor	2,50%	2,14%
REE	0,09%	0,09%
Vanadium	0,03%	

Tabell 1. Uppskattad koncentration mineral och metall i gråberg och anrikningssand i Blötberget och Grängesberg. Källa: (SGU, 2022a).

Från SGU:s pågående undersökning, provtagning och karaktärisering av historiska gruvavfall uppskattas det totalt finnas ca 8 miljoner ton järnmalm, 0,2 miljoner ton fosfor samt 45 600 ton sällsynta jordartsmetaller i de undersökta högarna. Utöver dessa uppskattas det även finnas en rad andra råvaror som är med på EU:s lista över kritiska mineral och metaller (CRM) och som bedöms som kritiska för vårt samhälle och välfärden. Exempelvis tyder den pågående kartläggningen på att antimon, kobolt, volfram, vanadin, vismut, beryll och titan återfinns i vårt historiska gruvavfall. Dock ska de uppskattade mängderna kvarvarande råvaror endast ses som indikativa och på intet sett som faktiska resursberäkningar. SGU menar att osäkerheterna i dessa uppskattningar är stora eftersom mängden kvarvarande avfall i många fall är okänt eller dåligt avgränsat (SGU, 2022b).

SGU genomförde även en kartläggning och analys år 2014 av utvinnings- och återvinningspotentialen för svenska mineral- och metalltillgångar. I dåvarande uppdrag genomfördes en uppskattning av metallmängder i enbart sandmagasin från aktiva gruvor i Sverige mellan 1906 och 2013 (SGU, 2014). I Tabell 2. listas dels de uppskattade mängderna mineral och metall från SGU:s pågående kartläggning av de 58 objekten (varav 16 saknas då mängd inte beräknats), dels de uppskattade mängderna av mineral och metall i sandmagasin från gruvor i drift mellan 1906–2013. Som referenspunkt visar Tabell 2. även 2021 års produktion av metaller.

Metall / Mineral	Uppskattad metallmängd, ton 2022 (pågående undersökning)	Uppskattad metallmängd sandmagasin, ton 2014	Primär utvinning, ton 2021
Järn	8 047 342	52 043 792	29 600 000
Bly	282 160	640 349	65 700
Fosfor	238 722	1 500 000	
Zink	155 637	1 206 140	237 200
Koppar	64 045	358 251	86 300
REE	45 652	41 000	
Flusspat	37 000		
Barium	34 810		
Titan	24 100		
Vanadin	9 500		
Volfram	2 821	2 005	
Kobolt	1 702		
kobolt	1 702		
vismut	1 366		
Molybden	492	1 645	
Beryllium	317		

Guld	200	45	7
Nickel	179		
Silver	93	1 845	436
Antimon	86	43	
Gallium	9		
Indium	8		
Niob	4		
Mangan		189 686	
Arsenik		500	
Totalt	8 946 247	55 985 301	29 989 643

Tabell 2. Uppskattning av metallmängder i gruvavfall och sandmagasin (ton) från pågående undersökning (2022) och från 2014. Primär gruvbrytning 2021 (ton). Källa: (SGU, 2014), (SGU, 2021a), (SGU, 2022b)

Som Tabell 2. visar återfinns både sällsynta jordartsmetaller och fosfor i 2014 års uppskattning av mineral och metaller i sandmagasin. Av de undersökta objekten i den pågående undersökningen av SGU uppskattas det finnas en större mängd sällsynta jordartsmetaller än vad som tidigare uppskattades under 2014. En möjlig förklaring är att även gråberg undersöks i SGU:s pågående kartläggning, vilket inte gjordes i undersökningen 2014. I den nya kartläggningen har det även upptäckts fler kritiska mineral och metaller vad man tidigare trott funnits.

I relation till den primära utvinningen 2021 är den uppskattade mängden järn och guld i SGU:s pågående undersökning drygt en fjärdedel respektive 27, 5 gånger så mycket av den mängd järn och guld som kom från den primära utvinningen 2021 (SGU, 2021a). Den uppskattade mängden järn och guld i samtliga deponier för anrikningssand från studien 2014 kan ersätta 2021 års malmproduktion i 1,8 respektive 6,2 år innan deponierna är tömda. Det är värt att notera att den totala mängden av dessa sekundära mineral och metaller är fördelade på ett flertal nedlagda gruvor runt om i Sverige.

3.3 PRODUKTIONSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR UTVINNING FRÅN GRUVAVFALL

Idag saknas det en marknad för utvinning från gruvavfall för att produktionsförutsättningar har inte varit gynnsamma.

Sekundär utvinning av mineral och metaller från gruvor är likt primär utvinning kapitalintensivt. Det innebär att det krävs stora investeringar för att starta upp verksamheten, vilket begränsar antal företag som kan utvinna gruvavfall. Eftersom det saknas en marknad för sekundär utvinning uppgifter om kapital behov för sekundär utvinning är osäkra. LKABs investeringar ReeMap i fosforutvinning uppskattas grovt till runt 10 miljarder kronor (LKAB, 2022).

En sak som utmärker utvinning från gruvavfall är att det är ett avfall, det vill säga att det är material som någon tidigare avstått från att utvinna och lagt det på deponier. Ett beslut som ofta tagits av ekonomiska skäl när utvinningen ansågs vara olönsam. I jämförelse med primär utvinning är lönsamheten för utvinning från gruvavfall normalt lägre. I intervjuerna flera aktiva gruvbolag berättar att det är svårt att få lönsamhet för utvinning av de flesta mineral och metaller från gruvavfall. Ett vanligt problem för att få upp lönsamheten är att de kvarvarande mineral och metaller i gruvavfall finns små mängder och låg koncentration att det är svårt att skala upp utvinningen för att kunna bära investeringskostnaderna. Det finns exempel på planerade investeringar i utvinning av mineral och metaller i Sverige som inte blivit av. Easymining (2022) som startades med avsikt att utvinna fosfor från gruvavfall i Sverige har till exempel ändrat sina planer och satsar i stället på fosforutvinning från reningsverken i Tyskland.

Utvinning av mineral och metaller från gruvavfall kan också ha fördelar relativt primär utvinning med avseende på kostnader för uppstart. Investeringskostnaderna kan exempelvis vara lägre då infrastruktur som vägnät till gruvan, bebyggelse, mark för de olika stegen i produktionsprocessen som brytning, anrikning och deponering redan finns på plats. Även om det eventuellt behöver rustas upp. Det finns också faktorer som talar för att intresset för utvinningen ökar. Teknikutvecklingen möjliggör utvinning vid lägre mineralhalter. Enligt Easymining (2022) krävdes det för runt hundra år sedan en kopparkoncentration på cirka 20 procent för att malmen skulle anses brytvärd. Idag kan en kopparkoncentration på runt 0,025 procent betraktas brytvärd. Därmed fungerar gruvavfall i form av både gråberg och sandmagasin som potentiella källor för utvinning av

mineral och metaller som förr inte ansågs brytvärda. Utveckling av ny kunskap och nya tekniker sänker även andra investeringskostnader och efterfrågan på mineral och metaller ökar över tid.

Skilnader i produktionsförutsättningarna för utvinning från gamla gruvor och utvinning från det avfall som uppstår vid pågående gruvbrytning är stora. Nedan fortsätter analysen med ett avsnitt om produktionsförutsättningar för utvinning från pågående gruvbrytning och sedan ett avsnitt om produktionsförutsättningarna för historiska gruvor.

Utvinning från avfall vid pågående brytning

I en pågående brytning uppkommer det restprodukter som innehåller mineral och metaller som inte utvinns utan hamnar i gråberget eller anrikningssanden. Om innehavaren vill bli av med restmaterialet blir det avfall som innehåller mineral och metaller som kan utvinnas. I vissa fall kan avfallet vara slutförvarat men finns inom ett område där gruvbrytning pågår.

Fördelarna med att utvinna mineral och metall från avfall i pågående brytning jämfört med historiskt gruvavfall är många. Den främsta anledningen är möjligheten till att hantera mineral och metaller innan de enligt lag är avfall. Följaktningen blir flera av de lagliga och institutionella hindren för att kommersiellt använda resurser i gruvavfall inte aktuella. Återvinning från historiskt gruvavfall är till exempel ofta förknippad med odefinierade äganderätter, vilket i sin tur skapar en viss osäkerhet för investerare. I pågående gruvbrytning finns det redan en koncessionsrätt som klargör vem som har rätt till det värdefulla materialet i gruvavfallet och därmed är dessa frågetecken utredda. Därutöver är ansvarsfrågan för efterbehandling av gruvavfall väl klargjord när det kommer till utvinning av mineral och metaller från pågående brytning jämfört med utvinning från historiskt gruvavfall.

Produktionsförutsättningarna för utvinning av mineral och metaller från avfall i pågående brytning karaktäriseras i stor utsträckning av den redan befintliga utvinningen. Dessutom anses de mineral och metaller som utvinns från pågående brytning snarare fungera som en biproduktion till den huvudsakliga utvinningen av exempelvis järnmalm och koppar. Det innebär att utvinning i en biproduktion utnyttjar befintlig infrastruktur, kunskap, personal av en huvudproduktion. Biproduktionen har därmed ett lägre avkastningskrav men blir beroende av produktionsbeslut för huvudprodukten. Lönsamheten för biproduktionen, vid till exempel hög efterfråga, påverkar därmed inte ensamt gruvbrytningens storlek, inriktning eller andra strategiska beslut i verksamheten. Därmed utbud av biproduktionen är inte priskänslig (Tillväxtanalys, 2021). Utbud av biproduktionen förändras i stället beroende på vad som händer i huvudproduktionens marknad, vilket kan till och med leda att utbud ökar när priserna är låga och eller utbud minskar när priserna är höga. Förändringar av utbudet oberoende av dess efterfrågan leder till ökat prisfluktuationer.

Baserat på de intervjuer som genomförts finns exempelvis stor potential för utvinning av fosfor, men även viss potential för utvinning av sällsynta jordartsmetaller i både LKAB:s projekt ReeMap samt i Grängesberg Exploration Holding AB:s projekt Grangex Apatit (LKAB, 2022); (GRANGEX, 2022)). Nedan presenteras potentialen och produktionsförutsättningarna för fosfor och sällsynta jordartsmetaller mer i detalj.

Fosfor

Fosfor produceras som en biprodukt till andra metaller. Som nämnts i texten ovan bedöms potentialen för utvinning av fosfor från pågående brytning i Sverige vara god. Det beror framför allt på att mängden samt kvaliteten i kombination med de rådande priserna på fosfor ses som tillräckliga för att det ska vara lönsamt att investera i sådan utvinning. Idag finns inga gruvor som utvinner fosfor i Sverige, trots att fosfor ses som en ändlig resurs samt listats som kritisk enligt EU:s lista över kritiska råvaror.

Förutsättningarna för att utvinna fosfor beror till stor del på de ökade priserna. Det årliga genomsnittspriset på fosfor har stigit från 90 USD per ton 2017 till 123,2 USD ton 2021. I oktober 2022 var priset uppe i 317,5 USD ton (Världsbanken, 2022). Enligt Grangex (2022) är prisökningen på fosfor en följd av Rysslands krigsföring mot Ukraina. Högre priser på fosfor kan även bidra till att fler potentiella fosforkällor kan bli intressanta för prospektering och utvinning. Därmed kan en ökad lönsamhet bidra till ökat utbud av fosfor, trots att fosfor ses som en biprodukt och därmed okänslig för prisförändringar. En orsak till detta kan vara att det finns oexploaterad kapacitet inom det område där gruvdrift pågår. Med andra ord så kan ett utbud av en biprodukt som fosfor möta en hög efterfrågan, men enbart om det finns underkapacitet, det vill säga fyndigheter som inte

utnyttjats tidigare, inom pågående brytning. När denna underkapacitet inte finns, upphör möjligheterna för att öka produktion av fosfor som biprodukt.

Utifrån den mängd och kvalitet av fosfor som Sverige kan producera, finns det potential för Sverige att ta marknadsandelar på världsmarknaden. Den mängd fosfor som tros finnas är tillräckligt stor för att täcka 5 gånger Sveriges behov av fosfor eller cirka 5–7 procent av Europas behov. Dessutom anses fosfor vara av god kvalitet och konkurrenskraftig nog då den innehåller tillräckligt låga halter av kadmium för att klara av EU-kommissionens förordning om gränsvärden på kadmiumhalt i livsmedel (EU, 2019). Den fosforutvinning som planeras i Sverige, som är utvinning från avfall, kan hålla låga produktionskostnader då mycket av den infrastruktur som behövs redan är på plats (Easymining, 2022); (GRANGEX, 2022); (LKAB, 2022)). Däremot framkom det på intervjun att Sverige har relativt höga produktionskostnader beroende på relativt höga krav i bland annat miljölagstiftning och arbetsmiljölagstiftning, vilket i sin tur leder till att fosfor som utvinns är billigare än fosfor från Sverige.

Sällsynta jordartsmetaller (REE)

Det finns även potential för utvinning av sällsynta jordartsmetaller. Det ser dock ut som att denna utvinning är möjlig enbart som biproduktion. Ibland till och med som en biproduktion till fosforutvinning, som därmed blir en biproduktion till en biproduktion. Det beror främst på att intäkterna från utvinning av sällsynta jordartsmetaller i Sverige inte själv kan stå för de löpande kostnaderna för produktionen. Volymen och koncentrationen anses inte tillräcklig och priserna har i många fall varit låga. Vidare är efterfrågan mycket osäker. Den snabba teknologiska utvecklingen innebär att det finns ingen garanti att efterfrågan på en specifik jordartsmetall är hög på längre sikt. Eftersom att starta en gruva kan ta 10–20 år är riskerna höga. Efterfrågan dämpas också av att teknologiskt framsteg driver utvecklingen mot produkter som innehåller mindre och mindre jordartsmetaller.

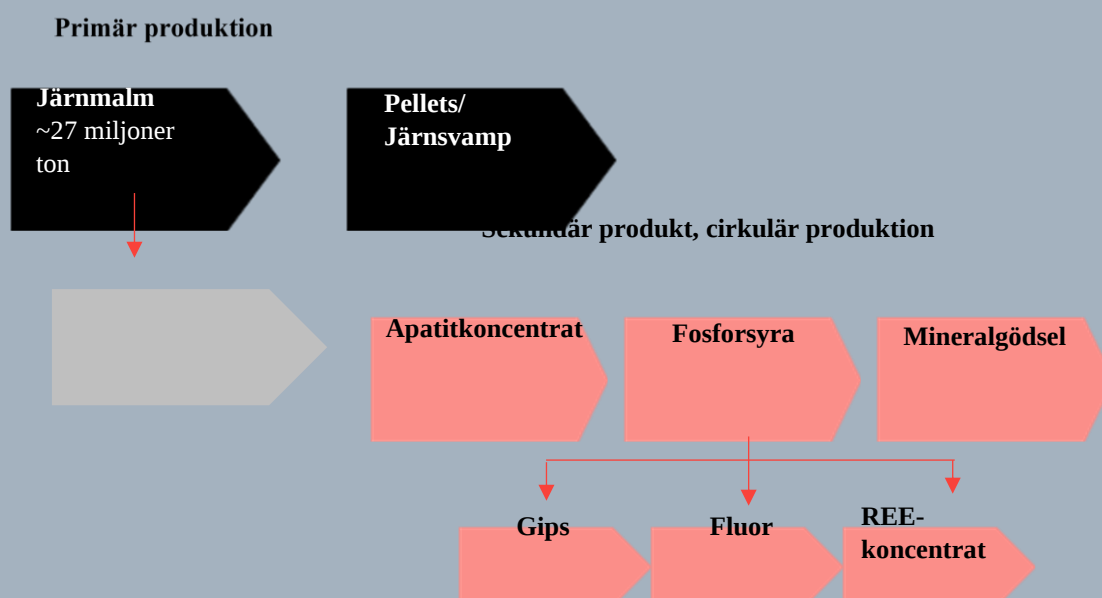
Det finns även tekniska begränsningar. Sällsynta jordartsmetaller utvinns ur mineral som innehåller dessa grundämnen, t ex eudyalit och monazit. Därifrån anrikas de till Rare Earth Oxides, som innehåller alla REE ihop med syre. Först därefter separeras de till rena metaller och det kan vara tekniskt svårt att skilja dem från varandra. Ytterligare en komplikation är att kunskap i förädling av dessa fyndigheter inte finns i Sverige och är ytterst begränsade i Europa. Idag förädling av sällsynta jordartsmetaller sker i andra länder som Kina (87%) och Malaysia (11%). Endast 1 procent av förädlingen sker i Europa (COM, 2020).

Trots att efterfrågan på sällsynta jordartsmetaller över tid har ökat, så har priset under långt tid befunnit sig på en relativt stabil nivå. Detta då sällsynta jordartsmetaller idag saknar en öppen handelsplattform och att marknadsutvecklingen för metallerna till stor del påverkats av politiska omständigheter. Inte minst på grund av att Kina dominerar utvinningen av sällsynta jordartsmetaller (Tillväxtanalys, 2022a). Från intervjuerna har det framkommit att Kina har som strategi att sänka priserna för REE i syfte att hindra andra aktörer att ta sig in på marknaden (Easymining, 2022); (LKAB, 2022)). Dock har priset på Neodym samt Praseodym som båda används i superstarka magneter under senare tid stigit och Kina har inte längre samma kontroll på RRE-marknaden och landet behöver själv importera REE för att bevara sin globala ledning i tillverkning av magneter. Enligt Näringsutskottets grupp för uppföljning och utvärdering (2022) kan det vara en början på en långsiktig prisnivå vilket i sin tur kan leda till ökat intresse i prospektering och möjlig framtida utvinning av REE från bland annat sekundära källor i Sverige.

I LKAB:s samt Grangex planerade projekt kommer utvinningen av sällsynta jordartsmetaller fungera som en biprodukt till fosforutvinningen. Det innebär att fosforutvinningen bär de stora kostnaderna för de nya projekten och att utvinning av REE därigenom blir relativt oberoende av prisfluktuationer på de globala marknaderna. LKAB:s planerade utvinningsvolym från pågående brytning förväntas stå för cirka 30 procent av Europas behov (GRANGEX, 2022); (LKAB, 2022)). Även Boliden AB undersöker möjligheterna för utvinning av REE-mineral (monazit) som biprodukt från anrikningsavfall från Kankbergsgruvan (Näringsutskottets grupp för uppföljning och utvärdering, 2022)

Faktaruta 1: ReeMAP- Från Gruvavfall Till Värdefulla Resurser

I projektet **ReeMAP** planerar LKAB att utvinna metaller och mineral från fallande avfall vid pågående gruvdrift. Anrikningssanden från förädlingen av järnmalm kommer att användas som råvara för att i första steget framställa apatitkoncentrat. Apatiten kommer i sin tur att förädlas till fosforsyra, som sedan separeras från biprodukter och koncentreras och förädlas vidare till mineralgödsel. Biprodukterna blir gips, fluor och REE- konzentrat. Planen är att fullskalig produktion kommer igång år 2027



De insatsvaror som krävs vid framställningen av fosforsyra kommer att vara cirkulär och fossilfri. Svavelsyra baseras på pyrit från Bolidens gruvavfall istället för fossila petroleumprodukter och vätgas används för ammoniakproduktionen istället för naturgas.

ReeMAP-projektets mål är att genom återvinning och förädling av gruvavfall producera:

- ❖ Fosfor motsvarande 5 gånger Sveriges behov
- ❖ Sällsynta Jordartsmetaller 30 % av dagens behov inom EU, upp till 100 % av specifika REE:er
- ❖ Fluor för kemiindustri och medicinapplikationer
- ❖ Gips som räcker till all byggproduktion i Sverige

Planen är att fullskalig produktion kan vara i drift till år 2027.

(LKAB, 2021)

Utvinning historiskt gruvavfall

Till skillnad från utvinning av pågående brytning som kan utökas över tid finns det en tydligare tak för hur mycket mineral och metaller som kan utvinnas från historiskt gruvavfall. Dessutom beror produktionsförutsättningarna till stor del på var det historiska gruvavfallet är beläget, dess möjlighet att utnyttja tidigare infrastruktur samt den kunskap som finns om resurserna i gruvavfallet. Avfall som är beläget i deponier vars temperaturer under vintern når minusgrader eller där skog växt ovanpå kan vara mer tekniskt krävande att utvinna än avfall från deponier som är mer lättillgängliga och som inte kräver samma typ av uppvärmning. Dessutom innebär gruvavfall med bättre geologisk information mindre investeringskostnader i prospektering och undersökningar än för de gruvavfall där sådan information saknas.

Återöppning av primär gruvbrytning i nedlagda gruvor i kombination med utvinning från historiskt gruvavfall är en bra möjlighet för att få ner produktionskostnaderna och öka lönsamheten för denna typ av verksamhet. Då kan drift- och investeringskostnader täckas av de gemensamma intäkterna från primär och sekundär utvinning. Grangex (2022) ser exempelvis potential för att 10 procent av den totala utvinningen av mineral och metaller i Dannemora gruva kan komma från anrikningssand.

En ytterligare aspekt som påverkar produktionskostnaderna för gruvavfall är ansvar för samt omfattning av efterbehandling. Dagens lagstiftning kring hantering och efterbehandling av gruvavfall är betydligt mer långtgående än den som varit tidigare. Det dröjde till början av 1980-talet innan det blev vanligt att genomföra efterbehandling av gruvavfallsdeponier (Naturvårdsverket, 1998). Grangex (2022) nämner bland annat att om ansvar för efterbehandling av den tidigare gruvdriften faller på dem krävs bland annat investeringar i förbättring av den kvarlämnade dammkonstruktionen. En kostnad som inte tillkommit vid uppstart av utvinning från ny gruva.

Utöver fosfor och sällsynta jordartsmetaller finns det enligt intervjuerna med Copperstone (2022) och Grangex (2022) främst potential att utvinna järnmalm, koppar och mangan från deras historiska gruvavfall. Dessa metaller har tidigare utvunnits ur deras gruvor, men med dagens teknik kan en större koncentration av den åtråvärda metallen tillgodogöras. Dessutom anses kvaliteten på metallen vara tillräckligt hög för att kunna konkurrera med den metall som utvinns i primär gruvbrytning. En låghaltig järnmalm hade enligt Grangex (2022) inte kunnat säljas, då den hade blivit utkonkurrerad med annan höghaltig järnmalm som exempelvis kommer från LKAB:s primärutvinning.

4. Nuvarande styrning

Det finns ingen specifik politik idag som enbart riktar in sig mot utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Däremot styrs sekundär utvinning från gruvor av styrmedel både för primär utvinning och styrmedel för avfall. En rad lagar och styrmedel för gruvdrift och återvinning/återvinning från avfall omfattar därmed även utvinning från gruvavfall. Minerallagen är den kanske viktigaste lagen som reglerar gruvindustrin medan miljöbalkens olika delar är huvudpelare i regleringen på avfallsområdet, inklusive avfall från gruvorna.

En viktig observation är att det finns en del osäkerheter kring hur regler, lagar och styrmedel bör tillämpas för gruvavfall. Som redan påpekats beror detta på att det inte än finns en fullskalig fungerande marknad för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Flera av de aktörer som investerar i utvinning från gruvavfall, bland annat de aktörer som intervjuats, är osäkra kring de lagar och styrmedel som gäller (LKAB, 2022); (Copperstone, 2022)).

Nedan diskuteras först information som en viktig förutsättning för utvinning från gruvavfall och sedan tas minerallagen och miljöbalken upp som är de två viktigaste styrmedlen som reglerar utvinning från gruvavfall. Slutligen tas ytterligare relevanta styrmedel upp.

4.1 INFORMATION - EN FÖRUTSÄTTNING FÖR GRUVVERKSAMHET

Aktörer som investerar i gruvverksamhet behöver information och kunskap om var de sekundära resurser som potentiellt kan utvinnas finns beläget. Utan denna information existerar ingen marknad för sekundär utvinning. Kvalitetssäkerinformation från gruvavfall. Informationen är en förutsättning och ett nödvändigt komplement till andra typer av styrmedel, inte minst ekonomiska styrmedel som strävar efter att öka incitament för utvinning från gruvavfall.

4.2 MINERALLAGEN

Utvinning från gruvavfall kan delas in i utvinning från historiskt gruvavfall och utvinning från pågående brytning. Utvinning från pågående brytning regleras av minerallagen. Det innebär att rätten till undersökningstillstånd, utvinning och tillgodogörande av särskilt utpekade naturresurser, så kallade koncessionsmaterial i Sverige är tydlig (SGU, 2017). Därmed har minerallagen en viktig funktion för att både bevilja tillstånd till den som har förutsättningar att undersöka eller bryta en mineralfyndighet samt vem som har rätten till en mineralfyndighet, oavsett vem som äger marken. Koncessionen för primär utvinning inkluderar även utvinning av mineral och metaller från pågående brytning. Det innebär att äganderätsfrågorna vid pågående brytning är lösta och tydliggör vem som äger eventuella fyndigheter i gruvavfallet.

Utvinning från gruvavfall som finns i nedlagda gruvor regleras däremot inte av minerallagen. Följaktligen finns det otydligheter kring vem som äger fyndigheter i gamla gruvor vid en eventuell utvinning. Ett exempel är Copperstone (2022) som i pågående stund söker tillstånd för att återöppna Viscariagruvan, en gammal koppargruva som senast var i drift under 1990-talet, för utvinning av koppar. Där finns det även potential för att utvinna mineral och metall i gråberg och anrikningssand i anslutning till gruvan. Det råder dock juridisk osäkerhet kring utvinning samt ansvar för efterbehandling av gruvavfallet, vilket gör att företaget i dagsläget inte vet om utvinning från gruvavfall kommer ske.

4.3 MILJÖBALKEN

Miljöbalken reglerar utvinning från gruvavfall på flera olika sätt. De två viktigaste delarna är regleringen av gruvavfallens negativa miljöeffekter enligt till exempel Miljöprövningsförordningen (2013:251) och strävan efter att öka återvinning och återanvändning enligt Utvinningsavfallsförordningen (2013:319).

Miljöprövningsförordningen (2013:251) och bestämmelser om förorenade områden reglerar utvinningens negativa miljöeffekter som till exempel hänsyn till ingrepp i landskapet och reglering av läckage och spridning av farliga ämnen vid utgrävning och när gruvdriften avslutas. Det är aspekter som väger tungt när gruvbrytning får tillstånd. Tillstånd ges också med hänsyn till andra viktiga principer i miljöbalken som försiktighetsprincipen,

krav på bästa möjliga teknik, principen om att förorenaren betalar, lokaliseringsprincipen, kretslopps- och hushållningsprincipen samt att produktvalsprincipen efterföljs (Naturvårdsverket, 2017).

Utvinningsavfallsförordningen (2013:319, men även EU:s direktiv på miljöområdet såsom avfallshierarkin som införlivats i Miljöbalken (Naturvårdsverket, 2022e) fungerar som ett viktigt styrmedel för arbetet med avfallsförebyggande och ett mer resurseffektivt samhälle. I utvinningsavfallsförordningen finns bland annat krav på avfallshanteringsplanen och att verksamhetsutövaren arbetar för att främja återvinning som är lämplig ur miljösynpunkt (SGU, 2017). Återvinning främjas också i direktiv (2008/98/EG) om avfall (avfallsdirektivet). Avfall ska enligt avfallshierarkin alltid förebyggas och deponi ses då som det sista steget som tas efter att alla andra alternativ är uteslutna (SOU, 2022:9).

Det finns en målkonflikt i miljöbalken mellan Miljöprövningsförordningen (2013:251) och bestämmelser för miljöskydd och Utvinningsavfallsförordningen (2013:319). Viljan att öka återvinning från gruvavfall och samtidig ställa höga miljökrav är två mål som många gånger står i konflikt med varandra. Enligt Grangex (2022) innebär deras planerade återöppning av en nedlagd gruva nya investeringar i efterbehandling för de tidigare deponierna. Detta för att gruvan ska följande nuvarande miljölagstiftning. Ur miljösynpunkt är det bra eftersom gamla gruvor som läcker kommer att saneras, men kostnaderna är höga vilket i stället kan avskräcka aktörer från att återvinna mineral och metaller från gruvavfall tillhörande nedlagda gruvor.

4.4 ANDRA STYRMEDEL

Utöver de administrativa eller de juridiska styrmedlen är ekonomiska styrmedel vanligt förekommande. Det är regleringar som verkar via prismekanismen. Det kan till exempel vara skatter, subventioner och utsläppsrätter. Ekonomiska subventioner kan bland annat innefatta exportstöd, stöd till infrastruktur samt lån och lånegarantier. Alla dessa stödformer är generella och stödjer all produktion av mineral och metaller. Därmed snedvrids inte heller konkurrensen inom gruvindustrin. Eventuellt kan det finnas skäl till att överväga om dessa stöd kan ta större hänsyn till att utvinning från gruvavfall ofta rör sig om relativt små produktionsvolymerna av mineral och metaller.

En skatt som påverkar utvinning av mineral och metall från gruvavfall är lagen om skatt på avfall, även kallad deponiskatt. Det avfall som uppstår inom gruvindustrin är idag befriad från deponiskatt, men den har potential att påverka incitamentsstrukturen för utvinning från gruvavfall. Avfallsskatten är utformad så att alla skattskyldiga betalar 555 kronor i skatt per ton avfall som deponeras, oavsett avfallsslag, vilket innebär en total reduktion på cirka 64 miljarder kronor för 2021. Avfallsskatten tillämpar nettodeponimetoden som innebär att skatt betalas för i princip allt avfall som förs in i en avfallsanläggning för deponi och att avdrag från skatten sedan sker för allt avfall som tas ut från avfallsanläggningen. Som resultat av att det avfall som uppstår inom gruvindustrin är undantagen avfallsskatten blir det mindre kostsamt för gruvföretagen att deponera avfall. En styrning som skulle kunna verka för att minska avfallsmängderna vid gruvor uteblir.

En intressant och möjlig effekt av att införa deponiskatt för gruvindustrin är att exempelvis ökad lönsamhet för sekundär utvinning av mineral och metaller. Detta eftersom nettodeponimetoden innebär att utvinning från gruvavfall innebär att deponiskatten återbetalas. Därmed skulle det potentiellt till och med kunna ge intäkter till dem som lyckas utvinna mineral och metaller från nedlagda deponier även om intäkterna i de flesta fallen är låga då mineraler och metaller är en liten andel av avfallet.

4.5 STÖD TILL FOU

Sverige har en lång historia av forskning och utveckling inom gruv- och mineralnäring. Då det ännu inte finns en fungerande marknad för utvinning från gruvavfall finns det ett behov av att utveckla ny kunskap och teknik samt forskning kring hur befintlig kunskap eller teknik kan tillämpas för gruvavfall. Idag finns det få studier som behandlar utvinning från gruvavfall (Naturvårdsverket, 2017). Den inhemska forskningsfinansieringen går snarare till systemstudier än till utveckling av teknologier och processer och ställer ofta höga krav på medfinansiering från industrin. Forskningsinstitutet Rise och Swemin bedriver viss FoU om bland annat utvinning och återvinning av innovationskritiska metaller och mineral från avfall (Näringsutskottets grupp för uppföljning och utvärdering, 2022). SGU fördelar även bidrag till riktad grundforskning och tillämpad forskning inom geovetenskap om cirka 6 miljoner kronor per år. En stor del av forskningen bedrivs däremot på EU-nivå

och utgörs främst av kartläggningar och sammanställningar av redan kända mineraliseringar med historiska data. Här ingår bland annat EU-projektet FutuRaM som ska testa olika beneficieringsteknologier som gäller utvinning av mineral och metaller från gruvavfall (weeforum, 2022).

Ytterligare systemövergripande styrning är skapandet av ett centrum och kluster för gruvaktörer i Sverige. Vinnova, Energimyndigheten och Formas har tillsammans skapat Swedish Mining Innovation (SMI) som fungerar som ett kluster där aktörer inom både akademien och gruvföretag finns med. Målet med SMI är att stärka forskning, innovation och utbildning där hållbara lösningar för utvinning av metaller utvecklas. För utvinning av gruvavfall som är i startgroparna av utveckling mot en fungerande marknad kan dessa centrum och kluster spela en avgörande roll för att det ska ske en snabbare etablering.

4.6 STYRMEDEL SOM INDIREKT PÅVERKAR UTVINNING FRÅN GRUVAVFALL

Även Sveriges uppsatta klimatmål och Sveriges strategi för cirkulär ekonomi styr till viss mån mot en ökad utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. Bara det faktum att målet och strategin finns har gett till exempel företag och myndigheter incitament att genomföra åtgärder i riktning mot målet, och att sätta egna interna motsvarande mål. Samtidigt verkar det som att styrmedel för klimat- och cirkuläromställning inte är tillräckliga för att marknaden för utvinning av mineral och metaller ska ta fart. Politiken för klimatomställning borde till exempel speglas i priserna på marknaden i högre utsträckning än vad som görs idag. Om så är fallet borde efterfrågan på de nödvändiga anpassningarna i grönare energiproduktion driva på efterfrågan och signalerna borde leda till att även utvinningen från gruvavfall ökar. Prissignaler verkar dock inte vara tillräckligt starka för att marknaden ska komma i gång av egen kraft. En möjlig förklaring är att klimatpolitikens höga ambitioner inte motsvaras av tillräcklig stark styrning för att påverka andra marknader som till exempel den för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall. En liknande bild gäller även politiken för återvinning av resurser. Det finns höga ambitioner, men styrningen slår inte igenom i priserna och därmed räcker det inte för att en marknad för sekundär utvinning av mineral och metaller ska uppstå. Orsaken kan vara många. Ett är att den samlande politiken för återvinning och cirkulär ekonomi är inriktad på några få delar av ekonomin och ofta mot konsumtion som till exempel textilier, matavfall, plast. Det finns sällan tydliga och tuffa krav som för andra miljöproblem som t.ex. skydd från utsläpp eller föroreningar. Ett exempel är producentansvar som i praktiken har blivit så att industrin kan betala sig ur ansvaret genom att lämna ansvar för insamling till tredje part. Ett annat exempel är skatt på avfall (deponiskatt) som skulle kunna vara en tydlig styrning för ökat återvinning. Skattebefrielser är så omfattande att det mesta av avfallet från industri, inklusive gruvindustrin, som deponeras inte betalar skatten.

EU:s utsläppsrätter för klimatgaser är ett styrmedel som indirekt påverkar utvinning från gruvavfall. Det beror på att gruvdrift är en energiintensiv sektor och har betydande utsläpp av koldioxid. Beroende på hur energi- och koldioxidutsläppsintensiv sekundär utvinning från gruvavfall är kan EU ETS ha en viktig betydelse för dess potential att utvecklas till en fungerande marknad.

5 Sammanfattning och styrmedelsförslag

5.1 VÅRT UPPDRAG

Regeringen har som ambition att öka utvinning av mineral och metaller från sekundära resurser. För att öka råvaruförsörjning via sekundära resurser krävs en genomtänkt politik som kombinerar styrmedel och åtgärder som förbättrar marknadens funktionssätt genom att ta bort hinder och korrigera för marknadsmisslyckanden. Sveriges geologiska undersökning (SGU) och Naturvårdsverket (NV) har fått ett regeringsuppdrag för att undersöka möjligheterna att öka hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser (N2021/01038). I regeringsuppdraget ska myndigheterna bland annat analysera praktiska hinder i lagstiftningen mot att utnyttja gruvavfall eller andra typer av avfall som innehåller mineral och metaller. Uppdraget ska om lämpligt även föreslå kostnadseffektiva styrmedel för att öka användningen av mineral i gruvavfall och annat avfall som innehåller mineral och metaller.

WSP har fått i uppdrag av SGU att genomföra en kartläggning och analys av vad som påverkar förutsättningarna för att öka sekundär utvinning av mineral och metaller från gruvor. Enligt uppdraget bör analysen fokusera på ekonomiska styrmedel och analys av de legala styrmedlen ingår inte i uppdraget. Uppdraget utgör ett underlag för myndigheternas regeringsuppdrag (N2021/01038) att analysera hinder mot att utnyttja gruvavfall eller andra mineral- och metallförande avfall som resurs.

Nedan följer en inledande diskussion om ekonomiska styrmedel för sekundär utvinning från gruvor följt av hur de bör utformas. Slutligen presenteras några förslag på förändringar som kan öka sekundär utvinning från gruvor.

5.2 EKONOMISKA STYRMEDEL FÖR SEKUNDÄR UTVINNING FRÅN GRUVOR

Idag saknas det en marknad för mineral och metaller som utvunnits från gruvavfall i Sverige. Däremot finns det potential för en sådan marknad i Sverige som flera aktörer redan påbörjar investering i. Rapporten har därmed analyserat *potentiell marknad* snarare än en befintlig marknad för sekundär utvinning.

Styrmedel för sekundär utvinning mer näringspolitik än miljöpolitik

En tydlig och långsiktig politik är den bästa signalen för att skapa en god incitamentsstruktur för sekundär utvinning. Den politiska inriktningen ger stabila villkor och ramar för en marknad. Finns det otydlighet och osäkerhet skrämmar det investerare. Ekonomer brukar ofta diskutera kring relativa priser mellan två konkurrerande områden och att det är en viktig faktor för storleken mellan den konkurrerande marknaden. Det är därmed även en viktig parameter för att styra mot i en för samhället önskad riktning. I detta arbete noterar vi även att den *relativa politiska inriktningen* kan vara avgörande. Easymining (2022) som hade långt gångna planer i att investera i sekundär utvinning av fosfor har ändrat sina planer och istället valt att investera i fosforutvinning från avloppsreningsverk i Tyskland. Tyskland har en lag som träder i kraft 2029 och 2032 för små- och medelstora företag om att all fosfor i reningsverk ska återvinnas. Hur den samlande politiken för sekundär utvinning är i förhållande till primär utvinning och till återvinning från varumarknaden kan därmed spela stor roll för den sekundära utvinningens etablering och storlek framöver. I rapporter noterar vi att Sverige har en tydlig mineralstrategi, och det finns även en växande politik för återvinning av mineral och metaller från varumarknaden. Samma tydlighet krävs i den politiska inriktningen för utvinning från gruvavfall i Sverige. På så sätt skickas en tydlig signal ut till aktörerna på marknaden som är intresserade för sekundär utvinning från gruvor i Sverige.

Den bild som träder fram av den *potentiella marknaden* för sekundär utvinning och dess *produktionsförutsättningar* är att sekundär utvinning från gruvor är en verksamhet som bedrivs hand i hand med primär utvinning. Det kan och bör inte heller ses som ett substitut till mineral och metaller från primär utvinning. Det finns två viktiga skäl till detta. Det första är att produktionsförutsättningar idag är sådana att sekundär

utvinning från gruvor, enligt de flesta aktörer i branschen, inte kan stå på egna ben. Utvinning av mineral och metaller från gruvavfall är beroende av att det finns primär utvinning från gruvor som bär kostnaderna för infrastruktur och andra kapitalkostnader för gruvdriften. I Sverige planeras sekundär utvinning från gruvor framför allt som biverksamhet till primär utvinning av de metaller som traditionellt har utvunnits i landet: järn, zink, koppar och bly (SGU, 2021a). Det andra skälet till att sekundär utvinning från gruvor inte kan substituera primär produktion är att mängderna mineral i gruvavfall i många fall inte bedöms räcka för att täcka efterfrågan vare sig idag eller i framtiden.

Att sekundär utvinning från gruvor inte kan substituera primär produktion idag betyder att sekundär utvinning inte kan åstadkomma de förväntade miljöförbättringarna vid övergång från primär till sekundär utvinning. Det finns å andra sidan andra skäl till att staten skall stimulera sekundär utvinning. Ett skäl är att sekundär utvinning tillhör mineralsektorn som pekats ut som strategisk viktig för svensk ekonomi. Behovet av mineral och metaller är avgörande för den snabba utvecklingen i ekonomin där både klimatomställningen och informationsteknologins ökade roll driver på samhällets efterfrågan. Därmed gäller de näringspolitiska argument som finns för att stödja primär utvinning och sekundär utvinning från varumarknaden även för sekundär utvinning från gruvavfall. De näringspolitiska aspekterna inhyser vidare säkerhetspolitiska frågor av stor strategisk betydelse. Utvinning av mineral och metaller tenderar att koncentrera sig till några få platser. Detta beror på att gruvnäringen med mycket stora initiala investerings- och kapitalkostnader tenderar att ha marknader som präglas av naturligt monopol. Det leder till att produktionen av mineral och metall domineras av ett fåtal platser och länder, vilket i sin tur kan leda till att strategiskt viktiga delar av svensk ekonomi blir beroende av produktion av enskilda aktörer eller länder. Något som i sig innebär stora ekonomiska och politiska risker, särskilt om produktion är belägen i politiskt instabila länder eller konflikthärdar.

Idag är gruvindustrins betydelse för övergång till klimatneutralitet snarare en näringspolitisk fråga än en miljöfråga. Klimatpolitiken har höga ambitioner men signalerna på mineralmarknaderna är inte lika tydliga. Alla prognoser gällande att vi står inför en enorm omställning tycks inte slå igenom på marknaden då det inte speglar sig i prissystemet. Det innebär att eventuella signaler om ökad efterfrågan på mineral och metaller inte når sekundär utvinning. En förklaring kan vara att klimatpolitiska, inte minst de klimatpolitiska styrmedlen, riktar sig till specifika lösningar och teknologier i stället för en bredare politik som med generella teknikneutrala styrmedel leder till anpassningar i hela ekonomin. Reduktionsplikten, stöd till elbilar, men även klimatklivet och industriklivet är styrmedel som leder till specifika lösningar och har liten eller inget brett genomslag på priserna på marknaden som påverkar utvinning av mineral och metaller från gruvor.

Politiken för en mer cirkulär ekonomi med avfallsförebyggande, ökad återanvändning och återvinning är inte heller tydlig. Många avfallsströmmar är idag oreglerade eller är reglerade med mjuka styrmedel. Hit hör exempelvis krav på producentansvar som i praktiken inte har tvångsmedel för att producenter ska ta hand om eller minska avfallsmängderna. De få hårda styrmedel som finns präglas dessutom av undantag som gör att större delen av avfallen från industrin slipper reglering, exempelvis deponiskatten. Även styrning via miljöbalkens reglering för avfallsförebyggande och återvinning anses tandlös utifrån miljösynpunkt. Ett exempel är att Förordning (2013:319) om utvinningsavfall inte har skarpa regleringar kring återvinning. Det leder till att verksamhet för återvinning ofta får stå tillbaka för de betydligt tuffare kraven för miljöskydd i Miljöprövningsförordning (2013:251). Det innebär att även politiken för cirkulär ekonomi, avfallsförebyggande, ökad återanvändning och återvinning inte slår igenom på priserna på marknaden och därmed skapas inte heller signaler om ökad återvinning från gruvor. Enligt Förordning (2013:319) om utvinningsavfall bör verksamhetsutövare arbeta för att främja återvinning som är lämplig ur miljösynpunkt. Idag deponeras i stort sett alla restprodukter från gruvbrytning och verksamhetsutövaren utan att betala skatt på avfall då gruvavfall är undantagen från Lag (1999:673) om skatt på avfall.

Politik för klimatomställning och en mer hållbar och cirkulär ekonomi har stor betydelse för hur stor sekundär utvinning från gruvor kan bli. Prissignalerna om mineral och metaller för klimatomställning och prissignaler om ökad återvinning tycks inte nå marknaden för sekundär utvinning, vilket kanske förklarar att marknaden idag inte finns och att även dess potential i framtiden begränsas. I denna rapport tas dessa politikerområden som givna och vi lämnar inga förslag på styrmedel på området. Politikerområdena klimatomställning och cirkulär ekonomi är överordnade politiken för en betydlig mindre del av ekonomin som sekundär utvinning från gruvor men det går inte heller att bortse från att politiken för klimatomställning och cirkulär ekonomi är en av de viktigaste om inte de viktigaste faktorerna som bestämmer incitamentsstrukturen som råder på marknaden för sekundär utvinning.

5.3 ATT UTFORMA STYRMEDEL FÖR SEKUNDÄR UTVINNING FRÅN GRUVOR

Hur bör ekonomiska styrmedel utformas?

I teorin en kostnadseffektiv utformning av styrmedel är en sådan som internaliserar externa effekter. Vad gäller ekonomiska styrmedel betyder det att skatt skall läggas på negativa externa effekter (till exempel på miljöskadligt beteende) och subvention för positiva externa effekter (till exempel på miljöförbättrande beteende) (se t.ex. (Baumol & Oates, 1998)). För gruvindustrin skulle det motsvara att skatt betalas för näringens negativa miljöpåverkande aktiviteter, till exempel de stora mängder avfall som uppkommer, och att subventioner utgår vid återvinning av mineral och metaller från gruvavfall förutsatt att återvinning är samhällsekonomiskt önskvärt. Ur ett teoretiskt perspektiv finns det goda grunder för staten att införa ekonomiska styrmedel som gynnar återvinning från gruvavfall direkt genom subventioner för återvinning och indirekt genom att lägga skatt på gruvindustrins, men även andra industriernas negativa miljöpåverkan.

De ekonomiska styrmedel som diskuteras nedan syftar till att stimulera utbudssidan av mineral och metaller från gruvavfallet i Sverige. Sekundär utvinning från gruvor är en komplex marknad som präglas av både stordriftsfördelar och monopolistisk konkurrens från gruvdrift och otydlighet kring äganderätt av mineral och metaller i gruvavfall. Det finns redan en rad styrmedel som direkt eller indirekt påverkar denna marknad. Frågan i rapporten har varit att förstå på vilket dessa styrmedel bör justeras för att uppnå bättre styrning. Rapporten har också undersökt om det finns luckor i denna styrning som bör täppas till.

Förutsättningar för ekonomiska styrmedel för sekundär utvinning från gruvor

För att styrmedel ska få genomslag krävs det att förutsättningar för en fungerande marknaden finns på plats. Om förutsättningar för en fungerande marknad inte finns på plats och att införa ekonomiska styrmedel blir ineffektivitet där måluppfyllelsen är låg och kostnaderna är höga.

En första nödvändig förändring för en fungerande marknad sekundär utvinning från gruvor är att det i lagen är tydligt framgår vem som har äganderätt till mineral och metaller i gruvavfall. Det bör finnas tydliga regler på marknaden om äganderätt till sekundär utvinning från gruvavfall likt de som gäller för primär utvinning kring till exempel koncession och rätt till fyndigheterna. De legala förutsättningarna för utvinningsverksamhet är något som ligger utanför uppdraget på så sätt att det inte ska lämnas förslag kopplat till prövningen enligt minerallagen eller miljöbalken men är en viktig förutsättning för att ekonomiska styrmedel skall fungera.

En andra är att ansvaret för att hantera miljörisker vid utvinning är klargjort. Ytterligare en otydlighet är vilket ansvar som följer av att utvinna från gruvavfall. I synnerhet vid utvinning från avfall i gamla nedlagda gruvor samt gruvavfall för deponering och avfallshantering. Dessa gamla gruvor kan ofta läcka gifter och när en aktör är intresserad av att utvinna mineral från dessa gruvor kan ansvar krävas för att åtgärda miljöpåverkan så att gruvan inte längre läcker enligt de gällande krav i miljöbalken. Detta fördyrar återvinning av mineral och metaller från sekundära resurser och minskar ytterligare incitamenten för återvinning. Ett rimligare tillvägagångssätt vore att aktörer som utvinna från gamla gruvor står för eventuella nya miljöproblem de orsakar och inte läckageproblem som lämnats av tidigare aktörer. En möjlighet är att samhället står för sanering av de gamla läckagen och de nya aktörerna för eventuellt nytt läckage. Det skulle ge samhällsvinster i form av minskat läckage och ökat sekundär utvinning från gruvor. Flera företag som idag investerat i sekundär utvinning menar att det är helt omöjligt att ta över det fulla miljöansvaret för en deponi och efterfrågar en metod för riskfördelning mellan deponiinnehavaren och de som investera i återvinning från deponin. Ifall deponiinnehavaren inte finns behöver en riskfördelning göras mellan samhället och de som vill återvinna från deponin.

En tredje förändring är att innehåll av mineral och metaller i gruvavfall är kartlagda och informationen finns tillgänglig för de aktörer som potentiellt kan utvinna dem. Geologisk information om berggrund, byggkvalité, jordarter, geokemi och geofysik är viktig inledande fakta inför beslut om vidare prospektering av mineral och metaller. För att möjliggöra och uppmuntra till ökad utvinning av gruvavfall skulle motsvarande information kunna tillgängliggöras genom att SGU tillhandahåller geologisk information om äldre gruvavfall. Det skulle i sin tur sänka inträdeshindren för aktörer att på börja en verksamhet för sekundär utvinning. Dessa förändringar är nödvändiga för att skapa fungerande drivkrafter på marknaden och incitamentsstrukturer på marknaden för sekundär utvinning. Minimikraven för att marknaden ska kunna fungera är att det finns information om vilka resurser gruvavfallet innehåller. Denna information finns för primär produktion. Vad gäller sekundär utvinning från gruvor har regeringen gett SGU i uppdrag att ta fram information om mineral i gamla nedlagda gruvor. Däremot saknas det ett systematiskt sätt att samla och lagra information om avfall från pågående brytning.

Styrning för att öka konkurrenskraft för sekundär utvinning i Sverige

Trots att primär och sekundär utvinning många gånger är verksamheter som går hand i hand finns det områden där sekundär utvinning har mindre gynnsamma villkor. Det beror antagligen på att primär utvinning är en större näring och redan etablerad på marknaden. Det kan därför vara bra att de strategier som finns idag inkluderar även sekundär utvinning. I Mineralstrategin fastslås att gruvnäringen är en viktig del av svensk ekonomi och att Regeringen arbetar för att svensk konkurrenskraft i gruv- och mineralnäringen ska öka. Sekundär utvinning av mineral och metaller bör betraktas som en del av denna strategi. Det innebär att de satsningar som görs för att gruvindustri fortsatt ska vara en strategiskt viktig sektor i ekonomin bör inkludera även utvinning från gruvavfall.

Investeringar i grundforskning och i innovation och mer tillämpad FoU bör inkludera även sekundär utvinning. Det kan handla om att utveckla ny kunskap eller sprida kunskap från primär utvinning till sekundär utvinning. Genom till exempel riktade FoU, demonstrationsanläggningar för specifika utmaningar och svårigheter som finns för sekundär utvinning från gruvor. Sekundär utvinning kräver ofta en annan processerings- och förädlingsteknologi. Till exempel att utvinna jordartsmetaller och fosfor från apatit-rik gruvavfall innebär tillämpning av olika teknologier både sinsemellan, men också med hänsyn till järnmalmens utvinningsteknologi

Även systemstyrmedel som hubbar eller kunskapscentra borde uppmärksamma villkoren för utvinning av gruvavfall. Det kan även finnas behov av satsningar på infrastruktur som är specifika för gruvavfall. Deponier vid nedlagda gruvor kan till exempel vara otillgängliga för att transportvägarna är föråldrade eller för att annan infrastruktur inte längre fungerar.

Det skapas idag stora mängder avfall och stor miljöpåverkan från gruvdrift. Att inert avfall inte inkluderas i deponiskatten kan vara rimligt men gruvindustrin orsakar inte enbart inert avfall. Anrikningssand är till exempel avfall från olika produktionsprocesser och är inte inert och bör betala skatt. Om återvinning ska få rimliga marknadsvillkor är det minst lika viktigt att justera faktorer som påverkar relativpriset gentemot framför allt primär utvinning. Att primär utvinning inte står för sina miljökostnader är en indirekt subvention som innebär sämre konkurrensvillkor för sekundär utvinning. I teori är det ingen tvekan om att en deponiskatt i proportion till miljöskadan anrikningssand orsakar borde utkrävas. Frågan har utretts ett antal gånger och undantaget från skatt om avfall för gruvavfall har bedömts som rimligt (se till exempel (SOU 2005:64)). Konjunkturinstitutet (2016) menar å andra sidan att det finns utrymme för deponiskatt om syftet är att öka återvinning av det som är återvinningsbart. För att villkoren på marknaden ska vara mer rättvisa och gynnsamma för återvinning bör en skatt på deponi från gruvavfall övervägas. Frågan om skattebefrielse för avfall i Sverige är omfattande och gäller för de flesta avfall från industri som deponeras. Därmed frågan om skattebefrielse bör hanteras bredare och handlar snarare om att hela politiken för återvinning och mer en cirkulär ekonomi är ned prioriterat och får stå tillbaka för andra mål i samhället. Av detta skäl avstår vi från att lägga ett förslag om skatt på avfall från gruvindustri även om det förefaller som en viktig åtgärd för att skapa rättvis konkurrens mellan primär och sekundär utvinning.

Styrning för att öka konkurrenskraft för sekundär utvinning jmf utvinning i utlandet

Ett problem för gruvindustri generellt men även för sekundär utvinning från gruvor specifikt är att produktionskostnaderna i Sverige är högre än i många andra länder. Det har bland annat att göra med att Sverige har högre miljökrav än de flesta andra länder. Även andra produktionsvillkor som, villkoren för arbetskraft, är höga och innebär högre produktionskostnader i Sverige än många andra gruvländer.

