

Rapportering av regeringsuppdrag

# Innovationskritiska metaller och mineral i Bergslagen

Dick Claeson (red.)

mars 2020

SGUs diarie-nr: 311–493/2018

Näringsdepartementets diarie-nr: N2018/01044/FÖF

RR 2020:02



Omslagsbild: Koboltmalm från Storgruvan i Koppartorp, i mitten av  
stuffen ses en cirka 2 cm stor kristall av koboltglans.  
Fotograf: Edine Bakker

Författare: Dick Claeson (red.), Edine Bakker, Torbjörn Bergman,  
Anders Hallberg, Peter Hedin, Johan Jönberger, Anna Ladenberger,  
Alexander Lewerentz, George Morris, Helge Reginiussen, Magnus Ripa  
& Mats Wedmark

Ansvarig enhetschef: Ildikó Antal Lundin

Granskad av: Kaj Lax

Regeringsuppdragets fullständiga namn: Uppdrag att kartlägga  
innovationskritiska metaller och mineral

Redaktör: Lina Rönnåsen

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

## INNEHÅLL

<b>Regeringsuppdraget</b> .....	4
<b>Sammanfattning</b> .....	4
Viktiga resultat.....	5
Tack .....	6
<b>Innovationskritiska råmaterial och utvinningspotential</b> .....	6
Hållbar mineralutvinning.....	9
Lagstiftning.....	11
Konfliktmineral.....	11
Prospektering.....	11
<b>Geologisk potential i Bergslagen</b> .....	12
<b>Genomförande</b> .....	16
Kritiska råmaterial från primära och sekundära källor .....	16
Sammanställningar av bergartskemiska analyser.....	16
Analys av borrhärdar .....	17
Analys av gruvavfall .....	17
Beräkningar av malmproduktion och gruvavfall .....	20
Fokus på utvalda gruvområden .....	21
Riddarhyttfältet .....	21
Yxsjöberg.....	24
Grängesberg.....	26
Stollbergsfältet .....	27
Detaljarterade områden .....	29
Kobolt i Vena gruvfält.....	30
Kobolt i Tuna bergslag.....	37
Grafit i Norbergsområdet, Giltjärn-Skrammelfall- och Ekorrsvedsgruvan.....	41
Indium i greisenomvandlingar av Dalagranit .....	47
Flyggeofysiska- och tyngdkraftsmätningar inom utvalda områden.....	52
Markgeokemisk kartering – innovationskritiska grundämnen i morän .....	57
Morängeokemi i Bergslagen.....	58
<b>Sammanfattning av resultat i tabellform</b> .....	71
<b>Slutsatser</b> .....	72
<b>Rekommendationer för vidare arbeten</b> .....	73
<b>Referenser</b> .....	74
Länklista .....	77

## REGERINGSUPPDRAGET

Regeringen har uppdragit åt Sveriges geologiska undersökning (SGU) att kartlägga möjligheterna för utvinning i Sverige av de innovationskritiska metaller och mineral som är nödvändiga för bland annat miljö- och klimatomställningen.

Uppdraget är en del i regeringens strategi för smart industri och en av två delar i åtgärd 3.14. Det innebär en utökad insats för kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral, för att säkerställa råmaterial av hög kvalitet genom ansvarsfull och hållbar återvinning och utvinning. Råmaterial från primära och sekundära källor i Bergslagen ska identifieras och inventeras.

Denna rapport är SGUs redovisning av uppdraget (SGUs dnr. 311–493/2018, Näringsdepartementets dnr. N2018/01044/FÖF), och är en sammanfattning av det utökade kunskapsläget om innovationskritiska metaller och mineral i Bergslagen.

