SLUTRAPPORTERING AV REGERINGSUPPDRAG

Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral

Anders Hallberg och Helge Reginiussen

december 2018

SGUs diarie-nr: 311-2379/2016
Näringsdepartementets diarie-nr: N2016/06368/FÖF
RR 2018:05

SGU
Sveriges geologiska undersökning

Omslagsbild: Borrkärna med litium från Järkvissle.
Foto: Specim

Författare: Anders Hallberg och Helge Reginiussen
Ansvarig enhetschef: Erika Ingvald
Layout: Lina Rönnåsen

Regeringsuppdragets fullständiga namn: Uppdrag att kartlägga Sveriges möjligheter att utvinna metaller och mineral för miljö- och teknikinnovationer.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Regeringsuppdraget **5**

Sammanfattning **5**

Kritiska råmaterial – en översikt **9**
- EUs kritiska lista 9
- Kritiska råmaterial för Sverige 11
- Konfliktmineral 12

Faktorer som påverkar utvinningspotentialen **13**
- Geologisk potential 13
- Huvudmetaller och biprodukt 13
- Ekonomiska faktorer 14
- Legala faktorer 15
- Prospektering 15

Metodik och data **16**
- Kunskapen om huvudmetallerna är god 16
- Alla kritiska råmaterial 16
- En kemisk malmdatabas – MALMKEMI-db 17

Potential för utvinning i Sverige **19**
- Geologisk potential 19
- Malmberäknade fyndigheter 19
- Gamla malmer – nya analyser 24
  - *Järkvissle* *24*
  - *Riddarhyttefältet* *25*
  - *Stollbergsfältet* *27*
  - *Nickellinjen* *28*
  - *Yxsjöberg och Svärtträsk* *29*
  - *Viscaria* *29*
  - *Adakfältet* *30*
  - *Grängesbergsområdet* *31*
  - *Östanmossen* *33*
  - *Dingelvik-Henneviken* *33*
  - *Alkalina intrusioner* *34*
- Potentialen i den industriella infrastrukturen 35

FORTSATT ARBETE **36**
- SGUs planerade arbete 2019 36
- Planer som vi idag saknar finansiering för 37
- Utanför vårt område 37

Referenser **38**

Bilaga 1. EUs lista över kritiska råmaterial (2017) **43**

Bilaga 2. Datakällor **44**

Bilaga 3. Bergartsanalyser **45**

Bilaga 4. Uppbyggnad av databasen MALMKEMI-db **46**

Bilaga 5. regionalgeologisk översikt **48**

Bilaga 6. Ny provtagning av borrkärnor och sandmagasin **51**

Bilaga 7. Förekomster av ett urval kritiska metaller och mineral **70**

REGERINGSUPPDRAGET

SGU har fått i uppdrag av regeringen att kartlägga möjligheterna för att i Sverige utvinna de metaller och mineral som behövs för tillverkning av nya miljö- och teknikinnovationer i Sverige och Europa. I uppdraget ingår kartläggning och kunskapsuppbyggnad av både primära och sekundära källor till dessa mineral och metaller. Projektet inkluderar kartläggning av de viktigaste gruvavfallsdeponierna i Bergslagen.

Parallellt med detta uppdrag fick Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser (Tillväxtanalys) i uppdrag att kartlägga det framtida behovet av dessa så kallade innovationskritiska metaller och mineral som krävs för de nya miljö- och teknikinnovationerna. I uppdraget till Tillväxtanalys ingår att analysera vad som kan behövas för att hela produktionskedjan från utvinning till färdig produkt av de identifierade miljö- och teknikinnovationerna ska kunna förläggas till Sverige.

Denna rapport är SGUs slutredovisning av uppdraget. SGUs uppdrag har tidigare delredovisats till Näringsdepartementet 15 februari 2018 (SGU:s dnr. 311–2379/2016).

SAMMANFATTNING

SGU bedömde i delrapporteringen av detta uppdrag att Sverige har geologisk potential för ett flertal innovationskritiska råmaterial och visade även att det redan finns flera malmberäknade fyndigheter där dessa råmaterial ingår. I denna slutrapport har informationen om malmberäknade fyndigheter uppdaterats och utökats till att inkludera fler råmaterial (se figur 1 och tabell 5). Mängden malmberäknade fyndigheter med kritiska råmaterial betonar den goda geologiska potential som Sverige har.

I delrapporteringen redovisades också de platser där SGUs provtagningar och sammanställningar påvisat anomala halter av någon eller några kritiska råmaterial. I denna rapport relateras denna kunskap till statistisk information om gruvproduktion och om prospekteringsprojekt.

En nödvändig förutsättning för en ekonomiskt hållbar utvinning av kritiska råmaterial som biprodukt vid utvinning av någon huvudmetall (järn-, bas- eller ädelmetaller) är att det förekommer brytvärda halter av huvudmetaller. Mot den bakgrunden har SGU identifierat ett antal gruvor och gruvområden (huvuddelen nedlagda), samt flera prospekteringsprojekt, där nya analyser eller digitaliserade äldre analyser påvisat en eller flera kritiska metaller tillsammans med någon huvudmetall (se tabell 1). Dessa påvisade relationer är inte att jämföra med en malmberäkning då antalet nya analyser är alltför få. De visar dock att fyndigheterna är värda noggrannare undersökningar. I samtliga fall har provtagning och analys av borrkärna, bergartsprov och gruvavfall tillfört ny information om förekomsten av kritiska råmaterial. Dessa fyndigheter visas i kartan i figur 1 under rubriken ”Nya analyser” samt i tabell 1. Kortare beskrivningar av de flesta fyndigheterna finns i avsnitt ”Gamla malmer – nya analyser”.

Vid flertalet av de områden och fyndigheter som identifierats pågår idag aktiv prospektering och forskning om utvinning av kritiska råmaterial. Detaljerad kartering i SGUs regi samt länsvis malmdokumentation pågår i flera områden i Bergslagen.

Av alla dessa fyndigheter är det bara Kankbergs guld-tellurgruva som är i drift. Tellur betraktas förnärvarande inte som något kritiskt råmaterial, men Kankberg är det första svenska exemplet på flera decennier där ett nytt råmaterial utvinns från en järn-, bas- eller ädelmetallgruva.

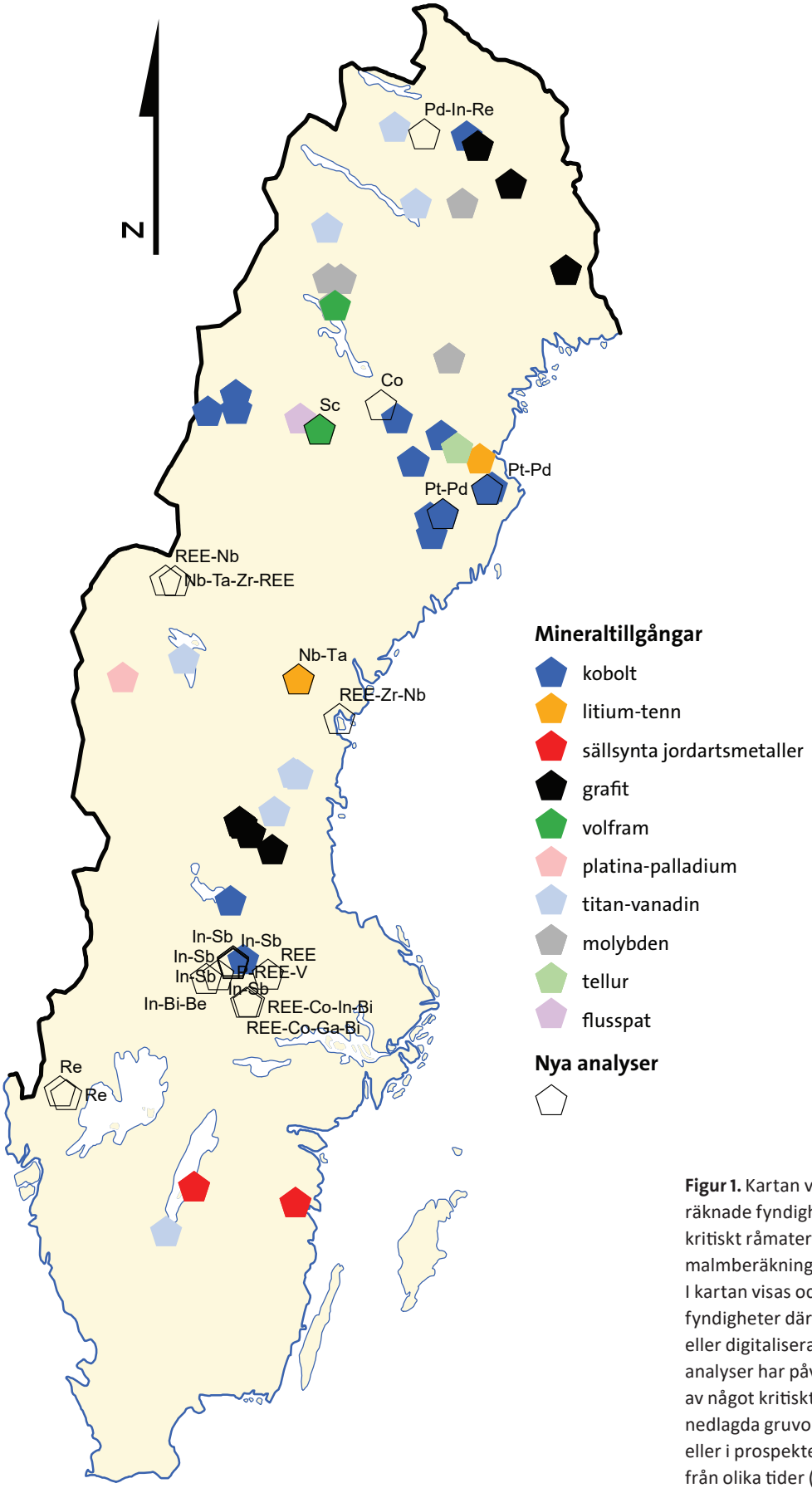
Idag pågår ingen produktion av kritiska råmaterial i någon svensk gruva. Det finns däremot

projekt, även sådana med redovisad malmberäkning, som har "fastnat" i de tillståndsprocesser som krävs för att öppna gruva i Sverige. Enbart god geologisk och ekonomisk potential samt fungerande gruvindustriell infrastruktur är inte tillräckligt för att starta utvinning i Sverige av kritiska råmaterial. Vad gäller utvinning ur gruvavfall är det idag oklart om denna faller under Minerallagen.

Resultaten visar att metodiken med översiktlig provtagning och analys av borrkärnor och gruvavfall är en snabb och kostnadseffektiv metod för att få en överblick av förekomsten av såväl kritiska råmaterial som huvudmetaller. Genom att relatera dessa analysresultat till annan information om gruvor och anrikningsverk, till exempel mängd och metallhalt på utbruten malm och gruvavfall, går det att få kunskap om förekomsten av kritiska råmaterial i kvarvarande malm och i sandmagasin. Den metodik som använts i projektet är även tillämpbar för att identifiera och översiktligt kvantifiera förekomst av skadliga ämnen. Detta har dock inte gjorts inom ramen för projektet.

Den insamling, systematisering och sammanställning av kemiska analyser från olika källor och resultaten från projektets provtagning och analys av borrkärnor, bergartsprov och gruvavfall har sammanställts i databasen MALMKEMI-db som innehåller drygt 30 000 poster.
SGU bedriver idag ett flertal projekt som är inriktade på att förbättra vår kunskap om råmaterial i Sveriges berggrund. De flesta av dem förlitar sig på tillfällig finansiering från staten och EU. Det vore önskvärt med en mera förutsägbar finansiering för att få kontinuitet i kedjan från insamling av data till leverans på vår hemsida.

Databasen MALMKEMI_181130 går att hämta på SGUs webbplats www.sgu.se.



Figur 1. Kartan visar malmberäknade fyndigheter där något kritiskt råmaterial ingår i malmberäkningen (se tabell 5). I kartan visas också de fyndigheter där nya analyser eller digitaliserade äldre analyser har påvisat förekomst av något kritiskt råmaterial i nedlagda gruvor, i gruvavfall eller i prospekteringsprojekt från olika tider (se tabell 1).

Tabell 1. Gruvor och gruvområden (huvuddelen nedlagda) med känd produktionshistorik och flera prospekteringsprojekt, där nya analyser påvisat en eller flera kritiska metaller tillsammans med någon huvudmetall.

SKARNJÄRNMALMER MED SULFIDER OCH/ELLER REE		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Källfallsfältet	Fe	REE, Co, Ga, Bi, Mo
Östanmossen	Fe	REE
Bäckegruvan	Fe, Cu	REE, Co, In, Bi
Stollbergsfältet	Zn	In, Sb
APATITJÄRNMALM		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Grängesbergområdet	Fe	P, REE, V
PEGMATITER		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Järkvissle	Li, Sn	Nb, Ta
KOPPARMINERALISERINGAR		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Adakfältet	Cu	Co
Viscaria	Cu	Co, Pd, In, Re
Dingelvik	Cu, Ag	Re
VOLFRAMMINERALISERINGAR		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Yxsjöbergsfältet	Cu, W	In, Bi, Be
Svärtträsk	W	W
NICKEL-KOPPARMINERALISERINGAR		
	Huvudmetall(er)	**Potentiell(a) biprodukt(er)**
Rörmyrberget	Cu, Ni	Co, Pt, Pd
Lappvattnet	Cu, Ni	Co, Pt, Pd
ALKALINA INTRUSIONER		
	Potentiella produkter	
Alnö-Sundsvallsområdet	REE, Zr, Nb	
Åkersjön	REE, Nb	
Holmslättmyran	Nb, Ta, Zr, REE	

KRITISKA RÅMATERIAL – EN ÖVERSIKT

Tillgång till råmaterial är avgörande för ett väl fungerande, modernt och hållbart samhälle. En ökande befolkning, ekonomisk tillväxt i utvecklingsländer samt teknologisk utveckling har medfört en ökad global efterfrågan på många råmaterial. Den moderna teknikutvecklingen och innovationer har lett till alltmer komplicerade produkter som kräver tillgång till ett antal ”nya” metaller och råmaterial som det antingen inte finns kända förekomster av i Sverige och Europa, som det inte finns teknisk kapacitet för att utvinna eller som det helt saknas kunskap om var och i vilka mängder de förekommer.

För att nå målen i Parisavtalet och Agenda 2030 krävs bland annat lägre utsläpp från transportsektor och industri. Övergång till fossilfria system för energiproduktion, energilagring och transport är drivande faktorer och kommer sannolikt behöva en flerdubbling av produktionen av vissa kritiska råmaterial (Speirs m.fl. 2014). Den pågående omställningen av fordonsflottan från fossila drivmedel till eldrift medför att bilindustrin behöver stora mängder så kallade batterimetaller. Om industrin inte har tillgång till de nödvändiga råvarorna kommer teknikutvecklingen och övergången till ett hållbart samhälle med lägre utsläpp att bromsas upp.

Karakteristiskt för många kritiska metaller är att de sällan utgör stora volymer eller ingår i större mängd i produkter, i jämförelse med basmetaller (koppar, zink, bly, aluminium) och järn, men att de är mycket viktiga beståndsdelar. En eventuell substitution kan medföra reducerad prestanda, förhöjt pris eller båda. Ofta är substitutet en annan kritisk metall och medför en förflyttning av försörjningsproblemet från ett kritiskt råmaterial till ett annat (Hageluken & Meskers 2010).

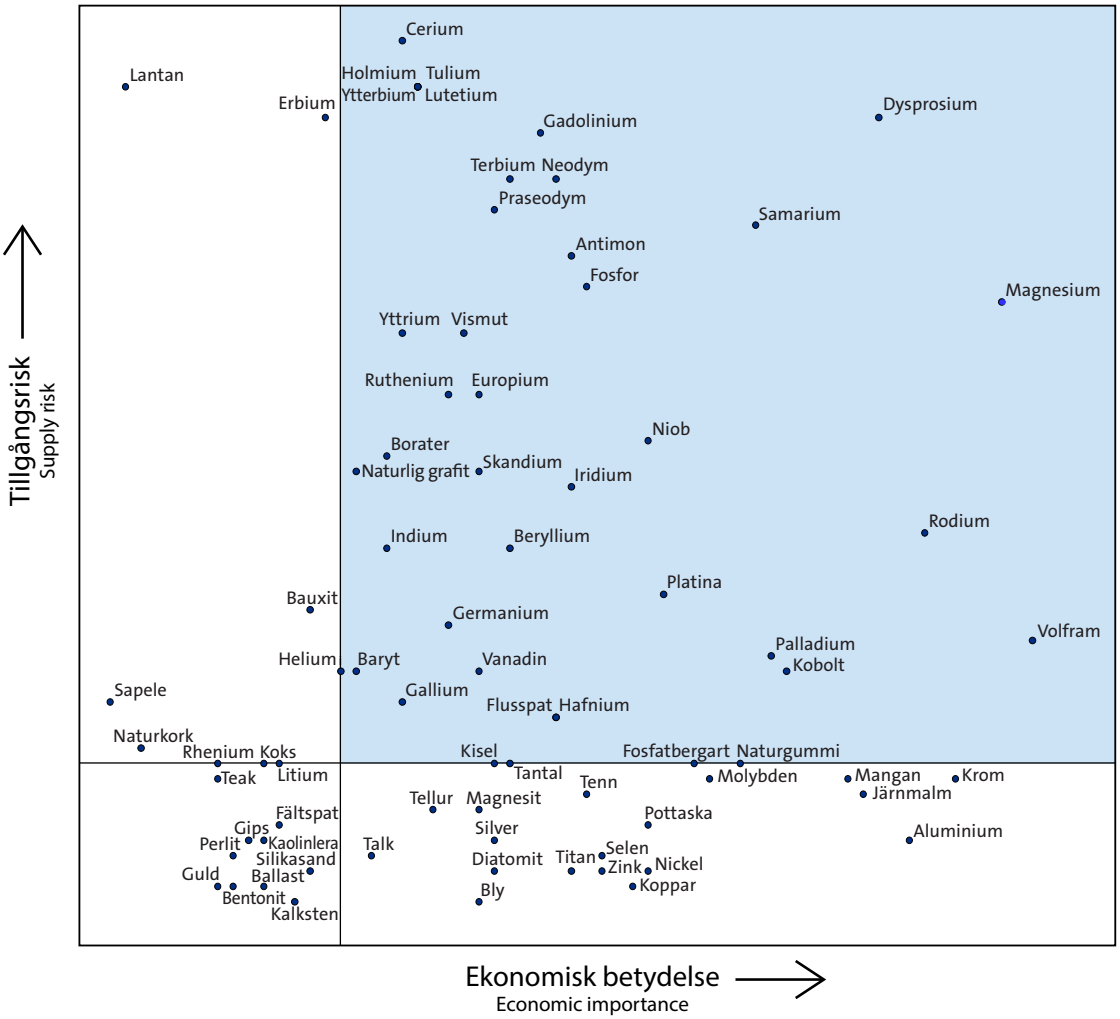
Begreppet kritiska råmaterial (*”Critical Raw Materials”*; CRM) har ingen universell definition, men refererar vanligtvis till metaller och mineral som är av hög ekonomisk betydelse för en viss bransch, industrisektor eller geografiskt område och som av olika orsaker riskerar försörjningsbrist (Graedel m.fl. 2015). Kritikalitet för ett visst råmaterial kan förändras över tid och reflekterar bland annat nuvarande och förväntad framtida efterfrågan, globala politiska förhållanden och teknisk utveckling (Bedder 2015).

EUs kritiska lista

Med endast ca 3 procent av världens metallmalmproduktion och 25–30 procent av världens metallkonsumtion är Europa starkt beroende av import av många råvaror (Tiess 2010, Brown m.fl. 2016). Som ett led i arbetet med att säkra EUs tillgång på kritiska råmaterial lanserande EU-kommissionen år 2008 det så kallade råmaterialinitiativet (*Raw Materials Initiative*). Detta är en integrerad strategi som inkluderar

- säker, rättvis och hållbar försörjning av råmaterial från internationella marknader
- hållbar försörjning från europeiska källor
- ökad resurseffektivitet och återvinning.

En prioriterad åtgärd i detta var att etablera en lista över kritiska råmaterial på EU-nivå. Grundkriterierna för att ett råmaterial ska definieras som kritiskt av EU är för det första en relativt hög försörjningsrisk på grund av att världsproduktionen koncentreras till endast några få länder med potentiella geopolitiska begränsningar och för det andra dess ekonomiska betydelse, det vill säga andel av varje råmaterial som är associerat med industriella megasektorer i EU.



Figur 2. EUs lista över kritiska råmaterial (EU-kommissionen 2017). De sällsynta jordartsmetallerna (*Rare Earth Elements, REE*) består av skandium och yttrium samt lantanoiderna: lantan, cerium, praseodym, neodym, prometium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, tulium, ytterbium, lutetium. Notera att prometium inte har några stabila isotoper och lantan och erbium ligger utanför det ”kritiska” fältet (blå färg) enligt EU (EU-kommissionen 2017). Platinagruppens metaller (PGM) består av rutenium, rodium, palladium, osmium, iridium och platina.

Att tillhandahålla en stabil och prisvärd tillgång till kritiska råmaterial är således en viktig fråga för EU, särskilt eftersom utvinning och produktion är koncentrerad till ett fåtal länder (se tabell 2). Många av de råmaterial som EU-kommissionen definierat som kritiska är metaller, men inte alla (undantag är till exempel grafit, fosfat, flusspat). Listan med kritiska material publicerades första gången 2011 och har sedan dess uppdaterats och utökats 2014 och senast 2017. Den omfattar nu 27 kritiska råmaterial (se figur 2 samt bilaga 1). Listan uppdateras var tredje år.

Återvinning är en mycket viktig del i arbetet med att uppnå resurseffektivitet och minska miljöpåverkan. Återvinningsgraden för ett antal av de kritiska råmaterialen är dock fortfarande låg (se tabell 3). Även med en mycket hög återvinningsgrad så är inte återvinning nog för att

Tabell 2. Ett urval kritiska råmaterial med största producentländer. Kina står för en stor andel av världens produktion av CRM. Andra länder som har en stor andel av vissa CRM inkluderar bland annat Brasilien, Demokratiska republiken Kongo, Ryssland, Sydafrika, och USA. Källa: EU-kommissionen (2017d).

Råmaterial	Producentland	Andel av världsproduktionen (%)
REE	Kina	95
Antimon	Kina	87
Volfram	Kina	84
Gallium	Kina	73
Grafit	Kina	69
Niob	Brasilien	90
Beryllium	USA	90
Platina	Sydafrika	70
Kobolt	Demokratiska republiken Kongo	64
Palladium	Ryssland	46

Tabell 3. Funktionell återvinningsgrad för kritiska råmaterial. Data från UNEP (2013). Funktionell återvinning innebär att materialets fysiska och kemiska egenskaper bevaras efter återvinning. Exempelvis vid återvinning där metall i en uttjänt produkt separeras och sorteras för att få fram recyklat som kan återgå till en produktionsprocess för att tillverka en given metall eller metallegering (Graedel m.fl. 2011).

Återvinningsgrad (%)	Kritiskt råmaterial (EU 2017)
< 1	Be, B, Sc, V, Ga, Ge, In, Ta, Hf, Bi, Os, REE
1–10	Sb
> 10–25	W, Ru
> 25–50	Mg, Ir
> 50	Co, Nb, Pt, Pd, Rh

täcka framtida efterfrågan. Primär gruvproduktion av kritiska material kommer fortsatt att behövas (EASAC, 2016).

Kritiska råmaterial för Sverige

I det tidigare regeringsuppdraget ”Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar” sammanställde SGU en lista över kritiska metaller och mineral gällande för Sverige (SGU 2014). Den skiljer sig något från EUs lista beroende på att Sverige har en stor och betydande tillverkning av specialstål och hårdmetaller, en industri som kräver speciella råvaror.

Tillväxtanalys, som analyserat hela värdekedjan från utvinning av primära råmaterial till nya miljö- och teknikinnovationer, anger speciellt litium, REE, grafit, volfram och kobolt som kritiska för framväxten av hela produktionskedjor i Sverige (Tillväxtanalys 2017a, b). De påpekar också de stora marknadsriskerna med att utveckla svenska eller europeiska värdekedjor i konkurrens med stora utländska aktörer, till exempel kinesiska kluster.

Konfliktmineral

Begreppet konfliktmineral används vanligtvis om mineral och metaller som utvinns i områden med politisk instabilitet, inbördeskrig eller annan väpnad konflikt och där handel med dessa användes som inkomstkälla för väpnade grupper och krigsherrar. Utvinningen kan involvera tvångsarbete, barnarbete, brott mot mänskliga rättigheter och korruption. EU har under 2017 beslutat om en förordning som ska motverka handel med konfliktmineral (EU-kommissionen 2017c). Lagen träder i kraft 1 januari 2021 och innebär att alla som importerar tenn, volfram, tantal och guld (de så kallade 3TG) till EU ska följa riktlinjer satta av OECD för att säkerställa att importen är från ansvarstagande hållbara källor.

FAKTORER SOM PÅVERKAR UTVINNINGSPOTENTIALEN

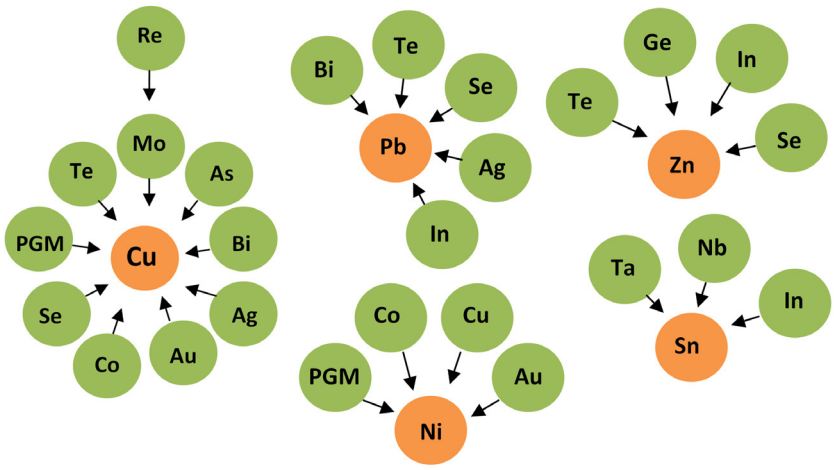
Geologisk potential

Jordskorpan som helhet innehåller stora mängder av alla de metaller och mineral som denna rapport handlar om och det är således ingen teoretisk risk för att de skulle kunna ta slut. Tillgången av en given metall eller mineral kan dock inte baseras uteslutande på genomsnittligt innehåll i jordskorpan, utan de måste finnas i mängder och halter som är ekonomisk utvinnbara. Mer än hälften av de naturligt förkommande grundämnena i jordskorpan förekommer i genomsnittshalter som är lägre än 5 gram per ton (Rudnick & Gao 2003). Förmågan för ett grundämne att koncentrera sig i malmkroppar är därmed en fundamental egenskap som möjliggör utvinning. Geologiskt förekommer många kritiska metaller oftast i låga halter i malmer tillsammans med basmetaller som till exempel koppar och zink.

Huvudmetaller och biprodukt

Många kritiska metaller bildar sällan egna brytvärda mineral som motiverar gruvbrytning utan förekommer vanligtvis i mycket låga halter (ppm nivå) i malmer som bryts för andra metaller. De kan därmed betraktas som associerade metaller (eng. *"companion metals"*). Om de utvinns sker detta som biprodukt i senare steg i metallernas produktionskedja: i smältverk eller vid metallraffinering. I dessa fall är huvudmetallen den ekonomiska drivkraften för brytning och utvinning. Till exempel kan en zinkmalm innehålla små koncentrationer av andra metaller så som indium, germanium, tellur och selen (se figur 3).

Om biprodukterna kan extraheras med vinst genererar detta en ökning av malmvärdet, men i några fall kan de associerade metallerna ge upphov till problem som driver upp produktionskostnaderna (Hageluken & Meskers 2010). Detta betyder att även om många associerade metaller finns i malmer som bryts idag så är det inte alla dessa som tas till vara. Ofta kräver utvinningen sofistikerade metallurgiska processer som i sin tur kräver stora investeringar i utvinningskedjan och medför kostnader. Eventuell utvinning av biprodukt är således inte enbart beroende av gruvproduktionen av huvudmetallen utan är avhängig av att utvinningen är ekonomisk lönsam och att det finns teknologi på plats för att ta till vara biprodukten under något steg i metallproduktionen.



Figur 3. Samband mellan ett antal vanliga huvudmetaller och biproduktmetaller. Modiferad från Hageluken & Meskers (2010).

Det finns vissa metaller som är biprodukt av en metall som i sig är en biprodukt av en huvudmetall. Detta gäller till exempel rhenium som oftast är en biprodukt av molybdenproduktion (som i sig ofta är biprodukt av kopparutvinning). I några fall är en metall en biprodukt av en huvudmetall, men kan i andra sammanhang vara brytvärd på egen hand. Det gäller exempelvis guld, silver, platinagruppens metaller (PGM), tantal och kobolt. Tabell 4 visar en generell översikt över de viktigaste huvudmetallerna och associerade metaller.

Utvinningstekniken är avgörande för huruvida en associerad metall kan extraheras. Generellt så kräver utvinning av metaller från malmer en kombination av brytning, krossning, malning, smältning och raffinering, via fysiska, pyrometallurgiska eller hydrometallurgiska tekniker. Exakt på vilket steg i processen som associerade metaller kan utvinnas på bästa sätt beror bland annat på den primära malmen och vilken processeringsmetod som används (Mudd m.fl. 2014). Gallium till exempel, extraheras huvudsakligen hydrometallurgiskt som biprodukt under rening och lösning av bauxit via Bayer-processen i samband med aluminiumframställning (Lu m.fl. 2017).

Ekonomiska faktorer

På grund av att många kritiska metaller är biprodukter så kan dynamiken mellan utbud och efterfrågan vara komplex. Ofta är utbudet relativt inelastiskt, det vill säga att även om efterfrågan och priset stiger så kommer inte produktionen att öka. En ökad volym beror på efterfrågan och produktionen av huvudmetallen (Nassar et al. 2015, Vesborg & Jaramillo 2012). Detta är en viktig skillnad mellan biprodukter och huvudmetaller. Medan basmetaller i de flesta fall handlas i stora volymer och prissätts på metallbörser, gäller inte detta för många kritiska metaller. Dock finns det undantag, till exempel har molybden och kobolt sedan 2010 handlats på London Metal Exchange (Fizaine 2015). Historiskt har många av dessa metaller dessutom varit betraktade som störande element som skapat problem i processen med att extrahera huvudmetallerna och inte en utnyttjbar resurs.

Som all industriell verksamhet måste gruvbrytning och metallutvinning vara lönsam för att vara ekonomiskt hållbara. Detta gäller även många kritiska metaller som vanligtvis utvinns som biprodukter från annan metallutvinning och kräver egna processer i gruva, anrikningsverk, metallframställning eller metallraffinering. Investeringar i sådan utvinningsteknik konkurrerar alltid med investeringar i ett utvinningsföretags kärnverksamhet och med tanke på de volatila

Tabell 4. Generella samband mellan huvudmetaller och associerade metaller. Modifierad från Mudd m.fl. (2014).

Huvudmetall	Associerad(e) metall(er)
Fe	V, La, Ce, Pr, Nd, Sc
Cu	As, Se, Mo, Te, Re, Co, Ag, Au
Zn	In, Ge, Cd, Ag, Tl
Pb	Sb, Tl, Bi, Ag
Ni	Co, Sc, Ru, Rh, Pd, Os, Ir
Al	Ga, V
Ti	Zr, Hf
Mo	Re
Au	Ag
REE	Y, Th

råvarupriserna för kritiska råmaterial och den osäkra framtida efterfrågan på dessa kommer investeringarna oftast att göras i kärnverksamheten. Det finns dock vissa fördelar för ett utvinningsföretag att bredda verksamheten till att omfatta fler än en eller ett fåtal råvaror. Under perioder när huvudmetallen har låg efterfrågan och låga priser kan specialmetaller generera företagens vinst eller mildra perioder med låg lönsamhet – företagen får helt enkelt fler produkter att sälja. Bolidens utvinning av guld och tellur i Kankbergsgruvan är ett sådant exempel och LKAB i samarbete med andra företag som planerar att starta utvinning av fosfor och sällsynta jordartsmetaller ur restmaterialet från järnmalmsanrikning är ett annat (LKAB 2018).

I ett läge när tillgången på vissa, för landets industri, nödvändiga råvaror begränsas eller stryps helt, ett scenario som EUs kritiska lista talar om, kan andra prioriteringar än de rent affärsmässig behöva göras. Då kan en i sig olönsam metallutvinning vara nödvändig och dessutom visa sig vara lönsam när man ser på hela värdekedjan från gruva till färdig produkt.

Legala faktorer

Vid undersökning och bearbetning av fyndigheter på egen eller annans mark gäller Minerallagen, under förutsättning att de mineral som eftersöks är så kallade koncessionsmineral (Minerallag 1991:45). Även om det inte nämns direkt i lagtexten (utom för järn) så syftar lagen på koncessionsmineral som finns i berggrunden där staten förbehåller sig rätten till mineralfynd. Det är ingen skillnad om undersökningar och eventuell bearbetning görs i nyupptäckta fyndigheter eller i områden där gruvdrift pågått tidigare, samma Minerallag gäller.