Information på marknaden om mineralers och metallers miljöpåverkan samt etiska och moraliska aspekter i produktionen kan vara viktig information på marknaden. Märkning av gruvavfall efter dess effekter på miljö och hälsa kan antagligen kompensera produktionskostnaderna. Utöver detta har det kanske en ännu viktigare roll i att mineralutvinning som sker med miljö- och etisk hänsyn i nivå med den svenska standarden skulle kunna få tillgång till kapital för att utöka verksamheten. I en bransch där riskerna är höga kan tillgång till kapital vara en stor konkurrensfördel. Dessutom kan miljömärkning vara avgörande information för investerare för gruvindustrin som har och historiskt har haft rykte om stora negativa miljöeffekter samt lett till dålig hälsa för arbetare och lokalbefolkningar. De gruvbolag som kan producera med miljö- och etiska och moraliska hänsyn kan därmed lättare få tillgång till kapital. Miljömärkning kanske inte är praktiskt möjligt för alla mineral och

metaller. De mineral och metaller som har få och kända produktionsplatser kan emellertid sådan information samlas in och göra spårbar på ett relativt enkelt sätt.

I de fall mineral och metaller produceras på få och kända platser kan även miljötullar vara lämpliga styrmedel. Tullar är ytterligare ett sätt minska konkurrensfördelarna för miljömässigt och etiskt sämre alternativ. På kort sikt kan detta vara problematiskt för industrin nedströms som efterfrågar dessa metaller men detta kan mildras på flera sätt. Ett är att tullarna beslutas idag men införs om några år när den svenska och europeiska industrin anpassats till styrmedlen. Ett alternativt tillvägagångssätt är att tullarna införs idag på låga nivåer och utökas successivt till en förbestämd nivå. Samtidigt som det finns ett pris för höga miljökrav och etik och det kanske är värt att betala högre priser för dessa mineral och metaller, vilket också är ett utmärkt sätt att minska överkonsumtion och uppnå en mer cirkulär ekonomi.

Styrning för att öka hantera höga risker

Höga risker är ett inneboende problem för utvinning av mineral och metaller från gruvavfall som sätter viktiga ramar för marknaden. Hittills har marknaden inte kunnat etablera sig av egen kraft utan är beroende av bas- eller bulkmetaller som huvudproduktion. Det är något som tyder på att riskerna i att investera i sekundär utvinning är väldigt höga. Det finns två lösningar på problemen med för höga risker. En är att arbeta för att tillgängliggöra privat kapital en annan är att staten kan ta delar av risken.

Som nämnts ovan är gruvindustri en industri som påverkar miljön och ofta är denna påverkan mer synlig och dramatisk än för många andra industrier. Industrin, kanske inte helt oförtjänt, har historiskt haft dåligt rykte. Å andra sidan är utvinning av vissa metaller nödvändig för att uppnå klimatmålen. Det kan i sin tur förändra bilden och möjligheten till att få tillgång till riskkapital. Särskilt för den utvinning som tar hänsyn till miljön och även bedrivs under godtagbara arbetsförhållanden skulle klimatomställningen kunna vara ett viktigt argument. Sekundär utvinning har antagligen en komparativ fördel i att den är mindre miljöbelastande än annan gruvdrift och att lyfta de positiva effekterna av sekundär utvinning kan leda till att den lättare får tillgång till kapital för investeringar.

Staten kan ta en del av risker som sekundär utvinning utgör för att det är en verksamhet som har samhällsnytta på flera olika sätt. Återvinning är önskvärt, det ger viktiga insatsvaror för strategiskt viktiga delar av ekonomin som informationsteknologi och klimatomställningen och det finns även viktiga säkerhetspolitiska aspekter att ta hänsyn till.

Ett sätt för staten att dela riskerna är att ge möjligheter till billigare lån eller krediter. Sekundär utvinning har specifika svårigheter där riskerna är extra stora på grund av att det är gruvdrift och dessutom från avfall. Lån som är billigare än marknadsvillkoren för sekundär utvinning kan vara viktiga för en verksamhet där riskerna är höga, dessa villkor bör förstås vara i proportion till de samhällsnyttor som sekundär utvinning bidrar med.

Det finns även skäl att anpassa nuvarande gröna garantier för sekundär utvinning från gruvor. Regeringen har gett Riksgälden i uppdrag att ställa ut statliga kreditgarantier för gröna industriinvesteringar för att främja miljö- och klimatpolitiska mål. Det kanske finns skäl att till exempel dessa krediter bör inkludera även sekundär utvinning från gruvavfall som är strategiskt viktig för klimatomställningen.

5.4 FÖRSLAG PÅ STYRMEDEL FÖR SEKUNDÄRUTVINNING

Vi föreslår följande styrmedel och åtgärder:

- Vidta åtgärder för att det görs undersökningar om vilka mineral och metaller som avfall från pågående brytning innehåller.
- Se till att subvention till återvinning ges i proportion till sanering av gamla gruvor
- Ge sekundär utvinning samma status som primär utvinning i svensk ekonomi.
- Undersök möjligheterna att miljömärka mineral och metaller från gruvdrift.
- Ge billigare lån till sekundär utvinning
- Se till att existerande kreditgarantier även ta hänsyn till utvinning från sekundär utvinning kritiska metaller

- Inför miljötullar för mineral och metaller med få produktionsplatser

Skapa förutsättningar för en fungerande marknad

Vidta åtgärder för att det görs undersökningar om vilka mineral och metaller som avfall från pågående brytning innehåller. Information om mineral och metaller är en åtgärd som är nödvändig för att en fungerande marknad finns på plats. När gruvbolagen vid hantering av gruvavfall ska göra undersökningar för slutdeponering skulle undersökning och dokumentation av innehåll av mineral och metaller kunna vara ett tilläggskrav. Information som kan samlas är om berggrund, byggkvalité, jordarter, geokemi och geofysik som underlättar prospektering av mineral och metaller, vilket skulle sänka inträdeshindren för sekundär utvinning. Denna information kan därefter samlas på lämplig myndighet, till exempel SGU, och vara tillgänglig för alla som i framtiden är intresserade av att bryta mineral och metaller i gruvavfall.

Förslaget löser en del av informationsproblemet med gruvavfall och skulle underlätta för att andra aktörer än de som slutdeponerar avfallet får information om potentialen att utvinna avfall från gruvavfall.

Inför korrekt incitamentsstruktur för sekundär utvinning

Ge subvention i proportion till miljönyttan. Sekundär utvinning har några för samhället önskvärda effekter. En sådan effekt är att den leder till att gamla läckande gruvor saneras. Det innebär i praktiken att sekundär utvinning betalar för miljöskador som andra orsakat och dessutom hindrar återvinning av mineral och metaller. Detta förutom att vara orättvis hindrar två för samhället önskvärda effekter: sanering och återvinning av metaller som kan vara viktigt för klimatomställning. Ett förslag är därför att överväga att inkludera hänsyn till återvinning av mineral och metaller från gruvavfall i den svenska planen för sanering av förorenade marker. Tilldelning av anslagen för sanering och återställning av förorenade områden borde till exempel ta hänsyn till klimatomstälning och mineral och metaller roll i klimatomställningen.

Ge sekundär utvinning samma status som primär utvinning i svensk ekonomi. Genom att ge sekundär utvinning samma status som primär kan stöd i form av FoU, kunskapscentra riktas mot de specifika behov som sekundär utvinning har.

Detta skulle också ge tillgång till statliga investeringar i infrastruktur där sekundär utvinning har specifika behov. Det kan till exempel vara behov av upprustning av transportvägar och infrastruktur till gamla gruvor. Trafikverket bör ges i uppdrag att utreda hur investeringar i infrastruktur kan ta större hänsyn till sekundär utvinnings specifika behov.

Hantera risker är viktigt

Undersök möjligheterna att miljömärka mineral och metaller från gruvdrift. Märkning av mineral och metaller är ett sätt att tillgängliggöra privat kapital för investeringar i sekundär utvinning. I praktiken är det viktigt att märkning införs när utvinning sker på några få kända platser. I de fall utvinning sker på många platser och kontroll och spåringskostnader är för stora kan märkning kosta mer än det smakar. För vissa mineral och metaller som utvinns på ett fåtal platser och som har specifika geologiska egenskaper (t.ex. fosfor) kan detta vara praktiskt möjligt att införa utan större kostnader. Ett system för miljömärkning kan utvecklas av en eller fler lämpliga myndigheter, till exempel SGU och NV.

Ge billigare lån till sekundär utvinning. Staten bör dela risker som finns i sekundär utvinning. Detta i proportion till de samhällsnytta utvinningen ger. Eftersom det finns inneboende egenskaper i sekundär utvinning som innebär att riskerna för aktörerna är höga kan detta vara en lämplig styrning som kan ge större effekt på marknaden.

Anpassa nuvarande gröna garantier för sekundär utvinning. Sekundär utvinning tillhandahåller viktiga mineral till klimatomställning med lägre miljöpåverkan än mineral från andra delar av ekonomin. Samtidigt eftersom det har direkt påverka på klimatutsläppen kan inte ta del av de statliga gröna kreditgarantierna.

Statliga kreditgarantier för gröna industriinvesteringar, Riksgäldens gröna kreditgarantier, bör inkludera och anpassas till sekundär utvinning. I juni 2021 trädde förordningen (2021:524) om statliga kreditgarantier för gröna investeringar. I paragraf 3 § bör ändras så att kreditgarantier får utfärdas även för utvinning av mineral och metaller som bidrar till klimatomställning.

Internationell konkurrens

Inför tullar för mineral och metaller som utvinns på några få platser och som på ett miljömässigt och etiskt sätt inte håller svensk standard. Information om mineral och metaller miljö- och andra etiska konsekvenser kan utgöra kan utgöra grund för att införa tullar för mineral och metaller som utvunnits med tveksamma produktionsmetoder.

Förslaget om miljömärkning ovan om att minska risker kan också användas för att ha en viktig roll för internationell konkurrens. Många gånger tar sekundär utvinning från gruvor i Sverige högre miljö- och etisk hänsyn än produktionen i andra länder. Detta innebär också att produktionskostnader för utvinning från svenska gruvor är högre, inklusive dem från sekundär utvinning från gruvor, vilket utgör en nackdel i konkurrensen mot mineraler utvinna med miljö- och etiska tveksamma metoder. I de fall märkningen är möjlig kan det innebära konkurrensfördelar både på marknaden för mineral och på kapitalmarknaden för investeringar i nya utvinningar.

REFERENSER

- Baumol, W., & Oates, W. (1998). *The Theory of Environmental Policy*. Cambridge University Press.
- Blengini, G., Mathieux, F., Mancini, L., Nyberg, M., & Viegas, H. (2019). *Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills*. Luxembourg: Joint Research Centre.
- COM. (2020). *Resiliens för råvaror av avgörande betydelse: Att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet*.
- Copperstone. (den 24 10 2022). (F. Zehaie, Intervjuare)
- Copperstone. (u.d.). *Hållbarhet*. Hämtat från <https://copperstone.se/sv/hallbarhet/>
- Easymining. (den 19 10 2022). (F. Zehaie, Intervjuare)
- EU. (den 8 05 2019). EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2019/ av den om fastställande av bestämmelser om tillhandahållande på marknaden . Bryssel.
- European Commission. (2016). *Raw Materials Scoreboard*. Luxembourg.
- European Commission. (2021). *3rd Raw Materials Scoreboard : European innovation partnership on raw materials*. Hämtat från <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/eb052a18-c1f3-11eb-a925-01aa75ed71a1>
- (den 08 11 2022). Företag som efterfrågar. (F. Zehaie, Intervjuare)
- GRANGEX. (den 27 10 2022). (F. Zehaie, Intervjuare)
- Grangex. (u.d.). *Grangex Dannemora*. Hämtat från <https://grangesbergexploration.se/verksamheter/grangexdannemora/>
- GreenIron. (2022). *Kundsegment*. Hämtat från GreenIron: <https://greeniron.se/produktionsprocess/kunder/>
- IEA. (2021). *The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions, World Energy Outlook Special Report*. Paris.
- (den 21 11 2022). intervju gruvföretag. (Ficre, Intervjuare)
- Johansson, D. (den 31 08 2022). *Med sikte på framtidens gruvdrift*. Hämtat från Vinnova: <https://www.vinnova.se/m/strategisk-omvarldsanalys/med-sikte-pa-framtidens-gruvdrift/>
- Konjunkturinstitutet . (2016). *Miljö, ekonomi och politik* . Stockholm.
- LKAB. (2021). *LKAB:s årsredovisning 2021*. Hämtat från <https://ree-map.com/sv/om-reemap/>
- LKAB. (den 20 10 2022). (F. Zehaie, Intervjuare)
- Länsstyrelsen Västerbotten. (u.d.). *Om länsstyrelsen Västerbotten*. Hämtat från <https://www.lansstyrelsen.se/vasterbotten/om-oss/om-lansstyrelsen-vasterbotten.html>
- Material Economics. (2021). *Kritiska metaller för klimatomställningen – möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring*.
- Naturvårdsverket. (1998). *Gruvavfall- Miljöeffekter och behov av åtgärder*.
- Naturvårdsverket. (2017). *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall*. Stockholm: Naturvårdsverket och Sveriges geologiska undersökning.

Naturvårdsverket. (2022a). *AVfall i Sverige 2020*. Naturvårdsverket. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/om-oss/publikationer/7000/978-91-620-7048-9/>

Naturvårdsverket. (2022b). *Definition av avfall*. Hämtat från Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/begrepp-och-definitioner/>

Naturvårdsverket. (den 21 10 2022c). (F. Zehaie, Intervjuare)

Naturvårdsverket. (2022d). *Utvinningsavfall – avfall från gruvor och täkter*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall/utvinningsavfall/avfallshanteringsplanen-ahp/>

Naturvårdsverket. (2022e). *Lagar och regler*. Hämtat från Naturvårdsverket: <https://www.naturvardsverket.se/lagar-och-regler/>

Naturvårdsverket. (u.d.). *Gruvor*. Hämtat från <https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/branscher-och-verksamheter/gruvor/miljo--och-tillstandsprovning/#E-727111788>

Northvolt. (den 08 11 2022).

Näringsutskottets grupp för uppföljning och utvärdering . (2022). *Innovationskritiska metaller och mineral- en forskningsöversikt*. Stockholm.

SGU. (2014). *Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar*. Uppsala: SGU.

SGU. (2017). *Förslag till strategi för hantering av gruvavfall*. Stockholm: Sveriges geologiska undersökning och Naturvårdsverket.

SGU. (den 02 12 2019). *Konfliktmineral*. Hämtat från <https://www.sgu.se/mineralnaring/konfliktmineral/>

SGU. (den 02 03 2020). *Gruvor och miljöpåverkan*. Hämtat från <https://www.sgu.se/mineralnaring/gruvor-och-miljopaverkan/>

SGU. (den 17 06 2020a). *Svensk gruvnäring*. Hämtat från <https://www.sgu.se/mineralnaring/svensk-gruvnaring/>

SGU. (2020b). *Bergverksstatistik*.

SGU. (2021). *Att minimera sulfidoxidation vid gruvdrift- från anrikning till efterbehandling*. Uppsala.

SGU. (den 13 12 2021). *Regeringsuppdrag om sekundära resurser*. Hämtat från <https://www.sgu.se/mineralnaring/metall--och-mineralatervinning/metaller-och-mineral-i-gruvavfall/regeringsuppdrag-sekundara-resurser/>

SGU. (2021a). *Bergverksstatistik 2021*.

SGU. (2021b). *Hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser*. Uppsala: SGU.

SGU. (den 11 10 2022a). (F. Zehaie, Intervjuare)

SGU. (2022b). *BILAGA XX. UNDERSÖKNING AV HISTORISKA GRUVAVFALL*.

SGU. (den 29 03 2022c). *Om SGU*. Hämtat från <https://www.sgu.se/om-sgu/>

SGU. (den 06 05 2022d). *Om Bergsstaten*. Hämtat från <https://www.sgu.se/bergsstaten/om-bergsstaten/>

SGU. (den 08 11 2022e). *Oroligt världsläge fick metallpriserna att falla i oktober*. Hämtat från <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2022/november/oroligt-varldslage-fick-metallpriserna-att-falla-i-oktober/>

SGU. (den 14 01 2022f). *Metallpriser under 2021*. Hämtat från <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2022/januari/metallpriser-under-2021/>

- SGU. (den 05 10 2022g). *Metallprisernas utveckling i september*. Hämtat från <https://www.sgu.se/om-sgu/nyheter/2022/oktober/metallprisernas-utveckling-i-september/>
- SOU 2005:64. (u.d.). *En BRASKatt!*
- SOU. (2022:9). *Avfallsbeskattning - En fråga om undantag?* Stockholm: Statens offentliga utredningar.
- Svemin. (u.d.). *Om oss*. Hämtat från <https://www.svemin.se/om-oss/>
- SweMin. (2021). *Klimatambitioner och metallbehov — möjligheter för Sverige och svensk gruvnäring*. Stockholm.
- Söderholm, P. (2021). *Barriärer och styrmedel för återvinning av innovationskritiska metaller*.
- Teknikföretagen. (den 22 01 2021). *Ekonomisk analys: Råvarupriser upp*. Hämtat från <https://www.teknikforetagen.se/nyhetscenter/ekonomisk-analys/2021/ravarupriser-upp/>
- Tillväxtanalys. (2022). *Marknadsbarriärer för återvinning av metaller*. Östersund.
- Tillväxtanalys. (2017). *Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt- hur kan staten stödja utvecklingen?* Östersund: Tillväxtanalys.
- Tillväxtanalys. (2021). *Metallåtervinningens ekonomiska marknader*. Östersund: Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser.
- Tillväxtanalys. (2022a). *Marknadsbarriärer för återvinning av metaller - En omvärldsanalys av vad som hindrar och främjar konkurrensen mellan utvinnings- och återvinningsindustrin*. Östersund: Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser.
- UNCTAD. (2020). *Commodities at a glance*.
- Världsbanken. (2020). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*.
- Världsbanken. (2022). *Commodity Markets Outlook*.
- Världsbanken. (2022). *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*. Hämtat från <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>.
- weeforum. (2022). *Securing the supply of secondary & critical raw materials in the European Union*. Hämtat från weeforum: <https://weee-forum.org/projects-campaigns/futuram/>

Bilaga 1: Aktörskartläggning

För att ekonomiska styrmedel och andra produktionsförutsättningar ska verka för en ökad utvinning av sekundära mineral och metaller ur gruvavfall krävs det att berörda aktörer träffas. Nedan kommer de myndigheter och aktörer med intresse av att verka inom sekundär utvinning att kartläggas.

Myndigheter

De myndigheter som kommer att verka/ redan verkar inom utvinning av sekundära resurser från gruvavfall är dels de prövningsmyndigheter som bland annat fattar beslut i olika tillståndprocesser och de tillsynsmyndigheter som ser till att beslut enligt Miljöbalken (1998:808) och Minerallagen (1991:45) efterföljs. Därutöver finns det även en rad myndigheter som tar fram information, ger stöd och fördelar resurser som på ett indirekt sätt kan påverka den sekundära marknaden. De berörda myndigheterna listas nedan.

SGU

Sveriges geologiska undersökning (SGU) är den myndighet i Sverige som arbetar med frågor som rör berg, jord och grundvatten. Ett av myndighetens mål är att visa vägen för ett hållbart nyttjande av landets mineralresurser. SGU har inget tillsynsansvar utan är snarare den myndighet som utpekar riksintressen för mineralfyndigheter (SGU, 2022c). I ett pågående arbete inom ramen för regeringsuppdraget om sekundära resurser har SGU inlett en undersökning, provtagning och karakterisering av gruvavfall (SGU, 2021b).

Bergsstaten

Bergsstaten är ett särskilt beslutsorgan som tillhör SGU men som har en oberoende ställning avseende sin myndighetsutövning. Bergsstaten har till uppgift att handlägga ärenden i enlighet med Minerallagen (1991:45) som rör tillstånd för prospektering och bearbetning av mineralfyndigheter. Bergsstaten utövar även viss tillsyn över gruvverksamhet (SGU, 2022d).

Naturvårdsverket

Naturvårdsverket är en statlig myndighet för miljöfrågor. En av myndighetens uppgifter är att vägleda verksamhetsutövare och tillsynsmyndigheter inom gruvbranschen om tillståndsprövning och utvinningsavfall. Naturvårdsverket har bland annat möjlighet att yttra sig över tillståndsansökan för utvinning av koncessionsmineral. De yttrar inte sig i alla ärenden, men de kan göra det i de fall där det gäller en verksamhet som har stor miljöpåverkan eller när det gäller en viktig principiell frågeställning. (Naturvårdsverket, u.d.). I ett pågående arbete inom ramen för regeringsuppdraget om sekundära resurser har Naturvårdsverket inlett en undersökning kring tillämpning av Miljöbalken för utvinning av gruvavfall (Naturvårdsverket, 2022c).

Länsstyrelse

Länsstyrelsen är en myndighet som är regeringens företrädare i Sveriges 21 län (Länsstyrelsen Västerbotten, u.d.). De länsstyrelser som innehar gruvverksamhet inom sitt län har tillsynsansvar. Tillsynen ska avse den allmänna efterlevnaden av miljöbalken samt de föreskrifter, domar och myndighetsbeslut som meddelas enligt balken (SGU, 2017).

Övriga myndigheter

Utöver de myndigheter som nämns ovan verkar även Energimyndigheten och Vinnova på marknaden för utvinning av mineral och metaller. Energimyndigheten är en förvaltningsmyndighet som ansvarar för frågor som rör användning och tillförsel av energi. Myndigheten har en indirekt påverkan på sekundär utvinning, då myndigheten bland annat administrerar industriklivet. Ett stöd som påverkar konkurrensen mellan primära och sekundära metaller. (Tillväxtanalys, 2022a). Vinnova är en innovationsmyndighet som genom FoU-agendor, strategiska innovationsprogram och stora demonstrationsprojekt skapar möjligheter för omställning och konkurrenskraft inom gruvbranschen (Johansson, 2022).

Gruvverksamhet/ återvinningsindustrier

Det finns idag totalt sex gruvbolag som driver en aktiv gruvverksamhet. De har alla potential till att utvinna mineral och metaller från deras pågående brytning genom att ta vara på fler mineral och metaller som finns i

gruvan vid anriktningsprocessen. LKAB är i planeringsfasen för att utvinna bland annat fosfor från deras pågående brytning idag (LKAB, 2021).

När det gäller äldre gruvavfall har verksamhetsutövare som har en koncession inom ett område avseende ett visst material inom ramen för sitt tillstånd även befogenhet att utvinna samma mineral ur sitt gruvavfall. Detta är dock under förutsättning att gråbergsavfallet och sandmagasin ligger inom koncessionsområdet och på samma fastighet som där primär brytning har skett (SGU, 2017). För de äldre gruvavfall där det inte finns en koncession, så har nya gruvaktörer möjlighet att söka tillstånd för utvinning. Copperstone och Grängesberg Exploration Holding AB är två företag som ansökt om ett återupptagande av gruvverksamhet i de nedlagda gruvorna Viscariagruvan respektive Dannemora. Bättre teknik och stigande metallpriser har bidragit till att utvinning i gruvorna återigen blivit lönsamt. I dessa projekt kommer även möjligheten till att ta vara på metaller från redan bruten malm att optimeras (Copperstone, u.d.); (Grangex, u.d.)).

Det finns även en teoretisk möjlighet för andra aktörer att utvinna sekundära resurser från gruvavfall som kommer från aktiva gruvor. Denna möjlighet grundar sig på den mineral som planeras utvinnas från gruvavfall är annat än det koncessionsmineral som bryts vid primär utvinning. Dessutom krävs ett enligt Minerallagen (1991:45) särskilt skäl till detta som ska bedömas av Bergsstaten. Ett särskilt skäl skulle kunna vara samtycke från den äldre koncessionsinnehavaren (SGU, 2017). GreenIron (2022) är en potentiell aktör som skulle kunna ta sig an denna marknad. De utvecklar en teknik som fungerar för återvinning av dyrbara metaller från miljöfarligt avfall, exempelvis kisbränder eller slagg med hög järnhalt. Kisbränder är ett avfallsproblem, kopplat till koppar- och svavelsyreanvändning. GreenIrons process reducerar järnet i kisbränder och faller ut bly och zink som ett pulver. Materialen kan därefter återvinnas och på så vis minska den totala mängden föroreningar som skapats genom gruvverksamhet.

En annan viktig aktör inom gruvverksamheten är Svemin som är branschorganisationen för gruvor, mineral- och metallproducenter i Sverige. Svemin verkar för att det svenska gruv- och mineralklustret ska fortsätta vara i världsklass och bevakar bland annat branschens intressen i samband med utvecklingen av policys och lagar i Sverige och inom EU (Svemin, u.d.).

Universitet och forskningsinstitut

Sverige har lång tradition av forskning och utveckling inom gruvrelaterade områden. Idag bedrivs forskning inom gruv- och mineralområdet på ett antal platser i landet och av flera aktörer. Bland dessa aktörer ingår akademien i form av forskare vid bland annat Luleå Tekniska Universitet, staten, innovationsföretag och industrin. Utvecklingen har gått mot en ökad samverkan mellan akademi och industri där forskningen som bedrivs är främst inriktad på grundläggande mineralvetenskap, malm- och mineralförekomster, gruv- och anrikningsteknik samt miljöaspekter av gruvverksamhet. Det finns även ett flertal plattformar inom EU med FoU-relevans med inriktning mot gruvavfall samt globala agendor kring ämnet genom initiativ av både FN och Världsbanken (SGU, 2017).

Aktörer som efterfrågar:

Både staten och EU efterfrågar en ökad omvandling av gruvavfall till sekundära resurser som ett sätt att ställa om till en mer cirkulär- och resurseffektiv ekonomi samt säkerställa den egna försörjningen av bland annat innovationskritiska metaller (SGU, 2021b). Även företag som producerar produkter för elektrifiering av transporter (ex. litium-jonbatterier till elbilar), förnybara energikällor (som vindkraft och solenergi) och andra kommunikations- och informationsteknologier kommer att behöva innovationskritiska metaller och mineraler i sin produktion (Tillväxtanalys, 2021).

Bilaga 2: Intervjuade organisationer

Det genomfördes totalt 11 intervjuer med olika aktörer inom gruvbranschen. Tre av dessa intervjuer var samintervjuer med två personer inom organisationen närvarande (LTU, Naturvårdsverket och Boliden). Bland de intervjuade organisationerna återfinns myndigheter, forskare, gruvbolag, aktör som efterfrågar mineral och metaller samt ett teknikutvecklande företag.

Organisation	Datum för intervjun	Roll
SGU	2022-10-11	Myndighet
SGU	2022-11-10	Myndighet
Patrik Söderholm, LTU	2022-10-28	Forskare
Lena Akalangas, LTU	2022-10-28	Forskare
Naturvårdsverket	2022-20-21	Myndighet
LKAB	2022-10-20	Gruvbolag
Copperstone	2022-10-24	Gruvbolag
Grängesberg Explorations Holding AB	2022-10-27	Gruvbolag
Erik Ronne och David Granberg (Boliden)	2022-11-21	Gruvbolag
Aktör som efterfrågar mineral och metaller	2022-11-08	Efterfrågar mineral och metaller
Easymining	2022-10-19	Teknikutveckling

VI ÄR WSP

WSP är en av världens ledande rådgivare och konsultbolag inom samhällsutveckling. Med cirka 55 000 medarbetare i över 40 länder samlar vi experter inom analys och teknik, för att framtidssäkra världen.

Tillsammans med våra kunder tar vi fram innovativa lösningar för en mänsklig, trygg och välfungerande morgondag. Vi planerar, projekterar, designar och projektleder olika uppdrag inom transport och infrastruktur, fastigheter och byggnader, hållbarhet och miljö, energi och industri samt urban utveckling. Så tar vi ansvar för framtiden.

wsp.com

WSP Sverige AB

121 88 Stockholm-Globen
Besök: Arenavägen 7

T: +46 10-722 50 00
Org nr: 556057-4880

wsp.com



BILAGA 3.

SMED Rapport Nr <XX> Välj ett objekt.



Flöden av sekundära kritiska råmaterial i den svenska teknosfären

Eventuell underrubrik

Erik Lindblom, Henric Lassesson, Erik Emilsson, Amanda Hedenborg &
Hannes Waldetoft, IVL Svenska Miljöinstitutet

Avtal: xxxxxx

På uppdrag av Naturvårdsverket

Publicering: www.smed.se

Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Adress: 601 76 Norrköping

Startår: 2006

ISSN: 1653-8102

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet, Statistikmyndigheten SCB, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete. På uppdrag av Naturvårdsverket samt Havs- och vattenmyndigheten säkerställer SMED framtagandet av underlag till Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall, farliga ämnen, buller samt åtgärder. Syftet med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, samt att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter. Mer information finns på SMED:s webbplats www.smed.se.

Innehåll

INNEHÅLL	4
ORDLISTA OCH FÖRKORTNINGAR	6
SAMMANFATTNING	9
Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial	10
Utformning av spårbarhetssystem för ökad cirkularitet	12
Metod samt datatillgång inför kommande kartläggningar	14
INLEDNING	16
Syfte och mål	16
Bakgrund	16
MATERIAL OCH METOD	18
Avgränsning av studerade materialflöden	18
Litteraturstudie	19
Statistikgenomgång	20
Beräkningar	21
Prioritering av studerade ämnen	22
RESULTAT OCH DISKUSSION	24
Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial	24
Generella observationer	24
Återvinning	26
Identifierade nyckelaktörer	28
Kvantitativa skattningar för kobolt	34
Kvantitativa skattningar för platinagruppermetaller	39
Kvantitativa skattningar för neodym	47
Kvantitativa skattningar för indium	52
Utformning av spårbarhetssystem för ökad cirkularitet	55
Förutsättningar och framgångsfaktorer	57
Aktörer och drivkrafter	59

Systemdesign	62
Hinder och utmaningar	66
Rekommendationer för fortsatt arbete	69
Metod för kommande kartläggningar	71
SAMLAD DISKUSSION OCH SLUTSATSER	75
Likheter och skillnader mellan sekundära flöden av fyra olika kritiska råmaterial	75
Kriterier för en funktionell återvinning	77
Spårbarhetssystem kan stimulera ökad återvinning	78
Framtida kartläggningar skulle underlättas av förfinad avfallsrapportering och intervjuer med nyckelaktörer	79
REFERENSER	80

Ordlista och förkortningar

BEV	Helelektriskt fordon, utan förbränningsmotor. (<i>Battery Electric Vehicle</i>)
Blydross	En samling av fasta föroreningar som flyter ovanpå det smälta blyet vid blyproduktion eller -återvinning. Materialet skrapas av från smältan och kan raffineras ytterligare om det innehåller ämnen som är värda att utvinna.
CFL	Lågenergilampor av lysrörstyp (<i>Compact Fluorescent Light</i>)
<i>Chain of custody</i> (CoC)	Den kronologiska dokumentation som registrerar sekvensen av utfärdande, kontroll, överföring och lagring av fysisk eller elektronisk bevisning/certifikat (Tillväxtanalys, 2019). I vissa sammanhang används spårbarhetskedja som svensk översättning.
CIGS	En typ av tunnfilmssolceller bestående av en kombination av koppar, indium, gallium och selen.
Cirkulär lönsamhet	En produkts lönsamhet sett över hela livscykeln eller rentav flera livscykler. Påminner om begreppet <i>life-cycle profit</i> men avser särskilt cirkulära affärsmodeller.
<i>Downcycling</i>	Ett material med hög renhet återvinns till ett nytt material med lägre renhet. Dess specifika egenskaper går delvis förlorade. Exempel är stål som smälts om till armeringsjärn. Se även icke-funktionell återvinning.
EPD	Miljövarudeklaration är ett oberoende verifierat dokument som ger transparent och jämförbar information om produkters och tjänsters miljöpåverkan. (<i>Environmental Product Declaration</i>).
Fraggskrot	Metaller som har sorterats ut efter fragmentering av avfall innehållandes stor del metall, exempelvis uttjänta fordon.
Funktionell återvinning	Vid funktionell återvinning behålls de fysiska och kemiska egenskaperna som ett material ursprungligen designades för och används på nytt.
HEV	Hybridfordon, utan möjlighet att ladda från elnätet (<i>Hybrid Electric Vehicle</i>)

Icke-funktionell återvinning	Icke-funktionell återvinning resulterar i ett fullt användbart, men nedgraderat material, där de ursprungliga egenskaperna förlorats.
Kritiska råmaterial	De material som bedöms vara nödvändiga för att genomföra klimatomställningen till ett hållbart samhälle. Vanligtvis syftar det på förteckningen över i dagsläget de trettio råmaterial som EU anser har avgörande betydelse för ekonomisk återhämtning och långsiktig omställning i linje med den gröna given, kommissionens handlingsplan för cirkulär ekonomi och EU:s industristrategi.
LED-lampor	Lysdiodslampor (<i>Light Emitting Diode</i>)
Li-jon	Litiumjonbatteri, finns med ett flertal olika batterikemier där sammansättningen ofta skrivs med tre bokstäver (exempelvis LCO = litium-koboltoxid, NMC = nickel-mangan-kobolt) och ibland med tre siffror för att beskriva förhållandet mellan ämnena (exempelvis NMC 622 = 60 % nickel, 20 % mangan, 20 % kobolt).
NdFeB	Neodymmagnet, en stark permanentmagnet bestående av en legering av neodym, järn och bor.
NiMH	Nickelmetallhydridbatteri, ett laddbart batteri som förutom nickel även innehåller flera sällsynta jordartsmetaller och kobolt.
PGM	Platinametaller (<i>Platinum Group Metals</i>).
PHEV	Laddhybrid (<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>).
Platinagruppermetaller	Samlingsnamn för metallerna platina (Pt), palladium (Pd), rodium (Rh), rutenium (Ru), iridium (Ir) och osmium (Os). Förkortas till PGM (<i>Platinum Group Metals</i>).
Primära råmaterial	Ett råmaterial avsett för tillverkning eller användning, framtaget genom utvinning av en naturresurs (primär resurs). Se även sekundära råmaterial.
Reduktionsmedel	Ett ämne som används för att reducera ett annat ämne, exempelvis för att framställa en metall från en metalloxid.
REE	Sällsynta jordartsmetaller (<i>Rare Earth Elements</i>).
Sekundära flöden	Flöden av råmaterial som kan vara önskvärda att återvinna som sekundära råmaterial.

Sekundära råmaterial	Ett råmaterial avsett för tillverkning eller användning, framtaget genom återvinning, sekundär utvinning eller återanvändning, det vill säga en returråvara. Det kan vara antingen ett avfall, en biprodukt eller en produkt.
Sällsynta jordartsmetaller	En grupp av 17 grundämnen där skandium, yttrium och de 15 lantanoiderna ingår. Lantanoiderna är: lantan, cerium, praseodym, neodym, prometium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium och lutetium. Delas ibland in i lätta respektive tunga.
Termiskt interfacematerial	Ett värmeledande material som sluter tätt mellan komponenten som behöver kylas ner och kylprofilen. Används bland annat i elektronik, till exempel för att förbättra kylningen av processorer och andra komponenter som behöver kylas.
Återvinningsgrad	Den sammanlagda verkningsgraden av insamling, sortering, demontering, förbehandling, och materialåtervinning.

Sammanfattning

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI.

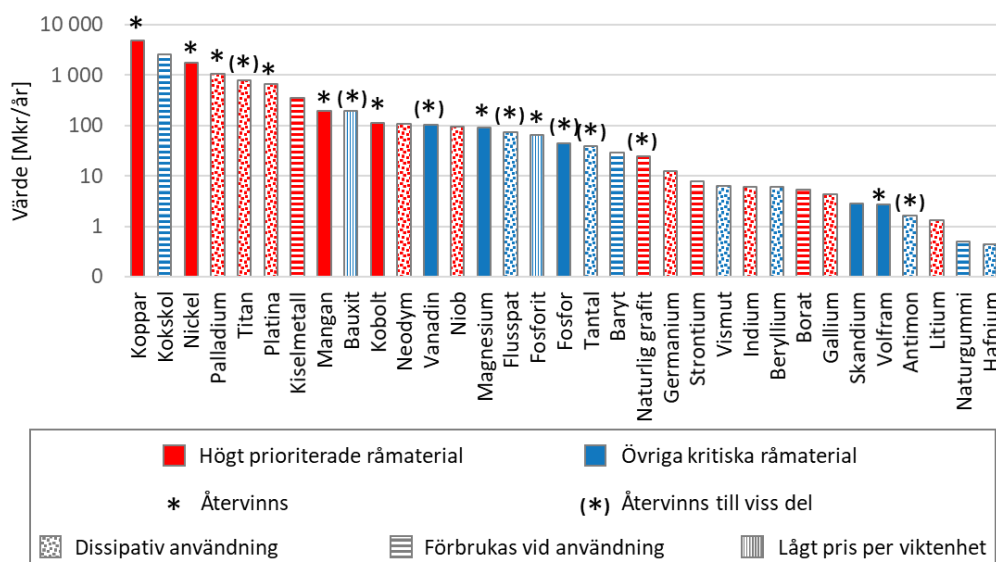
För att uppfylla åtagandena i Parisavtalet krävs en mycket omfattande omställning av världens energi- och transportsystem. De klimatvänliga energiteknikerna – vindkraftverk, solceller och elfordonsbatterier – kommer att kräva mycket stora mängder av både basmetaller och sällsynta jordartsmetaller. Europeiska kommissionen ser vart tredje år över vilka ämnen som är av avgörande betydelse för den gröna omställningen. Gemensamt är att ämnena både är av stor ekonomisk betydelse och att EU:s tillgång till ämnena är begränsad eller sårbar. Den senaste listan från 2020 består av 27 enskilda ämnen och 3 ämnesgrupper (totalt 49 ämnen). Hållbar utvinning och återvinning av sekundära råmaterial är ett växande komplement till brytning av primära mineralresurser. Enligt Sveriges strategi för en cirkulär ekonomi ska primära råmaterial så långt det är möjligt ersättas av resurser som används effektivt i cirkulära flöden. Regeringen har därför gett SGU och Naturvårdsverket i uppdrag att arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära flöden.

Den här studien syftar till att öka kunskapsunderlaget inom det uppdraget. Studien består av de tre delarna 1) kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären, 2) beskrivning av förutsättningar, möjligheter och utmaningar med olika typer av spårbarhetssystem för ökad cirkularitet samt 3) utveckling av en metod, inklusive beskrivning av datatillgång, inför kommande fördjupade eller kompletterande kartläggningar. Kartläggningen har avgränsats till de flöden där de studerade råmaterialen har passerat en användarfas innan de blir avfall och eventuellt går till återvinning. Avfall från gruvor och tillverkningsindustri ingår inte.

En övergripande slutsats är att det saknas statistik för metallanvändning i Sverige. För kritiska råmaterial saknas dessutom tillförlitliga uppgifter på koncentrationer av kritiska råmaterial i produkter och uppgifterna är än bristfälligare för avfallsflödena. Den statistik som finns beskriver främst produktion, import och export av basmetallerna och avfall för olika produktkategorier. Det innebär att den ursprungliga arbetsgången med en inledande litteraturstudie följt av en statistikgenomgång för att sammanställa ett enhetligt underlag för flödesberäkningar inte kunde genomföras fullt ut. I praktiken har det varit nödvändigt att göra specifika antaganden och val av beräkningsmetoder för vart och ett av de ämnen som har kartlagts kvantitativt.

Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial

Studien omfattar EU:s lista samt koppar, mangan och nickel, totalt 52 olika kritiska råmaterial. Samtliga har karakteriserats kvalitativt med avseende på betydelse för tillverkning av klimatvänliga energitekniker samt återvinningspotential, se Figur 1. De tekniker som bedömdes vara viktigast för den svenska omställningen under de kommande decennierna var litiumjonbatterier, vindturbingeneratorer, elmotorer, bränsleceller och fotovoltaiska solceller. 19 råmaterial bedömdes vara av särskilt stor betydelse och av dessa valdes kobolt, platinagruppermetaller, neodym och indium ut för en fördjupad kartläggning av flöden och trender (Figur 1). De valdes dels för att de representerar de olika teknikslagen, dels för att de sekundära flödena är tillräckligt väl beskrivna i tillgängliga data. På grund av databrist var det inte möjligt att kartlägga samtliga 19 råmaterial inom ramen för den här studien.



Figur 1. 33 av 52 studerade kritiska råmaterial. I figuren saknas samtliga sällsynta jordartsmetaller utom neodym samt fyra platinagruppermetaller. Utöver de 17 ämnena med röda staplar bedöms även jordartsmetallerna dysprosium och praseodym vara av särskilt stor betydelse för den svenska omställningen. Råmaterialen har sorterats utifrån uppskattat ekonomiskt värde, i fallande storleksordning med ett högt värde till vänster i figuren och lågt värde till höger i figuren.

Återvinningen är låg för många kritiska råmaterial. I de flesta fall beror det på att värdet av materialet är för lågt för att motivera återvinningskostnaden, särskilt för de ämnen som används i låga koncentrationer i många produkter, så kallad dissipativ användning. Vissa kritiska råmaterial är dessutom omöjliga att återvinna, till exempel kokscol som förbränns till koldioxid och kiselmetall som oxideras till kisel-dioxid. Det finns flera exempel internationellt på att stora återvinnare av kritiska råmaterial är samma aktörer som även tar emot primära flöden. Den

sekundära råvaran fungerar då som i stort sett vilken råvarukälla som helst och går in i flödet ihop med till exempel koncentrat. Möjligheterna och lönsamheten för ökad sekundärproduktion kan därför komma att gå hand i hand med ökad primärproduktion av kritiska råmaterial.

Både det totala värdet, pris per viktenhet och användningen kommer att ändras i och med att omställningen av energi- och transportsektorerna innebär ett kraftigt ökat beroende av kritiska mineral, metaller och andra material. I första hand bedöms neodym och niob inom en snar framtid bli, funktionellt återvinningsbara och av tillräckligt stor ekonomisk betydelse för att motivera investeringar i återvinning. Förändringarna i materialflöden kommer påverka bland annat metallernas uppehållstider i teknosfären, återvinningspotential och vilka aktörer som ingår i respektive värde-/försörjningskedja. En utmaning för att uppnå cirkularitet är att flera klimatvänliga energitekniker kräver hög renhet. Det är så gott som alltid lättare att återvinna ett material med hög renhet till ett nytt material med lägre renhet, så kallad downcycling, än tvärtom. Det gör till exempel att det är svårt att låta kobolt från en legering återvinnas till batteri, men det kan fungera att återvinna koboltinnehållande batterier till en legering.

Den fördjupade kartläggningen av kobolt, platinagruppermetaller, neodym och indium gav följande resultat, även om samtliga värden är mycket osäkra:

- Kobolt är en viktig komponent i bland annat litiumjonbatterier för elfordon. Dagens sekundära flöde av kobolt skattas till cirka 900 ton/år, varav 50 % ingår i legeringar, endast 5 % i elfordonsbatterier och ytterligare 10 % i andra batterier. Totalt återvinns cirka 400 ton/år, 200 ton/år exporteras och 300 ton/år förloras. Elektrifieringen av transportsektorn och energisystemet kommer bidra till en stor ökning av litiumjonbatterier som används i Sverige. Redan 2030 bedöms det sekundära flödet ha mer än fördubblats till 2 000 ton/år. Den viktigaste delorsaken är Northvolts långt gångna planer på att återvinna 800 ton/år. Enligt Northvolt kan det på länge sikt öka till så mycket som 4 000 ton/år.
- Platinagruppermetaller förväntas få en ökad användning i elektrolysörer för vätgasframställning och i bränsleceller. Dagens sekundära flöde av platinagruppermetaller skattas till cirka 4 ton/år, varav 1 ton/år kommer från fordonskatalysatorer och 2 ton/år från elektronik. Totalt återvinns cirka 3 ton/år, 0,5 ton vardera exporteras och går förlorat. Fram till 2045 bedöms det sekundära flödet minska med cirka 0,5 ton/år. Orsaken är att antalet fossildrivna fordon kommer att sjunka i takt med att de ersätts av elektrifierade fordon. Den minskningen av platinagruppermetaller från katalysatorer bedöms bli större än ökningen från klimatvänliga energitekniker.
- Neodym (tillsammans med de sällsynta jordartsmetallerna praseodym och dysprosium) spelar en viktig roll i framställningen av permanentmagneter, så kallade NdFeB-magneter. Dagens sekundära flöde av neodym skattas till cirka 150 ton/år, varav 40 % kommer från elektronik, och knappt 50 %

från magneter. Idag är återvinningen försumbar, men troligtvis finns en mycket stor potential. Användningen av neodym förutspås öka kraftigt de närmaste åren, framför allt inom sektorerna vindkraft och elektrifierade fordon. Eftersom det rör sig om komponenter med lång teknisk livslängd, särskilt vindkraft, kommer det att vara en betydande eftersläpning innan det sekundära flödet ökar i motsvarande grad.

- Indium används bland annat på olika plattskärmar men även på solceller. Dagens sekundära flöde av indium skattas till 2 ton/år, varav solceller LCD/TV-skärmar utgör 60 % och solceller 1 %. Återvinningen är mycket låg och även om solcellsinstallationerna ökar mycket snabbt kommer det att dröja flera decennier innan det ger en märkbar ökning i det sekundära flödet. Däremot kan återvinning av indium ur industriavfall bli aktuellt när efterfrågan ökar.

Utformning av spårbarhetssystem för ökad cirkularitet

En långsiktigt trygg och hållbar försörjning av råmaterial är av kritisk betydelse för Sverige och EU. Cirkularitet är ett sätt att öka försörjningsgraden. EU:s batteriförordning och relaterade europeiska näringslivsinitiativ på olika nivåer ska främja detta och på så vis möta den växande globala konkurrensen om batterimineral. En förutsättning är en funktionell återvinning av kritiska råmaterial (och andra material). För att kunna återvinna specifika material ur komplexa produkter, till exempel elfordonsbatterier, är det nödvändigt att aktörerna i varje steg av produktens livscykel har tillräckligt detaljerad och tillförlitlig information om produkten. En cirkulär ekonomi, inte minst för kritiska råmaterial, kräver därför spårbarhetssystem.

Samverkan och tillit mellan aktörerna i värde-/försörjningskedjorna är den avgörande framgångsfaktorn för etablering av spårbarhetssystem. Det finns flera skäl, varav de två viktigaste är att 1) de anslutna aktörerna täcker in en tillräckligt stor del av värde-/försörjningskedjan för att ge tillgång till den information som ska spåras och 2) det krävs en samskapande process för att uppnå en ändamålsenlig design.

Förenklat kan aktörerna i värde-/försörjningskedjorna för de aktuella kritiska råmaterialen drivas av externa lagkrav eller interna mål för cirkulär lönsamhet. Återvinnarna är en självklar nyckelaktör bland användarna, tillsammans med det ekosystem av återanvändare som finns och växer fram runt dem. Northvolt är ett intressant exempel på en aktör som bygger upp en helt ny värde-/försörjningskedja och i kraft av sin storlek kan ställa krav. De viktigaste kravställarna är lagstiftare och myndigheter, privatkonsumenter och professionella konsumenter. Härutöver finns även stödjande aktörer som på olika vis kan underlätta etableringen och acceptans nya system. Traditionellt utgörs de ofta av icke vinstdrivna och

oberoende intresseorganisationer, eftersom de ofta kan påverka allmänhetens/konsumenternas tilltro till olika spårbarhetssystem eller märkningar. För kritiska råmaterial kan London Metal Exchange också bli en mycket viktig stödjande aktör eftersom som de organiserar en stor del av världens handel av metaller.

Systemets komplexitet och omfattning styrs av dess syfte men rymmer i samtliga fall en lång rad detaljer att ta ställning till som kräver en bred expertis. Centrala frågeställningar är val av chain of custody-modell, standardisering, spårning av råmaterial eller produkt samt koppling mellan fysisk produkt/material och information. Därutöver är de tekniska aspekterna naturligtvis avgörande för ett fungerande spårbarhetssystem men de bör styras av hur systemet designas i övrigt. Det råder heller ingen generell brist på systemutvecklare eller teknikleverantörer med kompetens att tillhandahålla spårbarhetssystem.

Bland de hinder och utmaningar som måste övervinnas märks att ett otydligt ägarskap mellan och inom aktörer leder till osäkerhet. Det kan både leda till att aktörer avvaktar och att de väljer att gå före, vilket i båda fallen kan motverka den nödvändiga samverkan och tilliten. Osäkerheten kan förstärkas av otydliga spelregler. EU:s pågående arbete med batteriförordningen är ett tydligt exempel på snabb utveckling av formella spelregler som förväntas öka de externa drivkrafterna och minska osäkerheter. Osäkerhet om framtida betalningsvilja för sekundära råmaterial kan orsaka otydliga informella spelregler. I de fall de sekundära är dyrare, och inte främjas i tillräcklig utsträckning av de formella spelreglerna, måste mellanskillnaden motiveras med en högre betalningsvilja. En närbesläktad utmaning är att se till att investerare, konsumenter och producenter har tillräcklig kunskap för att kunna värdera den information som spårbarhetssystemet tillhandahåller. Asymmetrisk information bidrar till komplexitet och krav på långsiktighet, vilket också kan uppfattas som hinder. Till att börja med råder det brist på efterfrågade data hos många aktörer. Det saknas i många fall en gemensam helhetsbild av vilka data som finns, vilka som behövs och därmed vilka luckorna är. När data också ska användas av aktörer upp- och nedströms kan det innebära förväntningar på att samla in data som inte efterfrågas av den egna organisationen. Eftersom informationsutbytet i ett fungerande spårbarhetssystem i komplexa och globala värde-/försörjningskedjor måste vara automatiserat, krävs sannolikt en omfattande process- och systemintegration både inom och mellan aktörer. Att övervinna tillräckligt många av de hinder som står i vägen för fungerande spårbarhetssystem kräver uthållighet och långsiktighet. Slutsatsen blir att den sammanlagda komplexiteten är både kostnads- och resurskrävande. Det är nödvändigt men inte självklart att aktörernas drivkrafter är starkare och att möjligheten att nå cirkulär lönsamhet är större än det motstånd och de kostnader som hindren utgör.

För att gå vidare och konkretisera designen av spårbarhetssystem för kritiska råmaterial rekommenderas följande:

- Identifiera de viktigaste kritiska råmaterialen ur ett svenskt perspektiv, förslagsvis bland de 19 råmaterial som identifieras som prioriterade i den här studien. Lämpliga urvalskriterier är att 1) råmaterialet förekommer, eller bedöms inom en nära framtid förekomma, i betydande sekundära flöden, mätt i kronor snarare än kilogram, 2) det finns en befintlig eller framväxande bransch för återanvändning och återvinning inom landet och 3) den potentiella räckvidden för ett spårbarhetssystem överensstämmer tillräckligt väl med råmaterialets marknad, det vill säga att de aktörer som kan tänkas engageras täcker in en tillräckligt stor del av värde-/försörjningskedjan.
- Genomför en detaljerad aktörsanalys. För att uppnå nödvändig samverkan mellan aktörerna i värde-/försörjningskedjan behöver de identifieras. Därutöver är det nödvändigt att beskriva marknadslogiken för råmaterialet för att förstå aktörernas drivkrafter och möjligheter att nå cirkulär lönsamhet genom en bättre spårbarhet.
- Genomför en styrmedelsanalys. Spårbarhetssystem är ett medel för att nå målet att nå en ökad cirkulär ekonomi. Därför är det viktigt att en styrmedelsanalys utgår från vilket slags cirkularitet som ska uppnås för respektive råmaterial. Med den utgångspunkten går det sedan att analysera om ett visst spårbarhetssystem kan förväntas styra effektivt mot det målet eller ej. Är ökad återanvändning att föredra framför ökad återvinning, eller vice versa? Är reglering eller stimulans, genom till exempel offentlig upphandling, eller en kombination lämpligast för att stimulera detta.

Metod samt datatillgång inför kommande kartläggningar

Kartläggningen pekar på att det finns ett stort behov av att förbättra kunskapsunderlaget om materialanvändningen i den svenska teknosfären. Framtida kartläggningar skulle underlättas av förfinad avfallsrapportering och intervjuer med nyckelaktörer, varav flera listas av studien. De förväntas kunna tillföra relevant information om såväl flöden, återvinningstekniker och återvinningspotential som förutsättningar för en förfinad avfallsrapportering.

Eftersom avfallsstatistiken för sekundära flöden är otillräcklig för den här typen av kartläggningar bedöms en materialflödesmodell ge bättre resultat. Det gäller särskilt för komplexa produkter som består av många olika material, vilket ofta är fallet för kritiska råmaterial. Grundläggande för den föreslagna strukturerade modellen är att den ska balansera inflöden, utflöden och ackumulerade mängder av kritiska material i den svenska teknosfären. Utmaningarna som den här studien har ställt inför pekar på att det krävs en stor inledande ansträngning att bygga upp en

tillräckligt heltäckande modell och databas och därefter uppdatera denna kontinuerligt under en period.

- Utflöde (det vill säga sekundära flöden) beräknas som summan av de andelar av de senaste årens inflöde som blir avfall under aktuellt år.
- Andelen från ett specifikt år som blir avfall ökar från år till år under produktens livslängd.
- Inflöde beräknas med hjälp av nettoimport och inhemsk produktion av de olika produkter som innehåller det kritiska råmaterialet samt koncentrationen av det kritiska råmaterialet i produkten.
- Nettoimport, inhemsk produktion och koncentrationer i olika produkter varierar från år till år.

