

DELRAPPORTERING AV REGERINGSUPPDRAG

# Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral

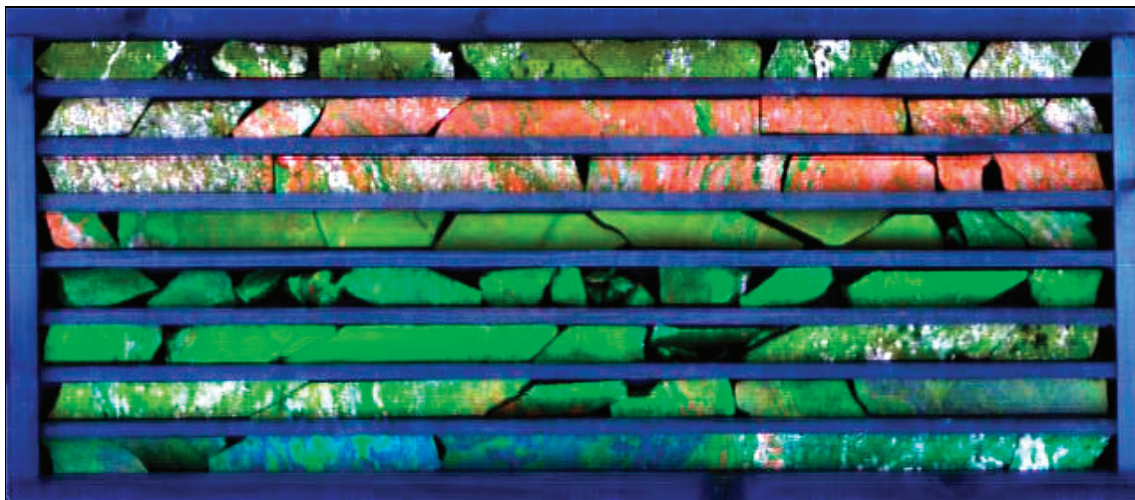
Anders Hallberg och Helge Reginiussen

februari 2018

SGUs diarie-nr: 311-2379/2016

Näringsdepartementets diarie-nr: N2016/ o6368/FÖF

RR 2018:01



**SGU**

Sveriges geologiska undersökning

**Omslagsbild:** Infraröd avbildning (*hyperspectral imaging*) av borrhärdar från Yxsjöberg i Bergslagen. Bilden är en så kallad *False Color Composite*-bild framställd med data från den långvågiga delen av det infraröda spektrumet. Mineral i borrhärdan ger karakteristiska signaturer som återspeglas i färgvariationer.  
**Foto:** Specim

**Författare:** Anders Hallberg och Helge Reginiussen  
**Ansvarig enhetschef:** Erika Ingvald  
**Redaktör:** Tone Gellerstedt

**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](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

# INNEHÅLL

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Sammanfattning</b>                                                                                     | <b>5</b>  |
| <b>Regeringsuppdraget</b>                                                                                 | <b>6</b>  |
| SGUs uppdrag                                                                                              | 6         |
| Behovsanalys enligt Tillväxtanalys rapport                                                                | 6         |
| <b>Innovationskritiska, kritiska och strategiska metaller – en sammanfattning</b>                         | <b>7</b>  |
| <b>Potential för utvinning i Sverige</b>                                                                  | <b>9</b>  |
| Huvudmetaller och biprodukter                                                                             | 9         |
| <b>Ökad kunskap om kritiska råvaror i primära och sekundära källor – metodik och preliminära resultat</b> | <b>10</b> |
| En kemisk malmdatabas – MALMKEMI-db                                                                       | 10        |
| Kvalitet och signifikans                                                                                  | 13        |
| Preliminära resultat                                                                                      | 13        |
| Preliminära slutsatser                                                                                    | 18        |
| <b>Fortsatt arbete</b>                                                                                    | <b>20</b> |
| Bättre metoder för provtagning av gruvavfallsdeponier                                                     | 20        |
| Fortsatt digitalisering och systematisering av befintliga data                                            | 20        |
| Uppföljning av identifierade anomalier (inklusive ”nya områden”)                                          | 20        |
| Uppgifter från aktiva gruvor och anrikningsverk – i dialog med gruvbolagen                                | 20        |
| <b>Referenser</b>                                                                                         | <b>21</b> |
| <b>Bilaga 1. EUs lista över kritiska råmaterial (2017)</b>                                                |           |
| <b>Bilaga 2. Datakällor</b>                                                                               |           |
| <b>Bilaga 3. Ny provtagning av borrhärdar och sandmagasin</b>                                             |           |
| <b>Bilaga 4. Bergartsanalyser</b>                                                                         |           |
| <b>Bilaga 5. Uppbyggnad av databasen MALMKEMI-db</b>                                                      |           |
| <b>Bilaga 6. Percentilbegreppet</b>                                                                       |           |



## SAMMANFATTNING

SGU har fått i uppdrag av regeringen att kartlägga möjligheterna för utvinning i Sverige av de metaller och mineral som krävs för tillverkning av nya miljö- och teknikinnovationer som är under utveckling i Sverige och Europa. I uppdraget ingår kartläggning och kunskapsuppbyggnad av både primära och sekundära källor till dessa mineral och metaller.

Denna rapport är SGUs delredovisning av uppdraget. Slutredovisning ska ske senast 7 december 2018.

SGU har inom ramen för regeringsuppdraget påbörjat en insamling och systematisering av tillgängliga analyser gjorda på prov från flera källor, till exempel dokumentationsarbeten, EU-projekt och prospekteringsrapporter, samt utfört ny provtagning och analys av ett antal väl utvalda objekt. Informationen har sammanställts i en databas som i dagsläget innehåller ca 22 000 poster. Från databasen går det att göra en bred skanning av förekomsten av valda metaller i hela landet. Det går också att skilja information med hög signifikans, till exempel en malmberäkning, från information av lägre signifikans, till exempel enstaka analyser av malmblock.

SGU bedömer att det i Sverige finns betydande geologisk potential för att hitta mineraliseringsringar med innovationskritiska metaller och mineral, något som visas av att det redan idag finns ett flertal kända, malmberäknade fyndigheter där dessa metaller och mineral ingår. Flera av dessa fyndigheter, och även andra intressanta prospekteringsobjekt, ligger utanför de klassiska malmförande regionerna, i områden där tidigare prospektering varit mindre omfattande.



# REGERINGSUPPDRAGET

## SGUs uppdrag

SGU har fått i uppdrag av regeringen att kartlägga möjligheterna för utvinning i Sverige av de metaller och mineral som krävs för tillverkning av nya miljö- och teknikinnovationer som är under utveckling i Sverige och Europa.

I uppdraget ingår kartläggning och kunskapsuppbyggnad av både primära och sekundära källor till dessa mineral och metaller. Inom ramen för projektet ska de viktigaste gruvavfalls-deponierna i Bergslagen kartläggas. Redovisningen ska kunna användas som metodik för kartläggning i större skala.

Samtidigt fick Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser (Tillväxtanalys) i uppdrag av regeringen att kartlägga det framtida behovet av de metaller och mineral (så kallade innovationskritiska metaller och mineral) som krävs för nya miljö- och teknikinnovationer som är under utveckling i Sverige och Europa. 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. Bakgrunden till projekten är att en omställning till fossiloberoende energi, samt högteknologiska produkter, kräver ett antal metaller och mineral som inte utvinns inom EU idag. Som underlag för arbetet ska SGU använda egen befintlig information och databaser samt den behovsanalys som Tillväxtanalys har levererat genom sina rapporter (Tillväxtanalys 2017a,b).

SGUs uppdrag ska delredovisas till Näringsdepartementet senast den 15 februari 2018 och slutrapporteras senast den 7 december 2018.

Denna rapport är SGUs delredovisning av uppdraget. Notera att dispositionen i delrapporten är utformad så som dispositionen är tänkt för slutrapporten, för att redan nu ge en indikation om vilka resultat slutrapporten kommer att bidra med. Dock är detta ett pågående arbete, där inte alla analyser och resultat är på plats ännu, vilket innebär att vissa avsnitt kommer att vara summariska i denna delrapport.

## Behovsanalys enligt Tillväxtanalys rapport

Tillväxtanalys definierar miljö- och teknikinnovationer som innovationer som syftar till att minska produktionens negativa miljöpåverkan genom ökad resurseffektivitet, förnybar energi eller återvinning (Tillväxtanalys 2017b). Utredarna lyfter också fram relevanta tekniker som bedöms ha fortsatt stor potential för teknikutveckling – permanentmagneter, batterier, speciallegeringar, bränsleceller och solceller. Efterfrågan på innovationskritiska metaller och mineral, som drivs av dessa tekniker, är snabbt växande.

Tillväxtanalys understryker att permanentmagneter har en särskild ställning i detta sammanhang eftersom det är en fundamental teknik i ett elektrifierat samhälle. Detta innebär att modern teknik är särskilt beroende av tillgången på sällsynta jordartsmetaller (REE). Efter en samlad värdering av bland annat geologisk potential och produktionskedjor bedömer Tillväxtanalys att fokus bör läggas på följande: sällsynta jordartsmetaller, litiumjonbatterier och speciallegeringar med volfram.

Valet av ovan nämnda fokusområden gör att Tillväxtanalys lyfter fram råvarorna litium, sällsynta jordartsmetaller, grafit, volfram och kobolt i sin slutrapport (Tillväxtanalys 2017b), men drar slutsatsen att potentialen är liten för utvinning av flera av de övriga innovationskritiska metallerna och mineralen, exempelvis gallium, germanium, krom, mangan och platina.

SGU delar uppfattningen att de av Tillväxtanalys föreslagna råmaterialen är mycket viktiga i en innovationskritisk kontext. Vi vill dock poängtera att många svenska malmer och fyndigheter är polymetalliska med potential för att innehålla ett flertal olika kritiska metaller. Utgångspunkten i vårt resonemang är att vår kännedom om innehållet av de viktigaste huvudmetaller (järn, koppar, bly, zink, guld och silver) i svenska malmer är god, men att det behövs bättre kunskap om innehållet av kritiska råmaterial och hur dessa förekommer i svenska fyndigheter. Flera av de kritiska metallerna och mineralen räknas också som konfliktmineral vilket måste beaktas. Det är särskilt intressant, från svensk synpunkt, att dokumentera ett eventuellt malmgenetiskt och kemiskt samband mellan huvudmetallerna och de kritiska metallerna.