## SAMMANFATTNING

I slutrapporten av regeringsuppdraget ”Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral”, december 2018 (SGU:s dnr: 311–2379/2016, Näringsdepartementets dnr. N2016/06368/FÖF) konstaterades att Sverige har geologisk potential för ett flertal innovationskritiska metaller och mineral, samt att det finns ett antal malmberäknade fyndigheter i Sverige där dessa råmaterial ingår. Bergslagen är en av Sveriges viktigaste malmprovinser där gruvdrift har pågått i mer än 1 000 år. I tillägg till att vara en region med många järn-, basmetall- och ädelmetallfyndigheter, har Bergslagen också potential för innovationskritiska metaller och mineral.

Den globala efterfrågan på innovationskritiska metaller och mineral är rekordhög och förväntas öka även framöver, allt eftersom ny teknik utvecklas. Trots att förekomster av innovationskritiska metaller och mineral inte är ovanliga i berggrunden är utvinningen av dessa koncentrerade till ett fåtal länder, vilket kan innebära störningar i försörjningskedjan vid konflikter. I Bergslagen finns uppslag av bland annat kobolt, grafit, mangan, molybden, flusspat, indium, vismut, beryllium, sällsynta jordartsmetaller (REE), platinagruppens metaller (PGE), volfram, gallium och germanium, men kunskapsläget är bristfälligt både för primära och sekundära förekomster. Dessutom saknas relevant geologisk, geofysisk och geokemisk grundinformation, som är en förutsättning för prospektering efter metaller och mineral, både vid markytan och framför allt på djupet.

Den fördjupade kartläggningen i Bergslagen har fokuserat på både kunskapsuppbyggnad om förekomster av innovationskritiska metaller och mineral i primära och sekundära källor, samt insamling av högkvalitativ geologisk, geofysisk och geokemisk information. Extra fokus har lagts på att undersöka fyra gruvområden, där järn- och basmetaller tidigare har utvunnits och där moderna analysmetoder visar att det även finns innovationskritiska metaller och mineral. Vidare har SGU valt ut fokusområden för djupare undersökning av geologiska, geokemiska och geofysiska förutsättningar för kobolt, grafit och indiumförekomster. I ett av områdena för kobolt har även en 3-dimensionell tolkningsmodell tagits fram för att belysa de geologiska förutsättningarna för kobolt på djupet. Tolkning av geofysisk information för att kartlägga och förstå potential av grafitförekomst på djupet har också gjorts. En sammanställning av morängeokemisk information gällande tio kritiska metaller och andra grundämnen presenteras, varav en del härrör från SGUs pågående Bergslagsprojekt. Uppdatering av SGUs databaser (malmkemi, bergartskemi, geofysiska data) sker kontinuerligt allt eftersom resultat från nya analyser och mätresultat kommer in från SGUs Bergslagsprojekt.

SGU har inom projektet visat att det finns stor potential för innovationskritiska metaller och mineral i Bergslagen både i primära och sekundära källor. Några sandmagasin innehåller



potentiellt miljöfarliga grundämnen i höga halter. En utvinning av ämnen ur sådana sandmagasin skulle dessutom utgöra en potentiell miljövinna som bland annat minskar läckage av metaller till grund och ytvatten.

De rapporterade undersökningarna tar inte ställning till om förekomsterna är brytvärda, utan detta får eventuella framtida prospekteringsinsatser avgöra.

Mot bakgrund av de resultat som presenteras i rapporten och för att klara omställningen till ett fossilfritt samhälle, föreslår SGU i budgetäskandet för 2021–2023 att den redan pågående satsningen i Bergslagen stärks betydligt, samt utvidgas till delar av Västernorrland, Jämtland och Småland, de senare med fokus på bland annat kobolt, litium och sällsynta jordartsmetaller.