Data bör samlas i en för ändamålet avsedd databas som dels beskriver förändringar i tid, dels stödjer en automatiserad beräkning av olika flöden. Databasen behöver därför uppdateras efter hand som det finns nya data tillgänglig. Data för inflöden och materialsammansättning kombineras sedan med en modellerad livslängd för alla produktkategorier (eller produkter) som det finns data för. Modellen för livslängd bör använda en fördelningskurva, i stället för att ansätta ett värde som har varit nödvändigt i den här studien.

För att bekräfta riktigheten i beräkningarna är det därför lämpligt att också försöka beräkna de sekundära flödena direkt från data för insamling, materialbehandling och återvinning för respektive kritiskt råmaterial. Att förbättra statistiken genom att tillsätta fler mätpunkter eller göra ändringar i avfallskategorier är också ett sätt som kan förenkla och förbättra översyn på flöden av sekundära material i Sverige och på så vis minska behovet av den typ av kartläggning som diskuteras här. Den standardiserade beräkningsmodell som beskrivs ovan är inte begränsad till kritiska råmaterial utan skulle kunna utvidgas till fler material förutsatt att det går att samla in tillräckliga data.

Nyckelord: Svenska sekundära kritiska råmaterial, metallåtervinning, spårbarhet, råmaterialflöden, råmaterial, MFA, massflödesanalys, kobolt, PGM, platinagruppermetaller, neodym, indium

Inledning

Syfte och mål

För att uppfylla åtagandena i Parisavtalet krävs en mycket omfattande omställning av världens energi- och transportsystem. Den globala efterfrågan på metaller för klimatvänlig energiteknik bedöms därför öka dramatiskt de närmaste tjugo åren (International Energy Agency 2021; European Commission 2020a; World Bank Group 2020). En långsiktigt trygg och hållbar försörjning av råmaterial är av kritisk betydelse för Sverige och EU.

Den här studien syftar till att öka kunskapen om de sekundära flödena av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären, hur flödena förväntas utvecklas framöver och hur en cirkulär ekonomi kan effektiviseras för dessa material, genom att:

- Kartlägga flöden och mängder av sekundära kritiska råmaterial enligt EU:s lista samt nickel, koppar och mangan.
- Beskriva förutsättningar, möjligheter och utmaningar med olika typer av spårbarhetssystem för råmaterial.
- Utveckla en metod samt beskriva datatillgång inför kommande fördjupade eller kompletterande kartläggningar.

Bakgrund

Den 24 mars 2021 gav regeringen SGU i uppdrag att tillsammans med Naturvårdsverket arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära råmaterial (Näringsdepartementet, 2021). Uppdraget innehåller ett antal deluppgifter varav en handlar om att ge en överblick över flöden av kritiska mineral och metaller samt att föreslå system för hur livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi.

En hållbar och varaktig tillgång till innovationskritiska metaller och mineral kan bidra till att bibehålla Sveriges framtida industriella konkurrenskraft och innovationskapacitet. Inhemsk mineralutvinning minskar såväl landets som EU:s sårbarhet när det gäller råmaterialförsörjning vid störning i den internationella handeln. Innovationskritiska mineral och metaller är ett av de prioriterade områdena i de svenska regeringens strategi för en cirkulär ekonomi och är nödvändiga i klimatomställningen. Primära råmaterial ska så långt det är möjligt ersättas av resurser som används effektivt i cirkulära flöden. Hänsyn ska tas till behov av att tillföra primära råmaterial för att möjliggöra klimatomställning och materialåtervinning. Hållbar utvinning och återvinning av sekundära råmaterial är ett växande komplement till brytning av primära mineralresurser. Betydande mängder resurser lämnar Europa i form av avfall och skrot, som potentiellt går att återvinna till sekundära råmaterial här. Genom mer forskning om återvinning av

avfall kommer det att kunna undvikas att värdefulla material hamnar i deponi. För att åstadkomma användning av sekundära råmaterialresurser på ett strukturerat och tillförlitligt sätt behöver bland annat kartläggning, statistik och spårbarhet utverkas.

Den 3 september 2020 presenterade kommissionen meddelandet Resiliens för råmaterial av avgörande betydelse (European Commission, 2020b). Syftet med meddelandet är att staka ut vägen mot ökad trygghet och hållbarhet, och därmed bidra till ekonomisk återhämtning och långsiktig omställning i linje med den gröna given, kommissionens handlingsplan för cirkulär ekonomi och EU:s industristrategi. Ekonomisk betydelse och försörjningsrisk är de två huvudparametrar som används för att fastställa avgörande betydelse för EU. I meddelandet ingår EU:s förteckning över råmaterial av avgörande betydelse. Från och med år 2020 innehåller listan 30 råmaterial där de flesta utgörs av mineral och metaller (Tabell 1). Utöver de listade råmaterialen finns det andra mineral och metaller som kan vara av intresse att kartlägga. Specifikt intressant ur ett svenskt perspektiv är de som används och kommer att användas i stor utsträckning för exempelvis tillverkning av elfordonsbatterier, särskilt nickel, mangan och koppar.

Tabell 1. EU:s lista över kritiska råmaterial.

Antimon	Hafnium	Niob
Baryt	Indium	Platinagruppermetaller
Bauxit	Kiselmetall	Skandium
Beryllium	Kobolt	Strontium
Borat	Kokskol	Tantal
Flusspat	Litium	Titan
Fosfor	Lätta sällsynta jordartsmetaller	Tunga sällsynta jordartsmetaller
Fosforit	Magnesium	Vanadin
Gallium	Naturgummi	Vismut
Germanium	Naturlig grafit	Volfram

Material och metod

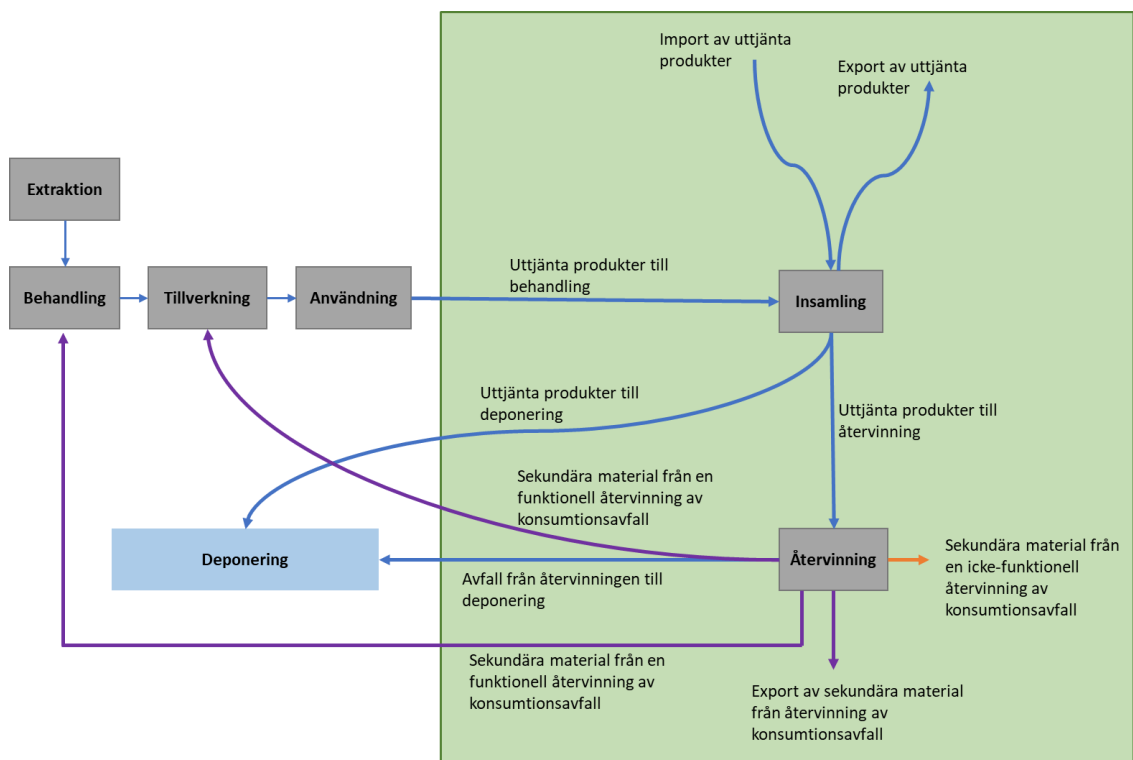
Avgränsning av studerade materialflöden

Studien fokuserar på sekundära flöden genom den svenska teknosfären. I det här sammanhanget tolkas det som produktflöden, det vill säga en avgränsning till de flöden där de studerade råmaterialen har passerat en användarfas innan de blir avfall och eventuellt går till återvinning. Med den här definitionen utesluts med andra ord avfall från gruvor och tillverkningsindustri. Det är visserligen material som framställts genom teknologiska processer, men inte i syfte att användas. Avgränsningen har valts för att anpassa studiens innehåll till dess omfattning. Det ska understrykas att avfall från både gruvor och industrier är mycket viktiga sekundära flöden för många råmaterial och som i flera fall bedöms bli än viktigare i framtiden.

En fullständig kartläggning av flödesvägar för de studerade råmaterialen skulle inkludera beskrivningar av var råmaterialen kan uppehålla sig från det att de tillförs teknosfären (källor) i form av produkt, antingen genom tillverkning i Sverige eller import till Sverige, tills det att de lämnar systemet eller slutar flöda (sänkor).

Sänkorna kan utgöras av export från Sverige, att materialet ingår i en produkt med så lång teknisk livslängd att den i praktiken utgår, att materialet förbrukas, deponeras eller förbränns eller återvinns på ett icke-funktionellt vis. Det är vidare önskvärt att kartläggningen beskriver att råmaterial har olika långa uppehållstider i teknosfären, att vissa produkttyper kan återanvändas, skillnader mellan funktionell och icke-funktionell återvinning och att vissa råvaror återvinns flera gånger och att det ibland innebär en så kallad downcycling av materialets egenskaper.

Sammantaget skulle detta innebära en mycket komplex beskrivning, som dessutom skiljer sig åt mellan olika flöden. Den här studien har därför avgränsats till de sekundära flöden som åskådliggörs inom det gröna fältet i Figur 2.



Figur 2. En systemgräns (grön markering) som fokuserar på hur mycket som kommer ut från användarfasen och vart dessa flöden tar vägen i slutändan (avfallsflöden). Efter BIO by Deloitte (2015).

Litteraturstudie

Kartläggningen inleddes med en litteraturstudie för att i första hand få en översikt över hur de ingående råmaterialen flödar genom teknosfären. Tre särskilt viktiga frågeställningar var 1) vilka råmaterial som används i klimatvänlig energiteknik, 2) hur råmaterial återvinns i dagsläget och 3) hur efterfrågan och återvinning av dessa material bedöms förändras i framtiden. Detta låg till grund för prioriteringen av studerade ämnen, se nedan. Under den inledande litteraturstudien noterades även tillgång till relevanta kvantitativa data, som en förberedelse inför de kommande stegen.

De viktigaste källorna som ingick i litteraturstudien omfattar:

- **EU-kommissionens rapporter på kritiska och icke-kritiska råmaterial 2020** (European Commission, 2020c; European Commission, 2020d). Rapporterna användes som vägledning för att ta fram de produktkategorier som stod till grund för kartläggningen samt grunddata för användning och återvinning inom EU.
- **Mineralmarknaden 2020, Tema: Kobolt** (SGU, 2021). Rapporten användes för att ta fram en verklighetstrogen modell för kobolt i Sverige ur de data som finns tillgänglig i dagsläget.

- **The lithium-ion battery life cycle report 2021** (CES, 2020). Data på livslängd och allmän detaljerad och trovärdig information om litiumjonbatterier i olika produkter.
- **Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU, A Foresight Study** (European Commission, 2020a). Tydliga beskrivningar av produkter och komponenter där kritiska material befinner sig samt vilka delar av leverantörskedjan där dessa produkter är kritiska.
- **Scenarier över Sveriges energisystem 2020** (Energimyndigheten, 2021b). Rapport som användes för att bestämma hur trender i el-produktion och användning av bränslen kan komma att variera i framtiden, och på så sätt hur behovet av kritiska råmaterial kan påverkas.
- **Användning och återvinning av potentiellt kritiska material, Kunskapsöversikt** (Ljunggren M. S. & Ingemarsdotter E., 2014). Användes som guide för att ta fram de viktigaste aspekterna vid modellering och presentation av råvaruflöden.
- **The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions** (International Energy Agency, 2021). En överblick av kritiska material för energiomställningen ur ett globalt perspektiv.
- **Net Zero by 2050 A roadmap for the Global Energy Sector** (IEA, 2020). Hur energisektorn kan komma att ändras globalt över tid.
- **Preserving Value in EU Industrial Materials** (Material Economics, 2020). Information om materialanvändning i europeisk och svensk industri.
- **Så når Sverige klimatmålen** (Kungliga Ingenjörsvetenskapsakademien, 2020). Hur de svenska sektorerna kommer behöva ändras påverkas av att gå mot mindre växthusgasutsläpp.

Statistikgenomgång

Utöver de data som har hämtats ur litteraturen (se ovan), har statistik från ett antal databaser gått igenom. Bland annat har data från Statistiska centralbyrån, SCB, gått igenom.

I projektets tidiga skede har flera av SCB:s statistikdatabaser genomskotts med syftet att hitta data för att få information om hur de aktuella råmaterialen flödar i teknosfären ur Sveriges perspektiv. Vid genomgången av data avseende behandlat avfall indelat efter typ av behandling och avfallsslag (SCB, 2020a), samt uppkommet avfall efter egenskap och näringsgren och avfallsslag (SCB, 2020b) konstaterades att den redovisade detaljnivån för avfallsslag är för låg för att få information om exempelvis återvinningsgrader eller flöden för de specifika råmaterialen.

SCB har även statistik för export och import av anmälningspliktigt avfall efter mottagarland respektive avsändarland (SCB, 2020c; SCB, 2020d). Även för den här statistikdatabasen var detaljnivån för avfallsslag för låg för att kunna få ut information om återvinningsgrader eller flöden för de specifika råmaterialen. Det finns mer detaljerade data att tillgå, men det måste i så fall begäras ut från exempelvis Naturvårdsverket. Det alternativet testades i fallet med elektronikavfall, vilket gav värdefull extra information men detaljnivån var ändå för låg för att få ut information om de specifika råmaterialen.

För elektronikavfall och uttjänta batterier finns egna statistikdata avseende behandlad mängd (SCB, 2020e; SCB, 2020f). I data för behandlad mängd batterier anges data för olika typer av batterier. I det här datasetet hade det varit önskvärt med en annan särskiljning av batterier då exempelvis litiumbatterier och litiumjonbatterier redovisas tillsammans, trots att de har olika användningsområden (exempelvis används litiumjonbatterier i uppladdningsbara fordon).

SCB tillhandahåller även statistik för varuimport, varuexport och industrins varuproduktion efter varugrupper och anges bland annat som kombinerad nomenklatur (KN). KN finns i olika detaljnivå, där KN 8 är högst med en åttasiffrig varukod. Varukoden är gemensam för alla EU-länder i deras utrikeshandelsstatistik samt för EU:s tulltaxa. Statistiken för varuimport, varuexport och varuproduktion (SCB, 2021a; SCB, 2021b; SCB 2021c) har till viss del kunnat ge information om flöden för produkter och även råmaterial som exempelvis kobolt.

Ingen ny datainsamling har skett som del av den här studien. Utöver statistikgenomgång från SCB har nedanstående databaser ingått i statistikgenomgången:

- **Circular Energy Storage** Online the lithium-ion battery lifecycle data platform. Europeisk statistik för litiumjonbatterier (CES, 2021). Utifrån denna statistik har trender för litiumjonbatterier i olika kategorier tagits ut för uttjänta batterier och för trender i användning.
- **Trafikanalys** nationell databas över vägtrafik (Trafikanalys, 2021). Från denna databas har hämtats information om antal fordon i trafik, antal nyregistrerade och avregistrerade fordon.
- **Bil Sweden** nationell databas över nyregistrerade personbilar, lastbilar och bussar (Bil Sweden, 2021).

Beräkningar

Ursprunglig ambition var att formatera data på ett enhetligt vis för samtliga prioriterade ämnen. Det skulle ha gjort det möjligt att beräkna de sekundära flödena på ett konsekvent vis, vilket skulle ha underlättat att jämföra och tolka resultaten, hantera osäkerheter med mera. Litteraturgenomgången och statistikgenomgången visade emellertid på ett tidigt stadium att det inte var möjligt,

på grund av brist på data som beskriver sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären. I praktiken har det därför blivit nödvändigt att göra specifika antaganden och val av beräkningsmetoder för vart och ett av de ämnen som har kartlagts kvantitativt. Detta kommenteras i respektive resultatavsnitt.

Prioritering av studerade ämnen

EU har analyserat användning av ett stort antal olika råmaterial, inklusive samtliga kritiska råmaterial. Däremot saknas i hög utsträckning kvantitativa data för sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären. Befintlig datainsamling fokuserar ofta på stora flöden. De kritiska råmaterialen förekommer i små mängder och främst som tillsatser i andra flöden. Till exempel utgör nickel ett av de största flödena av de ingående råmaterialen, med en årlig förbrukning av cirka 300 000 ton/år i EU. Trots att nickel används i batterier av olika slag är den användningen helt försumbar jämfört med användningen i olika stållegeringar (European Commission, 2020d). Den accelererande ökningen av kritiska ämnen syns inte i de sekundära flödena än. Vindkraft, solkraft, fordonsbatterier har inte börjat återvinnas. De sekundära flödena av kritiska råmaterial försvinner i bakgrundsbruset. Det har därför varit nödvändigt att prioritera bland de studerade ämnena.

Bruttolistan utgörs av 52 olika kritiska råmaterial. EU:s lista består av 27 enskilda ämnen och 3 ämnesgrupper (Tabell 1). Dessa ämnesgrupper består i sin tur av totalt 16 lätta och tunga sällsynta jordartsmetaller och 6 olika platinagruppermetaller. Dessutom ingår koppar, mangan och nickel i studien (som av EU beskrivs som icke-kritiska råmaterial eftersom tillgången är god).

De 19 råmaterial som är nödvändiga för tillverkning av klimatvänliga energitekniker gavs i den här studien **hög prioritet**, se Tabell 2. De tekniker som bedömdes vara viktigast för den svenska omställningen under de kommande decennierna var litiumjonbatterier, vindturbingeneratorer, elmotorer, bränsleceller och fotovoltaiska solceller. Fyra av dessa råmaterial gavs **högsta prioritet** och har ingått i den kvantitativa kartläggningen, se Tabell 3. De valdes dels för att de representerar de olika teknikslagen, dels för att de sekundära flödena är tillräckligt väl beskrivna i tillgängliga data. På grund av databrist var det inte möjligt att kartlägga samtliga 19 ämnen inom ramen för den här studien. De råmaterial som bedömdes vara svårast att återvinna (och därmed inte kunna ge upphov till sekundära råmaterial) gavs **lägst prioritet**, se Tabell 4.

Tabell 2. Kritiska råmaterial som prioriterats högt i studien, på grund av att de är nödvändiga i de klimatvänliga energitekniker som bedömts vara viktiga för den svenska omställningen

Borat	Kiselmetall	Naturlig grafit	Platinagruppmetaller
Dysprosium	Kobolt	Neodym	Praseodym
Gallium	Koppar	Nickel	Strontium
Germanium	Litium	Niob	Titan
Indium	Mangan	Palladium	

Tabell 3. Kritiska råmaterial som prioriterats högst i studien. De valdes bland de 19 högt prioriterade råmaterialen för att de representerar de olika teknikslagen och för att de sekundära flödena är tillräckligt väl beskrivna i tillgängliga data

Råmaterial	Användning (exempel)
Indium	LCD-skärmar, batterier och fotovoltaiska solceller.
Kobolt	El-fordon och andra batterier (Li-jon, NiMH).
Neodym	Permanentmagneter, som bland annat ingår i vindturbiner och elmotorer. Styr tillgången på bland annat dysprosium och praseodym eftersom de metallerna utvinns tillsammans med neodym, där efterfrågan är större.
Platinagruppmetaller	Fordonskatalysatorer och övrig elektronik. Krävs för att tillverka elektrolysörer för vätgasproduktion.

Tabell 4. Kritiska råmaterial som prioriterats lågt i studien, på grund av svårigheter att återvinna

Råmaterial	Motivering
Baryt	Bedöms ha låg betydelse för Sverige och minskande globalt. Troligtvis svår att återvinna.
Bauxit	Omvandlas till aluminium som redan återvinns i hög utsträckning (eller icke återvinningsbar form).
Kokskol	Omvandlas till icke återvinningsbar form.
Naturgummi	Omvandlas till icke återvinningsbar form.

Resultat och diskussion

Kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial

Generella observationer

För att få en överblick av var de kritiska råmaterialen finns och därmed också var de sekundära flödena borde finnas så gjordes en översiktlig genomgång av alla kritiska råmaterial som beskrivs i European Commission (2020c) och de tre metallerna koppar, mangan och nickel som beskrivs i European Commission (2020d). Sammanställningen illustreras i Figur 3 på nästa sida. Många av råmaterialen används som specialmetaller eller i legeringar där speciella egenskaper så som exempelvis hög hållfasthet eller värmetålighet krävs, vilket i den här studien inkluderar karbider. Ett flertal av råmaterialen går att hitta i elektronik, några används som kemikalier och/eller katalysatorer, men de flesta har någon form av specialanvändning. Två sådana specialanvändningar som anses vara viktiga för en energiomställning i Sverige är batterier och magneter, vilket har markerats i Figur 3. En annan observation är att de primära och sekundära flödena av flera kritiska råmaterial inte är tydligt åtskilda, vilket har betydelse för potentialen av en ökad återvinning. Detta utvecklas nedan.

Avvägning mellan återvinning med hög renhet och av stora flöden

De ämnen som används som specialmetaller eller i legeringar kan teoretiskt sett återvinnas som specialmetaller eller i legeringar. Svårigheter uppstår bland annat om specialmetallerna/legeringarna inte identifieras korrekt vid sortering eller om ämnet används i för låg koncentration för att det ska vara värt att sortera ut som en egen fraktion. Vissa användningsområden kräver hög renhet och det är så gott som alltid lättare att återvinna ett material med hög renhet till ett nytt material med lägre renhet, så kallad downcycling, än tvärtom. Det gör till exempel att det är svårt att låta kobolt från en legering återvinnas till batteri, men det kan fungera att återvinna koboltinnehållande batterier till en legering. Ur ett resursperspektiv så är det önskvärt att behålla så hög kvalitet/renhet som möjligt på de strömmar som går till återvinning, men samtidigt så kan en ökad återvinning av även lägre kvalitet/renhet vara värt att beakta om det frigör mer primär råvara till de flöden som kräver en högre kvalitet/renhet.

Kritiska råmaterial					
Antimon	■ ■ □	Hafnium	■	Fosfor	■
Baryt	□	Tunga REE	■ □	Skandium	■ □
Beryllium	■ ■	Lätta REE	■ □	Kiselmetall	■ ■ ■
Vismut	■ ■	Indium	■	Tantal	■ ■ □
Borat	□	Magnesium	■ □	Volfram	■
Kobolt	■ ■ ■ □	Naturlig grafit	■ □	Vanadin	■
Kokskol	□	Naturgummi	□	Bauxit	■ □
Flusspat	■ □	Niob	■	Litium	■ □
Gallium	■	PGM	■ ■	Titan	■ □
Germanium	□	Fosforit	□	Strontium	□
<i>Koppar</i>	■ ■				
<i>Mangan</i>	■				
<i>Nickel</i>	■ ■				

■ Specialmetaller/-legeringar
■ Elektronik (■ = liten användning)
■ Magneter
■ Kemikalier och katalysatorer
■ Batterier (■ = liten användning)
□ Annat

Figur 3. Användningsområden för kritiska råmaterial. De material som tillkommit sedan 2017 markerade i fetstilt. Koppar, mangan och nickel ingår i studien men klassas inte av EU som kritiska.

Sekundära och primära flöden går hand-i-hand

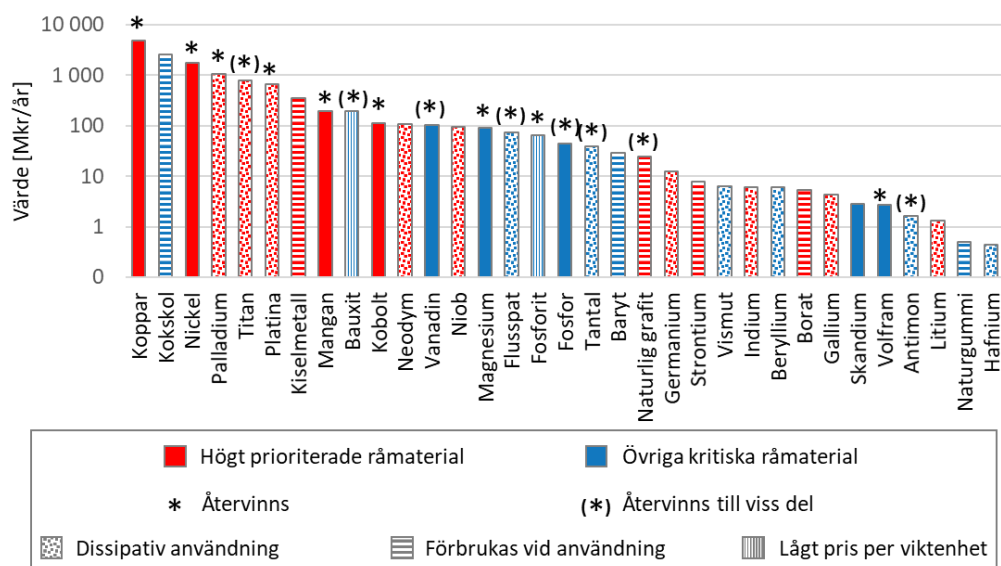
Det finns många exempel på att de största och mest framgångsrika återvinnarna är samma aktörer som även utvinner den primära råvaran. Den sekundära råvaran fungerar då som i stort sett vilken råvarukälla som helst och går in i flödet ihop med till exempel malm eller koncentrat. Då de redan har tekniken för att förädla den primära råvaran så är det oftast inte ett allt för stort steg att även ta in sekundär råvara i samma flöde. De har ofta också den storlek som krävs för att få ihop ekonomin i att ta hand om stora flöden av sekundära råvaror som ofta har ett lågt värde per viktenhet. Några sådana exempel är Boliden och Umicore som presenteras i mer detalj i stycket om Identifierade nyckelaktörer nedan. Det finns också många exempel på aktörer som senare i värdekedjan tar in sekundära flöden för att tillverka sina produkter. Det sker framför allt om det sekundära flödet är billigare än det primära, eller om det sekundära flödet är enklare och säkrare att få tag på. Typiska exempel på återvinnare av det slaget är aktörer som producerar specialmetaller/legeringar. Det har också märkts att producenter av litiumjonbatterier har säkrat upp sina behov av litium och kobolt genom att ta in sekundära flöden av batterier.

Andra flöden kan ofta gå före de sekundära

I dagsläget är återvinningsgraden för många metaller låg globalt, för kritiska metaller och mineral i flera fall under 1 % (Arvaniditis, 2019). Därför kommer samhället ännu under lång tid i hög grad att vara beroende av primära råmaterial. Därför är det viktigt att resursutnyttjandet i alla led i värdekedjan är så högt som möjligt. Många av de kritiska råmaterialen utvinns som biprodukter till någonting annat. Till exempel framställs kobolt huvudsakligen som biprodukt vid framställning av nickel eller koppar, indium är oftast en biprodukt vid framställning av zink och de sällsynta jordartsmetallerna finns oftast blandade i samma malm. Det gör att det i vissa fall är enklare och billigare att utvinna lite mer biprodukt ur de flöden där det tidigare inte riktigt lönat sig att utvinna i stället för att börja ta in sekundära flöden. Det gör också att det som tidigare gick som gruvavfall kan löna sig att utvinna, vilket gör att gränsen mellan primära och sekundära råvaror kan bli lite suddig om en sekundär råvara (gruvavfall) helt plötsligt blir primär (biprodukt).

Återvinning

Det ekonomiska värdet spelar en viktig roll vid återvinning av ett råmaterial, vilket illustreras i Figur 4. Studien har skattat värdet av varje råmaterial som används i svensk slutkonsumtion med hjälp av uppgifter på mängder (ton/år) och priser (kr/ton) från European Commission (2020c, 2020d). Genom att multiplicera dessa erhöles totala värden för slutkonsumtion i EU. Den svenska andelen skattades till 3,5 %, vilket motsvarar Sveriges andel av EU:s BNP. Mängden av neodym har dock uppdaterats utifrån den här studiens resultat, vilket förklaras i stycket om Kvantitativa skattningar för neodym nedan. Figur 4 illustrerar det uppskattade värdet av de flesta av de råvaror som inkluderats i studien. Palladium och platina har dock fått fungera som illustration för värdet av alla platinagruppermetaller. Neodym har fått fungera som illustration för värdet av alla sällsynta jordartsmetaller.



Figur 4. 33 av 52 studerade kritiska råmaterial. I figuren saknas samtliga sällsynta jordartsmetaller utom neodym samt fyra platinagruppermetaller. Utöver de 17 ämnena med röda staplar bedöms även jordartsmetallerna dysprosium och praseodym vara av särskilt stor betydelse för den svenska omställningen. Råmaterialen har sorterats utifrån uppskattat ekonomiskt värde, i fallande storleksordning med ett högt värde till vänster i figuren och lågt värde till höger i figuren.

Det måste löna sig ekonomiskt att återvinna

Som synes så är det framför allt de råvaror som har ett högt totalt värde som återvinns. Till vänster i figuren är det många råvaror som återvinns i hög eller låg utsträckning. De råvaror som ligger långt till vänster i figuren utan att ha någon väsentlig återvinning är bland annat de råvaror som förbrukas vid användning (exempelvis kokskol och kiselmetall). Två råvaror som syns relativt långt till vänster, utan väsentlig återvinning och utan att förbrukas vid användning är neodym och niob. I fallet med neodym spås det en snabbt växande marknad för sekundära material i och med elektrifiering av fordonsflottan samt utbyggnaden av vindkraften. Niob har inte studerats närmare i den här studien, men går enligt European Commission (2020c) framför allt till en icke-funktionell återvinning på grund av att stål som innehåller niob återvinns som stål med en lägre kvalitet. Wolfram och antimon återvinns i hög respektive låg utsträckning trots att de ligger långt till höger i figuren. Antimon återvinns framför allt i form av blylegeringar och då är det snarare värdet av bly som driver återvinningen. Bly används i stor omfattning och skulle ha hamnat mellan bauxit och kobolt i figuren om det hade inkluderats, med ett totalt värde strax över 100 miljoner kr/år. Wolfram används framför allt i form av karbider på hårda ytor för slipande, skärande och borrarande verktyg. Dessa verktyg är relativt enkla att samla in, från industriell verksamhet, där verktygen kan skickas tillbaka till försäljaren i samband med att de byts ut mot nya. En effektiv återvinningskedja gör att det är lönt att återvinna trots att det totala värdet är relativt lågt. Då wolframkarbiden dessutom oftast sitter fast på ett stål med

hög halt av kobolt eller nickel så ökar värdet ytterligare på det material som samlas in för återvinning.

Dissipativ användning försvårar återvinning

Material med så kallad dissipativ användning används i låga koncentrationer blandade med stora volymer av andra material. Det gör det svårare att återvinna ämnen som används i ren eller så gott som ren form. Det är lättare att återvinna metallbitar av titan än att återvinna det vita pigmentet titandioxid som används i färg. På ett liknande sätt så är det lättare att återvinna tonvis av neodymmagneter om de går att separera från stora vindkraftsturbiner jämfört med att försöka samla in och separera samma mängd magneter från små högtalare i mobiltelefoner och headset.

Det går inte att återvinna något som förbrukas vid användning

Några av de kritiska råmaterialen går helt enkelt inte att återvinna utifrån det som de används till idag. Kokscol som förbränns till koldioxid är ett sådant exempel. Kiselmetall som oxideras till kiseldioxid/silikater vid stålframställning är ett annat exempel. Baryt som pumpas ner i marken för att få fram mer olja/gas tappar sitt syfte om den sedan ska pumpas upp igen. Naturlig grafit bryts ofta ner under användningsfasen vid stålframställning och bildar i slutändan koldioxid. Den delen av grafiten som är kvar när resten av materialet är förbrukat går visserligen att återvinna, men det är än så länge endast en liten andel som går till återvinning. Strontium används till stor del vid borming på ett liknande sätt som baryt, men även för att ge färg åt pyrotekniska produkter, vilket i båda fallen förbrukas vid användning. Det strontium som används för att till exempel ge styrka åt vissa aluminiumlegeringar går att återvinna till en likadan legering, men den andelen är försvinnande liten. Borat används oftast i glas- och keramikframställning och kan i princip återvinnas som glas igen, men det används i dagsläget framför allt i glasull och värmetåligt glas, som är applikationer som inte återvinns. Det sista exemplet på ämnen som förbrukas vid användning är naturgummi, vilket omvandlas genom så kallad vulkanisering från en klibbig och formbar massa till ett formstabil material. Efter vulkaniseringen så går det inte att forma om gummit och det går inte längre att få tillbaka naturgummits egenskaper.

Identifierade nyckelaktörer

Här nedan listas några nyckelaktörer inom återvinning av kritiska råmaterial. Listan är troligtvis inte komplett och inkluderar inte förbehandlare av avfall, så som Stena Technoworld, Kuusakoski och SIMS som förbereder elektronikavfall för materialåtervinning hos andra aktörer.

Arc Metal: Återvinner ädelmetaller (primärt platinagruppermetaller så som platina, palladium och rodium) ur skrot och andra avfall med höga halter platinagruppermetaller. En stor del av det skrot som hanteras är katalysatorer från fordon, främst från Norden och Europa. Metallerna utvinns som ett koncentrat (blandad legering) som måste raffineras vidare utomlands innan det blir rena

metaller av platina, palladium och rodium (Arc Metal, 2021). Majoriteten av ”avfall och skrot av platina” som exporteras från Sverige har de senaste åren gått till Storbritannien, Schweiz och Tyskland, men det är oklart om det också inkluderar Arc Metals koncentrat. Utifrån den omsättning som bolaget redovisat 2013–2020 (Bolagsfakta, 2021) och de råvaror som återvinns så borde mängden återvunnet koncentrat vara i storleksordningen av 1 ton platinagruppermetaller per år.

Boliden: Vid två av Bolidens svenska verk återvinns ett flertal av de studerade ämnena. Vid Bergsöeverket återvinns blylegeringar från blybatterier, vilket inkluderar antimon. Från Bolidens årsrapport (Boliden, 2021a), några av deras säkerhetsdatablad (Boliden, 2021b), litteratordata om antimonhalt i blybatterier (Liu & Qiu, 2018) samt en äldre rapport om användning och spridning av antimon i Sverige (Sternbeck et al., 2002) så går det att göra uppskattningar om vilka mängder det motsvarar. Vid Rönnskärsverket utvinns bly, zink, koppar och ädelmetaller från primär och sekundär råvara. Det används ca 85 000 ton elektronikskrot per år (Boliden, 2021a), där plasten utnyttjas som ett bränsle och reduktionsmedel i smältprocessen samtidigt som metallerna smälts ner och raffinerar. En del av det elektronikskrot som används i processen består av kretskort, vilket gör att det går att approximera ungefär vilka kritiska material som återvinns och vilka mängder det handlar om (Tesfaye et al., 2017). Det material som tas om hand borde innehålla en mix av koppar, platinagruppermetaller (framför allt palladium), antimon, nickel, vismut, tantal, gallium och indium samt några andra metaller (guld, silver, bly, tenn och zink) som inte ingår i den här studien. Baserat på de mängder och koncentrationer som presenteras i deras årsrapport (Boliden, 2021a), på deras hemsida (Boliden, 2021c) och i diverse säkerhetsblad (Boliden, 2021b) så kan de återvunna mängderna uppskattas till följande:

- Koppar: cirka 55 000 ton/år, från elektronik och annan sekundär råvara. Funktionell återvinning inom Sverige.
- Nickel: utvinns som biprodukt, i form av rånickelsulfat (NiSO_4), från kopparproduktionen. Den totala produktionen (Sverige och Finland) uppgår till 1 000–2 000 ton/år. Det nickel som kommer in från sekundära källor (från elektronik och annat) till Rönnskärsverket kommer troligtvis återvinnas funktionellt inom Sverige, men mängderna är då betydligt lägre än vad som utvinns totalt.
- Antimon: Uppskattningsvis ca 350 ton per år, mestadels från blybatterier men även en liten del från elektronik. Mängden är svår att skatta utifrån återvinningsgrad för elektronik. Intervallet skattas till 200–1 400 ton/år, men med en maximal mängd på 4 600 ton/. Funktionell återvinning inom Sverige.
- Platinagruppermetaller: cirka 2 ton/år, mestadels från elektronik, nästan uteslutande palladium med mindre än 0,2 ton platina och andra platinagruppermetaller. Funktionell återvinning, men troligtvis exporterad utomlands.

- **Vismut:** Ingen tydlig uppgift från Boliden, men metallen borde vara återvinningsbar, det vill säga funktionell återvinning. Enligt uppgift från muntlig källa till EU-rapporten om kritiska råvaror (European Commission, 2020c) så sker återvinning via export utomlands.
- **Tantal/gallium/indium:** Återvinns troligtvis inte i dagsläget och det är troligtvis inte lönsamt att göra någon stor investering för att börja utvinna det heller, så vida det inte kommer in mer material från malmen eller något annat material.

EasyMining: har en process för att återvinna fosfor ur askan från förbränningen av avloppsslam. Det verkar inte ske någon återvinning i dagsläget annat än i forsknings- och pilotskala. (EasyMining, 2021)

LKAB: har planer på att börja utvinna fosformineralgödsel och REE ur apatit från sitt gruvavfall (LKAB, 2019). Ur detta gruvavfall så kommer det även utvinnas en del fluor, vilket kan ersätta flusspat. Gruvavfallet räknas inte in bland de sekundära flöden som inkluderats i den här studien, men det finns en potential att samköra deras process med en process för återvinning av magneter vilket ingår i den här studien. LKAB säger att deras plan just nu är att ha sin produktion (från primär råvara) i gång 2027 (LKAB, 2021).

Det har körts ett stort EU-projekt (REECOVER, budget 7,9 M EUR) där det har utvecklats metoder för utvinning och återvinning av sällsynta jordartsmetaller från magneter och gruvavfall. Det verkar som att den hydrometallurgiska processen (och allt därefter) ska kunna samköras för de två materialen (CORDIS, 2017). Det sker alltså ingen återvinning av sällsynta jordartsmetaller i dagsläget, men det kan kanske starta från magneter någon gång omkring, eller efter, 2027.

LKAB Minerals: Återvinner eldfasta material, vilket minskar åtgången på aluminiumoxid och därmed bauxit. Det minskar även åtgången av magnesit som är ett mineral som innehåller magnesium. Magnesit är inte ett kritiskt råmaterial, men det är magnesium.

Mat4Green Tech: Ett startup-bolag som sägs ha återvinningsteknik för indium. Det finns inga uppgifter på att de har påbörjat någon återvinning i dagsläget annat än på forsknings- eller demonstrationsnivå (Mat4Green Tech, 2021; Energimyndigheten, 2020). Eftersom indium huvudsakligen används i väldigt tunna skikt av bland annat indium-tenn-oxid (ITO) eller CIGS-solceller så lär deras första återvinning fokusera på industriavfall snarare än uttjänta produkter. Detta resonemang utvecklas ytterligare under avsnittet om Kvantitativa skattningar för indium nedan.

Midsommer: Tillverkar CIGS-solceller som de har utvecklat en återvinningsmetod för (Gustafsson, 2014; Engineering News, 2014), men vi har inga uppgifter på om återvinningsmetoden används eller ej. Om det sker någon återvinning så är det troligtvis endast från industrispill, vilket är ett resonemang som utvecklas ytterligare under avsnittet om Kvantitativa skattningar för indium nedan.

Northvolt: Tillverkar litiumjonbatterier och har även planer på att återvinna litiumjonbatterier i framtiden. Återvinningsanläggningen är planerat att tas i drift 2023 och ska vid full kapacitet återvinna 125 000 ton batterier per år, vilket inkluderar produktionsspill från Northvolts egen verksamhet. Det som kommer återvinnas är litium, nickel, mangan, kobolt, koppar samt aluminium (som minskar behovet av bauxit) och plast (som inte är en del av den här studien). Det verkar inte finnas några planer på att återvinna grafiten (DI, 2021; Northvolt, 2021a). Det framgår inte hur deras process kommer ta hand om elektrolyten som innehåller en del fluor, men det kan tänkas att fluoret går att få ut i en form som kan minska behovet av flusspat.

Ovako: Ovako återvinner en betydande mängd av svenskt fraggskrot. I deras hållbarhetsrapport (Ovako, 2021a) så säger de att de återvinner ca 800 000 ton skrot per år. Hur mycket av det som är inom Sverige framgår dock inte. Det nämns att deras produkter har ett återvunnet innehåll på 65–88 % (medel 76,2 %) från uttjänta produkter och 10–30 % (medel 21 %) från industrispill, men det syftar i huvudsak på järninnehållet (Ovako, 2021b). Deras stålprodukter innehåller mer än 97,2 % återvunnet material, men om man bara tittar på järninnehållet så är det 99,2 % återvunnet material från industrispill och uttjänta produkter. Med andra ord så är det en betydligt lägre andel återvunnet material i form av legeringsämnen som inkluderas i den här studien. De har ett par miljövarudeklarationer som säger hur innehåll av nickel, krom, molybden, mangan och kisel varierar mellan de huvudsakliga legeringarna från deras tre största anläggningar, varav två i Sverige (Ovako, 2019; Ovako, 2020a; Ovako, 2020b). Det är svårt att göra en totalskattning av hur mycket det är eftersom det inte framgår hur mycket som produceras på varje ställe, eller vad stålen innehåller i snitt. Utifrån dessa siffror och en lång rad antaganden så går det att säga att Ovako troligtvis återvinner något i storleksordningen av 100-tals till 1 000-tals ton av de olika legeringsämnena kisel, krom, nickel, mangan och molybden varje år. Av dessa ämnen så har kisel högst oxidationsbenägenhet och därmed störst risk att hamna i slagget, vilket gör att den faktiska återvinningen eventuellt är lägre för just kisel.

Sandvik Coromant: Tillverkar och säljer verktyg för skärande bearbetning. De samlar även in och tar emot ”alla solida hårdmetallspetsar – oavsett tillverkare och ursprung”. Det verkar som att spetsarna skickas till Wolfram Bergbau und Hütten AG i Österrike, där wolfram återvinns i en process som även hanterar primära råmaterial från gruvor. Övriga legeringsämnen tas också om hand och säljs vidare till andra aktörer. De säger bland annat att kobolt skickas till ”världens största producent av kobolt” vilket skulle kunna tolkas som Glencore. Sandvik Coromant använde 2018 ca 200 ton kobolt, där 65–75 % bestod av återvunnen kobolt. Hur mycket av det som användes inom Sverige och hur mycket som går tillbaka till återvinning via dem framgår dock inte. De erbjuder också rekonditionering där verktygen skickas till ”rekonditioneringscentra i Europa, Asien och Amerika”, vilket eventuellt innebär att de skickas utanför Sverige för rekonditionering och sedan återvänder till Sverige igen för återanvändning. De har en produktionsenhet i Gimo där de tillverkar ”extremt hårda skär”, men det framgår inte om det sker

någon återvinning där (Sandvik Coromant, 2021; Wolfram Bergbau und Hütten, 2021).

Stena Aluminium: På Stena Aluminiums smältverk i Älmhult produceras varje år cirka 70 000 ton aluminiumlegeringar från cirka 80 000 ton skrot. Råvaran utgörs av produktionsspill från industrin och uttjänta produkter såsom bilar och elektronik, men det framgår inte hur stor andel som kommer från uttjänta produkter. Den aluminiumoxid som bildas i processen, det vill säga slaggen, skickas till Tyskland för återvinning inom cementindustrin. Både återvinningen av aluminium och aluminiumoxid minskar behovet av jungfrulig bauxit. Det framgår inte hur mycket av diverse legeringsmetaller som återvinns, men det framgår att deras legeringar bland annat innehåller kisel, koppar, mangan, magnesium, nickel, titan och strontium. De säger själva att 100 % av aluminiumlegeringen är från återvunnet material, men det är ändå tveksamt om det även inkluderar alla legeringsämnen (Stena Aluminium, 2017; Stena Aluminium, 2022a; Stena Aluminium 2022b). Det går till exempel att utläsa från European Commission (2020c) att det inte sker någon funktionell återvinning av kiselmetall i aluminiumlegeringar.

Stena Recycling: Har beviljats stöd från Energimyndigheten för investeringar i en ny anläggning för återvinning av batterier. Planen är att anläggningen ska vara i gång i början av 2023 och ska kunna hantera 10 000 ton batterier, vilket bland annat inkluderar litiumjonbatterier. (Stena Recycling, 2022) Det kan sättas i jämförelse med den plan som Northvolt har för 125 000 ton litiumjonbatterier.

Umicore: En stor aktör inom ett flertal kritiska råmaterial. De har sin huvudverksamhet i Belgien, vilket alltså är utanför den här studien men deras verksamhet ger ändå en viktig indikation av vilka material och produkter som är värda att återvinna. De har en anläggning i Karlskoga, men det verkar inte som att det sker någon återvinning där, endast tillverkning av det aktiva materialet för fordonskatalysatorer (Umicore Autocat Sweden, 2021). Från vad som går att utläsa från deras hemsida (Umicore, 2021) så återvinner de huvudsakligen produktionsspill och industriellt avfall från många olika branscher som har lite udda material. De uttjänta produkter som ingår i deras portfölj är:

- NiMH-batterier (Ni, Co, Mn, Nd, Pr, Ce, La) och litiumjonbatterier (Li, Ni, Co, Mn, Cu). De säger att "Umicore is closing the loop for lithium" så det verkar som att litium återvinns från deras pyrometallurgiska process för batteriåtervinning. Anläggningen i Hoboken är anpassad för att hantera 7 000 ton batterier (NiMH och Li-jon) vilket kan sättas i jämförelse med de 125 000 ton som Northvolt planerar.
- Fordonskatalysatorer (Pt, Pd, Rh).
- Elektronik (Cu, Ni, Pd, Sb). De hanterar även vismut, gallium och tantal, men det är svårt att säga om de får ut det från elektroniken eller ej.
- Olika legeringsmetaller från skrot.

- Industriellt konsumtions-avfall i form av exempelvis katalysatorer och *Membrane Electrode Assembly* (MEA) ur bränsleceller.

Umicore hanterar även koncentrat av olika ämnen som uppstår i återvinningen av uttjänta produkter. Sådana material skulle exempelvis kunna vara palladium-koncentrat, antimonslag eller vismutrik blydross från Boliden eller PGM-koncentrat från Arc Metal. De borde även kunna hantera den svarta massan från alkaliska batterier då den innehåller betydande mängd zink och mangan, men även en del indium. Alla tre ämnena är sådant som Umicore säljer, men det framgår inte från någon text hur de hanterar detta material. Från European Commission (2020c) går det att utläsa att Umicore har varit med och utvecklat någon teknik för att återvinna sällsynta jordartsmetaller från lysfosfor från lysrör och lågenergilampor men att den verksamheten avbröts på grund av dålig lönsamhet. Det går inte heller att hitta dessa metaller i deras portfölj (förutom cerium som även finns i NiMH-batterier) vilket styrker teorin att det antagligen inte är lönsamt i och med övergången till LED-lampor.

Veolia Recycling Solutions: Har en anläggning i Hovmantorp för återvinning av ljuskällor i form av lysrör, lågenergilampor (CFL) och högintensiva gasurladdningslampor. Gemensamt för dessa ljuskällor är att de alla innehåller (eller kan innehålla) kvicksilver som tas hand om i Veolias process. Ljuskällorna har även ett lyspulver som innehåller flera kritiska råmaterial, däribland fosfor och ett flertal sällsynta jordartsmetaller. Utifrån litteratur (Tunsu, 2014, Patil, 2021) så borde 1 kg av pulvret innehålla följande ämnen: 4,1 mg cerium, 4,3 mg europium, 2,4 mg gadolinium, 4,4 mg lantan, 42,4 mg fosfor, 1,2 mg antimon, 3,4 mg strontium, 1,9 mg terbium och 80,4 mg yttrium. Veolia säger själva på sin hemsida att lysrören och CFL-lamporna består till ca 5% av lyspulver (Veolia, 2022). De säger också att "[u]r pulvermixen återvinns kvicksilver och sällsynta jordartsmetaller". De hanterar ljuskällor från Sverige och Norge, vilket gör att det borde gå att uppskatta mängden, men det finns ingen information från deras hemsida som berättar vilka totala mängder ljuskällor som återvinns och det har inte kartlagts ytterligare i den här studien. Det forskades på återvinning av sällsynta jordartsmetaller från CFL-lampor i början av 2010-talet, antagligen på grund av prishöjningen på REE omkring 2011 och att det då var väldigt vanligt med CFL-lampor. Nordic Recycling hade ett Vinnova-projekt om just utvinning av sällsynta jordartsmetaller från CFL-lampor (Vinnova, 2017). De köptes senare upp av Veolia som nu borde ha kunskapen. De säger alltså att de återvinner sällsynta jordartsmetaller, men det framgår inte huruvida de återvinner det till rena metaller eller om det skickas vidare till någon annan aktör för förädling. Det framgår inte heller om det är lönsamt att återvinna sällsynta jordartsmetaller från CFL. En litteratursökning (på engelska) efter återvinnare av sällsynta jordartsmetaller från CFL-pulver resulterade endast i forskningsresultat, inga resultat som tyder på att någon i världen återvinner materialet. På motsvarande sätt som för Umicore så är det troligtvis inte lönsamt att återvinna lyspulvret och mängden sällsynta jordartsmetaller som återvinns från pulvret kommer troligtvis minska med tiden i och med en övergång till LED-lampor.

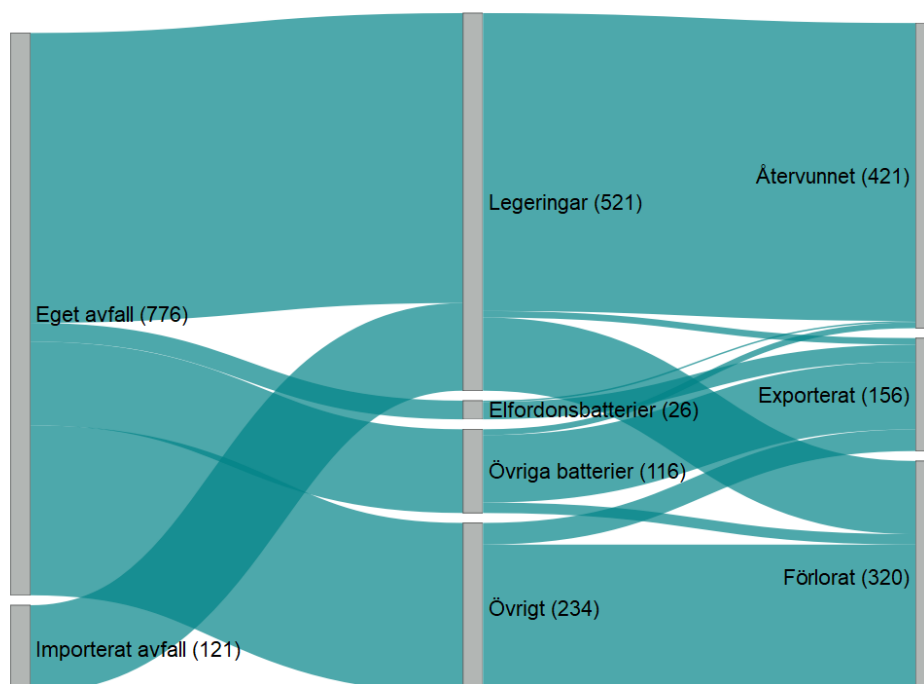
Kvantitativa skattningar för kobolt

Dagens sekundära flöden och återvinning

Kobolt är en kritisk metall som förväntas vara en viktig komponent i den svenska energiomställningen, bland annat i litiumjonbatterier för elfordon. Figur 5 visar de flöden av kobolt från uttjänta produkter som identifierats i den här studien.

Värdena är skattningar av flöden från 2020, eller så nära 2020 som är möjligt.

Anmärkningsvärt är att det mesta av avfallet än så länge kommer från legeringar och övrigt (däck, färg, katalysatorer med mera). Så gott som all återvinning inom Sverige ser än så länge ut att gå från legeringar till legeringar.



Figur 5. En skattning av sekundära flöden av kobolt från uttjänta produkter i Sverige år 2020. Alla redovisade värden är ton kobolt per år.