## INNOVATIONSKRITISKA, KRITISKA OCH STRATEGISKA METALLER – EN SAMMANFATTNING

Tillgång till råmaterial är avgörande för ett väl fungerande, modernt och hållbart samhälle. 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.

Europa är starkt beroende av import av många råvaror (Brown m.fl. 2016). Som ett led i arbetet med att säkra EUs tillgång på kritiska råmaterial lanserade EU-kommissionen år 2008 det så kallade råmaterialinitiativet (*Raw Materials Initiative*). En prioriterad åtgärd i detta var att etablera en lista över kritiska material (exklusive energimineral) på EU-nivå. EU definierar kritiska råvaror (CRM) som råvaror där det föreligger en hög risk för avbrott i försörjningen på grund av att världsproduktionen är koncentrerad till ett fåtal länder med viss politisk risk samt att råvarorna är av stor ekonomisk betydelse för EUs industri. Många av dessa råvaror, men inte alla, är metaller (undantag är till exempel grafit, fosfat, flusspat).

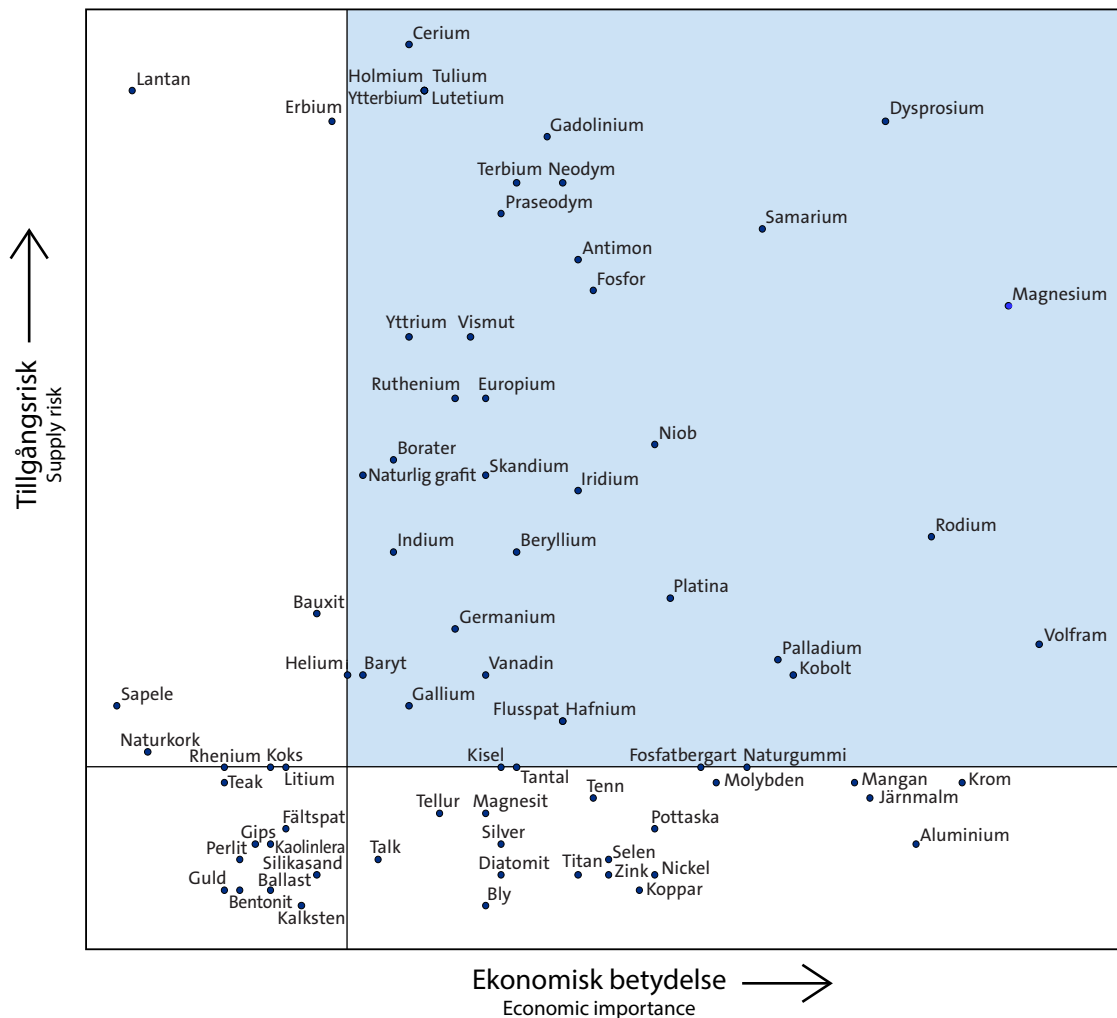
Listan med kritiska material publicerades första gången 2011 och har sedan dess uppdaterats och utökats 2014 och senast 2017. Den omfattar nu 27 kritiska råmaterial, se figur 1 samt bilaga 1. Listan uppdateras vart tredje år (EU-kommissionen 2017).

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, se bilaga 1.

I rapporten (SGU 2014) konstateras att det finns potential för metaller i den svenska berggrunden, framför allt av järn, koppar, bly, zink, guld och silver. Därutöver finns metaller och mineral som fosfor, mangan, flusspat, sällsynta jordartsmetaller, volfram och nickel. Flera av dessa kan visa sig bli kommersiellt intressanta att utvinna i framtiden. Samtidigt noteras att metall- och mineralstatistiken är mycket bristfällig för en stor del av de metaller och mineral som används i mindre kvantiteter i den svenska industrin (till exempel vissa legeringsmetaller och metaller i elektronikindustrin). Vidare nämns att det finns en hel del uppgifter om metallinnehållet i gruvavfall, men osäkerheten är ändå stor om hur stora mängder det totalt sett finns och om utvinning är ekonomiskt lönsamt.

Tillväxtanalys, som analyserat hela värdekedjan från utvinning av primära råvaror till nya





Figur 1. 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.

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

Om man lägger ihop de kritiska metaller 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 fig. 2).

Om vi även inkluderar metaller och mineral som idag tangerar det kritiska fältet (fig. 1), blir det tydligt att en bred inventering och en komplett karakterisering av svenska malmer, fyndigheter och gruvavfalldeponier blir nödvändig. Dels för detta projekt, dels för att kunna svara mot de framtida, ännu okända krav som kommer att ställas av en innovativ industri.

1

H

Hydrogen

1.00794

3

Li

Lithium

6.941

4

Be

Beryllium

9.012182

11

Na

Sodium

22.989770

12

Mg

Magnesium

24.3050

19

K

Potassium

39.0983

20

Ca

Calcium

40.078

21

Sc

Scandium

44.955910

22

Ti

Titanium

47.867

23

V

Vanadium

50.9415

24

Cr

Chromium

51.9961

25

Mn

Manganese

54.938049

26

Fe

Iron

55.845

27

Co

Cobalt

58.933200

28

Ni

Nickel

58.6934

29

Cu

Copper

63.546

30

Zn

Zinc

65.39

31

Ga

Gallium

69.723

32

Ge

Germanium

72.64

33

As

Arsenic

74.92160

34

Se

Selenium

78.96

35

Br

Bromine

79.904

36

Kr

Krypton

83.80

37

Rb

Rubidium

85.4678

38

Sr

Strontium

87.62

39

Y

Yttrium

88.90585

40

Zr

Zirconium

91.224

41

Nb

Niobium

92.90638

42

Mo

Molybdenum

95.94

43

Tc

Technetium

(98)

44

Ru

Ruthenium

101.07

45

Rh

Rhodium

102.90550

46

Pd

Palladium

106.42

47

Ag

Silver

107.8682

48

Cd

Cadmium

112.411

49

In

Indium

114.818

50

Sn

Tin

118.710

51

Sb

Antimony

121.760

52

Te

Tellurium

127.60

53

I

Iodine

126.90447

54

Xe

Xenon

131.29

55

Cs

Cesium

132.90545

56

Ba

Barium

137.327

57

La

Lanthanum

138.9055

58

Ce

Cerium

140.116

59

Pr

Praseodymium

140.90765

60

Nd

Neodymium

144.24

61

Pm

Promethium

(145)

62

Sm

Samarium

150.36

63

Eu

Europium

151.964

64

Gd

Gadolinium

157.25

65

Tb

Terbium

158.92534

66

Dy

Dysprosium

162.50

67

Ho

Holmium

164.93032

68

Er

Erbium

167.26

69

Tm

Thulium

168.93421

70

Yb

Ytterbium

173.04

71

Lu

Lutetium

174.967

87

Fr

Francium

(223)

88

Ra

Radium

(226)

89

Ac

Actinium

(227)

90

Th

Thorium

232.0381

91

Pa

Protactinium

231.03588

92

U

Uranium

238.0289

93

Np

Neptunium

(237)

94

Pu

Plutonium

(244)

95

Am

Americium

(243)

96

Cm

Curium

(247)

97

Bk

Berkelium

(247)

98

Cf

Californium

(251)

99

Es

Einsteinium

(252)

100

Fm

Fermium

(257)

101

Md

Mendelevium

(258)

102

No

Nobelium

(259)

103

Lr

Lawrencium

(262)

</

Figur 2. Periodiska systemet med kritiska metaller enligt olika källor. Tantal (Ta), volfram (W) och tenn (Sn), och ibland också kobolt (Co), räknas även som konfliktmineral.

## POTENTIAL FÖR UTVINNING I SVERIGE

SGU bedömer att Sverige har en betydande geologisk potential, framför allt i de malmförande regioner där det idag och de senaste tusen åren har utvunnits metaller, men även utanför dessa regioner. Lättillgänglig grundläggande geovetenskaplig information och en teknisk och vetenskaplig infrastruktur inom de flesta verksamhetsområden inom metallutvinning är viktigt. Modern lagstiftning som täcker hela kedjan från tidiga prospekteringsinsatser till tillverkning av produkter finns på plats. Detta gör Sverige till ett attraktivt gruvland.

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 tillståndprocesserna blivit ett hinder för verksamheten. Tillväxtanalys understryker att en framtida värdekedja med malmbrytning och produktion av produkter innehållande kritiska metaller i Sverige kräver fler styrkeområden än enbart en god geologisk potential.

Ett första steg i en framtida värdekedja är dock att de eftersökta mineralen och metallerna finns i intressanta halter, att vi vet var de finns och i vilka mängder – det vill säga det som utgör SGUs aktuella uppdrag.