Det är dock oklart idag om undersökning och bearbetning av gruvavfallsdeponier (varphögar och sandmagasin) omfattas av Minerallagen. Gruvavfallsdeponier innehåller alltid ett eller flera koncessionsmineral, som huvudmetall eller biprodukt, men är samtidigt lösa avlagringar att jämställa med morän eller isälvsavlagringar och faller då under annan lagstiftning. Framtida utvinning av råmaterial från gruvavfall kräver att dessa frågor klargörs av lagstiftarna.

Prospektering

Prospektering är en förutsättning för att hitta brytvärda malmer. Det ligger i mineralprospekteringens natur att det är en verksamhet med hög finansiell risk och majoriteten av prospekteringsprojekten leder inte till fynd som kan utvinnas med vinst. Mineralprospektering sker i ett antal steg som kan ta flera år och där det krävs ett antal olika tillstånd samt miljontals kronor i investeringar i bland annat borrningar och annat undersökningsarbete. Många renodlade prospekteringsbolag, så kallade junior-bolag, är beroende av tillgång till riskkapital från börsen eller privata investerare.

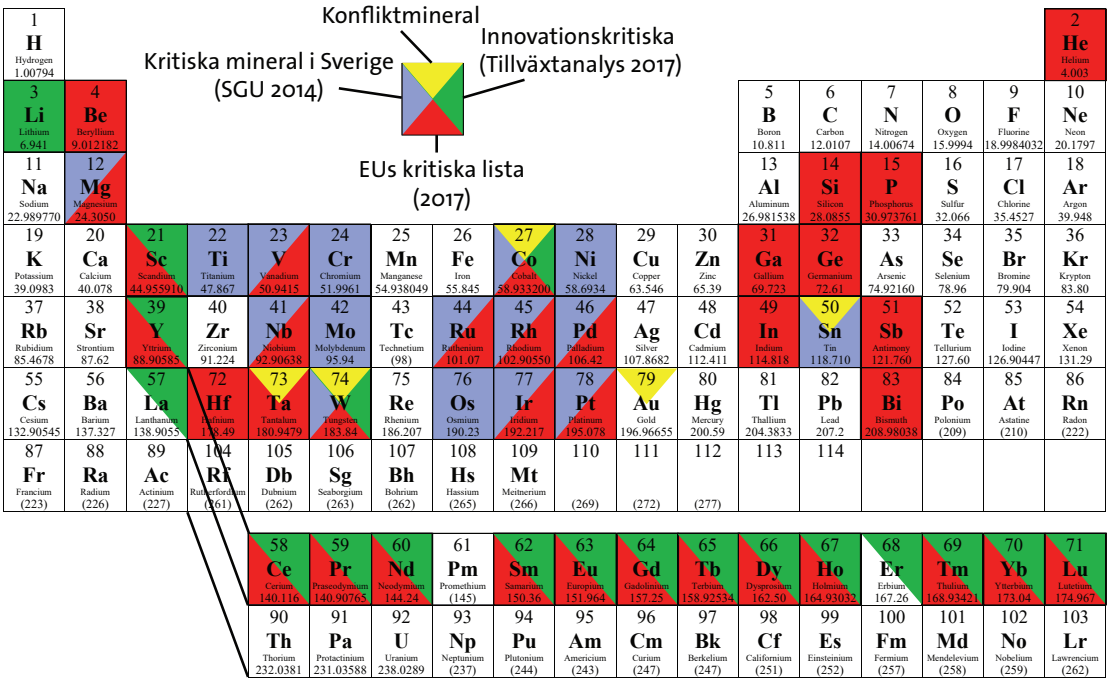
METODIK OCH DATA

Kunskapen om huvudmetallerna är god

Sverige är ett av Europas ledande gruvländer med en mera än 1 000-årig historia av gruvbrytning. Genom den samlade dokumentationen av malmproduktion och malmprospektering, som bland annat finns i SGUs arkiv och databaser, har vi idag god kännedom om hur mycket järn, basmetaller (koppar, zink, bly, nickel) och ädelmetaller som har funnits och fortfarande finns kvar i den svenska berggrunden. När det gäller övriga metaller, inklusive CRM, har vi mycket begränsad kunskap både om var de finns och hur mycket det finns av dem. Detta beror på att det för många av dessa element inte har funnits någon efterfrågan tidigare och de har därför varit av mindre intresse för gruv- och prospekteringsindustrin. Även när antalet aktörer i det svenska gruvklustret var större, för femtio eller hundra år sedan, var gruvbolagen inriktade på i stort sett samma råvaror som idag. Det finns undantag, exempelvis utvinning av volfram, litium, nickel, grafit och kobolt, men denna produktion har varit liten i jämförelse med de klassiska metallerna.

Alla kritiska råmaterial

Om man lägger ihop CRM som definierats på olika håll och redovisar dem i det periodiska systemet visar det sig att en stor del av alla kända grundämnen – transuranerna, ädelgaserna och halogenerna oräknade – betraktas som kritiska i något avseende (se figur 4). Om vi även inkluderar metaller och mineral som idag tangerar det kritiska fältet blir det tydligt att en bred inventering och en komplett karakterisering av svenska malmer, fyndigheter och gruvavfalldeponier



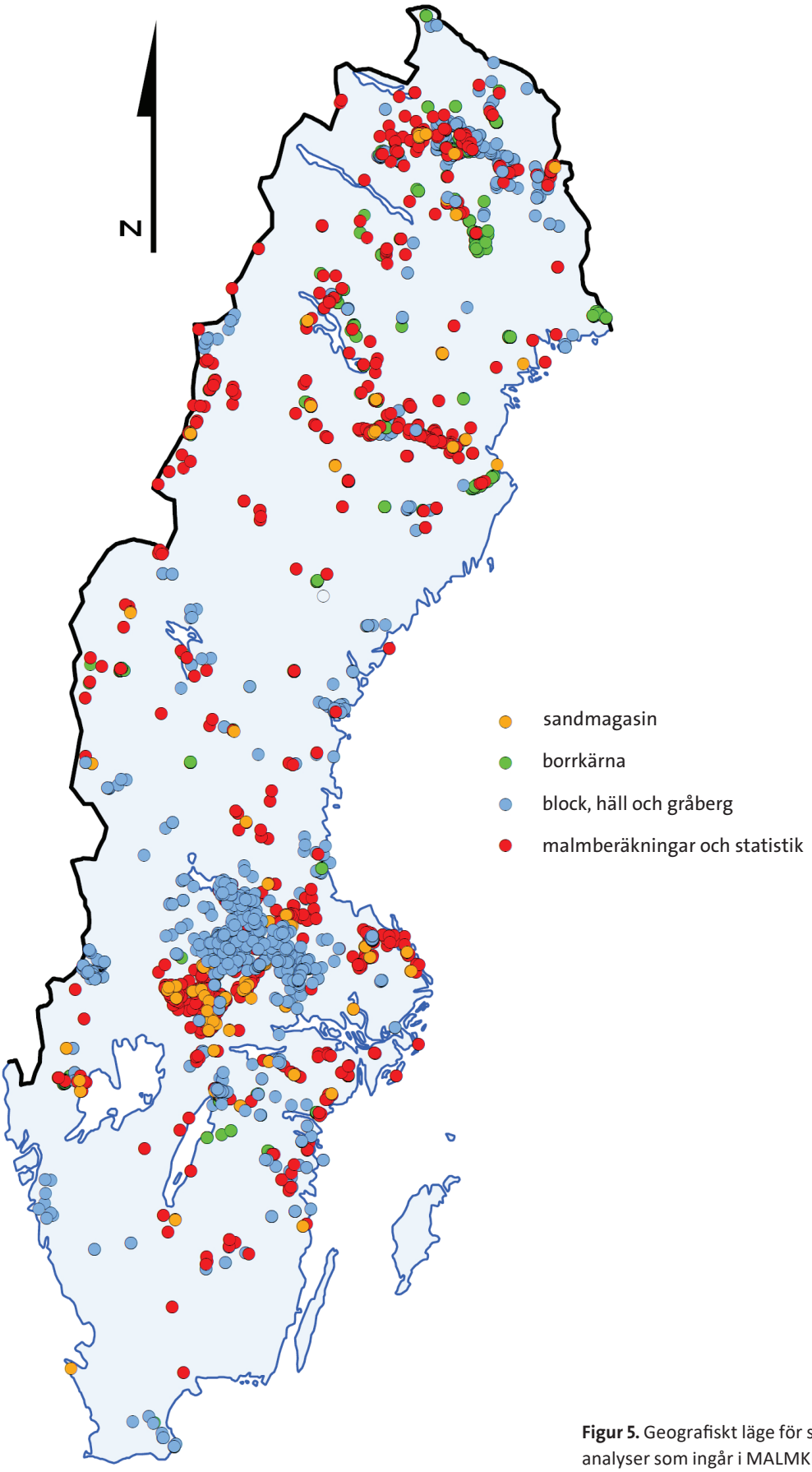
Figur 4. Periodiska systemet med kritiska råmaterial enligt olika källor. EUs kritiska lista (2017) innehåller i tillägg också industrimineralen grafit, baryt och borater, som innehåller grundämnena kol, barium och bor, men har inte markerats. Råmaterialet koks finns inte heller med.

blir nödvändig. Dels för att lösa uppgifterna i detta projekt, dels för att kunna svara mot framtida, ännu okända krav som kommer att ställas av en innovativ industri. De flesta av de kritiska råmaterialen finns beskrivna i bilaga 7.

En kemisk malmdatabas – MALMKEMI-db

För att förbättra vår kunskap om var och i vilka halter som kritiska råmaterial förekommer i Sverige har SGU i detta projekt lagt ner mycket tid på att samla in analysresultat från ett flertal olika källor; dokumentationsprojekt, EU-projekt, borrhålsprotokoll, prospekteringsrapporter etc. (se bilaga 2). Vi har också gjort ett stort antal nya analyser av prov från utvalda borrkärnor och gruvavfallsdeponier (se bilaga 6). Dessa multielementanalyser ger ny och viktig information om var och hur mycket CRM som finns och vilka huvudelement som de associerar till. Många av de innovationskritiska metallerna förekommer i små mängder i malmer som bryts för andra metaller och anrikningssanden i sandmagasin är ofta så finkornig att enskilda malmmineral inte går att urskilja, än mindre spårelement i mineralkornen. I båda fallen är det bara en kemisk analys som kan ge information om de kritiska råmaterialen – det syns inte på malmen eller på gruvavfallet vilka och hur stor mängd av kritiska metaller de innehåller.

SGU har samlat dessa analysdata i ordnad form i en gemensam och välstrukturerad databas, MALMKEMI-db, som i dagsläget innehåller ca 30 000 poster. Databasen ger oss ett kraftfullt verktyg för att undersöka förekomsten av grundämnen som tidigare var ointressanta, till exempel kritiska råmaterial men även för att påvisa skadliga och hälsovådliga grundämnen. Informationen i databasen är klassad så att det går att skilja information som är representativ för en större volym berg, till exempel en malmberäkning, från analyser av borrkärna som representerar sektioner på några meter bergmaterial, till enstaka block- eller hällanalyser som inte är representativa för mer än det provtagna blocket eller hällen men som ändå kan ge viktig information. Kartan i figur 5 visar läget för analyser som ingår i databasen uppdelad på typ av provmaterial. Databasens uppbyggnad och innehåll är redovisade i bilaga 4.



Figur 5. Geografiskt läge för samtliga analyser som ingår i MALMKEMI-db.

POTENTIAL FÖR UTVINNING I SVERIGE

Sveriges berggrund har flera aktiva basmetall-, ädelmetall- och järnmalmsgruvor och ett antal dokumenterade fyndigheter som indikerar en god geologisk potential för många metaller och mineral. I takt med en ökad efterfrågan på råvaror till litiumjonbatterier från bland annat bilindustrin så har intresset från prospekteringsbolag för batterimetaller (bland annat kobolt och litium) ökat, även om det fortfarande är traditionella metaller som koppar och guld som dominerar. Av de giltiga undersökningstillstånden för 2017 så anges guld och koppar som koncessionsmineral i 55 procent av fallen. Kobolt utgjorde 10 procent medan litium, volfram och grafit angavs i 5 procent av tillstånden (Bergverksstatistik, 2017).

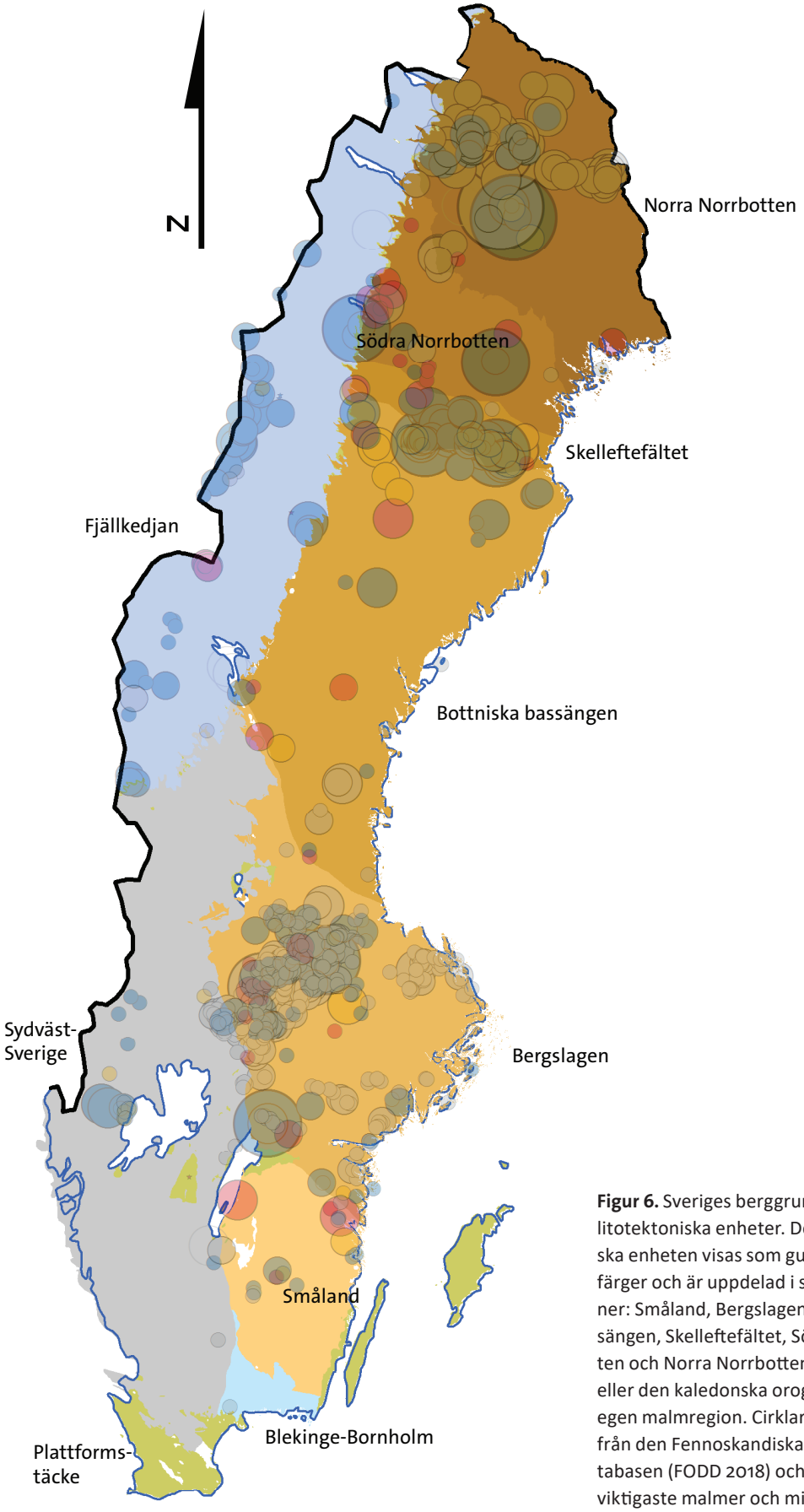
Geologisk potential

Sveriges berggrund kan delas in i sex större, så kallade litotektoniska enheter som skiljer sig på vilka bergarter som dominerar inom enheten, deras bildningsålder och vilka senare geologiska händelser de utsatts för. De litotektoniska enheterna med underenheter och malmprovinser är beskrivna i bilaga 5, figur 12. Den ur malmgeologisk synpunkt viktigaste enheten är den svekokarelska orogenen (orogenes=bergartsbildande epok) där huvuddelen av bergarterna har en ålder på ca 2,0–1,8 miljarder år. Viktiga malmdistrikt inom den är Norra Norrbotten, Skelleftefältet och Bergslagen (se figur 6). Andra större litotektoniska enheter är den svekonorvegiska orogenen (ca 1,1–0,9 miljarder år) och den kaledonska orogenen (0,5–0,4 miljarder år), den senare utgör den fjärde av Sveriges fyra klassiska malmdistrikt. Malmpotential finns även utanför dessa områden.

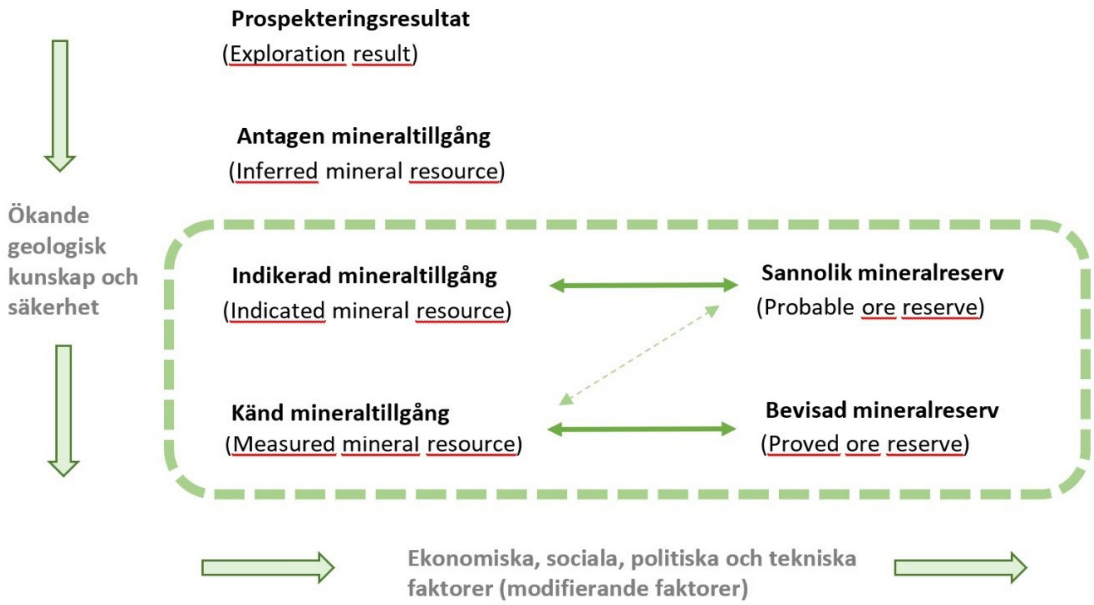
Malmberäknade fyndigheter

Ett lyckosamt prospekteringsprojekt avslutas med att man gör en malmberäkning. Projekt kan ha startats med några enstaka block- eller hällprov med intressanta mineral, följts upp med kartering och borrning som, om resultaten fortfarande är intressanta, slutförts med en noggrant genomförd uppskattning av mineraltillgången. Mineraltillgången baseras på ett stort antal analyser av många borrkärnor som tillsammans definierar en malmkropp. Beroende på hur säker malmberäkningen anses vara kan den klassas i tre steg; antagen, indikerad eller känd mineraltillgång (se figur 7). I tabell 5 visas ett flertal fyndigheter där det finns sådana malmberäkningar. Nästa steg på vägen mot gruvdrift är att utföra en genomförbarhetsstudie (eng. *"feasibility study"*) som ska visa om gruvbrytning kommer att generera vinst. I genomförbarhetsstudien redovisas malmen som sannolik eller bevisad mineralreserv.

De mest tillförlitliga uppgifterna om innehållet av ekonomiskt intressanta ämnen, inklusive en del kritiska råmaterial, kommer från gruv- och prospekteringsbolag som rapporterar sina tillgångar och reserver i enlighet med internationellt accepterade rapporteringsstandarder (till exempel JORC-code, NI 43–101, FRB standard, PERC och UNFC). Flera av de redovisade malmberäkningarna i tabell 5 är av äldre datum, innan de internationella systemen fanns. Även om dessa inte är lika tillförlitliga som modernare beräkningarna så ger de ett bra underlag för ett identifiera potentiella förekomster, men kräver ytterliga prospekteringsarbete för att kunde klassificeras enligt moderna standarder. Tabell 5 och kartan i figur 1 visar att det finns äldre och modernare malmberäkningar för ett flertal av de kritiska råmaterialen. Trots denna kunskap finns det idag ingen produktion av kritiska råmaterial från någon svensk gruva. Det finns projekt, även sådana med redovisad malmberäkning enligt internationellt accepterade standarder, som har fastnat i tillståndsprocesserna som krävs för att öppna gruva i Sverige.



Figur 6. Sveriges berggrund uppdelad i litotektoniska enheter. Den svekokarelska enheten visas som gula till bruna färger och är uppdelad i sex malmregioner: Småland, Bergslagen, Bottniska bassängen, Skelleftefältet, Södra Norrbotten och Norra Norrbotten. Fjällkedjan, eller den kaledonska orogenen, utgör en egen malmregion. Cirklarna kommer från den Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (FODD 2018) och visar Sveriges viktigaste malmer och mineraliseringar.



Figur 7. Mineralreserver och mineraltillgångar.

Tabell 5. Malmberäkningar (mineraltillgångar) där kritiska råmaterial ingår.

GRAFIT				
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Grafit (%)**
Kringeltjärn[1]	indikerad	NI43-101	1,86	10,63
Kringeltjärn[1]	känd	NI43-101	0,99	10,68
Gropabo[1]	antagen	NI43-101	0,70	8,65
Gropabo[1]	indikerad	NI43-101	1,50	8,83
Mattsmyra[1]	antagen	NI43-101	1,18	8,35
Mattsmyra[1]	indikerad	NI43-101	3,43	8,37
Månsberg[2]	antagen	äldre	1,35	9,44
Raitajärvi[3]	antagen	JORC-code	0,90	6,4
Raitajärvi[3]	indikerad	JORC-code	3,40	7,3
Jalkunen[3]	antagen	JORC-code	31,5	14,9
Nunasvaara[3]	antagen	JORC-code	1,60	23,9
Nunasvaara[3]	indikerad	JORC-code	10,70	25,7

SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER				
	Mineraltillgång	**Rapportering**	**Tonnage (Mt)**	**TREO[4] (%)**
Olserum[5]	antagen	NI43-101	3,30	0,63
Olserum[5]	indikerad	NI43-101	4,50	0,60
Norra Kärr[6]	indikerad	NI43-101	31,11	0,61
Norra Kärr[6]	sannolik reserv	NI43-101	23,5	0,59

NICKEL-KOPPAR-KOBOLT							
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Cu (%)**	**Ni (%)**	**Co (%)**	**Cr (%)**
Gårkälen[7]	antagen	äldre	0,04	0,18	0,4	0,04	-
Kälen[7]	antagen	äldre	0,07	0,27	0,41	0,04	-
Njuggträskliden A[7]	antagen	äldre	0,11	0,17	0,69	0,05	-
Njuggträskliden C[7]	antagen	äldre	0,19	0,11	0,7	0,05	-
Njuggträskliden D[7]	antagen	äldre	0,26	0,41	0,73	0,03	-
Brännorna[7]	antagen	äldre	0,35	0,04	0,63	0,02	-
Mjövattnet[7]	antagen	äldre	0,17	0,19	1,29	0,02	-
Lainejaur[8]	antagen	JORC-code	0,46	0,7	2,2	0,15	-
Lappvattnet[9]	antagen	NI43-101	1,14	0,19	0,91	0,02	-
Rörmyrberget[9]	antagen	NI43-101	6,37	0,04	0,35	0,01	-
Rönnbäcken[10]	antagen	NI43-101	12,20	-	0,085	0,004	-
Rönnbäcken[10]	indikerad	NI43-101	319,90	-	0,103	0,003	-
Kroksjön S[11]	antagen	äldre	0,30	-	0,3	0,0181	0,69
Njeretjakke[11]	antagen	äldre	38,30	-	0,28	0,0149	0,43
Älgliden[12]	antagen	äldre	13,0	0,7	0,2	0,03	-
Kiskamavaara[13]	antagen	äldre	2,87	0,6	-	0,09	
Slättberg[14]	antagen	äldre	0,3	0,5	0,6	0,06	-
Såggården[15]	antagen	äldre	0,7	-	-	0,06	-

*Flera av malmberäkningarna är av äldre datum, före internationellt accepterade redovisningssystem, JORC-code, NI-43-101, Fennoscandian Review Board, fanns.
[1]Flinders Resources Limited, 2015 : Technical report for the Voxna graphite project, central Sweden. http://leadingedgematerials.com
[2]Voxna Graphite Project, Sweden, National Instrument NI43-101 report. 2011-09-30
[3]Talga Resources, Annual report 2017. www.talgaresources.com
[4]Total rare earth oxide.
[5]Tasman Metals 2013: Amended and restated technical report for Olserum heavy rare earth element project, Southern Sweden. http://www.sedar.com
[6]Tasman metals, 2015: Amended and Restated Prefeasibility study – NI 43-101-Technical Report for the Norra Kärr Rare Earth Element Deposit. www.sedar.com
[7]Åkerman, C. 1987: Summary of results from nickel prospecting. A consulting report. SGAB, prospekteringsrapport, PRAP 87007.
[8]Berkut Minerals 2018. Lainejaur project Sweden. http://www.berkutminerals.com
[9]Blackstone Ventures inc., 2009: Technical report on resource estimates for the Lainejaur, Lappvattnet and Ror deposits, Northern Sweden. NI43-101 Report. http://www.sedar.com
[10]Nickel Mountain AB (2012): Mineral resources estimate for the Rönnbäcknäset Nickel deposit, Sweden, January 2012. www.nickelmountain.se
[11]Stigh, J., Zachrisson. E., Julin, M. & Larsson. R. 1981: Detritiska serpentiniter. SGU prospekteringsrapport, BRAP 81546.
[12]Beräknad från data i: Weihed, P, Bergman. J, Bergström, U. 1992: Metallogeny and tectonic evolution of the early proterozoic Skellefte district, Northern Sweden. Precambrian Research 58.
[13]Persson, G. 1982: Kiskamavaara, tonnageberäkning på koppar och kobolt. SGU, prospekteringsrapport BRAP 82509.
[14]Flood, B. 1979: Slättberg Ni-gruvor. Prospekteringsrapport grb063.
[15]Edberg, L., Jonuks, R., Englund, A. & Engvall, A. 1991: Såggårdens coboltmineralisering. Prospekteringssrapport B88-2.

Tabell 5. Malmberäkningar fortsättning.

LITIUM-TENN-TANTAL						
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Li (%)**	**Sn (%)**	**Ta (ppm)**
Varuträsk[16]	antagen	äldre	0,40	0,12	-	-
Järkvissle[17]	antagen	äldre	0,60	0,45	0,07	80

VOLFRAM				
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**W (%)**
Svärtträsk[18]	antagen	äldre	0,25	0,2
Maldok[19]	antagen	äldre	0,07	0,17

MOLYBDEN						
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Mo (%)**	**Cu (%)**	**Au (ppm)**
Nautanen[20]	antagen	FRB	7,50	0,008	1,5	0,6
Nautanen[20]	indikerad	FRB	8,20	0,009	1,7	0,9
Laver-Nya[20]	antagen	FRB	550,60	0,003	0,21	0,10
Laver-Nya[20]	indikerad	FRB	512,40	0,004	0,22	0,13
Laver-Nya[20]	känd	FRB	1,10	0,002	0,20	0,11
Skarjaviken[21]	antagen	äldre	0,08	0,120	-	-
Allebouda Lilla[22]	antagen	äldre	0,25	0,140	-	-
Björntjärn[23]	antagen	äldre	1,80	0,110	-	-
Munka[24]	antagen	äldre	1,70	0,156	-	-

PLATINA-PALLADIUM							
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Pt (ppm)**	**Pd (ppm)**	**Au (ppm)**	**Cu (%)**
Storsjö kapell[25]	antagen	äldre	0,20	-	0,4	0,2	0,7
Lainejaur[8]	antagen	JORC-code	0,46	0,2	0,68	0,65	0,7

TELLUR						
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Te (ppm)**	**Au (ppm)**	**Ag (ppm)**
Kankberg-nya[20]	bevisad reserv	FRB	2,40	190	3,80	11,0
Kankberg-nya[20]	sannolik reserv	FRB	2,10	186	3,50	10,0
Kankberg-nya[20]	känd	FRB	0,19	130	3,80	8,0
Kankberg-nya[20]	indikerad	FRB	0,31	117	4,70	8,0
Kankberg-nya[20]	antagen	FRB	1,36	168	5,50	8,0

JÄRN-TITAN-VANADIN						
	Mineraltillgång	**Rapportering***	**Tonnage (Mt)**	**Fe (%)**	**V (%)**	**Ti (%)**
Smålands Taberg[24]	antagen	äldre	150	28,0	0,12	3,0
Masugnsberget[26]	antagen	äldre	1	-	0,19	-
Simesvallen[27]	antagen	äldre	3	-	0,19	2,2
Sumåssjön[28]	antagen	äldre	21	-	0,22	-
Eustilljåkk[24]	antagen	äldre	5	30,0	0,25	-
Akkavare[29]	antagen	äldre	230	18,5	-	2,7
Routivare malmfält[24]	antagen	JORC-code	140	39,1	0,20	5,7
Häggån[30]	antagen	-	2350	-	0,15	-

FLUSSPAT				
	Mineraltillgång	**Rapportering**	**Tonnage (Mt)**	**Flusspat (%)**
Storuman[31]	indikerad	JORC-code	25,0	10,28
Storuman[31]	antagen	JORC-code	2,7	9,57

[16]Gustafsson, B: 1989: Litium – sammanställning. SGAB, prospekteringsrapport, PRAP 89012.
[17]Tuuri, E och Ek, R: 1986: Pegmatiter Y-Län. LKAB prospektering, S 8608.
[18]Holmquist, A. 1979: Volframförekomsten vid Svärtträsk. Beskrivning och preliminär malmberäkning. SGU prospekteringsrapport PRAP 79015.
[19]Hill, T. 1984: Projekt Arjeplog, Objekt Maldok slutrapport. LKAB-PAB prospekteringsrapport s 8436.
[20] Boliden, Årsredovisning 2017. http://www.boliden.com
[21]Einarsson, Ö. 1974:Berggrund och malmer inom Rappenfältet. Arjeplogs kommun. SGU prospekteringsrapport Brap627.
[22]Hill, T. 1981. Allebouda molybden. Lilla malmen, malmberäkning. LKAB prospekteringsrapport Pro8124.
[23]Hill, T. 1981. Allebouda molybden. Stora malmen, malmberäkning. LKAB prospekteringsrapport Pro8115.
[24]FODD (2018)
[25]Hålenius, U. & Wästerberg, S. 1986: Storsjö Kapell – Bottenbäcken. Borrning 1986. SGAB Prospekteringsrapport Prap86516.
[26]Lagergren, L. 1983: Vanadin-Titanfyndigheten Masugnsberget. SGAB Prospekteringsrapport Prap83534.
[27]Lindblom, L. 1983: Vanadin-Titanfyndigheten Simesvallen. SGAB Prospekteringsrapport Prap83524.
[28]Andersson, L.G. 1982: Malmberäkning - Sumåssjön. Prospekteringsrapport LKAB prospektering. Grb285.
[29]Ambros, M. & Henkel, H. 1973: Titanjärnmalmsfyndigheten Akkavare. SGU prospekteringsrapport. Brap696.
[30]Aura Energy 2018. http://www.auraenergy.com.au
[31]Tertiary Minerals 2011:Mineral Resource Estimate - Storuman fluorspar project. http://www. tertiaryminerals.com

Gamla malmer – nya analyser

Borrkärnor och gruvavfall från nedlagda gruvor och anrikningsverk utgör en stor del av det material som analyserats i detta projekt. Genom att relatera dessa analysresultat till annan information vi har om gruvorna och anrikningsverken, till exempel mängd och metallhalt på utbruten malm och gruvavfall, går det att få kunskap om förekomsten av kritiska råmaterial i kvarvarande malm och i sandmagasin.

Information om gruvor och anrikningsverk innehåller förhållandevis få analyserade element, men är baserat på en mycket stor mängd prov. Detta till skillnad från de analyser vi gjort som är utförda på få prov, men med en stor mängd analyserade element. Detta gör att våra uppskattningar i detta kapitel inte är jämförbara med en malmberäkning. De ska snarare ses som en indikation på förekomsten av kritiska råmaterial.

I detta avsnitt redovisas ett urval av provtagna och analyserade fyndigheter som visar på anomala halter av någon metall. Tabellerna 6–17 är sammanställningar som visar variationer i innehållet av några CRM från analyserade borrkärnor och anrikningssand. För att möjliggöra jämförelser är malmberäkningar också redovisade i tabellerna, där dessa finns att tillgå.