Sekundär kobolt finns i legeringar i metaller där användningen är ca 500 ton/år (SGU, 2021). I brist på information om hur mycket som faktiskt blir avfall så gjordes ett antagande att 80 % av flödet blir avfall. Import och export av skrot (legeringar) gick att hitta data för under kategorin ”Avfall och skrot av kobolt” i SCB:s statistik (SCB, 2021a; SCB, 2021b), där den rena kobolt-halten antas vara 90 %.

Sekundär kobolt från *elfordonsbatterier* har i dagsläget tagits från en skattning av avregistrerade fordon från dagens nyregistrerade fordon i Sverige. Fordonen använder NiMH eller Li-jon. Flödet från denna kategori inkluderar elcyklar, personbilar (BEV, PHEV och HEV) och elbussar. Batterierna i elfordonen har variationer i batterikemier och därmed andelar av olika metaller. Batterikemierna kan bero på flera faktorer som exempelvis fordonets modell, produktionsår och

tillämpning. Alla HEV från avregistrerade personbilar antas innehålla NiMH med 1,5 kWh batterikapacitet och alla andra personbilar (BEV och PHEV) och elbussar antas vara Li-jon. Batterier för PHEV antas vara 5 kWh batterikapacitet av typen NMC111, för BEV 22 kWh av typen NMC111 och för elbussar 264 kWh av typen NMC622. För att beräkna metallmaterial per kilowattimme användes data från Larsson et al. (2013) och Dai et al. (2018).

För att approximera antalet batterier från HEV så antogs livslängden för alla fordon vara 15 år och därmed togs statistik för nyregistrerade fordon från 2006 som representativt för uttjänta fordon i dagsläget (Bil Sweden, 2021; Trafikanalys, 2021). För elcyklar antogs livslängden på batteriet vara 3,5 år och cykelns livslängd vara 7 år, alltså med ett batteribyte under cykelns livslängd (Miljöbarometern 2030, 2020). För elbilar, pluginhybrider och elbussar var det svårare att ansätta en livslängd för att realistiskt kunna spegla verkligheten, så där antogs i stället att antalet som blev uttjänta motsvarades av 5 % av såld mängd 2020.

Sekundär kobolt från *övriga batterier* kommer från portabla litiumjonbatterier och nickelbaserade (NiMH och NiCd) batterier. För portabla litiumjonbatterier gick det att hitta data för ett beräknat avfallsflöde i EU från Circular Energy Storage (CES, 2021). Det flödet skalades ner till en svensk motsvarighet utifrån BNP (3,5 % av EU:s BNP). För portabla NiMH- och NiCd-batterier användes statistik för batterier som samlats in via batteriinsamlingen (SCB, 2020e) där alla batterier antogs vara portabla. För att beräkna metallmaterial per kilowattimme eller kilogram användes data från Agrawal et al. (2010), Larsson et al. (2013) och Dai et al. (2018).

Kobolt återvinns selektivt ur batterier då värdet är högt relativt de andra batterimetallerna. I Sverige så smälts i dagsläget 10 ton kobolt per år för återvinning som legeringar (SGU, 2021) och ett antagande görs att 20 % av dessa kommer från fordonsbatterier och 80 % från övriga batterier. Mängden förlorad kobolt ur batterier kommer från plockanalyser av hushållsavfall (Avfall Sverige, 2016) och återigen egna antaganden om mängden batteri av olika typer. Det antogs att så gott som ingen kobolt går förlorad från elfordonsbatterier. Mängden exporterad kobolt från batterier är i det här fallet taget från balansen mellan mängden uttjänta batterier, vad som återvanns i form av legeringar och vad som gick förlorat i hushållsavfallet. I mängden exporterad kobolt är det fullt möjligt att det även ingår en hel del upplagrat, dels i hemmen hos privatkonsumenter, dels hos skrothandlare och andra industriella aktörer.

Mängden *övrigt* baseras på EU-konsumtion (European Commission, 2020c), vilket skalades ner till en svensk motsvarighet och det antogs att mängden avfall motsvaras av 80 % av konsumtionen. Där antogs att hälften av katalysatorerna går till återvinning via export och att resten går förlorat.

Ur SCB:s statistik för import och export (SCB, 2021a; SCB, 2021b) går det även att utläsa att Sverige nettoimporterar ca 200 ton kobolt från både primär och sekundär råvara för framställning av legeringar, vilket återigen baseras på antaganden om koboltkoncentrationen i olika varor och om vart de går. Allt utom

klorider, acetater och sulfater antas gå till legeringar. Om användningen är 500 ton kobolt per år för framställning av legeringar så borde resten komma från återvunnet, varav 10 ton från batterier. Här är det dock mycket osäkra siffror, baserat på många antaganden i flera led, men borde ge en ungefärlig skattning av i vilken storleksordning det ändå är. Resterande mängd kobolt från legeringar antas gå förlorat.

Rimlighetsbedömning av uppskattade mängder

Exporten av kobolt i batterier är svår att uppskatta. En osäkerhetskälla är att statistiken inte redovisas på batteri-kemi, utan endast som den totala mängden batterier. Variationerna i koboltmängden i olika batterier gör att det endast går att ge en approximation med stor osäkerhet. Batterier som sitter i utrustning när de säljs/exporteras/samlas in är också svår att utläsa ur statistiken, speciellt för flöden av mindre batterier.

Förlorad mängd koboltlegeringar är således också väldigt osäker. Det är oklart hur mycket kobolt som finns i form av legeringar och som blir avfall. Ett antagande om 400 ton gjordes här, det vill säga 80 % av producerad mängd, vilket baseras på en grov skattning av ungefär hur snabbt konsumtionen av stålprodukter ökar jämfört med hur snabbt de blir avfall. Som exempel så skrotades det 10 % färre personbilar 2020 än vad som registrerades samma år (Bil Sweden, 2021, Trafikanalys, 2021). Samtidigt så har tjänstevikten för fordon ökat med 13 % för fordon registrerade 2020 jämfört med de som registrerades 2008 (Gröna Bilister, 2021). Om alla personbilar som skrotades 2020 hade en genomsnittlig tjänstevikt som motsvarar de som registrerades 2008 så innebär det att den totala skrotade vikten av personbilar 2020 är 80 % av vad som registrerades samma år.

Förlorad mängd kobolt från legeringar är baserat på differensen mellan uppkommet och återvunnet avfall. På ett liknande sätt så är också exporterad mängd kobolt från batterier baserad på balansen mellan avfallsmängd och återvunnet samt förlorat. Det gör att eventuella fel i ett flöde påverkar den totala balansberäkningen.

Vi har varit tvungna att göra många antaganden om ungefärlig kobolthalt i flera material som importerar och exporterar och har inga uppgifter på import/export av legeringar med låg halt kobolt, eftersom det drunknar i mängden stål utan kobolt.

Identifierade dataluckor

Nationella data för litiumjonbatterier var inte tillgängliga för alla kategorier i hög upplösning, vilket är anledningen att europeiska data användes i stället. BNP-förhållandet mellan Sverige och Europa användes för att beräkna en rimlig mängd av batterier som fanns i uttjanta produkter för Sverige.

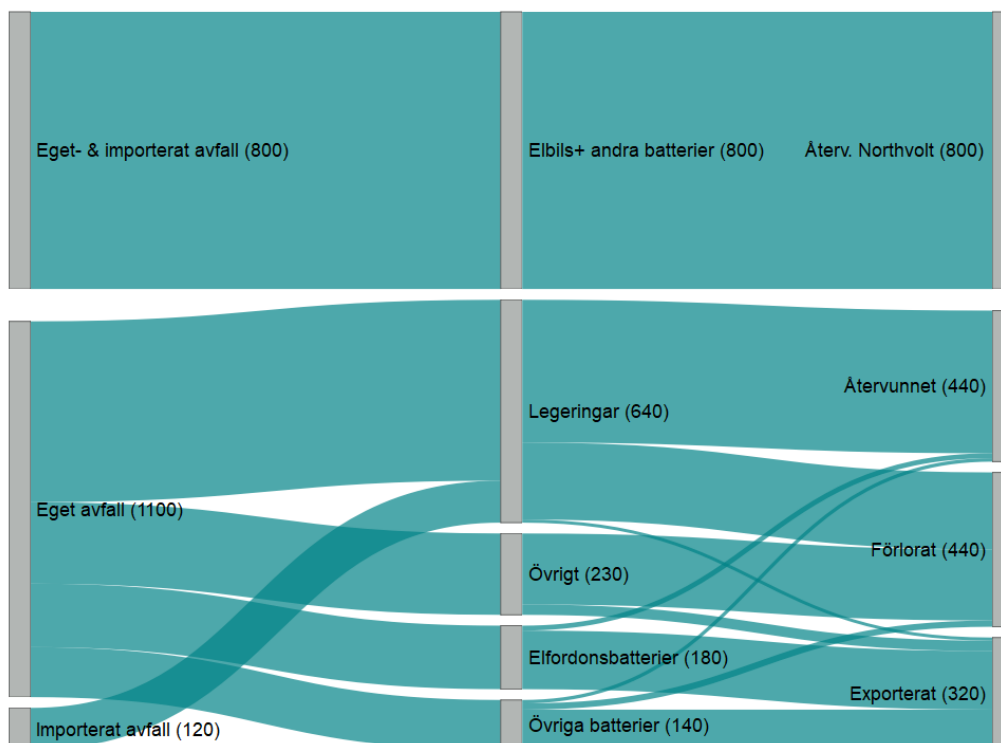
Tillgänglig statistik för avregistrerade eller skrotade fordon inkluderar i dagsläget endast personbilar, utan någon information om drivlina (BEV, PHEV, HEV eller förbränningsmotor). Skrotningsstatistiken inkluderar inte heller några data för tyngre fordon, så som lastbilar och bussar, eller lättare fordon som elcyklar och elmopeder.

Tillgänglig statistik för uppkommet och behandlat avfall är för grovt uppdelat för att det ska gå att utläsa några mängder kobolt. Metallavfall är till exempel endast uppdelat på ferromagnetiskt och icke ferromagnetiskt, vilket gör att mängden kobolt fullständigt drunknar i mängden av övrigt skrot. Dessa data kan vara värt att gräva djupare i vid eventuellt fortsatta studier på området.

Halten kobolt i olika material och produkter saknas i all form av statistik som går att hitta. Därför har halterna antagits, när det har varit möjligt baserat på information i litteraturen. Halten kobolt i en typ av produkt kommer dessutom i många fall variera från år till år, vilket är något som hade varit önskvärt att ta i beaktande men var svårt att ta hänsyn till då data från litteraturen endast inkluderar ett fåtal analyser av en begränsad mängd material vid något enstaka tillfälle. Det närmaste som gick att komma här var att ge en skattning av batterikemin i olika fordon, vilket till stor del baserades på skattning av fordonens livslängd.

Prognosticerad utveckling

Elektrifieringen av transportsektorn och energisystemet kommer bidra till en stor ökning av litiumjonbatterier som används i Sverige. Detta speglas även i ökningar av Sveriges produktions och återvinningsvolymerna av litiumjonbatterier. Figur 6 visar prognostiserade uttjänta produkters volymer för 2030 för Europa (CES, 2021), skalat till Sverige, och som inkluderar hur stora de planerade ändringarna i Sveriges batteriindustri förväntas bli (DI, 2021).

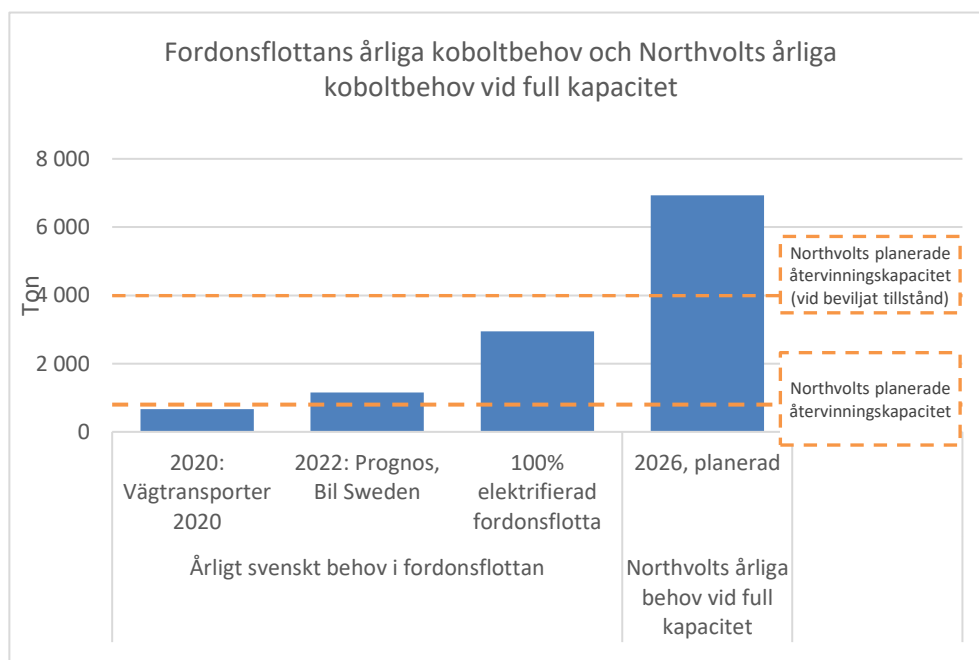


Figur 6. Skattade årliga flöden av kobolt (ton) för 2030. "Elbils+ andra batterier" = Elbilsbatterier och andra batterier. "Återv. Northvolt" = Återvunnet material från Northvolt.

Årligt svenskt behov i fordonsflottan	Northvolts årliga behov vid full kapacitet
---------------------------------------	--

Figur 7. Dessa siffror kommer från de referenser som redovisas i avsnittet Litteraturstudie ovan. Koboltmängden har räknats fram från batterivolymer med de andelar av de olika batterikemierna som kommer finnas 2030 enligt Circular Energy Storage (2021). I detta scenario har inflödet av batterier avsiktligt behållits ospecifikt eftersom det är oklart vad detta flöde kommer bestå av. Det kan troligtvis innehålla uttjänta batterier från avregistrerade elfordon i Sverige, andra inbördes batteri-källor och resterande volymer skulle kunna importeras för att fylla på brister i kapaciteten på batteriåtervinningen. Produktionsspill från Northvolt (och andra anläggningar) kan också utgöra en del av inflödet, men notera att detta flöde inte är inräknat i Figur 6.

Utöver ändringar i användningen av batterier och inom produktions- och återvinningsindustrierna så bör innovation inom energilagring inkluderas. Det finns möjligheter till förändringar i material och tekniker som kan ha varierande effekter på framtidens flöde, men eftersom infrastrukturen behöver anpassas och produktens livslängd är så lång så har skiften i tekniken en lång väntetid innan de blir sekundära råvaruflöden.



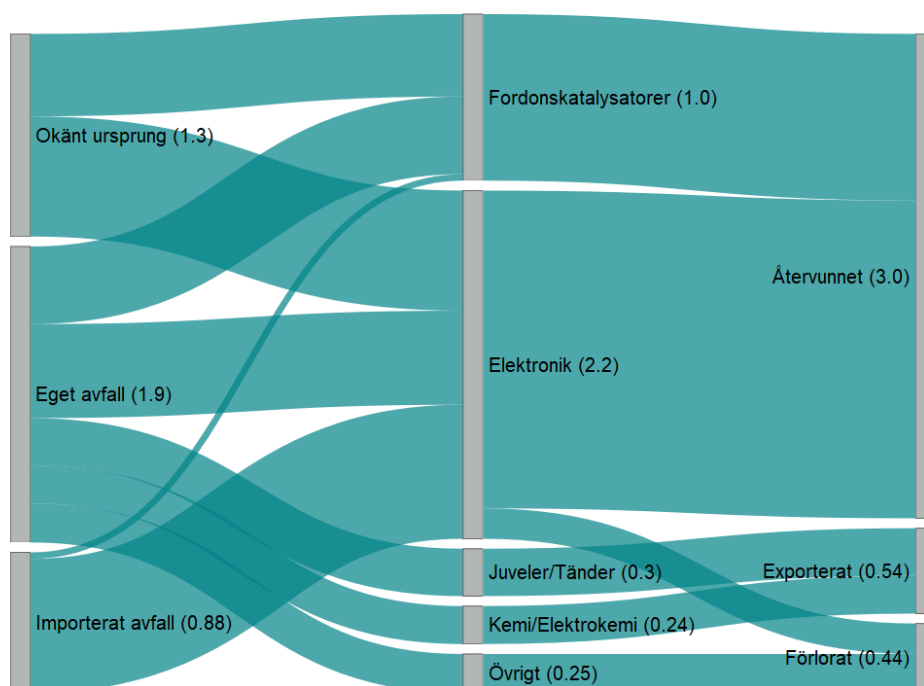
Figur 7. Årliga koboltbehov för dels den svenska fordonsflottan, dels Northvolts batteriproduktion vid full kapacitet. Northvolts planerade återvinningskapacitet illustreras som jämförelse. Bil Swedens prognos för 2022 togs ur (<https://www.bilsweden.se/statistik/prognos-nyregistreringar>). Scenariot för 100 % elektrifierade fordonsflottan antar samma antal lätta och tunga

fordon som i 2020. Observera att det finns behov av kobolt för fler applikationer än fordonsflottan samt att Northvolt planerade produktion inte kommer att begränsas till enbart den svenska fordonsflottan.

Kvantitativa skattningar för platinagruppermetaller

Dagens sekundära flöden och återvinning

Platinagruppermetaller skulle kunna vara kritiska för svensk energiomställning då de bland annat används inom elektrolysörer för vätgasframställning och i bränsleceller. Figur 8 visar de flöden av platinagruppermetaller från uttjänta produkter som identifierats i den här studien. Värdena är skattningar av flöden från 2020, eller så nära 2020 som är möjligt. Elektrolysörer och bränsleceller är än så länge en ytterst liten del och inkluderas i det som kallas kemi/elektrokemi. Det mesta av avfallet kommer, än så länge, från fordonskatalysatorer och elektronik. De två stora återvinnarna av dessa kategorier, Arc Metal och Boliden, verkar än så länge inte återvinna några rena metaller. I stället så skapar de ett koncentrat som sedan skickas utomlands för ytterligare raffinering, men det illustreras ändå som återvunnet i Figur 8.



Figur 8. En skattning av sekundära flöden av platinagruppermetaller från uttjänta produkter i Sverige år 2020. Alla redovisade värden är i form av ton platinagruppermetaller per år.

Den största användningen av platinagruppermetaller i dagsläget är i form av *fordonskatalysatorer*, men det sekundära flödet är betydligt mindre än användningen. Hälften av PGM-flödet av fordonskatalysatorer (0,5 ton) kommer från eget avfall. Beräkningarna utgår från antalet avregistrerade personbilar samt

en skattning av antalet avregistrerade lastbilar och bussar. Antalet avregistrerade bussar och lastbilar fanns inte tillgängligt så där antogs att förhållandet mellan nyregistrerade och avregistrerade år 2020 är det samma som det är för personbilar, det vill säga 90 % (Bil Sweden, 2021, Trafikanalys, 2021). Uttjänta katalysatorer från personbilar och lätta lastbilar antas ha en genomsnittlig mängd platinagruppermetaller på 2 gram per katalysator (Wiecka et al., 2022). Storleken på katalysatorer från bussar och tunga lastbilar antas vara 10 ggr större (20 gram per katalysator). Värt att notera är att halten platinagruppermetaller i en förbrukad katalysator är lägre än halten i exakt samma katalysator innan den började användas, då en del lossnar under användningen och lägger sig som ett damm längs med våra vägar. Dessutom är antalet registrerade fordon fler än vad som avregistreras varje år och kraven på katalytisk rening har gått upp med tiden. Alla dessa faktorer bidrar till att det sekundära flödet av platinagruppermetaller från fordonskatalysatorer är betydligt lägre än användningen av detsamma.

Mängden återvunnet platinagruppermetaller (1,0 ton PGM) från fordonskatalysatorer har skattats utifrån den omsättning som Arc Metal redovisat 2020 (Bolagsfakta, 2021) och ett antaget värde av 300 000 kr/kg PGM i deras sålda material. Det värdet motsvarar ungefär 2/3 av den rena metallen år 2020, om den rena metallen är 75 % platina och 25 % palladium. Antagandet 2/3 av priset för ren metall utgår från att det inte är ett rent material och förhållandet 75/25 av platina/palladium utgår från en någorlunda trolig sammansättning av platinagruppermetaller i katalysatorerna. Mängden importerade platinagruppermetaller från uttjänta fordonskatalysatorer har beräknats utifrån importdata för platinaskrot, med KN-kod 71129200¹, där det framgår att det importerades ca 15 ton platinaskrot till ett värde av ca 2,7 miljoner kr under 2020 (SCB, 2021a). Om importerat platinaskrot har en genomsnittlig halt på 2 700 g PGM/ton, vilket skulle motsvara det keramiska materialet från uttjänta katalysatorer (Wiecka et al., 2022), så skulle det motsvara 0,04 ton platinagruppermetaller. Eftersom summan av importerat och eget avfall är lägre än vad som beräknats bli återvunnet så återstår det ca 0,5 ton platinagruppermetaller från okänt ursprung.

Inom projektet gjordes olika uppskattningar av mängden platinagruppermetaller från *elektronik*, vilket redovisas under rimlighetsbedömningen av uppskattade mängder. Den mängd som syns i Figur 8 utgår från information från El-kretsen (2019) som säger att de samlar in ca 80 000 ton/år (åren 2018–2019) av ”diverse elektronik”, vilket är ett material som enligt dem innehåller ca 0,0005 % (5 ppm) palladium. Det skulle motsvara 0,4 ton palladium och utifrån de siffror som redovisas från El-kretsen för övriga material så är det troligtvis inga stora mängder palladium i det

¹ Avfall och skrot av platina, inklusive metall med plättering av platina, och annat avfall och skrot innehållande platina eller platinaföreningar av sådana slag som huvudsakligen används för återvinning av ädla metaller (exklusive aska innehållande platina eller platinaföreningar, avfall av platina nedsmält till obearbetade block, tackor eller liknande former samt guldsmedssopor innehållande andra ädla metaller).

övriga material som de samlar in. Den förlorade mängden palladium från elektronik utgår från plockanalyser av hushållsavfall (Avfall Sverige, 2016) samt egna antaganden om halten palladium i det materialet. Utöver det så antas även att halten rutenium i elektroniken är 30 % av mängden palladium, vilket enligt data för EU/global konsumtion (European Commission, 2020c) skulle motsvara förhållandet mellan rutenium och övriga platinagruppermetaller i konsumerad elektronik. Mängden rutenium antas finnas i en annan del av elektroniken än vad som går till återvinning via Boliden och går därför förlorade i en icke-funktionell återvinning. Rutenium förväntas hittas i elektriska kontakter och till viss del i hårddiskar. Palladium förväntas hittas i kondensatorer och integrerade kretsar som sitter fast på kretskort.

Från SCB:s statistik (SCB, 2020f) över insamlad mängd elutrustning, med egna antaganden om mängd kretskort per materialkategori (vilket redovisas ytterligare längre ner under rimlighetsbedömningen av uppskattade mängder), så går det även att utläsa att insamlad mängd kretskort de senaste åren motsvarar ungefär två tredjedelar (67 %) av vad som såldes samma år. Det varierar dock kraftigt mellan åren men ger en uppskattning av hur mycket palladium som förloras och eventuellt ackumuleras hos konsumenterna varje år i form av elektronik (kretskort i produkter). En undersökning från reBuy (2022) säger att svenskar har i snitt 1,31 mobiltelefoner/capita som ligger oanvända hemma, det vill säga 13,5 miljoner mobiltelefoner. Dessa motsvarar ca 0,2 ton palladium (Tsfaye et al., 2017). Ackumulerad mängd platinagruppermetaller är inte inkluderad i Figur 8.

Mängden återvunna platinagruppermetaller från elektronik kommer från Boliden, där siffror från deras årsrapport säger att de producerar ca 2 ton palladiumkoncentrat varje år (Boliden, 2021a). Sammansättningen av detta koncentrat ser ut att bestå nästan uteslutande av palladium enligt de säkerhetsblad som går att hitta (Boliden, 2021b). Det faktum att inga av deras svenska malmer ser ut att innehålla några platinagruppermetaller och det faktum att koncentratet innehåller väldigt små mängder av andra metaller än just palladium säger att det troligtvis nästan uteslutande kommer ifrån återvunnen elektronik, det vill säga ca 2 ton palladium per år.

Importerad mängd elektronik är baserad på data från Naturvårdsverket (2021) som säger att Sverige importerade ca 50 000 ton elektronikavfall/år under åren 2010–2019. Det verkar som att det var lite mindre under de första åren och lite mer under de senare åren, så det antas att ca 60 000 ton importerades 2020. Mest elektronikavfall importerades från Norge, Danmark, Finland och Island. Den totala mängden elektronikavfall från dessa fyra länder var så stor att det är rimligt att anta att den inkluderar så gott som alla insamlade kretskort. Mängden palladium i dessa kretskort antas vara 0,8 ton, baserat på att dessa fyra länder tillsammans har nästan dubbelt så hög BNP som Sverige och Sveriges elektronikskrot innehåller ungefär 0,4 ton palladium. Övriga länder som vi importerat elektronikskrot från skulle vi i så fall kunna anta skickar bara det värdefullaste, det vill säga endast kretskort. Om det materialet har en palladium-koncentration på 100 ppm så skulle det motsvara ungefär 0,06 ton palladium per år. Detta scenario har inkluderat de högsta siffror

som vi använder i våra antaganden, både från eget avfall och importerat avfall. Det blir ändå nästan 0,8 ton palladium med okänt ursprung, som är elektronik.

Antingen så har det skrotats mer elektronik än vad som framkommer från de siffror som vi har använt oss av eller så har det importerats material som har sitt ursprung från elektronikskrot men som ändå inte klassats som avfall och därmed inte syns i statistiken för avfall. Därför har det i Figur 8 även inkluderats ett flöde från okänt ursprung som går till återvinning i Sverige.

Sekundära flöden av platinagruppermetaller från *juveler/tänder, kemi/elektrokemi* och *övrigt* utgår från mängden en omräkning från EU-konsumtion eller global konsumtion (European Commission, 2020c) till motsvarande svensk konsumtion baserad på BNP. Avfallsmängden antas vara 80 % av konsumtionen. Dessa flöden är i själva verket okända men de har troligtvis ett högt värde och flödena från i alla fall juveler/tänder samt kemi/elektrokemi borde vara relativt enkla att samla in. Därför har det antagits att de två flödena säljs vidare, vilket i det här fallet innebär att de går på export. I brist på bättre information så antogs det att mängden övrigt gick förlorad.

Rimlighetsbedömning av uppskattade mängder

Antalet fordonskatalysatorer är troligtvis en säker information, men halten platinagruppermetaller per katalysator är mer osäker. Halten platinagruppermetaller kan variera kraftigt beroende på tillverkare och tillverkningsår. Litteraturuppgifter säger att det är cirka 2 gram per uttjänt/skrotad katalysator i snitt (Wiecka et al., 2022). Halten platinagruppermetaller i katalysatorer från tunga fordon är antaget utifrån att tunga lastbilar drar cirka 10 gånger mer bränsle per mil än vad en personbil gör. Om halten platinagruppermetaller i katalysatorer från tunga fordon också hade varit 2 gram per katalysator (det vill säga att halten 2 gram är ett medelvärde som inkluderar tunga så väl som lätta fordon) så skulle det motsvara 0,1 ton mindre platinagruppermetaller från eget avfall i Sverige, vilket samtidigt innebär 0,1 ton mer från okänt ursprung. Om vi i stället hade utgått ifrån EU-konsumtion och global konsumtion av platinagruppermetaller (European Commission, 2020c) så skulle det motsvara 3,5 ton PGM/år, vilket är betydligt högre än de 0,5 ton platinagruppermetaller som redovisas i Figur 8. Konsumtionen förväntas dock vara högre än vad som faktiskt blir avfall, dels för att kraven på katalytisk rening är högre på nyproducerade fordon jämfört med äldre, dels för att antalet registrerade fordon är högre än antalet avregistrerade/skrotade, men även för att en del platinagruppermetaller försvinner under användningsfasen.

Mängden återvunna platinagruppermetaller från Arc Metal är väldigt osäker då det endast baseras på företagets omsättning. Vi har inte undersökt vad deras intäkter baseras på. Om deras intäkter exempelvis till stor del baseras på att de smälter ner material åt någon annan och bara tar en provision på tjänsten så blir resultatet ett helt annat. För att få säkrare uppgifter i en eventuellt framtida studie så måste denna uppgift styrkas exempelvis via en intervju med någon representant från företaget.

Den importerade mängden fordonskatalysatorer baseras på importdata. Denna statistik visar att det importerades ca 15 ton platinaskrot till ett värde av ca 2,7 miljoner kr under 2020. Om vi i stället hade utgått från värdet av platinagruppermetaller i skrotet, med samma antagande om 300 000 kr/kg PGM som för Arc Metals återvinning, så skulle det motsvara knappt 0,01 ton platinagruppermetaller. Ett lägre skrotpris resulterar i en större mängd platinagruppermetaller, vilket är troligt i det här fallet eftersom det inte skulle importeras för återvinning om det kostar lika mycket som det sedan är värt efter återvinningen. En kontroll mot importdata av katalysatorer som eventuellt innehåller platinagruppermetaller (KN-kod 38151200² och 71151000³) säger att det importerades ca 206 ton katalysatorer till ett värde av ca 78 miljoner kr under 2020 (SCB, 2021b), vilket skulle kunna resultera i så mycket som 0,6 ton platinagruppermetaller om det materialet innehåller 2 700 g PGM/ton katalysator. Det är inte helt omöjligt att en del av det okända flödet av platinagruppermetaller från fordonskatalysatorer gömmer sig i den här importen.

Återvunnen mängd palladium från Boliden är relativt säkert då det kommer direkt från deras egen årsrapport, men det är en avrundad siffra så mängden kan vara någonstans mellan 1,5 och 2,5 ton palladium under år 2020. Utifrån de senaste tio årens produktion (2011–2020) så är det troligt att mängden palladiumkoncentrat är mer än 2 ton/år. Av dessa tio år så är det två år som resulterat i 3 ton palladiumkoncentrat och åtta år som resulterat i 2 ton palladiumkoncentrat (snitt på 2,2 ton/år utifrån avrundade siffror). De säkerhetsdatablad som beskriver deras palladiumkoncentrat tyder på att vårt antagande om att rutenium ligger i någon annan del av elektroniken troligtvis är korrekt, eller så har halten rutenium i elektronik kraftigt missbedömts utifrån global konsumtion (European Commission, 2020c). Mängden förlorad rutenium är dock osäker då det baseras på antaganden samt avsaknad av information om hur det materialet eventuellt tas om hand.

Mängden palladium från eget avfall i form av elektronik baseras på uppgifter från El-kretsen och det är lite osäkert hur pass tillförlitliga de uppgifterna är, då El-kretsen själva inte utvinnet palladium ur materialet. Det är dessutom avrundade siffror som skulle kunna variera från 0,34 ton palladium (4,5 ppm, 75 000 ton) till 0,47 ton palladium (5,5 ppm, 85 000 ton) beroende på hur det avrundats. EU-rapporten om kritiska råmaterial (European Commission, 2020c) säger att ca 7 % av EU:s användning av palladium ligger i elektronik, vilket borde motsvara 0,15 ton palladium (0,26 ton PGM) om det skalas ner till svensk nivå baserat på BNP, vilket är betydligt lägre än de 0,4 ton palladium (0,6 ton PGM) som tagits med i Figur 8. Dessutom är det en jämförelse mellan vad som används och vad som blir avfall, vilket gör att skillnaden troligtvis är ännu större. Om vi i stället utgår från SCB:s statistik över insamlad mängd elutrustning så måste vi göra några

² Katalysatorer utfälda på en bärsubstans, med ädel metall eller föreningar av ädel metall som aktiv beståndsdel, i.a.n.

³ Katalysatorer i form av trådduk eller trådnät av platina

antaganden om mängden kretskort och palladium i olika typer av utrustning. I ett försök att efterlikna de data som går att utläsa ur Tesfaye (2017) kan vi göra följande antaganden:

- IT- och telekommunikationsutrustning består till 10 % av kretskort, som innehåller 100 ppm palladium,
- hemutrustning och solcellspaneler (antas vara huvudsakligen hemutrustning) består till 1 % av kretskort, som innehåller 10 ppm palladium,
- all övrig elektronik och elektronisk utrustning består till 0,5 % av kretskort, som innehåller 5 ppm palladium.

Dessa halter resulterar i totalt 0,3 ton palladium, men är då till stor del baserade på egna antaganden. Med dessa jämförelser i åtanke så är det rimligt att anta att de siffror som använts (0,4 ton palladium) troligtvis stämmer till viss del trots allt, men är troligtvis inte en underskattning.

Importerad mängd elektronik är baserad på importdata av ett flertal avfallskoder (EWC-koder). Problemet där är, som för övriga flöden av platinagruppermetaller, att det är svårt att uppskatta koncentrationen av platinagruppermetaller i materialet. Problemet försvåras av att flera importörer rapporterade som en kombination av två eller fler avfallskoder. Samma slutsats drogs också i en nyligen avslutad kartläggning av flöden av småelektronik i Sverige (SMED, 2020). Det lättaste hade varit att anta att importerad mängd helt enkelt skulle vara balansen av övriga flöden, men när vi kontrollerade var avfallet kom ifrån så skulle det innebära orimligt stora mängder platinagruppermetaller från våra grannländer. De använder troligtvis inte mycket mer per person (eller per BNP) än vad vi gör i Sverige. Även när vi använder de största siffror som vi vågar anta så blir det ändå nästan 0,8 ton palladium från något okänt ursprung, vilket tydligt visar att det ligger någon osäkerhet i det här som inte identifierats.

De sekundära flödena av platinagruppermetaller från juveler/tänder, kemi/elektrokemi och övrigt är så gott som helt okända och hanteringen av dessa flöden är också okända. Omräkningen från EU-konsumtion och global konsumtion (European Commission, 2020c) borde ge ett värde som är i ungefär rätt storleksordning, men utifrån övriga jämförelser som vi gjort mot dessa data så ser vi ibland stora skillnader mot våra beräkningar.

Den totala exporten av sekundära platinagruppermetaller är svår att uppskatta då vi inte vet under vilken kategori som Arc Metal och Boliden exporterar sitt material. En kontroll av exporterad mängd platinaskrot (KN-kod 71129200⁴) säger att det

⁴ Avfall och skrot av platina, inklusive metall med pläterring av platina, och annat avfall och skrot innehållande platina eller platinaföreningar av sådana slag som huvudsakligen används för återvinning av ädla metaller (exklusive aska innehållande platina eller platinaföreningar, avfall av platina nedsmält

exporterades 312 ton platinaskrot till ett värde av 1 155 miljoner kr. Med en prisuppskattning på 300 000 kr/kg PGM, på samma sätt som vi antog vid återvinning av platinagruppmetaller från katalysatorer, så resulterar det i en export på 3,8 ton platinagruppmetaller. Om priset per kg platinagruppmetaller är något högre, till exempel för att Boliden återvinner framför allt palladium som år 2020 hade ett högre pris än platina, så resulterar det i en mindre mängd platinagruppmetaller. Summan av alla exporter av sekundära platinagruppmetaller som vi räknat fram, inklusive det material som återvinns, blir 3,6 ton. Det baseras på många antaganden men exportdata tyder ändå på att våra uppskattningar skulle kunna vara i rätt storleksordning i alla fall.

Identifierade dataluckor

Det har visat sig vara riktigt svårt att få fram data för vilka halter platinagruppmetaller som finns i olika materialflöden som det går att få fram statistik för. I fallet med uttjänta katalysatorer så fanns det litteraturdata att utgå ifrån. I fallet med elektronik så fanns det också litteraturdata, men det visade sig variera kraftigt mellan olika typer av elektronik där det var svårt att hitta tillräckligt detaljerade data för just vilken typ av elektronik som finns i avfallet. I andra fall var vi tvungna att utgå ifrån värdet av materialet, till exempel i export av platinaskrot och vid Arc Metals återvinning. Då värdet på materialet kan variera kraftigt beroende på halten av olika metaller samt föroreningar så var vi tvungna att utgå ifrån spekulationer.

I de import/export-data som går att få fram så finns det mycket lite information om de olika platinagrupsmetallerna, förutom i de få fall som de råkar importeras i ren form där det delas upp på platina, palladium och rodium var för sig samtidigt som iridium, osmium och rutenium buntas ihop. I dessa fall går det att få fram viktdata i form av gram, det vill säga inte bara ton, vilket resulterar i ca 0,4 ton import och 0,1 ton export per år, men materialet har troligtvis en PGM-halt som ligger en bra bit under 100 % om man tittar på det ekonomiska värdet av importen/exporten som är lägre än 300 000 kr per ton trots att en stor del av materialet består av andra (dyrare) metaller än platina.

I övriga import/export-data så verkar det som att alla platinagruppmetaller grupperas ihop under platina eller ännu oftare under ädla metaller. När de klassas ihop med andra ädla metaller, som guld och silver, så är det helt omöjligt att försöka göra någon uppskattning av flödet då både vikten och värdet troligtvis helt domineras av de andra ädelmetallerna.

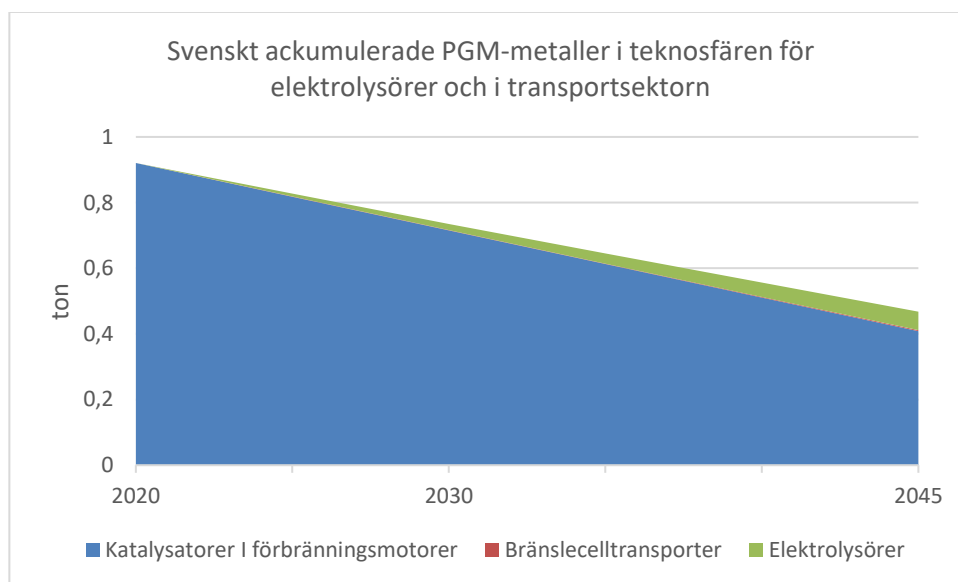
Då en stor del av återvunna platinagruppmetaller i vår analys har visat sig komma från okända källor så är det uppenbarligen något som inte framkommer ur den statistik som vi har hittat. Det är troligtvis en del elektronik och fordonskatalysatorer som samlas in eller importeras för återvinning utan att det tas

till obearbetade block, tackor eller liknande former samt guldsmedssopor innehållande andra ädla metaller).

med i statistiken, eller så döljer det sig under någon kategori som inte uppenbart är skrot eller avfall.

Prognosticerad utveckling

Bränsleceller med vätgas har haft en historiskt varierande utveckling, men under de senaste åren har de tagits på mer allvar än tidigare. Vätgas är koldioxidneutralt vid användning och möjligheten finns att producera koldioxidneutral vätgas om energikällan är koldioxidneutral. Vätgas kan dessutom lagras över lång tid, vilket kan ge stabilitet till ett elnät som till stor del baseras på intermittenta energikällor, förutsatt att produktionen av vätgas anpassas efter tillgången på el. Det behövs katalysatorer i elektrolysörer för att möta behovet av både vätgasproduktion och bränsleceller. Det finns ett flertal olika typer av elektrolysörer/katalysatorer med olika egenskaper och som använder olika material som katalysatorer. Figur 9 visar prognosen för den ackumulerade mängden platinagruppermetaller (platina, palladium och rodium) i den svenska teknosfären för transportsektorn och elektrolysörer. Den neråtriktade trenden beror på att det antas bli färre bilar med förbränningsmotorer registrerade på vägarna då de till stor del antas ersättas med fordon utan förbränningsmotorer. Antalet bränslecellsfordon och PGM-mängden i bränslecellerna är inte stor nog för att göra någon märkbar skillnad i trenden. Dock så är PGM-behovet i katalysatorerna i elektrolysörer för vätgasframställning något märkbart, men inte stort nog för att ändra den nedåtriktade trenden nämnvärt.



Figur 9. Prognos för den ackumulerade mängden platinagruppermetaller i fordonskatalysatorer för personbilar, vätgas-elektrolysörer, och bränsleceller i personbilar.

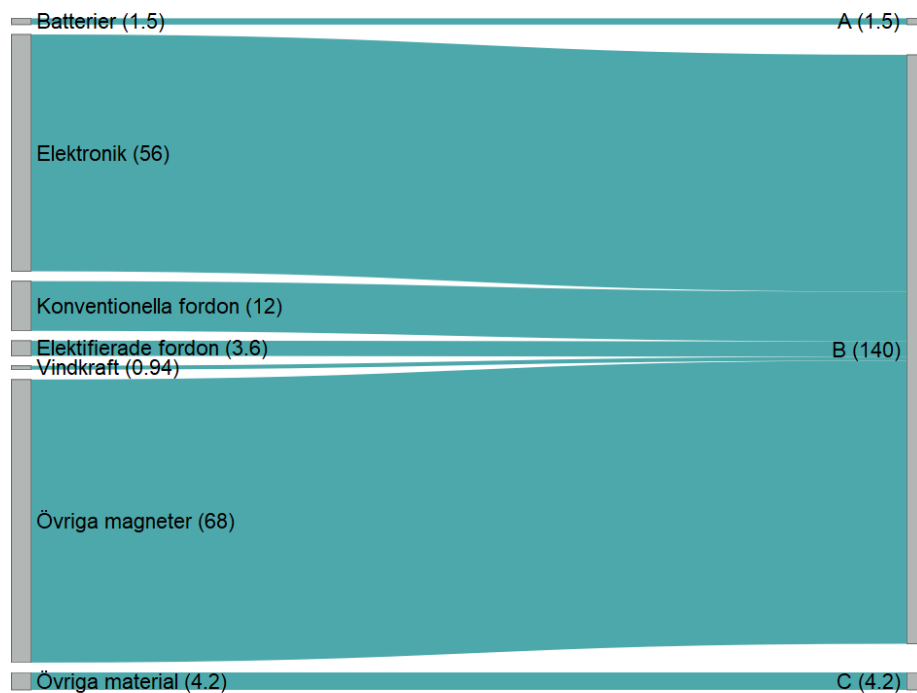
Råmaterialinnehållet i katalysatorer och elektrolysörer för vätgasproduktion och vätgasanvändning togs ur en artikel från Ny Teknik (2021) om de mineral som kommer vara kritiska för vätgasboomen. För att approximera PGM-innehållet för elektrolysörer för vätgasproduktion som kommer behövas i framtiden användes

Sveriges förslag till vätgasstrategi för 2030 och 2045 (Energimyndigheten, 2021a). För att approximera hur mycket katalysatormaterial för vätgasdrivna fordon som kommer behövas för 2030 och 2045 har International Energy Agency globala behov av bränslecelltransporter ändvänts (IEA, 2020) och skalats ner till svensk BNP. För antalet fordon med förbränningsmotorer användes Trafikanalys scenarier för 2020 och 2030 (Trafikanalys, 2020) och en extrapolering gjordes för värdet för 2045.

Kvantitativa skattningar för neodym

Dagens sekundära flöden och återvinning

Neodym och vissa andra sällsynta jordartsmetaller, så som praseodym och dysprosium, spelar en viktig roll i framställningen av permanentmagneter, så kallade NdFeB-magneter. Dessa tre metaller står för ca 84 % av det totala ekonomiska värdet av sällsynta jordartsmetaller och användningen av dessa förutspås öka kraftigt de närmaste åren, framför allt inom sektorerna vindkraft och elektrifierade fordon (European Commission, 2020c). Det finns dock andra tekniker för att framställa magneter, både permanentmagneter och elektromagneter, som kan konkurrera med NdFeB-magneter. Det innebär att mängden neodym i ett vindkraftverk eller i en elbil kan variera kraftigt beroende på modell och tillverkare. I den här studien har neodym använts för att ge en skattning av alla de sällsynta jordartsmetaller som används för framställning av permanentmagneter. Figur 10 visar de flöden av neodym från uttjänta produkter som identifierats i den här studien. Värdena är skattningar av flöden från 2020, eller så nära 2020 som är möjligt. Vindkraftverk och elektrifierade fordon bidrar än så länge endast till en ytterst liten del i de sekundära flödena. Det mesta av avfallet kommer än så länge från elektronik och övriga magneter. Det har inte identifierats några återvinnare av neodym i Sverige. Då neodym återvinns i mycket liten skala från uttjänta produkter, även globalt, så har vi valt att i stället illustrera Figur 10 utifrån produktkategorier. I produktkategori A ingår NiMH-batterier som vi vet att det finns återvinnare för i dagsläget (Umicore, 2021), men det är inte säkert att neodym återvinns från svenska batterier. I produktkategori B ingår alla NdFeB-magneter, ett material som det har forskats en hel del om just för återvinning och vi ser en god potential för att det materialet kommer återvinnas kommersiellt inom en relativt snar framtid. Inom produktkategori C ingår övriga material, vilket bland annat inkluderar glas, keramik och katalysatorer, vilket är material som vi inte ser någon kommersiell återvinning av inom den närmsta tiden.



Figur 10. En skattning av sekundära flöden av neodym från uttjänta produkter i Sverige år 2020. Alla redovisade värden är i form av ton neodym per år. A = material som kan återvinnas i dagsläget, B = material som troligtvis kommer återvinnas inom en snar framtid, C = material som troligtvis inte kommer återvinnas inom en snar framtid.

De två största flödena av sekundär neodym från svenska uttjänta produkter ser ut att komma från *elektronik* och *övriga magneter*. Dessa två flöden är beräknade utifrån global användning av neodym (European Commission, 2020c) med en omräkning till svensk konsumtion utifrån Sveriges del av global BNP. I dessa beräkningar så har det antagits en livslängd på 7 år för elektronik, 15 år för luftkonditionering och 10 år för övrigt. Då de data som gick att utläsa endast sträckte sig tillbaka till 2013 så har det antagits en linjär utveckling de senaste 15 och 10 åren för luftkonditionering och övriga magneter. I diagrammet i Figur 10 så ingår både luftkonditionering (drygt 4 ton neodym) och övrigt (drygt 63 ton neodym) i flödet för övriga magneter (totalt nästan 68 ton neodym). I flödet för elektronik (56 ton neodym) så ingår exempelvis hårddiskar, högtalare och elektriska motorer (utöver från motorer i fordon). Det tredje största flödet för sekundär neodym i Sverige ser ut att vara från *konventionella fordon*, vilket då framför allt sitter i elektrisk servostyrning. Det flödet har beräknats utifrån antalet skrotade personbilar (Trafikanalys, 2021) där det antogs att varje personbil innehåller i snitt 75 gram neodym utifrån beräkningar av Yang, et al. (2017).

Flödet av neodym från uttjänta *batterier* utgick ifrån samma beräkningar av NiMH-batterier som i beräkningen av koboltflödet, det vill säga antalet fordon är det samma och batteristorleken är det samma. Det inkluderades även data för

insamlade batterier via batteriinsamlingen (SCB, 2020e). För att beräkna metallmaterial per NiMH-batteri användes data från Larsson et al. (2013).

Flödet av neodym från elmotorer ifrån uttjänta *elektrifierade fordon* utgick också ifrån samma beräkning av antalet BEV, HEV, PHEV, bussar och elcyklar som i beräkningen av koboltflödet, det vill säga antalet fordon är det samma. Elcyklar antas innehålla 100 gram neodym per cykel i snitt. BEV, HEV, PHEV och bussar beräknas innehålla ungefär 375 gram neodym per fordon i snitt, beräknat utifrån data från Yang, et al. (2017).

För att approximera mängden sekundär neodym från uttjänta *vindkraftverk* så antogs livslängden för alla svenska vindkraftverk vara 25 år och därmed togs statistik för nyinstallerad vindkraft från 1995 som representativt för uttjänta vindkraftverk i dagsläget (Energimyndigheten, 2021c). Det antogs också att varje landbaserat vindkraftverk innehåller i snitt 32 kg neodym per megawatt och varje havsbaserat vindkraftverk innehåller i snitt 204 kg neodym per megawatt (European Commission, 2020f). Det antogs dock att alla vindkraftverk från 1995 var landbaserade.

Mängden *övriga material* utgår ifrån Ciacci et al (2019) som redovisar att EU-28 använder ca 150 ton neodym till keramik, katalysatorer och annat övrigt material, vilket räknats om till svensk nivå utifrån BNP. Det antogs att avfallsmängden motsvaras av 80 % av konsumtionen.

Rimlighetsbedömning av uppskattade mängder

De största flödena av sekundär neodym är baserade på global konsumtion och endast omvandlade till en storleksuppskattning utifrån den svenska andelen av global BNP. Det är alltså mycket grova uppskattningar och har inte kontrollerats utifrån svenska data för import, export, produktion eller avfallshantering. Det är å andra sidan rimligt att anta att svensk konsumtion av exempelvis elektronik och övriga magneter borde någorlunda följa samma mönster som den globala konsumtionen. Däremot så är det värt att ifrågasätta om svensk konsumtion av luftkonditionering följer samma mönster som global konsumtion då det troligtvis är väderberoende, men eftersom det gav ett relativt litet bidrag till helheten så valde vi att ha det kvar i den skattningen.

Om vi jämför de totala flödet av sekundär neodym från Sverige, vilket alltså till stor del är beräknat utifrån global konsumtion, med de data som presenteras för EU-konsumtion i European Commission (2020c) så ser vi en kraftig avvikelse. Där ser det ut som att den totala EU-konsumtionen av REE-magneter är ungefär lika stor som det sekundära flödet av neodym från Sverige. Det är inte rimligt och vår tolkning av det är att konsumtionsdata i den rapporten syftar på vad som konsumeras inom industrin, inte vad som finns i slutprodukten och så småningom hamnar i det sekundära flödet av uttjänta produkter som har potential att återvinnas. Det går till exempel att utläsa att Kinas konsumtion av sällsynta jordartsmetaller har ökat från att vara ca 25 % av den globala konsumtionen år 2000 till att vara ca 70 % av globala konsumtionen år 2019, vilket tyder på att det

snarare handlar om industriell konsumtion än användning i slutprodukterna. En jämförelse med till exempel Ciacci et al. (2019) som har kartlagt produkter i stället för produktion inom EU visar siffror som är mer i linje med den här kartläggningen. Där har det å andra sidan redovisats något annorlunda siffror än vad vi har använt för hur mycket neodym som finns i olika produkter, vilket förtydligar just hur osäkert det kan vara.

När det kommer till de områden som förväntas öka snabbt den närmaste tiden, nämligen vindkraften och elektrifierade fordon, så ser vi att det är fullt rimligt att anta att de endast ger ett litet bidrag än så länge då de i stor utsträckning fortfarande används och inte har hunnit bli avfall ännu. Det är däremot en svårighet att få fram ett exakt värde på dessa sektorer, framför allt på grund av att mängden neodym per produkt kan variera enormt beroende på modell och tillverkare. Om ett enda någorlunda nytt vindkraftverk råkar skrotas i förtid så kan det innebära att mängden sekundär neodym från vindkraften fördubblas jämfört med vår kartläggning, det vill säga att det läggs till ett extra ton neodym. Om svenskar föredrar en specifik tillverkare av elbilar så kan det också förändra resultatet kraftigt, beroende på vilken typ av elmotor som den tillverkaren använder i sina elbilar. De data som har tagits fram i den här studien för vindkraft och elektrifierade fordon har inte inkluderat i vilken utsträckning olika modeller av fordon och vindkraftverk som används i Sverige. Modellen bygger dessutom på historiska inköp och en grov uppskattning av livslängd, inte hur mycket som egentligen skrotas.

För konventionella fordon samt för elektrifierade fordon så kan vi till exempel jämföra med de två Volvomodeller som redovisats i en rapport från Chalmers Energiavdelning (Ljunggren & Ingemarsdotter, 2014). I deras fall så har en specifik konventionell personbilsmodell 43 gram neodym per fordon, men i vårt fall så räknade vi med 75 gram i snitt för alla. Deras specifika hybridmodell har 530 gram neodym, men i vårt fall räknade vi med 450 gram (375 gram i elmotorn och 75 gram i övrigt) i snitt för alla. Om vi i stället hade utgått från deras siffror så hade det resulterat i 5 ton mindre neodym från konventionella fordon och 0,3 ton mer neodym från elektrifierade fordon. Det är dock siffror som baseras på endast en modell av varje typ av fordon och får i det här fallet mer räknas som att det bekräftar att det troligtvis är i rätt storleksordning men kan variera från fordon till fordon.