## Huvudmetaller och biprodukter

Många kritiska metaller (till exempel indium, gallium och germanium) bildar sällan egna brytvärda mineral som motiverar gruvbrytning utan förekommer vanligtvis i mycket låga halter i malmer som bryts för andra metaller. De kan därmed betraktas som associerade metaller (eng. *companion metals*). I de fall de utvinns sker detta i senare steg i metallernas produktionskedja: i smältverk eller vid metallraffinering. I dessa fall är huvudmetallen den ekonomiska drivkraften för brytning och utvinning. Om biprodukten 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 är det inte alla dessa som tas till vara.

Eventuell utvinning av associerade metaller styrs av om utvinningen är ekonomiskt lönsam och om det finns teknologi på plats för att ta till vara dessa under något steg i metallproduktionen. Ofta kräver denna utvinning sofistikerade metallurgiska processer som i sin tur kräver stora investeringar och kostnader.

Generellt kräver utvinning av metaller från malmer en kombination av brytning, krossning, malning, smältning och raffinering, via fysiska, pyrometallurgiska eller hydrometallurgiska tekniker. Exakt i vilket steg i processen som associerade metaller kan utvinnas på bästa sätt beror bland annat på den primära malmen och vilken processeringsmetod som används. Historiskt har många av dessa associerade metaller utgjort störande element som skapat problem i processen med att extrahera huvudmetallerna, ytterst sällan har de setts som en utnyttjbar resurs.

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 kan en metall vara en biprodukt av en huvudmetall, men i andra sammanhang vara brytvärd på egen hand, exempelvis guld, silver, platinagruppens metaller (PGM), tantal och kobolt.

Det saknas god kunskap om förekomsten av vissa kritiska metaller i Sverige. I vilka geologiska miljöer kan man hitta dem? Finns de i vissa typer av malm eller i vissa regioner? Bryts de redan idag men utvinns inte? I regeringsuppdraget ska vi försöka besvara några av dessa frågor.

## ÖKAD KUNSKAP OM KRITISKA RÅVAROR I PRIMÄRA OCH SEKUNDÄRA KÄLLOR – METODIK OCH PRELIMINÄRA RESULTAT

Tillväxtanalys konstaterar, i sin översikt av svenska styrkeområden, att det svenska gruvklustret domineras av två aktörer, LKAB och Boliden (Tillväxtanalys 2017b). Kärnverksamhet för dessa aktörer består av utvinning av järn respektive basmetaller (koppar, zink och bly) och guld. 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 volfram-koppargruvan i Yxsjöberg, cesium- och litiumutvinning i Varuträsk, nickelgruvan i Lainjaur och grafitutvinning på flera platser, men denna produktion har varit mycket liten i förhållande till de klassiska metallerna järn, basmetall och guld.

Denna inriktning på ett fåtal metaller och mineral återspeglas i vår kunskap om svensk malmproduktion; vi har idag en stor mängd information om järn, basmetaller och guld från det senaste seklets gruvdrift och prospektering men mycket sparsamt med information om andra mineral och metaller, inklusive de innovationskritiska råvaror som efterfrågas idag.



Figur 3. Bilden visar en bit apatitjärnmalm från Lekomberg i Bergslagen. Järnmalmer består ofta av mineralet magnetit som är magnetiskt och som är lätt att identifiera med en magnet. Ett tränat öga kan också hitta fosformineralet apatit i järnmalsbiten. Vad som inte syns, ens för ett tränat öga, är att denna malmtyp också innehåller sällsynta jordartsmetaller (REE), just denna malmbit ungefär 0,07 % REE. Detta går bara att ta reda på genom att göra en kemisk analys av provet och detta gäller förekomsten av de flesta av de kritiska metaller i denna rapport – det syns inte på malmen eller på gruvavfallet vilka och hur stor mängd av kritiska metaller de innehåller, det måste undersökas med kemiska analysmetoder. Foto: Helge Reginiussen.

## En kemisk malmdatabas – MALMKEMI-db

För att råda bot på denna kunskapsbrist har SGU, i detta regeringsuppdrag, valt att bättra på kunskapsläget genom att samla in och systematisera tillgängliga analysdata från väl definierade prov från flera källor: dokumentationsprojekt, EU-projekt, borrhålsprotokoll, prospekteringsrapporter etc. (se bilaga 2) samt genom att utföra ny provtagning av ett antal väl utvalda borrhäknor och sandmagasin (se bilaga 3) och sedan analysera dessa prov med moderna analysmetoder (se bilaga 4).

Kemiska analyser av bergarter är ett viktigt verktyg vid prospektering, malmberäkning, malmutvinning och miljöarbete, men även inom geologisk forskning på bergartsbildande processer, malmbildande processer osv. Analysresultaten – när provtagning, provberedning och analysering utförts på ett bra sätt – ger viktig information om bergartens innehåll av ekonomiskt intressanta grundämnen, inklusive de innovationskritiska, samt om potentiellt skadliga ämnen.

De senaste decennierna har kvalificerade analysmetoder och provberedningar utvecklats

samtidigt som kostnaden för analyserna sjunkit betydligt. Ingen inom prospekterings- och gruvverksamheten behöver idag begränsa provtagning och analysering av kostnadsskäl, något som fått till följd att mängden multielementanalyser i tryckt och digital form har ökat dramatiskt. Att samla alla dessa analysdata i ordnad form i en sökbar databas ger oss ett kraftfullt verktyg både för att leta efter fyndigheter som tidigare betraktades som oekonomiska och för att undersöka förekomsten av grundämnen som tidigare var ointressanta (bland annat kritiska metaller). Dessutom kan databasen användas för att påvisa skadliga och hälsovådliga grundämnen.

Informationen har sammanställts i en gemensam och välstrukturerad databas som i dagsläget innehåller ca 22 000 poster. 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 borrhärdar 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 en indikation på ett visst ämne. Figur 4 visar läget för analyser som ingår i databasen. Databasens uppbyggnad och innehåll är redovisade i bilaga 5.

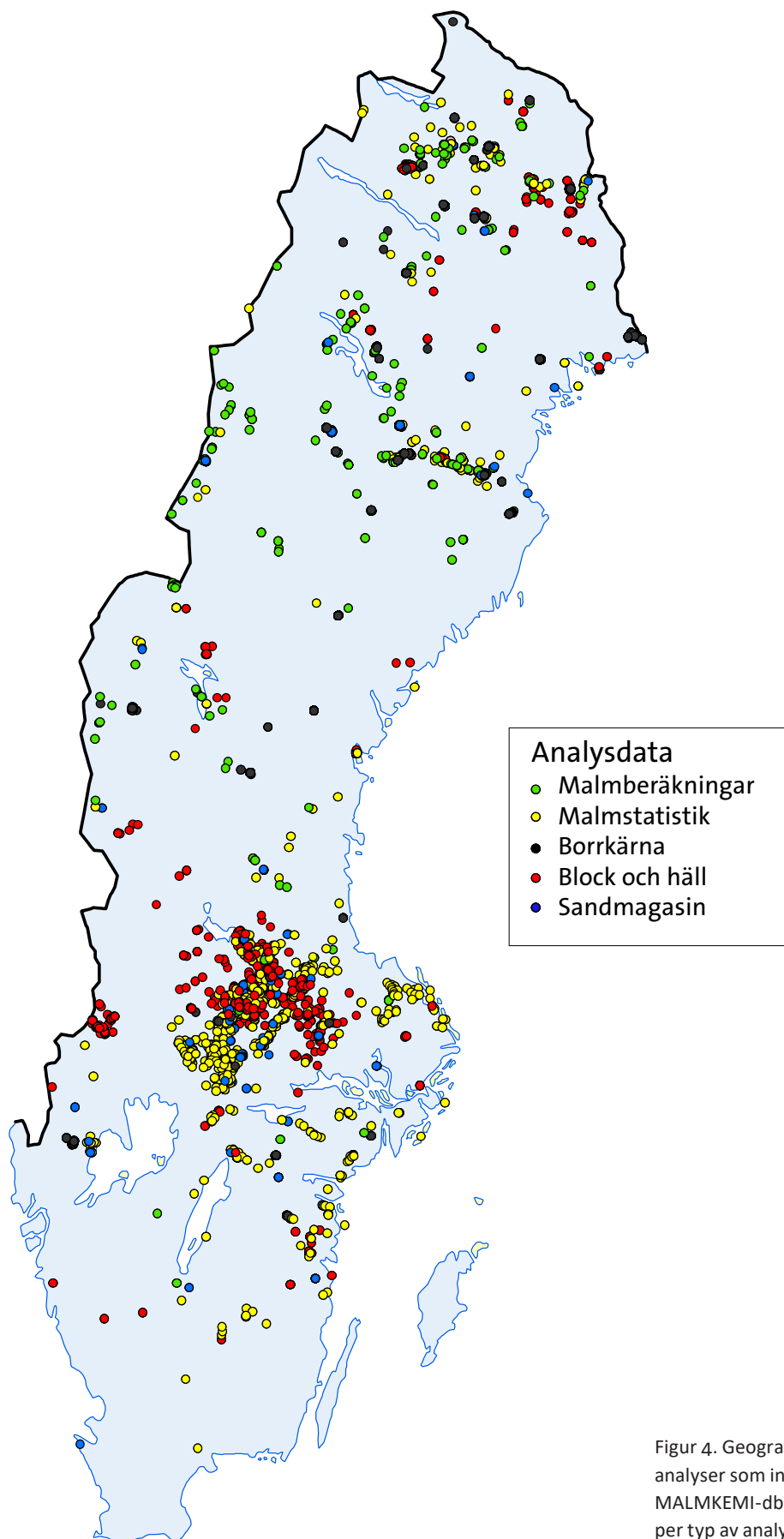
De olika posterna i databasen skiljer sig stort med avseende på antal analyserade grundämnen, uppslutnings- och analysmetod, den generella kvaliteten på analyserna samt den signifikans som analysresultaten representerar. Denna information har vägts samman i en kvalitetsbeteckning (Q) för respektive post.

## Kvalitet och signifikans

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 borrhärd 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 anriktningsverk baseras på hundratals till tusentals analyser som tillsammans representerar en mycket stor mängd mineraliserat berg och har därför hög signifikans.