Förekomsten av anomala metallhalter från borrkärneanalyserna ger en fingervisning om var intressanta metallhalter förekommer i berggrunden, men vi understryker att de blir ekonomiskt betydelsefulla först när andra, närliggande borrkärnor visar intressanta metallhalter och analysresultaten från flera borrkärnor kan korreleras och utgöra grunden till en malmberäkning.

Järkvissle

I Järkvissle i Sundsvalls kommun finns ett antal pegmatitgångar och gångsvärmar av så kallad LCT-typ med litium-, tantal- och tennmineraliseringar som uppträder inom ett område på ca 7 x 2 km. Baserat på borrningar utförda på 1980-talet gjordes en tonnageberäkning (se tabell 5 och 6, samt bilaga 6). SGU förvarar borrkärnor från den borrningen i borrkärnearkivet i Malå och har i samband med detta projekt provtagit och analyserat ett antal sektioner från dessa borrkärnor. I tabell 6 redovisas ett urval av dessa nya analyser tillsammans med den äldre malmberäkningen.

Tabell 6. Innehåll av utvalda element i Järkvissle. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	Li (%)	Ta (ppm)	Nb (ppm)	Sn (%)	Cs (ppm)
Järkvissle	Borrkärna[1] (n = 5)	0,09–0,87	10–83	20–79	0,01–0,16	30–85
Järkvissle	Mineraltillgång[2] (0,6 Mt)	0,45	80	-	0,07	-

[1]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.
[2]Tuuri & Ek (1986).

Riddarhyttefältet

Malmbrytning i Riddarhyttefältet beläget i Skinnskattebergs kommun i Västmanland är dokumenterad från sent 1300-tal. Geijer (1923) definierar Riddarhyttefältet som alla de gruvor och gruvfält som ryms inom en ca 2 kilometer bred och 6 kilometer långt zon som sträcker sig i nordostlig riktning från sjön Lien i sydväst till Älgtorpsfältet i nordost. Järnmalm har under alla verksamhetsår varit den dominerande produkten men periodvis har koppar, kobolt, sällsynta jordartsmetaller och molybden producerats. Det är känt sedan länge att Riddarhyttefältet skiljer sig från andra järnmalmsdistrikt genom förekomsten av udda mineral och metaller. Gruvdriften i Riddarhyttefältet upphörde när Bäckegruvan stängdes 1979 och anrikningsverket ett år senare. Vid stängningen hade malmbrytningen nått 360-metersnivån, ett ganska blygsamt djup med dagens mått mätt.

Vi har i projektet samlat in och organiserat ca 80 analyser från äldre publikationer och prospekteringsrapporter, 65 analyser från EURARE-projektets data samt beräknade mängd och halt för malmproduktionen och produktionen av anrikningssand. Utöver det har vi provtagit och analyserat tre borrkärnesektioner och tolv prov av anrikningssand från Bäckegruvans gamla och nya sandmagasin och från Källfallets sandmagasin (samtliga data med referenser finns i databasen MALMKEMI-db).

Riddarhyttefältets metallrikedom återspeglas i sammansättningen av anrikningssanden, framförallt den sand som deponerats i det gamla magasinet under en tid när anrikningsprocesserna fungerade sämre. Det tycks som om en stor del av malmens koppar inte har utvunnits utan följt med anrikningssanden. Kobolthalterna är anmärkningsvärt höga och närmar sig brytvärda halter. Även halterna av guld, vismut, indium och sällsynta jordartsmetaller är höga, framförallt i det gamla magasinet. Samtidigt är arsenikhalterna extremt höga i det magasinet, alla fyra analyser visar på mer än 250 ppm As. Flera prospekteringskampanjer som genererat en stor mängd data har bedrivits i området. Idag har bolaget EMX Royalty Corp. undersökningstillstånd i området.

Figur 8. Översiktsbild av Bäckegruvan i Riddarhyttefältet. Sandmagasinets två huvuddelar kan urskiljas: den norra invallade delen som huvudsakligen är täckt av skog och annan vegetation, samt den södra delen i anslutning till Nedra Skärsjön. Foto: Google Earth.

Figur 9. Sandmagasinet vid Bäckegruvan. Nedre Skärsjön i bakgrunden. Foto: Helge Reginiussen.

Tabell 7. Innehåll av utvalda element i Riddarhyttefältet.

Objekt	Data	Fe (%)	Cu (%)	Co (%)	Mo (%)	REE (%)	Au (ppm)	Bi (ppm)	Ga (ppm)	In (ppm)
Riddarhytte odalutmål	Malmproduktion[1]	37,10	0,44	-	-	-	-	-	-	-
Bäckegruvan	Anrikningssand[2] gamla magasinet (n = 4)	15,3–23,2	0,11–0,32	0,01–0,11	0,01	0,13–0,18	0,17–0,35	126–223	12–14	3,59–4,75
Bäckegruvan	Anrikningssand[2] nya magasinet (n = 5)	9,9–18,5	0,09–0,14	0,01–0,02	0,00	0,03–0,11	0,01–0,04	9–19	8–10	2,56–4,62
Källfallsfältet	Malmproduktion[1]	48,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Källfallsfältet	Anrikningssand[2] (n = 3)	9,8–12,0	0,02–0,04	0,00	0,02–0,03	0,11–0,36	0,01–0,04	11–41	20–38	0,25–0,63

[1]FODD (2018).

[2]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade prov av anrikningssand gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.

Figur 10. Stollberget. Foto: Anders Hallberg.

Stollbergsfältet

Gruvdrift har bedrivits i Stollbergsfältet sedan medeltiden. Det som i dagligt tal kallas Stollbergsfältet består av flera gruvor och malmfält från Lustigkullagruvan i norr via Svartbergsfältet och Dammbergfältet till Brusmalmen i söder, en stäcka på ca 4,5 kilometer. Gruvorna och fälten är sammanbundna med underjordiska stollar från Brusgruvan i söder till Svartbergsfältet i norr. Malmerna i Stollbergsfältet består av järn-manganmalm och zinkmalm. Under långa perioder bröts och anrikades båda malmtyperna. I äldre tider gick fältet under namnet Väster Silvberg och producerade styckemalm. När malmanrikning påbörjades anrikades malm vid ”Gamla verket” och vid ”Mellanverket”, båda belägna i Silvhyttan. På 1940-talet när gruvdriften nystartade flyttades anrikningsverket till den nyupptäckta Brusmalmen i södra delen av fältet och så småningom anlades ett större sandmagasin vid platsen. All gruvdrift och anrikning lades ner 1981.

Flera större forskningsprojekt har bedrivits i Stollbergsfältet, projekt som genererat en stor mängd data. Tidigare har flera av varphögarna provtagits och analyserats och sandmagasinet vid Brusmalmen har borrats, provtagits och analyserats. Dessa data, utom resultaten från djupprospekteringen (Selinus 1982) där vi haft problem med koordinatsättningen, finns med i databasen MALMKEMI-db.

Tabell 8. Malmproduktion och innehåll av utvalda element från Stollbergsfältet. Mt = miljoner ton.

Gruvfält	Producerad malm[1] (Mt)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)	Pb (%)	Ag (ppm)	Bi (ppm)	In (ppm)	Sb (ppm)
Dammbergsfältet	0,029	-	-	40,0	0,00	-	-	-	-
Stollbergsfältet/zinkmalm	3,476	18,3	0,07	2,4	3,24	81	-	-	-
Stollbergsfältet/järnmalm	0,362	31,8	-	0,6	2,51	-	-	-	-
Svartbergsfältet	0,242	39,4	-	-	-	-	-	-	-
Stollberg borrkärna[2] (n=4)		9,1–34,6	0,01–0,08	0,1–10,1	1,1–20,0	2–355	0–129	1,0–18,4	0,3–250[3]
Stollberg anrikningssand[2] (n=4)		6,3–9,8	0,01–0,02	0,2–0,4	0,2–0,5	5–14	1,7–2,2	0,2–0,6	8,1–19,5
Silvhyttan anriknings-sand[2] (n=4)		14,8–20,8	0,01–0,02	0,8–1,3	0,5–1,1	7–15	2,2–8,6	1,2–1,8	18,9–21,6

[1]FODD (2018).

[2]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner och anrikningssand gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.

[3]250 ppm är övre intervallgräns för analysmetoden och ett värde på 250 indikerar att innehållet av Sb är 250 ppm eller högre.

Inom projektet har SGU tagit fyra prov från borrkärna och åtta prov av anrikningssand, fyra från sanddeponin vid sjön Staren och fyra från sanddeponin vid Brusmalmen. Metallhalterna är generellt sett lägre i det nyare sandmagasinet vid Brusmalmen, något som reflekterar bättre anrikningsmetoder. Analyserna visar att malm och anrikningssand innehåller anomala halter med indium och antimon, två kritiska råmaterial. Analyserna av anrikningssand visar en relativt god korrelation mellan zink och indium, något som kan användas för att uppskatta indium-innehållet i kvarvarande malm, varphögar och sandmagasin enbart från zinkinnehållet.

Nickellinjen

Under nickelprospektering i regi av SGU och SGAB på 1970–1980 talen påträffades flera intressanta nickeluppslag i en ca 15 x 100 km lång ost-nordost orienterad zon söder om Skelleftefältet. Denna så kallade ”nickellinjen” innehåller ett antal Ni-Cu fyndigheter som är associerade med ultramafiska bergarter. Fyndigheterna i nickellinjen är magmatiska sulfidmineraliseringar som har många likhetsdrag med kända stora Ni-Cu fyndigheter på andra platser i världen. Som grupp är magmatiska Ni-Cu sulfidfyndigheter, tillsammans med lateriter, den viktigaste globala källan till nickel.

Vid Lappvattnet, som är en av de största av nickelfyndigheterna i nickellinjen uppträder mineraliseringen som dissemination och massivmalm i mafiska till ultramafiska lagergångar och intrusiv samt som fragment i sidobergets gnejs. Mineraliseringen är 620 meter lång och 1–20 meter bred (Åkerman 1987, SGU 2007).

Vid Rörmyrberget uppträder en differentierad ultramafisk lagergång som är 1,7 km lång och 320 meter bred (Åkerman 1987, SGU 2007). Nickelmineraliseringar är påvisade utmed lagergångens hela längd, men endast mineraliseringar i den västra delen av intrusionen har bedömts ha intressanta halter.

Tabell 9. Innehåll av utvalda element i Lappvattnet och Rörmyrberget. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	Ni (%)	Cu (%)	Co (%)	Cr (%)	Pt (ppm)	Pd (ppm)
Lappvattnet	Borrkärna[1] (n=12)	0,30–5,33	0,04–1,28	0,01–0,07	0,01–0,09	0,01–0,26	0,01–0,27
Lappvattnet	Mineraltillgång[2] (1,14 Mt)	0,91	0,19	0,02	-	-	-
Rörmyrberget	Borrkärna[1] (n=5)	0,89–3,03	0,05–0,13	0,02–0,08	0,07–0,17	0,03–0,06	0,07–0,08
Rörmyrberget	Mineraltillgång[2] (6,37 Mt)	0,35	0,04	0,01	-	-	-

[1]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.
[2]Blackstone Ventures Inc (2009).

Tabell 10. Innehåll av utvalda element i Yxsjöberg och Svärtträsk. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	W (%)	Cu (%)	Sn (%)	Ga (ppm)	Au (ppm)	Ge (ppm)	In (ppm)	Bi (ppm)	Be (ppm)
Yxsjöberg	Borrkärna[1] (n=10)	0,08–0,95	0,04–0,84	0,00–0,14	15–49	0,02–0,54	0–21	1,04–8,54	21–250[2]	-
Yxsjöberg/ Morkull-tjärnen	Anrikningssand[1] (n=4)	0,03–0,22	0,02–0,14	0,02–0,06	17–24	0,10–0,14	3–18	3,29–5,74	250–452	116–162
Svärtträsk	Borrkärna[1] (n=2)	0,22–0,68	0,01	0,01	12–14	0,01–0,02	< 5	0,03	5–18	-
Svärtträsk	Mineraltillgång[3] (0,25 Mt)	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-

[1]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner och anrikningssand gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.
[2]250 ppm är övre intervallgräns för analysmetoden och ett värde på 250 indikerar att innehållet av Bi är 250 ppm eller högre.
[3]Holmquist (1979).

Yxsjöberg och Svärtträsk

Huvuddelen av allt volfram som producerats i Sverige i modern tid kommer från ett antal skarnfyndigheter belägna i ett område runt Ludvika i Bergslagen. Den största producenten var gruvan i Yxsjöberg som är i särklass största volframfyndigheten i Sverige och står för 92 procent av all producerad volframmalm i landet. Yxsjöberg var känd som kopparfyndighet redan i början av 1700-talet. Totalt bröts 5,17 miljoner ton malm med en halt på 0,27 procent W (FODD 2018, se också bilaga 6). Analyser av borrkärnor och anrikningssand från Yxsjöberg visar förhöjda halter av ett antal kritiska metaller, bland annat indium, vismut och beryllium.

Volframfyndigheten vid Svärtträsk i Storumans kommun upptäcktes i slutet av 1970-talet.

Viscaria

Koppargruvan Viscaria var i drift under åren 1982–1997 och producerade 12,5 miljoner ton kopparmalm som anrikades vid det närbelägna anrikningsverket. Malmens medelhalt var 2,23 procent koppar med mycket måttligt guld och silverinnehåll. Från 1990 och till stängningen processades även malm från Pahtohavare i anrikningsverket. Under senare tid har prospektering påvisat ytterligare mineralisering i det lager som gruvan ligger i, den så kallade A-zonen, men

Tabell 11. Innehåll av utvalda element i kopparfyndigheten Viscaria. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	Cu (%)	Co (%)	Pd (ppm)	In (ppm)	Re (ppm)	Se (ppm)	REE (%)
Viscaria	Producerad malm[1] (12,5 Mt)	2,23	-	-	-	-	-	-
Viscaria	Beräknade tillgångar[2] i A-zonen (21,6 Mt)	1,51	-	-	-	-	-	-
Viscaria	Borrkärna[3] (n=10)	1,0-12,6	0,007–0,045	0,003–0,084	0,44–7,38	0,01–0,07	3,9–34,9	0,01–0,22

[1]FODD (2018).
[2]Sunstone Metals (2018).
[3]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.

Tabell 12. Innehåll av utvalda element i Adakfältet. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	Cu (%)	Zn (%)	Co (%)	Au (ppm)	Ag (ppm)	Se (ppm)	As (ppm)
Adak	Producerad malm[1] (6,34 Mt)	1,97	0,10	-	0,35	8	-	-
Adak	Borrkärna[2] (n=11)	0,29–7,87	0,01–0,17	0,001–0,026	0,00–0,25	1–36	2,6–150,5	30–250
Adak	Anrikningssand[3] (n=15)	0,04–0,22	0,04–0,23	0,006–0,017	0,15–0,50	0–7	-	3000–30000

[1]FODD (2018).
[2]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.
[3]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade sektioner av anrikningssand (Lindberg, 1989, 1990).

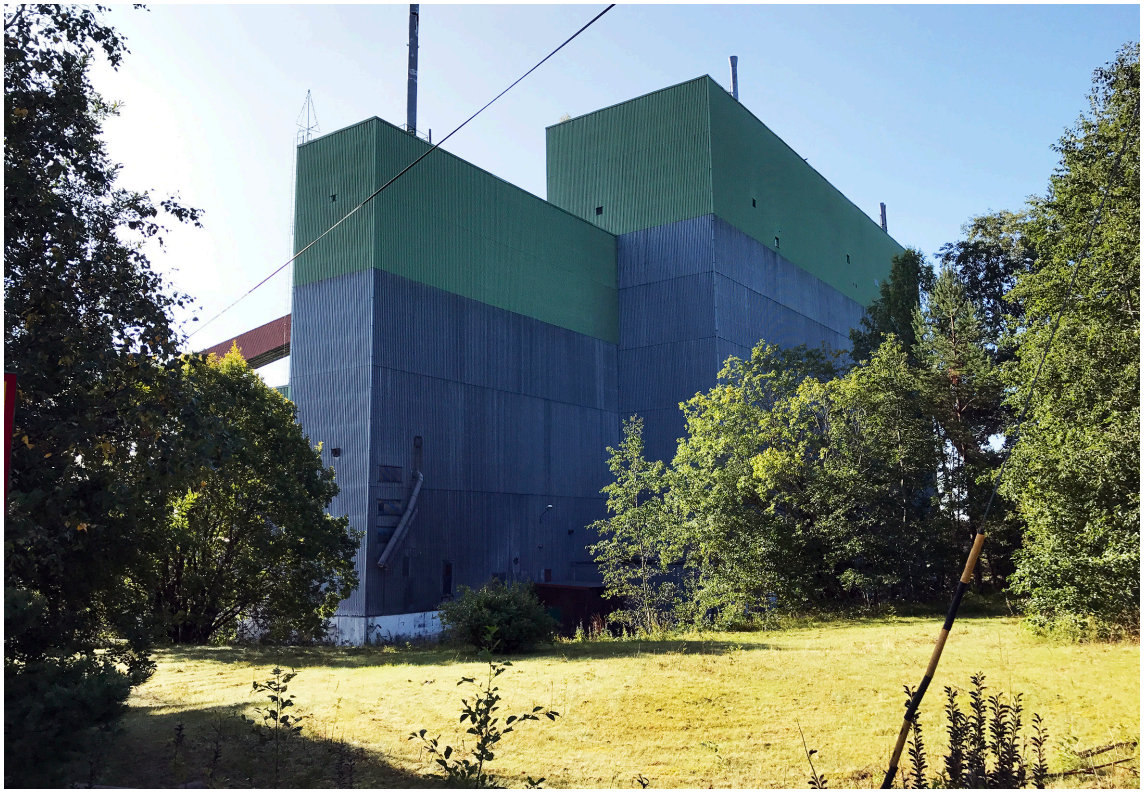
även i flera stratigrafiskt underliggande lager, B- och D-zonerna. C-zonen består av grafitrika bergarter. De tio borrkärneanalyserna visar att Viscariamalmen är anomal på flera element, bland dem flera kritiska råmaterial som kobolt och indium. Provtagning av fler borrkärnor och gruvavfall är planerad för 2019.

Adakfältet

Gruvorna i Adakfältet var i drift under åren 1932–1977, de första åtta åren under namnet Kourbevare malmfält. Under perioden producerades 6,34 miljoner ton malm varav huvuddelen var anrikningsmalm som anrikades på plats.

Inom projektet har ett antal borrkärnor analyserats men det numera övertäckta sandmagasinet har inte provtagits. En omfattande provtagning av sandmagasinet med borrning genomfördes 1989 och tvåmetersektioner av borrproven analyserades på guld, silver, koppar, zink och bly (Lindberg, 1989, 1990). På 15 av proven gjordes mer omfattande analyser med bland annat kadmium, kobolt, kvicksilver och svavel. Sammanställningen av analyser på borrkärna och anrikningssand (se tabell 12) indikerar att stor del av kopparinnehållet har utvunnits under anrikningen, men huvuddelen av koboltinnehållet har hamnat i anrikningssanden.

Enligt rapporten från borrningarna ska metallinnehållet i sandmagasinet vara 1 140 kg Au, 7 200 ton Cu, 7 200 ton Zn och 42 000 ton As, men provmaterialet är alltför begränsat för att dra några ytterligare slutsatser om anrikningssandens koboltinnehåll. Det mycket höga arsenikinnehållet resulterade så småningom i övertäckningen av sandmagasinet och det pågående kontrollprogrammet för Adak.



Figur 11. Södra verket, Grängesberg. Foto: Helge Reginiussen.

Grängesbergsområdet

Järnmalmerna i Grängesbergsområdet är Bergslagens största malmer. Malmerna i Grängesbergsfältet och i Risbergsfältet, utgörs av apatijärnmalmer där järnmalmen är associerad med fosformineralet apatit. De mindre malmerna i Ormbergsfältet och Lombergsfältet innehåller betydligt mindre apatit. Apatit i apatitjärnmalmerna innehåller ofta sällsynta jordartsmetaller, något som inte bara gäller för Bergslagens apatitjärnmalmer utan också de stora malmerna i Norra Norrbotten med Kirunavaara och Malmberget som främsta exempel.

Under de senaste 250 åren har 156 miljoner ton malm utvunnits från gruvorna i området, huvuddelen av malmen har varit styckemalm som gått direkt till olika masugnar. Eventuella kritiska råmaterial har hamnat i slagg och andra restprodukter, och således försvunnit från området. 31 procent eller nästan 49 miljoner ton malm har anrikats vid två större anrikningsverk och anrikningssanden har deponerats i tre större dammar.

I detta projekt har vi provtagit och analyserat malmprov från borrkärnor och anrikningssand från de tre dammarna samt sammanställt äldre analyser. Resultaten av analyser av god kvalitet är sammanfattade i tabell 14. Medelvärden av de få analyser av god kvalitet som vi har visar att de provtagna borrkärnorna innehåller 0,17 procent REE och anrikningssanden 0,12 procent REE. Analyserna visar också att malm och anrikningssand innehåller intressanta halter av vanadin och tenn.

Malmbrytningen i Grängesberg avslutades 1989 då brytningen hade skett till ca 650 meters nivå. Geofysiska undersökningar antyder att malmen fortsätter till åtminstone 1 700 meters djup och moderna uppskattningar av tillgångarna visar på att de finns 148 miljoner ton malm kvar i gruvan. Utöver det finns 14,4 miljoner ton anrikningssand i de tre dammarna.

Tabell 13. Malmproduktion i Grängesbergsområdet. Data från FODD (2018).

Gruvfält	Produktionsår	Mineral-tillgångar (Mt)	Producerad malm (Mt)	Fe (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
Grängesbergs-fältet	1783–1989	148,3	132,8	49,87	0,14	2,01	0,01
Risbergsfältet	1783–1979	-	20,4	41,66	0,19	1,43	0,01
Ormbergsfältet	1783–1926	-	2,3	58,00	-	0,18	0,02
Lombergsfältet	1817–1947	-	0,6	54,50	-	0,28	0,01

Tabell 14. Innehåll av utvalda element i Grängesbergsområdet. Mt = miljoner ton. Malmproduktionsdata från FODD (2018).

Anrikningsverk	Produktionsår	Mängd anrik-ningssand (Mt)	Fe (%)	Mn (%)	P (%)	V (%)	Sn (%)	REE (%)
Södra verket	1970–1989	5,6	38,68	0,07	-	-	-	-
Grängesberg	1944–1953	0,4	19,82	-	0,63	-	-	-
Bergslagsschaktet	1929–1979	8,4	12,50	-	0,50	-	-	-
Västra Ormberg	1919–1927	0,1	33,99	-	0,10	-	-	-
Lomberget	1906–1919	0,1	25,50	-	0,09	-	-	-
Prov från sand-magasin[1] (n=8)			12,9–36,4	0,04–0,16	0,27–2,90	0,03–0,09	0,0–0,03	0,0–0,23
Malmprov från borrkärnor[1] (n=10)			17,4–64,8	0,09–0,32	0,07–2,90	0,04–0,20	0,0–0,05	0,02–0,47

[1]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade borrkärnesektioner och anrikningssand gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.

Tabell 15. Innehåll av utvalda element i Östanmossen.

Objekt	Data	Fe (%)	P (%)	Mn (%)	S (%)	Cu (%)	REE (%)
Östanmossen	Malmproduktion[1]	31,3	0,01	-	0,20	-	-
Östanmossen	Malmprov[2] (n=3)	14,6–19,0	-	0,03–0,12	0,06–0,07	0,04–0,05	2,9–3,8
Östanmossen	Anrikningssand[3] (n=5)	9,5–12,0	0,01	0,15–0,17	0,01–1,4	0,02–0,04	0,07–0,36

[1]FODD (2018).

[2]Data från MALMKEMI-db.

[3]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade prov av anrikningssand gjorda i detta projekt, data i MALMKEMI-db.

Östanmossen

Bergsbruk i Norbergs omgivningar har mycket gamla anor och i området ligger också Europas äldsta masugn, de äldsta delarna daterade till slutet av 1100-talet. Den huvudsakliga produktionen från Norbergsområdet är järnmalm men det har varit känt att en del av järnmalmerna är anomala på sällsynta jordartsmetaller. Det gäller bland andra gruvorna i Smörbergs-, Getbacks- och Rödbergsfälten. Malm från dessa gruvor anrikades vid Östanmossen som var i drift åren 1910 (eller tidigare) till 1960. Under dessa år processades 2,61 miljoner ton malm. Några REE-analyser finns inte från malm- eller anrikningsstatistiken, men däremot från provtagning inom EURARE-projektet och vår provtagning av sandmagasin.

De tre malmproven bekräftar att malmen i Östanmossgruvan är rik på REE med ungefär 3 procent total REE, men analyserna visar låga järnhalter vilket tyder på att REE-rika men järnfattiga partier valts för provtagningen. Anrikningssanden innehåller upp till en tiondel så mycket REE som malmproven. Noterbart är att anrikningssand från andra malmfält i Norbergsområdet bara innehåller 0,02 procent REE.

Dingelvik-Henneviken

I Dalformationen i Dalsland finns ett flertal kopparmineraliseringar som anses höra till malmtypen ”sediment-hosted copper”, en malmtyp som står för en stor del av världens kopparproduktion och även silver och koboltproduktion.

I projektet har vi digitaliserat och systematiserat en stor mängd analysdata från borrkärnsprotokoll, äldre prospekteringsrapporter och från modernare prospektering. Vi har även provtagit och analyserat borrkärna från de två största, malmberäknade, fyndigheterna Dingelvik och Henneviken. I tabell 16 jämförs en sammanställning av dessa borrkärnsanalyser med de metallhalter som anges i malmberäkningarna.

Kopparhalterna i borrkärnsanalyserna stämmer överens med de metallhalter som anges i malmberäkningarna där Henneviken är något rikare på koppar än Dingelvik. Att fyndigheterna är koboltfattiga visas tydligt av analyssammanställningen, ingen analys visa mer än 0,007 procent Co. Av speciellt intresse är de förhöjda rheniumhalterna i framförallt Dingelvik. Rhenium brukar förekomma associerat med molybden i naturen men så är inte fallet här.

Ytterligare 720 borrkärnsanalyser från Dingelvik, Henneviken samt Åsnebo på koppar och silver samt ett fåtal analyser på kobolt finns i databasen MALMKEMI-db.

Tabell 16. Innehåll av utvalda element i Dingelvik och Henneviken. Mt = miljoner ton.

Objekt	Data	S (%)	Cu (%)	Co (%)	Ag (ppm)	Re (ppm)
Dingelvik	Malmberäkning[1] (26,1 Mt)	-	0,77	-	22	-
Henneviken	Malmberäkning[1] (11,75 Mt)	-	1,05	-	21	-
Dingelvik	Borrkärna (n=8)[2]	0,04–2,07	0,03–1,04	0,000–0,005	1–33	0,006–1,185
Henneviken	Borrkärna (n=3)[2]	1,09–1,34	0,21–1,12	0,004–0,005	5–18	0,009–0,022

[1]FODD (2018).

[2]Intervallen visar lägsta och högsta analysresultat från analyserade prov av borrkärnesektioner gjorda i detta projekt, data från MALMKEMI-db.

Tabell 17. Innehåll av utvalda element i ett antal alkalina intrusioner.

Objekt	Nb (ppm)	Ta (ppm)	Zr (ppm)	Th ppm)	REE (%)
Norra Kärr-tillgångar[1]	-	-	-	-	0,29
Norra Kärr-reserver[1]	-	-	13600	6,63	0,32
Holmslättmyran[2] (n=9)	3000–13000	70–700	394–2625	-	-
Åkersjön[2] (n=2)	67–731	0–7	1–9	3–5	0,20–0,23
Ramvik[2] (n=4)	150–193	8–11	269–284	15–17	0,06–0,07
Alnö[2] (n=17)	2–2500	0–78	3–1040	0–102	0,00–0,25
Sundsvallsområdet[2] (n=37)	10–1656	1–44	44–1347	3–65	0,01–0,17

[1]Tasman Metals (2015).
[2]Data från MALMKEMI-db.

Alkalina intrusioner

Till skillnad från andra intrusivbergarter som graniter och gabbro är alkalina intrusioner oftast små, men de har en mycket stor variation i sin sammansättning. Mineraliseringar som är associerade med dessa bergarter visar även dessa en stor variation – från diamanter till fosfater till sällsynta jordartsmetaller (REE) och mycket mer. Den idag mest omtalade alkalina intrusionen i Sverige är Norra Kärr som innehåller höga halter av REE och zirkonium, tidigare var intrusionen på norra Alnö den mest kända.

För att få en uppfattning om dessa bergarters potential har vi sammanställt tillgängliga analyser och lagrat dem i databasen MALMKEMI-db. I tabell 17 redovisas ett utdrag ur databasen där analyser från flera olika källor och av olika kvalitéer tillsammans med rapporterade reserver och tillgångar för Norra Kärr visas.

Potentialen i den industriella infrastrukturen

Sverige är ett attraktivt gruvland. Här finns modern lagstiftning som täcker hela kedjan från tidiga prospekteringsinsatser till tillverkning av produkter på plats. Lättillgänglig grundläggande geovetenskaplig information samt en teknisk och vetenskaplig infrastruktur inom de flesta verksamhetsområden inom metallutvinning är viktigt.

Viktiga delar i denna infrastruktur:

- God malmgeologisk, berggrundgeologisk, geokemisk och geofysisk information. Denna informationen är grundläggande för de tidiga stadierna i prospekteringsarbetet. SGU erbjuder öppna arkiv med tillgång till geodata.
- Väl utbyggt väg-, järnvägs- och kraftnät underlättar prospektering såväl som gruvdrift.
- Många konsultbolag och borrföretag möjliggör snabba och effektiva undersökningsarbeten.
- Kunniga entreprenörer för gruvbrytning.
- Flera stora svenska företag inom gruvutrustningsindustrin gör gruvdriften säker och effektiv.
- God inhemsk kunskap inom gruvteknik, anrikningsteknik och smältverksteknik underlättar för malm- och metallprocessering i landet.
- Pågående forskning vid flera universitet/högskolor inom olika steg i metallutvinningsprocessen är nödvändig, framför allt om nya metaller ska utvinnas.
- Aktiva anrikningsverk, masugnar och smältverk.
- Stor inhemsk metallindustri och tillverkningsindustri som använder metaller.
- Pågående utvecklings- och förbättringsarbete inom samtliga steg i processen.

Tillväxtanalys (2017b) poängterar att det kluster som har utvecklats runt järn- och basmetallutvinningen och metallproduktionen är starkt, men påpekar också att gruv- och prospekteringsindustrin i Sverige domineras av ett fåtal aktörer som inte har kritiska mineral och metaller inom sin kärnverksamhet. Det finns tecken på att tillståndsprocesserna blivit ett hinder för verksamheten.

FORTSATT ARBETE

Ädelmetaller, basmetaller och järn har varit den svenska gruvnäringens viktigaste produkter i mer än 1 000 år. SGU har idag, genom eget och andras arbeten, en god kännedom om var dessa råmaterial finns, hur mycket som utvunnits och hur mycket som finns kvar. Det har också varit känt att svenska malmer och den svenska berggrunden innehåller andra råmaterial, men då dessa inte varit efterfrågade så har deras förekomst enbart varit av akademiskt intresse.

De senaste årens snabba industriella utveckling, inte minst inom den gröna industrin, har förändrat spelplanen och idag efterfrågas många av de råmaterial som tidigare betraktades som kuriosa. Efterfrågan på kunskap om dessa ”nya” råmaterial, från industrin men även från myndigheter och allmänheten, har blottat stora kunskapsluckor, hos SGU men även hos andra aktörer.

Sedan några år har SGU arbetat på att fylla igen dessa kunskapsluckor, genom deltagande i olika tidsbegränsade EU-projekt, i regeringsuppdrag som detta uppdrag men även genom pågående dokumentationsarbete, exempelvis Bergslagenprojektet. Vi vet idag betydligt mer om de ”nya” råmaterialen men har mycket arbete kvar innan vi kan säga att vi har en god kännedom om var de ”nya” råmaterialen finns, hur mycket som utvunnits men hamnat i gruvavfall och slagg och hur mycket som finns kvar i den svenska berggrunden.

SGUs planerade arbete 2019

Detta projekt har visat att översiktlig provtagning och analys av anrikningssand i sandmagasin är en kostnadseffektiv metod för preliminär karaktärisering av sandmagasinen och de malmer som anrikningssanden kommer från. Nya analyser av utvalda borrkärnor från nedlagda gruvor och prospekteringsobjekt ger viktig information om relationerna mellan huvudmetaller och kritiska råmaterial. Dessa moderna analyser tillsammans med äldre malmstatistik och annan information gör det möjligt att göra semi-kvantitativa uppskattningar av förekomst av kritiska metaller och mineral i Sverige. Metoderna är användbara för de inledande stegen i prospektering men fungerar lika bra för miljöövervakning.