Identifierade dataluckor

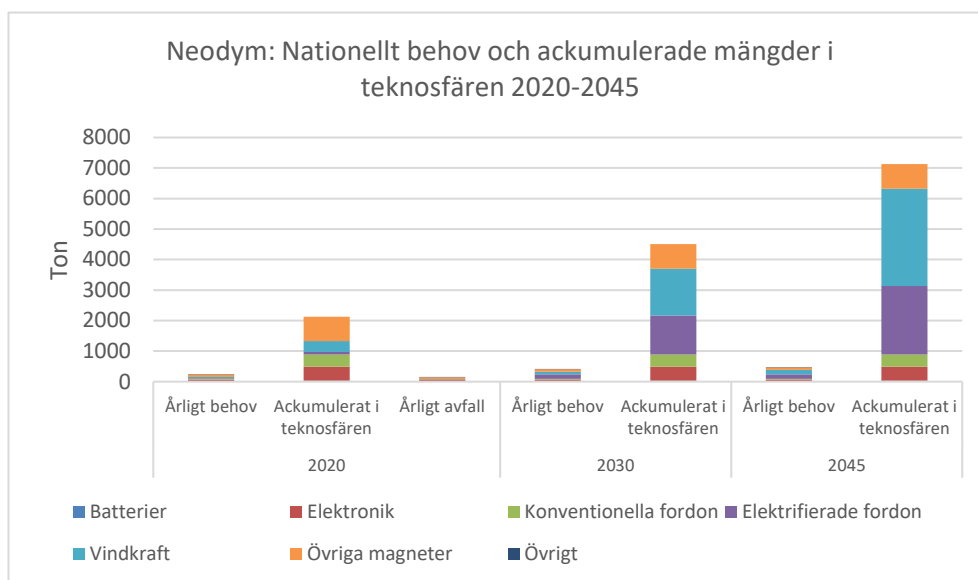
Precis som i flödesberäkningarna av övriga kartlagda råmaterial så är det svårt att få fram uppgifter på hur hög halten av neodym är i olika produkter. I fallet med neodym så blev det till och med ännu tydligare då magneter kan göras på ett flertal olika sätt och att inte alla innehåller neodym.

Det gick i den här studien inte att få fram data för vilka modeller av vindkraftverk eller elektrifierade fordon som producerats. Det visade sig också vara svårt att få fram data för hur många vindkraftverk och elektrifierade fordon som skrotas varje år, endast hur många som installeras/registreras.

Det lades inte någon större vikt vid att försöka få fram motsvarande data för elektronik eller övriga magneter, men det är troligtvis liknande problem där.

Prognosticerad utveckling

Figur 11 visar trender för neodym i behov för 2030 och 2045 enligt två av Energimyndighetens scenarier (Energimyndigheten, 2021b) för vindkraften och med den förväntade ökningen i neodym i elektrifierad transport (Power Circle, 2018; Power Circle, 2019). Antaget är att behov av neodym för andra tillämpningar hålls konstant. Det är också antaget att enbart neodymmagneter används och inte andra substitut. Detta antagande bygger på att neodymmagneter är de permanentmagneter ger starkast magnetfält i dagsläget, vilket generellt leder till mer effektiva generatorer och elmotorer.



Figur 11. Figuren visar för 2020, 2030, och 2045, det årliga behovet av neodym uppdelat i olika produktkategorier. Detsamma har gjorts för det ackumulerade neodymet i teknosfären. En stapel har också skapats för att visa på avfallet från produktkategorier med neodym för 2020. Staplar för 2030 och 2045 bygger på Energimyndighetens *Scenarie Elektrifiering* för 2030 och 2045 (Energimyndigheten, 2021b).

Figur 11 visar att trenden för ackumulerat neodym kommer stiga snabbt i Sverige om vindkraften ska byggas ut och transportsektorn ska elektrifieras. Livslängden för elfordon har i referensen (Power Circle, 2018) antagits vara 17 år medan livslängden för vindkraftverk kan vara något högre, uppåt 25 år eller mer. Då den stora ökningen av elmotorer i elbilar och utbyggnad av vindkraftverk redan har börjat så är det rimligt att säga att en märkbar skillnad på avfallet från dessa produktkategorier kommer ske efter 2030 och därefter fortsätta. Magneter i vindkraftsgeneratorer är i dagsläget stora och har därför större möjlighet att återvinnas effektivt då det i praktiken bör bli mindre förluster i stegen före materialet kommer fram till återvinningscentralen. Magneter i elbilar är betydligt

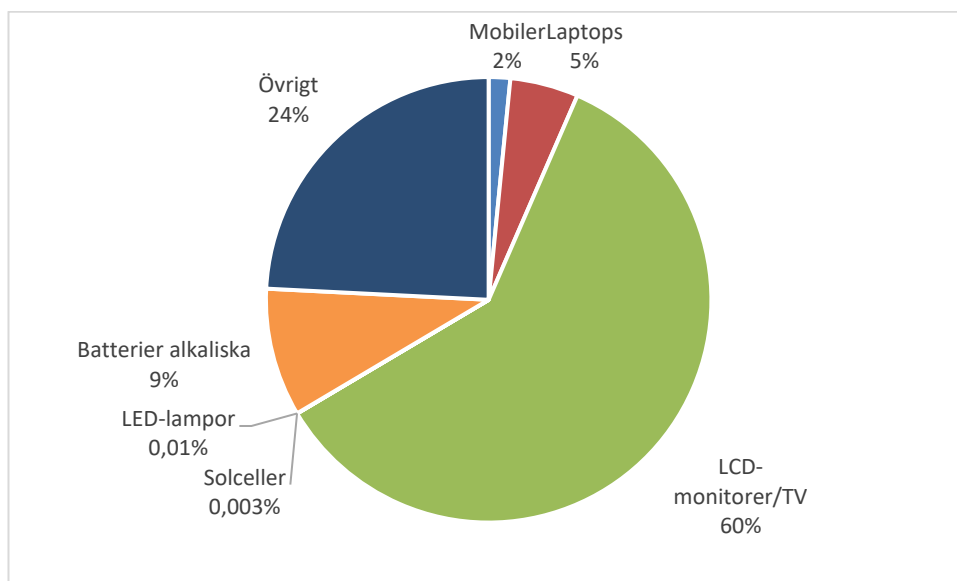
mindre och fler i antal, vilket kräver mer arbete för att separera från elmotorerna och göra färdigt för återvinning. Magneter från småelektronik, såsom hörlurar och mobiltelefoner, är mycket små och är också mycket svåra att separera ut i ett rent flöde till en rimlig kostnad. De kan möjligtvis separeras ut i ett blandat flöde ihop med ferromagnetiskt skrot där magneterna senare kan avmagnetiseras genom värme och på så vis separeras från övrigt skrot.

I behovet för 2045 ingår även neodym som behövs för att bygga ut nya vindkraftverk för att ersätta gamla (antagen 25 års livstid). Elbilarnas livslängd antas vara 17 år, vilket även inkluderar nyregistreringar för att ersätta de som skrotas.

Kvantitativa skattningar för indium

Dagens sekundära flöden och återvinning

Indium används i dagsläget framför allt i form av indium-tenn-oxid (ITO) som är ett transparent och elektriskt ledande material. Det används bland annat på plattskärmar (TV, datorskärmar, mobiler och så vidare) men även på solceller. Då solceller förväntas öka kraftigt i användning så har indium inkluderats i denna studie för att undersöka huruvida detta sekundära flöde kan spela någon väsentlig roll för en svensk energiomställning. Figur 12 visar de flöden av indium från uttjänta produkter som identifierats i den här studien. Värdena är skattningar av flöden från 2020, eller så nära 2020 som är möjligt. Solceller bidrar än så länge endast till en mycket liten del i de sekundära flödena. Det mesta av avfallet kommer, än så länge, från olika former av plattskärmar. Det har inte identifierats några faktiska återvinnare av indium i Sverige, även om det har identifierats två aktörer som har tekniken eller ambitionen att återvinna indium åtminstone från industriellt spill. Då indium återvinns i mycket liten skala från uttjänta produkter, även globalt, så har vi valt att i stället illustrera Figur 12 utifrån vad som har identifierats som avfall. Den totala mängden indium i uttjänta produkter har beräknats vara ca 1 900 kg år 2020.



Figur 12. En skattning av sekundära flöden av indium från uttjänta produkter i Sverige år 2020. Den totala mängden har beräknats till ca 1 900 kg indium.

Flödena av *mobiler*, *bärbara datorer*, *LCD-monitorer/TV*, *solceller* och *LED-lampor* har beräknats utifrån svensk konsumtion av samma produkter och antagna koncentrationer av indium i produkterna. För konsumtionen användes import- och exportdata samt produktionsdata (baserat på KN-koder). För mobiler antogs en livslängd på 2 år, vilket innebär att avfallet baseras på nettoimport och produktion för år 2018. För bärbara datorer antogs en livslängd på fem år och för LCD-monitorer/TV antogs en livslängd på sex år, med tillhörande data från 2015 och 2014. I fallen med LED-lampor och solceller så gick det inte att utläsa några rimliga mängder tillräckligt långt tillbaka i tiden. För LED-lampor antogs i stället att mängden avfall motsvaras av 5 % av konsumtionen 2020. För solceller antog vi 30 års livslängd och utgick från data som tyder på att det installerades ca 100 kW solceller år 1990 (Energimyndigheten, 2016). För solceller har det endast inkluderats uppskattad mängd indium i form av ett tunt skikt av ITO på solceller generellt, inte själva solcellsmaterialet från tunnfilmssolceller exempelvis i form av CIGS. Halten indium i materialen uppskattades till 47 g/ton för mobiler, 32 g/ton för bärbara datorer, 111 g/ton för LCD-monitorer/TV, 0,67 g/ton för LED-lampor och 3,8 g/ton för solceller. Dessa data baseras till stor del på data från Yang (2015), Virolainen et al. (2011), Zhou et al. (2019) och Chen et al. (2020) samt egna uppskattningar om ungefärlig storlek och vikt på produkterna.

Flödet av indium från *alkaliska batterier* har beräknats utifrån såld mängd batterier (SCB, 2020e) med en antagen livslängd på två år. Halten indium i materialet har antagits vara 47 gram indium per ton batterier, baserat på data från Indium Corporation (2008) som vi har tolkat som att förhållandet indium/zink i batterierna troligtvis är lägre än 0,5 % i snitt vilket därför antogs vara 0,2 %.

Flödet av indium från *övrigt* har uppskattats utifrån EU-konsumtion (European Commission, 2020c), med en omräkning baserat på BNP. Det har antagits att

avfallsflödet motsvaras av 80 % av konsumtionen samma år. Detta flöde inkluderar halvledare (utöver LED-lampor), lödmetall, legeringar och termiskt interfacematerial.

Rimlighetsbedömning av uppskattade mängder

Det är svårt att bedöma hur pass rimliga dessa mängder är. Flera av mängderna är delvis baserade på egna skattningar om storlek och koncentration. Om det totala flödet på 1 900 kg indium jämförs med EU-konsumtion (European Commission, 2020c) så ser vi att utifrån en omräkning baserad på BNP så borde svensk konsumtion ligga på omkring 2 300 kg indium, vilket är rimligt med tanke på att konsumtionen troligtvis är något högre än avfallsmängden. Om det i stället jämförs med den globala framställningen på 827 ton indium per år (European Commission, 2020c) så skulle den svenska konsumtionen (baserat på BNP) ligga på strax över 5 000 kg, vilket är betydligt högre och tyder på att det eventuellt saknas något som inte återfinns i statistiken. En trolig källa skulle kunna vara kategorin övrigt som baseras på EU-konsumtion. Om detta baseras på industriell användning inom EU, så som vi misstänker i neodym-fallet, så döljer det sig här en del produkter som importeras från andra delar av världen. Det flödet inkluderar bland annat en del material som används flitigt inom elektronik (halvledare, lödmetall, termiskt interfacematerial) vilket mycket väl kan importeras från till exempel Asien.

Från data för import/export/produktion så gick det att utläsa att konsumtionen av mobiler, bärbara datorer och LCD-monitorer/TV har minskat sedan omkring 2014. Det är inte helt orimligt men det innebär att enligt våra antaganden om livslängd så blir konsumtionen av indium från dessa produkter faktiskt lägre än avfallsflödet, vilket kanske är mindre troligt. Det är ett tecken på att livslängden borde undersökas närmare och troligtvis modelleras utifrån sannolikhetsfördelning att en produkt blir avfall efter ett visst antal år i stället för en exakt livslängd där alla produkter av en viss kategori blir exakt lika gamla.

Identifierade dataluckor

I fallen med LED-lampor och solceller så var data för import/export/produktion osäkra. Ibland var summan av import och produktion lägre än exporten, vilket är orimligt. Om en vara ska exporteras så måste den antingen importeras eller produceras först. Något år gick det att se att det i Sverige skulle ha producerats mer än 700 000 ton solceller och övriga år hade det i snitt producerats 57 ton per år vilket visar på att det saknas statistik eller information som kan kompensera för denna skillnad.

Prognosticerad utveckling

Behovet av indium för solceller är inte särskilt stort för tillfället men behovet ökar exponentiellt. Utifrån de antaganden och beräkningar som gjorts i den här studien så verkar det som att installationen av solceller år 2020 motsvarade ungefär 80 kg indium, vilket behöver öka tiofaldt innan det blir ungefär lika stort som behovet av indium till LCD-monitorer/TV. Då har det inte räknats med något indium från CIGS, men det är än så länge en liten andel av den globala marknaden för solceller

som i dagsläget domineras av kiselbaserade solceller. Från Energimyndighetens kortsiktsprognos (Energimyndigheten, 2021d) går det att utläsa att solkraften i Sverige förutspås öka från 0,7 TWh under 2019 till 3 TWh under 2022, vilket motsvaras av en fördubbling på lite mer än två år. Om den ökningen stämmer och ökningen fortsätter i samma takt så krävs det mindre än åtta år innan användningen har tiofaldigats. En sådan ökning skulle också innebära att det produceras ca 10 TWh el från solceller år 2028, vilket är samma mängd som Energimyndigheten förutspår för år 2050 i sin långtidsprognos (Energimyndigheten, 2021b). Oavsett om det sker 2028 eller 2050 så lär det dröja ytterligare ett flertal år innan det dyker upp i dessa mängder i de sekundära flödena på grund av solcellernas långa livslängd.

På återvinningsmarknaden ser vi inte att uttjänta produkter är på väg att spela någon större roll de närmaste åren, i alla fall inte i Sverige. Däremot så kan produktionsspill komma att spela en viktig roll. Det finns åtminstone två aktörer i Sverige som har teknik för att återvinna indium, Midsummer och Mat4Green Tech (se beskrivning under avsnittet om Identifierade nyckelaktörer), där i alla fall en har uttalat att de har planer på att sätta i gång en återvinning (Göteborg Energi, 2021). De halter av indium i uttjänta produkter som listats i denna studie är ungefär i samma storleksordning som i malm (1–100 g/ton) där det utvinns som en biprodukt till andra ämnen så som zink (European Commission, 2020c). Med tanke på att indium ligger relativt långt till höger i Figur 4 (som illustrerar ungefärligt värde av svensk slutkonsumtion av de studerade råvarorna) så framstår det som osannolikt att indium kommer att bli attraktivt för kommersiell återvinning från uttjänta produkter inom en nära framtid.

Utformning av spårbarhetssystem för ökad cirkularitet

En effektiv funktionell tillämpning av avfallshierarkin förväntas bli allt viktigare för att minska beroendet av kritiska råmaterial. Idag sker en snabb utveckling av bland annat elfordonsbatterier, där en lämplig design ökar möjligheterna att förlänga livslängden genom smart underhåll och reparation. Battericellerna kan därefter återanvändas i till exempel ett stationärt energilager innan det slutligen behöver återvinnas. För att detta ska vara möjligt för så komplexa produkter som elfordonsbatterier, solcellspaneler, vindkraftsturbiner, liksom hemelektronik och fordon, är det nödvändigt att aktörerna i varje steg av produktens livscykel har tillräckligt detaljerad och tillförlitlig information om produkten. En cirkulär ekonomi, inte minst för kritiska råmaterial, kräver därför spårbarhetssystem.

Spårbarhetssystem har använts i olika värde-/försörjningskedjor⁵ under relativt lång tid, främst som en metod att säkerställa att kvalitetsmärkningar av slutprodukter

⁵ Från engelskans *value chains* och *supply chains*.

håller vad de lovar, hantera risker och felkällor i processen och för att förhindra förfalskningar (UN Global Compact, 2014; Swedish Lifecycle Centre, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021). De används huvudsakligen inom linjära värdekedjor. Samtidigt framhålls spårbarhet allt oftare som en av nycklarna för en ökad återvinning (Committee on Sustainability Assessment, 2019; Stena Recycling Group, 2021; Swedish Lifecycle Centre, 2021, Hemmelberg & Hanna, 2021). Trots det saknas fortfarande system för att säkra återvinning – och därmed kunna öka utnyttjandet – av kritiska råmaterial. Dessa värdefulla material, går därför förlorade genom materialläckage⁶ och downcycling (Stena Recycling Group, 2021).

Spårbarhet för att bidra till cirkulär ekonomi förväntas växa fram som en reaktion på bland annat pågående lagstiftning på EU-nivå. Det finns därför goda skäl att belysa lämpliga kriterier för utformning av sådana system tillsammans med de hinder som behöver undanröjas.

Begreppet spårbarhet (*traceability*) används för att beskriva många olika system, med mer eller mindre olika syften. Det här återspeglas i UN Global Compacts (2014) definition av spårbarhet:

Traceability: The ability to identify and trace the history, distribution, location and application of products, parts and materials, to ensure the reliability of sustainability claims, in the areas of human rights, labour (including health and safety), the environment and anti-corruption.

Bredden i definitionen och de sinsemellan ganska olika spårbarhetssystem som finns eller är under utveckling idag kan förklara den begreppsförvirring som råder mellan olika aktörer (Svemin, 2019). Den kan i sig utgöra ett hinder för utveckling, implementering och acceptans av spårbarhet.

Det som utmärker spårbarhetssystem som syftar till att främja återanvändning och återvinning är att informationen som följer med produkten fortfarande måste vara giltig efter att produkten har passerat hela användarfaser. Det är en stor utmaning jämfört med de linjära system som till exempel ska säkerställa en råvaras ursprung (konfliktmineral eller ekologiskt producerade livsmedel). I de fallen rör sig både varan och informationen i kända, om än i många fall komplexa, värdekedjor. Ett konkret exempel på ett spårbarhetssystem för återvinning är retursystemet av flaskor och burkar. Det är enkla produkter vars egenskaper är tillräckligt väl kända när de lämnar produktionen och som kan antas vara oförändrade vid retur, som kan

⁶ Material går förlorat ur kretsloppet, till exempel genom att produkter hamnar på deponi. Det kan bero på både att produkten inte alls samlas in för återvinning och att den inte kan återvinnas, antingen på grund av att designen omöjliggör det eller för att det saknas information om hur produkten ska återvinnas. Det gäller bland annat batterier, där en stor del av Europas batterier försvinner ut ur EU i slutet av livscykeln (ECOS, 2021)

märkas i sin helhet, som uppehåller sig under en kort period i användarfaser och som inte utsätts för modifikationer under sin livscykel. Vid en jämförelse skiljer sig till exempel ett fordon på samtliga punkter.

Förädlade råmaterial, som specialstål och andra legeringar, förlorar sina särskilda egenskaper när de smälts ner vid återvinningen. Därför vore det sannolikt önskvärt att kunna behålla identiteten på sådana råmaterial genom hela dess cykel så att det kan återanvändas. Detsamma gäller om man vill behålla kunskapen om den specifika råmaterialenhetens ekologiska fotavtryck genom hela cykeln. Idag går även legeringsmetallerna i hög grad förlorade vid återvinning. Förutsättningarna för återvinning skiljer sig med andra ord mellan olika råmaterial. En hög återvinning av till exempel järn/stål kan ske på bekostnad av återvinningen av kritiska legeringsmetaller. Fram tills idag används praktiskt taget all nickel i legeringar (European Commission, 2020d). Vi vet att behovet av nickel i batterier nu ökar mycket kraftigt. Även om EU inte klassificerar nickel som kritisk kan det hypotetiskt bli värdefullare att återvinna nickel ur legerat stål än att återvinna järn. Oavsett sannolikheten i en sådan utveckling kan det fungera som en illustration av vikten att noga utvärdera syftet – och följd effekter – av framtida spårbarhetssystem. I följande avsnitt utvecklar vi därför förutsättningarna för att utforma spårbarhetssystem för ökad cirkularitet av kritiska råmaterial. Även om det kan finnas vissa skillnader i vilken information som behöver spåras för återanvändning jämfört med återvinning, så menar vi att analysen i den här studien är tillämplig på båda.

Förutsättningar och framgångsfaktorer

Samarbete mellan värde-/försörjningskedjans olika aktörer är helt avgörande för varje fungerande spårbarhetssystem (UN Global Compact, 2014; IVL, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021). Det förutsätter acceptans i bred mening och tillräcklig tillit både mellan aktörerna och hos varje aktör för systemets design. Det här är i många fall en stor utmaning eftersom råmaterial och produkter flödar i komplexa, ofta globala nätverk (UN Global Compact, 2014; Hemmelberg & Hanna, 2021). Det gäller inte minst metaller, som handlas internationellt (Svemin, 2019) där antalet aktörer är potentiellt mycket stort. Två komplementära ansatser för att hantera den här komplexiteten och skalan är att fokusera på de viktigaste flödena och att försöka skapa slutna system. Det sker idag bland annat för elfordonsbatterier. EU arbetar för närvarande med att ta fram ett specifikt regelverk för att säkra återvinning av fordonsbatterier. Denna batteriförordning ska ersätta batteridirektivet 2006/66/EG och ändra nuvarande förordning (EU) 2019/1020 (Sveriges riksdag, 2021). Eftersom elfordonsbatterier förväntas stå för en så stor del av den totala efterfrågan av flera kritiska råmaterial de närmaste decennierna kommer batteriförordningen att få en stor betydelse också för utvecklingen av spårbarhetssystem. Redan idag har flera parallella initiativ tagits av bland annat fordonsindustrin och World Economic Forum. I korthet innebär batteriförordningen bland annat att det från 2024 kommer att ställas krav både på batteriernas klimatavtryck och andel sekundära råmaterial (European Commission,

2020e). Digitala batteripass ska säkerställa att den här informationen blir spårbar under hela livscykeln och inte minst underlätta uppfyllandet av krav på insamling och återvinning. Batteriförordningen kombinerar produkt- och avfallsperspektiven, vilket är en förutsättning för en cirkulär ekonomi (Stena Recycling Group, 2021). Hur data ska samlas in, vilka roller olika aktörer kommer att få och vilka tekniker eller standarder som ska användas är fortfarande oklart (Circulor, 2021).

För att etablera ett fungerande samarbete krävs att aktörerna har en vilja att delta. Förenklat kan drivkraften vara extern (det vill säga att uppfylla lagkrav), intern (att nå en större cirkulär lönsamhet eller andra mål som aktören själv har satt upp) eller en kombination. Generellt gäller att införandet av fungerande spårbarhetssystem underlättas om det bidrar till lönsamhet och kan ge aktörer som ansluter sig någon form av konkurrensfördel (Svemin, 2019). Likaså underlättas det av att det finns befintliga samarbeten inom andra frågor längs värde-/försörjningskedjor, till exempel inom fordonsklustret i norra Europa (Stena Recycling Group, 2021). Införande av fungerande spårbarhetssystem är ett resurskrävande åtagande. Återvunna råmaterial konkurrerar med primära råmaterial och även om det ur samhällets perspektiv är önskvärt att maximera nyttjandet av sekundära material måste de vara konkurrenskraftiga (Stena Recycling Group, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021). Det innebär också att kretsen av aktörer som ska ansluta sig till systemet måste överensstämja tillräckligt väl med marknaden på vilken materialet handlas (Svemin, 2019; Hemmelberg & Hanna, 2021). I de fall kretsen kan avgränsas till Sverige/EU kan offentliga upphandlingar ha en viktig roll för att åtminstone under en övergångsfas mot etablering av starka cirkulära flöden premiera sekundära material. Detta utvecklas ytterligare i avsnittet om Aktörer och drivkrafter nedan.

Utöver viljan att samarbete och dela information i värde-/försörjningskedjan är det nödvändigt att produkten är designad och tillverkad på ett sådant vis att den kan återvinnas på ett rationellt vis (Stena Recycling Group, 2021). Det här är ett exempel på att fungerande spårbarhetssystem är långsiktiga åtaganden. Parallellt med den information som flödar i det formella systemet är erfarenhetsutbytet mellan aktörerna viktigt. I de fall det finns en dialog mellan aktörerna kan återvinnare enklare återkoppla till producenter hur de bör ändra sin produktdesign för att kunna få tillbaka en större andel högvärdigt råmaterial. Cirkulär design är enklare att tillämpa i nya, framväxande värde-/försörjningskedjor än i befintliga. Det gäller inte bara designen av produkter utan också av affärsmodellen (IVL, 2021). Drivkraften att bidra till spårbarhet för ökad cirkularitet bör öka i takt med att affärsmodellen drar nytta av eller rentav förutsätter den. Samtidigt är drivkraften att skifta till cirkulära affärsmodeller beroende av hur tillgängliga fungerande spårbarhetssystem är. Kopplingen mellan spårbarhet och affärsmodell är därför både en möjlighet och ett hinder (Carlsson, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021, Stena Recycling Group, 2021).

Med ovanstående förutsättningar uppfyllda krävs också en ändamålsenlig design av spårbarhetssystemet. Designen omfattar både det administrativa systemet, med regler om hur bland annat beräkningar, rapportering och verifiering ska gå till, och

det tekniska systemet för hantering av data. Systemdesignen kopplar direkt tillbaka till frågan om tillit och därmed den inledande, avgörande, förutsättningen för att etablera ett fungerande spårbarhetssystem. Om inte aktörerna känner tillit till systemet kommer de att vara obenägna att ansluta sig till det. Systemets komplexitet och omfattning styrs av dess syfte men rymmer i samtliga fall en lång rad detaljer att ta ställning till som kräver en bred expertis. Centrala frågeställningar är val av chain of custody-modell, standardisering, spårning av råmaterial eller produkt samt koppling mellan fysisk produkt/material och information. Detta utvecklas ytterligare i avsnittet om Systemdesign nedan. Å ena sidan kan det finnas fördelar med att försöka utöka ett befintligt spårbarhetssystem med funktionaliteten som krävs för ökad cirkularitet, i form av existerande informationsutbyte och tillit mellan värde-/produktionskedjans aktörer och ett fungerande system att utgå ifrån. Etableringsfasen kan därmed bli kortare. Å andra sidan finns det få, om några, etablerade system för de kritiska råmaterial som ingår i den här studien att expandera. Det kommer sannolikt att ändras med tiden. Som antytts ovan kan det också finnas betydande vinster med att skräddarsy systemet med väl definierade avgränsningar. Den avvägningen måste därför göras från fall till fall, när det blir aktuellt.

Aktörer och drivkrafter

Eftersom värde-/försörjningskedjorna skiljer sig åt för olika kritiska råmaterial går det bara att ge exempel på specifika aktörer. Kompletta aktörsanalyser är alltför omfattande för den här studien. Vi har valt att dela in aktörerna i tre generella kategorier:

1. Användare (primära): De företag som ingår i råmaterials värde-/försörjningskedja och som därmed förväntas delta som aktiv användare i spårbarhetssystemet.
2. Kravställare (sekundära): Både myndigheter och kunder som kan ställa både hårda och mjuka krav på företagen att antingen etablera spårbarhetssystem och/eller kunna redovisa information om produkterna som i sin tur förutsätter spårbarhetssystem. Observera att aktörer kan vara både primära och sekundära. Den dynamiken, att ett företag i ena rollen ställer krav på sina leverantörer, och i en annan roll använder informationen för till exempel redovisning eller marknadsföring är en nyckel för att driva utvecklingen av spårbarhetssystem (Hemmelberg & Hanna, 2021). Det kan förväntas bli en starkare drivkraft i cirkulära flöden än linjära.
3. Stödjande (tertiära): Aktörer som på olika vis kan underlätta etableringen och acceptans av nya system. Det kan vara miljöorganisationer, teknikleverantörer, certifierings- och revisionsorganisationer med flera.

Bland **användarna** är återvinnarna en självklar nyckelaktör, tillsammans med det ekosystem av återanvändare som finns och växer fram runt dem. Ett exempel är företaget BatteryLoop, som tillverkar batterilager av återanvända celler från

elfordonsbatterier. Företaget är del av Stena Metall och har sitt ursprung i Stena Recycling (BatteryLoop, 2021). Northvolt är ett intressant exempel på en aktör som bygger upp en helt ny värde-/försörjningskedja och i kraft av sin storlek kan ställa krav. De har redan gått ut med målsättningen att skala upp tillverkningen av batterier med 100 % återvunnen nickel, mangan och kobolt (Northvolt, 2021a), samtidigt som de deltar i projekt för att tillvarata de restmaterial de inte själva avser att återanvända (Northvolt, 2021b). Båda exemplen kräver god kunskap om materialsammansättningen, vilket förutsätter eller uppmuntrar någon form av spårbarhetssystem. Både Northvolt, BatteryLoop och HYBRIT, för att även ta ett exempel som inte fokuserar på kritiska råmaterial, framhåller sina industriella partnerskap. Det pekar på värdet av att sluta och förenkla värde-/försörjningskedjorna och på så vis underlätta och undanröja hinder för informationsdelning (utöver andra fördelar som samarbetena kan ge). Se även avsnittet Identifierade nyckelaktörer ovan för fler exempel på primära aktörer.

I Figur 13 sammanfattas de viktigaste drivkrafterna för de primära aktörerna enligt en rapport från UN Global Compact (2014). Sammanfattningsvis kan spårbarhet enligt samma rapport sägas ge en *license to operate* för de deltagande företagen. Det här påminner om att spårbarhetssystemet – och därmed drivkraften för att införa det – syftar till något annat och att spårbarhetssystemet är ett verktyg att uppnå detta (Karim, 2021; Bergholt, 2021).

Values and Efficiencies	Stakeholder Pressure	Regulation	Global Alignment
1. Reducing risk 2. Operational efficiencies and process consistency 3. Securing supply 4. Supplier selection and supplier relationships 5. Reputational benefits	6. Meeting stakeholder demands for more product information 7. Ensuring sustainability claims are true	8. Meeting legal requirements	9. Standardization of expectations, processes and systems 10. Ensuring security of natural resources

Figur 13. Sammanställning av de viktigaste drivkrafterna för att använda spårbarhetssystem, enligt UN Global Compact (2014).

De viktigaste **kravställarna** är lagstiftare och myndigheter, privatkonsumenter och professionella konsumenter. Lagstiftning är det starkaste verktyget för att tvinga fram en förändring (IVL, 2021). Ett av få tydliga exempel inom spårbarhetssystem är Dodd-Frank Wall Street Reform and Consumer Protection Act från 2010, som innebär att börsnoterade företag i USA måste redovisa om deras inköp av så kallade 3TG-metaller⁷ finansierat väpnade konflikter (Tillväxtanalys, 2019). I mars år 2017 beslutade EU att införa en liknande lag som i USA. Mycket tyder på att lagstiftningen kommer att få en viktigare roll framöver. EU-kommissionens förslag om en ny batteriförordning har bland annat en del som handlar om spårbarhet,

⁷ Förkortningen syftar på tenn, volfram (eng. *tungsten*), tantal och guld.

vilket nämns i avsnittet om Förutsättningar och framgångsfaktorer ovan. Spårbarheten kopplas även till arbetet inom EU med att ta fram produktpass. Ett av de sex miljömålen i EU:s nya taxonomiförordning är övergång till cirkulär ekonomi (Regeringskansliet, 2021). Syftet är att styra finansiella aktörer mot hållbara investeringar för att på sikt uppnå EU:s klimatmål och förordningen ökar kraven på hållbarhetsrapporteringen från större företag, vilket ytterligare kan bidra till etablering av spårbarhetssystem.

Konsumentkrav kan ha mycket stor betydelse för tillverkarna och hållbarhet har under många år blivit allt viktigare inom bland annat mode och livsmedel (IVL, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021). Samtidigt är det svårt för enskilda konsumenter att både få tillgång till relevant hållbarhetsinformation och fullt ut fatta rationella beslut på basis av den informationen. Enligt Tillväxtanalys (2019) är metallers hållbarhet mycket sällan den viktigaste faktorn vid val av bilar och mobiltelefoner. Dessutom finns en diskrepans mellan hur slutkonsumenter rankar hållbarhetsaspekter och vilka val de gör. Detta är särskilt tydligt för mobiltelefoner där konsumenter rankar mänskliga rättigheter högt men inte väljer detta i en konkret valsituation (Tillväxtanalys, 2019). Till skillnad mot privata konsumenter besitter professionella konsumenter generellt en större kompetens om hållbarhetsrisker och kan vara mer drivande i kravställningen av produkter (Tillväxtanalys, 2019). Det pekar på att den offentliga sektorn, genom upphandling, kan skynda på omställningen mot ökad spårbarhet och cirkularitet (Tillväxtanalys, 2019; Svemin, 2019). Finansiärer kan sägas utgöra en specialkategori av professionella konsumenter. Idag pågår ett intensivt arbete inom finansmarknaden med att öka kunskapen om hållbarhetspåverkan av olika placeringar och därmed krav på att varumärkesföretag ska ha bättre koll på sina materiella hållbarhetsrisker (IVL, 2021).

De stödjande aktörerna kan på olika vis underlätta etableringen och acceptans av nya system. Ett tänkbart exempel är LKAB. Genom sitt ReeMAP-projekt planerar bolaget att utvinna fosfor och sällsynta jordartsmetaller ur anrikningssanden från sin egen järnmalmsproduktion (LKAB, 2019). Även om det inte utgör ett sekundärt flöde i den mening vi använder i den här studien (anrikningssanden har aldrig varit produkt) kan det öka intresset för att spåra sällsynta jordartsmetaller. Det är också tänkbart att LKAB på sikt kan återvinna råmaterial ur andra restprodukter också. I så fall skulle LKAB kunna bidra till att realisera en större del av återvinningspotentialen för de här ämnena än vad som kanske vore ekonomiskt försvarbart om enbart de sekundära flödena omfattades. (LKAB skulle samtidigt gå från att vara en stödjande aktör till en användare.) Värt att notera är också att separationstekniken i ReeMAP har utvecklats av EasyMining, ett dotterbolag inom Ragn-Sellskoncernen (LKAB, 2019) och därmed ett annat exempel på det ekosystem av återanvändare som finns och växer fram runt återvinningsföretagen. Andra exempel på stödjande aktörer som kan påverka de primära aktörernas ambitioner på hållbarhetsområdet är icke vinstdrivna och oberoende intresseorganisationer, eftersom de ofta kan påverka allmänhetens/konsumenternas tilltro till olika spårbarhetssystem eller märkningar

(Tillväxtanalys, 2019; IVL, 2021). För kritiska råmaterial kan London Metal Exchange (LME) också bli en mycket viktig stödjande aktör. En stor del av världens metaller handlas via LME med LME-kontrakt (London Metal Exchange, 2019). Till exempel kan en köpare välja att endast köpa *grade A copper cathodes*, vilket garanterar en renhet på minst 99,995 % (Svemin, 2019). LME har påbörjat ett arbete för att integrera OECD Due Diligence Guidance⁸ i sina krav på redovisning för att metaller ska kunna säljas som ansvarsfullt framställda (London Metal Exchange, 2019). Framtiden kommer att utvisa om det kommer att driva på utvecklingen av spårbarhetssystem också för kritiska råmaterial och om de systemen i så fall hanterar information på ett sådant sätt att det bidrar till en cirkulär ekonomi.

Systemdesign

Det ligger utanför den här studien att i detalj besvara hur ett fungerande spårbarhetssystem för kritiska råmaterial i syfte att bidra till ökad cirkularitet ska designas. Här avgränsar vi oss till att peka på centrala frågeställningarna om val av chain of custody-modell, om informationen är kvalitativ eller kvantitativ respektive statisk eller dynamisk, om systemet ska spåra råmaterial eller produkt, hur koppling görs mellan fysisk produkt/material och information samt vikten av standardisering. Dessa aspekter utvecklas nedan. Därutöver är de tekniska aspekterna naturligtvis avgörande för ett fungerande spårbarhetssystem men de bör styras av hur systemet designas i övrigt. Det råder heller ingen generell brist på systemutvecklare eller teknikleverantörer med kompetens att tillhandahålla spårbarhetssystem (IVL, 2021; Bergholt, 2021). Ofta nämns blockkedjeteknik⁹ i samband med spårbarhetssystem. Det är en teknik som ger ett mycket högt skydd mot manipulation av inrapporterade data, vilket kan bidra till att aktörerna känner tilltro till det tekniska systemet. Samtidigt uppfattas tekniken på sina håll som alltför komplicerad och energikrävande, vilket kan avskräcka aktörer från att medverka (Swedish Lifecycle Centre, 2021; Carlsson, 2021). Det är en utvärdering som behöver göras från system till system. I värde-/försörjningskedjor med ett stort antal transaktioner, många användare och höga krav på automatiserade dataflöden och datasäkerhet är det generellt sett enklare att motivera blockkedjeteknik.

⁸ Riktlinjerna finns att hämta från <https://www.oecd.org/investment/due-diligence-guidance-for-responsible-business-conduct.htm>.

⁹ En blockkedja är en sorts decentraliserad databas. I stället för att användarna rapporterar sina data till en central operatör av systemet som har ensam kontroll över databasen kontrolleras blockkedjan gemensamt. Användarna kan både lägga in sina data direkt och kontrollera och verifiera varandras transaktioner. På så sätt kan de gemensamt garantera databasens säkerhet.

Valet av chain of custody-modell styr vilken information som kan spåras

Det finns ett antal grundläggande chain of custody-modeller för hur information om material-/produktflöden kan hanteras. Enligt UN Global Compact (2014) *product segregation* (som i sin tur delas in i *bulk commodity* och *identity preserved*), *mass balance* och *book and claim*. Helt kort kräver segregation att de spårade enheterna aldrig får blandas utan måste kunna spåras genom hela värde-/försörjningskedjan medan de andra får det i viss mån. Mass balance innebär att mängden material/produkt med en viss egenskap måste vara densamma in i ett processteg som ut ur detsamma, men egenskapen måste inte följa samma fysiska enheter in och ut. Det finns alltså en koppling mellan egenskap och det fysiska flödet. Book and claim kräver i sin tur bara att det aldrig får finnas mer material/produkt med en viss egenskap i systemet än vad som har tillförts, men egenskapen behöver inte följa flödet. Modellen kallas även *certificate trading* och används till exempel för handel med fossilfri el. Definitioner för modellerna framgår av ISO 22095 och där beskrivs också *controlled blending*, som kan beskrivas som ett mellanting mellan segregation och mass balance (Swedish Lifecycle Centre, 2021). Exempel på olika spårbarhetssystem ges i Figur 14.

Observera att valet av chain of custody-modell begränsar vilken information som hanteras i spårbarhetssystemet (IVL, 2021). Till exempel kräver såväl kvalitativ som dynamisk information (se nedan) *identity preserved* eller segregation, medan kvantitativ information också kan tillåta övriga chain of custody-modeller (IVL, 2021). Med andra ord är det uppenbart att systemdesignen måste ske iterativt och med aktivt deltagande från värde-/försörjningskedjans olika användare. I en nyligen genomförd analys av förutsättningarna för spårbarhetssystem för ökad cirkularitet av plast pekar Swedish Lifecycle Centre (2021) att både val av återvinningsmetod och framtida applikation av det återvunna materialet kan påverka valet av chain of custody-modell:

[S]egregation eller kontrollerad blandning vore möjligt att använda som spårbarhetssystem för mekanisk återvinning eftersom det inte går att blanda olika typer av plaster hur som helst och det är extra svårt och kanske omöjligt för plaster som kommer i kontakt med livsmedel där krav på renhet är extra stort. Massbalans skulle kunna fungera i de fall då man har kemisk återvinning, eftersom plasterna där bryts ner till kortare molekyler och andra kemiska ämnen i processerna.

EXAMPLES OF EXISTING TRACEABILITY SCHEMES BY MODEL ¹⁷		
PRODUCT SEGREGATION MODEL	MASS BALANCE MODEL	BOOK AND CLAIM MODEL
• Better Cotton Initiative – Physical segregation until the bale of cotton is formed • Fairtrade Labelling Organizations International (FLO) – Product segregation for bananas, other fresh fruits, coffee, flowers, nuts, rice and spices • Forest Stewardship Council (FSC) – "FSC Pure Products" • Organic Food Labels • Responsible Jewelry Council Chain-of-Custody standard • Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO) – RSPO Segregated System • Textile Exchange standards • UTZ Certified – Traceability Programme "Segregation Physical Link" • Marine Stewardship Council (MSC)	• Better Cotton Initiative – Mass Balance model once the bale of cotton is broken and split into yarn • Bonsucro – Mass Balance Chain of Custody Standard • Fairtrade Labeling Organization (FLO) – Mass balance model for cocoa, sugar, tea and juice • Forest Stewardship Council (FSC) – FSC volume based system • Roundtable for Sustainable Palm Oil (RSPO) – RSPO Mass Balance System • UTZ Certified – Mass Balance Traceability Programme	• Bonsucro – Credit trading system (Book and Claim) • RSPO – Book and Claim system • UTZ Certified – Trading & Traceability Programme used in collaboration with RSPO

Figur 14. Exempel på olika spårbarhetssystem enligt UN Global Compact (2014).

Olika typer av information: kvalitativ och kvantitativ, statisk och dynamisk

Systemdesignen måste utgå från vilken typ av information som ska spåras. Räcker det att ange om specifika kriterier uppfylls kan kvalitativ information användas. Ett sådant exempel är LME:s grade A copper cathodes som anger en lägsta tillåtna halt av koppar. Om märkningen däremot bygger på kvantitativ information kan den visas graderad. Exempel på detta är EU:s Ecodesign-system och informationsmärkning om koldioxidutsläpp från bilkörning (Tillväxtanalys, 2019). Här krävs ett samarbete mellan återvinnarna och köparna av de återvunna råmaterialen för att avgöra vilken informationstyp som krävs för respektive råmaterial. Det verkar som att primära aktörers respons på reglering är kvalitativ information (*good enough*), men att kvantitativ information krävs för att svara på (professionella) kunders efterfrågan och som ett sätt att kunna differentiera olika erbjudanden (*premium products*) (IVL, 2021).

För vissa flöden ändras egenskaperna under livscykeln och i dessa fall måste spårbarhetssystemet kunna hantera att data förändras när genom värde-/försörjningskedjan, så kallade dynamiska data. Svemins pilotsystem TraceMet är ett exempel på det. TraceMet undersökte möjligheterna att spåra klimatavtryck och

andel återvunnet råmaterial från gruva till varumärkestillverkare (IVL, 2021). I varje led av värdekedjan ändras materialets klimatavtryck som ett resultat av förädlingen, vilket spåras i systemet. Motsatsen till dynamiska data är statiska data. Syftar spårbarhetssystemet enbart till att underlätta återvinning bör det vara tillräckligt med statisk information om produktens materialsammansättning. Ska systemet dessutom underlätta återanvändning kan det däremot krävas dynamisk information om hur produkten har använts för att kunna avgöra till exempel återstående kapacitet eller kondition hos en battericell (Stena Recycling Group, 2021). Här börjar det också bli uppenbart att det är skillnad på att spåra råmaterialet genom värde-/försörjningskedjan och att spåra produkten. Marknadslogiken för många metaller, bland annat järn/stål och koppar, talar för att använda mass balance eftersom både primära och sekundära råmaterial från olika gruvor och återvinnare blandas i smältverken (Svemin, 2019). Krav på segregering så här tidigt i värde-/försörjningskedjan medför därmed stora förändringar i metallförädlingsprocessen.

När materialet har blivit till en produkt är det sannolikt nödvändigt att spåra materialet indirekt, genom information om produkten. Det innebär antingen att olika spårbarhetssystem behöver kunna kopplas samman eller, som tidigare har nämnts, att värde-/försörjningskedjan förenklas så mycket att spårbarhetssystemet kan skraddarsys för ett flöde. Det eventuella behovet av att kunna koppla samman olika system är ett starkt argument för standardisering (Carlsson, 2021), som vi strax återkommer till.

Vad som de facto ska spåras

Möjligheterna att manipulera informationen i systemet både genom misstag och medvetet, måste hållas tillräckligt små. En delutmaning är att eliminera risken för att koppla digital information till fel fysisk enhet. Den utmaningen är särskilt stor i de fall det är svårt att följa de fysiska materialflödena i teknosfären i sig (Karim, 2021). För chain of custody-modeller som följer fysiska flöden eller enheter kan det ske med hjälp av en stämpel, genom kemisk spårning eller i dokument (Tillväxtanalys, 2019). Vid certifikathandel (book and claim) hanteras mängden materia och hållbarhetsinformationen var för sig genom hela leverantörskedjan. Det kan vara aktuellt när separation av metaller eller fysisk spårning är svårt att genomföra tekniskt, eller när kostnaden blir för stor (Tillväxtanalys, 2019). Den här kopplingen är en (av flera) avgörande komponenter för att skapa tilltro och därmed acceptans för ett spårbarhetssystem.

Som ett alternativ eller komplement till spårbarhetssystem utvecklas tekniska system för att identifiera produkter eller material vid återvinning. Två svenska

exempel är Siptex¹⁰ för textil och SenSoRe¹¹. Till skillnad från pantsystemet för returburkar och returflaskor läser de här systemen inte av en märkning på produkten utan försöker självständigt identifiera det, vilket kan vara intressanta komplement till spårbarhetssystem för kritiska råmaterial.

Standardisering

Standardisering är en möjlighet för att dela data i komplexa värde-/försörjningskedjor. Även med slutna kedjor är det troligt att flera sektorer berörs, vilket gör att standardisering är värdefull (Carlsson, 2021). Standardisering är också en viktig komponent för att skapa acceptans för systemet genom att skapa transparens för hur systemet är designat och hur det ska användas. Acceptansen kan främjas ytterligare genom att utforma systemet så att det blir möjligt för en oberoende extern part att verifiera att data har tagits fram och rapporterats in i enlighet med (den standardiserade) instruktionen. OECD Due Diligence Guidance tas upp av flera aktörer som en användbar grund för ett standardiserat arbetssätt för hållbarhetsarbete (Tillväxtanalys, 2019; UN Global Compact, 2014). Ett tredje argument för standardisering är att det bidrar till en positiv spiral där ett system som vinner bredare acceptans och är enklare att ansluta sig till både kan motivera aktiva användare att upprätthålla och öka sina ansträngningar på området och öka trycket på de aktörer som står utanför att ansluta sig (Hemmelberg & Hanna, 2021). Eftersom värde-/försörjningskedjor för eller senare förgrenar sig över flera samhällssektorer måste standarderna vara sektorsoberoende, varför ISO-standarder är att föredra (Carlsson, 2021). Krav på standardisering kan ställas i flera led i användarkedjan.

Hinder och utmaningar

En av de största utmaningarna för att etablera fungerande spårbarhetssystem för att främja återanvändning och återvinning av kritiska råmaterial är sannolikt att nå en kritisk massa av användare. Det är nödvändigt att täcka in en tillräckligt stor del av de aktörer som ingår i värde-/försörjningskedjorna för de material som omfattas. Tilltron till systemet en av de viktigaste nycklarna för att åstadkomma detta. Delförklaringar till att enskilda aktörer kan vara avvaktande eller negativa till att medverka till spårbarhetssystem är otydligt ägarskap av frågan mellan och inom aktörer, otydliga spelregler och kunskapsbrist samt att det är en komplex

¹⁰ Siptex är världens första automatiska storskaliga anläggning för textilsortering och sorterar textil efter färg och fibersammansättning (Sysav, 2021).

¹¹ SenSoRe är en testbädd där företag kan testa, verifiera eller utveckla sorteringsgtektniker inom återvinning (Swerim, 2021). Bland annat har försök gjorts av automatiserad kvalitetskontroll av non-ferrous-fraktioner och sortering av svåridentifierade plastfraktioner.

frågeställning som ställer krav på långsiktighet. Det här olika typerna av hinder utvecklas nedan.

Otydligt ägarskap mellan och inom aktörer leder till osäkerhet

För många aktörer är det fortfarande otydligt hur transformationen till en mer cirkulär ekonomi kommer att påverka dem under och efter omställningen. Spårbarhet kan kopplas till miljö, klimat och hållbarhet, råvaruförsörjning, försäljning, utveckling eller kvalitet. Varje område har sannolikt organisatoriska mål som kräver någon form av spårbarhet, åtminstone av den egna processen, för att kunna följa upp. Högsta ledningens engagemang är därför en viktig intern framgångsfaktor (Hemmelberg & Hanna, 2021). Vissa aktörer väljer att agera tidigt och ta initiativ på området, bland annat för att positionera sig och se till sina intressen. Det har inneburit att det i dagsläget pågår flera parallella initiativ till spårbarhetssystem med anledning av batteriförordningen. Det finns exempel på när en alltför stark drivkraft att stärka den egna positionen gentemot konkurrenternas har lett till att märkningssystem inte har uppfyllt samhällets mål att bidra till mer hållbara produkter (Tillväxtanalys, 2019). Det finns även tendenser till att mer resurssvaga intressenter inte har kapacitet att delta i utvecklingen av spårbarhetssystem (Tillväxtanalys, 2019).

Otydliga spelregler ökar osäkerheten hos enskilda aktörer

Det finns en otydlighet om formella spelregler och kunskapsbrist om informella spelregler. Formella spelregler syftar här på regleringar i form av lagstiftning och upphandlingskrav. Med informella spelregler avses förutsättningar som aktörerna måste förhålla sig till men inte är tvingade att följa. EU:s pågående arbete med batteridirektivet är ett tydligt exempel på snabb utveckling av formella spelregler. Informella spelregler omfattar till exempel vilken betalningsvilja som faktiskt kommer att finnas hos privatkonsumenter och professionella konsumenter för de produkter som nyttjar spårbarhetssystemen. Förenklat kommer sekundära råmaterial även i framtiden att konkurrera med primära råmaterial (Stena Recycling Group, 2021). I de fall de sekundära är dyrare, och inte främjas i tillräcklig utsträckning av de formella spelreglerna, måste mellanskillnaden motiveras med en högre betalningsvilja. En närbesläktad utmaning är att se till att investerare, konsumenter och producenter har tillräcklig kunskap för att kunna värdera den information som spårbarhetssystemet tillhandahåller (Tillväxtanalys, 2019). Olika aktörer kan komma till de motsatta slutsatserna att antingen avvakta resultaten av den utvecklingen (Hemmelberg & Hanna, 2021) eller att tvärtom agera tidigt för att försöka säkerställa att utvecklingen tar tillräcklig hänsyn till egna prioriteringar (Svemin, 2021). Båda förhållningssätten kan vara rationella beroende på utgångspunkt.

Ett annat exempel på otydliga spelregler är hur informationssäkerheten i spårbarhetssystemen ska hanteras. Det här omfattar både att data beräknas och rapporteras på ett korrekt och tillförlitligt vis och att inrapporterad data varken riskerar att gå förlorad eller kan manipuleras på felaktigt vis efter inrapportering, och att systemet kan designas så att nödvändig information delas mellan aktörer

utan att äventyra affärshemligheter (IVL, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021; Bergholt, 2021). Delvis är de här hindren kända och hanterade sedan tidigare, genom en kombination av standardisering, oberoende verifiering och revision, samt IT-säkerhetslösningar.

Asymmetrisk information bidrar till komplexitet och krav på långsiktighet

Spårbarhetssystem är mycket komplexa i flera avseenden. Detta kan vara avskräckande särskilt för mindre aktörer (Bergholt, 2021). Till att börja med råder det brist på efterfrågade data hos många aktörer – vilket är ett av behoven som spårbarhetssystemet ska uppfylla – vilket leder till asymmetrisk information aktörer emellan (Tillväxtanalys, 2019). Det saknas i många fall en gemensam helhetsbild av vilka data som finns, vilka som behövs och därmed vilka luckorna är. När data också ska användas av aktörer upp- och nedströms kan det innebära förväntningar på att samla in data som inte efterfrågas av den egna organisationen. Det här blir en del i de nya samarbeten som krävs, inte bara för ett fungerande informationsutbyte utan också med systemstödjande aktörer¹² och i de fall spårbarhetssystemet och omställningen till en mer cirkulär ekonomi leder till nya affärsmodeller. Eftersom informationsutbytet i ett fungerande spårbarhetssystem i komplexa och globala värde-/försörjningskedjor måste vara automatiserat, krävs sannolikt en omfattande process- och systemintegration både inom och mellan aktörer (RISE, 2020). Exempel på processer som kan behöva inkluderas är produktion, logistik, inköp och försäljning. Att övervinna tillräckligt många av de hinder som står i vägen för fungerande spårbarhetssystem kräver uthållighet och långsiktighet. Insamling av data som efterfrågas av aktörer utanför den egna organisationen, liksom att ta emot information utifrån, är fortfarande i många fall ett manuellt arbete (Hemmelberg & Hanna, 2021). Det är arbetskrävande och resulterar samtidigt i att kvalitén på data blir låg eller svårverifierad (Hemmelberg & Hanna, 2021). Även den motsatta situationen, att data samlas in i stor utsträckning, innebär utmaningar. Automatiserad insamling av till exempel processdata leder snabbt till stora datamängder. Samtidigt som stora datamängder innebär möjligheter att extrahera information som annars inte är möjlig att få ställer det i sig krav på specialistkompetens och särskilda verktyg för att kunna analyseras på ett meningsfullt vis (Källström, 2021; Bergholt, 2021; Fransén, 2021). I de flesta fall kommer inte ett spårbarhetssystem i sig kräva insamling av stora datamängder, men det finns en risk för att vissa nya data behöver samlas in. Det kan i sin tur öppna upp för samordning med datainsamling av andra skäl som kan öka komplexiteten i de interna besluten (Källström, 2021). Slutsatsen blir att den sammanlagda komplexiteten är både kostnads- och resurskrävande (UN Global Compact, 2014; Bergholt, 2021). Det är nödvändigt men inte självklart att aktörernas drivkrafter är starkare och att möjligheten att nå cirkulär lönsamhet större än det motstånd och de kostnader som hindren utgör.