Dessa kategorier påminner om de utvecklingssteg som sker i ett framgångsrikt prospekteringsprojekt. De inleds ofta med att några enstaka block- eller hällprov med ekonomiskt intressanta metall- eller mineralhalter hittas. Nästa steg i prospekteringen inkluderar kartering och borrhärdning som, om resultaten fortfarande är ekonomiskt intressanta, går vidare till noggrant genomförda malmberäkningar som baseras på hundratals till tusentals analyser av borrhärdar som tillsammans definierar en malmkropp som kan brytas med vinst.



Figur 4. Geografiskt läge för samtliga analyser som ingår i databasen MALMKEMI-db, ca 22 000 analyser, per typ av analyserat material.

## Preliminära resultat

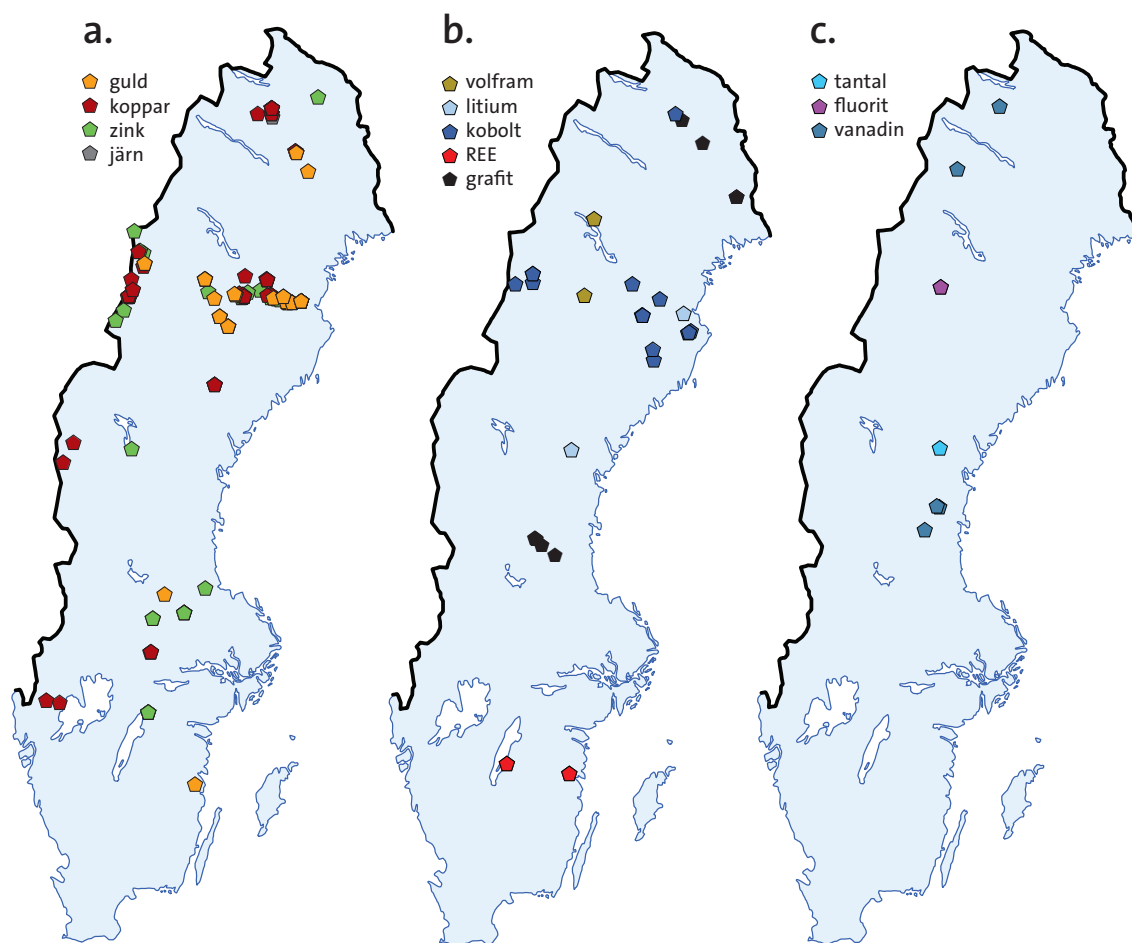
Sverige är ett land med betydande potential för utvinning av ett flertal av de kritiska råvarorna:

- Det finns kända, malmberäknade tillgångar av ett flertal kritiska metaller och mineral: kobolt, litium, grafit, vanadin, sällsynta jordartsmetaller (REE), volfram, tantal och flusspat.
- Flera mindre fyndigheter av niob, tenn, antimon, beryllium samt platinagruppens metaller (PGM) är kända.

Från databasen går det att göra en bred skanning av förekomsten av valda metaller i hela landet. Det går också att skilja information med hög signifikans, till exempel en malmberäkning, från information av lägre signifikans.

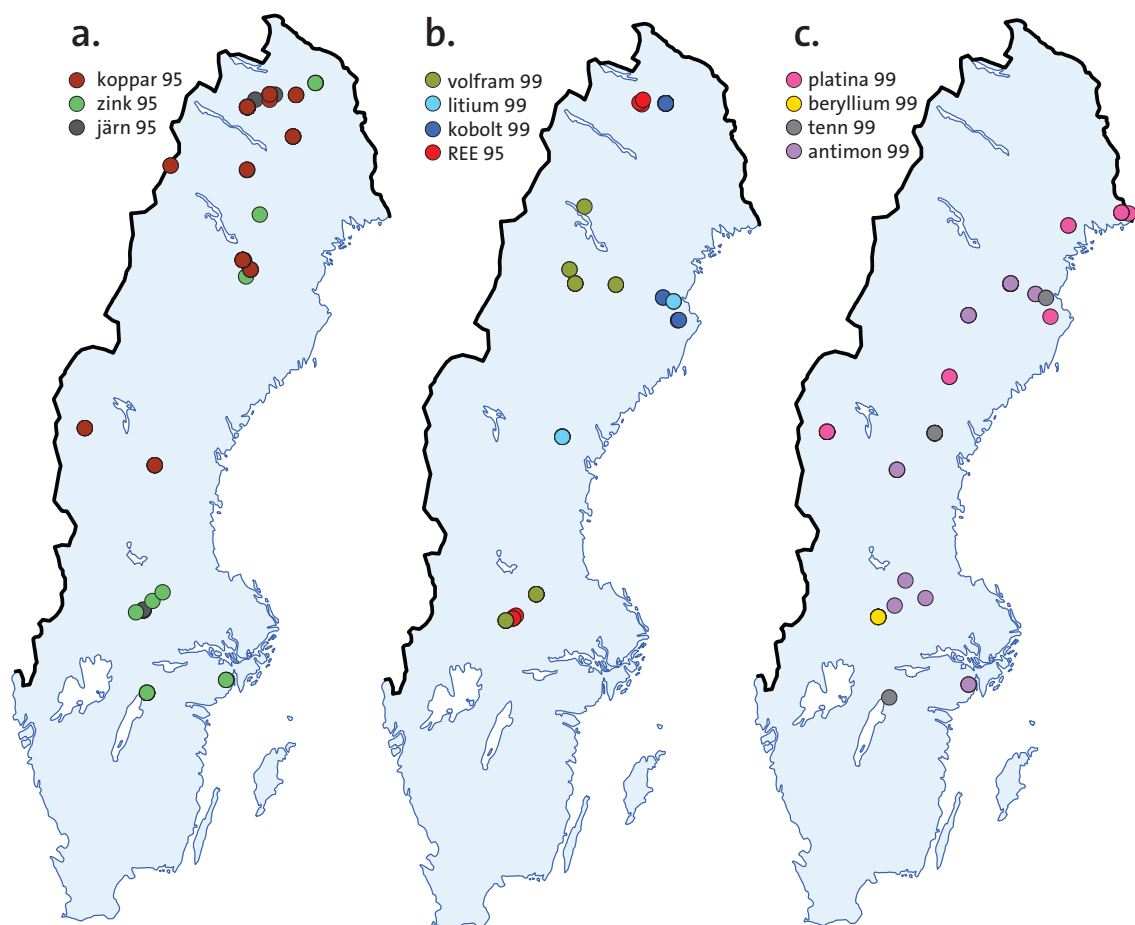
Kartbilderna i figur 5–8 visar utdrag ur den databas med analysdata som hittills sammanställts inom projektet.

Figurerna 5a–c visar läget för malmberäknade fyndigheter samt vilka metaller och mineral som ingår i malmberäkningen. När malmberäkningar av äldre datum genomfördes fanns inte dagens regelverk och det går därför inte att klassificera dem helt korrekt. De äldre malmberäkningsmetoderna utfördes dock på i stort sett samma sätt som modernare sådana och baseras på



Figur 5a–c. Geografiskt läge för malmberäknade fyndigheter.





Figur 6a–c. Geografiskt läge för borrhärdar med anomal höga halter av något malmelement. Höga halter definieras här av 95:e eller 99:e percentilen, se bilaga 6.

statistisk behandling av en stor mängd analyser av borrhärdar, där flera borrhärdar tillsammans definierar en sammanhållen malmkropp.

För tydlighetens skull visas resultaten i tre kartbilder: figur 5a visar läget för malmbäräknade fyndigheter med järn, basmetallerna koppar och zink samt guld, det vill säga de flesta metaller som utvinns idag från den svenska berggrunden. Figur 5b visar läget för malmbäräknade fyndigheter där grafit, kobolt, volfram, sällsynta jordartsmetaller (REE) och litium ingår i malmbäräkningen, det vill säga de metaller och mineral som av Tillväxtanalys (2017b) ses som intressanta råvarubaser. I figur 5c visas ett urval av andra kritiska metaller och mineral. Fyndighetens namn, mängd malm, metallhalter, rapporteringssystem och referenser till uppgifterna finns i tabell 1.

Figur 6a–c visar läget för borrhärdar med anomal höga halter av något malmelement. Kartbilderna är uppdelade på samma sätt som för malmbäräkningarna i figur 5a–c. Som anomal halt används den 99:e eller 95:e percentilen beräknad från de analysdata vi förfogar över. För de beräknade värdena för 99:e och 95:e percentilen för ett flertal element samt en förklaring till percentilbegreppet, se bilaga 6.