- Hittills har 38 av 150 kända sandmagasin provtagits, i de flesta fall med färre än fyra prov. Detta arbete kommer att fortsätta under 2019 tills fler av Sveriges sandmagasin är provtagna och med fler än fyra prov per sandmagasin.
- Ungefär 8 procent av analysresultaten från äldre borrningar, som redovisas i borrprotokoll, och från modernare borrningar, som redovisas i de prospekteringsdata som lämnas till Bergsstaten efter slutförd prospektering, har digitaliserats och sammanställts. Denna förhållandevis billiga metod att samla stora mängder koordinatsatta analyser kommer att fortsätta under 2019.
- I de data vi samlat och systematiserat ingår få multielementanalyser från gruvor i drift. Dessa data samlas bäst in genom samarbete med industrin, antigen genom att vi tillåts att genomföra provtagning inom aktiva gruvområden och sandmagasin eller att bolagen delar med sig av sin information. Detta kommer att ske under 2019.
- Parallellt med dessa arbeten pågår Bergslagsprojektet där mineraliserade prover från både primära och sekundära (varp) källor samlas in och analyseras, allt för att bättra på dokumentationen om fyndigheterna. (Insamlingen sker systematiskt inom de områden som är planlagda i projektet.)

- Utöver Bergslagsprojektet har SGU under 2018 påbörjat regeringsuppdraget ”Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral” (SGU d.nr 311-2379/2019), en uppföljning till det uppdrag som redovisas i denna rapport. I projektet ingår detaljkartering av Vena-fältet med kända koppar-kobolt förekomster samt volframfyndigheter i Yxsjöbergsområdet. Syftet med detaljkarteringarna är att bättre förstå hur och var dessa förekomster bildats, ett underlag för prospektering efter kritiska råmaterial.

Planer som vi idag saknar finansiering för

- En bråkdel av de borrkärnor som finns i det nationella borrkärnsarkivet i Malå har provtagits i detta projekt. Detta arbete bör fortsätta genom provtagning och analys av utvalda borrkärnor så att vi får en gedigen databas med komplett karaktärisering av svenska malmer och mineraliseringar.
- Fördjupande undersökning med utökad kartering och provtagning, inkluderande borrning i sandmagasin, bör göras på utvalda objekt, förslagsvis Stollbergsområdet och Riddarhyttefältet.
- Planer finns också att utöka detaljkarteringen av de fyndigheter där kritiska råvaror har påvisats – Norbergsområdet med höga REE-halter i järnmalm, Tunabergsområdet med koppar-nickel-kobolt-mineraliseringar samt nedlagda grafitgruvor i Bergslagen, bland annat Skrammelfallsfältet. Resultaten kommer att ligga till grund för framtida prospektering, för utvinning av gruvavfall men även för det återställningsarbete som behövs vid flera av dessa platser.
- Provtagning av varphögar är mer komplicerat än provtagning av sandmagasin, se Bergskraft: "Sampling of mining waste – methods and experiences”. Med hjälp av denna manual går det att genomföra en godtagbar karaktärisering av några utvalda varphögar, helst vid de lokaler som väljs för utökad provtagning av sandmagasin.
- Utveckla MALMKEMI-db till en fullt sökbar databas på SGUs hemsida med möjlighet att tanka ner data.
- Fortsätta att relatera nya analyser med äldre kunskap om fyndigheter, inte enbart de som innehåller kritiska råmaterial. Viktigt för både prospekteringen och miljöarbetet.

Flera av dessa projekt förlitar sig på tillfällig finansiering. En mer kontinuerlig finansiering, dokumentation och komplett karaktärisering av svenska malmer och mineraliseringar skulle behövas för att hålla hela kedjan från insamling av prover till kontinuerlig leverans av data levande och aktiv. SGU har under 2018 och 2019 avsatt totalt ca 15 000 tkr för att förbättra tillgången till geologisk information i Bergslagen. I februari 2018 fattade regeringen beslut om att utöka SGUs uppdrag med 10 000 tkr för kartläggning av innovationskritiska metaller i området. Som redovisas är dock behovet betydligt större, och en utökning av anslaget nödvändig för att SGU ska kunna genomföra en satsning i den storlek som krävs. SGU föreslår därför en utökning av anslaget med 86 000 tkr fördelat på fyra år (17 000 tkr för år 2020, 29 000 tkr för år 2021, 27 000 tkr för år 2022 och 13 000 tkr för år 2023).

Utanför vårt område

Minerallagen är otydlig när det gäller råmaterial från gruvavfall. Detta gör framtida prospektering och utvinning av denna tillgång mycket osäker och riskfull. En utredning som ser över om gruvavfall kan inkluderas i Minerallagen bör göras.

REFERENSER

Andersson, U.B. (editor) 2004: The Bastnäs-type REE mineralisations in north-western Bergslagen, Sweden. *SGU rapporter och meddelanden 119*.

Aura Energy 2018: Häggån project, Sweden.
<www.auraenergy.com.au/h%C3%A4gg%C3%A5n-sweden.html> Åtkommen 4 november 2018.

Bedder, J.C.M. 2015: Classifying critical materials: a review of European approaches, *Applied Earth Science, 124:4*, 207–212.

Bergman, S, Kübler, L. & Martinsson, O. 2001: Description of regional geological and geophysical maps of northern Norrbotten county (east of the Caledonian orogen). *SGU Ba 56*.

Bergverksstatistik 2017. SGU, *Periodiska publikationer 2018:1*.

Berkut Minerals 2018a: Lainejaur project, Sweden. <https://berkutminerals.com.au/projects/scandinavian-projects/lainejaur-sweden/> Åtkommen 3 oktober 2018.

Berkut Minerals 2018b: Tunaberg project, Sweden. <https://berkutminerals.com.au/projects/scandinavian-projects/tunaberg-project/ > Åtkommen 3 oktober 2018.

BGS 2011: Tungsten Profile: <www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/mineralProfiles.html> Åtkommen 3 september 2018.

Bida, J. 1983: Lägesrapport industrimineralprojekt 1983. LKAB prospektering AB. Pro8335.

Bio 2015: 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.

Blackstone Ventures Inc., 2009: Technical report on resource estimates for the Lainejaur, Lappvattnet and Ror deposits, Northern sweden, NI43-101 Report. <www.sedar.com>

Brown, T.J., Hobbs, S.F., Idoine, N.E., Mills, A.J, Wrighton, C.E. & Raycraft, E.R., 2016: European Mineral Statistics 2010–2014. Nottingham: British Geological Survey.

Carlon, C.J. 1986: Mineralization in the Håkansboda area. Its geology, exploitation, exploration and potential. Prospekteringsrapport B8607.

Critical Metals 2017: Varutrask (Li) project: <www.criticalmetals.eu/sweden-varutrask.php> Åtkommen 13 september 2018.

EASAC, 2016: Priorities for critical materials for a circular economy. EASAC Policy report. November 2016.

EMX Royalty Corp. 2018: Riddarhyttan. <www.emxroyalty.com/asset-portfolio/sweden/riddarhyttan/> Åtkommen 5 oktober 2018.

EU-kommissionen, 2017a: Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Executive summary. <http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25421> Åtkommen 9 januari 2018.

EU-kommissionen, 2017b: Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical Raw Materials factsheets. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en> Åtkommen 3 september 2018.

EU-kommissionen, 2017c: Combatting conflict minerals. <http://ec.europa.eu/trade/policy/in-focus/conflict-minerals-regulation/> Åtkommen 3 september 2018.

EU-kommisonen, 2017d: Study on the review of the list of Critical Raw Materials. Criticality assessments. Final Report. <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/08fdab5f-9766-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en> Åtkommen 31 oktober 2018.

Filén, B., Johansson, R. 1981: Nickelmineraliseringen vid Gårkälen. SGU prospekteringsrapport. Brap 81005.
Fizaine, F. 2015: Minor metals and organized markets: News highlights about the consequences of establishing a futures market in a thin market with a dual trading price system. *Resources Policy 46*, 59–70.
Flinders Resources 2015: Technical report for the Woxna graphite project, central Sweden. <https://leadingedgematerials.com/wp-content/uploads/2015/05/2015-05-11_Woxna_NI43-101.pdf> Åtkommen 17 september 2018.
Flood, B. 1979: Slättberg Ni-gruvor. Prospekteringsrapport grb063.
FODD 2018: <http://gtkdata.gtk.fi/fmd/> Åtkommen 14 november 2018.
Fors, E., Ihre, P. & Lundholm, I. 1981: Wolframitfyndigheten i Storträsket. SGU prospekteringsrapport. Brap 81507.
Frietsch, R. & Perdahl, J-A. 1995: Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types. *Ore Geology Reviews 9 (1995)*, 489–510.
Geijer, P. 1923: Riddarhytte malmfält. (Geologisk beskrivning). Kungl. Kommerskollegium, Beskr. över mineralfyndigheter., nr. 1 Stockholm.
Gerdin, P. & Triumf, C-A. 1984: Rostberget. SGAB. Prospekteringsrapport. Prap84087.
Graedel, T. E., Allwood, J., Birat, J-P., Buchert, M., Hagelűken, C., Reck, B.K., Sibley, S.F. & Sonnemann, G. 2011: What Do We Know About Metal Recycling Rates? USGS Staff – Published Research. 596.<http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/596> Åtkommen 1 november 2018.
Graedel ,T.E., Harper, E. M., Nassar, N. T., Nuss, P., & Reck, B.K. 2015: Criticality of metals and metalloids. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 112 (2015), pp. 4 257–4 262
Grip, E. & Frietsch, R. 1973: Malm i Sverige 2.
GTK 2018: <http://en.gtk.fi/informationservices/mineralproduction/finmipr1117.html>
Gustafsson, B. 1989: Litium – sammanställning. SGU prospekteringsrapport, Prap 89012.
Hageluken, C. & Meskers, C.E.M. 2010: Complex Life Cycles of Precious and special Metals. In Linkages of sustainability, Chapter: 10. Complex life cycles of precious and special metals, Publisher: MIT press, Editors: Graedel, Van der Voet, pp.163–197.
Holmquist, A. 1979: Volframförekomsten vid Svärtträsk. Beskrivning och preliminär malmberäkning. SGU Prospekteringsrapport Prap 79015.
Holmqvist, A. 1986: Kvartsförekomsterna Pajeb Muitunisjaure och Själbmatjåkka, Norrbottens län. SGAB prospekteringsrapport. Prap 86094.
Holmqvist, A. & Nordström, H. 1986: Kvartsförekomsten Vuolep Räskavare, Norrbottens län. SGAB prospekteringsrapport Prap 86090.
Hübner, H. 1971: Molybdenum and tungsten occurrences in Sweden. *SGU Ca 46*.
Ihre, P. & Sädbom, S. 1986: Riddarhytte malmfält. Prospekteringsarbeten 1986. SGAB prospekteringsrapport. Prap 86541.
Jonsson, E., Högdahl, K, Sahlström, F., Nysten, P. & Sadeghi, M. 2014: The palaeoproterozoic skarn-hosted REE mineralisations of Bastnäs-type: overview and mineralogical-geological character. ERES2014: 1st European Rare Earth Resources Conference, Milos 04-07/09-2014.
Keliber 2018: Litiumkemifabrik, Karleby sammanfattning av MKB-programmet. <www.keliber.fi/site/assets/files/1763/keliber_oy-_sammanfattning_av_mkb-programmet-_litiumkemifabrik.pdf> Åtkommen 2 oktober 2018.

Kelly, T.D., Matos, G.R., 2014. Historic statistics for mineral and material commodities in the United States (2014 version). *USGS Data Series 140*. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/historical-statistics/> Åtkommen 19 september 2017.
Lehto, T. 1987: Ahmavuoma, årsrapport 1986. Prospekteringsrapport K8711.
LKAB, 2018: LKAB utvecklar ny teknik för att producera strategiska mineraler från gruvavfall. <www.lkab.com/sv/nyhetsrum/pressmeddelanden/lkab-utvecklar-ny-teknik-for-att-producera-strategiska-mineraler-fran-gruvavfall/?aid=16447> Åtkommen 17 september 2018.
Leading Edge Materials 2018a: <https://leadingedgematerials.com/bergby-lithium-project/> Åtkommen 13 september 2018.
Leading Edge Materials 2018b:< https://leadingedgematerials.com/leading-edge-materials-updates-purification-test-work-from-woxna-graphite-project-sweden/> Åtkommen 17 september 2018.
Lethto, T., Bromley-Challenor, M., Mattson, C. 1984: Falun-Tomtebo. Prospekteringrapport. Bsg84-358.
Lindberg, R. 1989: Sandmagasinet i Adak, metallhalter. SGAB prospekteringsrapport. Prap89068.
Lindberg, R. 1990: Sandmagasinet i Adak, metallhalter 1990:1. SGAB prospekteringsrapport. Prap90006.
Lu, F., Xiaob,T. ,Lin, J., Ning, Z., Long, Q., Xiao, L., Huang, F., Wang, W., Xiao, Q., Lan, X., Chen, H. 2017: Resources and extraction of gallium: A review. Hydrometallurgy 174. 105–115.
Lundqvist, T. 1968: Precambrian geology of the Los-Hamra region, central Sweden. *SGU Ba 23*.
Martinsson, O. 2011: Kiskamavaara shear zone hosted IOCG-style of Cu-Co-Au deposit in northern Norrbotten. The 11th Biennial Meeting of the SGA, at Antofagasta, Chile. Conference paper.
Mudd, G.M., Weng, Z., Jowitt, S.M., Turnbull, I.D., Graedel, T.E. 2013: Quantifying the recoverable resources of by-product metals: The case of cobalt. *Ore geology Reviews 55*. 87–98.
Mudd, G. M., Yellishetty, M., Reck, B., Graedel, T. E. 2014: Quantifying the recoverable resources of companion metals: a preliminary study of Australia. *Resources 3*, (4), 657–671.
Nickel Mountain AB 2012: Mineral resource estimate for the Rönnbäcknäset Nickel deposit, Sweden, January 2012. <www.nickelmountain.se>
Novo Litio 2018: Quarterly Activities Report For the period ending 31 March 2018. ASX release. <www.novolitio.com/asx-announcements/2018/> Åtkommen 14 september 2018.
Nassar, N.T., Graedel, T.E., Harper, E.M. 2015: By-product metals are technologically essential but have problematic supply. Sci. Adv., 1 (2015).
NSG 1991: Grafituppslagsgenerering i Norrbotten 1991. Prospekteringsrapport, Prap 91045.
Ohlsson, L-G. 1979: Tungsten occurrences in Central Sweden. *Economic geology, 74*. 1 012–1 034.
Peelman, S., Kooijman, D., Sietsma, J. 2018: Hydrometallurgical Recovery of Rare Earth Elements from Mine Tailings and WEEE. *Journal of Sustainable Metallurgy (4)*, 367–377.
Persson, G. 1980: Kiskamavaara koppar – koboltfyndighet. SGU Prospekteringsrapport Brap80524.
Persson, G. 1982: Kiskamavaara. Tonnageberäkning på koppar och kobolt. SGU Prospekteringsrapport Brap82509.
Polinares working paper nr. 39, 2012: Fact Sheet: Indium.
Pålson, B.I., Martinsson, O., Wanhainen, C., Fredriksson, A. 2014: unlocking rare earth elements from European apatite-iron ores. ERES2014: 1st European Rare Earth Resources Conference, Milos, 04-07/9-2014.

REEcover report summary 2017: Final Report Summary – REECOVER (Recovery of Rare Earth Elements from magnetic waste in the WEEE recycling industry and tailings from the iron ore industry). <https://cordis.europa.eu/result/rcn/202427_en.html> Åtkommen 14 september 2018.

Rio Tinto. 2018: Jadar. <www.riotinto.com/energyandminerals/jadar-4643.aspx> Åtkommen 9 mars 2018.

Rudnick, R.L. & Gao, S. 2003: The composition of the continental crust. In Treatise on Geochemistry – The crust. Rudnick, R.L., Holland, H.D. & Turekian, K.K. (Editors), Elsevier, Oxford. 1–64.

Sandahl, K.A., Markkula, H., Triumf, C.A. & Lundholm, I. 1982: Storträsket del 1. SGU prospekteringsrapport. Brap82551.

Selinus, O. 1982: Djupprospektering med hjälp av geokemiska anomalier – berggrundsgeokemisk undersökning inom Stollbergs malmfält, Kopparbergs län. STU-rapport 80-4152. Brap82613,

Sienna Resources 2018: Slättberg. <www.siennaresources.com/slattberg/> Åtkommen 18 september 2018.

Simandl, G.J., Paradis, S., and Akam, C., 2015: Graphite deposit types, their origin, and economic significance. In: Simandl, G.J. & Neetz, M., (Eds.), Symposium on Strategic and Critical Materials Proceedings, November 13-14, 2015, Victoria, British Columbia, British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey Paper 2015-3, pp. 163–171.

SGU, 2007: Mineralmarknaden. Tema Nickel. *Periodiska publikationer, 2007:1*.

SGU, 2008: Mineralmarknaden. Tema Wolfram. *Periodiska publikationer, 2008:1*.

SGU, 2009: Mineralmarknaden. Tema Litium. *Periodiska publikationer, 2009:2*.

SGU, 2014: Uppdrag att utföra en kartläggning och analys av utvinnings- och återvinningspotential för svenska metall- och mineraltillgångar. Redovisning av regeringsuppdrag. Diarienummer: 3114–1639/2013.

Smith, C.G., 2001. Always the bridesmaid, never the bride: cobalt geology and resources.

Trans. Inst. Min. Metall. B. *Applied Earth Science, 110*, B75–B80.

Speirs, J., Gross, R., Contestabile, M., Candelise, C., Houari, Y., Gross, B. 2014: Materials availability for low-carbon technologies: An assessment of the evidence. UK Energy Research Centre. REF UKERC/RR/TPA/2014/001

Stigh, J., Zachrisson, E., Larkin, S. 1981a: Ultramafiter i fjällen. Analyser. SGU prospekteringsrapport. Brap81523.

Stig, J., Zachrisson, E., Julin, C., Larsson, R. 1981b: Detritiska serpentiniter. SGU prospekteringsrapport. Brap81546.

Sunstone Metals, 2018: <www.sunstonemetals.com.au/mineral-resources/> Åtkommen 8 november 2018.

Sädbom, S. & Bäckström M. 2018: Sampling of mining waste – historical background, experiences and suggested methods. Bergskraft Bergslagen AB. BKBAB 18-109 Rep.

Talga Resources 2017: Talga Resources, Annual Report 2017. <www.talgaresources.com/irm/PDF/2136_0/annualreporttoshareholders2017> Åtkommen 18 september 2018.

Talga Resources 2018a: <www.talgaresources.com/irm/content/vittangi1.aspx?RID=285> Åtkommen 18 september 2018.

Talga Resources 2018b: <www.talgaresources.com/irm/PDF/2223_0/TalgatoEstablishSeparateCobaltCompany> Åtkommen 2 oktober 2018.

Tasman Metals 2013: Amended and restated technical report for Olserum REE deposit, Southern Sweden. <www.sedar.com> Åtkommen 3 december 2017.
Tasman Metals 2015: Amended & Restated Prefeasibility Study – NI 43-101 – Technical report for the Norra Kärr Rare Earth Element Deposit. <www.sedar.com> Åtkommen 3 december 2017.
Tegengren, F.R. m.fl. 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *SGU Ca 17*.
Tertiary Minerals 2011: Mineral Resource estimate – Storuman fluorspar project. <www.tertiaryminerals.com/downloads/Tertiary%20RNS%20Storuman%20JORC%20Resource%20Estimate%20%20(31%20March%202011).pdf> Åtkommen 4 november 2018.
Thormann, L., Buchspies, B., Mbohwa, C., Kaltschmitt, M. 2017: PGE Production in Southern Africa, Part 1: Production and Market Trends. Minerals, 7(11), 224; doi:10.3390/min7110224
Tillväxtanalys 2017a: Värdekedjor för innovationskritiska metaller och mineral. Delredovisning av regeringsuppdrag – att kartlägga behovet av metaller och mineral för miljö- och teknikinnovationer. Tillväxtanalys dnr 2016/227.
Tillväxtanalys 2017b: Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt – hur kan staten stödja utvecklingen? Tillväxtanalys dnr 2016/227. <www.tillväxtanalys.se> Åtkommen 3 december 2017.
Tuuri, E. & Ek, R. 1986: Pegmatiter Y-län. LKAB Prospektering S8608.
UNEP (2013) Metal Recycling: Opportunities, Limits, Infrastructure, A Report of the Working Group on the Global Metal Flows to the International Resource Panel. Reuter, M. A., Hudson, C., van Schaik, A., Heiskanen, K., Meskers, C., Hagelüken, C.
USGS 2018: Mineral commodity summaries 2018. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/2018/mcs2018.pdf> Åtkommen 9 april 2018.
Werner, T.T., Mudd, G.M., Jowitt, S.M. 2015: Indium: key issues in assessing mineral resources and long-term supply from recycling. *Applied Earth Science, 124 (2015)*, pp. 213–226.
Zachrisson, E., Stigh, J. 1981: Ultramafiter i fjällen. SGU, prospekteringsrapport. Brap81522.
Zachrisson, E. 1983: Kontrollanalyser av nickel och kobolt i detritiska och massiva serpentiniter, Jämtlands-Västerbottensfjällen. SGU, prospekteringsrapport. Brap83509.
Åkerman, C. 1983: Pt, Pd och Au analyser. SGAB, prospekteringsrapport. Prap83075.
Åkerman, C.1987: Summary of results from Nickel prospecting. A consulting report. SGAB, prospekteringsrapport, Prap87007.

BILAGA 1. EUs LISTA ÖVER KRITISKA RÅMATERIAL (2017)

Antimon
Baryt
Beryllium
Borater
Fosfatbergarter
Fosfor
Flusspat
Gallium
Germanium
Hafnium
Helium
Indium
Kiselmetall
Kobolt
Koks
Lätta sällsynta jordartsmetaller (LREE)
Magnesium
Naturlig grafit
Naturgummi
Niob
Platinagruppens metaller (PGM)
Skandium
Tantal
Tunga sällsynta jordartsmetaller (HREE)
Vanadin
Vismut
Volfram

BILAGA 2. DATAKÄLLOR

Analoga data som digitaliserats (stor mängd data, få analyserade element, representerar provtaget objekt, vanligtvis okänd analysmetod):

- Borrhålsprotokoll med analyser
- Prospekteringsrapporter
- Gruvmiljöutredningar
- Forskningsrapporter

Digitala data med få analyserade element (stor mängd data, få analyserade element, representerar malmkroppar, vanligtvis okänd analysmetod):

- Databasen MALM-db med produktion i gruvor och anrikningsverk
- Databasen MALM-db med uppgifter om tillgångar och reserver

Digitala data med moderna analyser (mindre mängd data, multielementanalyser, representerar provtagna objekt, känd analysmetod):

- EuRare-projektets resultat (http://www.eurare.eu)
- Länsinventeringarna i Dalarna – SGU RM
- Länsinventeringen Västmanland – pågående
- Rådata från avslutad prospektering
- ProSUM projektets resultat (http://prosumproject.eu)

Ny provtagning och modern bergartsanalys (liten mängd data, multielementanalyser, representerar provtagna objekt, känd analysmetod):

- Borrkärnor
- Sandmagasin
- Varphögar

Malmberäkningar:

De malmberäkningar som dokumenteras i FODD (2018) är antingen modern information som följer internationellt godtagna rapporteringssystem eller äldre beräkningar som gjordes innan de idag gällande regelverken fanns. Genom den samlade dokumentationen av malmproduktion och malmprospektering har vi idag god kännedom om hur mycket järn, basmetaller och ädelmetaller som har funnits och fortfarande finns kvar i svenska malmer och mineraliseringar.

BILAGA 3. BERGARTSANALYSER

Bergartsanalyser är komplicerade eftersom de flesta kemiska analysmetoderna bygger på att provet löses upp i en vätska före analys och bergarter är svårlösliga. Därför är provuppslutningen eller provupplösningen viktig för slutresultatet; vilken typ av analysinstrument som används för att bestämma sammansättningen är mindre viktigt.

En vanlig metod för att lösa upp provet är att smälta det tillsammans med ett fluxmedel (vanligen någon form av litiumborat) till ett glas som sedan går att lösa upp i en syralösning, vanligen saltsyra och salpetersyra. Detta ger en total upplösning av provet men med nackdelen att volatila element som till exempel kvicksilver, ibland även arsenik, zink och indium, dunstar bort under smältprocessen. Sulfidrika prov kan vara svårlösta med denna metod.

En annan metod, som används för att lösa upp silikater, är att behandla prover med en syrablandning med fluorvätesyra, saltsyra, salpetersyra och perklorsyra. En nackdel med metoden är att den inte ger en total upplösning av provet utan ofta lämnar en rest av svårlösliga mineral.

Enklare metoder, som snarare ska betraktas som lakningar av provet, görs med kungsvatten (saltsyra blandat med salpetersyra) eller enbart salpetersyra. Dessa metoder lämnar en stor del av provet oupplöst men har fördelen att de inte driver iväg volatila element.

Oavsett upplösningsmetod kan det upplösta provet sedan analyseras med någon spektroskopisk- eller masspektroskopisk metod.

Alternativa, mindre vanliga metoder för bergartsanalys är röntgenfluoresens (XRF) och neutronaktivering (NA eller INAA). Vid en XRF-analys bestrålas provet med röntgenstrålning som exciterar elektroner i atomernas skal. När dessa exciterade elektroner faller tillbaka till sina stabila lägen sänds en för grundämnet karakteristisk strålning ut. Den karakteristiska strålningen och dess intensitet används för att bestämma mängd av grundämnet i provet. Analysen går att göra direkt på en frisk bergartsyta (för handhållna XRF-instrument), på ett finmalt pulver av bergarten eller på en smälta av provet tillsammans med ett fluxmedel, vanligen litiumborat.

Vid NA-analys bestrålas provet med neutroner, vilket gör att nya instabila grundämnen bildas. När dessa sönderfaller sänder de ut en för det nybildade instabila grundämnet karakteristisk strålning vars intensitet används för att bestämma mängd av grundämnet i provet. Metoden begränsas av att alla grundämnen inte bildar lämpliga nya grundämnen vid bestrålning samt att metoden kräver tillgång till en kärnreaktor för neutronstrålningen. Till fördelarna hör att metoden ger extremt noggranna analysresultat av mycket små mängder av grundämnet, exempelvis iridium.

För att hantera problemet med att smältmetoder driver av volatila element och att laknings-metoder inte ger en komplett upplösning av provet erbjuder kommersiella laboratorier för bergartsanalys idag flera kombinationer av två eller flera metoder för att ge en komplett analys av ungefär 70 olika grundämnen. Utöver dessa analyser brukar analyspaketen dessutom ge halten totalt kol och totalt svavel, analyser som gjorts med LECO-utrustning.

BILAGA 4. UPPBYGGNAD AV DATABASEN MALMKEMI-DB

Databasen MALMKEMI-db som skapats för detta uppdrag kan delas in i två delar: en del som beskriver provet och en del med analysresultat. Den beskrivande delen kan i sin tur delas in i en del med provets identitet (röd färg), provets geografiska läge (grön färg), namn på det provtagna objektet (gul färg), kort information om den bergart som provet består av (grå färg), vilken typ av material som är provtaget (orange färg), information om laboratorium, analysmetod och kvalitet (ljusblå färg) samt kommentarer och referenser till informationen och analysresultaten, se tabell 18. Till flera av observationerna finns kodlistor för att göra databasen överskådlig och användbar. En av de viktigaste kodlistorna är den som beskriver provmaterialet, om analysen refererar till ett enstaka block, provtagning av sandmagasin, ett beräknat metallinnehåll i utbrutet tonnage eller en mineraltillgång.

Tabell 18. Beskrivning av det analyserade provet.

Rubrik	Förklaring	Associerade kodlistor
SGU_ID	identitet för analyser som förekommer i SGUs litokemiska databas	
ALT_ID	identitet för analyser som inte förekommer i SGUs litokemiska databas	
N_SWEREF	nordkoordinat i SWEREF	
E_SWEREF	ostkoordinat i SWEREF	
depth	djup från referenspunkt (gäller gruvor och borrhål)	
H_möh	höjd över havet	
N_RT90	ostkoordinat i RT90	
E_RT90	nordkoordinat i RT90	
N	nordkoordinat i annat referenssystem, specificerat i KOMMENTAR	
E	ostkoordinat i annat referenssystem, specificerat i KOMMENTAR	
ORE_AREA_CODE	identitet i MALM databasen	MALM-db
ORE_AREA	namn på gruv/gruvområde i MALM databasen	MALM-db
Lokal	lokal där provet är taget	
bh_kod	identitet i borrhålsdatabasen	bh-data
bh	borrhålsnummer	
from	start på borrkärnssektion	
to	slut på borrkärnssektion	
Bergart_fri	fritextfält för bergartsbeskrivning	
BG_kod	kod för förenklad bergartsbeskrivning	kod för bergartsgrupp
Berg_grp	förenklad bergartsbeskrivning	bergartsgrupp
MATERIAL	typ av material som analysen avser	analyserat material
LAB_TXT	laboratorium som utfört analysen	laboratorium
BATCH	analysomgång	
n	antal analyser i sammanslagningsresultat	
ANALYSDATU	datum när analyserna utförts	
MALFAT_TXT	använt malfat för provberedning	malfat
METOD_TXT	kod för analysmetod	analysmetod
Q	kvalitet på analysen	analyskvalitet
REFERENCE	kortfattade referenser till uppgifterna	referenslista
KOMMENTAR	eventuell kommentar	

De olika posterna i databasen skiljer sig stort med avseende på antal analyserade grundämnen, uppslutnings- och analysmetod, den generella kvaliteten på analyserna samt den signifikans som analysresultaten representerar. Denna information har vägts samman i en kvalitetsbeteckning (Q) för respektive post.

Analysresultaten i databasen har olika signifikans. Resultaten kan delas in i följande kategorier med stigande signifikans eller betydelse:

- En analys av ett enstaka block, en häll eller ett enstaka prov från ett sandmagasin representerar enbart det block, den häll eller det sandprov som provtagits. Analysen kan indikera förekomsten av någon ekonomiskt intressant metall, inklusive en kritisk metall, men säger inget om hur utbredd mineraliseringen är. Dessa data har därför låg signifikans.
- Analys av en sektion av en borrkärna i berg eller sandmagasin, där någon ekonomiskt intressant metall påvisas, visar att det över de antal meter som provtagits finns en viss mineralisering. Signifikansen är måttlig för dessa data.
- De mineral- och metallhalter som anges i rapporter över tillgångar och reserver och i uppgifter över produktion i gruvor och anrikningsverk baseras på hundratals till tusentals analyser som tillsammans representerar en mycket stor mängd mineraliserat berg och har därför hög signifikans.

De analysdata som lagras i databasen har hämtats från olika källor där de redovisas på olika sätt och med olika mängdenheter: som rent grundämne eller som oxid, i procent eller parts per million (ppm). Detta medför att listan över analyserade element blir 170 kolumner lång, mycket längre än det periodiska systemet som innehåller 92 grundämnen, transuranerna oräknade. Eftersom detta är en rådatabas lagras informationen som den är skriven i källorna och bearbetas till ett gemensamt format i ett senare skede. Tabell 19, som är ett utdrag ur rådatabasen, visar de olika sätten att redovisa kisel, mangan, tantal och cerium.

Denna variation i att redovisa analyserade element går igen för de flesta ämnen. För att får ett gemensamt format på analysresultaten räknas samtliga analysdata om till ett gemensamt format. Samtliga ämnen redovisas som enskilt grundämne ($Ta_2O_5 \rightarrow Ta$ osv.) och i procent för huvudelementen och de vanliga malmelementen koppar, zink, bly etc. och ppm för övriga element.

Tabell 19. Utdrag ur databasen MALMKEMI-db.

Kisel	Mangan	Tantal	Cerium
SiO_2 %	MnO_2 %	Ta %	Ce ppm
Si %	MnO %	Ta_2O_5 %	Ce %
	Mn_3O_4	Ta_2O_5 ppm	CeO_2 %
	Mn %	Ta ppm	Ce_2O_3 %
	Mn ppm		

BILAGA 5. REGIONALGEOLOGISK ÖVERSIKT

Sveriges berggrund kan delas in i sex större, så kallade litotektoniska enheter (se figur 12) som skiljer sig genom vilka bergarter som dominerar inom enheten, deras bildningsålder och vilka senare geologiska händelser de utsatts för. Den ur malmgeologisk synpunkt viktigaste enheten är den svekokarelska orogenen (orogenes=bergartsbildande epok) där huvuddelen av bergarterna har en ålder på ca 2,0–1,8 miljarder år med malmer i bland annat Norrbotten, Skelleftefältet och Bergslagen. Andra större litotektoniska enheter är den svekonorvegiska orogenen (ca 1,1–0,9 miljarder år) och den kaledonska orogenen (0,5–0,4 miljarder år), den senare utgör den fjärde av Sveriges fyra klassiska malmdistrikt. Malmpotential finns även utanför dessa områden.