## Viktiga resultat

Uppdraget redovisas till regeringskansliet den 1 mars 2020 och resultaten sammanfattas här:

- Geologisk potential i Bergslagen visas genom en sammanställning från SGUs databaser med bland annat cirka 10 000 metalliska förekomster och förhöjda halter av sällsynta jordartsmetaller, antimon, gallium, volfram, indium, niob, beryllium, kobolt, palladium och platina.
- Äldre information från prospekteringsrapporter, gruvkartor, borrhålsprotokoll och produktionsstatistik, kombinerat med ny provtagning av borrhåll och gruvavfall samt moderna bergartskemiska analyser, har använts för att identifiera förekomst av innovationskritiska metaller och mineral inom olika gruvmiljöer i Bergslagen. I denna rapport redovisas fyra gruvområden där järn- och basmetaller tidigare har utvunnits. Tre av dessa områden har god potential för innovationskritiska metaller och mineral:
  1. Yxsjöberg där volfram, koppar och flusspat tidigare utvunnits, men som också innehåller beryllium, vismut och indium.
  2. Grängesberg där järnmalm utvunnits, men där kvarvarande malm och anrikningssand innehåller fosfor och sällsynta jordartsmetaller.
  3. Riddarhyttfältet där järn och koppar varit de viktigaste produkterna, men innehåller dessutom kobolt, sällsynta jordartsmetaller och molybden.
  4. Stollberg där järn, mangan, bly och zink utvunnits.
- Att dessa gruvområden innehåller olika innovationskritiska metaller och mineral har varit känt sedan tidigare, men med hjälp av ny information går det att göra en uppskattning av mängder och halter av innovationskritiska metaller och mineral i gruvavfall och kvarvarande malm.
- I Vena gruvfält, södra Örebro län, har höga halter av kobolt påträffats, vilket bekräftar och ytterligare karakteriserar äldre information om dessa fyndigheter. Dessutom har kraftigt förhöjda halter av sällsynta jordartsmetaller påvisats i malm från en av områdets äldre järnmalmgruvor, vilket är helt ny information avseende innovationskritiska metaller i Bergslagen.
- Även i Tuna bergslag, söder om Nyköping, har koboltförekomster bekräftats och ytterligare karakteriserats. Utöver kobolt har förhöjda halter av de innovationskritiska metallerna antimon och vismut påträffats, liksom förekomst av det innovationskritiska mineralet baryt. Höga halter av ädelmetaller (guld, silver) och basmetaller (bly, koppar, mangan, zink) har också konstaterats.
- Vid undersökningen i området nordväst om Norberg indikerar de nya geofysiska data en utökad potential för grafit. Den grafitförande bergarten som finns vid de sedan tidigare kända förekomsterna omkring Skrammelfallsgruvorna, indikeras sträcka sig till större djup än vad som tidigare har brutits. Den bedöms också ha större geografisk utbredning än vad som tidigare har varit känt. Regionala geofysiska data visar även ett flertal närliggande områden med trolig förekomst av magnetkismineralisering och därmed också potentiell förekomst av dess vanligtvis associerade grafitförande bergart.

- I greisenomvandlad Dalagranit, i västra Dalarna, har ett flertal innovationskritiska metaller dokumenterats i höga koncentrationer, till exempel indium, vismut, tenn och volfram. Det påvisades även höga halter av basmetallerna koppar, zink och bly, samt av ädelmetallerna guld och silver. Förutom tenn och volfram har till stora delar Dalagraniterna inte varit föremål för prospektering efter några av de andra metalliska grundämnena. Greisenomvandling med intressanta metallhalter har också upptäckts inom ett helt nytt område med stora volymer Dalagranit.
- Nya flyggeofysiska och tyngdkraftsmätningar har utförts i utvalda områden för att skapa förbättrade underlag för bland annat framtida prospektering av innovationskritiska metaller och mineral under markytan. Uppdatering av databaserna för geofysisk information med modern information är genomförd.
- Tolkningen av moränens geokemiska data, med fokus på innovationskritiska metaller och mineral och de tio grundämnena som presenteras i rapporten, visar att de flesta förhöjda halterna av till exempel kobolt, vismut, vanadin och volfram kan kopplas till kända järn- och basmetallmineraliseringar. Informationen är användbar för prospektering.