Anomala metallhalter från borrhärdeanalyser ger en fingervisning om var intressanta metall-



Tabell 1. Malmberäkningar (mineraltillgångar) för fyndigheter med grafit, sällsynta jordartsmetaller, kobolt, litium och volfram (se även fig. 5b). Data från SGUs databas MALM-db.

| GRAFIT                         |                 |               |              |                       |        |          |        |
|--------------------------------|-----------------|---------------|--------------|-----------------------|--------|----------|--------|
|                                | Mineraltillgång | Rapportering* | Tonnage (Mt) | Grafit (%)            |        |          |        |
| Kringeltjärn <sup>1</sup>      | indikerad       | NI43-101      | 1,86         | 10,63                 |        |          |        |
| Kringeltjärn <sup>1</sup>      | känd            | NI43-101      | 0,99         | 10,68                 |        |          |        |
| Gropabo <sup>1</sup>           | antagen         | NI43-101      | 0,70         | 8,65                  |        |          |        |
| Gropabo <sup>1</sup>           | indikerad       | NI43-101      | 1,50         | 8,83                  |        |          |        |
| Mattsmyra <sup>1</sup>         | antagen         | NI43-101      | 1,18         | 8,35                  |        |          |        |
| Mattsmyra <sup>1</sup>         | indikerad       | NI43-101      | 3,43         | 8,37                  |        |          |        |
| Månsberg <sup>2</sup>          | antagen         | äldre         | 1,35         | 9,44                  |        |          |        |
| Raitajärvi <sup>3</sup>        | antagen         | JORC-code     | 0,90         | 6,4                   |        |          |        |
| Raitajärvi <sup>3</sup>        | indikerad       | JORC-code     | 3,40         | 7,3                   |        |          |        |
| Jalkunen <sup>3</sup>          | antagen         | JORC-code     | 31,5         | 14,9                  |        |          |        |
| Nunasvaara <sup>3</sup>        | antagen         | JORC-code     | 1,60         | 23,9                  |        |          |        |
| Nunasvaara <sup>3</sup>        | indikerad       | JORC-code     | 10,70        | 25,7                  |        |          |        |
| SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER     |                 |               |              |                       |        |          |        |
|                                | Mineraltillgång | Rapportering  | Tonnage (Mt) | TREO <sup>4</sup> (%) |        |          |        |
| Olserum <sup>5</sup>           | antagen         | NI43-101      | 3,30         | 0,63                  |        |          |        |
| Olserum <sup>5</sup>           | indikerad       | NI43-101      | 4,50         | 0,60                  |        |          |        |
| Norra Kärr <sup>6</sup>        | indikerad       | NI43-101      | 31,11        | 0,61                  |        |          |        |
| Norra Kärr <sup>6</sup>        | sannolik reserv | NI43-101      | 23,5         | 0,59                  |        |          |        |
| NICKEL-KOPPAR-KOBOLT           |                 |               |              |                       |        |          |        |
|                                | Mineraltillgång | Rapportering* | Tonnage (Mt) | Cu (%)                | Ni (%) | Co (%)   | Cr (%) |
| Gårkälén <sup>7</sup>          | antagen         | äldre         | 0,04         | 0,18                  | 0,4    | 0,04     |        |
| Kälén <sup>7</sup>             | antagen         | äldre         | 0,07         | 0,27                  | 0,41   | 0,04     |        |
| Njuggträskliden A <sup>7</sup> | antagen         | äldre         | 0,11         | 0,17                  | 0,69   | 0,05     |        |
| Njuggträskliden C <sup>7</sup> | antagen         | äldre         | 0,19         | 0,11                  | 0,7    | 0,05     |        |
| Njuggträskliden D <sup>7</sup> | antagen         | äldre         | 0,26         | 0,41                  | 0,73   | 0,03     |        |
| Brännorna <sup>7</sup>         | antagen         | äldre         | 0,35         | 0,04                  | 0,63   | 0,02     |        |
| Mjövattnet <sup>7</sup>        | antagen         | äldre         | 0,17         | 0,19                  | 1,29   | 0,02     |        |
| Lainejaur <sup>8</sup>         | antagen         | NI43-101      | 0,65         | 0,66                  | 1,33   | 0,09     |        |
| Lappvattnet <sup>8</sup>       | antagen         | NI43-101      | 1,14         | 0,19                  | 0,91   | 0,02     |        |
| Rörmyrberget <sup>8</sup>      | antagen         | NI43-101      | 6,37         | 0,04                  | 0,35   | 0,01     |        |
| Rönnbäcken <sup>9</sup>        | antagen         | NI43-101      | 12,20        |                       | 0,085  | 0,004    |        |
| Rönnbäcken <sup>9</sup>        | indikerad       | NI43-101      | 319,90       |                       | 0,103  | 0,003    |        |
| Kroksjön S <sup>10</sup>       | antagen         | äldre         | 0,30         |                       | 0,3    | 0,0181   | 0,69   |
| Njeretjakke <sup>10</sup>      | antagen         | äldre         | 38,30        |                       | 0,28   | 0,0149   | 0,43   |
| Älggliden <sup>11</sup>        | antagen         | äldre         | 13,0         | 0,7                   | 0,2    | 0,03     |        |
| Kiskamavaara <sup>12</sup>     | antagen         | äldre         | 2,87         | 0,6                   |        | 0,09     |        |
| LITIUM-TENN-TANTAL             |                 |               |              |                       |        |          |        |
|                                | Mineraltillgång | Rapportering* | Tonnage (Mt) | Li (%)                | Sn (%) | Ta (ppm) |        |
| Varuträsk <sup>13</sup>        | antagen         | äldre         | 0,40         | 0,12                  |        |          |        |
| Järkvissle <sup>14</sup>       | antagen         | äldre         | 0,60         | 0,45                  | 0,07   | 80       |        |
| VOLFRAM                        |                 |               |              |                       |        |          |        |
|                                | Mineraltillgång | Rapportering* | Tonnage (Mt) | W (%)                 |        |          |        |
| Svärträsk <sup>15</sup>        | antagen         | äldre         | 0,25         | 0,2                   |        |          |        |
| Maldok <sup>16</sup>           | antagen         | äldre         | 0,07         | 0,17                  |        |          |        |

\*Flera av malmberäkningarna är av äldre datum, före internationellt accepterade redovisningssystem, JORC-code, NI-43-101, Fennoscandian Review Board, fanns.

<sup>1</sup>Flinders Resources Limited, 2015: Technical report for the Voxna graphite project, central Sweden. <http://leadingedgematerials.com>

<sup>2</sup>Voxna Graphite Project, Sweden, National Instrument NI43-101 report. 2011-09-30

<sup>3</sup>Talga Resources, Annual report 2017. [www.talgaresources.com](http://www.talgaresources.com)

<sup>4</sup>Total rare earth oxide.

<sup>5</sup>Tasman Metals 2013: Amended and restated technical report for Olserum heavy rare earth element project, Southern Sweden. <http://www.sedar.com>

<sup>6</sup>Tasman metals, 2015: Amended and Restated Prefeasibility study – NI 43-101-Technical Report for the Norra Kärr Rare Earth Element Deposit. [www.sedar.com](http://www.sedar.com)

<sup>7</sup>Åkerman, C. 1987: Summary of results from nickel prospecting. A consulting report. SGAB, prospekteringsrapport, PRAP 87007.

<sup>8</sup>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>

<sup>9</sup>Nickel Mountain AB (2012): Mineral resources estimate for the Rönnbäcknåset Nickel deposit, Sweden, January 2012. [www.nickelmountain.se](http://www.nickelmountain.se)

<sup>10</sup>Stigh, J., Zachrisson, E., Julin, M. & Larsson, R. 1981: Detritiska serpentiniten. SGU prospekteringsrapport, BRAP 81546.

<sup>11</sup>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.

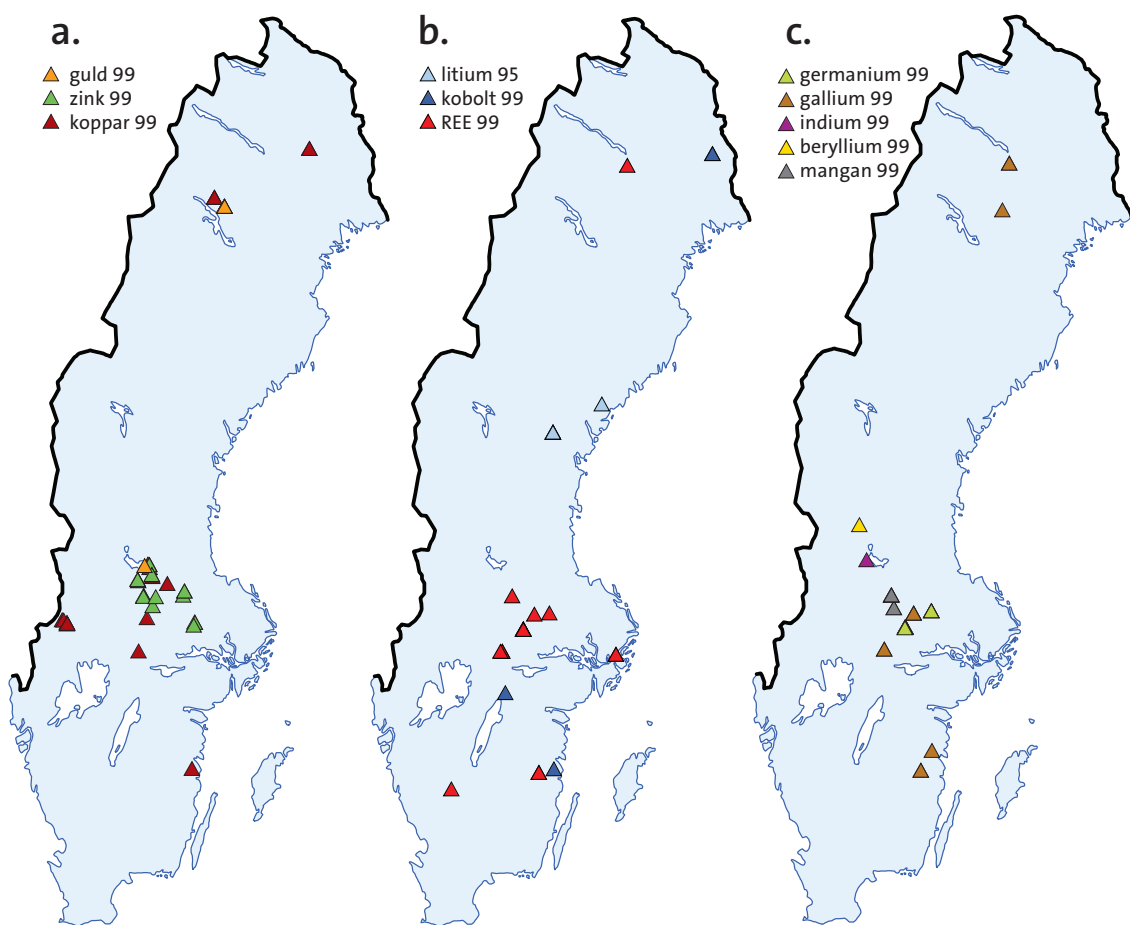
<sup>12</sup>Persson, G. 1982: Kiskamavaara, tonnageräkning på koppar och kobolt. SGU, prospekteringsrapport BRAP 82509.