Svekokarelska orogenen

Stora delar av Sveriges berggrund bildades eller blev tektoniskt påverkad av den svekokarelska orogenesen, för 2,0 till 1,8 miljarder år sedan. Området kan delas in i ett antal underenheter där tre av enheterna utgör tre av Sveriges fyra klassiska malmdistrikt: Norra Norrbotten, Skelleftefältet och Bergslagen. Det är också inom dessa malmdistrikt som det idag finns aktiva gruvor. De andra underenheterna, Södra Norrbotten, Bottniska bassängen och Småland, saknar inte malmer och mineraliseringar men har aldrig utgjort betydande malmdistrikt (se figur 12)

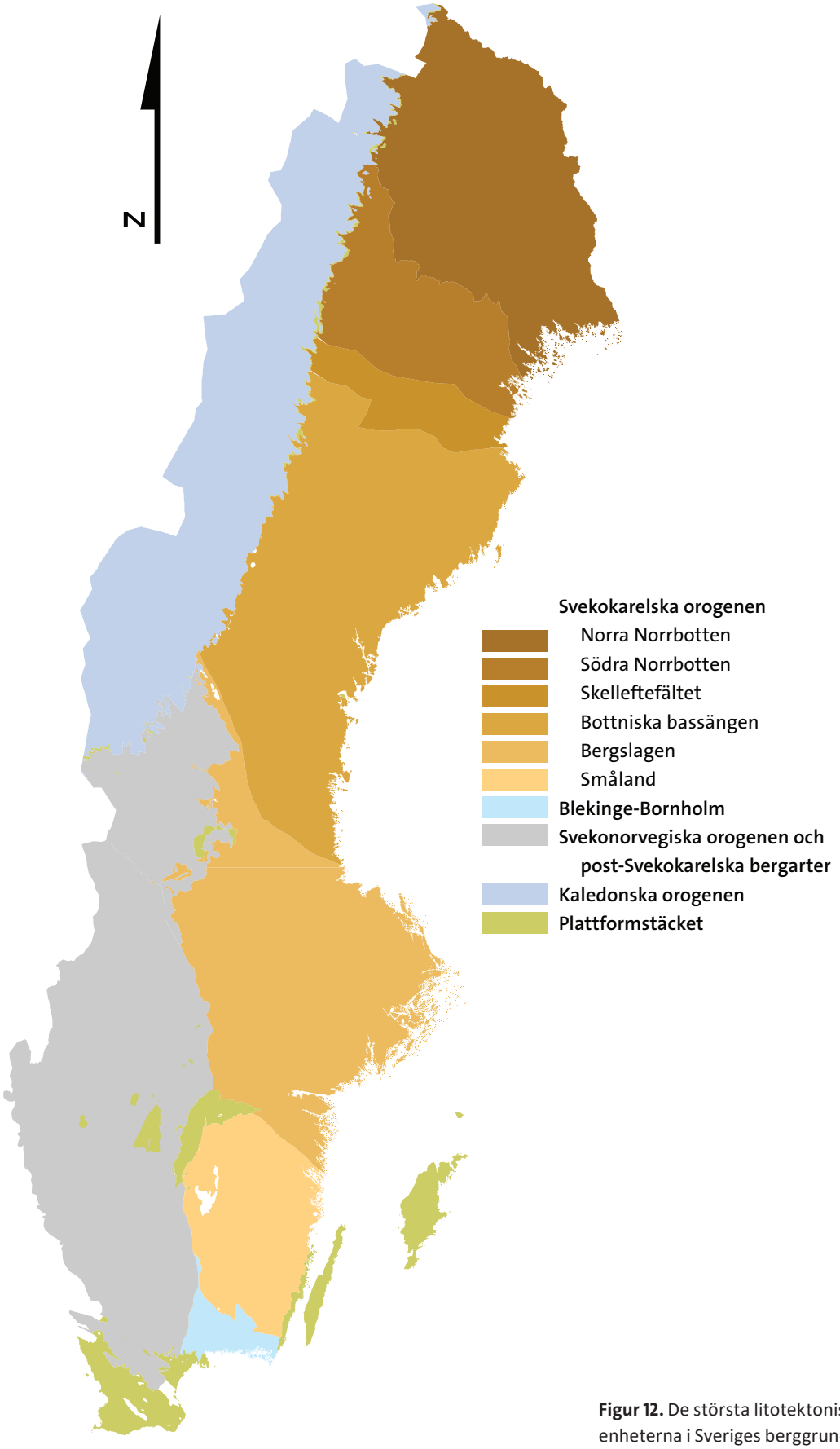
Isotopgeologiska undersökningar har visat att bergarterna i ***Norra Norrbotten*** vilar på ett underlag av arkeiska (= äldre än 2,5 miljarder år) graniter och gnejser. Allra längst i norr är de arkeiska bergarterna blottade, i övriga delen täcks de av metamorfoserade grönstensbälten, sedimentära bergarter, andra vulkaniska bergarter och granitoider. Större koppar och järnmalmer finns både inom grönstensbältena (Viscaria respektive Kaunisvaara) och i de yngre vulkaniska bergarterna (Aitik respektive Kirunavaara).

Södra Norrbotten har bergarter som påminner om de i Norra Norrbotten och Skelleftefältet, men skiljer sig från Norra Norrbotten i att det inte finns något påvisat arkeiskt underlag och från Skelleftefältet i att de vulkaniska bergarterna tycks ha avsatts på land och inte i en vulkanisk öbåge. Områdets mineraliseringar visar också andra kännetecken. Det finns ett flertal kopparmineraliseringar som består av finfördelad kopparmineralisering i vulkaniska bergarter eller granitoider. Området är också känt för sina uranmineraliseringar. Någon gruvdrift har inte bedrivits i modern tid.

Bergarterna i ***Skelleftefältet*** består av vulkaniska bergarter avsatt i vulkanisk öbågemiljö för 2,0 till 1,8 miljarder år sedan. Inom Skelleftefältet finns ett flertal massiva sulfidmalmer med basmetallerna koppar, zink och bly samt ädelmetallerna guld och silver, malmer som är typiska för vulkaniska öbågar. Inom Skelleftefältet finns också flera kända guldmalmer. Gruvdrift har pågått i snart hundra år och idag finns ungefär 150 kända basmetall och ädelmetallfyndigheter varav ca 30 har varit eller är i produktion idag.

Bottniska bassängen är som namnet antyder en stor havsbassäng som fylldes med sediment (gråvackor) för ungefär två miljarder år sedan. Mindre områden med vulkanisk aktivitet har bildat massiva sulfidmalmer och basiska bergarter med associerade koppar-nickel-koboltmineraliseringar i den norra delen av området. I områdets centrala delar finns pegmatiter med påvisade halter av litium och tenn. Den enda gruva som varit i drift i modern tid är Enåsen i den sydvästra delen av området.

I ***Bergslagen*** består de äldsta bergarterna av metamorfoserade gråvacker som avsattes för ungefär två miljarder år sedan. Under den svekokarelska orogenesen pågick en intensiv vulkanisk



Figur 12. De största litotektoniska enheterna i Sveriges berggrund.

aktivitet i området och denna vulkaniska aktivitet bildade de malmer som är kännetecknande för Bergslagen: skarnjärnmalmer, bandade järnformationer, sulfidmalmer som bildats genom reaktion med kalkstenar och zink-blymalmer som fälldes på havsbotten. Hydrotermalt omvandlade felsiska vulkaniska bergarter associerade med karbonat och kalk-silikatbergarter är vanliga värdbergarter till Bergslagens fyndigheter. I Bergslagen har gruvdrift pågått i mer än tusen år och idag känner vi till mer än 7 000 mineraliseringar med järn, 1 500 med basmetaller och 150 med andra metaller inklusive kritiska råmaterial.

Underenheten ***Småland*** domineras av granitoida bergarter tillhörande transskandinaviska magmatiska bältet. Inom mindre delar i områdets nordöstra och centrala delar finns metamorfoserade sedimentära och vulkaniska bergarter med mindre guld- och sulfidmineraliseringar. Någon gruvdrift har inte förekommit i modern tid.

Svekonorvegiska orogenen

Berggrunden i sydvästra delen av Sverige är påverkad av den svekonorvegiska orogenesen som ägde rum för ca 1,1–0,9 miljarder år sedan. Under kontinentkollision och bergskedjebildning genomgick delar av berggrunden högtrycksmetamorfos med bildning av eklogiter och högtrycks granuliter som följd. Inom orogenen finns äldre berggrund med spår av tidigare bergskedjebildningar bevarat. Några mera betydande malmer har inte brutits inom området.

Kaledonska orogenen

I samband med kollisionen mellan Europa och Nordamerika och stängningen av Iapetushavet under den kaledonska orogenesen (ca 490–390 miljoner år sedan) sköts olika bergartsenheter bestående av bland annat oceanisk skorpa, vulkaniska öbågar och sediment in över de äldre bergarterna i den fennoskandiska skölden. Viktiga malmer bildade under eller strax före den kaledonska orogenesen är massiva sulfidmalmer bildade i öbågemiljö samt bly-zinkmalmer som fyller porutrymmet i sandstenar. Möjligen är en del av kopparfyndigheterna av typen ”*sediment-hosted copper*”. Idag är ingen gruva i drift i områden men för några decennier sedan var Stekenjokk och Laisvall i drift.

BILAGA 6. NY PROVTAGNING AV BORRKÄRNOR OCH SANDMAGASIN

Provtagna och analyserade borrkärnor 2016–2017

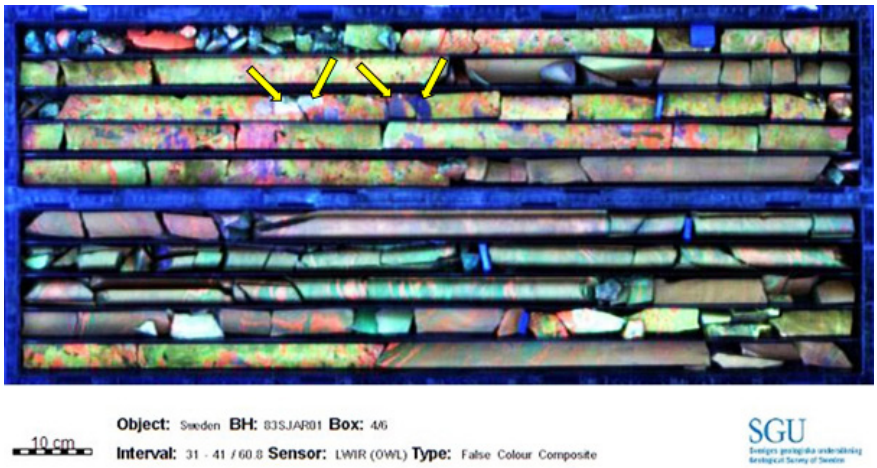
Som ett första steg för att bygga upp kunskap om primära källor av innovationskritiska metaller och mineral har SGU provtagit och analyserat noggrant utvalda borrkärnor vid SGUs borrkärnearkiv i Malå. Det är inte möjligt att analysera alla objekt i SGUs arkiv inom ramen för detta uppdrag, utan vi har gjort ett prioriterat urval.

I borrkärnearkivet i Malå finns enligt uppskattning mer än 3 miljoner meter borrkärna, tillgänglig för allmänheten, från mer än 18 000 borrhål. Kärnorna är samlade från mer än hundra års borrning och kommer från olika delar av Sverige. Borrkärnorna utgör en unik samling där många olika fyndighetstyper är representerade och arkivet är en viktig resurs som används av gruvbolag, prospekteringsbolag, forskare m.fl. Många borrkärnor i arkivet i Malå har inte varit föremål för detaljerade undersökningar tidigare och det bedöms som sannolikt att spår av nya, hittills oupptäckta mineralfyndigheter, inklusive innovationskritiska, kan finnas bland de stora volymerna i arkivet.

Inom SGUs borrkärneskanningsprojekt (2014–2016) har ett mycket omfattande nytt och modernt dataset producerats. Totalt har 233 000 meter (ca 1 600 borrkärnor), som täcker olika svenska mineraliseringar och malmtyper, fotograferats och skannats med infraröd hyperspektral teknik. Skanningsprojektet är unikt i sitt slag både vad gäller den stora volym borrkärna som skannats samt tekniken som använts. Med hjälp av skanningsdata kan man skapa en objektiv avbildning av företeelser som inte är synliga för ögat.

Skanningsdata tillsammans med SGUs mineralresursdatabas, Fennoskandiska fyndighetsdatabasen (FODD), SGUs databas MALM-db, digitaliserade prospekteringsrapporter, borrhålsloggar, beskrivningar och kartor utgör ett mycket bra underlag för att identifiera potentiella objekt som kan vara av intresse för det aktuella uppdraget. Initialt har vi därför fokuserat på att göra kemiska analyser på befintliga borrkärnor i Malå (se tabell 20).

Figur 13. En borrkärnelåda innehållande LCT pegmatit från Järkvissle. Röd markering visar sektioner som valts ut för kemisk analys. Analysresultat för utvalda element visas. Foto: Specim.



Figur 14. Samma låda som ovan, men fotograferad med IR kamera. Bilden är en så kallad *False Color Composite*-bild framställd med data från den långvågiga (LWIR) delen av det infraröda spektrumet. Litiummineralet spodumen (indikerat med gula pilar) kan identifieras i denna bild. Foto: Specim.

Tabell 20. Analyserade borrkärnesektioner

Objekt	Borrhål-ID	Lådnummer	Sektionsintervall
Allebouda	ALB79722	5	58,2–59,0
Bastnäsorten	EXTG371	7	52.00–53.00
Bastnäsorten	EXTG371	7	53.00–54.00
Bastnäsorten	EXTG371	8	58.00–59.00
Björntjärn	BJT71212	8	61,05–62,05
Björntjärn	BJT72209	6	46,53–47,53
Brännmyran	BRM57069	9	159.33–160.33
Brännmyran	BRM57069	9	160.33–161.33
Brännmyran	BRM57069	9	161.33–162.40
Brännmyran	BRM58106	12	201,4–202,4
Brännmyran	BRM58106	12	202,4–203,55
Båtens	BÅT86001	-	70–71
Båtens	BÅT86001	-	81,6–82,6
Dannemora	SVE3206	28	153–154
Dannemora	SVE3206	29	158–159
Dannemora	SVE3206	35	191–192
Dingelvik	DIN82002	11	133.48–134.73
Dingelvik	DIN82002	11	131,46–132,46
Dingelvik	DIN82002	11	132,46–133,48
Dingelvik	DIN82002	12	134,73–135,8
Dingelvik	DIN82002	12	135,8–136,8
Dingelvik	DIN82005	3	22.90–23.90
Dingelvik	DIN82005	3	24.40–25.40
Dingelvik	DIN82306	9	94.0–95.0
Ekströmsberg	EKS65803	10	106–107
Ekströmsberg	EKS68801	10	102–103
Ekströmsberg	EKS51003	3	80–81
Ekströmsberg	EKS51003	4	90–91
Ekströmsberg	EKS51003	5	116.8–117.8
Enåsen	END173	12	120.50–121.50
Enåsen	END173	13	126.25–127.25
Enåsen	END173	13	128.35–129.35
Falu gruva	FLU88012	3	20.60–21.45
Falu gruva	FLU88012	3	22.85–23.85
Falu gruva	FLU88012	4	30.50–31.50
Falu gruva	FLU88012	6	46.50–47.50
Gruvberget/Sumåsjön	SUM81005	3	23,5–24,5
Gruvberget/Sumåsjön	SUM81005	3	24,5–25,5
Gråberget	GRT76008	17	181.6–182.6
Grängesberg	GMD82601	1	6.45–6.85
Grängesberg	GMD82601	1	6.95–7.25
Grängesberg	GMD82601	1	7.95–8.25
Grängesberg	GMD86825	10	74.50–75.50

Tabell 20. Forsättning.

Objekt	Borrhål-ID	Lådnummer	Sektionsintervall
Grängesberg	GMD86825	10	75.50–76.25
Harmsarvet	HMR008	8	64.85–65.85
Harmsarvet	HMR008	8	69.9–70.85
Henneviken	HEN83003	2	19.5–20.5
Henneviken	HEN83003	2	20.5–21.5
Henneviken	HEN83003	2	21.5–22.5
Hornkullen	HRK86001	14	158,40–159,8
Hournaisenvuoma	HUO86052	23	264.0–264.45
Hournaisenvuoma	HUO86052	23	264.45–265.55
Hournaisenvuoma	HUO86052	23	265.55–267.0
Hournaisenvuoma	HUO86052	23	267.0–267.6
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	44.6–45.45
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	45.45–46.45
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	46.45–47.45
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	47.45–48.5
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	48.5–49.2
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	49.2–50.2
Hournaisenvuoma	HUO86061	4	50.20–51.20
Hournaisenvuoma	HUO86063	5	58.0–59.0
Iekelvare	IEK75002	12	126,7–128
Iekelvare	IEK75002	14	154–155
Iekelvare	IEK75004	2	20–21
Iekelvare	IEK75004	6	58–59
Jervas	JER50003	9	88,31–89,31
Jervas	JER50003	9	89,31–90,16
Järkvissle	83SJAR01	4	33,0–34,0
Järkvissle	83SJAR01	4	34,0–35,0
Järkvissle	83SJAR03	3	31,6–32,6
Järkvissle	83SJAR06	2	18.30–19.30
Järkvissle	83SJAR06	2	21.30–22.30
Kiskamavaara	KIS75001	6	60.4–61.4
Kiskamavaara	KIS77007	9	94.0–95.0
Kiskamavaara	KIS80004	4	48.0–49.0
Kiskamavaara	KIS80004	4	49.0–50.5
Kiuri	84SKIU37	7	66,0–67,0
Kiuri	84SKIU37	7	67,0–68,0
Kläppsjö	KLP88101	1	3.5–4.5
Kläppsjö	KLP88101	1	4.5–5.5
Kläppsjö	KLP88101	1	5.5–6.5
Kläppsjö	KLP88101	1	6.5–7.5
Kläppsjö	KLP88101	2	17.5–18.41
Kläppsjö	KLP88101	3	18.41–19.5
Kläppsjö	KLP88101	3	19.5–20.5

Tabell 20. Forsättning.

Objekt	Borrhål-ID	Lådnummer	Sektionsintervall
Laisvall	LAQ34	5	94.00–95.00
Laisvall	LAQ34	6	113.50–114.65
Laisvall	LAQ34	6	114.65–115.65
Lappvattnet	LPV75002	7	98.43–90.43
Lappvattnet	LPV75002	7	90.43–91.23
Lappvattnet	LPV75002	7	91.23–92.30
Lappvattnet	LPV75002	7	92.3–93.18
Lappvattnet	LPV75002	7	93.18–94.18
Lappvattnet	LPV75004	13	152.6–154.14
Lappvattnet	LPV75004	13	154.14–154.48
Lappvattnet	LPV75004	13	154.48–154.87
Lappvattnet	LPV75004	13	154.87–155.37
Lappvattnet	LPV75004	13	155.37–155.57
Lappvattnet	LPV75004	13	155.57–156.21
Lappvattnet	LPV76001	11	131.38–132.19
Lappvattnet	LPV76001	11	132.19–132.47
Leja	LEJ81010	4	44,0–45,0
Leja	LEJ81010	4	45,0–46,0
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	6	91.76–92.76
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	6	92.76–93.76
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	6	93.76–94.76
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	7	94.76–95.76
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	7	95.76–96.76
Lindsköld–Kourbevare	LSK047	7	96.76–97.76
Lulepotten	LUL64201	3	29.13–30.13
Lulepotten	LUL64201	3	30.13–31.13
Lulepotten	LUL68207	6	67.69–68.69
Lulepotten	LUL68208	10	119.3–120.15
Lulepotten	LUL78211	13	141.95–143.25
Lulepotten	LUL78211	13	144.8–145.8
Lulepotten	LUL78211	13	145.8–146.8
Lustigkulla	LGK79009	?	225,85–226,9
Lustigkulla	LGK79009	?	226,9–227,9
Lövstrand	LOV283	1	21.00–22.00
Lövstrand	LOV283	1	16,95–18,25
Mangen	MNG72001	?	40,78–41,86
Masugnsbyn	MAS67515	11	130–131
Maurliden	MAU58103	2	43.64–44.64
Maurliden	MAU58103	4	67.00–68.00
Myrviken	MYR78003	5	53.44–54.40
Myrviken	MYR78003	5	55.50–56.50
Myrviken	MYR78003	6	64.05–65.05
Nautanen	NAU70005	6	58.71–59.63

Tabell 20. Forsättning.

Objekt	Borrhål-ID	Lådnummer	Sektionsintervall
Nautanen	NAU70005	6	60.24–61.47
Nautanen	NAU83002	4	40.7–41.7
Nautanen	NAU83002	4	41.7–42.7
Nautanen	NAU83002	4	42.7–43.7
Nautanen	NAU83012	16	180.2–181.6
Pahtohavare	PAH88057	5	60.7–62
Pahtohavare	PAH88057	5	63.4–64.5
Pahtohavare	PAH88057	5	64.5–65.5
Persberg	EXTS124	2	11.00–12.00
Persberg	EXTS124	3	25.00–26.00
Puolalaki	PNO98009	8	47,7–48,7
Puolalaki	PNO98029	6	40,1–41,2
Ramundberget	RMU75012	1	5.5–6.5
Ramundberget	RMU75012	1	6.5–7.5
Routevare	ROU71009	9	100,0–101,0
Rävliden	RAV002	27	334.67–335.48
Rävliden	RAV002	27	335.46–336.48
Rävliden	RAV002	27	339.00–340.00
Rävliden	RAV002	27	340.00–341.00
Rävlidmyran	RVM103	6	109.25–110.25
Rävlidmyran	RVM103	6	110.25–111.25
Rörmyrberget	ROR80004	29	328.41–329.41
Rörmyrberget	ROR80004	29	329.41–330.60
Rörmyrberget	ROR80004	30	335.77–336.77
Rörmyrberget	ROR80008	17	194.00–195.00
Rörmyrberget	ROR80008	17	195.00–196.00
Sautusvara	SAU67705	27	294.5–295.5
Saxå	SAX91005	3	11,91–12,9
Saxå	SAX91005	3	16,2–17,2
Silvberg	SIL009	6	53.65–54.65
Silvberg	SIL009	6	55.4–56.5
Silvberg	SIL009	9	86,0–87,0
Silvberg	SIL009	9	89,3–90,3
Silvberg	SIL009	9	90,3–91,3
Stekenjokk	STE68005	26	290.50–291.50
Stekenjokk	STE68005	27	302.00–303.00
Stekenjokk	STE68005	28	304.00–305.00
Stollberg (Lustigk)	LGK79007	32	243.16–244.0
Stollberg (Lustigk)	LGK79007	37	279.75–280.75
Storliden	SLI03702	3	15,87–16,8
Storliden	SLI03702	3	16,8–17,8
Storliden	SLI03703	4	18,5–19,7
Storliden	SLI03703	4	19,7–20,7

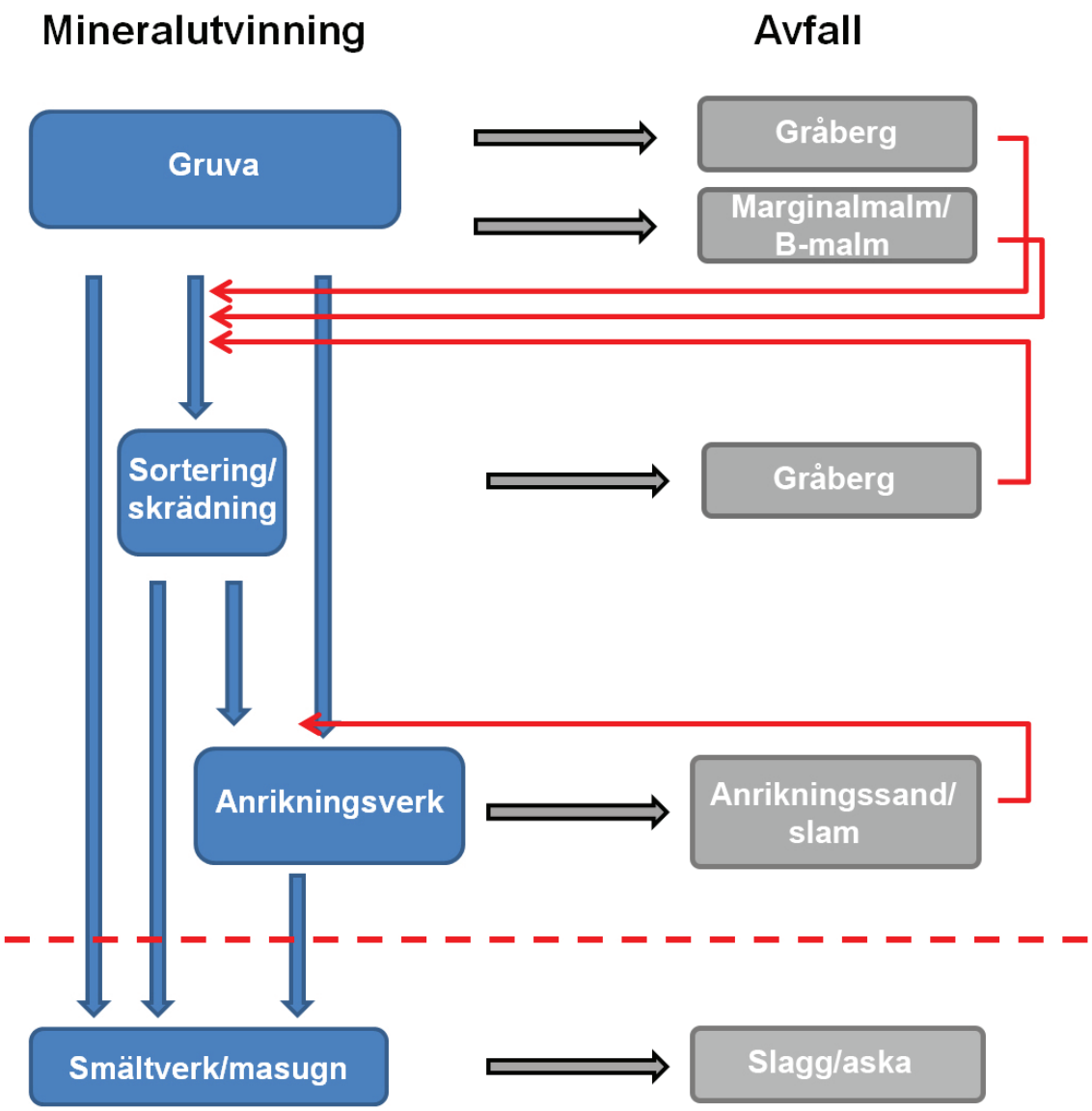
Tabell 20. Forsättning.

Objekt	Borrhål-ID	Lådnummer	Sektionsintervall
Storliden	SLI03703	4	21,0–22,0
Stråssa	EXTO707	16	144–145
Stråssa	EXTO707	22	203–204
Svärtträsk	SVT77009	5	44.6–45.6
Svärtträsk	SVT77009	5	45.6–46.6
Sylarna	SYL77002	2	24,3–25,2
Ultevis	ULT013	10	137.1–137.6
Vargisträsk	VRG68001	12	130.45–131.45
Vargisträsk	VRG68005	7	80.7–81.7
Vingesbacke	GHV041	36	319.5–320.5
Vingesbacke	GHV041	36	323–324
Vingesbacke	GHV041	37	325.5–326.5
Vingesbacke	GHV042	33	333,3–334,3
Vingesbacke	GHV042	35	351,69–352,69
Viscaria	VIS3831	14	151.10–152.0
Viscaria	VIS3831	14	152.0–153.0
Viscaria	VIS4698	2	14.20–15.20
Viscaria	VIS4698	2	15.20–16.00
Viscaria	VIS4698	3	19.25–20.21
Viscaria	VIS4698	3	20.57–21.00
Viscaria	VIS6474	5	38.84–40.10
Viscaria	VIS6474	5	40.10–41.40
Viscaria	VIS6474	5	41.40–42.30
Viscaria	VIS6474	5	42.30–43.30
Vuolep Räskevare	VLP86006	4	41.15–42.15
Vuolep Räskevare	VLP86010	4	39.3–40.3
Yxsjöberg	FD007	9	64.0–65.0
Yxsjöberg	FD007	9	67.0–68.0
Yxsjöberg	FD007	9	70.0–71.0
Yxsjöberg	FD010	23	173,3–174,3
Yxsjöberg	FD010	23	174,3–175,3
Yxsjöberg	KD002	10	93,0–94,0
Yxsjöberg	KD002	10	94,0–95,0
Yxsjöberg	KD004	4	37.70–38.70
Yxsjöberg	KD004	4	38.70–39.70
Yxsjöberg	KD004	4	39.70–40.70
Yxsjöberg	YXS81020	9	68,1–69,4
Åggojaure	AGG80005	6	45.9–46.9
Älgsjöhöjden/Fredriksberg	ALG84005	-	38,65–39,30
Älgsjöhöjden/Fredriksberg	ALG84005	-	51,8–52,3

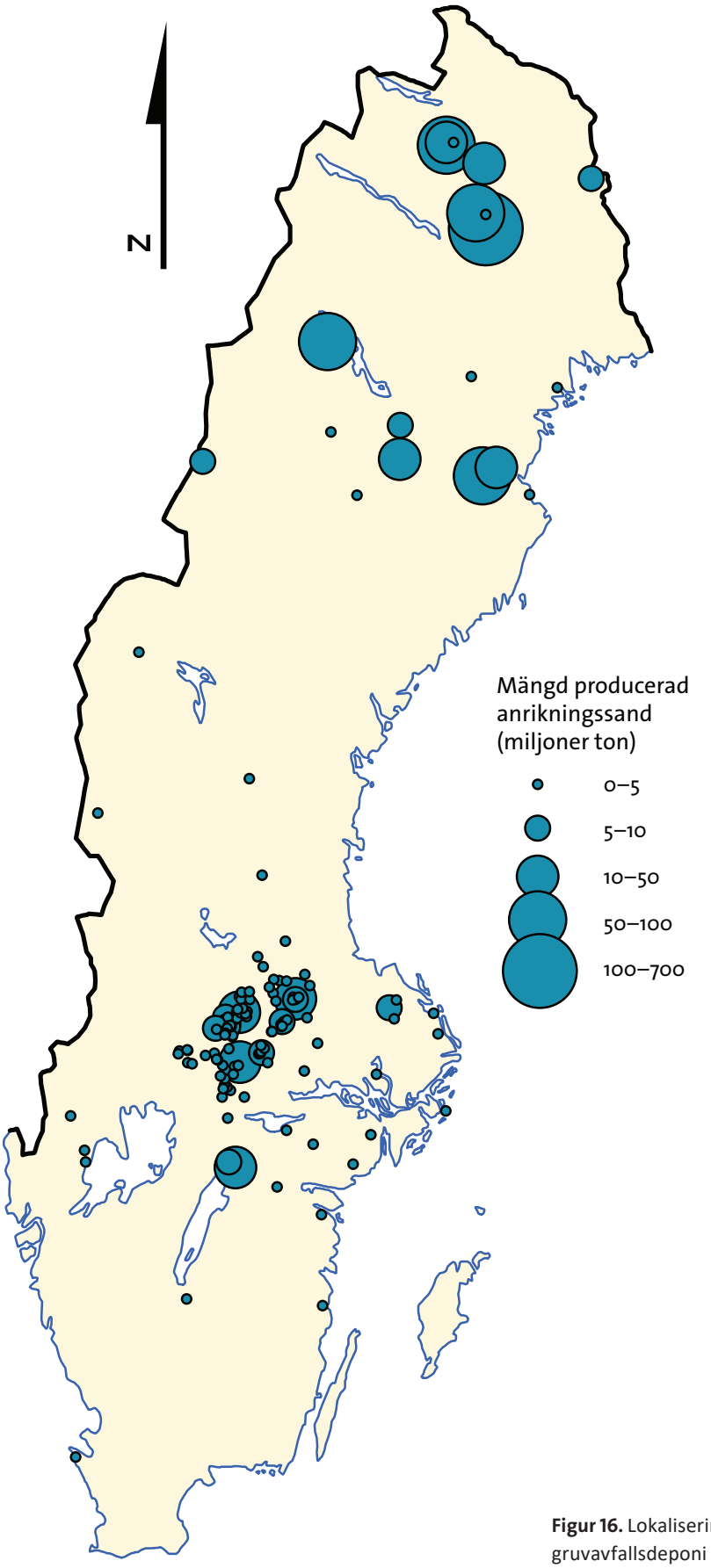
Gruvavfall

Miljontals ton malm samt gruvavfall i form av gråberg och avfallssand produceras årligen i Sverige. Så långt tillbaka som det finns statistiska data (ca 1830-talet) har svenska gruvor totalt producerad 3 344 miljoner ton malm (SGU MALM-db). Av detta dominerar järnmalm (67 procent), basmetaller (32 procent, huvudsakligen koppar, bly och zink men också mindre mängder kobolt och nickel). Ädelmetaller och silver utgör 1 procent. En mindre mängd, ca 0,16 procent, består av bland annat volfram och molybden samt industrimineral som grafit, flusspat och andalusit.

Gruvavfall är det avfall som genereras vid utvinning av malm i en gruva samt det avfall som genereras vid anrikning av malm i ett anrikningsverk (se figur 15). Figur 16 visar mängd producerad anrikningssand. Även andra typer av avfall kan genereras vid gruvverksamhet, exempelvis lösmassor som kan bestå av morän, jord, sand och grus som måste tas bort för att avrymma och blottlägga berggrunden inför brytning, men mängderna av detta avfall är i de flesta fall försumbara.