¹² Till exempel teknikleverantörer samt certifierings- och revisionsorganisationer.

Rekommendationer för fortsatt arbete

Identifiera de viktigaste kritiska råmaterialen ur ett svenskt perspektiv

För att kunna fördjupa analysen av vilka kriterier som är lämpliga för utformningen av framtida spårbarhetssystem, liksom av vilka hinder som behöver undanröjas är det därför nödvändigt att konkretisera vilka råmaterial som ska följas.

De totalt 52 råmaterial som ingår i den här studien är en rimlig utgångspunkt. Av dem har vi givit hög prioritet till 19 material som är nödvändiga för tillverkning av klimatvänliga energitekniker. Enligt vår uppfattning är det lämpligt att, inom den gruppen, välja ämnen som uppfyller ett eller flera av följande urvalskriterier:

- Råmaterialet förekommer, eller bedöms inom en nära framtid förekomma, i betydande sekundära flöden i den svenska teknosfären. Observera att storleken på flöden snarare bör mätas i kronor än kilogram, både för att råmaterialen hanteras i vitt skilda mängder och för att investeringsvilja ofta relaterar till värden. Det omfattar ämnen som ingår i produkter, till exempel klimatvänliga energitekniker, som kommer att användas i Sverige. För att ge upphov till betydande mängder krävs att råmaterialet antingen förekomma i stor mängd i varje produkt, produkten förekomma i stort antal eller både och. Dessutom måste produkten ge upphov till ett tillräckligt stort sekundärt flöde. Storleken på det sekundära flödet styrs av en kombination av i vilken takt och mängd materialet tillförs teknosfären och hur lång uppehållstiden är. Kartläggningen visar till exempel att uppförda vindkraft- och solcellsanläggningar i Sverige ännu inte har börjat avvecklas i sådan omfattning att det urskiljs i tillgängliga data.
- Det finns en befintlig eller framväxande bransch för återanvändning och återvinning inom landet. I övergången från linjära till cirkulära värde-/försörjningskedjor är det nyckelaktörerna som bör vara drivande eller åtminstone engageras i ett tidigt skede för att etablera spårbarhetssystem. Från en svensk horisont är det därför enklare att både motivera och konkretisera system som möjliggör eller underlättar återanvändning och återvinning av råmaterial som hanteras av aktörer i Sverige. De ekosystem som växer fram kring de klimatvänliga energiteknikerna är därför av särskilt intresse. I den här studien finns flera exempel på sådana aktörer. Detta står inte i konflikt med att underlätta för etableringen av spårbarhetssystem för sekundära flöden som omhändertas i andra delar av världen, utan ska bara läsas som att initiativ till de systemen lämpligen tas av aktörer verksamma i de länder där råmaterialen i fråga återvinns.
- Den potentiella räckvidden för ett spårbarhetssystem överensstämmer tillräckligt väl med råmaterialets marknad. En kritisk framgångsfaktor är att en tillräckligt stor andel av värde-/försörjningskedjans aktörer ansluter sig. Det är naturligtvis enklare att uppnå för ett råmaterial som hanteras av färre aktörer än av fler, antingen för att på grund av att den handlas på en regional marknad eller i slutna värdekedjor.

Genomför en detaljerad aktörsanalys

För att uppnå nödvändig samverkan mellan aktörerna är första steget att ta reda på vilka aktörer som ingår i värde-/försörjningskedjan för de eller det råmaterial som ska spåras. Därutöver är det nödvändigt att beskriva marknadslogiken för råmaterialet. Det första steget identifierar vilka aktörer som ska ingå i analysen, det andra ger ramarna för att förstå aktörernas drivkrafter och möjligheter att nå cirkulär lönsamhet genom en bättre spårbarhet. Sammantaget kan det både ställa krav på och sätta gränser för valet av chain of custody-modell och, i sin tur, vilken typ av information som förmedlas via systemet.

Aktörsanalysen kan lämpligen göras enligt den indelning i primära, sekundära och tertiära aktörer som används i den här studien, med störst fokus på de primära och lägst på de tertiära. För var och en av de identifierade nyckelaktörerna bör deras relativa ”tyngd”, deras drivkrafter och mognadsgrad med avseende på spårbarhet i den mening som vi diskuterar här analyseras. Det kommer att ge ett underlag för att beskriva förutsättningar och hinder för det specifika spårbarhetssystemet, vilket i sin tur blir styrande för följande steg. I en situation med en ensam eller få enstaka dominerande aktörer, med en stark drivkraft att uppnå återvinning och stor förförståelse av spårbarhetssystem kan fokus tidigt läggas på systemdesignen. Karaktäriseras i stället värde-/försörjningskedjan av många aktörer med låg interaktion, linjära affärsmodeller och begränsad digitalisering kommer fokus inledningsvis sannolikt att behöva läggas på aktörssamverkan och kunskapshöjande insatser.

Genomför en styrmedelsanalys

Baserat på kunskapen från aktörsanalysen bör en bredare styrmedelsanalys genomföras. Ett återkommande konstaterande är att aktörernas vilja att medverka i ett spårbarhetssystem kräver en tillräckligt tydlig cirkulär lönsamhet. Det gäller i särskilt hög grad för spårbarhetssystem som bygger på frivillighet. Det här kan stimuleras genom offentlig upphandling. En övergripande frågeställning är om en ökad cirkularitet bäst uppnås genom reglering eller stimulans eller en kombination och vilka behov ett spårbarhetssystem behöver fylla för att uppnå önskade resultat.

Ett hypotetiskt exempel på en önskad rekyleffekt är införandet av ett långtgående kvotpliktsystem för något kritiskt råmaterial. Målet med styrmedlet är att premiera en funktionell återvinning av det aktuella materialet. Är styrmedlet framgångsrikt kommer det samtidigt att leda till en minskad återanvändning av de produkter som innehåller råmaterialet. I de fall det tillgängliga sekundära flödet är för litet för att tillgodose efterfrågan kan det också leda till en minskad total produktion av en klimatvänlig energiteknik. Orsaken kan både vara tekniska begränsningar i återvinningen eller att det sekundära flödet totalt sett är för litet.

Fokus i den här delen av studien ligger på spårbarhetssystemet. Det är värt att påminna om att det enbart är ett medel för att nå målet, en ökad cirkulär ekonomi. Därför är det viktigt att en styrmedelsanalys utgår från vilket slags cirkularitet som ska uppnås för respektive råmaterial. Med den utgångspunkten går det sedan att

analysera om ett visst spårbarhetssystem kan förväntas styra effektivt mot det målet eller ej. Ett exempel är designen av fordonsbatterier. Det är möjligt att optimera designen för återanvändning, till exempel genom att enskilda celler byts. Det kan leda till mer materialintensiva och tyngre produkter om modulariteten kräver fler komponenter, infästningar med mera. Det innebär en högre energiförbrukning både vid tillverkning och framför allt under användning eftersom fordonet totalt sett blir tyngre. Likaså kan det låsa in både teknikval och råmaterial under längre tid och på så vis bromsa teknikutveckling och effektivisering. Med ett annat synsätt kan motsatsen också hävdas. Optimeras designen för effektiv återvinning kan det leda till att batteriet får kortare total uppehållstid i teknosfären, vilket generellt anses vara negativt ur ett resurshållningsperspektiv. Risker för rekyleffekter återkopplar delvis till marknadslogiken och måste beaktas för varje kombination av styrmedel och råmaterial.

En annan aspekt i styrmedelsanalysen mer direkt kopplad till designen av spårbarhetssystemet är vikten av teknikneutralitet, bland annat för att främja interoperabilitet mellan olika system inom och mellan olika aktörer samt skalbarhet. Eftersom det finns en koppling mellan funktionalitet och val av teknik bör systemdesignen definieras innan tekniken väljs, snarare än tvärtom. Potentiella teknikleverantörer kan definitivt spela en roll redan tidigt i processen genom att bidra med kunskap om alternativ och alternativens styrkor och svagheter.

Metod för kommande kartläggningar

Den här studien är det första försöket att kartlägga sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären. Sedan tidigare finns det alltså ingen etablerad metod för att genomföra en sådan kartläggning eller förkunskap om vilka relevanta data som fanns tillgängliga. Ett av studiens huvudmål är därför att tillvarata de erfarenheter som har gjorts under arbetets gång och utveckla metoden samt beskriva datatillgång inför kommande fördjupade eller kompletterande kartläggningar. Som beskrivs i kapitlet Material och metod ovan var den ursprungliga ambitionen att sammanställa data och beräkna sekundära flöden på ett enhetligt vis för samtliga prioriterade ämnen. Som också framgår ovan visade sig datatillgången vara alltför begränsad för att lyckas med det i den här studien. Identifierade dataluckor kommenteras för vart och ett av de kartlagda råmaterialen ovan.

Den föreslagna metoden bedöms ändå vara värd att sträva efter i kommande kartläggningar. Grundläggande för den föreslagna strukturerade modellen är att den ska balansera inflöden, utflöden och ackumulerade mängder av kritiska material.

$$F_{ut} = F_{in} - \Delta A$$

Där F_{ut} är utflödet av ett kritiskt råmaterial, det vill säga den mängd som går till någon form av återvinning ett visst år, F_{in} är inflödet av samma kritiska råmaterial och ΔA är förändringen i ackumulerad mängd av materialet i teknosfären.

En sådan modell behöver kontinuerligt uppdateras för att spegla den situation som råder för kartläggningen. En sådan modell eller databas skulle underlätta jämförelser och tolkning av resultat, hantering av osäkerheter samt analys av förändringar över tid, utöver att snabba upp analysen väsentligt. Dessa nyttor måste naturligtvis vägas mot ansträngningen som krävs för att samla in nödvändiga grunddata. Utmaningarna som den här studien har ställts inför pekar på att det krävs en stor inledande ansträngning att bygga upp en tillräckligt heltäckande modell och databas och därefter uppdatera denna kontinuerligt under en period. Oavsett ambitionsnivå för kommande kartläggningar är det nödvändigt att aktörer på marknaden blir intervjuade för att få svar på de frågor som inte går att få fram från statistikdatabaser och liknande.

Det bedöms vara enklare att samla in data för inflöde än för utflöde. Förslaget blir därför att det totala utflödet, F_{ut} , av ett enskilt råmaterial kan uttryckas som:

$$F_{ut} = \sum_n F_{in} * P_n$$

Där n är ett enskilt år under den studerade perioden och P_n är sannolikheten att produkten från året n ska bli avfall under innevarande år eller andelen som blir avfall. Det totala inflödet, F_{in} , varierar också från år till år och kan i sin tur uttryckas som:

$$F_{in} = M_n * C_n$$

där M_n är mängden av produkten beräknat utifrån nettoimport och produktion under året n och C_n är koncentrationen av det kartlagda ämnet (kritiska råmaterialet) i produkten taget från databasen för materialsammansättning.

För båda flöden beräknas summan över alla år och tar då hänsyn till att alla parametrarna M , C och P kan variera från år till år.

Eftersom både den här och andra studier (till exempel SMED, 2020) har konstaterat att avfallsstatistiken för sekundära flöden är otillräcklig för den här typen av kartläggningar bedöms en materialflödesmodell ge bättre resultat. Det gäller särskilt för komplexa produkter som består av många olika material, vilket ofta är fallet för kritiska råmaterial. Det modellerade flödet består av en kombination av produktions- och konsumtionsdata. Produktionsdata består av balansen mellan inhemsk produktion och import å ena sidan och export å andra sidan. Konsumtionsdata har generellt hög precision. Från litteratur och information direkt från industriella samarbetspartners samlas det in data för materialsammansättning på produkter, det vill säga koncentrationer av olika råmaterial. Materialsammansättningar varierar mellan olika produkter av samma typ och kan även förändras med tiden. Dessa data sparas därför i en databas som uppdateras efter hand som det finns nya data tillgänglig. Data för inflöden och materialsammansättning kombineras sedan med en modellerad livslängd för alla produktkategorier (eller produkter) som det finns data för. Modellen för livslängd bör använda en fördelningskurva, i stället för att ansätta ett värde som har varit

nödvändigt i den här studien. Sammantaget skulle detta tillåta noggranna och transparenta beräkningar av inflöde för varje material.

En nackdel med att modellera är att modeller bygger på antaganden. För att bekräfta riktigheten i beräkningarna är det därför lämpligt att också försöka beräkna utflödena direkt från data för insamling, materialbehandling och återvinning för respektive kritiskt råmaterial. Ovan ges åtskilliga exempel på att olika sekundära flödesvägar skiljer sig åt mellan olika material. Det innebär att det krävs individuella modeller som beaktar de olika steg i insamling, materialbehandling och återvinning som produkten/produktkategorin och i förlängningen råmaterialet passerar i slutet av livscykeln. Även i detta steg krävs specifika data för alla produktkategorier (eller produkter). Material antas gå förlorat i flera av stegen och detta värde tas också fram för varje produkt. Att förbättra statistiken genom att tillsätta fler mätpunkter eller göra ändringar i avfallskategorier är också ett sätt som kan förenkla och förbättra översyn på flöden av sekundära material i Sverige och på så vis minska behovet av den typ av kartläggning som diskuteras här.

Det är nödvändigt att uppdateringar görs för att modellen ska visa en korrekt bild av verkligheten. Till exempel så bör livslängden på produktkategorierna uppdateras eftersom de kritiska materialen ofta finns i innovativa produkter som ofta saknar tillförlitliga uppgifter om uppehållstider på grund av snabb teknikutveckling och att de bara har hunnit ha en kort förekomst i teknosfären. Ett exempel är litiumjonbatterier i bilar vars genomsnittliga livslängd har förlängts något idag jämfört med skattningar för några år sen. Uppdateringar i rådata som import/export och materialsammansättning tas naturligtvis också med i modellen. Som exempel kan uppdateringar göras med hjälp av expertkunskap eller stickprov. Modellen kan behöva anpassas för att det i vissa fall är lämpligt att utgå från produktens vikt och i andra fall är det lämpligare att utgå ifrån det ekonomiska värdet på produkten, eller någon annan redovisad kategori i data för import/export/produktion.

Den standardiserade beräkningsmodell som beskrivs ovan är inte begränsad till kritiska råmaterial utan skulle kunna utvidgas till fler material förutsatt att det går att samla in tillräckliga data. Exempel på material är nickel, mangan och koppar, som är särskilt intressanta ur ett svenskt perspektiv eftersom de används och kommer att användas i stor utsträckning för bland annat tillverkning av elbilsbatterier. Dessa metaller beskrivs, tillsammans med många andra råmaterial i Non-Critical Raw Material Factsheets (European Commission, 2020d) på liknande vis som EU-kommissionen beskriver de kritiska råmaterialen. Andra tänkbara tillämpningar är kartläggning av sekundära flöden av plast och giftiga ämnen.

För mer inspiration på modellens uppbyggnad bör modeller framtagna av andra experter förslagsvis konsulteras. Ett bra exempel är EU-projektet ProSUM (Prospecting Secondary raw materials in the Urban mine and Mining wastes) med tillhörande Urban Mine Platform (Urban Mine Platform, 2018) där bland annat Chalmers är partner. Projektet slutade 2017, men databasen är fortfarande i gång, och mycket av metodiken kan vara till nytta vid modellering, Figur 15.

Samlad diskussion och slutsatser

Huvudmålet med den här studien är att kartlägga sekundära flöden av kritiska råmaterial. Det var medvetet ambitiöst formulerat och under arbetets gång visade det sig att det saknas tillförlitliga uppgifter på koncentrationer av kritiska råmaterial i produkter och uppgifterna är än bristfälligare för avfallsflödena. En inledande och övergripande slutsats blir därför att det saknas statistik för metallanvändning. Det gäller inte enbart de kritiska råmaterialen, för vilka det i hög grad även saknas statistik för produktion och avfall, utan samtliga metaller.

Det blev nödvändigt att göra en prioritering av vilka råmaterial som skulle kartläggas mer ingående. Utifrån genomförd litteraturstudie och statistikgenomgång bedömdes 19 råmaterial ha hög prioritet på grund av deras betydelse för klimatvänlig energiteknik. Av dessa bedöms i första hand kobolt, koppar, mangan, neodym, nickel, niob, platinagruppermetaller och titan ge upphov till sekundära flöden som både är, eller bedöms inom en snar framtid bli, funktionellt återvinningsbara och av tillräckligt stor ekonomisk betydelse för att motivera investeringar i återvinning.

Den här studien har genomfört fördjupade kartläggningar av kobolt, neodym, platinagruppermetaller samt indium. Indium inkluderades trots att förutsättningarna för återvinning bedöms vara små på grund av att det är viktigt vid produktion av solceller. Resultatet visar att det är möjligt att göra en ordentlig kartläggning.

Likheter och skillnader mellan sekundära flöden av fyra olika kritiska råmaterial

En närmare granskning av flödena för kobolt, platinagruppermetaller, neodym och indium utfördes då de i den här studien ansågs extra viktiga för en svensk energiomställning. Dessa material kan spela en viktig roll i batterier för en elektrifierad fordonsflotta, elektrolysörer och bränsleceller för framställning och användning av vätgas, motorer och generatorer för elfordon och vindkraft samt för solceller. Från denna granskning kan följande slutsatser dras:

- Kobolt används i dagsläget huvudsakligen inom legeringar och den återvinning som sker i Sverige idag går framför allt från skrot till legeringar. Användningen bedöms öka kraftigt i form av batterier, vilket också medför att det avfallsflödet kommer att öka (med en viss fördröjning). Northvolt har visat tydliga planer på att hantera detta flöde, dels genom cirkulär design av sina produkter, dels genom att utvinna en stor del av sitt råvarubehov från uttjänta batterier och industrispill.
- Platinagruppermetallerna används i dagsläget huvudsakligen i fordonskatalysatorer för att rena avgaser från förbränningsmotorer. Återvinning som sker i Sverige i dagsläget kommer dels från elektronik, dels från fordonskatalysatorer. Återvinningen inkluderar i dagsläget inte

någon raffinering till rena metaller utan sker i form av att utvinna ett koncentrat av platinagruppermetaller som skickas på export för raffinering utomlands. Med den utveckling som spås inom transportsektorn så kommer PGM-behovet att minska. Den mängd platinagruppermetaller som förutspås behövas i elektrolysörer och bränsleceller är betydligt mindre än minskningen från fordonskatalysatorer, vilket innebär att totala behovet ser ut att minska.

- Neodym används huvudsakligen i form av magneter vilket än så länge framför allt används i andra produkter än vindkraft och elbilar. Elektrifieringen av transportsektorn och utbyggnaden av vindkraft driver på behovet av neodym. Neodym från magneter återvinns inte i dagsläget annat än på forskningsnivå men med de satsningar på utvinning av sällsynta jordartsmetaller som är på gång inom Sverige och med det ökade (globala) behovet av neodym som förutspås så är det sannolikt att en återvinning är på gång inom en överskådlig framtid.
- Indium används i dagsläget huvudsakligen i form av ett transparent och elektriskt ledande tunt skikt av indium-tenn-oxid (ITO) framför allt i plattskärmar (för exempelvis TV, dator, mobil). Materialet bedöms inte vara cirkulerbart från uttjänta produkter inom en snar framtid då det krävs stora mängder material för att återvinna en liten mängd indium (dissipativ användning). Industrispill är däremot återvinningsbart, då koncentrationen av indium är betydligt högre och det uppstår dessutom en stor mängd industrispill från de applikationer som indium används inom. Mängden indium i konventionella solceller är en osäker uppgift, men det ser ut som att användningen av indium kan komma att öka i takt med behovet av solceller. Det används än så länge relativt lite solceller i Sverige, men det sker en hög relativ ökning varje år.

Generellt innebär omställningen av energi- och transportsektorerna ett kraftigt ökat metallberoende. Exemplet med platina visar samtidigt att behovet av vissa specifika tillämpningar samtidigt kommer att minska och därmed frigöra materialresurser. Det gäller både det sekundära råmaterialet, om det kan omhändertas med funktionell återvinning, och det primära råmaterialet eftersom gruvornas produktionskapacitet, åtminstone i ett kort tidsperspektiv, är oberoende av fluktuationer i efterfrågan.

Livslängden för de produktkategorier som utgör huvuddelen av de flöden som har studerats närmare varierar från enstaka år (konsumentelektronik) till några tiotals år (fordon, vindkraftverk, solcellspaneler). Det betyder att det sker motsvarande fördröjning mellan storskalig introduktion av nya produkter eller tekniker och återvinning av samma ström. I en tid när klimatomställningen behöver ske mycket snabbt kan det finnas en risk för att en tidshorisont på några decennier gör att frågan om återvinning hamnar i skymundan. Northvolts uttalade fokus på en cirkulär affärsmodell, med motiveringen att det är nödvändigt för att säkra råmaterialtillgången pekar dock på att den risken inte ska överdrivas.

Kriterier för en funktionell återvinning

Den här studien har inte tagit ställning i frågan när det är önskvärt att maximera en produkts livslängd jämfört med att ersätta den med en mer effektiv produkt och återanvända alternativt återvinna den. Det är uppenbart att klimatomställningen bland mycket annat förutsätter en effektiv resursförvaltning där både primära och sekundära råmaterialflöden kommer att vara nödvändiga parallellt. Det betyder att det generellt är önskvärt med en ökad funktionell återvinning, men också att återvinningsprocessen måste ge en nettonytta. Det finns borte gränser för när det är praktiskt möjligt att återvinna material. Studien identifierar ett antal kriterier för en ökad funktionell återvinning av kritiska råmaterial:

- De material som återvinns i dagsläget är framför allt de material som har ett högt totalt värde. Ett sådant exempel är koppar där den totala användningen av koppar i Sverige har uppskattats till ett värde i storleksordningen av miljarder kr per år. Hafnium å andra sidan har en total användning i Sverige som uppskattats till hundratusentals kr per år vilket gör att en investering i anläggningar för att återvinna hafnium behöver vara mycket billiga för att det ska löna sig ekonomiskt. Energiförbrukningen vid primär respektive sekundär framställning påverkar också den ekonomiska (och miljömässiga) lönsamheten. Ett vanligt exempel är aluminium. Det krävs 13 kWh/kg för att utvinna aluminium ur bauxit, men återvinning från skrot innebär en energibesparing på upp till 95 % (Svenskt Aluminium, 2022)
- Det har också framkommit att återvinning går hand-i-hand med produktion från primära råvaror. Det är ofta stora aktörer som redan har en process i gång för att hantera materialet som också passar på att ta in en sekundär råvara som en del i sitt befintliga flöde. Några exempel på detta är Boliden och Umicore. Ett undantag från den här tumregeln är Northvolt, där strategin snarare ser ut att handla om att säkra tillgång till råvaror på en snabbt växande marknad.
- Andra faktorer som spelar roll för återvinningen är dissipativ användning, konkurrens med annan utvinning eller att materialet förbrukas vid användning. Med dissipativ användning menas att materialet används i små mängder eller låga koncentrationer i produkterna vilket gör återvinningsprocessen dyrare. Konkurrens med annan utvinning sker exempelvis i form av att flera av de kritiska råmaterialen utvinns som biprodukter från annan råvaruframställning vilket medför att det ibland är mer lönsamt att öka mängden utvunnen biprodukt än att öka återvinningen. För vissa material såsom koks och naturgummi sker en omvandling av materialet som innebär att de förbrukas vid användning vilket också medför att de inte kan återvinnas.

Spårbarhetssystem kan stimulera ökad återvinning

Den globala konkurrensen om batterimineral har redan lett till ett antal initiativ från bland annat EU, branschorganisationer och enskilda företag som tydligt visar att spårbarhetssystem kan vara en nyckel för ökad återvinning. Denna studie tar upp både EU:s nya batteriförordning och Northvolts planer på återtag och återvinning av elfordonsbatterier som konkreta exempel på detta.

Den främsta framgångsfaktorn för att etablera fungerande spårbarhetssystem är samarbetet och tilliten mellan värde-/försörjningskedjans olika aktörer. Det här är i många fall en stor utmaning eftersom råmaterial och produkter flödar i komplexa, ofta globala nätverk. Två komplementära ansatser för att hantera den här komplexiteten och skalan är att fokusera på de viktigaste flödena och att försöka skapa slutna system.

Drivkraften för enskilda aktörer att medverka i spårbarhetssystem kan både vara extern (uppfylla lagkrav) och intern (uppfylla interna mål, cirkulär lönsamhet), vilka kan stimuleras genom både lagstiftning och offentlig upphandling. En annan framgångsfaktor är en ändamålsenlig design av produkten, som tillåter rationell återvinning. De tekniska aspekterna är naturligtvis avgörande för ett fungerande spårbarhetssystem, men de bör styras av hur systemet designas i övrigt. Det råder heller ingen generell brist på systemutvecklare eller teknikleverantörer med kompetens att tillhandahålla spårbarhetssystem.

Inför etableringen av ett (eller flera) spårbarhetssystem för ökad cirkularitet av kritiska råmaterial rekommenderas:

- Identifiera de viktigaste kritiska råmaterialen ur ett svenskt perspektiv. Den här studien kan lämpligen ligga till grund för en sådan prioritering. Samtidigt kan prioriteringarna komma att skilja sig åt beroende på vilket perspektiv initiativtagaren har (enskilt företag, bransch, sektors-, nation, globalt).
- Genomför en detaljerad aktörsanalys. En tillräckligt heltäckande medverkan från hela värde-/försörjningskedjan i kombination med en tillräckligt hög tillit mellan aktörerna är en kritisk framgångsfaktor. För att uppnå detta krävs en aktörsanalys som bland annat kartlägger vilka aktörer som ingår i den aktuella värde-/försörjningskedjan. Den här studien listar ett antal nyckelaktörer bland återvinnare, men har inte haft ambitionen att kartlägga fler steg i råmaterialens värde-/försörjningskedjor.
- Genomför en styrmedelsanalys. Ett spårbarhetssystem kommer att vara enklare eller svårare att ansluta sig till av olika skäl för olika aktörer. Det kommer också att underlätta uppföljning av de datatyper som spåras och, sannolikt, göra det relativt sett svårare att följa upp andra datatyper. Beroende på avgränsningarna kan det också gynna vissa flöden framför andra.

Framtida kartläggningar skulle underlättas av förfinad avfallsrapportering och intervjuer med nyckelaktörer

Klassificeringarna för i första hand avfallsrapporteringen men även export- och importdata är i dagsläget inte gjorda för att data på de kritiska materialen ska kunna tas fram på ett effektivt sätt. Den här studien har därför krävt att materialsammansättningen för olika produkter har skattats utifrån uppgifter i olika rapporter och publicerad litteratur. Ibland har det även krävts egna, mer eller mindre osäkra antaganden.

Erfarenheten från det här projektet har resulterat i ett förslag på en metod för framtida kartläggningar. Metoden bygger på en kombinerad kartläggning av konsumtion av väsentliga produkter och kunskapssammanställning över förväntad livslängd och materialsammansättning av produkterna. En framtida kartläggning föreslås också inkludera uppgifter om insamling, materialbehandling och återvinning för att få en komplett bild av vart de sekundära flödena tar vägen.

Inför kommande kartläggningar av sekundära flöden av kritiska råmaterial rekommenderas intervjuer med nyckelaktörer. De förväntas kunna tillföra relevant information om såväl flöden, återvinningstekniker och återvinningspotential som förutsättningar för en förfinad avfallsrapportering. Ett förbättrat kunskapsunderlag om dessa sekundära flöden bedöms kunna vara värdefullt också för kommersiella aktörer. Detta är viktigt inför beslut om till exempel investering i återvinning och återanvändning och för att identifiera eller tydliggöra konkurrens om specifika material för olika tillämpningar.

Spårbarhetssystem skulle potentiellt kunna ge ett stort bidrag för datainsamling beroende på vilken data som spåras, hur heltäckande värde-/försörjningskedja som inkluderas och om data görs tillgänglig. Det här knyter också an till frågan om vilken relevant data som olika verksamhetsutövare samlar in redan idag utöver vad som rapporteras vilket ytterligare understryker värdet av intervjuer som kompletterande datainsamlingsmetod för framtida kartläggningar.

Referenser

Agrawal, A., Pathak, P., Mishra, D. & Sahu, K.K., 2010. Recovery of metal values from spent nickel-cadmium rechargeable batteries by solvent extraction route. Proceedings of the XI International Seminar on Mineral Processing Technology (MPT-2010). <https://eprints.nmlindia.org/4109/1/163.pdf>

Arc Metal, 2021. <https://arcmetal.se/> Information om företaget. Sidan har besökts flera gånger under slutet av 2021

Arvaniditis, N., 2019. Circular economy is about resource efficiency, not "only" recycling. <http://iapgeoethics.blogspot.com/2019/01/circular-economy-is-about-resource.html>. 2019-01-09.

Avfall Sverige, 2016. Vad slänger hushållen i soppsåsen? Rapport 2016/28. <https://www.avfall sverige.se/kunskapsbanken/rapporter/rapportera/article/vad-slanger-hushallen-i-soppasen/>

BatteryLoop, 2021-12-10. BatteryLoop. A Step Towards Circular Energy Use. A world-leading circular charging solution. <https://www.batteryloop.com/>.

BIO by Deloitte 2015. Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials. Prepared for the European Commission, DG GROW.

Bergholt, M-L. (RISE), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordssamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.

Bil Sweden, 2021. Databas nyregistreringar. <https://www.bilsweden.se/statistik/databas-nyregistreringar>.

Bolagsfakta, 2021. <https://www.bolagsfakta.se/>. Olika företagsfakta om bland annat omsättning har inhämtats. Sidan har besökts flera gånger under slutet av 2021 och början av 2022.

Boliden, 2021a. Bolidens Års- och hållbarhetsredovisning 2020. <https://www.boliden.com/sv/investerare/rapporter-och-presentationer/arsredovisningar>

Boliden, 2021b. <https://www.boliden.com/sv/verksamhet/produkter/sakerhetsdatablad> En samling av säkerhetsdatablad. Sidan har besökts flera gånger under slutet av 2021

Boliden, 2021c. <https://www.boliden.com/> Bolidens hemsida, beskriver företaget och flera av deras metaller. Sidan har besökts flera gånger under slutet av 2021

Carlsson, R. (RISE), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordssamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.

Circular, 2021. What the EU Battery Regulation tells us about the Battery Passport. <https://www.circular.com/battery-passport>.

CES, 2020. The lithium-ion battery life cycle report 2021. Circular Energy Storage. <https://www.circularenergystorage-online.com>

CES, 2021. Circular Energy Storage Online the lithium-ion battery lifecycle data platform. <https://www.circularenergystorage-online.com>

Chen, W.-S., Chung, Y.-F. & Tien, K.-W., 2020. Recovery of Gallium and Indium from Waste Light Emitting Diodes. Journal of the Korean Institute of Resources Recycling, 29(1), 81-88. DOI 10.7844/kirr.2020.29.1.81

Ciacci, L., Vassura, I., Cao, Z., Liu, G. & Passarini, F., 2019. Recovering the “new twin”: Analysis of secondary neodymium sources and recycling potentials in Europe. Resources, Conservation and Recycling, 142, 143–152, ISSN 0921-3449, DOI 10.1016/j.resconrec.2018.11.024.

Committee on Sustainability Assessment, 2019. Three Guidelines to Reveal What’s Hiding in Your Supply Chain. <https://thecosa.org/three-guidelines-to-reveal-whats-hiding-in-your-supply-chain/>.

CORDIS, 2017. Recovery of Rare Earth Elements from magnetic waste in the WEEE recycling industry and tailings from the iron ore industry. <https://cordis.europa.eu/project/id/603564/reporting>. 2017-08-16.

Dai et al., 2018. Update of Bill-of-Materials and Cathode Materials Production for Lithium-ion Batteries in the GREET Model. https://greet.es.anl.gov/publication-update_bom_cm

DI, 2021. Northvolts återvinningsfabrik ska bli mångdubbelt större än planerat. <https://www.di.se/hallbart-naringsliv/northvolts-atervinningsfabrik-ska-bli-mangdubbelt-storre-an-planerat/>

EasyMining, 2021. <https://www.easymining.se/> EasyMinings hemsida, beskriver företaget, deras tekniker och projekt som de är involverade i. Sidan besöktes i slutet av 2021

ECOS, 2021. Setting ‘green’ rules for a booming market – Pros and cons of the EU Battery Regulation proposal. https://ecostandard.org/news_events/setting-green-rules-for-a-booming-market-pros-and-cons-of-the-eu-battery-regulation-proposal/.

El-kretsen, 2019. Från återvinnare till råvaruleverantör – plast och elektronik. Hållbarhetsredovisning 2019. http://www.el-kretsen.se/sites/el-kretsen_se/files/media/Dokument/H%C3%A5llbarhetsrapport_webb_sve.pdf.

Energimyndigheten, 2016. Bättre förutsättningar för solceller på villataket. <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2016/battre-forutsattningar-for-solceller-pa-villataket>. 2016-07-13.

Energimyndigheten, 2020. Beviljade projekt i utlysningen framtidens solel, vindkraft och elnät för en hållbar klimatomställning. <http://www.energimyndigheten.se/globalassets/nyheter/2020/beviljade-projekt-solel-vindel-och-elnat-2019.pdf>

Energimyndigheten, 2021a. Förslag till nationell strategi för fossilfri vätgas.
<https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/forslag-till-nationell-strategi-for-fossilfri-vatgas/>.

Energimyndigheten, 2021b. Scenarier över Sveriges energisystem 2020.
<https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=185971>.

Energimyndigheten, 2021c. Vindkraftsstatistik
<https://www.energimyndigheten.se/statistik/den-officiella-statistiken/statistikprodukter/vindkraftsstatistik/> Senaste publicering: 2021-04-21.

Energimyndigheten, 2021d. Kortsiktsprognos sommar 2021.
<https://www.energimyndigheten.se/statistik/prognoser-och-scenarier/>.

Engineering News, 2014. Swedish solar energy expert Midsummer and Chalmers University of Technology develops a unique process to recycle rare metals.
<https://www.engineeringnews.co.za/article/swedish-solar-energy-expert-midsummer-and-chalmers-university-of-technology-develops-a-unique-process-to-recycle-rare-metals-2014-02-19/>

European Commission 2020a. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. ISBN 978-92-76-15337-5. DOI 10.2873/865242.

European Commission, 2020b. COM(2020) 474 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. 2020-09-03.

European Commission 2020c. Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Factsheets on Critical Raw Materials. ISBN 978-92-76-21053-5. DOI 10.2873/92480.

European Commission, 2020d. Study on the EU's list of Critical Raw Materials, Factsheets on Non-critical Raw Materials. ISBN 978-92-76-21052-8. DOI 10.2873/867993.

European Commission, 2020e. Green Deal: Sustainable batteries for a circular and climate neutral economy.
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_2312.

European Commission, 2020f. Raw materials demand for wind and solar PV technologies in the transition towards a decarbonized energy system.
<https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC119941>

Fransén, M. (Chalmers tekniska högskola), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordssamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.

Fråne, A., Anderson, S., Andersson, C., Boberg, N., Dahlbom, M., Miliute-Plepiene, J., Unsbo, H., Villner, M., George, M., 2022 (förväntad publikation). Kartläggning av plastflöden i Sverige. Med avseende på råvara, produkter och avfall.

- Gröna Bilister, 2021. 20/4: Banta bilen! Svenska personbilar vikt ökar i accelererande takt. <http://www.gronabilister.se/arkiv/pressmeddelanden-2021/banta-bilen-svenska-personbilar-vikt-okar-i-accelerande-takt>.
- Gustafsson, A., 2014. Recycling of CIGS solar cell waste materials. Doktorsavhandling vid Chalmers tekniska högskola. ISBN 978-91-7597-080-6 <https://research.chalmers.se/en/publication/203661>
- Göteborg Energi, 2021. Pressmeddelande: Fyra olika projekt vinner Göteborg Energis hållbarhetsstipendium Tänk:Om 2021. https://www.mynewsdesk.com/se/goteborg_energi/pressreleases/pressmeddelande-fyra-olika-projekt-vinner-goeteborg-energis-haallbarhetsstipendium-taenk-om-2021-3146062. 2021-11-23.
- Hemmelberg, S. & Hanna, J., 2021. Product and material traceability from managerial perspective. Stockholm Business School. Master's Degree Thesis in Management.
- IEA, 2020. Global hydrogen demand by sector in the Sustainable Development Scenario, 2019-2070. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-hydrogen-demand-by-sector-in-the-sustainable-development-scenario-2019-2070>, 2021-11-10.
- Indium Corporation, 2008. The Use of Indium Chemicals in Alkaline Battery Manufacturing. <https://www.indium.com/technical-documents/download/840/>.
- International Energy Agency 2021. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report.
- International Energy Agency 2021a. Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector.
- IVL, 2021. TraceMet Report: Outlook. <https://www.ivl.se/download/18.5bcd43b91781d2f501cc59/1616072443945/TraceMet%20WP2%20Outlook.pdf>.
- Karim, R. (Luleå Tekniska Universitet), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordssamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.
- Kungliga ingenjörsvetenskapsakademien, 2020. Så når Sverige klimatmålen, Syntesrapport för IVA-projektet Vägval för Klimatet. <https://www.iva.se/globalassets/bilder/projekt/vagval-klimat/iva-vagval-for-klimatet-syntesrapport.pdf>
- Källström, A (Sustainability Circle), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordssamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.
- Larsson, K., Ekberg, C., Ødegaard-Jensen, A., 2013. Dissolution and characterization of HEV NiMH batteries. Waste Management 33, 689–698. DOI 10.1016/j.wasman.2012.06.001

Liu T & Qiu K., 2018 Removing antimony from waste lead storage batteries alloy by vacuum displacement reaction technology. *Journal of Hazardous Materials*, 347, 334–340. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.01.017.

Ljunggren M. S. & Ingemarsdotter E., 2014. Användning och återvinning av potentiellt kritiska material, Kunskapsöversikt. .

LKAB, 2019. LKAB investerar i pilotanläggning för fosfor och sällsynta jordartsmetaller. <https://www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/lkab-investerar-i-pilotanlaggning-for-fosfor-och-sallsynta-jordartsmetaller/>. 2019-02-20.

LKAB, 2021. LKAB:s prospekteringsresultat bekräftar potential för produktion av fosformineralgödsel och sällsynta jordartsmetaller. <https://www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/lkabs-prospekteringsresultat-bekraftar-potential-for-produktion-av-fosformineralgodsels-och-sallsynta-jordartsmetaller/>. 2021-03-31.

London Metal Exchange, 2019. LME responsible sourcing. <https://www.lme.com/-/media/Files/Company/Responsibility/Responsible-sourcing/LME-responsible-sourcing-October-2019.pdf>.

Mat4Green Tech, 2021. <http://www.mat4greentech.com/> Mat4Green Techs hemsida, beskriver företaget och de forskningsprojekt som de är eller har varit involverade i. Sidan besöktes i slutet av 2021

Material Economics, 2020. Preserving Value in EU Industrial Materials, A value perspective on the use of steel, plastics, and aluminium.

Miljöbarometern 2030, 2020. Indikatorer för fossiloberoende transporter år 2030. Antal sålda cyklar och elcyklar. <https://2030.miljobarometern.se/nationella-indikatorer/bilen/antal-salda-cyklar-och-elcyklar-b11/>. 2020-10-09.

Naturvårdsverket, 2021. Ett utdrag av importerad och exporterad mängd elektronikavfall för perioden 2010–2019, uppdelat på rapporterad(e) avfallskod(er) och land. Efter personlig kontakt med Naturvårdsverket.

Northvolt, 2021a. Northvolt produces first fully recycled battery cell – looks towards establishing 125,000 ton/year giga recycling plant. <https://northvolt.com/articles/recycled-battery/>. 2021-11-12.

Northvolt, 2021b. Northvolt partners with Swedish cleantech startup to upcycle 200,000 tons of salt per year. <https://northvolt.com/articles/cinis/>. 2021-10-18.

Ny Teknik, 2021. Sju mineral blir kritiska för vätgasboomen. <https://www.nyteknik.se/premium/sju-mineral-blir-kritiska-for-vatgasboomen-7017119#7017198>

Ovako, 2019. Environmental product declaration in accordance with ISO 14025 for: Hot-rolled bar steel product in Imatra, Ovako. Version 2019-03-20. <https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/epd-imatra.pdf>

Ovako, 2020a. Environmental product declaration in accordance with ISO 14025 for: Hot-rolled bar steel product in Hofors, Ovako. Version 2020-10-28.

<https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/epd-hofors.pdf>

Ovako, 2020b. Environmental product declaration in accordance with ISO 14025 for: Hot-rolled bar steel product in Smedjebacken & Boxholm, Ovako. Version 2020-10-28. <https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/epd-smedjebacken-and-boxholm.pdf>.

Ovako, 2021a. Sustainability report 2020.

<https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/ovako-2020-sustainability-report.pdf>

Ovako, 2021b. Statement on recycled content and recyclability.

<https://www.ovako.com/globalassets/downloads/sustainability/statement-recycled-content-ovako-20210621.pdf>

Näringsdepartementet, 2021. Uppdrag att öka möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser. Regeringsbeslut N2021/01038, 2021-03-24.

Patil, A., Tarik, M., Struis, R. & Ludwig, C., 2021. Exploiting end-of-life lamps fluorescent powder e-waste as a secondary resource for critical rare earth metals. Resources, Conservation and Recycling, 164,105153, ISSN 0921-3449, DOI 10.1016/j.resconrec.2020.105153.

Plastcycle, 2022. About. <https://plastcycle.nilu.no/en/about/>. 2022-02-09.

Power Circle, 2018. Elbilsläget 2018. <https://infogram.com/elbilslaget-2018-1h1749rjvkrq4zj?live>

Power Circle, 2019. Elbilsläget 2018, Prognos elbilsutvecklingen 2019-2045. <https://powercircle.org/wp-content/uploads/2019/01/Prognos-och-statistik-elektrifiering-transportsektorn1.pdf>

ProSUM, 2022. About the project. ProSUM – Prospecting Secondary raw materials from the Urban Mine and Mining waste. <http://www.prosumproject.eu/about-project>. 2022-02-09.

reBuy, 2022. Mobile Phone. E-Waste Index. <https://www.rebuy.de/s/mobile-ewaste-index-en>. 2022-02-09.

Regeringskansliet, 2021. En taxonomi för hållbara investeringar.

<https://www.regeringen.se/regeringens-politik/finansmarknad/taxonomi-ska-gorad-et-enklare-att-identifiera-och-jamfora-miljomassigt-hallbara-investeringar/>.

RISE, 2020. TraceMet Report: Technical Development. RISE Report 2020:95 ISBN 978-91 89167-80-3

Sandvik Coromant, 2021. <https://www.sandvik.coromant.com/sv-se/pages/default.aspx> Sandvik Coromants hemsida, beskriver företaget och hur

deras verktyg återvinns. Informationen hittades på flera delar av sidan genom deras sökfunktion. Sidan besöktes flera gånger under slutet av 2021 och början av 2022.

SMED, 2020. Kartläggning av materialflöden av småelektronik i Sverige. SMED Rapport, ISSN 1653-8102.

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020a. Behandlat avfall efter typ av behandling och avfallsslag. Vartannat år 2010 – 2018. PxWeb (scb.se)
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0305/MI0305T003/. (2020-06-15)

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020b. Uppkommet avfall efter egenskap, näringsgren SNI 2007 (inkl. hushåll) och avfallsslag. Vartannat år 2010 – 2018. PxWeb (scb.se).
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0305/MI0305T01C/. 2020-06-15.

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020c. Export av anmälningspliktigt avfall efter mottagarland, avfallsslag och behandlingstyp. År 2012 – 2018. PxWeb (scb.se). 2020-06-01.

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020d. Import av anmälningspliktigt avfall efter avsändarland, avfallsslag och behandlingstyp År 2012 - 2018. PxWeb (scb.se)
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0308/MI0308T06/. 2020-06-01.

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020e. Sald och insamlad mängd batterier efter batterityp. År 2010 – 2018.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0309/MI0309T03/. 2020-06-01.

Statistiska centralbyrån (SCB), 2020f. Sald och insamlad mängd elutrustning efter typ av utrustning och produktkategori. År 2010 - 2018
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_MI_MI0309/MI0309T01/. 2020-06-01.

Statistiska centralbyrån SCB, 2021a. Varuimport från samtliga länder efter varugrupp KN 2,4,6,8-nivå och handelspartner, sekretessrensad, ej bortfallsjusterat. År 1995 – 2020.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_HA_HA0201_HA0201B/ImpTotalKNAr/. 2021-10-27.

Statistiska centralbyrån SCB, 2021b. Varuexport till samtliga länder efter varugrupp KN 2, 4, 6, 8-nivå och handelspartner, sekretessrensad, ej bortfallsjusterat. År 1995 – 2020.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_HA_HA0201_HA0201B/ExpTotalKNAr/. 2021-10-27.

Statistiska centralbyrån SCB, 2021c. Industrins produktion efter varugrupp enligt KN och lönebearbetning. År 1996 – 2020.

https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START_NV_NV0119/IVP_KNLonAr/. 2021-06-30.

Stena Aluminium 2017. Cast alloys in aluminium – Aluminium production through recycling since 1949.

https://www.stenaaluminium.com/siteassets/document/brochures/legeringsbroschyr_2017_en_lr.pdf

Stena Aluminium, 2022a. The aluminium loop. A cross-trade loop for sustainable businesses. <https://www.stenaaluminium.com/insights/the-aluminium-loop/>. 2022-02-09.

Stena Aluminium 2022b. Clear policies for the purchase of aluminium raw material for recycling. <https://www.stenaaluminium.com/aluminium-raw-material/purchasing-policy-and-conditions/>. 2022-02-09.

Stena Recycling Group (flera olika talare från olika organisationer), 2021. Future of battery recycling. Expertseminarium genomfört 2021-11-30.

<https://www.stenarecycling.se/information/framtidens-batteriatervinning/experterna-om-framtidens-batteriatervinning/>.

Stena Recycling, 2022. Energimyndigheten ger stöd åt Stena Recyclings storinvestering i batteriåtervinning.

<https://www.stenarecycling.se/nyheter/energimyndigheten-ger-stod/>

Sternbeck, J., Palm, A. & Kaj, L., 2002. Antimon i Sverige - användning, spridning och miljöpåverkan. IVL rapport B1473.

<https://www.ivl.se/webdav/files/Publikationer/B1473.pdf>

Svemin, 2019. Traceability of sustainable metals – a blockchain-based solution.

[https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbe174fee4974b25ec/1603289493500/Traceability%20of%20sustainable%20metals%20%20slutrapport%20f%C3%B6r%20studie%20\(002\).pdf](https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbe174fee4974b25ec/1603289493500/Traceability%20of%20sustainable%20metals%20%20slutrapport%20f%C3%B6r%20studie%20(002).pdf).

Svenskt Aluminium, 2022-03-29. Om Aluminium.

<https://www.svensktaluminium.se/om-aluminium/>.

Sveriges riksdag, 2021. Ny EU-förordning om batterier. Fakta-PM om EU-förslag

2020/21:FPM65 : COM (2020) 798. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-lagar/dokument/fakta-pm-om-eu-forslag/ny-eu-forordning-om-batterier_H806FPM65.

Swedish Lifecycle Centre, 2021. Samordning av livscykeldata för ökad spårbarhet & plaståtervinning. Rapport 2021:03.

Swerim, 2021-12-13. SenSoRe – Sensorer och sortering för innovativ återvinning.

<https://www.swerim.se/sensore>.

Sysav, 2021-12-13. Siptex – textilsortering. <https://www.sysav.se/om-oss/forskning-och-projekt/siptex/>.

Tesfaye, F., Lindberg, D., Hamuyuni, J., Taskinen, P. & Hupa, L., 2017. Improving urban mining practices for optimal recovery of resources from e-waste. *Minerals Engineering*, 111, 209–221. ISSN 0892-6875, DOI 10.1016/j.mineng.2017.06.018.

Tillväxtanalys, 2019. Spårbarhet och märkning av hållbara metaller och mineral – insatser för ökad transparens, trovärdighet och efterfrågan. PM 2019:01.

Trafikanalys 2020. Vägfordonsflottans utveckling till år 2030.

https://www.trafa.se/globalassets/pm/2020/pm-2020_7-vagfordonflottans-utveckling-till-ar-2030.pdf

Trafikanalys, 2021. Fordon på väg, statistik för Fordon 2020.

<https://www.trafa.se/vagtrafik/fordon>

Tunsu, C., Ekberg, C. & Retegan, T., 2014. Characterization and leaching of real fluorescent lamp waste for the recovery of rare earth metals and mercury.

Hydrometallurgy, 144–145, 91–98, ISSN 0304-386X, DOI 10.1016/j.hydromet.2014.01.019.

Umicore, 2021. <https://www.umicore.com/> Umicores hemsida, beskriver företaget, metaller som de tillhandahåller, material som de återvinner och några av deras återvinningsprocesser. Sidan besöktes i slutet av 2021.

Umicore Autocat Sweden, 2021. Årsredovisning för Umicore Autocat Sweden AB 556427-8447 Räkenskapsåret 2020-01-01 – 2020-12-31.

<https://www.hitta.se/f%C3%B6retagsinformation/umicore+autocat+sweden+ab/5564278447>

UN Global Compact, 2014. A Guide to Traceability – A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains.

https://d306pr3pise04h.cloudfront.net/docs/issues_doc%2Fsupply_chain%2FTraceability%2FGuide_to_Traceability.pdf.

Urban Mine Platform, 2018. Urban Mine Platform. Websida.

<http://www.urbanmineplatform.eu>

Veolia, 2022. <https://www.veolia.se/ljuskallor-lysrör-och-lagenergilampor> Veolias egen beskrivning av hur ljuskällor återvinns. Sidan besöktes senast i februari 2022.

Vinnova, 2017. Industriell process för utvinning av sällsynta jordartsmetaller ur elektronikskrot – verifiering. <https://www.vinnova.se/p/industriell-process-for-utvinning-av-sallsynta-jordartsmetaller-ur-elektronikskrot---verifiering/>. 2017-05-08.

Virolainen, S., Paatero, E. & Ibana, D., 2011. Recovery of indium from LCD screens. Conference paper, 19th International Solvent Extraction Conference, 3-7 October, Santiago, Chile.

Wiecka, Z., Rzelewska-Piekut, M., Regel-Rosocka, M., 2022. Recovery of platinum group metals from spent automotive converters by leaching with organic and inorganic acids and extraction with quaternary phosphonium salts, *Separation*

and Purification Technology, 280, 119933, ISSN 1383-5866, DOI 10.1016/j.seppur.2021.119933.

Wolfram Bergbau und Hütten AG, 2021. <https://www.wolfram.at/en/> Wolframs hemsida, där företaget och deras återvinningsprocess beskrivs.

World Bank Group 2020. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition.

Yang, J., 2015. Process Development for Extraction and Separation of In and Y from Discarded Flat Panel Displays. Doktorsavhandling vid Chalmers tekniska högskola. ISBN 978-91-7597-201-5
<https://research.chalmers.se/publication/215987>

Yang, Y. et al., 2017. REE Recovery from End-of-Life NdFeB Permanent Magnet Scrap A Critical Review. Journal of Sustainable Metallurgy, 3(1), s.122-149.

Zhou, J., Zhu, N., Liu, H., Wu, P., Zhang, X. & Zhong, Z., 2019. Recovery of gallium from waste light emitting diodes by oxalic acidic leaching. Resources, Conservation and Recycling, 146, 366–372, ISSN 0921-3449, DOI 10.1016/j.resconrec.2019.04.002.



Förslag på utformning av ett livscykelbaserat system för kartläggning av flöden av omställningskritiska råmaterial i den svenska teknosfären

Christian Junestedt, Dämien Bolinius, Erik Emilsson, Henric Lassesson,
Pavinee Nojpanya, Joel Wanemark, Erik Lindblom;
IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Louise Sörme; Statistikmyndigheten SCB

Avtal: A22-04

På uppdrag av Naturvårdsverket

Publicering: www.smed.se

Utgivare: Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut

Adress: 601 76 Norrköping

Startår: 2006

ISSN: 1653-8102

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL Svenska Miljöinstitutet, Statistikmyndigheten SCB, Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI). Samarbetet inom SMED inleddes 2001 med syftet att långsiktigt samla och utveckla den svenska kompetensen inom emissionsstatistik kopplat till åtgärdsarbete. På uppdrag av Naturvårdsverket samt Havs- och vattenmyndigheten säkerställer SMED framtagandet av underlag till Sveriges internationella rapportering avseende utsläpp till luft och vatten, avfall, farliga ämnen, buller samt åtgärder. Syftet med SMED-samarbetet är främst att utveckla och driva nationella emissionsdatabaser, samt att tillhandahålla olika tjänster relaterade till dessa för nationella, regionala och lokala myndigheter. Mer information finns på SMED:s webbplats www.smed.se.