<sup>13</sup>Gustafsson, B: 1989: Litium – sammanställning. SGAB, prospekteringsrapport, PRAP 89012.

<sup>14</sup>Tuuri, E och Ek, R: 1986: Pegmatiter Y-Län. LKAB prospektering, S 8608.

<sup>15</sup>Holmquist, A. 1979: Volframförekomsten vid Svärträsk. Beskrivning och preliminär malmberäkning. SGU prospekteringsrapport PRAP 79015.

<sup>16</sup>Hill, T. 1984: Projekt Arjeplog, Objekt Maldok slutrapport. LKAB-PAB prospekteringsrapport s 8436.

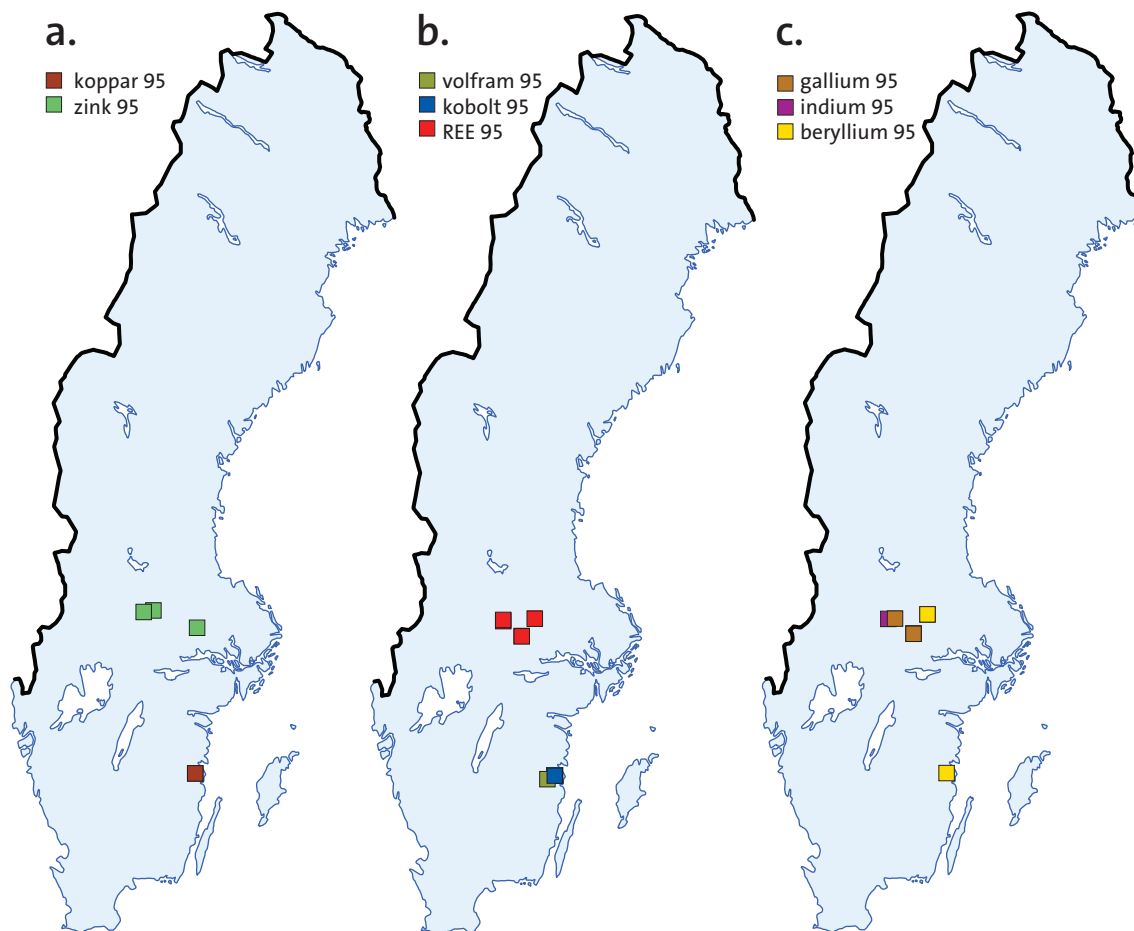


Figur 7a–c. Geografiskt läge för analyserade block och håll med anomalit höga halter av något malmelement. Höga halter definieras här av 95:e eller 99:e percentilen, se bilaga 6.

halter förekommer i berggrunden, men de blir ekonomiskt betydelsefulla först när andra, närliggande borrhälsrör visar intressanta metallhalter och analysresultaten från flera borrhälsrör kan korreleras och utgöra grunden till en malmberäkning. Datamängden innehåller digitaliserade data från äldre borrhälsprotokoll med få analyserade element, digitala data från prospekteringsbolag med fler analyserade element samt data från provtagning i detta projekt med 70 analyserade element.

Figur 7a–c visar läget för analyser av spridda block och hållar med anomala metallhalter. Kartbilderna är uppdelade på samma sätt som för malmberäkningarna i figur 5a–c. De flesta av blockanalyserna kommer från varphögar vid nedlagda gruvor. Det är ofta den bästa indikationen på vilken typ av malm som bröts vid gruvorna och eventuell förekomst av metaller som inte var av intresse under gruvdriften och därför aldrig rapporterades, däribland kritiska metaller.

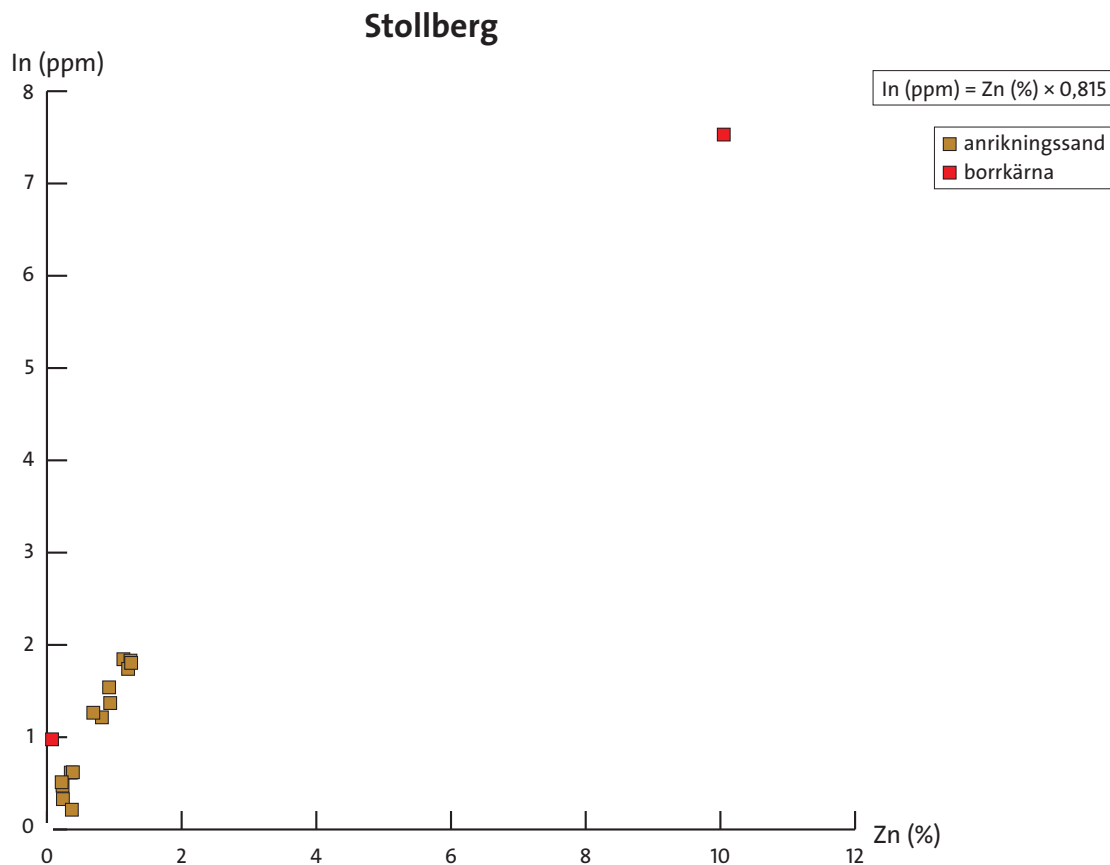
Figurerna 8a–c visar anomala analysresultat från provtagning av anrikningssand i sandmagasin. Kartbilderna är uppdelade på samma sätt som för malmberäkningarna i figur 5a–c.



Figur 8a–c. Geografiskt läge för sandmagasin där analyserna visar på anomalt höga halter av något malmelement. Höga halter definieras här av 95:e percentilen, se bilaga 6.

## Preliminära slutsatser

- För de innovationskritiska metaller och mineral som Tillväxtanalys nämner som potentiella råvarubaser för framtida värdekedjor i Sverige, kobolt, sällsynta jordartsmetaller, litium, grafit och volfram finns redan malmberäknade fyndigheter i Sverige, figur 5b och tabell 1.
- Det finns även malmberäkningar för en del övriga kritiska metaller och mineral (flusspat, molybden, etc.) – malmer som kan utgöra råvarubas för framtida värdekedjor i Sverige och EU, figur 5c. Flera av dessa kritiska metaller förekommer tillsammans med basmetaller som kan utvinnas tillsammans med de kritiska metallerna, något som sannolikt blir nödvändigt för en ekonomiskt hållbar utvinning.
- En del kritiska metaller förekommer associerade med någon eller några huvudmetaller i svenska malmer. I de fall där sådana korrelationer går att påvisa kan man från ett fåtal moderna multielementanalyser av varpprov, borrhärdar och/eller anrikningssand göra uppskattningar av innehållet av kritiska metaller i kvarvarande malm, varphögar och sandmagasin. Moderna



Figur 9. Graf som visar korrelationen mellan zink och indium i anrikningssand och borkärna från Stollberg.

analyser av anrikningssand från två sandmagasin i Stollberg samt analyser av borkärna visar en tydlig positiv korrelation mellan zink och indium (se fig. 9). Genom att anta att denna korrelation gäller för hela malmen, för varpmaterialet och för anrikningssanden går det att uppskatta indiuminnehållet utifrån innehållet av zink som är betydligt bättre känt. En preliminär ekvation för att beräkna indiuminnehållet finns i figur 9.