Figur 15. Schematisk figur som illustrerar relationer mellan mineralutvinning och olika typer av avfall.



Figur 16. Lokalisering och tonnage till svensk gruvavfallsdeponi (sandmagasin).

Avfall från själva gruvan

Avfall som genereras vid själva malmbrytningen kallas gråberg (eng. *"waste rock"*). Det består huvudsakligen av sidoberg till malmen som måste tas bort för att komma åt själva malmkroppen. Materialet kan till exempel inkludera gråbergsmaterial från tunnel och ortdrivning eller yttre delar av dagbrott som tagits bort för att blottlägga malmen. Fattigare delar av malmen och svagt mineraliserad berg, så kallad marginalmalm som ansågs sub-ekonomisk vid tiden för brytning kan också finnas i gråbergsupplag, men vid några gruvor har detta materialet deponerats separat från gråberg för eventuell senare processering. Mer moderna och effektivare anrikningsprocesser i kombination med perioder med höga metallpriser gör att sådant material potentiellt kan processeras med vinst. Materialet kan också användas för att utnyttja perioder med överkapacitet i anrikningsverket.

Även rester från sortering av grovt krossad malm, så kallat sovringsavfall, kan finnas i gråbergsdeponiet och ibland har bitar av själva malmen hamnat i gråbergsupplaget. Gråberget består generellt av grövre material som stenar och block med en mindre mängd finmaterial. Det låga ekonomiska värdet på gråberg gör att det sällan har deponerats på någon större avstånd från gruvan, utan det hittas oftast i gruvans omedelbara närhet. Ofta används gråberg till att bygga vägar och dammar inom gruvområdet samt för att återfylla utbrutna gruvrum. I vissa fall har materialet användningspotential som makadam och ballast också utanför gruvområdet.

Eftersom gråberg består av grövre material och kan vara mycket heterogent till sin sammansättning är det nästan omöjligt att utföra en provtagning som ger en statistiskt pålitlig uppskattning av materialets metallinnehåll (Sädbom och Bäckström 2018; bilaga till denna rapport).

Det finns idag ett statistiskt underlag för mängd producerad gråberg från drygt 600 gruvor och gruvområden. Utöver det finns uppgifter om det geografiska läget för ytterligare 10 000 gruvor och gruvhål som stängt innan statistik över producerat gråberg började föras i slutet av 1800-talet.

Avfall från anrikning

Gruvavfall som genereras vid anrikning brukar kallas anrikningssand (eng. *"tailings"*). Materialet är restprodukt efter att malmen genomgått någon form av mekanisk, gravimetrisk eller kemisk process för att koncentrera de ekonomiskt intressanta mineralen. Avfallssanden deponeras i ett sandmagasin som oftast är ett vattenfyllt magasin eller en dam i närheten av anrikningsverket. Vanligtvis innebär anrikningen att malmen först krossas, grovsorteras och mals ner till en lämplig kornstorlek. Därefter används en process, eller en kombination av processer, som är anpassad till den aktuella malmtypen.

För de flesta sulfidmalmer, men även andra malmtyper, kan flotation vara en lämplig metod. Vid flotation blåses luft in en blandning av vatten, kemikalier och finmald malm. Malmen måste vara mald ner till en passande kornstorlek (eng. *"liberation-size"*) så att individuella mineralkorn frigörs. Kombinationen av malmmineralens ytegenskaper och effekten av kemikalierna gör malmineralmineralkornen hydrofoba och medför att luftbubblor fastnar på dem och lyfter dem till ytan som ett skum som kan skrapas av. Mineralen som luftbubblorna inte fastnar på blir kvar i flotationskärlen och deponeras som avfall i sandmagasinet.

Ingen anrikningsprocess är 100 procent effektiv. Begreppet utbyte används för att ange kvoten mellan den mängd metall som tas tillvara genom anrikningen och mängden metall som fanns i den ingående malmen. Utbytet kan variera stort mellan olika maltyper, mellan olika anrikningsverk, men även inom samma anrikningsverk över tid. Generellt medför teknikutveck-

Figur 17. Varphög och anrikningssand. Tomtebo. Foto: Helge Reginiussen.

Figur 18. Sandmagasinet vid Bäckegruvan i Riddarhyttefältet. Foto: Helge Reginiussen.

lingen att utbytet förbättrats allt eftersom mer effektiva anrikningsprocesser utvecklats, vilket innebär att äldre sandmagasin har potential för att innehålla högre halter av metall än yngre. Denna effekt förstärks ytterligare av att teknikutvecklingen över tid också har inneburit lönsam utvinning av malm med successivt lägre halter av ekonomiska mineral.

Om det finns statistik på ingående malmtonnage till anrikningsverket och uppgifter på mängden av producerat koncentrat, eller uppgifter om metallhalter och utbyte, så är det möjligt att uppskatta metallinnehållet i magasinet. När det gäller vilket tonnage som slutar som anrikningssand eller mineralkoncentrat så är det stora skillnader mellan olika malmtyper. För många låghaltiga sulfidmalmer (till exempel *”porphyry-type”* kopparfyndigheter som i Aitik) och guld-

Figur 19. Översiktsbild av gruvområdet i Stråssa, med sandmagasin, anrikningsverk och dagbrott. Foto: Google Earth.

malmer blir endast en liten fraktion av malmen mineralkoncentrat. Resterande blir anrikningssand som antigen deponeras i sandmagasin, eller i några fall brukas som återfyllning (eng. *"back-fill"*) i gruvan. När det gäller svenska massiva polymetalliska sulfidmalmer så är det stora variationer, men ett riktmärke kan vara att ungefär 20 procent blir mineralkoncentrat och 80 procent blir anrikningssand (SGU 2014). Under anrikning av apatitjärnmalmer med hög järnhalt kan flotation användas för att ta bort störande apatit och resultatet blir då att anrikningssanden utgör en betydlig mindre andel än koncentratet.

Oftast är anrikningsverket optimerad för mineral som innehåller huvudmetallen och medför att förlusten är störst för biproduktmetaller, särskilt om dessa förekommer i separata mineral och inte ingår i samma mineral som huvudmetallen. Generellt så är förlusten i anrikningsprocessen som generar avfallssand oftast större än förlusten till slagg (Mudd m.fl. 2014). Beroende på vilken malmtyp avfallssanden härstammar från i kombination med vilken anrikningsmetod som använts, så kan den potentiellt också innehålla miljöskadliga och giftiga ämnen. Exponering av avfallet till syre och vatten kan medföra urlakning av metaller, så kallad "*Acid Rock Drainage*" med risk för föroreningar.

Som regel ligger anrikningsverket och den deponerade anrikningssanden i nära anslutning till den gruva där malmen utvanns, men det finns åtskilliga exempel där malm fraktats flera kilometer till ett centralt anrikningsverk som anrikat malm från olika gruvor i olika kampanjer. Avfallssanden i sandmagasinet härstammar då från flera fyndigheter med olika karakteristika och kan ha komplex sammansättning som reflekterar detta. Avfallssandens totala metallinnehåll är därmed en kumulativ avspegling av de ingående malmernas sammansättning, halt och tonnage samt effektiviteten och utbytet till de olika processeringsmetoderna. Sekundära processer, det vill säga olika sedimentära och kemiska processer som har ägt rum i sandmagasinet efter deponering kan också påverka sammansättningen. Materialet i sandmagasinet kan, precis som

Figur 20. Sandmagasin med stratifierade lager. Bastkärn. Foto: Helge Reginiussen.

naturlig sedimentärt material, under och efter avsättning genomgå sedimentära processer samt erosion som kan förändra och omfördela materialet. Vattnets påverkan kan ha distribuerat om metaller.

Ovan nämnda faktorer relaterad till produktion, anrikning, processering och utvinning av huvudmetall och biprodukt har medfört att, i tillägg till huvudmetaller så har en okänd, men sannolikt stor mängd CRM deponerats som avfall i sandmagasin. Denna slutsats stöds bland annat av studier från Kanada som har visat att gruvavfall kan ha potential att innehålla betydande mängder kritiska metaller och att återvinning av gruvavfall tillsammans med återvinning från elektronikskrot kan bli en viktig framtida källa för till exempel indium (Werner m.fl. 2015). Även om återvinning inte kan ersätta primärproduktion (EASAC, 2016), så har detta fördelar ur miljösynpunkt och kan vara ett komplement till primär produktion.

Anrikningssand är i princip en utarmad malm, den är relativt finkornig och en viss homogenisering av materialet har skett under anrikningsprocessen. Sanden kan vara ekonomiskt intressant på grund av sin homogenitet i kombination med att det ofta är stora tonnage. En komplicerande faktor när det gäller provtagning och karakterisering av sandmagasin är att det kan förekomma laterala och vertikala variationer i magasinets sammansättning (se figur 21) som är resultat av variationer i det deponerade materialets sammansättning, avsättningsprocesser samt sekundära processer. Inom ett och samma sandmagasin kan kornstorleken på materialet variera från grov sand till finmjäla, men även leriga partier kan förekomma.

Provtagning av sandmagasin i Bergslagen

En förteckning över provtagna och analyserade sandmagasin i Bergslagen finns i figur 30. Vi understryker att provtagningen hittills är av rekognoserande karaktär, vi har endast utfört ytprovtagning av sandmagasinen och har inte borrat för att provta djupare delar av magasinen. Resultat från provtagning och analys ger dock indikationer och grund för eventuella uppföljningar.

För att möjliggöra en noggrannare och mera statistiskt representativ provtagning har SGU anlitad Bergskraft Bergslagen AB för framtagande av en manual som beskriver en provtagningsmetodik för gruvavfall. Bergskraft Bergslagen AB har lång erfarenhet av provtagning av gruvavfall från olika gruvområden i Bergslagen och rapporten beskriver strategier för provtagning av gruvavfall med ambitionsnivåerna regional och lokal detaljgrad (Sädbom & Bäckström 2018).

Flera av de provtagna sandmagasinen innehåller stort tonnage som kan ha potential för att innehålla kritiska metaller. Vi betonar att i detta projekt så är inte primärt fokus att evaluera eventuella ekonomiska och tekniska aspekter relaterade till utvinning från sandmagasin, utan vi har varit inriktad på att dokumentera halter och potentiellt innehåll av kritiska mineral som kan utgöra en möjlig råvarubas i framtiden. Det understrykes dock att de ekonomiska och tekniska faktorerna för utvinning är extremt viktiga, och avgörande för huruvida utvinning kommer att vara möjligt eller ej. Innan eventuell återvinning kan komma på tal måste en noggrann karakterisering av sandens mineralogi och textur göras, samt utredning av möjliga processerings- och utvinningsmetoder.

Provtagning – strategi

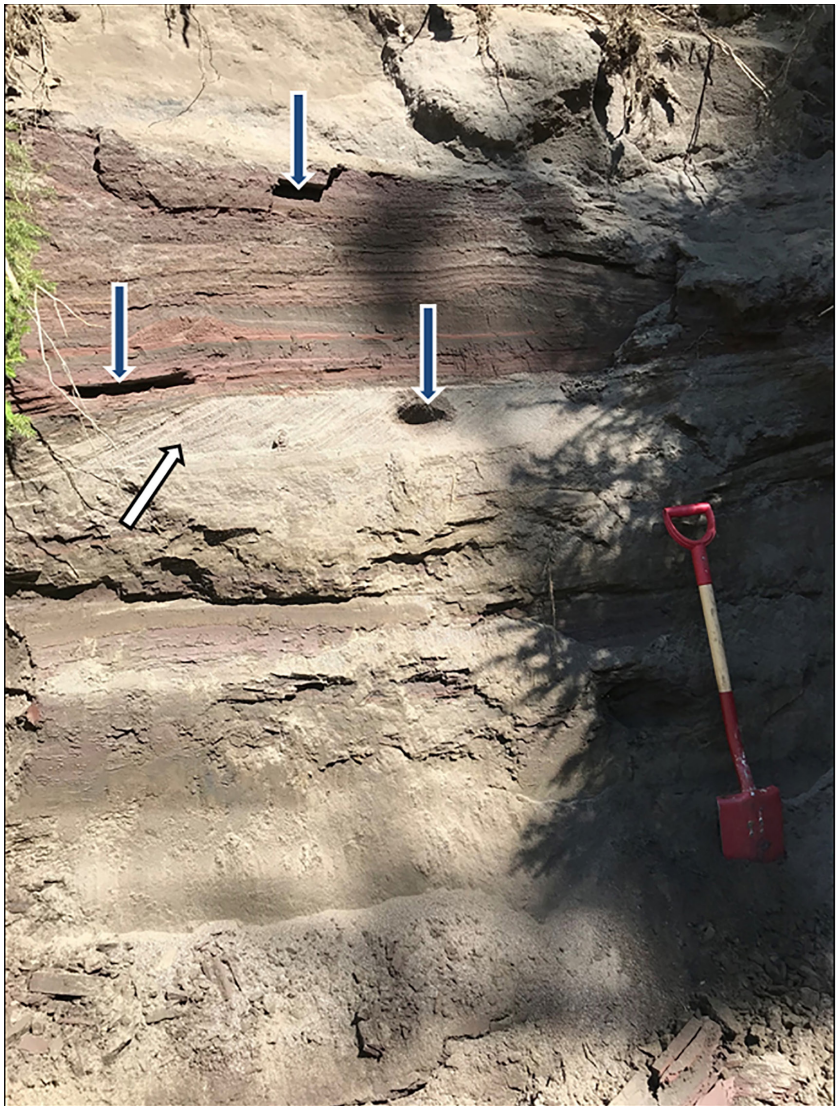
Tack vara äldre gruvstatistik har vi idag relativt god kännedom om de metaller som har utvunnits i svenska gruvor: Fe, P, S och Mn i järnmalmer, Cu, Zn, Pb, Au, Ag i icke-järnmalmer samt en del andra metaller och mineral som bland annat W, Ni och grafit. Vi vet däremot lite om eventuella övriga metaller som finns/fanns i malmerna. En snabb och kostnadseffektiv metod för att få kunskap om förekomst av andra metaller än de som finns upptagna i malmstatistiken är att genomföra en översiktlig provtagning (eng. *”random sampling”*) av sandmagasin. Eftersom utbytet vid anrikning aldrig når 100 procent så kommer en viss del av metallerna som fanns i malmen att finnas i anrikningssanden, malmens metallsignatur finns bevarad. Dessutom kan anomala halter av andra metaller snabbt identifieras. Den information som erhålls från en översiktlig provtagning räcker inte till för att göra beräkningar av mineraltillgångar, men ger en fingervisning för fortsatta grundligare undersökningar

Provtagning – metodik

Information om anrikningsverk, deras ungefärliga läge, mängd och halt på den malm som anrikats och producerad mängd koncentrat och malmens ursprung är digitaliserad från:

- Bergshanteringen, 1833–1977
- Bergverksstatistik, 1977–2017

Ytterligare information har digitaliserats från skrifterna ”Bergmästarens relationer” från flera bergmästardistrikt. Även information i de enkätsvar från gruvbolag, som ligger till grund för SGUs Bergverksstatistik har digitaliserats.



Figur 21. Genomskärning av stratifierad anrikningssand, Åsboberg. Det förekommer tydlig stratifiering mellan lager med olik kornstorlek. Sedimentära strukturer, bland annat korsskiktning och graderad lagring är synlig i sandigt lager (vit pil). Blå pilar visar uttag av material för kemisk analys. Foto: Helge Reginiussen.

Det exakta läget för anrikningsverk och tillhörande sandmagasin har erhållits från digitala data från Lantmäteriet och SGU:

- GSD-Fastighetskartan
- GSD-Höjddata
- GSD-Ortofoto
- SGUs mineralresursdatabas
- SGUs malmdatabas

Med hjälp av denna informationen har läget för anrikningsverk samt utbredningen av sandmagasin kunnat bestämmas för ungefär 140 sandmagasin, de flesta i Bergslagen. Dessa data har använts för att planera provtagningskampanjer.

Figur 22. Provtagning med jordborr på sandmagasin i Bredsjö. Foto: Anders Hallberg.

Provtagningen har i samtliga fall utförts med spade eller handhållen jordborr (se figur 22 och 23). Proven har tagits i delar av sandmagasinen som för ögat ser relativt ostörda ut. Detta eftersom många sandmagasin idag används för verksamheter som kan ha påverkat anrikningssanden, som motocrossbanor, golfbanor, fågelsjöar eller annat. Vid provpunkten har en ungefär 60 cm djup grop grävts eller borrats, detta för att komma ner till ovittrat material och för att undvika organiskt material i provet – i stort sett samma metod som för moränprovtagning. I vissa fall, där tidigare grävningar har blottat djupare horisonter i sandmagasinet, har prov tagits där. Vid provtagningen har på provplatsen ca 1–2 kg anrikningssand tagits och provnummer, koordinater i SWEREF99TM, provdjup, färg på provet och kornstorlek har antecknats, provpåsen märkts med provnummer.

Ambitionen har varit att ta tre eller fler prov vid varje sandmagasin för att få en viss överblick över provens variation i sammansättning, men ibland har färre prov tagits vid oansenliga sandmagasin. En del sandmagasin, framförallt de som innehåller anrikningssand från anrikning av sulfidhaltig malm, har återställts genom att magasinet täckts med morän, rötslam eller annat. Detta omöjliggör provtagning med de enkla redskap som beskrivs ovan, men i en del av dessa sandmagasin har platser med otillräcklig täckning av morän eller där skred och erosion öppnat fickor där anrikningssanden blottats, kunnat provtas.

Efter varje provtagningskampanj har en mindre del av provet tagits ut för analys. Detta material har lufttorkats, paketerats i plastpåsar och därefter sänts till kommersiellt laboratorium för analys tillsammans med standardprov. Referensmaterial från samtliga prov har sparats för framtida fördjupade undersökningar.

Figur 23. A och B. Provtagning av avfallssand vid sandmagasin i Kanntorp. Foto: Helge Reginiussen.

Figur 24. A och B. Provtagning av sandmagasin vid Sätra. Foto: Helge Reginiussen.

Figur 25. A och B. Provtagning av anrikningssand med jordborr. Foto: Helge Reginiussen.

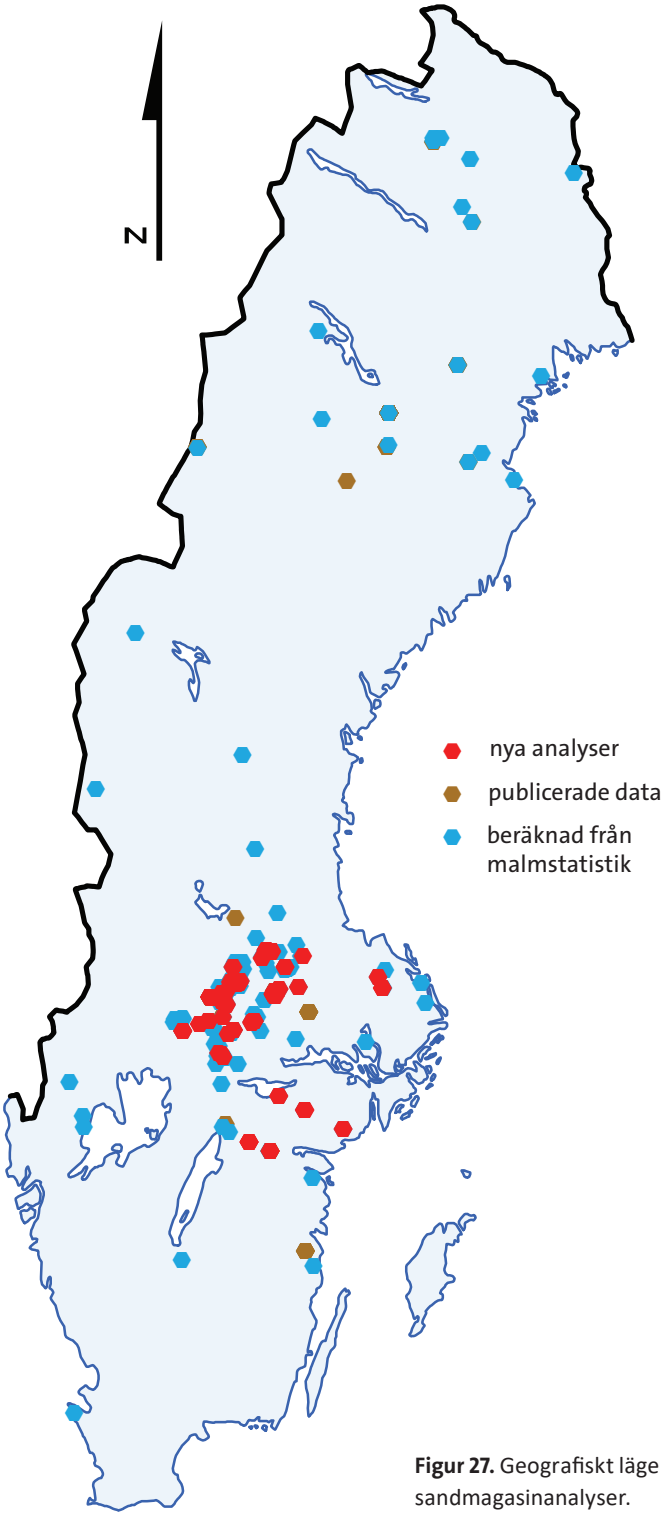
Figur 26. Torkning av sand från provtagna sandmagasin. Foto: Helge Reginiussen.

Provtagna och analyserade sandmagasin

Ett antal sandmagasin i Bergslagen har provtagits och analyserats i projektet (figur 27 med tillhörande lista). Vi understryker att provtagningen hittills är av rekognoscerande karaktär, vi har endast utfört ytprovtagning av sandmagasinen och har inte borrat för att provta djupare delar av magasinen. Resultat från provtagning och analys ger dock indikationer och en grund för eventuella uppföljningar.

Provtagna sandmagasin 2016–2018 (nya analyser)

Andersbenning
Asköfältet
Baggetorp
Bastkärn
Blötberget
Bodåsgruvan
Bredsjö
Bålsjö
Bäckegruvan
Dannemora
Förola
Grängesberg
Håksberg
Intrånget
Kalvsbäcken
Kantorp
Kaveltorp
Källfallet
Lekomberg
Lövsvedgruvan
Lövåsen
Mimer
Nyberget
Persberg
Pershyttan
Ramhäll
Sikfors
Sköttgruve-Mossgruvefälten
Stollberg
Striberg
Stripa-Guldsmedshyttan
Stråssa
Sätra
Tomtebo
Tuna Hästberg
Yxsjöberg
Åsboberg
Östanmossen



Figur 27. Geografiskt läge för sandmagasinanalyser.

BILAGA 7. FÖREKOMSTER AV ETT URVAL KRITISKA METALLER OCH MINERAL

Här följer en kort sammanställning av ett antal kritiska metaller och mineral med fokus på fyndighetstyper, användningsområde och produktionsland. Även ett antal svenska fyndigheter är beskrivna.

Antimon (Sb)

Antimon är ett sällsynt grundämne med en genomsnittlig halt i jordskorpan på 0,2 ppm (Rudnick & Gao 2003). Stibnit (Sb_2S_3) är det vanligast förekommande antimonmineral med potential för ekonomisk utvinning. Antimon finns också i små mängder associerad med vissa ädel- och basmetallmalmer och utvinns också som biprodukt från produktion av dessa. Kina dominerar den globala antimonmarknaden med en gruvproduktion på 78 procent. Kina har dessutom världens största tillgångar (USGS 2018). EUs konsumtion av antimon är ca 18 000 ton per år (EU-kommissionen 2017b). Viktigaste användningsområden är i flamskyddsmedel och batterier. Antimon används också till produktion av plast, glas och pigment.

Sverige: Potential i Sverige finns i Sb-anomala massiva sulfidförekomster bland annat i Skelleftefältet och Bergslagen.

Baryt

Baryt är ett bariumsulfatmineral med kemisk beteckning $BaSO_4$. Mineralet har hög densitet (4,5), är inert och icke-toxisk. Barytförekomster kan klassificeras i tre huvudtyper: stratiform, ”vein” och residual. Stratiforma fyndigheter är den viktigaste källan till industriell baryt. Dessa bildas via utfällning av baryt på havsbottnen ofta associerad med massiva sulfidmineraliseringar. Huvudsaklig användning av baryt är som tillsats i borrvätska i olja- och gasindustrin. Baryt och bariumföreningar används dessutom som tillsats i gummi, målarfärg, keramiska produkter, glas, betong och medicinska produkter med mera. Kina (44 procent) är största producentland följt av Indien, Marocko, USA och Kazakstan (EU-kommissionen 2017b).

Beryllium (Be)

Beryllium är et relativt sällsynt grundämne med en genomsnittlig koncentration i jordskorpan på ca 2 ppm (Rudnick & Gao 2003). Den viktigaste källan till beryllium är mineralet bertrandit ($Be_4Si_2O_7(OH)_2$). Små mängder beryllium extraheras från mineralet beryll ($Be_3Al_2Si_6O_{18}$).

Det finns för närvarande ingen produktion av beryllium i EU. USA står för ca 90 procent av världens gruvproduktion och en gruva vid Spor Mountain i Utah är världens största producent. Global produktion av beryllium uppgick till ca 230 ton i 2017 (USGS 2018). USGS anger att 60 procent av världens tillgångar finns i USA. EU importerar ca 50 ton Be per år i form av processerade berylliumprodukter, det vill säga ingen primär malm importeras till EU. 80 procent av den beryllium som förbrukas i EU används som legeringsmaterial i kopparlegeringar (EU-kommissionen 2017b) och beryllium är en viktig komponent i en rad produkter inom en rad olika industrier och branscher så som elektronik, telekom, försvar, medicin och rymdindustrin.

Sverige: Det finns inga kända fyndigheter i Sverige där Beryllium anses vara ekonomisk. Vid Sels-Vitberget i Västernorrland har en mindre mängd beryll brutits.

Borater

Borater är samlingsnamnet för mineral som innehåller grundämnet bor (B). Genomsnittligt innehåll av bor i jordskorpan är 11 ppm (Rudnick & Gao 2003). Det finns mera än 150 borater. De viktigaste som industriell råvara är tincal, kernit, colemanit och ulexit. Borater är ofta lokaliserade i arida områden med vulkanisk aktivitet. Största fyndigheter finns i Turkiet och i Mojaveöknen i Kalifornien i USA samt i Anderna i Sydamerika. Borater är viktiga ingredienser i en rad olika produkter, som glasfiber, glas, gödningsmedel, tvättmedel, hygienprodukter, keramik, kakel och medel för skadedjursbekämpning. Världsproduktionen under 2016 var ca 1 miljon ton (EU-kommissionen 2017b). Det finns inga kända tillgångar av borater i EU, men en stor fyndighet med litium-borater är under utveckling i Serbien (Rio Tinto, 2018).

Sverige: Det finns inga kända tillgångar i Sverige. Turmalinförande pegmatiter kan vara en möjlig källa.

Flusspat (CaF_2)

Flusspat (fluorit) är ett mineral som huvudsakligen används som råvara till produktion av fluorvätesyra samt i metallurgisk industri som fluxmedel i aluminium och stålproduktion. Flusspat finns i många olika geologiska miljöer och kan bland annat uppträda som hydrotermala ådror och ifyllningar tillsammans med metallsulfider. Världsproduktionen 2017 var ca 6 miljoner ton. Kina är värdens största producent. USGS uppger att världens flusspat reserver är 270 miljoner ton. I tillägg finns det ytterligare tillgångar om ca 500 miljoner ton (USGS, 2018).

Sverige: I Sverige finns betydande tillgångar i en fyndighet vid Storuman. Bolaget Tertiary Minerals har presenterad en JORC kompatibel resursberäkning som ger 27,7 miljoner ton med en halt på 10,21 procent CaF_2.

Fosfat

Fosfatbergarter är den viktigaste källan till fosfor. Fosfor är fundamentalt för allt biologiskt liv och 95 procent av all fosfat som utvinns globalt används som gödningsmedel och djurfoder. Resterande 5 procent används inom industrin i en rad olika produkter, kemikalier och processer, bland annat i rengöringsprodukter, tillsatser i mat, tändstickor, tandkräm, och flamskyddsmedel. Mineralet apatit $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ är dominerande för kommersiell utvinning. Genomsnittlig global produktion (2010–2014) var 217 miljoner ton per år. Kina är värdens största producentland med 44 procent följt av USA och Marocko som stod för 13 procent vardera (EU-kommissionen 2017b).

Sverige: Apatitjärnmalmer i exempelvis Kiruna, Malmberget och Grängesberg är potentiella källor för fosfat. I tillägg finns det betydande förekomster av fosforiter i underordoviciska sedimentära bergarter i Tåsjöområdet.

Gallium (Ga)

Gallium har en genomsnittlig halt i jordskorpan på 16 ppm. Elementet bildar inte egna mineral som är ekonomiskt utvinnbara, men utvinns som biprodukt av aluminiumproduktion och (till en mindre del) från zinkproduktion. Bauxit är viktigaste källan och innehåller i genomsnitt ca 50 ppm gallium (USGS 2018). Under processering av bauxit för aluminiumframställning via bayerprocessen kan gallium utvinnas från lösningar. USGS rapporterar att det finns mera än en

miljon ton gallium i värdens bauxittillgångar. Utbudet på gallium begränsas såldes inte av geologiska faktorer, men av industrikapacitet för utvinning.

Kina är det land med störst produktionskapacitet på grund av stora investeringar i landets aluminiumindustri. Global produktionskapacitet är ca 450–600 ton Ga (EU-kommissionen 2017b). Gallium används huvudsakligen som halvledare i elektronikindustrin (integrerade kretsar), LED belysning och solceller (CIGS).

Sverige: Zinkdominerade massiva sulfidmalmer kan vara en potentiell källa.

Germanium (Ge)

Germanium är ett sällsynt grundämne med en genomsnittlig halt på 1,3 ppm i jordskorpan. Det finns endast ett fåtal germaniummineral, varav det viktigaste är germanit ($Cu_{13}Fe_2Ge_2S_{16}$). Germanit var tidigare en källa till produktion av germanium, men idag finns inga kända ekonomiska förekomster utan germanium produceras numera som biprodukt av zinkframställning samt från flygaska från kolförbränning. Det är estimerat att ca 60 procent kommer från zinkproduktion och 40 procent från flygaska (EU-kommissionen 2017b).

Germanium är en halvledare och var viktig för framväxten av transistorindustrin under 1950–1970 talet. Huvudsaklig användning i dag är inom fiberoptik, IR optik, solceller och katalysator vid framställning av polymerer (PET plast). Kina är viktigaste producent. Finland var till nyligen producent av Ge med en produktion under år 2015 på 13 ton (från importerat koncentrat), men har nu avslutat produktionen (Bio 2015, GTK 2018).

Sverige: Potentialen i Sverige är relativt dåligt känd, men på grund av det starka sambandet mellan zink och germanium så är svenska zinkmalmer potentiella källor.

Grafit (C)

Grafit är en allotrop av kol som båda har metalliska och icke-metalliska egenskaper. Materialet leder värme och elektricitet, är kemiskt inert, har högt smältpunkt och är icke- toxiskt. På grund av dessa egenskaper har grafit en rad användningsområden bland annat som infodring i smältugnar, smörjmedel, batterier, flamskyddsmedel, neutronmoderator i kärnreaktorer, elektromotorer (borstar), friktionsprodukter (till exempel bromsband), blyertspennor samt i nya högteknologiska material som grafen. Tre huvudkvaliteter/typer grafit utvinns i kommersiellt syfte: ”vein”-grafit, mikrokrystallin grafit och ”flake”-grafit (Simandl m. fl. 2015).

Global årlig produktion av naturlig grafit är ca 1,1 miljoner ton (årligt genomsnitt 2010–2014). Kina är den största producenten av grafit med ca 69 procent av världsproduktionen (EU kommissionen 2017b). Norge producerar grafit från en gruva i Skaland i norra Norge som står för ca 1 procent av den globala produktionen.

Sverige: Sverige har ett antal grafitfyndigheter. Här beskrivs några av dessa.

Woxna

I Gävleborgs län framkom under prospektering efter grafit under 1980-talet ett uppslag i Voxnadalen utanför Edsbyn som benämndes Mattsmyra. Under arbetena hittades block ca 10–12 km längre söderut vid Kringeltjärn. Vid kontroll av flyggeofysik från området fanns några kombinerade anomalier i anslutning till blocken. Markmätningar, huvudsakligen slingram, gjordes och ett antal parallella strukturer hittades. Vid dikesgrävning tvärs över dessa fann man under 1987 några ca 10–15 meter breda grafitrika partier. Grafitmineraliseringen uppträder i prekambriska

metasediment och metavulkaniter som är intruderad av felsiska intrusiv. Grafiten har sannolikt bildats genom kontakmetamorfos av kol-rika delar av metasedimenterna.

Kringelgruvan fick tillstånd i 1992 och företaget Flinders Resources (numera Leading Edge Materials) köpte gruvan med tillhörande licenser av Woxna Grafit AB i 2012. I dag innefattar Woxnaprojektet fyra närliggande grafitfyndigheter (Kringelgruvan, Gropabo, Mattsmyra och Månsberg) varav den viktigaste är Kringelgruvan. Sammanlagt har de tre fyndigheterna Kringelgruvan, Gropabo och Mattsmyra en NI 43-101 kompatibel indikerad (eng. *"indicated resource"*) och känd (eng. *"measured resource"*) mineraltillgång om 7,7 Mt innehållande 9,3 procent Cg grafitisk karbon (Flinders Resources, 2015).