## Tack

Tack till: Zinkgruvan Mining AB för tillgängliggörande av borrhävar och tillhörande dokumentation samt tillträde till karteringsrum i Zinkgruvan. Länsstyrelsen i Örebro för beviljande av dispens för geokemisk provtagning av anrikningssand i Lejakärrets naturreservat, Lindesbergs kommun. Länsstyrelsen i Södermanlands län för tillståndshandling i samband med tillträde och provtagning inom Simonbergets naturreservat och fornlämningsområdet kring Storgruvan i Koppartorp. Tunabergs hembygdsförening för åtkomst och visning av Storgruvan samt deras samlingar i Koppartorp.

## INNOVATIONSKRITISKA RÅMATERIAL OCH UTVINNINGSPOTENTIAL

Helge Reginiussen & Anders Hallberg

Nya tekniker och innovationer har lett till alltmer komplexa produkter, där ett modernt och hållbart samhälle kräver tillgång till ett antal nya metaller och råmaterial vilka man tidigare var ointresserade av. För att nå målen i Parisavtalet och FN:s Agenda 2030 krävs bland annat omställning till förnybara, fossilfria system för energiproduktion, energilagring och transporter. Om industrin inte har tillgång till de nödvändiga råmaterialen kommer teknikutvecklingen och övergången till ett mer hållbart samhälle med lägre utsläpp att bromsas upp. Dessutom kräver medvetna företag och konsumenter i allt högre grad att produkter är framställda av råmaterial som är producerade på ett hållbart sätt. Kraven på minskade växthusgasutsläpp kommer att styra många råvarubaserade värdekedjor. En förmodad positiv välbefinningsutveckling och ökad efterfrågan i utvecklingsländer, kommer sannolikt att vara drivande faktorer i en ökad global råvarukonsumtion, samtidigt som den internationella konkurrensen om ett flertal råmaterial är växande (Blengini m.fl. 2019).

Myndigheten för tillväxtpolitiska utvärderingar och analyser, Tillväxtanalys, har kartlagt det framtida behovet av innovationskritiska metaller och mineral, samt analyserat vad som behövs för att hela produktionskedjan från utvinning till färdig produkt ska kunna förläggas till Sverige. Tillväxtanalys lyfter fram förnybar energi, återvinning och resurseffektivitet som särskilt viktiga för framtiden. Vidare bedömer de att fokus bör läggas på permanentmagneter, batterier och speciallegeringar, samt anger råmaterialen litium, sällsynta jordartsmetaller, grafit, volfram och kobolt som särskilt viktiga (Tillväxtanalys 2017).

Kritiska råmaterial (eng. *Critical Raw Materials*; CRM) är metaller och mineral som har stor ekonomisk betydelse för en viss bransch, industrisektor, geografiskt område eller där det av olika anledningar finns en risk att försörjningsbrist kan uppstå (Graedel m.fl. 2015). För ett visst råmaterial kan detta förändras över tiden och påverkas av efterfrågan, globala politiska förhållanden och teknisk utveckling (Bedder 2015). Europas industri är importberoende för en rad råmaterial (Tieess 2010, Brown m.fl. 2016) och en stabil tillgång är därmed fundamental för Europas ekonomi, särskilt på grund av att utvinning och produktion är koncentrerad till ett fåtal länder (tabell 1).