- Ett annat exempel är innehållet av sällsynta jordartsmetaller i malm och anrikningssand från apatitjärnmalm. Denna korrelation är inte lika tydlig, utan måste utredas vidare.
- Ett antal anomala borkärnsanalyser och blockanalyser kommer från fyndigheter som ligger utanför de klassiska malmdistrikten Bergslagen, Skelleftefältet och norra Norrbotten. Exempel inkluderar koboltrika block från varphögar i östra Norrbotten samt indium- och berylliumrika block från varphögar i Siljansområdet.

## **FORTSATT ARBETE**

Planerad fortsättning inom regeringsuppdraget inkluderar utökad provtagning och analys av primära och sekundära källor samt systematisering av befintliga data. Resultaten kommer att rapporteras i slutredovisningen av regeringsuppdraget i december 2018.

### **Bättre metoder för provtagning av gruvavfallsdeponier**

För att möjliggöra en noggrannare och mer statistiskt representativ provtagning av sandmagasin och varphögar har SGU anlitat 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 ska i rapporten beskriva strategier för provtagning av gruvavfall med ambitionsnivåerna regional och lokal detaljgrad. Metoderna som tas fram i denna manual ska testas av SGU under 2018.

### **Fortsatt digitalisering och systematisering av befintliga data**

Endast en del av befintliga data är hittills digitaliserad och systematiserad. En prioriterad uppgift är att fortsätta arbetet med att fylla på databasen.

### **Uppföljning av identifierade anomalier (inklusive "nya områden")**

Ett antal objekt med anomala halter av innovationskritiska metaller är identifierade i projektet. Några av dessa finns i "nya" områden som ligger utanför etablerade metallogenetiska områden. SGU planerar att följa upp med provtagning och analys av dessa under 2018.

### **Uppgifter från aktiva gruvor och anrikningsverk – i dialog med gruvbolagen**

Det är önskvärt att utöka kunskapsbasen med mer information från aktiva gruvor. Detta måste ske i dialog med gruvbolagen.

## REFERENSER

- 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.
- EU-kommisionen, 2017: Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Executive summary. <<http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25421>> (senast nerladdad 2018-01-09)
- Hagelucken, 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. MIT press, editors: Graedel, Van der Voet, pp.163–197.
- 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.
- Tillväxtanalys 2017a: Värdekedjor för innovationskritiska metaller och mineral. Delredovisning av regeringsuppdrag – att kartlägga behovet av metaller och mineral för miljö- och teknikinnovationer. Tillväxtanalys diarienummer 2016/227.
- Tillväxtanalys 2017b: Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt – hur kan staten stödja utvecklingen? Tillväxtanalys diarienummer 2016/227. <<http://www.tillväxtanalys.se>> (senast nerladdad 2017-12-03)

## **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 MALM-db 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. NY PROVTAGNING AV BORRKÄRNOR OCH SANDMAGASIN**

### **Provtagna och analyserade borrhäror 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 borrhäror vid SGUs borrhärorarkiv 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 borrhärorarkivet i Malå finns enligt uppskattning mer än 3 miljoner meter borrhäror, tillgänglig för allmänheten, från mer än 18 000 borrhål. Härorerna är samlade från mer än hundra års borrhöring och kommer från olika delar av Sverige. Borrhärorerna 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 borrhäror 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 borrhäror-skanningsprojekt (2014–2016) har ett mycket omfattande nytt och modernt dataset producerats. Totalt har 233 000 meter (ca 1 600 borrhäror), 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 borrhäror 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, borrhålssloggar, 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 borrhäror i Malå (se tabell 2).

### **Provtagna och analyserade sandmagasin 2016–2017**

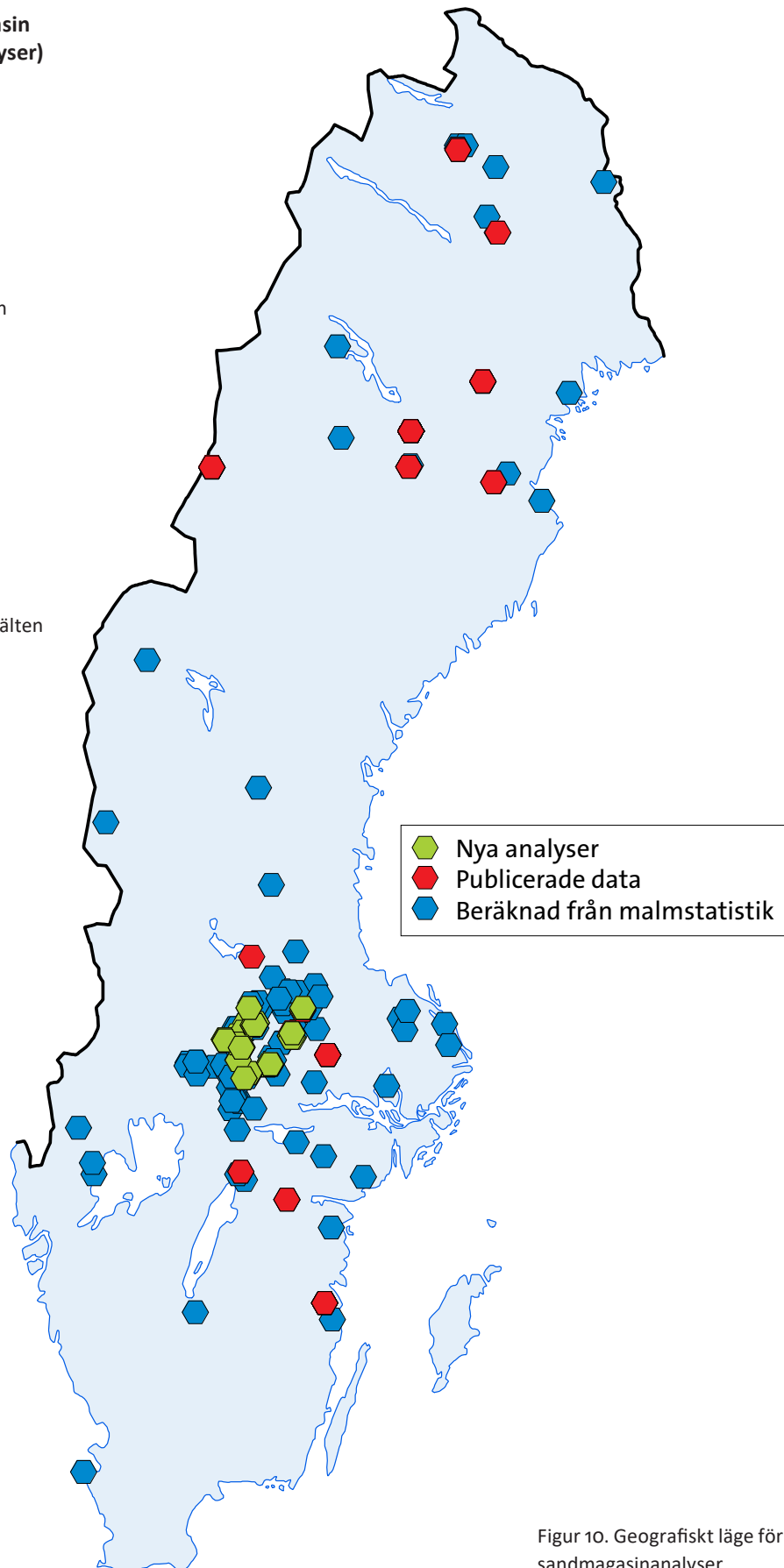
Ett antal sandmagasin i Bergslagen har provtagits och analyserats (figur 10 med tillhörande lista). Vi understryker att provtagningen hittills är av rekognoscerande karaktär, vi har endast utfört ytprovtagning av sandmagasinen och har inte borrhört för att provta djupare delar av magasinerna. Resultat från provtagning och analys ger dock indikationer och en grund för eventuella uppföljningar.

Tabell 2. Förteckning över provtagna borrhävar.

| Objektsnamn                  | Antal prov (n = 208) |                           |    |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|----|
| Adak (Brännmyran, Lindsköld) | 11                   | Pahtohavare               | 3  |
| Allebouda                    | 1                    | Persberg                  | 2  |
| Bastnäsörten/Persgruvan      | 3                    | Poulalaki                 | 2  |
| Björntjärn                   | 2                    | Ramundberget              | 2  |
| Dannemora                    | 3                    | Routevare                 | 1  |
| Dingelvik                    | 8                    | Rävliden                  | 4  |
| Ekströmsberg                 | 5                    | Rävlidmyran               | 2  |
| Enåsen                       | 3                    | Rörmyrberget              | 5  |
| Falu gruva                   | 4                    | Sautusvaara               | 1  |
| Gruvberget-Sumåssjön         | 2                    | Saxå                      | 2  |
| Gråberget                    | 1                    | Silvberg                  | 4  |
| Grängesberg                  | 5                    | Stekenjokk                | 3  |
| Harmsarvet                   | 2                    | Stollberg/Lustigkulla     | 4  |
| Henneviken                   | 3                    | Storliden                 | 5  |
| Hornkullen                   | 1                    | Stråssa                   | 2  |
| Hournaisenvouma              | 12                   | Svärtrräsk                | 2  |
| Iekelvare                    | 4                    | Sylarna                   | 1  |
| Jervas                       | 2                    | Ultevis                   | 1  |
| Järkvissle                   | 5                    | Vargisträsk               | 2  |
| Kiskamavaara                 | 4                    | Vingesbacke               | 5  |
| Kiuri                        | 2                    | Viscaria                  | 10 |
| Kläppsjö                     | 7                    | Vuolep Räskavare          | 2  |
| Laisvall                     | 3                    | Yxsjöberg                 | 11 |
| Lappvattnet                  | 12                   | Äggojaure                 | 1  |
| Leja                         | 2                    | Älgsjöhöjden/Fredriksberg | 2  |
| Lulepotten/Ballek            | 7                    |                           |    |
| Lövstrand                    | 2                    |                           |    |
| Mangen                       | 1                    |                           |    |
| Masugnsbyn                   | 1                    |                           |    |
| Maurliden                    | 2                    |                           |    |
| Myrviken                     | 3                    |                           |    |
| Nautanen                     | 6                    |                           |    |

**Provtagna sandmagasin  
2016–2017 (nya analyser)**

Tuna Hästberg  
Östanmossen  
Källfallet  
Stollberg  
Kaveltorp  
Stråssa  
Intrånget  
Stripa-Guldsmedshyttan  
Grängesberg  
Lekomberg  
Bålsjö  
Nyberget  
Håksberg  
Bastkärn  
Bäckegruvan  
Yxsjöberg  
Blötberget  
Sköttgruve-Mossgruvefälten  
Mimer



Figur 10. Geografiskt läge för sandmagasinanalyser.