Innehåll

INNEHÅLL	4
ORDLISTA OCH FÖRKORTNINGAR	6
SAMMANFATTNING	8
SUMMARY	10
INLEDNING	12
Syfte och mål	12
Bakgrund	13
MATERIAL OCH METOD	15
Definitioner av centrala begrepp	15
Spårbarhet och kartläggning	15
Kritiska råmaterial	15
Cirkulär ekonomi, livscykelanalys och tillämpning av livscykelperspektiv	16
Metodologiskt ramverk	17
Materialsystemanalys	17
Bottom-up- och top-down-ansatser	18
SYSTEM FÖR KARTLÄGGNING AV MÄNGDER OCH FLÖDEN AV KRITISKA RÅMATERIAL	20
Grundläggande beräkningssteg	20
Mängden av olika produkter	21
Koncentrationer av kritiska råmaterial i olika produkter	21
Olika produkters livslängd	23
Databehov och datakällor för kartläggning och spårbarhet	23
Beskrivning befintliga datakällor	24
Beskrivning av framtida datakällor	27
Urval av system och regleringar av särskild relevans för kartläggningssystemet	28

Förslag till ny förordning om batterier	29
Förslag till ny förordning om ekodesign för hållbara produkter	29
Initiativ till ny rättsakt om kritiska råvaror	30
VÄGAR FRAMÅT FÖR UTVECKLING OCH INFÖRANDE AV REKOMMENDERAT KARTLÄGGNINGSSYSTEM	31
Rekommendation att gå vidare med ett koncepttest	32
Rekommendationer för en förbättrad datainsamling	34
Designaspekter att beakta	36
Avslutande reflektioner	38
REFERENSER	40
BILAGA 1. MATERIALSYSTEM ENLIGT BIO BY DELOITTE, 2015	43
BILAGA 2. MATERIALSYSTEM ENLIGT TORRES DE MATOS ET AL., 2020	44
BILAGA 3. ÖVERSIKT AV DATAKÄLLOR	45

Ordlista och förkortningar

<i>Chain of custody</i> (CoC)	Den kronologiska dokumentation som registrerar sekvensen av utfärdande, kontroll, överföring och lagring av fysisk eller elektronisk bevisning/certifikat (Tillväxtanalys, 2019). I vissa sammanhang används spårbarhetskedja som svensk översättning.
<i>Downcycling</i>	Ett material med hög renhet återvinns till ett nytt material med lägre renhet. Dess specifika egenskaper går delvis förlorade. Exempel är stål som smälts om till armeringsjärn. Se även icke-funktionell återvinning.
Funktionell återvinning	Vid funktionell återvinning behålls de fysiska och kemiska egenskaperna som ett material ursprungligen designades för och används på nytt.
Icke-funktionell återvinning	Icke-funktionell återvinning resulterar i ett fullt användbart, men nedgraderat material, där de ursprungliga egenskaperna förlorats.
KN-kod	KN-nomenklaturen (efter engelskans <i>Combined Nomenclature</i> , CN) används av samtliga EU-länder i deras utrikeshandelsstatistik för varor och även i EU:s gemensamma tulltaxa. I utrikeshandelsstatistiken används KN8 och i produktion KN9, åttasiffriga respektive niosiffriga varukoder. KN8, de åttasiffriga varukoderna, är den mest detaljerade nivån för varuindelning i utrikeshandelsstatistiken. År 2017 rörde det sig om cirka 9 500 varugrupper. För produktion används KN9. Nomenklaturen ändras årligen och den nomenklatur som träder i kraft i början av följande år publiceras varje år senast i slutet av oktober.
Kritiska råmaterial (CRM)	De material som bedöms vara nödvändiga för att genomföra klimatomställningen till ett hållbart samhälle. Vanligtvis syftar det på förteckningen över i dagsläget de trettio råmaterial som EU anser har avgörande betydelse för ekonomisk återhämtning och långsiktig omställning i linje med den gröna given, kommissionens handlingsplan för cirkulär ekonomi och EU:s industristrategi.
Livscykelanalys (LCA)	En LCA beskriver en produkts eller en råvaras totala påverkan genom hela dess livscykel (från

	råvaruutvinning, via tillverkningsprocesser och användning till avfallshanteringen, inklusive alla transporter och all energiåtgång i mellanleden) och fokuserar på olika miljöproblem så som klimatförändring, försurning, övergödning och utarmning av icke-fossila resurser.
Materialläckage	Material går förlorat ur kretsloppet, till exempel genom att produkter hamnar på deponi. Det kan bero på både att produkten inte alls samlas in för återvinning och att den inte kan återvinnas, antingen på grund av att designen omöjliggör det eller för att det saknas information om hur produkten ska återvinnas. Det gäller bland annat batterier, där en stor del av Europas batterier försvinner ut ur EU i slutet av livscykeln (ECOS, 2021).
Materialsystemanalys (MSA)	En metod som undersöker upplag och flöden av material längs den övergripande försörjningskedjan, från utvinning till hantering av uttjänta produkter
Primära råmaterial	Ett råmaterial avsett för tillverkning eller användning, framtaget genom utvinning av en naturresurs (primär resurs). Se även sekundära råmaterial.
Sekundära flöden	Flöden av råmaterial som kan vara önskvärda att återvinna som sekundära råmaterial.
Sekundära råmaterial	Ett råmaterial avsett för tillverkning eller användning, framtaget genom återvinning, sekundär utvinning eller återanvändning, det vill säga en returråvara. Det kan vara antingen ett avfall, en biprodukt eller en produkt.
Sällsynta jordartsmetaller	En grupp av 17 grundämnen där skandium, yttrium och de 15 lantanoiderna ingår. Lantanoiderna är: lantan, cerium, praseodym, neodym, prometium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium och lutetium. Delas ibland in i lätta respektive tunga.
Återvinningsgrad	Den sammanlagda verkningsgraden av insamling, sortering, demontering, förbehandling, och materialåtervinning.

Sammanfattning

SMED utgör en förkortning för Svenska MiljöEmissionsData, som är ett samarbete mellan IVL, SCB, SLU och SMHI.

Den 24 mars 2021 gav regeringen SGU i uppdrag att tillsammans med Naturvårdsverket arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära råmaterial (Näringsdepartementet, 2021). Uppdraget innehåller ett antal strecksatser varav den fjärde handlar om att ge en överblick över flöden av kritiska mineral och metaller samt att föreslå system för hur livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi. Denna rapport avhandlar en del av strecksatsen och beskriver resultatet av arbetet med att föreslå det efterfrågade systemet.

Inom ramen för arbetet har det varit nödvändigt att tolka och delvis omdefiniera några av de efterfrågade delarna i systemet. I den här studien läggs tyngdpunkten på totala mängder, fördelning och användning av råmaterial, snarare än genom vilka värdekedjor ett visst delflöde av råmaterial har flödat eller vilket hållbarhetsavtryck det råmaterialflödet har orsakat. För att tydliggöra den avgränsningen benämns det system som föreslås i den här studien för ett *kartläggningssystem* i stället för ett *spårbarhetssystem*. Ett system för att spåra eller kartlägga kritiska råmaterial med syftet att bidra till en cirkulär ekonomi bör initialt inte inriktas på att samla in livscykeldata eller på att ta fram nya LCA-undersökningar, utan i stället fokusera på var olika material finns, i vilka mängder dessa förekommer samt var i livscykeln (teknosfären) dessa befinner sig och när dessa (om möjligt) kan bli tillgängliga för att återanvändas eller återvinnas. I ett uppbyggnadsskede är det därmed ett *livscykelperspektiv* som behövs i systemet och inte ett system för *livscykelanalys*.

I arbetet med att ta fram och föreslå ett system har det ingått att beskriva befintliga datakällor, hur ett beräkningssystem skulle kunna utformas samt att beskriva hur datakällor och beräkningar ska kunna kombineras till ett system som också tar hänsyn till det arbete som inletts med digitala produktpass som ett led i den nya ekodesignförordningen som föreslås implementeras inom EU framöver.

SMED förordar att ett framtida livscykelbaserat kartläggningssystem för kritiska råmaterial i den svenska teknosfären utvecklas med en så kallad bottom-up-ansats. Det innebär ett mer komplext system som ställer större krav på datainsamlingen än med en top-down-ansats. Samtidigt lägger det grunden för ett system som kan bli varaktigt över tid och som fullt ut kan dra fördel av den dramatiska ökningen av tillgängliga produktdata som de digitala produktpassen troligtvis kommer att innebära. Utformningen av och innehållet i produktpassen kommer regleras i den delegerade akten för respektive produktgrupp. Begränsad tillgång till produktdata har hittills varit det främsta argumentet för en top-down-ansats. Den pågående och samhällsgenomgripande omställningen av det svenska och europeiska energisystemet kommer att innebära ett växande materialberoende. SMED anser därför att kartläggningssystemet med stor sannolikhet kommer att vara relevant

under lång tid framöver, vilket väl motiverar en hög inledande ambitionsnivå för att från början utveckla ett system att växa i. Systemet blir av nödvändighet mycket dataintensivt, men bygger i hög grad på data som samlas in centralt.

Som framgår i flera avsnitt i den här rapporten har kartläggningssystemet utformats för att vara förenligt med de initiativ som SMED bedömer vara de viktigaste initiativen. Särskild uppmärksamhet ges åt batteriförordningen och ekodesignförordningens produktpass på EU-nivå och Avfallsregistret på nationell nivå.

En framgångsfaktor för det föreslagna kartläggningssystemet blir att fortlöpande bevaka utvecklingen på området för att både säkerställa att Sveriges nationella system blir konsistent med de framväxande systemen på EU-nivå, och att identifiera och utnyttja de möjligheter till synergier mellan olika system och olika aktörer som kartläggningssystemet kommer att medföra. Inte minst har det potentialen att lindra uppgiftslämnarbördan för näringslivet, eftersom delar av den data som kartläggningssystemet behöver samtidigt efterfrågas och i många fall begärs för andra ändamål.

Sammantaget kommer SMED till slutsatsen att mycket talar för att gå vidare med en utveckling av ett kartläggningssystem enligt vad som rekommenderas vidare i rapporten. För det fall de digitala produktpassen implementeras i en nära framtid och kan tillhandahålla den data som idag förespeglas kommer utvecklingskostnader och uppgiftslämnarbördor att hållas nere väsentligt. Å andra sidan, om data över flöden av kritiska råmaterial av ett eller annat skäl inte kommer att tillhandahållas av produktpassen ökar värdet av ett svenskt kartläggningssystem ytterligare, eftersom det då (så vitt vi kan förutse idag) inte kommer att finnas något annat system som kan teckna den nödvändiga kartan.

Nyckelord: Kritiska råmaterial, CRM, omställningskritiska råmaterial, sekundära flöden, sekundära råvaror, cirkulär ekonomi, kartläggning, kartläggningssystem, materialsystemanalys, MSA, digitala produktpass, metallåtervinning, spårbarhet

Summary

SMED is short for Swedish Environmental Emissions Data, which is a collaboration between IVL Swedish Environmental Research Institute, SCB Statistics Sweden, SLU Swedish University of Agricultural Sciences, and SMHI Swedish Meteorological and Hydrological Institute.

On March 24, 2021, the government commissioned the Geological Survey of Sweden (SGU) to work with the Swedish Environmental Protection Agency to increase opportunities for the sustainable extraction of minerals and metals from secondary raw materials (Näringsdepartementet, 2021). The assignment contains several tasks, one of which is about providing an overview of the flows of critical minerals and metals and proposing a system for how life cycle analysis and traceability can be designed to contribute to a circular economy. This report handles part of the task and describes the results of the work on proposing the requested system.

Within the framework of this study, it was necessary to interpret and partially redefine some of the requested parts of the system. Emphasis was placed on the total quantities, distribution and use of raw materials, rather than through which value chains a certain partial flow of raw materials has flowed or what sustainability footprint that raw material flow has created. To clarify this demarcation, the system proposed in this study is referred to as a *mapping system* instead of a *traceability system*. A system for tracking or mapping critical raw materials with the aim of contributing to a circular economy should not begin by focusing on the collection of life-cycle data or development of new LCA studies, but instead on where different materials are located, in what quantities they occur and where in the life cycle (technosphere) they are located and when these can (if possible) become available for reuse or recycling. Therefore, in the construction phase of the proposed mapping system, it is a *life cycle perspective* that is needed rather than a system for *life cycle analysis*.

The development and proposal of the mapping system included a description of existing data sources, how a calculation system could be designed and how data sources and calculations could be combined into a system that also considers existing initiatives on digital product passports, which is a part of the new Ecodesign Regulation proposed for implementation in the EU in the future.

SMED recommends that a future life cycle-based mapping system for critical raw materials in the Swedish technosphere be developed with a so-called *bottom-up approach*. This means a more complex system that places greater demands on data collection than with a *top-down approach*. At the same time, it lays the foundation for a system that can endure over time and take full advantage of the dramatic increase in available product data that the digital product passports are likely to provide. The design and content of the product passports will be regulated in the legislative act for each product group.

Limited access to product data has so far been the main argument for a top-down approach. The ongoing and socially pervasive transformation of the Swedish and European energy systems will mean a growing dependence on materials. SMED therefore believes that the mapping system will most likely be relevant for a long time to come, which justifies well a high initial level of ambition to develop a system that grows from the beginning. The system will necessarily be very data-intensive but is largely based on data collected centrally.

As shown in several sections of this report, the mapping system was designed to be consistent with the initiatives that SMED deems to be the most important. Particular attention was paid to the Batteries Regulation and the Ecodesign Regulation's product passports at the EU level and the Swedish Waste Register at the national level.

A success factor for the proposed mapping system will be to continuously monitor developments in the area both to ensure that Sweden's national system becomes consistent with the emerging systems at EU level, and to identify and exploit the opportunities for synergies between different systems and different actors that the mapping system will bring. Not least, it has the potential to alleviate the response burden on industry, as parts of the data that the mapping system needs are simultaneously requested and, in many cases, requested also for other purposes.

All in all, SMED concludes that there is much to be said for moving forward with the development of a mapping system as recommended further in the report. If the digital product passports are implemented in the near future and can provide the data currently proposed, the development costs and reporting burdens would be significantly reduced. On the other hand, if data on the flows of critical raw materials will not be provided by the product passports for one reason or another, the value of a Swedish mapping system would increase even further, since there wouldn't be (as far as can be predicted today) any as other system that could draw the necessary map

Keywords: Critical raw materials, CRM, clean energy transition, secondary flows, secondary resources, circular economy, mapping, mapping system, materials system analysis, MSA, digital product passport, metal recycling, traceability

Inledning

Den 24 mars 2021 gav regeringen SGU i uppdrag att tillsammans med Naturvårdsverket arbeta för att öka möjligheterna till hållbar utvinning av mineral och metaller från sekundära råmaterial (Näringsdepartementet, 2021). Uppdraget innehåller fem olika strecksatser, varav den fjärde anger att:

SGU ska tillsammans med Naturvårdsverket ge en överblick över flöden av kritiska mineral och metaller samt föreslå hur system för livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi.

Naturvårdsverket har tidigare gett SMED i uppdrag att kartlägga sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären¹. Det uppdraget omfattade den första delen av strecksatsen och visar bland annat att det idag saknas både tillräckligt detaljerade data och en metodik för att systematiskt och återkommande kunna redovisa flöden och framtida återvinningsmöjligheter av kritiska råmaterial.

Syfte och mål

Det långsiktiga syftet med föreliggande SMED-studie är att öka Sveriges möjligheter till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser.

Målet med studien är att besvara de återstående delarna av fjärde strecksatsen i regeringens uppdrag till SGU och Naturvårdsverket, det vill säga att föreslå en utformning av ett system som kan bidra till en cirkulär ekonomi för kritiska råmaterial. Det har varit nödvändigt att bryta ned det i följande delmål:

1. Kartlägga vilka befintliga datakällor som eventuellt skulle kunna nyttjas, hur tillgängliga och relevanta dessa är samt hur de eventuellt skulle behöva anpassas för att kunna nyttjas av ett framtida kartläggningssystem.
2. Beskriva de grundläggande beräkningsstegen för att på ett enhetligt sätt, med hjälp av en databas, ge tillräcklig information om mängder och tillgång till kritiska råmaterial med utgångspunkt från befintliga och framtida datakällor.
3. Beskriva hur delarna 1 och 2 kan kombineras med varandra och samtidigt dra nytta av och kopplas ihop med framväxande spårbarhetssystem, däribland de digitala produktpassen som sannolikt kommer att införas i och med det föreslagna ekodesigndirektivet.

¹ SMED utvecklingsprojekt uppdrag A21-16. Slutrapporten, *Flöden av sekundära kritiska råmaterial i den svenska teknosfären*, är ännu inte publicerad.

Bakgrund

För att uppfylla åtagandena i Parisavtalet krävs en mycket omfattande omställning av världens energi- och transportsystem. Den globala efterfrågan på metaller för klimatvänlig energiteknik bedöms därför öka dramatiskt de närmaste tjugo åren (Europeiska kommissionen 2020a; World Bank Group 2020; International Energy Agency 2021). En långsiktigt trygg och hållbar försörjning av råmaterial är av kritisk betydelse för Sverige och EU. I dagsläget saknas i stor utsträckning information om var och i vilka mängder olika kritiska råmaterial finns i den svenska teknosfären samt när dessa skulle kunna bli tillgängliga för att eventuellt kunna återvinnas.

En långsiktigt trygg och hållbar försörjning av råmaterial, inklusive omställningskritiska metaller och mineral, är av kritisk betydelse för att bibehålla Sveriges och EU:s framtida industriella konkurrenskraft och innovationskapacitet. Innovationskritiska mineral och metaller är därför ett av de prioriterade områdena i den svenska regeringens strategi för en cirkulär ekonomi och är nödvändiga i klimatomställningen. Inhemsk mineralutvinning minskar såväl landets som EU:s sårbarhet när det gäller råmaterialförsörjning vid störning i den internationella handeln. Cirkularitet är ett kompletterande sätt att öka försörjningsgraden. Flöden av kritiska råmaterial behöver så snart som möjligt och i så stor utsträckning som möjligt bli mer cirkulära. Enligt den internationella resurspanelen står uttaget och upparbetningen av naturresurser globalt sett för mer än 90 procent av utarmningen av den biologiska mångfalden och vattenstressen samt för cirka hälften av klimatpåverkan (IRP, 2019). EU:s batteriförordning och relaterade europeiska näringslivsinitiativ på olika nivåer ska främja ökad cirkularitet och på så vis möta den växande globala konkurrensen om bland annat batterimetaller. Primära råmaterial ska därigenom, så långt det är möjligt, ersättas av resurser som används effektivt i cirkulära flöden. Hållbar utvinning och återvinning av sekundära råmaterial är ett växande komplement till brytning av primära mineralresurser. Betydande mängder resurser lämnar Europa i form av avfall och skrot, som potentiellt går att återvinna till sekundära råmaterial här. Genom mer forskning om återvinning av avfall kommer det att kunna undvikas att värdefulla material hamnar i deponi. För att åstadkomma användning av sekundära råmaterialresurser på ett strukturerat och tillförlitligt sätt behöver bland annat statistik, kartläggning och spårbarhet samt system som kan hålla en samlad information om kritiska råmaterial utvecklas. För att kunna återvinna specifika material ur komplexa produkter, till exempel elfordonsbatterier, är det vidare nödvändigt att aktörerna i varje steg av produktens livscykel har tillräckligt detaljerad och tillförlitlig information om produkten. Det är ett av målen med de så kallade digitala produktpassen, som ingår i EU:s nyligen föreslagna ekodesignförordning (COM/2022/142 final).

Förslaget till ny ekodesignförordning, som presenterades av Europeiska kommissionen den 30 mars 2022, syftar till att normen för hur produkter som sätts på den europeiska marknaden ska designas för att vara mer hållbara, cirkulära och energieffektiva. I meddelandet fastslås ett antal kriterier som måste uppfyllas

avseende ekodesignkrav. Förslaget innehåller också krav på att digitala produktpass tas fram för de produktgrupper som regleras. Produktpassen ska innehålla information om ovanstående ekodesignkrav inklusive information om skadliga ämnen och följa med produkten längs hela dess livscykel och på så vis utgöra en databärare som ska finnas kopplad till produkten. De avses inte täcka hela livscykeln och det är i dagsläget osäkert när produktpassen blir verklighet. Det finns idag inget i förslaget som tyder på att kritiska råmaterial specifikt ska ingå i de uppgifter som efterfrågas i produktpassen. Förslaget beskrivs utförligare i avsnittet *Urval av system och regleringar av särskild relevans för kartläggningssystemet* nedan.

Den säkerhetspolitiska och energipolitiska händelseutvecklingen i Europa under 2022 har ytterligare accelererat EU:s arbete med att säkra tillgången till kritiska råmaterial, minska medlemsländernas sårbarhet och ställa om till ett fossilfritt energisystem. Ett exempel på det är Europeiska kommissionens initiativ till ny rättsakt om kritiska råvaror (på engelska *European Critical Raw Materials Act*). Raw Material Information System (RMIS) är Europeiska kommissionens webbaserade kunskapsplattform om både primära och sekundära material. Det sker en snabb ökning av kunskapen om tillgång och efterfrågan på kritiska råmaterial inom EU.

Material och metod

Inom ramen för regeringsuppdraget ska en överblick över flöden av kritiska mineral och metaller ges samt ett förslag tas fram på hur ett system för livscykelanalys och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi.

Inledningsvis ges en genomgång av hur SMED har tolkat begreppen *spårbarhet och kartläggning*, *kritiska råmaterial* samt *cirkulär ekonomi*, *livscykelanalys och tillämpning av livscykelperspektiv* i det här sammanhanget. Därefter presenteras det metodologiska ramverk som SMED har valt för hur ett livscykelbaserat kartläggningssystem för flöden av omställningskritiska råmaterial i den svenska teknosfären kan utformas. Utformningen bygger delvis på erfarenheterna av den översiktliga kartläggning av sekundära flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären som SMED genomförde under hösten 2021.

Definitioner av centrala begrepp

Spårbarhet och kartläggning

Spårbarhet är ett brett begrepp som kan används för att beskriva många olika system, med mer eller mindre olika syften. Det kan förklara den begreppsförvirring som stundtals råder mellan olika aktörer (Svemin, 2019). UN Global Compacts (2014) definierar spårbarhet (*traceability*) som:

The ability to identify and trace the history, distribution, location and application of products, parts and materials, to ensure the reliability of sustainability claims, in the areas of human rights, labour (including health and safety), the environment and anti-corruption.

I den här studien läggs tyngdpunkten på totala mängder, fördelning och användning av råmaterial, snarare än genom vilka värdekedjor ett visst delflöde av råmaterial har flödat eller vilket hållbarhetsavtryck det råmaterialflödet har orsakat. För att tydliggöra den avgränsningen benämns det system som föreslås i den här studien för ett *kartläggningssystem* i stället för ett *spårbarhetssystem*.

Kritiska råmaterial

Kritiska råmaterial (CRM) är inte en entydigt eller för all framtid definierad grupp av material. Den 3 september 2020 presenterade kommissionen meddelandet Resiliens för råmaterial av avgörande betydelse (Europeiska kommissionen, 2020b). I meddelandet ingår EU:s förteckning över råmaterial av avgörande betydelse, sammanlagt 27 enskilda ämnen och 3 ämnesgrupper. Dessa ämnesgrupper består i sin tur av totalt 16 lätta och tunga sällsynta jordartsmetaller och 6 olika platinagruppermetaller. Jämfört med den föregående förteckningen från 2017 har fyra ämnen tillkommit och ett avförts. En uppdatering av nuvarande

förteckning är planerat till våren 2023. I det här uppdraget har dessutom koppar, mangan och nickel inkluderats trots att de av EU beskrivs som icke-kritiska råmaterial eftersom tillgången är god. Dessa tre metaller bedöms vara särskilt viktiga ur ett svenskt perspektiv eftersom de är nödvändiga för de klimatvänliga tekniker som bedöms vara viktigast för den svenska omställningen under de kommande decennierna; litiumjonbatterier, vindturbingeneratorer, elmotorer, bränsleceller och fotovoltaiska solceller. Vad som är kritiskt förändras med andra ord över tid, beroende på sammanhang och perspektiv i förhållande till faktisk ekonomisk betydelse och utbudsrisk. I den här studien syftar begreppet kritiska råmaterial därför på de material som samhället vid en given tidpunkt bedömer vara nödvändiga för att genomföra klimatomställningen. I skrivande stund är det de 52 ämnen som beskrivs ovan.

Vid utformningen av systemet som efterfrågas i regeringsuppdragets fjärde strecksats har utgångspunkten varit att inte begränsa antalet råmaterial. De råmaterial som av EU listas som kritiska behöver ingå, men systemet kan behöva ta höjd för fler råmaterial som framöver kan ses som strategiska trots att de inte finns med på listan idag. Eftersom antalet råmaterial är stort kan det finnas ett behov av att införa en metodik i systemet som möjliggör prioriteringar av hur olika råmaterial hanteras. Exempel på kriterier kan vara råmaterial som kommer att behövas för att genomföra den gröna omställningen som ett led i att klara klimatmålen.

Cirkulär ekonomi, livscykelanalys och tillämpning av livscykelperspektiv

I uppdraget efterfrågas hur ett system för livscykelanalys (LCA) och spårbarhet kan utformas för att bidra till en cirkulär ekonomi för sekundära kritiska råmaterial. I arbetet med att föreslå utformningen av systemet har visionen i den svenska handlingsplanen för en cirkulär ekonomi beaktats. Denna vision lyder enligt följande: *”Ett samhälle där resurser används effektivt i giftfria cirkulära flöden och ersätter jungfruliga material”*.

Utformning av systemet med koppling till cirkulär ekonomi

Mot bakgrund av att det är själva tillgången till materialen som gör att de är kritiska bör huvudsyftet vid utformningen av systemet vara att bidra till att primära material ersätts. Systemet bör därför innehålla information om mängd och koncentration av kritiska råmaterial och hur de flödar genom teknosfären, på ett sätt så att det ska gå att identifiera när och var ett material riskerar att förloras genom materialläckage och downcycling.

Livscykelperspektiv och livscykelanalys (LCA)

För att förstå varför det föreslagna systemet utformats på det sätt som beskrivs i senare delar av denna rapport är det angeläget att förklara hur LCA-begreppet tolkats inom ramen för uppdraget. LCA beskriver en produkts eller en råvaras totala påverkan genom hela dess livscykel (från råvaruutvinning, via

tillverkningsprocesser och användning till avfallshanteringen, inklusive alla transporter och all energiåtgång i mellanleden) och fokuserar på olika miljöproblem så som klimatförändring, förorening, övergödning och utarmning av icke-fossila resurser. En LCA ger med andra ord detaljerad information om en produkts eller råvaras livscykel, men svarar varken på frågor om hur mycket av produkten eller råmaterialet det finns totalt eller hur de totala mängderna fördelar sig i teknosfären eller de olika stadierna av livscykeln. Livscykelinventering (LCI) är den del av analysen där alla nödvändiga data samlas in och sammanställs, för att kunna genomföra en LCA. Det är den del i analysen som är mest komplex och därigenom mest resurskrävande. Att sammanställa redan genomförda LCA-studier kräver att resultaten är tillgängliga för allmänheten och dessutom behövs ofta en tolkning av resultaten då en LCA-studie ofta genomförs med en specifik frågeställning och därmed inte kan nyttjas på ett allmängiltigt sätt. Ett system för att spåra eller kartlägga kritiska råmaterial med syftet att bidra till en cirkulär ekonomi bör initialt inte inriktas på att samla in LCI-data och att ta fram nya LCA-undersökningar utan i stället fokusera på var olika material finns, i vilka mängder dessa förekommer samt var i livscykeln (teknosfären) dessa befinner sig och när dessa (om möjligt) kan bli tillgängliga för att återanvändas eller återvinnas. I ett uppbyggnadsskede är det därmed ett *livscykelperspektiv* som behövs i systemet och inte ett system för *livscykelanalys*.

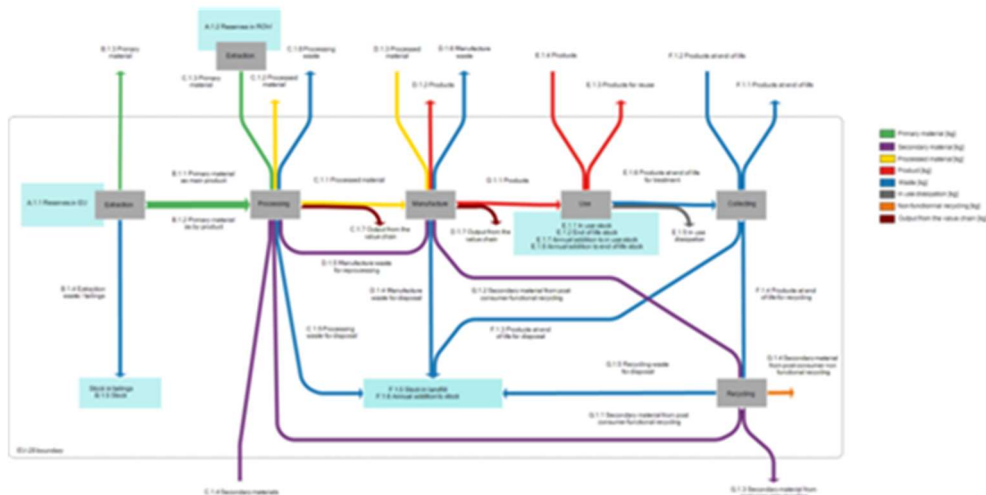
Metodologiskt ramverk

Det föreslagna kartläggningssystemet utgörs av en så kallad *materialsystemanalys* (MSA) med en *bottom-up-ansats*. MSA är en metod som undersöker upplag och flöden av material längs den övergripande försörjningskedjan, från utvinning till hantering av uttjänta produkter, till exempel genom återvinning eller bortskaffande. Bottom-up och top-down är, i det här sammanhanget, två alternativa ansatser för hur totala mängder av kritiska råmaterial, halter av kritiska råmaterial i produkter och totala mängder av produkter ska allokeras. Dessa begrepp utvecklas nedan.

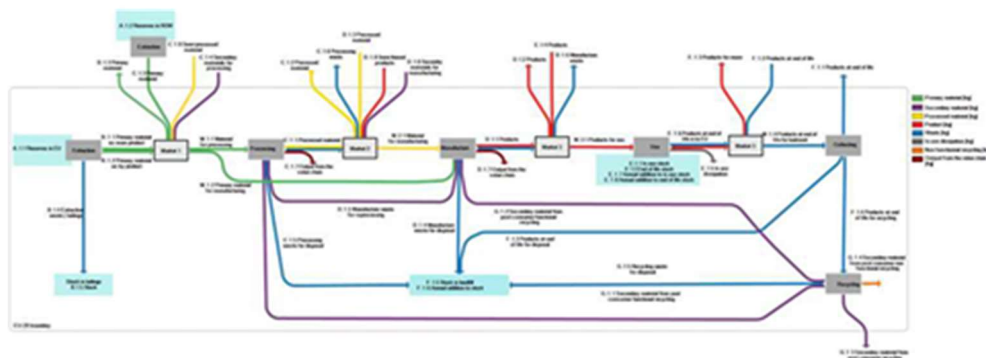
Materialsystemanalys

Det kartläggningssystem som föreslås för kritiska råmaterial genom den svenska teknosfären baseras på den MSA som utvecklades för EU 2015 (Figur 1, Bio by Deloitte, 2015) och senare uppdaterades 2020 (Figur 2, Torres de Matos et al., 2020). Vid revisionen 2020 så föreslogs att det skulle läggas till marknadssteg för att bättre kunna hantera fysiska flöden där det ibland händer att varor importeras och sedan återexporteras utan att processas däremellan. Det har även lagts till några fler flöden som visade sig vara relevanta, vilket bland annat inkluderar import av halvbearbetade material, import av halvfärdiga produkter, import av sekundära råmaterial för tillverkning och flöden ut från alla marknadssteg. För en beräkningsmodell (MSA) för Sverige så rekommenderas här att använda samma flöden som används i den uppdaterade versionen för EU (Torres de Matos et al.,

2020), men med Sverige som systemgräns i stället för EU. Det kan också vara lämpligt att ta höjd för eventuella marknadssteg även mellan avfalls- och återvinningsstegen. Dessa extra marknadssteg behöver eventuellt inte följa med i en illustration men själva beräkningen kommer troligtvis behöva ta dem i beaktande.



Figur 1. MSA-system med alla processer (materiallivscykelstadier), flöden och lager som beaktas i en MSA. Systemgränsen är EU:s geografiska gräns. (Bio by Deloitte, 2015, se Bilaga 1 för en förstoring.)



Figur 2. MSA-system med alla processer (materiallivscykelstadier), flöden och lager som beaktas i en MSA, inklusive marknadssteg. Systemgränsen är EU:s geografiska gräns. (Torres de Matos et al., 2020, se Bilaga 2 för en förstoring.)

Bottom-up- och top-down-ansatser

För att beräkna alla flöden så går det att använda två olika ansatser: bottom-up eller top-down. Bottom-up-ansatsen innebär att data på produktnivå används för att beräkna det totala flödet av kritiska råmaterial. Det kan exempelvis vara att ett flöde av litium beräknas ur hur många elbilar som produceras i Sverige och hur mycket litium som finns i varje elbilsbatteri eller att ett flöde av koppar beräknas ur

hur mycket kopparmalm som bryts i Sverige och vilken genomsnittlig kopparkoncentration malmen har. Bottom-up-ansatsen är lämplig om det är få produkter som ingår i ett flöde och då övriga data (så som koncentration av kritiska råmaterial) för dessa produkter är kända.

Top-down-ansatsen utgår i stället från kända flöden för att beräkna koncentrationen av ett ämne i en typisk produkt. Om det exempelvis går att beräkna hur mycket processat litium (som salt eller metall) som importeras till, exporteras från eller produceras inom Sverige och det samtidigt är känt hur mycket litiumbatterier som produceras så går det att beräkna hur hög litiumkoncentrationen är i litiumbatterier (förutsatt att det är någorlunda känt hur mycket litium som går till andra ändamål). På så vis går det också att utnyttja den kunskapen för att beräkna hur mycket litium som importeras i form av litiumbatterier från andra länder.

För de två första livscykelstegen, utvinning (*extraction*) och upparbetning (*processing*) ingår ett fåtal produkter (exempelvis malmer, metaller, salter) vilket gör att bottom-up-metoden är lämplig att använda. För de två nästföljande stegen, tillverkning (*manufacture*) och användning (*use*), ingår betydligt fler produkter där koncentrationen av kritiska råmaterial i en specifik produkt kan variera beroende på tillverkare och modell, men också över tid. För de två avfallsstegen, insamling (*collecting*) och återvinning (*recycling*), är data bristfällig bland annat för att de avfallsmängder som rapporteras oftast har buntats ihop till ett fåtal avfallstyper där varje avfallstyp innehåller en mängd olika produkter². Av dessa anledningar så har Bio by Deloitte (2015) rekommenderat att bottom-up-ansatsen bör användas för de två första livscykelstegen, utvinning och upparbetning. Samtidigt rekommenderar samma källa att top-down-ansatsen i de flesta fallen bör användas för resterande livscykelsteg. Det kartläggningssystem som presenteras i den här studien skiljer sig från Bio by Deloitte (2015) genom att rekommendera att bottom-up-ansatsen används för samtliga livscykelsteg för flöden av kritiska råmaterial i Sverige. Utifrån befintliga och framtida datakällor, som beskrivs i avsnitten *Databehov och datakällor för kartläggning och spårbarhet* bör det vara fullt möjligt att få fram de data som krävs för en MSA med en bottom-up-ansats även för tillverkning, användning, insamling och återvinning och annan avfallsbehandling.

² I ett annat SMED projekt "Metod för plastdata" föreslås att verksamhetsutövare som rapporterar in data till Naturvårdsverket inte ska få fortsätta att rapportera flera avfallskoder (LoW) tillsammans. Det gör det svårt att ta ut data för enskilda avfallskoder. Vid publicering på SCB:s webbplats kallas denna grupp "kombination av olika avfallsslag". Verksamhetsutövare kan också rapportera en kombination av olika behandlingstyper. Detta förslag gör det enklare att få ut data över kritiska råmaterial också.

System för kartläggning av mängder och flöden av kritiska råmaterial

Det kartläggningssystem som presenteras här kommer att kunna generera en dynamisk karta över var i teknosfären kritiska råmaterial uppehåller sig. Systemet skulle även kunna användas för andra råmaterial, men för enkelhets skull så diskuteras här endast kritiska råmaterial då de utgör den största utmaningen. I systemet kommer det att bli möjligt att se hur mycket material som tillförts, försvunnit respektive cirkulerats under en viss tidsperiod (år). Det blir också möjligt att se vilka länder det importeras ifrån eller exporteras till, då det ligger med i grunddata. Det kommer däremot inte gå att spåra genom vilka värdekedjor ett visst delflöde av råmaterial har flödat eller vilket hållbarhetsavtryck det råmaterialflödet har orsakat.

Genom att utnyttja information om vilka produkter som innehåller olika kritiska råmaterial och vilka koncentrationer råmaterialet förekommer i respektive produkt så kommer det gå att härleda materialkvalitet, vilket också är önskvärt. Detta kan kombineras med information om vilka insamlings- och återvinningsmetoder som används, vilket inkluderar huruvida materialet återvinns funktionellt eller inte. Det ska på så sätt vara möjligt i kartläggningssystemet att se var i värdekedjan som det är strategiskt lämpligt med åtgärder för att exempelvis minimera leveransrisk eller för att maximera funktionell återvinning. Utmaningen att kartlägga totala mängder av kritiska råmaterial påminner om utmaningen att få kunskap om mängden farliga ämnen i samhället. Både på EU- och nationell nivå har kartläggning av farliga ämnen bedrivits under relativt lång tid av flera olika myndigheter. Därigenom har både kunskap och metoder utvecklats, som delvis har legat till grund för det kartläggningssystem och den sammanställning av datakällor som presenteras i den här studien.

Grundläggande beräkningssteg

De grundläggande beräkningsstegen i systemet, som krävs för att beräkna mängder och flöden i teknosfären, syftar till att tillhandahålla följande information:

1. Mängden av varje produkt (eller avfall) som ingår i varje pil i Figur 2.
2. Koncentrationer av kritiska råmaterial i produkterna (eller avfallet).
3. Förväntad uppehållstid i varje livscykelsteg innan produkten går vidare till ett annat flöde (vilket är viktigast i användningsfasen för produkter med lång livslängd, men kan vara värt att känna till även för andra steg).

I beskrivningen nedan ges exempel på specifika beräkningssamband och vilken indata de olika stegen nyttjar. I ett tidigt skede, eller där övriga data saknas, kan det

vara värt att utgå från de data som beräknats eller samlats in på EU-nivå (Europeiska kommissionen, 2020c), exempelvis via den top-down-metod som användes av Bio by Deloitte (2015) och Torres de Matos et al., (2020). På lite längre sikt är det möjligt att de digitala produktpass och batteripass som håller på att arbetas fram på EU-nivå att kunna tillhandahålla information om innehåll av kritiska råmaterial, på ett sätt som är lättare att automatisera.

Mängden av olika produkter

Mängden av varje produkt kan beräknas genom en summering med hjälp av statistik från Varuimport, Varuexport och Industrins varuproduktion som årligen publiceras av SCB. Värden rapporteras i tusentals kronor (tkr), vikter rapporteras i ton och för vissa varor rapporteras även annan kvantitet, exempelvis kubikmeter, styck eller gram. Uppgiftslämnare använder så kallade KN-koder vid rapportering. I kartläggningssystemet så rekommenderas att använda en så hög detaljnivå som möjligt för att bättre kunna uppskatta koncentrationen av kritiska råmaterial. De flesta produkter går att placera i ett flöde utifrån namnet och beskrivningen på KN-koden som används, där malmer går in i de gröna pilarna (Figur 2), metaller och salter går in i de gula pilarna, skrot och slagg går in i de blå eller lila pilarna och mer avancerade produkter går in i de röda pilarna. En del produkter innehåller komponenter och sub-komponenter som kan rapporteras på egna KN-koder, vilket medför att tillverkningsfasen kommer kräva en mer avancerad beräkning vilket bland annat inkluderar interna flöden inom livscykelsteget för att flödena ska kunna återspegla verkligheten. Det händer också att processade material upparbetas ytterligare vilket innebär att det kommer krävas en beräkning som inkluderar interna flöden även i det steget. Lämpligt är om beräkningen tar höjd för att kunna inkludera en del liknande interna flöden i alla livscykelsteg.

För vissa produkter kan det vara önskvärt med mer information (högre upplösning) än vad som går att finna via KN-koder. Då krävs att data kompletteras från andra källor.

Koncentrationer av kritiska råmaterial i olika produkter

Koncentrationen av kritiska råmaterial i varje produkt är betydligt svårare att samla in och kommer kräva ett flertal olika källor. Systemet bör utformas så att processen för att hämta in data om koncentrationer av kritiska råmaterial görs så automatiserad som möjligt, för att effektivisera arbetet framöver. De två första livscykelstegen, utvinning och upparbetning, ligger utanför den här studiens avgränsningar. Data för dessa steg bör finnas hos SGU³. I de fall Sverige

³ SGU ger årligen ut publikationen Bergverksstatistik, med mycket detaljerad information om utvinningen av olika material i Sverige. Av de råmaterial som betraktas som kritiska i det här uppdraget bryts i dagsläget enbart koppar i Sverige. Detta kan ändras i framtiden.

importerar kritiska råmaterial finns statistik hos Statistikmyndigheten SCB⁴. För de produkter där värdet av råvaran är en väsentlig del av värdet av själva produkten (till exempel produkt 71129200 – Avfall och skrot av platina) så går det att beräkna en ungefärlig koncentration av kritiska råmaterial utifrån den mängd och det värde som redovisats till SCB för Varuimport, Varuexport och Industrins varuproduktion. För det krävs det tillgång till råvarans pris över tid vilket går att hämta från råvarumarknaden. Vissa produkter har undersökts av forskare vilket gör att det går att hitta information om koncentrationer av kritiska råmaterial i den vetenskapliga litteraturen. Tyvärr kräver det en process som är svår att automatisera och kan kräva flera källor för att få en uppfattning om hur koncentrationen eventuellt har förändrats över tid för någon produkt. Produkter som det utförts en LCA för kan ha medföljande materialförteckning (BOM, *bill of materials*) som kan användas. Dessa kan hittas i LCA-databaser så som ELCD eller ecoinvent.

Koncentrationen av kritiska råmaterial i olika avfall är oftast svårt att få tag på. Vissa avfallsslag som är extra relevanta ur kritiska råmaterial-synpunkt går att hitta mätningar på via internationella vetenskapliga tidskrifter, rapporter eller ibland direkt från företaget/avfallslämnaren. Med hjälp av uppskattade livslängder av olika produkter, kombinerat med den information som inhämtats historiskt om import/export/produktion av samma produkter, så är det också möjligt att göra en uppskattning av avfallets sammansättning. Som exempel så går det att göra en uppskattning som säger att av den it- och telekomutrustning som samlades in år 2022 bestod till en viss andel av mobiltelefoner från 2017 och en annan andel av mobiltelefoner från 2018 och motsvarande för andra årtal. Samma sak går då att göra för bärbara respektive stationära datorer. Dessa uppskattningar av vad avfallet innehåller går att kombinera med exempelvis plockanalyser och enkätundersökningar. Uppgifter om farligt avfall rapporteras kontinuerligt in till Avfallsregistret hos Naturvårdsverket, både för det avfall som har uppkommit och det avfall som har behandlats. Även import och export av anmälningspliktigt avfall rapporteras till Naturvårdsverket. Farligt avfall registreras på en sexsiffrig avfallskod som ger en indikation om vilka uttjänta produkter (eller delar av produkter) avfallet kan innehålla. För elutrustning redovisas även ytterligare detaljer så att det exempelvis går att särskilja mellan stora hushållsapparater, små hushållsapparater samt it- och telekomutrustning. Det går däremot inte att särskilja mellan mobiltelefoner och datorer. Det går även att få fram lite detaljer om batterier som gör att det går att särskilja mellan exempelvis alkaliska/brunstensbatterier och litium-, litiumjon- och litumpolymerbatterier. Det går dock inte att exempelvis särskilja mellan batterier baserat på olika litiumkemi, så som litiumjärnfosfat eller nickel-mangan-kobolt-oxid (vilket i och för sig inte går att utläsa ur KN-koderna heller). För avfall i form av uttjänta fordon och vindkraftverk kan det gå att få ut mer detaljerad information, så som tillverkare och modell, från Transportstyrelsens vägtrafikregister och Vindbrukskollen.

⁴ Under rubriken Utrikeshandel med varor publicerar SCB statistik som visar Sveriges utrikeshandel med varor fördelat efter länder och olika typer av varuindelningar.

Olika produkters livslängd

Livslängd och uppehållstid går att uppskatta utifrån en kombination av flera metoder. För fordon går det att inhämta data direkt från Transportstyrelsens vägtrafikregister. För de varor där det är möjligt att göra en uppskattning av hur många (eller hur stor total vikt) som finns i Sverige vid en specifik tidpunkt, förutsatt att det antalet (eller den vikten) är någorlunda konstant och känd, så går det att göra en uppskattning av medellivslängd utifrån hur många (eller hur stor vikt) som konsumeras varje år (import + produktion - export). Som exempel så går det att utläsa från import/export/produktion att Sverige konsumerar ca 3 miljoner mobiltelefoner per år. Om det finns ca 10 miljoner mobiltelefoner i användning i Sverige så innebär det att en mobiltelefon har en medellivslängd på ungefär 3,3 år. Det går också att göra uppskattningar av varors livslängd utifrån vilka garantier som ges för typiska produkter inom en viss kategori, eller utifrån enkätundersökningar eller expertutlåtande. På lite längre sikt går det förhoppningsvis att få in ytterligare detaljer om produkters förväntade livslängd på ett sätt som är lättare att automatisera, i första hand via de digitala produktpass och batteripass som håller på att arbetas fram på EU-nivå.

Databehov och datakällor för kartläggning och spårbarhet

Som framgår i beskrivningen av kartläggningssystemet ovan, saknas i dagsläget data för innehåll av olika kritiska råmaterial i olika produkter. Mängden kritiska råmaterial i teknosfären behöver därför skattas och räknas fram. Det kräver data om material och produktflöde i olika steg av kretsloppet.

Statistik finns redan idag för inhemsk produktion av varor samt import och export av varor, samt uppkomst och behandling av avfall. Men det går inte direkt att koppla dessa data till mängden kritiska råmaterial eftersom vi inte vet innehållet av kritiska råmaterial i olika produkter. Figur 3 visar en sammanställning av befintliga datakällor som skulle kunna användas för att uppskatta mängden av kritiska råmaterial i teknosfären.

	Volymer av produktflöde / avfallstyp	Koncentration CRM i produkterna / avfall	Produktens livslängd	Extrahering	Import/export	Bearbetning	Tillverkning	Användning	Insamling och återvinning
EU:s CRM 2020 Factsheets									
EU:s NON-CRM 2020 Factsheets									
Raw Material Information System									
UNEP Recycling Rates of Metals A Status Report									
Jernkontoret: Svensk stålstatistik									
SCB: Industrins varuproduktion (IVP)									
*SCB: Söld och insamlad mängd elutrustning efter typ av utrustning och produktkategori									
*SCB: Behandlad mängd elutrustning efter behandlingstyp och produktkategori									
*SCB: Söld och insamlad mängd batterier efter batterityp									
*SCB: Behandlad mängd batterier efter behandlingstyp och typ av batteri									
*SCB: Avfall, Uppkommet och behandlat									
*SCB: Avfall, gränsöverskridande transporter									
SCB: Materialflöde efter materialkategori									
SCB: Utrikeshandel med varor									
Transportstyrelsen: Vgtrafikverket									
Vindbrukskollen									
Kemikalieinspektionen: Flödesanalyser för kemiska ämnen									
SCB: Varuguiden									
ECHA: SCIP databasen									
International Material Data System (IMDS)									
Compliance Data eXchange (CDX)									
Naturvårdsverket: Avfallsregistret									
Batteripass									
Produktpass									

Figur 3. Översikt av datakällor och deras respektive nivåer av datatäckning för olika typer av data (volymer, koncentrationer av kritiska material och livslängder) samt delar av kretsloppen. Raderna längst ner (batteripass och produktpass) är datakällor som är planerade för framtiden. *Naturvårdsverket är statistikansvarig myndighet men data finns på SCB:s webbplats. Se Bilaga 3 för en förklaring.

Beskrivning befintliga datakällor

EU:s Critical Raw Material 2020 Factsheets (Europeiska kommissionen, 2020c) innehåller sammanställningar om hela värdekedjan från Eurostat, andra EU-rapporter, indikatorer, och expertinput för olika kritiska råmaterial med data på EU nivå. Rapporten sammanfattar bland annat de största användningsområdena för olika kritiska råmaterial samt innehåller uppskattningar av mängden kritiska råmaterial i olika material.

EU:s Non-Critical Raw Material 2020 Factsheets (Europeiska kommissionen, 2020d) inkluderar liknande information som EU:s kritiska råmaterial 2020 factsheets, men för icke kritiska råmaterial som till exempel koppar, nickel, mangan och många andra material som kan bli kritiska i framtiden.

Raw Material Information System (EU Science Hub, 2022) innehåller ett flertal rapporter med data för alla livscykelsteg, främst för kritiska material.

UNEP Recycling Rates of Metals A Status Report (UNEP, 2011) innehåller en livscykelmodell och uppgifter om återvinningsbarhet för metaller.

Jernkontoret (2019) redovisar statistik- och aktörssammanställningar av stål- och järnproduktion, konsumtion och import/export.

SCB:s statistikdatabas (2022a) innehåller flera datasammanställningar som kan vara relevant för att uppskatta mängden kritiska råmaterial i teknosfären i Sverige. Underlaget som används för att ta fram tabellerna nedan är oftast mer detaljerade och kan innehålla data på företagsnivå. På grund av sekretesslagstiftning publicerar SCB dock aldrig data som kan röja ett enskilt företag.

SCB: Industrins varuproduktion (2022b) innehåller årliga data om total produktion och leveranser av produkter i Sverige enligt KN koder.

SCB: Sål原因 och insamlad mängd elutrustning efter typ av utrustning och produktkategori (2022c) innehåller årliga data om mängden såld och insamlad elutrustning i Sverige.

SCB: Behandlad mängd elutrustning efter behandlingstyp och produktkategori (2022d) innehåller årliga data om mängden elutrustning som har behandlats i Sverige.

SCB: Sål原因 och insamlad mängd batterier efter batterityp (2022e) innehåller årliga data om mängden batterier som har sålts och samlats in i Sverige.

SCB: Behandlad mängd batterier efter behandlingstyp och typ av batteri (2022f) innehåller årliga data om mängden batterier som har behandlats i Sverige.

SCB: Avfall, uppkommet och behandlat (2022g) innehåller data om uppkommet avfall inom olika näringsgrenar. Den visar även behandlat avfall efter typ av behandling.

SCB: Avfall, gränsöverskridande transporter (2022h) innehåller data om import och export av anmälningspliktigt avfall

SCB: Materialflöde efter materialkategori (2022i) innehåller data om import, export, inhemsk utvinning och inhemsk materialkonsumtion i olika materialkategorier.

SCB: Utrikeshandel med varor (2022j) innehåller data om import och export av varor till och från Sverige. Data finns på olika detaljerade nivåer utifrån så kallade KN koder.

Notera att Naturvårdsverket är statistikansvarig myndighet för de avfallsrelaterade datakällorna, men data finns på SCB:s webbplats. Figuren ovan specificerar vilka datakällor som Naturvårdsverket är ansvarigt för.

Transportstyrelsen: Vägtrafikregistret (2022) är ett register över landets alla fordon och körkortsinnehavare. Registret inkluderar bland annat information om fordonsstatus, fabrikat, fordonsbeteckning och tillverkningsår.

Vindbrukskollen (2022) är en nationell karttjänst om etablering av vindkraftverk som ges ut av länsstyrelserna. Det är en frivillig tjänst, vilket innebär att data inte är fullständig. De data som tillhandahålls är bland annat status (uppfört, nedmonterat, handläggs, beviljat osv), datum då det uppfördes, maxeffekt, fabrikat och modell.

Kemikalieinspektionen (2022) har flera statistikdatabaser som kan vara relevanta för att uppskatta mängden kritiska råmaterial i samhället och för kritiska råmaterial som används i olika kemiska sammanställningar.

Kemikalieinspektionen: Flödesanalyser för kemiska ämnen innehåller fakta om ämnen och ämnesgrupper, till exempel framställningsmetoder, användningsmönster och fysikaliska data.