Woxna är en komplett gruva med produktionsanläggning som i nuläget inte producerar grafit kommersiellt, utan hålls i produktionsklart läge. Leading Edge Materials fokuserar på processutveckling samt forskning och utveckling för att kunde erbjuda anodmaterial för litiumjonbatterier. För detta ändamål byggs nu en demonstrationsanläggning vid Woxna (Leading Edge Materials 2018b).

Vittangi (Nuunasvaara)

Grafitfyndigheterna i Vittangiområdet upptäcktes i upptäcktes 1916–1918 och undersöktes bland annat med ett antal provskärpningar. Man undersökte möjligheten att använda grafiten som reduktionsmedel vid tackjärnsframställning. Under 1970-talet och början av 1980-talet undersöktes fyndigheten på nytt av LKAB och SGU, bland annat med syfte pröva grafitens lämplighet som bränsle i ett framtida värmeverk i Kiruna.

2012 påbörjade Talga Resources ett borrprogram i Nunasvaara som resulterade i en modern JORC (2004) kompatibel tillgångsberäkning. Detta kompletterades med nya borrningar samt provbrytningar till en ny JORC (2012) tillgångsberäkning. Den senaste beräkningen ger en antagen och indikerad mineraltillgång (eng. *"inferred and indicated mineral resource"*) på 12,3 Mt innehållande 25,5 procent grafitisk karbon (Talga Resources, 2018a). Talga planerar bland annat att använda grafit från Vittangi som råvara till grafen och anodmaterial i litiumjonbatterier. Nunasvaara är av SGU utpekat som riksintresse för värdefulla ämnen och mineral.

Jalkunen

Jalkunen projektet ligger ungefär 15 km sydost om Masugnsbyn i Norrbotten. Området undersöktes av LKAB prospektering på 1980-talet bland annat med flygburen slingram och magnetometer, varvid en ca 2 km lång elektrisk ledare hittades. Ytterligare undersökningar inklusive diamantborrningar i regi av SGAB/NSG påvisade en grafitmineralisering (NSG 1991). Talga Resources som nu äger projektet har presenterad en antagen JORC mineraltillgång (eng *"inferred resource"*) på 31,5 Mt innehållande 14,9 procent grafitisk karbon.

Raitajärvi

Raitajärvi ligger ungefär mitt mellan Överkalix och Övertorneå i Norrbotten. Grafiten i Raitajärvi är känd åtminstone sen någon gång på 1800-talet. SGU utförde för NSGs räkning prospekteringsarbeten i Raitajärvi under åren 1974–1978. I under perioden 1989–1992 undersöktes grafitmineraliseringen med dikesgrävning, diamantborrning och anrikningsförsök av SGAB på uppdrag av NSG. Talga Resources äger nu projektet och har presenterat en JORC kompatibel mineraltillgång (eng. *"indicated + inferred mineral resource"*) på 4,3 Mt med en halt på 7,1 procent total grafitisk karbon (Cg) (Talga Resources 2017). Raitajärvi är av SGU utpekat som riksintresse för värdefulla ämnen och mineral.

Hafnium (Hf)

I naturen finns hafnium alltid tillsammans med zirkonium och framställas som biprodukt av zirkoniumutvinning. Huvudkällan är mineralen zirkon ($ZrSiO_4$) och baddeleyit (ZrO_2). Genomsnittlig halt av hafnium i jordskorpan är 3,7 ppm, medan den för zirkonium är 132 ppm (Rudnick & Gao 2003). Årsproduktionen av hafnium, det vill säga som biprodukt av zirkoniumraffinering, var ca 70 ton i genomsnitt under åren 2010–2014 (EU-kommissionen 2017b). Viktigaste producentland är Frankrike och USA. Superlegeringar är ett viktigt användningsområde. Hafnium och zirkonium efterfrågas också av kärnkraftsindustrin där dessa bland annat ingår i reaktorernas kontrollstavar.

Indium (In)

Indium förekommer i ungefär samma koncentrationer i jordskorpan som silver, ca 0,05 ppm (Rudnick & Gao, 2003). Som jämförelse är zink ca 1 440 gångar vanligare och koppar ca 540 gångar vanligare. Indium kan bilda föreningar med koppar, järn och svavel till indiummineral som bland annat roquesit ($CuInS_2$) och indit ($FeIn_2S_4$). Dessa indiummineral förekommer emellertid inte i sådana mängder att de bildar egna malmer och saknar därför i dag ekonomiskt intresse.

Indium kan däremot substituera (ersätta andra grundämnen) i andra basmetall-sulfider och oxider som zinkblände (ZnS), kopparkis ($CuFeS_2$) och cassiterit (SnO_2) som utvinns som respektive råvara för kommersiell zink, koppar och tennproduktion (Werner m.fl. 2015). Halterna av indium i zinkmalmer är variabla, men oftast låga (1–50 ppm). Även i zink-koncentrat är halterna av indium låga, typiska halter kan vara 70–200 ppm (Polinares 2012). 95 procent av den globala indiumproduktionen kommer idag som biprodukt från zinksmältverk medan < 5 procent kommer från koppar- och tennproduktion.

Efterfrågan på indium har vuxit dramatisk de senaste åren huvudsakligen på grund av användning i solpaneler (bland annat i så kallade tunnfilms solceller CIGC) och plattskärmar. Den primära produktionen av indium ökade med ca1 890 procent från 1975 till 2014. (Kelly & Matos, 2014). Till skillnad från indium ökade primärproduktionen av zink endast med ca 230 procent under samma tidsperiod (Kelly & Matos, 2014), vilket indikerar att utbytet av indium från zinkproduktionen har ökat. Global indiumproduktion domineras av Kina, Sydkorea och Japan. I Europa är Belgien och Frankrike största producenter. Världsproduktionen uppgick till 881 ton under år 2014 (Kelly & Matos, 2014).

Sverige: Svenska sulfidmalmer, huvudsakligen zink och kopparmalmer innehåller låga halter av Indium.

Kisel (Si)

En viktig användning för kisel är som halvledare i solceller och mikroelektronik. Kvarts (SiO_2) som är viktigaste källan till kisel är näst vanligaste mineral i jordskorpan efter fältspat. Även om kvarts är vanligt förekommande så gör kravet på renhet att endast ett fåtal fyndigheter är användbara som råvara i halvledarindustrin, då man behöver extremt rena kvaliteter som sällan finns i större volymer. Vissa pegmatiter och hydrotermal kvarts används som råvara för detta ändamål. Kisel används också i metallurgisk industri i aluminiumlegeringar samt i kemisk industri som råvara för silikon. Dessa tillämpningar behöver inte samma renhet som halvledarindustrin. Kina är världens största producent av kisel (61 procent) följt av Brasilien (10 procent) och Norge (7 procent).

Sverige: Större hydrotermala kvartsgångar förekommer bland annat längs fjällranden i norra

Sverige. Dessa kan vara upp till 10–20 meter breda och flera hundra meter långa. Exempel på kvartsfyndigheter som har undersökts med hänsyn till potential som råvara för högren kvarts är bland annat Pajeb Muitunisjaure, Själbmatjäkkä och Vuolep Räskavare i Norrbotten (Holmqvist 1986, Holmqvist & Nordström 1986). Kvartsrika granitpegmatiter, brutna båda för sitt kvarts- och fältspatinnehåll, förekommer på flera platser inom svekokarelska och svekonorvegiska orogenen.

Kobolt (Co)

Kobolt har använts i århundraden som ingrediens i koboltblått som är ett klarblått pigment som används som färg i keramik och porslin. Kobolt har tidigare brutits på ett antal ställen i Sverige, bland annat i Los, Vena, Tunaberg, Gladhammar och Kleva. Moderna användningsområden är i superlegeringar, uppladdbara batterier (litiumjon batterier) och katalysatorer. Den pågående elektrifieringen av bilparken har lett till ökad efterfrågan, något som förväntas fortsätta de närmaste åren.

Kobolt-rika mineral inkluderar bland annat koboltglans (CoAsS) och skutterudit ($CoAs_3$). Kobolt kan substituera i andra sulfidmineral som arsenikkis, magnetkis, svavelkis och pentlandit. Det finns endast en gruva i världen där kobolt bryts som huvudprodukt (Bou Azzer i Marocko). Numera utvinns nästan all kobolt som biprodukt från nickel och kopparproduktion (Smith 2001, Mudd m.fl. 2013). I dagsläget är det endast Finland inom EU som producerar kobolt med malm från egna gruvor (biprodukt från nickel- och kopparutvinning). På världsbasis är Demokratiska republiken Kongo största gruvproducent. Global årlig gruvproduktion är ca 135 500 ton (genomsnitt perioden 2010–2014; EU-kommissionen 2017b).

Viktiga fyndighetstyper är:

- **Magmatisk.** Denna typ är huvudsakligen mafiska och utramafiska intrusiv, innehållande massiva eller disseminerade Fe-Ni-Cu sulfider. Rena koboltmineral finns sällan i denna förekomsttyp, utan kobolt finns bunden till sulfidmineral som till exempel pentlandit, magnetkis och pyrit. Exempel på denna typ är Norilsk-Talnakh i Ryssland, Sudbury i Kanada samt Kevitsa Finland. Svenska exempel är Lappvattnet och Lainejaur i Västerbotten.
- **Ni-haltig laterit.** Detta är vittrade ultramafiska bergarter som ofta finns nära ekvatorn samt i tempererade områden. Vittringen medför frigöring av Fe, Ni och Co från bergartens ursprungliga silikatmineral med påföljande bildning av lösa avlagringar rika på dessa element.
- **VMS (Volcanic Massive Sulphide).** Fyndigheter som bildats genom submarin vulkanisk aktivitet. Skelleftefältets massiva sulfidmalmer är ett exempel. Outokumpu i Finland är ett exempel på en Co-rik VMS fyndighet.
- **Sediment-hosted.** Bergartsled med sedimentärt ursprung (skiffrar, dolomit etc.) som innehåller Cu-Co mineraliseringar. Regionen Katanga i det centralafrikanska kopparbältet samt Talvivaara i Finland är exempel på denna typ av fyndighet.
- **”Vein-type”.** Detta är oftast mindre, Co-rika fyndigheter som bryts specifikt för kobolt. De är ofta rika – Bou Azzer i Marocko har i genomsnitt halter på 1,2 procent Co i ådror (Mudd m.fl. 2013).
- **Skarn, kontaktmetamorf eller magmatisk hydrotermal.** Magmatiska intrusiv som innehåller magnetit, kopparkis och Co-rik pyrit. Bildning i ”porphyry type” miljö eller genom kontaktmetamorfos av karbonatrika sediment. Inkluderar IOCG (iron oxide copper gold) mineraliseringar. Exempel är Kiskamavaara i Norrbotten.

Sverige: Kobolt har brutits på ett flertal platser i Sverige under 1700–1900-talen. Merparten av denna produktionen gick som råvara för pigmentproduktion (blåfärg). Grundämnet kobolt blev upptäckt första gången av G. Brant år 1735 i malm från Riddarhyttefältet i Västmanland. Tidigaste kända utvinning av kobolt i Sverige var i Los koboltgruvor i Gävleborgs län där brytning påbörjades 1738 (Tegengren m. fl. 1924). I dagsläget är nästan all producerad kobolt på värdsbasis en biprodukt från koppar- och nickelproduktion och det är endast i undantagsfall att kobolt bryts som huvudmetall.

Några av fyndigheterna som beskrivs under avsnittet nickel innehåller också kobolt och för att undvika upprepningar så har dessa inte tagits med här. Efterfrågan på kobolt har ökat kraftig den senaste tiden till följd av användning i litiumjonbatterier och har medfört att ett stort antal undersökningstillstånd har ansökts och beviljats i Sverige.

Kiskamavaara

Kiskamavaara koppar-kobolt-(guld) mineralisering är belägen ungefär 40 km öster om Kiruna. Fyndigheten hittades med diamantborrning 1972 av SGU efter indikationer från geokemiska och geofysiska undersökningar som påbörjades några år tidigare. Under 1970-talet undersökte SGU fyndigheten med ett stort antal borrhål som bland annat resulterade i en malmberäkning med 2,87 Mt med 0,6 procent koppar och 0,09 procent kobolt (Persson 1980, 1982). Fyndigheten är epigenetisk och lokaliserad till Karesuando-Arjeplog deformationszon (KADZ) som är en betydande skjuvzon i norra Norrbotten (Bergman m.fl. 2001).

SGU utpekade 2018 Kiskamavaraa som riksintresse för värdefulla ämnen eller mineral. Prospekteringsbolaget Talga Resources har i nuläget undersökningstillstånd i Kiskamarvaara. Bolaget har under 2014–2015 borrat fyra diamantborrhål och metallurgiska tester är utförda. Tre mineraliserade sulfidlinser längsmed en 900 meter lång zon är påvisade (Talga Resources 2018b). Viktigaste malmmineral är pyrit (koboltförande) samt kopparkis, magnetit och hematit. Malmmineralen uppträder som matrix infyllningar i en hydrotermal breccia av metavulkaniskt ursprung. Berggrunden i området uppvisar olika typer av omvandlingar, inklusive skapolitomvandling, K-fältspatomvandling och sericittisering. Kiskamavaara kan möjligtvis representera en fyndighet av så kallad IOCG-typ (Martinsson, 2011).

Ahmavouma

Ahmavuoma ligger ca 2 mil söder om Lannavaara i Norrbotten. Geofysiska anomalier som tidigare framkommit i samband med undersökningar av SGU och LKAB testades med borrning och ytterligare provtagningar under åren 1982–1986. Detta resulterade i upptäckt av en sulfidmineralisering i Ahmnavoumaområdet innehållande koppar, kobolt och guld (Lehto 1987). Prospekteringsbolaget Tertiary Minerals PLC borrade fem diamantborrhål 2004. I dagsläget har bolaget Talga Resources undersökningstillstånd i området. Mineraliseringen uppträder i en sekvens med intermediära till felsiska vulkaniter och utgörs av kopprakisförande pyritgångar. Kobolt är associerad med pyrit. Förhöjda halter av molybden och guld förekommer i vissa sektioner.

Los

Gruvdriften i Los, Gävleborgs län påbörjades 1738 och det anlades ett blåfärgsverk i området i 1745. Brytningen pågick i ca 30 år. Under 1800-talet gjordes försök på att återuppta produktionen utan resultat (Tegengren m.fl. 1924). Upptäckten av grundämnet nickel gjordes av Cronstedt år 1751 genom analys av ett malmprov innehållande mineralet gersdorffit (nickelglans) från Los. Mineraliseringen i Los uppträder i en amygdoidal amfibolit. Viktigaste koboltmineral är kobolt-

glans, men paragenesen inkluderar mineral innehållande Fe, Co, Ni, Cu, Bi och As. Malmen hade en maxbredd på ca 30 cm och kunde följas ca 90 m längsmed en sprickszon (Lundqvist 1968). Koboltmineraliseringar fanns dessutom som impregnation i amfiboliten utanför spickzonen. Det finns inga uppgifter om tonnage och halter avseende malmproduktionen.

Håkansboda

Håkansboda ligger i västra Bergslagen ungefär 1,5 mil norr om Lindesberg. Kopparfyndigheten i området har varit känd sedan 1400 talet och malm har brutits i omgångar från 1500-talet fram till 1920-talet (Tegengren m.fl. 1924, Carlon 1986). Totalt bröts drygt 60 Kt malm i olika perioder under 1741–1919. Den nedlagda gruvan har därefter bytt ägare ett antal gånger, vilka har bedrivit prospektering i Håkansboda: Store Kopparberg, Gränges AB, SSAB, BP-LKAB och Copperstone Resources AB. Malmen förekommer som massiva linser och lager av sulfider i en dolomitmarmor. Huvudmineralen är kopparkis, magnetkis, arsenikkis, svavelkis, magnetit och molybdenglans. Kobolt substituerar för järn i magnetkis och arsenikkis samt förekommer i koboltmineralen koboltglans och glaukodot.

Tunaberg

Tunaberg ligger ca 14 km SSV om Nyköping i Södermanlands län. Malmutvinning i Tunaberg har medeltida anor. Uppgifter om kopparbrytning omnämns för första gången av Erik av Pommern år 1420 då han förlängde bergsmännens privilegier. Malmfältet omfattar ett antal kopparkoboltfyndigheter som ligger i en zon av bandade gnejser med inlagringar av pyroxengnejs, amfibolit samt en kalkstenformation med pyroxenskarn. Malmen är bunden till kalkstenen, och då i synnerhet pyroxenkalksten innehållande kopparkis och koboltglans (Tegengren m.fl. 1924). Den mest betydande gruvan i Tunabergsfältet är Storgruvan. Malmen är 3,5–5,5 m bred i de övre delarna, men avtar till ca 1,5–2,5 m i gruvans djupare delar (ca 165 m djup under markytan). Bolaget Berkut Minerals har för närvarande undersökningstillstånd i Tunaberg (Berkut Minerals 2018b).

Vena

Vena gruvfält ligger ungefär 2 km öster om Åmmeberg i Örebro län. Fältet har en utsträckning i NV-SO riktning av mer än 2 km och omfattar över hundra individuella gruvor. Brytning av kobolt började 1770 och pågick oregelbundet fram till 1870-talet. Fältets bästa gruvor var Gamla Vena samt Galtgruvorna. Tegengren m.fl. (1924) beskriver berggrunden i området som bestående av ”plagioklasleptit” och ”leptitisk gneis” (sannolikt metavulkaniter med intermediärt till felsiskt ursprung) med inslag av amfibolit. Malmmineralen utgörs av magnetkis, svavelkis, kopparkis, koboltglans, zinkblände, arsenikkis, smaltit, blyglans och vismutglans. Malmen utgörs av parallella mineraliserade impregnationsstråk på 0,5–5 meters bredd som är upp till 500 meter långa. Malmens kobolthalt var 0,2–0,5 procent och är inte utbruten, utan fortsätter på djupet (Tegengren m.fl. 1924). SGU har under 2018 påbörjat ett projekt i Venafältet med bland annat provtagning, kartering och insamling av geofysiska data.

Gladhammar

Produktionen i Gladhammars malmfält i Kalmar län startade på 1400-talet och bergsbruket var från början inriktat på järn och koppartillverkning. Kobolt producerades i en kort period i början av 1820-talet för att återupptagas år 1875, men gruvbrytningen upphörde 1891. Gladhammar malmfält har varit Sveriges största producent av koboltprodukter och totalt utvanns här ca 4 260

ton koboltmalm med en halt på 6 procent Co, motsvarande 256 ton kobolt. I tillägg producerades det ca 320 ton koppar. Malmen som förkommer i smala elongerade impregnationszoner, ligger i en suprakrustalsekvens bestående av kvartsit och hälleflinta. Malmmineralen är magnetit, hematit, svavelkis, kopparkis, bornit, linneit och koboltglans (Tegengren m.fl. 1924).

Riddarhyttefältet

Riddarhyttefältet ligger i Skinnskattebergs kommun i Västmanland. Malmfältet domineras av järnmalmer, men här finns också koppar, kobolt, sällsynta jordartsmetaller, molybden och guld. Bergsbruket i Riddarhyttan startade på medeltiden och det har i olika omgångar producerat både sulfid- och järnmalm från ett antal gruvor fram till 1979 då järnmalmsproduktionen i Bäckegruvan avslutades.

Berggrunden i Riddarhyttefältet utgörs av en sekvens paleoproterozoiska (1,8–1,9 Ga) metavulkaniska och metasedimentära bergarter som domineras av omvandlade ryoliter med inlagrade karbonater och skarn. De suprakrustala bergarterna intruderas av olika generationer graniter och pegmatit. Kompakta sulfidmineraliseringer av bland annat svavelkis och magnetkis förekommer (Ihre & Sädbom 1986). Järnmalmerna i fältet består både av magnetit och hematit. Hematitmalm, ”blåkullatyp”, är finfjällig hematit, ofta kvartsrandig med skikt av kalksilikat. Magnetitmalm återföljs ofta av sulfider och skarn. Sulfiderna utgörs av bland annat svavelkis, kopparkis, koboltglans, magnetkis samt molybdenglans. Sällsynta jordartsmetaller (dominerande lätta sällsynta jordartsmetaller) uppträder på flera ställen i fältet bland annat i ceritgruvan i nya Bastnäsfältet.

Bolaget EMX Royalty Corp. har i nuläget undersökningstillstånd i området. Bolaget tolkar mineraliseringarna inom Riddarhyttefältet som så kallad IOCG-typ (EMX Royalty Corp. 2018).

Litium (Li)

Litium har en genomsnittlig halt i jordskorpan på ca 16 ppm (Rudnick & Gao 2003). Utvinning av litium globalt görs från två huvudtyper av källor: från saltsjöar (så kallade *”brines”*) som bland annat finns i Anderna i gränsområdet mellan Chile, Bolivia och Argentina, exempel är Salar de Atacama i Chile, och från litium-haltiga mineral i berggrunden ofta relaterade till komplexa granitpegmatiter, så kallade ”rare element pegmatites” av LCT -typ (litium-cesium-tantal). Exempel är Greenbushes i Australien.

Metoderna för litiumutvinning från saltvattenlösningar och mineral är väldigt olika, men det är möjligt att framställa slutprodukten litiumkarbonat från båda. Det finns mer än 100 mineral som innehåller litium, men bara ett fåtal är ekonomisk intressanta. Vanligaste ekonomiska litiummineral är spodumen ($LiAlSi_2O_6$), lepidolit ($K(LiAI)_3Si_30_{10}(OH,F)_2$) och petalit ($LiAISi_4O_{10}$). Havsvatten innehåller också litium, men är i dagsläget ingen källa till kommersiell produktion.

Den pågående omställningen till en fossilfri fordonspark, samt utveckling av högteknologiska elektroniska produkter kräver stora mängder batterier och driver en ökad efterfrågan på litium och andra så kallade batterimetaller. Global produktion under 2017 var ca 43 000 ton Li (USGS 2018). Största producentland var Australien följt av Chile. För att möta den stora efterfrågan på batterier är ett stort antal nya gruvprojekt under utveckling globalt, bland annat i Argentina, Australien, Bolivia, Chile, Finland, Portugal, Kanada, Kina, Spanien, Serbien och USA.

Sverige: I dagsläget producerar Sverige inte litium. Det pågår utveckling av ett antal Litium-

projekt i Finland samt uppbyggnad av industriell infrastruktur i Kokkola, där bolaget Keliber OY planerar att bygga en anläggning för produktion av litiumkarbonat från spodumenkoncentrat (Keliber 2018). Företaget Northvolts planerade batterifabrik utanför Skellefteå kommer att behöva litiumråvara till litiumjonbatterier, vilket sannolikt kommer att öka fokuset på svenska fyndigheter. Störst potential finns i granitpegmatiter (LCT) relaterat till S-typ graniter i metasedimenter i Bottniska Bassängen.

Vår kännedom om svenska litiumfyndigheter sträcker sig 200 år tillbaka i tiden. Första upptäckten av grundämnet litium gjordes år 1818 av J.A. Arfwedson genom en kemisk analys av mineralet petalit från en pegmatit på Utö i Stockholms skärgård. Svenska litium fyndigheter är relaterade till fraktionerade pegmatiter. Så kallade sällsynta element-pegmatiter kan grupperas i två typer efter innehåll av karakteristiska grundämnen: LCT (litium-cesium-tantal) och NYF (niob-yttrium-fluor). Under kristallisation av magmorna medför litiumjonens begränsade jonradie att den är inkompatibel och förblir kvar i restsmältan som därmed anrikas på metallen. Mineral där litium ingår som en av huvudmetallerna bildas därför huvudsakligen under slutskedet av kristallisationen.

Svenska litiumfyndigheter förekommer uteslutande i differentierade, komplexa pegmatiter av LCT-typ. Ett flertal av dessa uppträder i områden med låg till medium grad av metasedimentära bergarter av marint ursprung associerade med S-typ graniter i Bottniska bassängen. Som namnet indikerar så innehåller LCT-pegmatiter ofta förhöjda halter av tantal.

Järkvissle

På västra sidan av Indalsälven vid Järkvissle i Liden, Sundsvalls kommun finns en av de bäst undersökta litumfyndigheterna i Sverige. Järkvisslefyndigheten upptäcktes år 1982 i samband med tenn och volframprospektering. I Järkvissle finns ett antal pegmatitgångar och gångsvärmar med litium-, tantal- och tennmineraliseringar som uppträder inom ett område på ca 7 × 2 km. De bredare gångarna i Järkvissle är komplext zonerade med två generationer, en äldre med spodumen och en yngre med kalifältspat och petalit. Petaliten är oftast något squi-omvandlad (*spodumene-quartz intergrowth*) i de yttre delarna (SGU 2009).

En av mineraliseringarna (den så kallade 700-gången) bedömdes vara särskilt intressant och blev under åren 1982–1985 diamantborrad. Totalt borrades 17 borrhål längs en sträcka av 1 200 meter. Borrhålen har en sammanlagd längd på 912 meter. Baserat på dessa borrningar gjordes en tonnageberäkning längsmed bästa 700 meter från ytan och ner till 50 meters djup. Beräkningen gav 600 000 ton ”spodumenmalm” med 0,45 procent Li, 0,07 procent Sn och 80 ppm Ta (Gustafsson 1989). Mineraliseringens bredd är 5–15 meter. Det understrykas att tonnageberäkningen är av en historisk karaktär som inte kan jämföras med moderna tonnageberäkningar som följer internationella rapporteringsstandarder, men ger en indikation på fyndighetens tonnage och halter. Anrikningsförsök vid LKABs forskningslaboratorium i Malmberget med flotation och magnetisk rening har gett ett spodumenkoncentrat med upp till 6 procent LiO_2 (Bida, 1983).

Varuträsk

1933 upptäcktes en litium-cesiumpegmatit vid byn Varuträsk, ca 10 kilometer väster om Skellefteå i Västerbotten. I Varuträsk uppträder bland annat litiummineralen petalit, spodumen, amblygonit, lepidolit samt cesiummineralet pollucit. Vanligaste litiummineralet är petalit som är delvis ”squi” omvandlat. Dessutom finns bland annat beryll, columbit-tantalit och kassiterit. Pegmatiten är mer än 550 meter lång och 30 meter bred (SGU 2009). Varuträsk är sannolikt den

bäst kända litiumpegmatiten i Sverige. Pegmatiten är en berömd geologisk lokal på grund av sin speciella mineralogi och har varit föremål för ett antal vetenskapliga studier. Numera finns där en mineralpark och en besöksgruva.

Gruvbolaget Boliden bröt pegmatiten såväl i dagbrott som under jord under åren 1936–1946. Hittills har man brutit ca 90,5 ton Li samt 63,3 ton Cs. Ytterligare en litiumförande pegmatit hittades vid dikesgrävning i 1983, ungefär 1 km norr om själva Varuträskpegmatiten. Fynd av block i regi av mineraljakten indikerar också att det finns spodumenförande pegmatiter längre norrut (SGU 2009). 2016 fick bolaget Critical Materials Ltd. undersökningstillstånd i Varuträsk. Bolaget har påbörjat ett borrprogram för att undersöka fyndighetens storlek och kvalitet. På bolagets hemsida uppges det att det finns planer på att borra betydligt djupare än tidigare för att testa en eventuell fortsättning av pegmatiten på djupet (Critical Metals 2017).

Bergby

År 2007 hittades ett spodumen-mineraliserat block i närheten av Bergby, ca 25 km norr om Gävle. Bolaget Leading Edge Materials erhöll 2016 undersökningstillstånd i området och har påvisat spodumen och petalitförande pegmatiter av LCT-typ. Bolaget undersöker för närvarande fyndigheten bland annat genom kartering och diamantborrning. Leading Edge Materials rapporterar på sin hemsida att man har borrats 33 borrhål med en total längd på 1 525 meter längsmed en sträcka på ungefär 1 500 meter (Leading Edge Materials 2018a). Då prospekteringen fortfarande är i ett tidigt skede så är det inte möjligt i nuläget att dra några säkra slutsatser angående fyndighetens storlek.

Spodumenberget/Dyngselet

Bolaget Novo Litio har under 2017 undersökt en tidigare känd mineralisering i Dyngselet väster om Örnsköldsvik. Området har tidigare undersökts av LKAB på 1980-talet som påvisade en mineraliserad pegmatit. Ingen borrning har hittills gjorts av Novo Litio, men nya hällprov som samlats in och analyserats under 2017 indikerar förhöjda halter av Sn, Li, Ta, Nb och Cs. Bolaget skriver i pressmeddelande på sin hemsida att man planerar ett diamantborrningsprogram vid Spodumenberget (Novo Litio 2018).

Orrvik

Orrvikpegmatiten i åkermarken i byn Orrvik innehåller spodumen i 2–3 dm stora kristaller men den är ställvis kraftigt glimmeromvandlad. Pegmatiten är liten, ca 20 × 5 m. Berggrunden har undersökts med hjälp av hammar- och diamantborrning. Ett diamantborrningsprogram på 6 hål i 4 profiler påvisade spridda, små och svaga mineraliseringar (Gustafson 1989). De bästa metersektionerna ger 0,7 procent Li. Tantalhalterna är låga.

Magnesium (Mg)

Magnesium är vanlig förkommande både i jordskorpan och havsvatten. I havsvatten är Mg det tredje vanligaste grundämnet, i jordskorpan det åttonde vanligaste. Magnesium är en metall, men finns inte i elementär form i naturen utan förekommer i en rad olika mineral (till exempel i dolomit, magnesit och silikater). Tidigare utvanns magnesium i stor skala från havsvatten, men utvinning från mineral dominerar i dag. Magnesium utvinns också från magnesium-rika salter (”brines”). Magnesium är en mycket lätt metall som bland annat används i legeringar med aluminium för användning inom transportsektorn och bilindustri (bland annat formgjutna lätt-

viktsdelar), konstruktion samt till emballage och förpackningar. Magnesium används också som avsvavlingsagent vid ståltillverkning. Det finns idag ingen produktion av ren magnesium inom EU, utan tillverkningsindustrin är fullständig beroende av import från Kina och ett fåtal andra länder utanför EU (Israel, Turkiet och Ryssland). I genomsnitt importerades ca 118 000 ton magnesium per år till EU i perioden 2010–2014 (EU-kommissionen 2017b).

Nickel (Ni)

Nickel finns inte på EUs lista över kristiska mineral, men är en viktig metall som har stor användning som tillsats bland annat rostfritt stål samt en rad andra legeringar. Sverige har tidigare haft en begränsad produktion av nickelmalm i Kleva, Kuså, Slättberg och Lainejaur. Det har dock i Sverige påvisats ett stort antal nickelfyndigheter bland annat genom prospektering i regi av SGU och SGAB (Åkerman 1987). Många av dessa är associerade med lagrade basiska intrusioner. Många nickelfyndigheter är polymetalliska och är associerad med koppar och kobolt. Några är anomala på platinagruppens metaller.

Kleva

Fyndigheten Kleva i Småland upptäcktes 1691 och bröts först på koppar. Brytning av nickelmalm startade år 1845. Under åren 1845–1878, 1882–1889 och 1914–1919 producerades 54,4 Kt malm med 1,9 procent Ni, 0,8 procent Cu och 0,2 procent Co. Mineraliseringen utgörs av massiva sulfider och breccia som är knuten till en gabbronoritisk intrusion.

Lajnejaur

Lainejaur ligger ca 1 mil nordost om Malå i Västerbotten. Nickelfyndigheten upptäcktes 1941 och mineraliseringen är knuten till en gabbrodioritisk intrusion. Under andra världskriget bröt Boliden här ca 100 Kt malm med en halt på 2,2 procent Ni, 0,93 procent Cu och 0,1 procent Co. I basen av intrusionen finns en massiv sulfidmalm som har en tjocklek på ca 1–3 meter. Sulfiderna utgörs av magnetkis, kopparkis och pentlandit. Ovanför den basala massiva malmen uppträder en disseminerad malm (upp till 11 meters bredd) med impregnationer av magnetkis, pentlandit och kopparkis. Gångar av nickel-koppar arsenider finns i de undre delar av den massiva basala sulfidmalmen och i metasedimenterna under denna (Grip & Frietsch 1973, Blackstone Ventures 2009, Berkut Minerals 2018a).

Prospekteringsbolaget Blackstone Ventures undersökte fyndigheten under åren 2007–2009 och publicerade en NI-43-101 kompatibel antagen mineraltillgång (eng. *”inferred mineral resource”*) på 645 Kt med 1,33 procent Ni, 0,66 procent Cu och 0,09 procent Co (Blackstone Ventures 2009). Bolaget Berkut Minerals är nuvarande ägare av projektet och har nyligen publicerat en uppdaterad JORC kompatibel mineraltillgång (*”inferred mineral resource”*) på 460 Kt med 2,2 procent Ni, 0,7 procent Cu och 0,15 procent Co (Berkut Minerals 2018).