## BILAGA 4. 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 perklorosyra. 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 ouplöst men har fördelen att de inte driver iväg volatila element.

Oavsett upplösningssmetod 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 lakningsmetoder 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 5. 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 4. 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 enskilt block, provtagning av sandmagasin, ett beräknat metallinnehåll i utbrutet tonnage eller en mineraltillgång.

Tabell 4. 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 borrhålssektion                                              |                       |
| to            | slut på borrhålssektion                                               |                       |
| 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                                                   |                       |

Tabell 5. Utdrag ur databasen MALMKEMI-db.

| Kisel              | Mangan                         | Tantal                             | Cerium                           |
|--------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| SiO <sub>2</sub> % | MnO <sub>2</sub> %             | Ta %                               | Ce ppm                           |
| Si %               | MnO %                          | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %   | Ce %                             |
|                    | Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> | Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm | CeO <sub>2</sub> %               |
|                    | Mn %                           | Ta ppm                             | Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % |
|                    | Mn ppm                         |                                    |                                  |

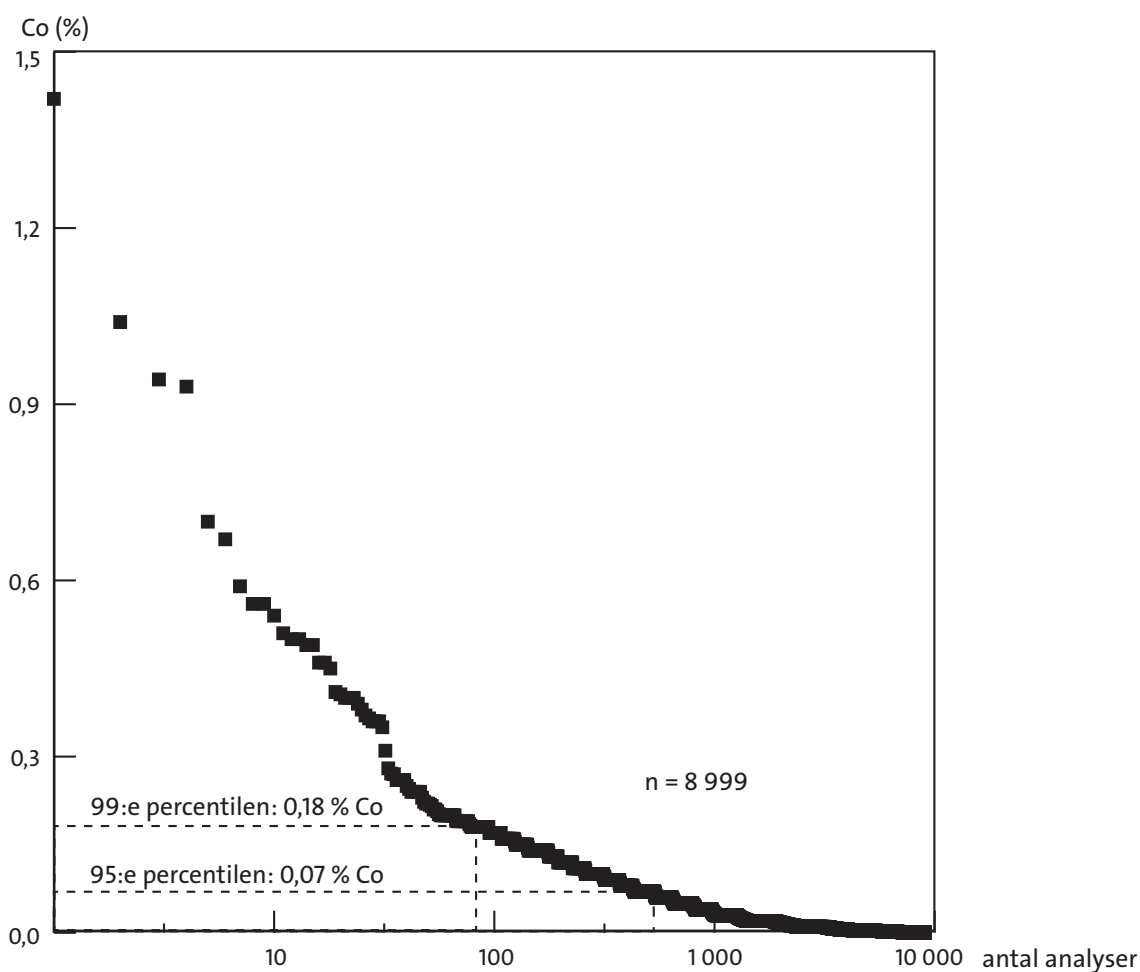
De analysdata som lagras i databasen har hämtats från olika källor där de redovisas på olika sätt och med olika mängdenheter: som rent grundämne eller som oxid, i procent eller parts per million (ppm). Detta medför att listan över analyserade element blir 170 kolumner lång, mycket längre än det periodiska 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 5, 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 få ett gemensamt format på analysresultaten räknas samtliga analysdata om till ett gemensamt format. Samtliga ämnen redovisas som enskilt grundämne (Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> → Ta osv.) och i procent för huvud-elementen och de vanliga malmelementen koppar, zink, bly etc. och ppm för övriga element. Det är dessa data som används för att analysera förekomsten av olika ämnen och för att göra illustrationer, till exempel de i figurerna 5, 6 och 7.

## BILAGA 6. PERCENTILBEGREPPET

En *percentil* är det värde på en variabel, i detta fall ett analysvärde, nedanför vilken en viss procent av observationerna av analysvärdet hamnar. Så är till exempel den 99:e percentilen,  $P_{99}$ , det värde som delar observationsvärdena så att 99 procent av dem är mindre än  $P_{99}$  och 1 procent är större. På samma sätt betyder  $P_{95}$  att 95 procent av observationerna är mindre 95:e percentilen och 5 procent är större, se figur 11 som visar percentilerna för samtliga koboltanalyser. Percentilerna som redovisas i tabell 6 är beräknade från den datamängd som vi sammanställt i projektet. Tabellen visar också den mängd analyser som beräkningarna basera på. Vi har många analyser på de metaller som varit av intresse för gruv- och prospekteringsindustrin, till exempel järn, koppar, zink, bly och guld, men färre analyser av de kritiska metallerna.

För beräkningarna har samtliga analysresultat under detektionsgränsen tagits bort och samtliga resultat över detektionsgränsen satts som lika med detektionsgränsen. De redovisade värdena för de 99:e och 95:e percentilen säger inget om respektive fyndighets ekonomiska potential, utan percentilen visar bara vad som är anomalt i den datamängd som vi har tillgång till och i takt med att vi lägger till nya data till datamängden kommer värdet på percentilerna att ändras.



Figur 11. Samtliga analyser av kobolt (Co) i malmberäkning, borrhärlor, block och hällar samt sandmagasin sorterade efter kobolthalt. 99:e och 95:e percentilerna markerade. Observera att axeln för antal analyser är logaritmisk.

Tabell 6. Percentiler som beräknats från datamängden som sammanställts under regeringsuppdraget. Dessa percentiler har använts för att visa intressanta analysvärden på borrhärdar, block och håll samt sandmagasin. Vilken percentil som använts styrs av mängden data och framgår av figurerna 5–8 i rapporten.

|        | Antal analyser | 99:e percentilen | 95:e percentilen |
|--------|----------------|------------------|------------------|
| Fe_pc  |                | 66,90            | 61,30            |
| P_pc   |                | 2,55             | 1,42             |
| Mn_pc  |                | 10,22            | 1,07             |
| Cu_pc  | 14266          | 2,55             | 1,03             |
| Zn_pc  | 7830           | 10,00            | 2,14             |
| Pb_pc  | 6089           | 8,58             | 1,00             |
| Ni_pc  | 7849           | 1,37             | 0,53             |
| Co_pc  | 8999           | 0,18             | 0,07             |
| Mo_pc  | 4653           | 0,08             | 0,01             |
| Cr_pc  | 5838           | 0,42             | 0,09             |
| V_pc   | 6288           | 0,17             | 0,04             |
| Au_ppm | 5722           | 6,60             | 1,90             |
| Ag_ppm | 5498           | 181,00           | 47,80            |
| Pt_ppm | 1425           | 0,20             | 0,06             |
| Pd_ppm | 1887           | 0,78             | 0,29             |
| W_pc   | 4034           | 0,56             | 0,18             |
| C_pc   |                |                  |                  |
| Be_ppm | 2655           | 240,00           | 12,00            |
| Bi_ppm | 3317           | 841,00           | 187,00           |
| Ga_ppm | 2950           | 120,50           | 31,70            |
| Ge_ppm | 641            | 63,30            | 14,00            |
| In_ppm | 970            | 18,10            | 5,16             |
| Li_pc  | 1618           | 0,65             | 0,31             |
| Nb_ppm | 3103           | 500,00           | 47,00            |
| Ta_ppm | 2153           | 215,00           | 37,00            |
| Re_ppm | 542            | 0,63             | 0,09             |
| Sb_ppm | 3910           | 250,00           | 100,00           |
| Sc_ppm | 4034           | 74,60            | 39,00            |
| Se_ppm | 1766           | 300,00           | 100,00           |
| Te_ppm | 1124           | 124,00           | 10,35            |
| Sn_pc  | 2406           | 0,12             | 0,03             |
| Zr_ppm | 4349           | 646,00           | 286,00           |
| Hf_ppm | 2616           | 16,60            | 9,00             |
| REE_pc | 1781           | 2,93             | 0,22             |