SCB: Varuguiden (2010) innehåller data om förekomst och koncentrationer av vissa ämnen i material och av vissa material i produkter. Data lämpar sig inte till nya elektroniska produkter. Databasen innehåller också en förenkling av KN-koderna från 10 000 till 1 000 och är därmed ett bra exempel av hur arbetet med KN-koder kan förenklas. Varuguiden finns inte längre kvar online, men en del av dess data har byggts in i Prioguiden. Genomfördes av SCB på uppdrag av Naturvårdsverket och Kemikalieinspektionen

European Chemicals Agency: SCIP databasen (2022) lanserades i januari 2021 under avfallsdirektivet med syftet att få information om innehållet av särskilt farliga ämnen i artiklar från producenter till avfallsföretag. Det är obligatoriskt för alla företag som sätter på EU:s gemensamma marknad artiklar som innehåller särskilt farliga kemikalier (så kallade SVHC) över 0,1 %, att rapportera in i systemet. SCIP databasen kan vara ett bra exempel av hur ett system för att spåra kritiska råmaterialen genom kretsloppet skulle kunna tas fram på EU-nivå.

International Material Data System (IMDS) (Material Data System, 2022) är ett datasystem som används av fordonsbranschen för lagkravupplevnad och dess standardisering för flera företag. Leverantörer till fordonsproducenter rapporterar in innehåll och mer information om deras produkter i Material Data Sheets (MDS). Systemet utvecklades som resultat på End-of-Life Vehicle Directive men används idag för att fordonsproducenter, till exempel, ska kunna rapportera farligt innehåll av substanser i REACH. I teorin är det möjligt att få ut en detaljerad innehållsförteckning för varje fordonsmodell (och även för alla komponenter i dessa fordon). I praktiken är det desto svårare då IMDS inte är en öppen databas.

Compliance Data eXchange (CDX) (IMDS Advanced Solutions, 2022) är ett datasystem som utvecklats av samma företag och på liknande sätt som IMDS (se ovan). CDX skiljer sig från IMDS i att systemet riktar sig mot producenter som inte nödvändigtvis måste vara fordonsproducenter och även samlar data för att kunna spåra och rapportera due diligence-lagkrav för konfliktmineraler.

Naturvårdsverket har flera statistikdatabaser som kan vara relevant för att uppskatta mängden kritiska råmaterial i avfallshanteringen, exempelvis registren

för producentansvar samt registret över gränsöverskridande transporter. Data över dessa publiceras i alla fall delvis via SCB:s webbplats.

Naturvårdsverket: Avfallsregistret (2022) är en databas som har tagits fram med syftet att kunna spåra farligt avfall i Sverige hela vägen från där det uppkommer till behandlingen. Alla som producerar, samlar in, transporterar, behandlar, mäklar eller handlar med farligt avfall i Sverige ska anteckna och rapportera in i systemet. Avfallsregistret används idag också för att ta fram Sveriges officiella statistik om mängden farligt avfall som uppkommer i tjänstebranschen, där det tidigare har varit svårt att hitta tillförlitligt data.

Beskrivning av framtida datakällor

Batteripass och informationsplattformen Electronic Exchange System (ESS) kommer enligt det nuvarande förslaget till nya batteriförordningen att börja gälla från 2026 för stora industriella batterier och elbilsbatterier. Företag åläggs att ge information om bland annat andel återvunnet material i och koldioxidavtrycket vid tillverkning av sina batterier som i sin tur får en unik kod. Informationen ska kunna sorteras och vara sökbar och förväntas göras tillgänglig av kommissionen via en nättjänst. Till exempel lutar de pågående förhandlingarna inom EU mot att det inte blir någon central databas för batteripassen, utan bara decentraliserad information.

Enligt förslaget kommer även innehållet av kritiska råmaterial att kunna läsas av för alla batterikategorier och förväntad livslängd ska finnas tillgänglig för elektronikbatterier. Se även *Förslag till ny förordning om batterier* nedan.

Produktpass är tänkt att tillgängliggöra information om ekodesignaspekter för produkter som sätts på marknaden i EU. Produktpassen ska innehålla information om ovanstående ekodesignkrav inklusive information om skadliga ämnen och följa med produkten längs hela dess livscykel och på så vis utgöra en databärare som ska finnas på produkten, dess förpackning eller i tillhörande dokumentation. I det här sammanhanget är det värt att notera att innehåll av kritiska råmaterial inte ingår i förslaget. Syftet med produktpassen är att alla aktörer längs en produkts livscykel ska få relevant information i olika delar av dess värdekedja för att kunna hantera produkten, förenkla marknadskontroll och säkerställa spårbarhet.

Slutliga bestämmelser om utformningen av och innehållet i produktpassen kommer regleras i den delegerade akten för respektive produktgrupp. Se även *Förslag till ny förordning om ekodesign för hållbara produkter* nedan.

Urval av system och regleringar av särskild relevans för kartläggningssystemet

Vid utformningen av ett nytt system för spårbarhet eller kartläggning behöver hänsyn tas till regleringar som redan finns på plats och de förslag till nya regleringar som är på gång.

Som en del av den europeiska handlingsplanen för cirkulär ekonomi så har det under senare tid kommit ett antal nya förslag till regleringar med syfte att uppnå mer resurseffektiva flöden och för att hushålla med jordens naturresurser varav de kritiska råmaterialen är en del. Bland dessa kan nämnas förslaget till en ny förordning om ekodesign för hållbara produkter där de digitala produktpassen ingår, förslaget till en ny batteriförordning, Europeiska kommissionens initiativ till ny rättsakt om kritiska råvaror, taxonomiförordningen som syftar till att säkerställa en hållbar finansiering och FN:s system för klassificering och förvaltning av energi- och mineralresurser (United Nations Framework Classification for Resources, UNFC). Av redan etablerade system pekar flera aktörer på OECD Due Diligence Guidance som en användbar grund för ett standardiserat arbetssätt för hållbarhetsarbete (UN Global Compact, 2014; Tillväxtanalys, 2019).

Flertalet av de här systemen och regleringarna kommer att påverka näringslivet direkt eller indirekt. Det gäller kanske i särskilt hög grad införandet av digitala produktpass. Flera svenska företag har arbetat med spårbarhetssystem av olika slag under längre tid och därigenom skaffat sig erfarenheter som kan nyttjas när de digitala produktpassen konkretiseras. Sedan en tid tillbaka finns också ett antal svenska näringslivsinitiativ för att agera proaktivt inför införandet av digitala produktpass i synnerhet och omställningen till en cirkulär ekonomi i allmänhet⁵. SMED gör bedömningen att det här är en positiv utveckling, både för svenskt näringslivs konkurrensförmåga på den gemensamma marknaden och för att underlätta och tidigarelägga införandet av digitala produktpass och därmed tillgången på värdefulla grunddata. Ökad kunskap om förekomst och flöden av kritiska råmaterial inom den svenska teknosfären skulle ge värdefull marknadsinformation och sannolikt kunna bidra till nya affärsmöjligheter och affärsmodeller för de svenska branscher som hanterar kritiska råmaterial, till exempel gruv-, metall- och mineralindustrier, återvinningsbranschen samt industrin för elfordon och elfordonsbatterier. Delegationen för cirkulär ekonomi är en central aktör som arbetar för att främja omställningen av hela Sverige. Delegationen tar för närvarande fram en ny strategisk planering för kommande år.

⁵ Två exempel är Trace4Value som driver flera projekt för hållbar systemtransformation och ProPare som satsar på att utveckla den underliggande infrastrukturen för digitala produktpass.

Förslag till ny förordning om batterier

Märkningskrav, både i form av fysisk märkning och information på internet, föreslås införas för batterier. För industribatterier och batterier till elektrifierade vägfordon föreslås att ett elektroniskt register och ett produktpass införs från 2026. Avsikten är att informationen ska underlätta återbruk och återvinning av dessa batterier. De flesta typer av batterier innehåller ofta kritiska råmaterial och andra råmaterial av högt värde. Som exempel ingår koppar och grafit i ett flertal batterityper, kobolt, litium, nickel och mangan går att hitta i litiumjonbatterier, nickel, kobolt och sällsynta jordartsmetaller går att hitta i nickelmetallhydridbatterier, antimon är vanligt i blybatterier och i alkaliska batterier finns mangan och små mängder av indium.

Förslag till ny förordning om ekodesign för hållbara produkter

Den europeiska kommissionen presenterade den 30 mars 2022 sitt förslag till förordning om ekodesign för hållbara produkter. Initiativet är ett flaggskepp i EU:s gröna giv och en central del av den europeiska handlingsplanen för cirkulär ekonomi⁶. I korthet syftar förslaget till att möjliggöra en reglering av produkters hållbarhet genom hela livscykeln. Förslaget innebär mer konkret att kommissionen ges befogenhet att sätta ekodesignkrav för produktgrupper på hållbarhet och tillförlitlighet, återanvändbarhet, uppgraderbarhet, reparerbarhet, underhåll och renovering, innehåll av skadliga ämnen, energi- och resurseffektivitet, innehåll av återvunnet material, återtillverkning och återvinning, koldioxid- och miljöavtryck samt förväntad mängd avfall som produkten ger upphov till.

Förslaget innehåller krav på att digitala produktpass tas fram för de produktgrupper som regleras. Syftet med produktpassen är att alla aktörer längs en produkts livscykel ska få relevant information i olika delar av dess värdekedja för att kunna hantera produkten, förenkla marknadskontroll och säkerställa spårbarhet. Förslaget specificerar också vem i värdekedjan som ansvarar för att produktspecifika regler efterlevs. Huvudansvaret ligger på tillverkaren men även importörer, distributörer, återförsäljare och näthandelsplatser omfattas i olika mån av kraven.

Den föreslagna förordningen är en ramförordning. Utformningen av och innehållet i produktpassen kommer regleras i den delegerade akten för respektive produktgrupp, där det bland annat kommer att anges på vilken nivå (individ, batch, modell) de ska implementeras. Detta innebär att det enbart är produktgrupper med delegerade akter som kommer ha produktpass. Ett antal produktgrupper kommer att väljas ut som de första där produktpassen ska införas. I dagsläget pekas elektronisk utrustning, batterier, textil samt möbler och heminredning ut som några av de första produktgrupperna. Först år 2025 eller senare väntas de första

⁶ Kommissionens initiativ till en ny ekodesignförordning benämns ofta initiativet för hållbara produkter, på engelska *Ecodesign for Sustainable Products Regulation* (ESPR). Tidigare också kallat *Sustainable Products Initiative* (SPI).

produktpassen vara framtagna enligt den tidplan som idag föreligger. I dagsläget finns ingen specifik skrivning med kring information om kritiska råmaterial i förslaget. Beroende på vilka produktgrupper eller branscher som kommer att omfattas så är det ändå troligt att viss information om kritiska råmaterial kan komma via de digitala produktpassen och i framtiden bör det system som förslås i denna rapport sammankopplas med produktpassen.

Initiativ till ny rättsakt om kritiska råvaror

Europeiska kommissionen har tagit initiativ till en ny rättsakt om kritiska råvaror (*European Critical Raw Materials Act*, Europeiska kommissionen, 2022).

Initiativet syftar till att stärka EU:s övervakningskapacitet och dess värdekedja genom att kartlägga projekt för mineralresurser och råvaror i EU:s strategiska intresse, som också har ett starkt miljöskydd. Även EU:s internationella politik för viktiga råvaror ska stärkas. Rättsakten ska bli en del i EU:s arbete för att klara den gröna och digitala omställningen genom att avsevärt öka tillgången till kritiska råvaror, diversifiera sin försörjning och stödja forskning och innovation.

Initiativet har varit på konsultation under hösten 2022 och ett förslag till förordning väntas komma från kommissionen under första kvartalet 2023. Eftersom förslaget fortfarande varken är slutligt formulerat eller förhandlat är mycket ännu osäkert om utfall och tidplan.

Vägar framåt för utveckling och införande av rekommenderat kartläggningssystem

Utifrån de möjligheter till beräkning och de tillgängliga och troligtvis kommande datakällor som presenterades i föregående avsnitt, så rekommenderar SMED att ett livscykelbaserat system för kartläggning av flöden av omställningskritiska råmaterial i den svenska teknosfären utvecklas. SMED:s uppfattning är det skulle innebära ett värdefullt komplement till de informations- och spårbarhetssystem som byggs upp inom EU. Genom att samla in mer grunddata direkt, i stället för att förlita sig på aggregerad eller syntetiserade data från till exempel EU, kommer kännedom om osäkerheter och antaganden att öka och med det möjligheterna att identifiera förbättrings- och utvecklingsbehov samt tillåta anpassade och fördjupade specialanalyser. Sannolikt kan materialflödesberäkningarna därmed bli mer exakta. Även om mycket fortfarande är oklart kommer de digitala produktpassen sannolikt att på sikt ge kraftigt förbättrade möjligheter att kartlägga produkt- och materialflöden.

SMED förordar att kartläggningssystemet utvecklas med en så kallad bottom-up-ansats. Det innebär ett mer komplext system som ställer större krav på datainsamlingen. Samtidigt lägger det grunden för ett system som kan bli varaktigt över tid och som fullt ut kan dra fördel av den dramatiska ökningen av tillgängliga produktdata som de digitala produktpassen troligtvis kommer att innebära. Utformningen av och innehållet i produktpassen kommer regleras i den delegerade akten för respektive produktgrupp. Begränsad tillgång till produktdata har hittills varit det främsta argumentet för en top-down-ansats. Den pågående och samhällsgenomgripande omställningen av det svenska och europeiska energisystemet kommer att innebära ett växande materialberoende. SMED anser därför att kartläggningssystemet med stor sannolikhet kommer att vara relevant under lång tid framöver, vilket väl motiverar en hög inledande ambitionsnivå för att från början utveckla ett system att växa i. Systemet blir av nödvändighet mycket dataintensivt, men bygger i hög grad på data som samlas in centralt. Det föreslagna systemet är också förenligt med såväl EU Raw Material Information System (RMIS) och EU:s föreslagna ekodesigndirektiv, särskilt de digitala produktpassen. Ytterligare inspiration kan hämtas från SCIP-databasen och den process som föregick dess utveckling. I det fallet identifierades ett behov av bättre kännedom om flöden av farliga ämnen i samhället, vilket nu har lett fram till ett system där det är obligatoriskt för alla företag som sätter artiklar på EU:s gemensamma marknad som innehåller särskilt farliga ämnen över 0,1 %, att rapportera in i systemet.

Under den inledande fasen kommer begränsningar i datatillgång att innebära att systemet i högre grad måste vila på antaganden och sekundära data, det vill säga data insamlade eller framtagna i annat syfte och av andra aktörer. Efterhand

kommer andelen primärdata att öka och ersätta antaganden och sekundärdata. Systemet kommer därmed successivt att få allt högre riktighet och precision. Primärdata syftar här på kvalitetssäkrade data som kan användas av systemet i sin grundform. Det betyder inte att primärdata rapporteras in exklusivt för att tillgodose det här systemets behov. Tvärtom bygger systemet, som framgår ovan, på att så långt som möjligt dra nytta av data som samlas in för andra ändamål. Notera att majoriteten av data med största sannolikhet kommer att rapporteras in till andra system (till exempel import-, export- och produktionsstatistik, SCIP-databasen samt Avfallsregistret) som det här kartläggningssystemet ges administrativa och tekniska möjligheter att läsa från, på sikt med hög grad av automatik. Medan data rapporteras in fortlöpande är systemets antaganden och algoritmer konstanta mellan återkommande uppdateringstillfällen. Bland annat på grund av att det sker en bred och snabb utveckling inom kritiska råmaterialområdet i Europa ser SMED att systemet behöver vara levande för att bibehålla sin ändamålsenlighet och öka sin användbarhet. Förslagsvis sker det kontinuerliga förbättringsarbetet med hjälp av så kallad hotspot-analys där fokus läggs på de detaljer som bedöms få störst effekt. Det är ett angreppssätt som används inom många olika tillämpningar, bland annat livscykelanalyser. I takt med att allt fler datakällor har kvalitetssäkrats och integrerats i systemet bör inläsning och hantering av data automatiseras. Givet de senaste årens omvälvande utveckling inom digitalisering och AI kommer det också möjliggöra avancerade felkontroller och utvärderingar av rimlighet och konsistens av data.

Det finns, såvitt SMED kan bedöma, inget som i sak hindrar att det föreslagna systemet i något skede skalas upp till EU-nivå, till exempel som en utvidgning av RMIS. Ett samarbete på EU-nivå har god potential att förbättra de antaganden och algoritmer som behöver byggas upp och även förenkla det arbete som behöver läggas på de data som trots allt behöver matas in manuellt. Det är också fullt möjligt att utöka systemet för att inkludera andra ämnen och råmaterial av intresse, vilket exempelvis kan inkludera plast, farliga ämnen eller råmaterial som inte är kritiska i dagsläget men eventuellt blir så i framtiden.

Rekommendation att gå vidare med ett koncepttest

Givet det föreslagna kartläggningssystemets komplexitet är det lämpligt att först låta SMED (eller annan lämplig aktör) genomföra ett koncepttest (*proof of concept*). Koncepttest är vanliga tidigt i en innovationsprocess för att demonstrera genomförbarheten av en viss metod eller idé, eller för att verifiera att något teoretiskt funkar som tänkt. Ett koncepttest genomförs i liten skala och behöver inte vara fullständigt. I det här fallet skulle ett urval av de befintliga datakällorna kopplas ihop och data om innehållet av kritiska råmaterial i prioriterade material och produkter kartläggas med hjälp av litteratordata samt intervjuer med relevanta aktörer för att kunna uppskatta flöden och mängder av kritiska råmaterial genom

den svenska teknosfären. Jämfört med den översiktliga kartläggning som genomförts i den här studien bör ett sådant koncepttest fokusera på att testa en automatiserad inhämtning av data för ett mindre antal produkter, systematisera antaganden och generalisera beräkningar samt omfatta fler kritiska råmaterial. Det skulle samtidigt ytterligare öka kunskapen om mängder och flöden av kritiska råmaterial i den svenska teknosfären och ge värdefulla designerfarenheter om hur effektiv processen kan göras. Utöver detta kan statistiska analyser för modellen per material vara ett sätt att utvärdera och jämföra hur säkra resultaten är, samt för att peka på var förbättringar i indata behövs mest. Till exempel kan en regressionsanalys visa på att ett flöde av ett godtyckligt material i teknosfären ligger inom 100–150 ton årligen med 95-procentigt konfidensintervall.

Då litiumjonbatterier och permanentmagneter (baserade på neodym och andra sällsynta jordartsmetaller) bedöms vara viktiga för den svenska omställningen av energi- och transportsektorn, samtidigt som de har en god potential för återvinning, så rekommenderas att följande produktkategorier prioriteras:

- Fordon
- Batterier
- Elmotorer och generatorer (inklusive vindturbiner)
- Övrig elektronik

Dessutom rekommenderas att koncepttestet inkluderar några av de kritiska råmaterial som krävs för de föreslagna produktkategorierna samt det avfall som uppstår från produkterna, alltså alla steg i livscykeln inom Sveriges gränser. De kritiska råmaterial som rekommenderas som prioritet är:

- Koppar
- Nickel
- Mangan
- Kobolt
- Litium
- Neodym
- Dysprosium
- Praseodym

Koncepttestet skulle kunna genomföras i följande steg:

1. Val av prioriterade produktkategorier
2. Kartläggning av relevanta KN-koder för de utvalda produktkategorierna samt vilka återvinningstekniker som finns tillgängliga för dessa, med fokus på materialseparation

3. Kartläggningen av innehållet av kritiska råmaterial i varje produkt och produktens uppskattade livslängd med hjälp av intervjuer och litteraturstudie, med en utvärdering om huruvida flera KN-koder kan buntas ihop
4. Kartlägg de råvaror som krävs för de utvalda produktkategorierna
5. Koppla ihop produktkategorierna med relevanta avfallskoder och kartlägg det avfall som uppstår, samlas in och återvinns
6. Skapa en beräkningsmodell för mängder och flöden av kritiska råmaterial enligt bottom-up-ansatsen som beskrivits i den här studien
7. Beräkna end of life-flöden för tre av råmaterialen för vilka storleken, osäkerheten och konfidensintervallet är kända
8. Utvärdera resultatet, gör en uppskattning av hur väl det illustrerar det totala flödet av de utvalda råvarorna genom svenska teknosfären

SMED har erfarenhet av liknande projekt inom framtagningen av Sveriges officiella avfallsstatistik där data om uppkomst och behandling av flera avfallsslag från många verksamhetsbranscher, sammanställs från olika datakällor. Metoden har byggts upp under många år och utvecklas kontinuerligt genom att se över och testa nya datakällor och beräkningsmetoder.

Rekommendationer för en förbättrad datainsamling

För att på sikt förbättra kvalitén på insamlade data och på så vis göra systemet mindre beroende av antaganden och öka riktigheten och precisionen i beräknade mängder och flöden lämnar SMED följande fem förslag. Förslag 1 och 2 bör genomföras oberoende av koncepttestet, medan förslag 3 och 4 blir aktuella om koncepttestet faller väl ut:

1. **Sverige** bör verka för att de digitala produktpassen också ska deklarerat innehåll av kritiska råmaterial. En möjlig väg skulle kunna vara via det aktuella initiativet till ny rättsakt om kritiska råvaror. Exakt vilka råmaterial som i så fall ska redovisas i produktpassen bör rimligtvis diskuteras med övriga EU-medlemmar. En utgångspunkt är den lista över kritiska råmaterial som EU uppdaterar åtminstone vart tredje år, vilket alltså blir en dynamisk lista. En annan utgångspunkt är att det väljs ut några specifika råmaterial baserat på vad som är vanligt förekommande inom varje produktgrupp för sig. Enligt gällande förslag till en förordning om ekodesign för hållbara produkter ska innehåll av skadliga ämnen redovisas. Det innebär att produktpassen kommer att utformas så att materialinnehåll kan redovisas. Tillverkarna skulle då bli skyldiga att redovisa innehållet av vissa ämnen. Sammantaget framstår det därför som att steget är kort till att också inkludera kritiska råmaterial. SMED bedömer

att detta skulle innebära den enskilt största förbättringen av insamling av kritiska råmaterial-data för användarfasen. Analogt med betydelsen av att öka kunskapen om förekomst av skadliga ämnen för att kunna fasa ut dem ur den cirkulära ekonomin är det nödvändigt att öka kunskapen om förekomst av kritiska råmaterial för att kunna få en cirkularitet för kritiska råmaterial.

2. **Naturvårdsverket** bör utreda möjligheterna att kräva att import och export av avfall enbart rapporteras med avseende på mängd per avfallskod (LoW) och per behandlingstyp till Naturvårdsverket³¹. I så fall skulle redovisningsgrupperna ”Kombination av olika avfallsslag” och ”Kombination av olika behandlingstyper” försvinna vilket skulle ge mycket högre kvalitet på data. Samma rekommendation har tidigare lämnats i SMED PM – Metod för plastkartläggning, daterad 2022-09-27. Förslaget skulle, om det genomförs, med andra ord innebära fördelar bortom kartläggning och spårning av enbart kritiska råmaterial.
3. **Naturvårdsverket** bör få i uppdrag att utreda förutsättningarna för att kräva att verksamheter som producerar, transporterar, samlar in, mäkclar, handlar eller behandlar vissa typer av avfall som identifierats som viktiga med hänsyn till sitt innehåll av kritiska råmaterial rapporterar in detta. Utredningen bör bland annat utvärdera om det bäst hanteras genom att utvidga Avfallsregistret för farligt avfall, genom systemet för produkter med producentansvar eller genom att ta fram ett nytt inrapporteringsystem. Särskilt bör Avfallsregistrets befintliga krav på kvartalsvis rapportering av behandlingsresultat, inklusive hur mycket produkter och material som upphört att vara avfall till följd av förberedelse för återanvändning, materialåtervinning, eller annan återvinning beaktas, samt att det även finns en anteckningsskyldighet för icke-farligt avfall för behandlare. Till synes rymmer Avfallsregistret mycket av den struktur och funktionalitet som det föreslagna kartläggningssystemet efterfrågar. Därför vore det lämpligt att utvärdera erfarenheter hos både rapportörer och systemhandläggare av systemets användbarhet och funktionalitet. Inrapporterade data över kritiska råmaterial behöver sedan kunna läsas av kartläggningssystemet. En sådan avfallsrapportering skulle väsentligt förbättra insamlingen av kritiska råmaterial-data för återvinningsfasen. Efterfrågade data skulle i så fall omfatta halter och mängder av kritiska råmaterial som hanteras och med vilken metod de behandlas. Sedan 2020 finns liknande krav och system för rapportering av farligt avfall, med stöd av Avfallsförordningen (SFS 2020:164). Bland de delfrågor som behöver utredas är om det nuvarande avfallsregistret kan utvidgas för rapportering av kritiska råmaterial-data eller om det är lämpligare att utveckla ett parallellt register, hur registret kan synkroniseras med kartläggningssystemet för kritiska råmaterial samt för vilka halter och mängder av kritiska råmaterial som rapporteringskravet ska gälla. Det är uppenbart att en ny rapportering av kritiska råmaterial innebär en stor

uppgiftslämnarvärden, som behöver ställas i relation till nyttan för en ökad cirkulär ekonomi för kritiska råmaterial. Det bör därför också utredas om rapporteringen kan ske i någon annan form som är enklare att samla in, exempelvis genom att det redan ligger som en anteckningsskyldighet, men som samtidigt går att nyttiggöras av kartläggningssystemet för att beräkna mängder av kritiska råmaterial. I de fall de digitala produktpassen kommer att omfatta kritiska råmaterial (se förslag 1) så flyttas en stor del av det här förslagens uppgiftslämnarvärden till produktpassen.

4. **SCB** bör få i uppdrag att utreda om det är möjligt att grunddata från den officiella statistiken över Utrikeshandel med varor och Industrins varuproduktion kan göras tillgänglig för systemet på ett säkert vis. Uppgifter om vilka företag som har rapporterat på en viss KN-kod och vilka branscher de tillhör styrs av offentlighets- och sekretesslagstiftningen och lämnas inte ut utan en juridisk prövning³². En effektiv och kvalitativ återkommande kartläggning av kritiska råmaterial-flöden förutsätter att datadelningen kan automatiseras, vilket sannolikt ställer särskilda krav på det tekniska systemets utformning samt hur och av vem indata och kanske även resulterande utdata får hanteras.

Designaspekter att beakta

I likhet med fullständiga spårbarhetssystem förutsätter en ändamålsenlig design av ett kartläggningssystem både ett administrativt system, med regler om hur bland annat beräkningar, rapportering och verifiering ska gå till, och ett tekniskt system för hantering av data. Det ligger utanför det här uppdraget att ta fram en detaljerad specifikation på ett fungerande kartläggningssystem för kritiska råmaterial. Däremot finns det anledning att peka på ett par centrala frågeställningar och några av det aktuella förslagens styrkor.

System för kartläggning och spårbarhet kan baseras på olika så kallade chain of custody-modeller³³. Det finns ett samband mellan vilka krav modellen ställer på utformningen av ett kartläggningssystem och vilka egenskaper som systemet kan spåra. Det system som föreslås här bygger på en massbalansmodell. Massbalans innebär att mängden material/produkt med en viss egenskap måste vara densamma in i ett processteg som ut ur detsamma, men egenskapen måste inte följa samma fysiska enheter in och ut. Däremot är det inte möjligt att spåra enskilda produkter och därmed inte heller en produkts ursprung eller hur dess hållbarhetsparametrar förändras under livscykeln. Fördelarna överväger dock, eftersom massbalansmodellen dels uppfyller syftet med systemet, dels kan använda data av det slag som finns tillgänglig i befintliga datakällor under det inledande skedet. De digitala produktpassen, som bland annat ska innehålla information om ursprungsmärkning och klimatavtryck, kommer att behöva tillämpa en annan modell. Massbalansmodeller kan använda data som spåras i och med sådana modeller trots att det motsatta inte gäller fullt ut. Det är ytterligare en fördel med

valet av massbalansmodell. Avslutningsvis talar marknadslogiken för att använda massbalans eftersom både primära och sekundära metaller och mineral från olika gruvor och återvinnare blandas i smältverken (Svemin, 2019).

En annan fördel med det föreslagna kartläggningssystemet jämfört med ett spårbarhetssystem är att det föreslagna kartläggningssystemet inte heller behöver direkt engagera alla de aktörer som behöver bidra med indata och det faktum att de har olika (starka) drivkrafter att delta och dessutom asymmetrisk information om nyttan av att dela data. Samarbete mellan värde-/försörjningskedjans olika aktörer är helt avgörande för varje fungerande spårbarhetssystem (UN Global Compact, 2014; IVL, 2021; Hemmelberg & Hanna, 2021). Det förutsätter acceptans i bred mening och tillräcklig tillit både mellan aktörerna och hos varje aktör för systemets design. Det här är i många fall en stor utmaning eftersom råmaterial och produkter flödar i komplexa, ofta globala nätverk (UN Global Compact, 2014; Hemmelberg & Hanna, 2021). Det gäller inte minst metaller, som handlas internationellt (Svemin, 2019) där antalet aktörer är potentiellt mycket stort. Genom att inledningsvis utnyttja olika nationella datakällor för att i ett senare skede dra nytta av data från de digitala produktpassen eliminerar SMED:s förslag behovet av att övervinna denna utmaning. Det kommer i stället att ske genom EU:s försorg och med de delegerade akter som ska driva igenom produktpassen.

En begränsning med att det föreslagna systemet inte spårar enskilda produkter genom livscykeln är att det inte tillhandahåller produktspecifik information (utöver materialinnehåll per produkt eller produktkategori). Kartläggningssystemet kan därför inte användas för att till exempel ska säkerställa en råvaras ursprung eller vilka reparationer och andra förändringar en produkt har genomgått fram till insamling för återanvändning och återvinning. Ursprungsmärkning är vanligt för allt från konfliktmineral till ekologiskt producerade livsmedel. Det är jämförelsevis enkelt att spåra i linjära värde-/försörjningskedjor med en lämpligt vald chain of custody-modell. Att spåra produktinformation som ändras under tillverknings- eller användarfasen är en stor utmaning jämfört med att spåra statisk information.

Andra egenskaper att beakta är om systemet ska hantera kvalitativ eller kvantitativ respektive statisk eller dynamisk information, om systemet ska spåra råmaterial eller produkt och hur koppling görs mellan fysisk produkt/material och information. Som har framgått ovan ska systemet spåra kvantitativ statisk information om kritiska råmaterial-mängder. Kopplingarna mellan fysiskt material och digital information säkerställs på olika vis i de datakällor som systemet ska utnyttja. SMED vill i sammanhanget poängtera värdet av standardisering när data ska genereras och delas av många olika aktörer (Carlsson, 2021). Standardisering är också en viktig komponent för att skapa acceptans för systemet genom att skapa transparens för hur systemet är designat och hur det ska användas, vilket kan främjas ytterligare genom extern verifiering.

Det finns flera exempel på befintliga nationella system för rapportering och redovisning av olika typer av produkt- och materialflödesdata som kan tjäna som inspiration under framtagandet av en designspecifikation. Därutöver finns

ytterligare ett antal näringslivsinitiativ med olika mognadsgrad. Northvolt är ett intressant exempel på en aktör som bygger upp en helt ny värde-/försörjningskedja för att säkerställa en hög återvinningsgrad av de material som bolaget kommer att vara beroende av för sin produktion. Volvo Cars har utvecklat ett blockkedjesystem för att spåra kobolt i sina elbilsbatterier (Volvo Car Sverige, 2019). Svemins pilotsystem TraceMet har undersökt möjligheterna att spåra klimatavtryck och andel återvunnet råmaterial från gruva till varumärkestillverkare (IVL, 2021). Vinnova-finansierade Trace4Value är en plattform för flera projekt inom olika branscher som arbetar för hållbar systemtransformation inklusive spårbarhet.

Avslutande reflektioner

Den här studien försöker besvara delar av strecksats 4 i regeringens uppdrag till SGU och Naturvårdsverket att öka möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser. Det framgår tydligt av regeringsuppdraget att det övergripande och långsiktiga behovet som arbetet ska bidra till att uppfylla är att säkra tillgången på omställningskritiska material. Ökad cirkularitet och resurseffektiv ekonomi, bland annat genom att flytta kritiska råmaterial från linjära till cirkulära flöden i den svenska teknosfären, är medel för att nå det målet. Det av regeringen identifierade behovet är strategiskt och nationellt. Det är fullt möjligt, men inte nödvändigt, att det sammanfaller med andra aktörers intressen. Idag ser vi visserligen flera exempel på att europeiskt näringsliv tar stora steg för att säkra försörjnings- och värdekedjor för omställningskritiska material och tekniker, inte minst elfordonsbatterier. Samtidigt råder det konkurrens mellan olika sektorer och mellan olika företag inom olika sektorer. Privata aktörer har också möjlighet att bland annat flytta produktion eller fokusera på marknader utanför EU där förutsättningar och råvarutillgång kan vara annorlunda. Med andra ord är det inte nödvändigt att näringslivets strategiska intressen kommer att fortsätta sammanfalla med Sveriges eller EU:s övergripande.

Behovsanalysen har under studiens gång lett till att det är ett antal centrala myndigheter, främst Naturvårdsverket och SCB men i förlängningen även SGU (om sekundära flöden från utvinningsindustrin inkluderas i systemet), som kommer att utgöra de primära aktörerna, det vill säga kartläggningssystemets användare. Regeringen utgör sekundär användare, i egenskap av kravställare. Kartläggningssystemet ska tillhandahålla nödvändig information om aktuella, framtida och potentiella sekundära flöden av kritiska råmaterial för regeringens fortsatta politikutveckling på området. Informationen kan vara till nytta även för andra aktörer, men deras behov är underordnade inom den här studiens ramar. De tertiära, stödjande, aktörerna kommer huvudsakligen att utgöras av de näringslivsaktörer som rapporterar in data direkt eller indirekt till systemet. Aktörernas mognadsgrad, vad gäller rapportering och sammanställning av materialflödesdata, får anses vara god. Det finns sedan lång tid flera olika rapporteringssystem hos de primära aktörerna som omfattar det absoluta flertalet av de tertiära aktörer som kommer att beröras av det föreslagna

kartläggningssystemet. I stora delar ska den föreslagna dataförsörjningen av kartläggningssystemet rentav ske genom dessa befintliga system. Den största utmaningen bedöms i stället ligga på den strategiska nivån. Många frågor återstår att besvara, både om hur klimatomställningen ska genomföras och hur beroende omställningen är av kritiska råmaterial (liksom av basmaterial och marktillgång, som dock ligger utanför den här studien). Det är därför i hög grad okänt hur politiken och regleringen för det här området kommer att utvecklas. Kartläggningssystemet är en bit i det här stora pusslet.

Den strategiska utmaningen att säkra en långsiktig tillgång på kritiska råmaterial uppmärksammas sedan ett antal år av många aktörer på flera nivåer ur olika perspektiv. Det har lett till att det har tagits och med all säkerhet kommer att tas många olika initiativ inom området. Som framgått i flera avsnitt i den här rapporten har kartläggningssystemet utformats för att vara förenligt med de initiativ som SMED bedömer vara de viktigaste initiativen. Särskild uppmärksamhet ges åt batteriförordningen och ekodesignförordningens produktpass på EU-nivå och Avfallsregistret på nationell nivå. Initiativet till ny rättsakt om kritiska råmaterial framstår dessutom som en möjlighet att inkludera information om just kritiska råmaterial i produktpassen och på så vis säkerställa en dramatiskt förbättrad datatillgång. En framgångsfaktor för det föreslagna kartläggningssystemet blir att fortlöpande bevaka utvecklingen på området för att både säkerställa att Sveriges nationella system blir konsistent med de framväxande systemen på EU-nivå, och att identifiera och utnyttja de möjligheter till synergier mellan olika system och olika aktörer som kartläggningssystemet kommer att medföra. Inte minst har det potentialen att lindra uppgiftslämnarbördan för näringslivet, eftersom delar av den data som kartläggningssystemet behöver efterfrågas för andra ändamål.

SMED gör bedömningen att de tekniska och metodologiska hindren för att kartlägga flöden av omställningskritiska råmaterial är måttliga. Det viktigaste gapet utgörs i dagsläget av bristande data över koncentration av kritiska råmaterial i produkt- och avfallsflöden. Förslaget visar hur det under en uppbyggnadsfas går att kompensera för det genom att använda data från stickprov, avgränsade studier och olika typer av antaganden om fördelningar. För att tillgodose det övergripande och långsiktiga behovet av en säker och hållbar tillgång på omställningskritiska material framstår det alternativet som otillräckligt. För att kunna staka ut tydlig väg framåt krävs en tillförlitligare kartläggning som bygger på att aktörerna gemensamt överbrygger de rådande gapen i data och system.

Sammantaget kommer SMED till slutsatsen att mycket talar för att gå vidare med en utveckling av ett kartläggningssystem enligt vad som rekommenderas ovan. För det fall de digitala produktpassen implementeras i en nära framtid och kan tillhandahålla den data som idag förespeglas kommer utvecklingskostnader och uppgiftslämnarbördor att hållas nere väsentligt. Å andra sidan, om data över flöden av kritiska råmaterial av ett eller annat skäl inte kommer att tillhandahållas av produktpassen ökar värdet av ett svenskt kartläggningssystem ytterligare, eftersom det då (så vitt vi kan förutse idag) inte kommer att finnas något annat system som kan teckna den nödvändiga kartan.

Referenser

BIO by Deloitte, 2015. Study on Data for a Raw Material System Analysis: Roadmap and Test of the Fully Operational MSA for Raw Materials. Prepared for the Europeiska kommissionen, DG GROW.

Carlsson, R. (RISE), 2021. Personlig kommentar från Spårning och spårbarhet, ett rundabordsamtal arrangerat av Sustainability Circle, 2021-11-10.

EU Science Hub, 2022. Raw Materials Information System (RMIS).
<https://rmis.jrc.ec.europa.eu/>.

European Chemicals Agency, 2022. SCIP. <https://echa.europa.eu/sv/scip>.

Europeiska kommissionen, 2020a. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU. A Foresight Study. ISBN 978-92-76-15337-5. DOI 10.2873/865242.

Europeiska kommissionen, 2020b. COM(2020) 474 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN>. 2020-09-03.

Europeiska kommissionen, 2020c. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Critical Raw Materials Factsheets (Final). ISBN 978-92-76-21054-2.

Europeiska kommissionen, 2020d. Study on the EU's list of Critical Raw Materials (2020). Non-Critical Raw Materials Factsheets. ISBN 978-92-76-21052-8.

Europeiska kommissionen, 2022. EU-rättsakt om kritiska råvaror.
https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13597-EU-rattsakt-om-kritiska-ravaror_sv.

Hemmelberg, S. & Hanna, J., 2021. Product and material traceability from managerial perspective. Stockholm Business School. Master's Degree Thesis in Management.

IMDS Advanced Systems, 2022. CDX – Material Reporting.
<https://public.mdsystem.com/en/web/imds-public-pages/cdx-material-reporting>

International Energy Agency, 2021. The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. World Energy Outlook Special Report.

IRP, 2019. Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya.

IVL, 2021. TraceMet Report: Outlook.
<https://www.ivl.se/download/18.5bcd43b91781d2f501cc59/1616072443945/TraceMet%20WP2%20Outlook.pdf>.

Jernkontoret, 2019. Branschfakta och statistik.
<https://www.jernkontoret.se/sv/stalindustrin/branschfakta-och-statistik/>.

Kemikalieinspektionen, 2022. Databaser. <https://www.kemi.se/databaser>

Material Data System, 2022. IMDS Information Pages.
<https://public.mdsystem.com/en/web/imds-public-pages>.

Naturvårdsverket, 2022. Rapportera till avfallsregistret.
<https://www.naturvardsverket.se/vagledning-och-stod/avfall-farligt-avfall/rapportera-till-avfallsregistret/>

Näringsdepartementet, 2021. Uppdrag att öka möjligheterna till hållbar utvinning och återvinning av mineral och metall från sekundära resurser. Regeringsbeslut N2021/01038, 2021-03-24.

SCB, 2010. Varuguiden och dess användning i arbetet mot giftfria och resurssnåla kretslopp.
http://share.scb.se/ov9993/data/publikationer/statistik/_publikationer/mi1304_2009a01_br_mi73br1001.pdf

SCB, 2022a. Statistikdatabasen.
<https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/>

SCB, 2022b. Industrins produktion efter varugrupp enligt KN. År 1996 – 2021.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__NV__NV0119/IVPKNAr/

SCB, 2022c. Sål原因 och insamlad mängd elutrustning efter typ av utrustning och produktkategori. År 2010 – 2018.
<https://www.statistikdatabasen.scb.se/goto/sv/ssd/MI0309T01>

SCB, 2022d. Behandlad mängd elutrustning efter behandlingstyp och produktkategori. År 2010 – 2018.
<https://www.statistikdatabasen.scb.se/goto/sv/ssd/MI0309T02>

SCB, 2022e. Sål原因 och insamlad mängd batterier efter batterityp. År 2010 – 2018.
<https://www.statistikdatabasen.scb.se/goto/sv/ssd/MI0309T03>

SCB, 2022f. Behandlad mängd batterier efter behandlingstyp och typ av batteri. År 2010 – 2018. <https://www.statistikdatabasen.scb.se/goto/sv/ssd/MI0309T04>

SCB, 2022g. Avfall, uppkommet och behandlat. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/avfall/avfall-uppkommet-och-behandlat/>

SCB, 2022h. Avfall, gränsöverskridande transporter. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/miljo/avfall/avfall-gransoverskridande-transporter/>

SCB, 2022i. Materialflöde efter materialkategori. År 1998 – 2020.
https://www.statistikdatabasen.scb.se/pxweb/sv/ssd/START__MI__MI1301__MI1301C/MI1301MFTA01N/

SCB, 2022j. Utrikeshandel med varor. <https://www.scb.se/hitta-statistik/statistik-efter-amne/handel-med-varor-och-tjanster/utrikeshandel/utrikeshandel-med-varor/>

Svemin, 2019. Traceability of sustainable metals – a blockchain-based solution.
[https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbel74fee4974b25ec/1603289493500/Traceability%20of%20sustainable%20metals%20%20slutrapport%20f%C3%B6r%20studie%20\(002\).pdf](https://www.ivl.se/download/18.3caf9fbel74fee4974b25ec/1603289493500/Traceability%20of%20sustainable%20metals%20%20slutrapport%20f%C3%B6r%20studie%20(002).pdf).

Tillväxtanalys, 2019. Spårbarhet och märkning av hållbara metaller och mineral – insatser för ökad transparens, trovärdighet och efterfrågan. PM 2019:01.

Transportstyrelsen, 2022. Vägtrafikregistret.
www.transportstyrelsen.se/sv/vagtrafik/fordon/vagtrafikregistret

Torres de Matos, Cristina, Wittmer, Dominic, Mathieux, Fabrice, Pennington, David, 2020. Revision of the material system analyses specifications, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-10734-7, doi:10.2760/374178, JRC118827

UN Global Compact, 2014. A Guide to Traceability – A Practical Approach to Advance Sustainability in Global Supply Chains.
https://d306pr3pise04h.cloudfront.net/docs/issues_doc%2Fsupply_chain%2FTraceability%2FGuide_to_Traceability.pdf.

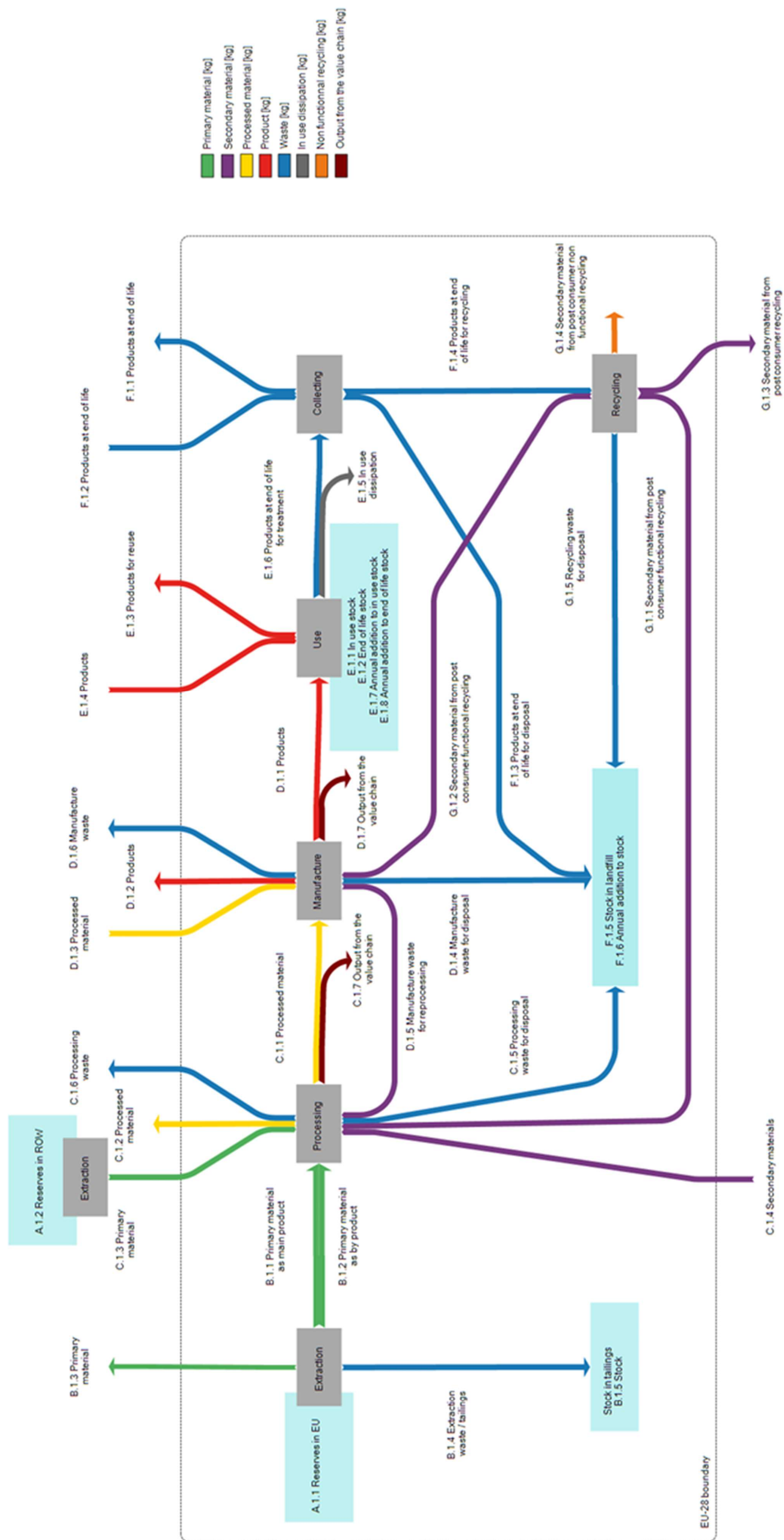
UNEP, 2011. Recycling Rates of Metals A Status Report. ISBN: 978-92-807-3161-3.

Vindbrukskollen, 2022. <https://vbk.lansstyrelsen.se>

Volvo Car Sverige AB, 2019. Volvo Cars inför blockchain-spårbarhet för kobolt i elbilsbatterier. <https://www.media.volvocars.com/se/sv-se/media/pressreleases/260242/volvo-cars-infor-blockchain-sparbarhet-for-kobolt-i-elbilsbatterier>. Besökt 2022-10-19.

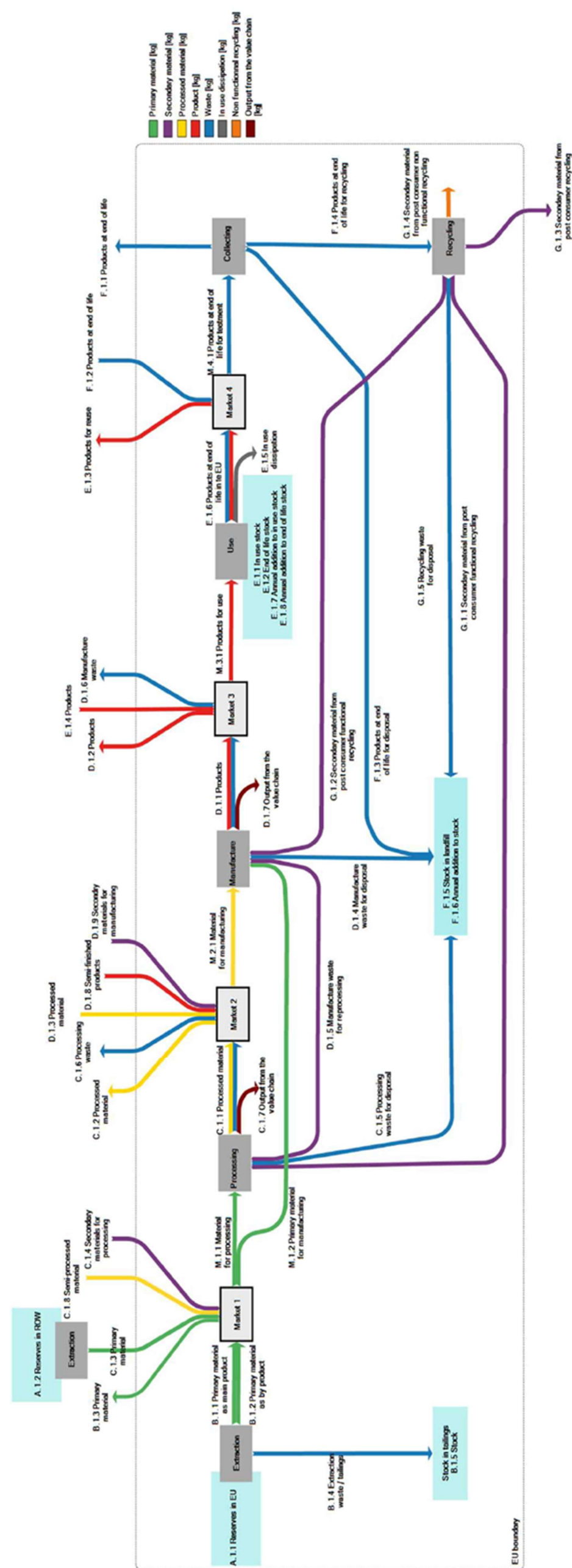
World Bank Group, 2020. Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition.

Bilaga 1. Materialsystem enligt Bio by Deloitte, 2015



MSA-system med alla processer (materiallivscykelstadier), flöden och lager som beaktas i en MSA. Systemgränsen är EU:s geografiska gräns. (Bio by Deloitte, 2015)

Bilaga 2. Materialsystem enligt Torres de Matos et al., 2020



MSA-system med alla processer (materiallivscykelstadier), flöden och lager som beaktas i en MSA, inklusive marknadssteg. Systemgränsen är EU:s geografiska gräns. (Torres de Matos et al., 2020)

Bilaga 3. Översikt av datakällor

	Volym av produktflöde / avfallsflöde	Koncentration CRM i produkterna / avfallet	Produkternas livslängd	Extrahering	Import/export	Bearbetning	Tillverkning	Användning	Insamling och återvinning
EU:s CRM 2020 Factsheets	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
EU:s NON-CRM 2020 Factsheets	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
Raw Material Information System	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
UNEP Recycling Rates of Metals A Status Report	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
Jernkontoret: Svensk stålstatistik	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning
SCB: Industrins varuproduktion (IVP)	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data
*SCB: Sål原因 och insamlad mängd elutrustning efter typ av utrustning och produktkategori	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
*SCB: Behandlad mängd elutrustning efter behandlingstyp och produktkategori	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
*SCB: Sål原因 och insamlad mängd batterier efter batterityp	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
*SCB: Behandlad mängd batterier efter behandlingstyp och typ av batteri	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
*SCB: Avfall, Uppkommet och behandlat	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
*SCB: Avfall, gränsöverskridande transporter	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
SCB: Materialflöde efter materialkategori	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data
SCB: Utrikeshandel med varor	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Transportstyrelsen: Vägtrafikverket	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Nästintill fullständig datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
Vindbrukskollen	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning
Kemikalieinspektionen: Flödesanalyser för kemiska ämnen	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data
SCB: Varuguiden	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Delvis datatäckning	Ingen data
ECHA: SCIP databasen	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data
International Material Data System (IMDS)	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Nästintill fullständig datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Compliance Data eXchange (CDX)	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Delvis datatäckning	Ingen data	Nästintill fullständig datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data
Naturvårdsverket: Avfallsregistret	Delvis datatäckning	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Delvis datatäckning
Batteripass	Kommande lagstiftning, osäker	Nästintill fullständig datatäckning	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker	Nästintill fullständig datatäckning	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker
Produktpass	Kommande lagstiftning, osäker	Nästintill fullständig datatäckning	Nästintill fullständig datatäckning	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker	Nästintill fullständig datatäckning	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker	Kommande lagstiftning, osäker

Översikt av datakällor och deras respektive nivåer av datatäckning för olika typer av data (volym, koncentrationer av kritiska material och livslängder) samt delar av kretsloppen. Raderna längst ner (batteripass och produktpass) är datakällor som är planerade för framtiden. *Naturvårdsverket är statistikansvarig myndighet men data finns på SCB:s webbplats.