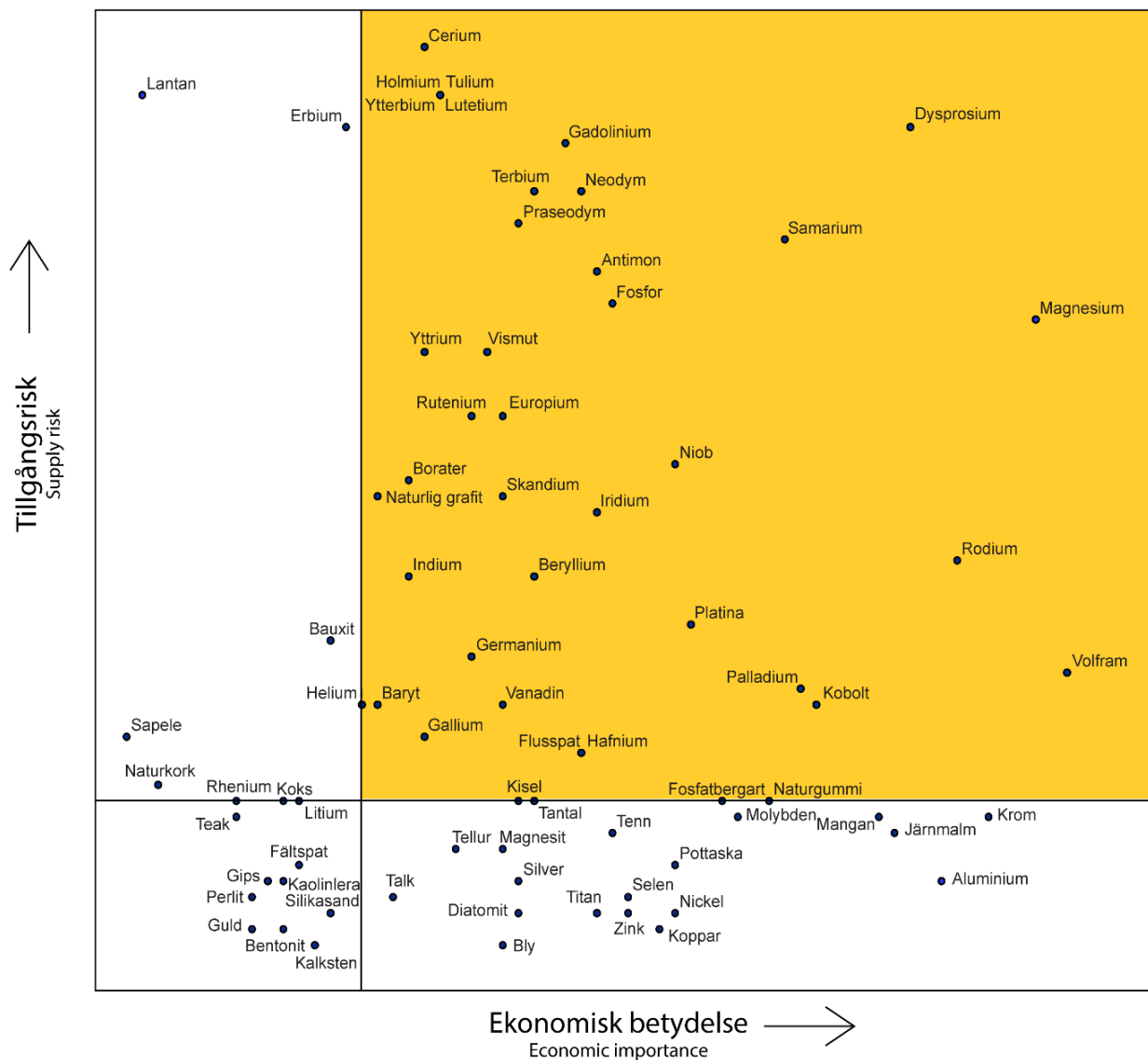
Som ett led i arbetet med att säkra EU:s tillgång på kritiska råmaterial lanserade EU-kommissionen år 2008 det så kallade råmaterialinitiativet (eng. *Raw Materials Initiative*). Detta är en integrerad strategi som inkluderar