Slättberg

Slättberg ligger 25 km norr om Falun. Inom området finns ett ca 2 km långt stråk med mineraliseringar och historiska gruvområden. Fyndigheterna i Slättberg blev utmålslagda år 1805 och i början bröts koppar. Under 1815–1820 försökte man utvinna nickel. Största brytningen ägde rum 1876 då ca 5 000 ton malm bröts i Västra fältet. Prisfall på nickel medförde att brytningen och Sågmyran nickelverk lades ner. År 1916 upptogs gruvdriften på nytt, men lades ned efter ett par års försöksbrytning. Boliden återupptog driften under några år under andra världskriget.

Sulfidmineraler är magnetkis, kopparkis, pentlandit, svavelkis, linnerit, bravoit och millerit. Kvarvarande tillgångar i Slättberg uppskattas till ca 300 Kt med 0,6 procent Ni, 0,5 procent Cu och 0,06 procent Co (Flood 1979). Denna malmberäkning är dock osäker och uppfyller inte moderna krav till rapportering. Bolaget Sienna Resources har i dagsläget undersökningstillstånd i Slättberg och har påbörjat ett borrprogram för att undersöka fyndigheten i mera detalj (Sienna Resources 2018).

Kuså

Kuså ligger 12 km norr om Borlänge. Malmen i Kuså är lokaliserad till ett differentierat mafiskt intrusiv bestående av gabbro och ultramafiska bergarter. Mineraliseringen är en impregnation av nickel-rik magnetkis och kopparkis i gabbron. Gruvdrift i Kuså har förekommit i olika perioder på 1800–1900-talet, bland annat under andra världskriget då det bröts 3 500 ton med 0,9 procent Ni och 1,0 procent Cu (Lehto m.fl. 1984).

Nickellinjen

Under nickelprospektering i regi av SGU och SGAB på 1970–1980-talen påträffades flera intressanta nickeluppslag i en ca 15 × 00 km lång ost-nordost orienterad zon söder om Skelleftefältet. Denna så kallade ”nickellinjen” innehåller ett antal Ni-Cu fyndigheter som är associerade med ultramafiska bergarter. Fyndigheterna i nickellinjen är magmatiska sulfidmineraliseringar som har många likhetsdrag med kända stora Ni-Cu fyndigheter på andra platser i världen. Som grupp är magmatiska Ni-Cu sulfidfyndigheter, tillsammans med lateriter, den viktigaste globala källan till nickel. Exempel är Norilsk-Talnakh i Ryssland. Möjliga mekanismer för bildning av dessa fyndigheter involverar delvis uppsmältning av den övre manteln med påföljande fraktionering, magmamixning och kontaminering.

Lappvattnet

Vid Lappvattnet, som är en av de största av nickelfyndigheterna i nickellinjen, uppträder mineraliseringen som dissemination och massivmalm i metamorfoserade mafiska till ultramafiska lagergångar och intrusiv (metaperidotit och metapyroxenit) samt som fragment och breccia i sidobergets paragnejs. Mineraliseringen är 620 meter lång och 1–20 meter bred (Åkermann 1987, SGU 2007). Sulfiderna domineras av magnetkis, pentlandit och kopparkis. Lappvattnet blev provbruten av NSG under åren 1978–1982. Flera bolag har senare undersökt fyndigheten. Blackstone Ventures publicerade en NI-43-101 kompatibel antagen mineraltillgång (eng. *”inferred mineral resource”*) på 1,14 Mt med 0,91 procent Ni, 0,19 procent Cu och 0,02 procent Co (Blackstone Ventures 2009).

Rörmyrberget

Vid Rörmyrberget uppträder en differentierad ultramafisk lagergång som är 1,7 km lång och 320 meter bred (Åkerman1987, SGU 2007). Fyndigheten undersöktes av SGU och NSG med borrningar under åren 1979–1983. Outokumpu utförde ytterligare borrningar samt mineralogiska studier på 1990 talet. Nickelmineraliseringar är påvisade utmed lagergångens hela längd, men endast mineraliseringar i den västra delen av intrusionen har bedömts ha intressanta halter. Ultramafiten är konkordant med huvudstrukturerna i omgivande paragnejs. Blackstone Ventures publicerade en NI-43-101 kompatibel antagen mineraltillgång (eng. *”inferred mineral resource”*) på 6,37 Mt med 0,35 procent Ni, 0.04 procent Cu och 0.01 procent Co (Blackstone Ventures 2007).

Njuggträskliden

Flera Ni-mineraliserade ultramafiska kroppar uppträder längsmed ett 5 km långt stråk i Njuggträskliden. Ni-Cu mineraliseringar förekommer i fyra (A–D) linser och skivor med metapyroxenit och serpentinit. Av dessa är A, C och D linsen de viktigaste. Totalt är det beräknat att de mineraliserade kropparna innehåller 0,57 Mt med 0,71 procent Ni, 0,26 procent Cu och 0,04 procent Co (Åkerman, 1987). D-mineraliseringen är den största och viktigaste och har även förhöjde halter av PGE (Åkerman 1983).

Gårkälen

Flera mindre ultramafiska kroppar bestående av metaperidotit och metapyroxenit uppträder i området vid Gårkälen. Två av dessa är mineraliserade, varav den största har en längd av 90 meter och största bredd på ca 20 meter (Filén & Johansson 1981). Diamantborrning indikerar att den vertikala utbredningen av mineraliseringen är blygsam (endast 15–20 meter). Tonnaget är beräknat till 35 Kt med 0,4 procent Ni, 0,18 procent Cu och 0,04 procent Co (Åkerman 1987). Ytterligare, mindre intrusioner upptäcktes av Outokumpu under 1990-talet, men ingen intressant mineralisering hittades då.

Rönnbäcken

Nickelfyndigheten Rönnbäcken inkluderar de tre individuella närliggande fyndigheterna Rönnbäcksnäset, Sundsberget och Vinliden som är belägna inom fjällkedjan ungefär 20 km söder om Tärnaby i Västerbotten. På 1970-talet undersöktes Rönnbäcken av Boliden bland annat med diamantborrning och provbrytning. Bolaget Nickel Mountain Resources publicerade under 2012 en modern NI-43-101 kompatibel tillgångsberäkning för den största av de tre fyndigheterna (Rönnbäcksnäset) med en indikerad mineraltillgång (eng.*" indicated mineral resource"*) på 319,9 Mt med 0,103 procent Ni och 0,003 procent Co, samt en antagen mineraltillgång (eng. *"inferred mineral resource"*) på 12,2 Mt med 0,085 procent Ni och 0,004 procent Co. Mineraliseringen uppträder i serpentinit och består huvudsakligen av nickelsulfider som bildades epigenetisk vid serpentinisering av Ni-rik olivin. En separat magnetitfas produceras också vid denna reaktion. Dominerade nickelsulfider är heazlewoodit, pentlandit och millerit. Vanligaste koboltmineral är pentlandit, millerit och koboltglans. Magnetkis och svavelkis är underordnat. Nickel uppträder också i varierande mängd i olivin, serpentin, magnetit och brucit (Nickel Mountain 2012).

Detritiska serpentiniter

I slutet av 1960-talet påbörjades tekniska undersökningar i regi av KTH för att undersöka utvinningspotentialen för nickel och kobolt ur fjällens ultramafiska bergarter. Ultramafiterna inom den svenska delen av fjällkedjan uppträder i ett flertal av de stora tektoniska enheterna bland annat i autoktonen, mellersta skollberggrunden samt i Seve-Köli-komplexet. Provtagningar på 1970–1980-talen och kemiska analyser gjorde att det initialt indikerades att de så kallade detritiska serpentiniterna innehöll högre nickel och kobolthalter än "normala" peridotiter och massiva serpentiniter. Fokus lades därför på att utreda utvinningspotentialen i dessa bergartstyper (Zachrisson & Stigh, 1981, Stigh m.fl. 1981a, b). Kontrollanalyser visade emellertid att de förhöjda halterna av nickel och kobolt i detritiska serpentiniter kunde förklaras med analysfel. Anrikningsförsök visade dessutom att det var svårare att utvinna nickelkoncentrat från de dedritiska serpentiniterna och dessa bedömdes således heller inte erbjuda några fördelar ur utvinningssynpunkt (Zachrisson 1983). Här beskrivs tre fyndigheter i dedritiska serpentiniter.

Njeretjakke

Njeretjakke ligger på kalfjäll ca 800 meter över havet i Vardofjällsområdet i Västerbotten och är den enskild största kända kroppen av detritisk serpentinit (Stigh m.fl. 1981). Även om området inte är detaljundersökt med diamantborrning och saknar statistisk malmberäkning så indikerade en initial uppskattning (Stigh m.fl. 1981a, b) att halter och tonnage av nickel och kobolt var så pass högt att det kunde ge underlag för dagbrottsbrytning i stor skala. Senare upptäckt av att Ni- och Co-halterna på grund av analytiska fel sannolikt var överestimerade med cirka en tredjedel (Zachrisson 1983) gör att underlaget för dessa uppskattningar är mycket osäkra. Dock kvarstår faktum att tonnaget i Njeretjakke även med omräkning till lägre halter är mycket stort.

Kroksjön

Den detritiska serpentiniten vid Kroksjön är belägen söder om Rönnbäcken och några km öster om sjön Virisens östända i Västerbotten. Kroksjön har sannolikt de högsta kobolthalterna av de detritiska serpentiniterna (Stigh m.fl. 1981), även om de absoluta halterna sannolikt är cirka en tredjedel lägre än de analysvärden som initialt redovisades (Zachrisson 1983).

Njuonajaure

Njuonajaure är beläget ca 900 meter över havet på kalfjäll ungefär 10 km sydväst om Klimpfjäll och ungefär 11 km sydöst om Stekenjokk. I jämförelse med andra detritiska serpentiniter så har objektet relativt höga nickelhalter (Stigh m.fl. 1981b).

Niob (Nb)

Niob har en genomsnittlig halt i jordskorpan på 8 ppm (Rudnick & Gao 2003). I jämförelse med till exempel lätta sällsynta jordartsmetaller är innehållet i jordskorpan av niob och tantal relativt lågt. Detta kan förklaras med att stora delar av den kontinentala jordskorpan är bildat genom magmatisk aktivitet vid konvergenta marginer i samband med subduktion. Magmor i dessa innehåller ofta låga halter av niob och tantal. Niobfyndigheter är vanligtvis associerade med peralkalina graniter, syeniter och karbonatiter. I dagsläget utvinns största delen av all niob på värdsbasis från karbonatiter. Karbonatiter är magmatiska bergarter med högt innehåll av primära karbonatmineral. De finns nästan uteslutande i områden med kontinental extension och rifting.

Brasilien dominerar med ca 95 procent av den globala niobproduktionen. I värdens största niobgruva som finns i Araxa i delstaten Minas Gerais bryts en laterit-anrikat karbonatit. Den andra betydande niobproducenten är Kanada som står för ca 5 procent. Viktigaste niobmineral i karbonatiter är pyroklor $(Ca, Na)_2Nb_2(O, OH, F)_7$. Kolumbit är ett annat viktig niobmineral. Niob används i HSLA (*"high-strength, low-alloy"*) stål och i så kallade superlegeringar som ingår i produkter som behöver motståndskraft mot korrosion och som tål höga temperaturer. Dessa har bland annat användning inom kärnkraft och rymdindustrin. Niob handlas inte som malm eller koncentrat, men som bearbetade produkter som ferroniob eller niobmetall. Under perioden 2010–2014 var världsproduktionen av ferroniob 51 000 ton per år i genomsnitt (EU-kommissionen 2017b).

Sverige: Det finns inga kända ekonomiska Nb-fyndigheter i Sverige. LCT-pegmatiter, karbonatiter och alkalina intrusioner är potentiella Nb-källor.

Platinagruppens metaller

Platinagruppens metaller (PGM) består av de sex grundämnena ruthenium (Ru), rhodium (Rh),

palladium (Pd), osmium (Os), iridium (Ir) och platina (Pt). PGM räknas som ädelmetaller och är mycket sällsynta i jordskorpan med genomsnittliga halter på ppb-nivå. Platina, palladium och rhodium är kommersiellt viktigast i denna grupp. Huvudsakligt användningsområde är i katalysatorer för avgasrening, petroleumsraffinering och kemisk industri samt i smycken och elektronik (EU Kommissionen 2017b, Thorman m.fl. 2017).

PGE förekommer ofta tillsammans med nickel- och koppasulfider, till exempel i Norilsk-Talnakh i Ryssland och Sudbury i Kanada. En annan viktig fyndighetstyp är så kallad ”*Reef-type*” där tunna, men lateralt kontinuerliga lager rika på PGE uppträder i lagrade mafiska-ultramafiska intrusioner. Exempel är Merensky Reef i Bushveldkomplexet i Sydafrika och Great Dyke i Zimbabwe (Thorman m.fl. 2017). Sydafrika är världens största producent av PGE följt av Ryssland. Största reserver finns också i Sydafrika (Bushveldkomplexet).

Sverige: Lagrade mafiska intrusioner, bland annat i nickellinjen sydväst om Skellefteå kan ha potential.

Sällsynta jordartsmetaller

Sällsynta jordartsmetaller (REE) är en grupp på 17 metalliska grundämnen som kemiskt och fysikaliskt liknar varandra. De inkluderar lantanoiderna och yttrium. Skandium brukar också ofta räknas som REE, men detta grundämne beskrivs separat. Det är vanligt att dela in REE i två grupper, lätta jordartsmetaller (LREE) som omfattar lantan till samarium och tunga jordartsmetaller (HREE) som omfattar europium till lutetium (samt yttrium). Fyndigheter som innehåller HREE är generellt mera sällsynta än fyndigheter dominerad av LREE.

REE förekommer inte naturligt som metalliska grundämnen, men däremot i mineralgrupper som halider, karbonater, oxider och fosfater. Det finns ungefär 200 mineral som innehåller REE, men bara ett fåtal är kommersiellt intressanta. Viktiga REE mineral är bastnesit Ce, $La(CO_3)F$, xenotim YPO_4, monazit $(REE,Th)PO_4$, samt eudialyt och loparit. REE förekomster kan grovt delas in i två huvudtyper; primära och sekundära. De primära är associerade med magmatiska och hydrotermala processer medan de sekundära förekomsterna är bildade genom sedimentära processer och vittring.

De kommersiellt viktigaste förekomsterna är i alkalina magmatiska bergarter, karbonatiter (inklusiva sekundärt vittrade karbonatiter), vaskavlagringar (eng. *”placers”*) samt REE-rika leror (så kallade *”ion-adsorption clays”*). Genomsnittlig årlig produktion av Rare Earth Oxides (REO) perioden 2010–2014 var ungefär 135 000 ton (EU-kommissionen 2017b). Gruvan Bayan Obo i inre mongoliet i Kina är värdens största REE-producent. Största producentland är Kina med 95 procent av världsproduktionen. REE används i en rad applikationer och material. De är viktiga beståndsdelar i elektroniska, optiska, magnetiska och metallurgiska produkter. REE har blivit oumbärliga i det moderna samhället och alltmer viktiga inom högteknologisk industri och miljövänlig teknik.

Sverige: Sverige har betydande tillgångar av REE. Mineraliseringar med sällsynta jordartsmetaller uppträder i ett antal olika bergarter och geologiska miljöer. Fyndighetstyperna inkluderar bland annat alkalina intrusiv, karbonatit, apatitjärnmalm, granit och pegmatit, Bastnäs-type (skarn), fosforit samt paleoplacer-type. Här beskrivs ett antal fyndigheter.

Norra kärr

Fyndigheten i Norra Kärr upptäcktes år 1906 av SGU i samband med regional berggrundskartering. Gruvbolaget Boliden har undersökt fyndigheten vid olika tillfällen med hänsyn till inne-

hållet av nefelin och zirkon bland annat på 1940- och 1970-talen. Norra Kärr är en så kallad agpaitisk peralkalin nefelinsyenit som har många likheter med andra peralkalina komplex till exempel på södra Grönland och Kolahalvön. Intrusionen täcker en area på ungefär 450 × 1 500 meter och sträcker sig från ytan till ett djup på mera än 350 meter.

Kanadensiska bolaget Tasman Metals (som numera heter Leading Edge Materials) började år 2009 undersöka fyndigheten med hänsyn till innehåll av sällsynta jordartsmetaller. Ett omfattande borrprogram har genomförts och bolaget har gjort en modern resursberäkning (NI-43-101) som har påvisat en sannolik mineralreserv (probable mineral reserve) med 23,57 Mt med 0,59 procent TREO (Tasman Metals 2015).

Norra kärr är utpekat som riksintresse av SGU och representerar en av de mest betydelsefulla fyndigheterna av sällsynta jordartsmetaller i EU. Viktigaste REE-mineralet i Norra kärr är eudialyt. Karakteristisk för fyndigheten är att den är relativt rik på så kallade tunga sällsynta jordartsmetaller (bland annat neodym och dysprosium), som är ekonomiskt värdefulla och viktiga som råvara i produktion av permanentmagneter. Det ska noteras att Norra Kärr förutom att vara en källa till sällsynta jordartsmetaller också innehåller betydande mängder zirkonium, hafnium samt industrimineralet nefelin som kan utgöra biprodukt vid en eventuell utvinning. Innehållet av radioaktiva ämnen i fyndigheten är förhållandevis lågt.

Olserum

En uranmineralisering NV om Västervik blev upptäckt under prospektering i regi av Stora Kopparberg AB på 1950-talet. SGU fortsatte uranprospekteringen i området på 1970-talet. Uppföljande undersökningar 1990 i regi av SGU medförde att REE-mineraliseringen i Olserum blev upptäckt nära associerad med uranmineraliseringen. Tasman Metals har publicerat en NI 43–101 kompatibel Indicated Mineral Resource på 4,5 Mt med 0,60 procent TREO och en NI 43-101 Inferred Mineral Resource på 3,3 Mt med 0,63 procent TREO (Tasman Metals 2013).

REE-linjen i Bergslagen

Längs ett stråk på ca 100 km (den så kallade REE-linjen) från Norberg i nordost via Riddarhyttan-Bastnäs till Nora i sydväst uppträder ett antal magnetitskarn-relaterade REE-mineraliseringar av Bastnäs-typ (Andersson, 2004, Jonsson m. fl. 2014). Mineraliseringarna uppträder i skarnomvandlade karbonatstenar inlagrade i 1,90–1,87 Ga felsiska metavulkaniter med kalkalkalin affinitet. Generellt dominerar fyndigheter anrikade på lätta sällsynta jordartsmetaller i Riddarhyttanområdet, medan det i Nordberg också finns förekomster som är HREE-anrikade. Viktiga REE-mineral är bland annat cerit, allanit och bastnäsit.

Tåsjö

I Tåsjöområdet förekommer en uran- och fosforförande skiffer som på 1970-talet undersöktes av SGU. Ett mycket rent fosforitkoncentrat härifrån höll en halt på 0,68 procent REE.

Apatitjärnmalm

Flera av de svenska apatitjärmalmerna (till exempel Kirunavaara, Malmberget och Grängesberg) innehåller ansenliga kvantiteter av sällsynta jordartsmetaller och utgör en betydlig resurs (Frietsch & Perdahl 1995, Peelman m.fl. 2018). Sällsynta jordartsmetaller ingår bland annat i mineralet apatit som också innehåller fosfor. Fosfor är inte är önskvärt i LKABs pelletsprodukter och malmen från LKABs gruvor genomgår därför en process där apatit separeras från magnetit-

koncentratet via flotation där apatiten floteras till skummet. Fosforinnehållet i svenska apatitjärnmalmer varierar och kan innehålla 1–5 procent fosfor (Pålson m. fl. 2014). I Kirunavaara, som är den största svenska apatitjärnmalmen, visar fosforinnehållet en bimodal fördelning med en fosforfattig så kallad B-malm (< 0,05 procent P) och en mer fosforrik malmtyp, så kallad D-malm (> 1 procent P).

Apatit som råvara för fosfatproduktion utvanns som biprodukt från Malmberget samt från Rektorngruvan i Kiruna under andra världskriget (Grip & Frietsch 1973). Det nyligen avslutade EU projektet REEcover har bland annat haft som syfte att utveckla metoder för att utvinna sällsynta jordartsmetaller, med huvudfokus på neodym och dysprosium, ur avfallsand från Kirunavaara. Resultat från projektet indikerar att sällsynta jordartsmetaller huvudsakligen ingår i de fyra mineralen apatit, monazit, allanit och titanit (REEcover report summary 2017).

I nuvarande processering i Kiruna floteras apatit och monazit, medan allanit och titanit inte följer med. Ungefär 30 procent av de sällsynta jordartsmetallerna i titanit från Kiruna är tunga sällsynta jordartsmetaller. Existensen av REE-förande titanit med högt innehåll av HREE i avfallsanden var tidigare inte känd och detta är en signifikant upptäckt som har betydelse för en eventuell utvinning. LKAB rapporterade nyligen i ett pressmeddelande att de tillsammans med återvinningsbolaget Ragn-Sells ska investera i pilotanläggningar som ska förädla gruvavfall från LKABs järnmalmsproduktion. På sikt är målsättningen att bygga fullskaleanläggningar med utvinning av sällsynta jordartsmetaller och fosfor från avfallsanden (LKAB 2018).

Skandium (Sc)

Även om skandium inte är särskilt sällsynt, genomsnittlig koncentration i jordskorpan är ca 22 ppm (Rudnick & Gao 2003), så är det sällsynt att hitta koncentrationer på mer än ca 100 ppm i naturen. Detta orsakas av att Skandium, på grund av liten jonradie sällan bildar egna mineral och i begränsad omfattning inkorporeras selektivt i andra mineral (undantag är skandium-yttrium silikaten Thortveitit). Marknaden för skandium är liten, global produktion under 2010–2014 var ca 15 ton (EU-kommissionen 2017b). Det finns lite data på kommersiell användning av skandium inom EU, utan mycket används inom forskning och utveckling. Viktigaste områden är fastoxid bränsleceller (SOFCs) samt aluminium-skandiumlegeringar. Aluminium-skandiumlegeringar är bland de lättaste legeringar som finns och kan bidra till att öka energieffektiviteten inom transportsektorn (EU-kommissionen 2017b). Andra användningsområden är keramer, elektronik, laser, belysning och radioaktiva isotoper.

Sverige: En dolomit som förekommer i anslutning till en kvartsgång i Vuolep Räskavare i Norrbotten innehåller höga halter (ca 100 ppm) av skandium (Holmqvist & Nordström 1986, samt analyser i detta projekt). Källan till detta skandium är inte känd.

Tantal (Ta)

Tantal är ett relativt sällsynt grundämne med en genomsnittlig halt på 0,7 ppm i jordskorpan (Rudnick & Gao 2003.) som mineralogiskt ofta uppträder tillsammans med Niob i blandserier till exempel kolumbit-tantalit och pyroklor-microlit. Geologiskt är tantal ofta associerat med kassiterit i tenn-mineraliseringar i graniter och granitpegmatiter. En del av den tantal som utvinns är relaterad till olaglig, småskalig utvinning av kolumbit-tantalit –”koltan”– i Centralafrika (Demokratiska republiken Kongo, Rwanda och Burundi). Denna kontroversiella utvinningen, som ofta involverar barnarbetare, kontrolleras delvis av väpnande grupper och lokala

krigsherrar. Detta har fått USA och nyligen också EU att definiera tantal som ett så kallat konfliktmineral (EU-kommissionen 2017b). Tantal används i en rad produkter, bland annat Ta-kondensatorer, superlegeringar och i specialverktyg för skärande bearbetning. USGS uppger att primär gruvproduktion av Ta var ca 1 300 ton under 2017 (USGS 2018).

Sverige: Det finns ett antal kända fyndigheter med Ta i Sverige, men ingen har varit i produktion än. Dessa fyndigheter är pegmatiter av så kallad LCT-typ. En av de viktigaste svenska fyndigheterna är Järkvissle (se tabell 5 och 6 samt beskrivning under avsnittet ”litium” i bilaga 7).

Vanadin (V)

Vanadin är ett relativt vanligt förekommande grundämne i jordskorpan med en genomsnittlig koncentration på 138 ppm (Rudnick & Gao 2003). Fyndigheter med vanadin förekommer i fosfatbergarter, magmatiska Fe-Ti-V fyndigheter samt i vissa sandstenar och skiffrar (bland annat alunskiffer). Betydande kvantiteter finns också i bauxit samt i fossila bränslen som kol, råolja, oljeskiffer och oljesand. Världsproduktionen av vanadin under 2017 var ca 80 000 ton (USGS 2018). Kina är största producent med en andel på 53 procent. Vanadin kan produceras som samprodukt från slag (vanadinslag). Andra källor är flygaska, vanadinhaltigt magnetitkoncentrat och andra vanadinhaltiga råmaterial. Vanadin används bland annat i specialstål, rostfritt stål, superlegeringar, HSLA-stål, energilagring och som katalysator i kemisk industri.

Sverige: Det finns ett antal kända vanadinfyndigheter i Sverige. När det gäller järn-titan-vanadin-mineraliseringar så kan Sumåssjön, Routevare och Smålands Taberg nämnas. Alunskiffer, bland annat fyndigheten vid Häggån i Jämtland innehåller stora tonnage med låghaltig vanadin, nickel, uran, zink och molybden (Aura Energy 2018).

Vismut (Bi)

Vismut är en sällsynt metall med en genomsnittlig halt i jordskorpan på ca 0,18 ppm. Mineral som innehåller vismut är bland annat vismutglans (Bi_2S_3), men vismut kan också förekomma i naturen i ren form. Vismutmineraliseringar finns i olika geologiska miljöer, bland annat i olika skarnfyndigheter, tennpegmatiter samt i hydrotermala mineraliseringar associerade med graniter. Vismut produceras huvudsakligen som biprodukt av bly- och volframutvinning. Vismut är icke-toxiskt och har användning inom farmaceutisk- och kosmetisk industri. Det är ett miljövänligt substitut för bly bland annat i jaktammunition och fiskeutrustning. Ett annat användningsområde är lågtemperaturlegeringar. Världsproduktionen (från rafinaderi) under 2017 uppgick till 14 000 ton (USGS 2018).

Sverige: Vissa sulfidförande skarnjärnmalmer i Riddarhyttefältet samt volframfyndigheten Yxsjöberg i Bergslagen innehåller anomala halter av Bi.

Volfram (W)

Genomsnittlig halt av volfram i jordskorpan är 1 ppm (Rudnick & Gao, 2003). Volfram har hög densitet (19,3) och den högsta smältpunkten av alla grundämnen. På grund av dessa unika egenskaper så har metallen många användningsområden, bland annat i superlegeringar och specialstål. De ekonomiskt viktigaste volframmineral är wolframit $(Fe,Mn)WO_4$ och scheelit $CaWO_4$ varav scheelit är det vanligaste (BGS 2011). Volfram förekommer i ett antal olika fyndighetstyper, bland annat skarn, breccia, porphyry, greisen, stratabunden, ”*vein-type*” och pegmatit.

Värdens största volframfyndigheter finns i Kina, Kanada och Ryssland. USGS uppger att

primär världsproduktion under 2017 uppgick till ca 95 000 ton, där Kina är världens största producent (USGS 2018). I Europa produceras volfram från gruvor i Portugal, Spanien, Storbritannien och Österrike (EU-kommissionen 2017b, USGS 2018). Dock är denna inhemska produktionen relativt blygsam och täcker inte efterfrågan från europeisk industri, något som medför att EU är en stor nettoimportör av volframkoncentrat bland annat från Ryssland (EU-kommissionen 2017b).

Sverige: Prospektering efter volfram i Sverige har bland annat gjorts av SGU på 1970-talet samt av LKAB prospektering AB. Under en period på 1980-talet var det rutin att analysera borrkärnor med UV-utrustning. Efter mitten av 1980-talet har det inte bedrivits någon större volframprospektering i Sverige (SGU 2008). Tre områden utmärker sig: Ludvikatrakten, Baggetorp i Östergötland samt Storumanområdet i Västerbotten. Bland de svenska fyndigheterna finns gång och gångsystem, skarn samt även greisen-förekomster. Huvuddelen av allt volfram som producerats i Sverige i modern tid kommer från ett antal skarnfyndigheter belägna i ett område runt Ludvika i Bergslagen. Den största producenten var gruvan i Yxsjöberg. Här beskrivse ett antal fyndigheter.

Yxsjöberg

Yxsjöberg är den i särklass största volframfyndigheten i Sverige och står för 92 procent av all producerad volframmalm i Sverige. Yxsjöberg var känd som kopparfyndighet redan i början av 1700-talet. Brytning av volfram pågick under åren 1917–1920, 1935–1963 samt 1973–1989. Totalt bröts 5,17 Mt malm med en halt på 0,27 procent W (FODD 2018). Yxsjöbergsfyndigheten består av de tre skilda malmkropparna Kvarnåsen, Nävergruvan och Finngruvan som ligger i en deformerad och skarnomvandlad kalkstenshorisont. Sidoberg till den förskarnade kalkstenen är felsiska metavulkaniska bergarter med en ålder på 1,89–1,90 miljarder år (SGU 2008). Malmen består av scheelit som är ojämnt fördelad i bergarter av diopsid-hedenbergitskarn blandat med hornbländeskarn, biotitskarn och granatskarn. Andra ekonomiskt betydelsefulla mineral är kopparkis och flusspat. Magnetkis är vanligt och lokalt uppträder magnetit. Andra mindre vanliga mineral inkluderar molybdenglans, volframit, zinkblände, vismutsulfider, apatit och titanit (Ohlsson 1979, SGU 2008).

Wigström

Wigströmgruvan är belägen ca 15 km sydost om Yxsjöberg och var i drift 1978–1981. Värdbergart till malmen är en skarnomvandlad karbonatsten. Skarnet består av granat, diopsid och skapolit med ungefär 10 procent flusspat. Både molybdenförande och molybdenfattig scheelit finns i malmen. Den volframförande skarnzonen är ca 1–25 meter tjock. Under de tre år som gruvan var i drift bröts 130 000 ton malm med en medelhalt om 0,3 procent W (FODD 2018).

Sandudden

Sandudden volframfyndighet hittades på mitten av 1970 talet. Provbrytning utfördes i 1979 och följdes av fullskalig brytning. Fyndigheten som ligger ca 7 km nordost om Yxsjöberg består av tre mineraliserade skarnlager varav endast den mellersta har intressanta volframhalter. Precis som för de övriga skarnförekomsterna i området ligger skarnen och karbonatstenslagren i felsiska metavulkaniska bergarter. Fyra typer av skarn har identifierats i Sandudden: granat-pyroxenskarn, wollastonitskarn, epidotskarn och amfibolskarn varav det förstnämnda är det rikaste. Mängden brutet tonnage är inte känd då malmbrytningen inte finns redovisad i bergverksstatistiken. Sannolikt räknades malmproduktionen in under Yxsjöbergs produktion.

Baggetorp

Vid Baggetorp i Östergötland pågick gruvdrift 1944–1958 och totalt producerades här drygt 275 000 ton malm (Hübner 1971, FODD 2018). Baggetorp är den enda svenska gruvan utanför Ludvikatrakten som har producerat volfram. Mineraliseringen består av volframit och scheelit i en pegmatit som klipper ådergnejser. Volframit är ibland helt ersatt av eller omgivet av scheelit. Molybdenglans förekommer som spridda flak eller utefter kvartsgångens kontakter. Pyrit, kopparkis och vismutmineral förekommer som senare mineraliseringar.

Svärtträsk

Volframfyndigheten vid Svärtträsk i Storumans kommun i västra Västerbottens län upptäcktes i slutet av 1970-talet. Fyndigheten utgörs av scheelitmineralisering och uppträder i ett 150 meter långt och 5–12 meter brett bälte av grov- till medelkornig hornblendit. Två skärpningar har sprängts och 12 kärnborrhål borrades under åren 1977–1978. Nio av de tolv borrhålen skar igenom scheelitmineraliseringar. I meterlånga sektioner av borrkärnorna varierar halterna mellan 0,005 procent och 0,1 procent W. På vissa ställen uppmättes halter på 1 procent W. Malmuppskattningar (ej kompatibla med moderna standarder) visar att det ner till ett djup av 50–100 meter finns 250 000 ton med en halt på 0,17 procent W (FODD 2018).

Storträsket

Mineraliseringen hittades efter blockletning 1979 samt uppföljning under 1980 och består av en svärm med kvartsgångar. Kvartsgångarnas bredd varierar mellan 10 och 60 centimeter och den längsta är omkring 100 meter. Nio volframitmineraliserade kvartsgångar är påvisade (Fors m. fl. 1981). Gångarna innehåller, i tillägg till volframit, också scheelit samt underordnat molybdenglans. Vidare finns arsenikkis, svavelkis, magnetkis, kopparkis, blyglans, turmalin och flusspat. De mineraliserade gångarna uppträder i en 100–200 meter bred zon av leukogranit i kontakten mellan en granit och en omgivande metagråvacka. Sammanlagt har 20 diamantborrhål fördelat på åtta profiler borrats i Storträsket. Mineraliseringen är ojämnt fördelad och volframit förekommer vanligast i anhopningar om 10 × 10 cm. På grund av att volframiten uppträder fläckvis är en tillförlitlig beräkning av volframhalten inte möjlig (Sandahl m.fl. 1982).

Rostberget

Mineraliseringen i Rostberget består av en zon med volframitförande, greisenomvandlade kvartsgångar i granit (Gerdin & Triumf 1984). Gångarnas längdutsträkning är minst 250 meter. Någon uppskattning av tonnage eller halter finns inte tillgänglig.