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

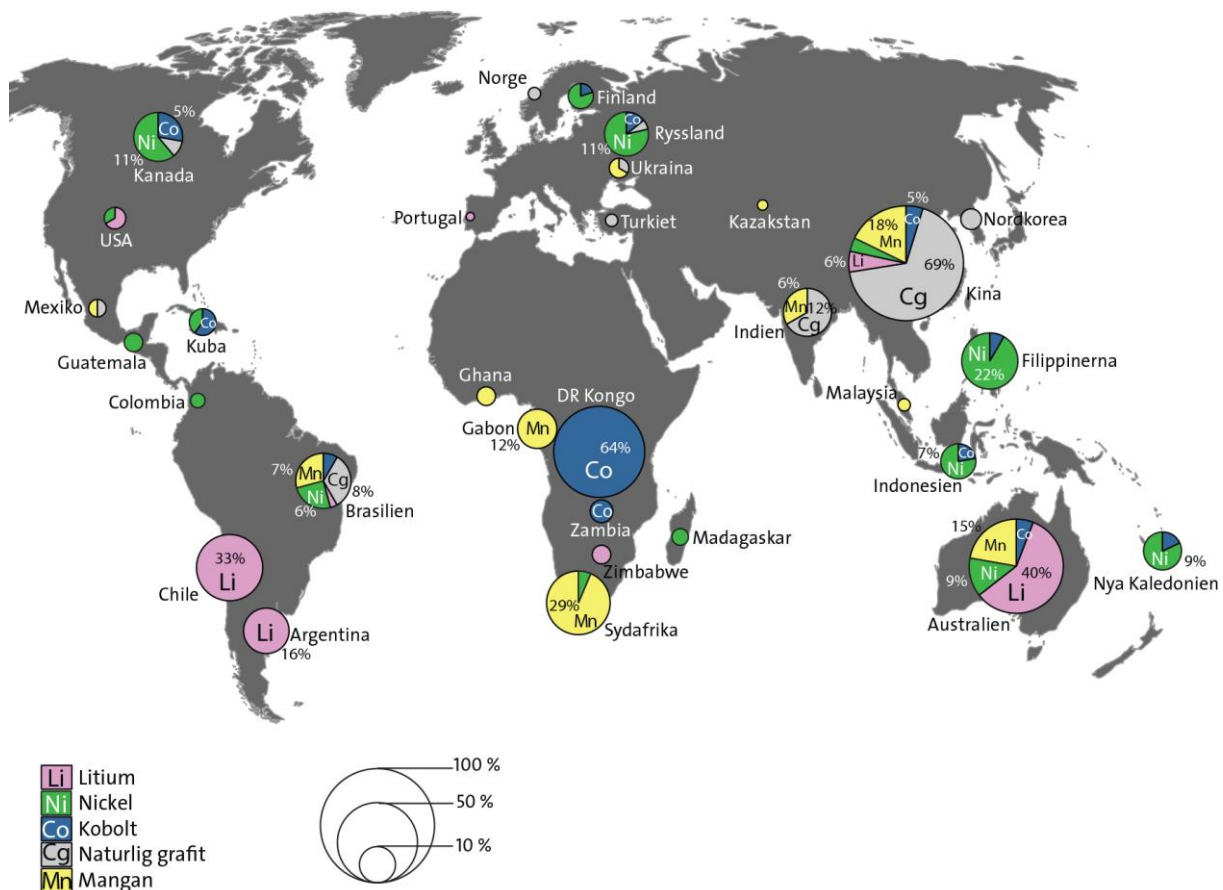
En prioriterad åtgärd var att etablera en lista över kritiska råmaterial inom EU. För att ett råmaterial ska tas med på EU:s lista finns två kriterier. För det första krävs en relativt hög försörjningsrisk på grund av att världsproduktionen koncentreras till endast några få länder med potentiella geopolitiska begränsningar och för det andra att råmaterialet är av ekonomisk betydelse. 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 (fig. 1). En ny och uppdaterad lista förväntas publiceras under 2020. Efterfrågan på batterier förväntas öka kraftigt de kommande åren, vilket medför ett stort behov av batterimetaller (EU-kommissionen 2019). Fördelningen av den globala produktionen av batterimetaller visas i figur 2.

**Tabell 1.** Ett urval av kritiska råmaterial och största producentland. Kina står för en stor andel av världens produktion. Andra länder som har en stor andel av den globala produktionen av vissa kritiska råmaterial är bland annat Brasilien, Demokratiska republiken Kongo, Ryssland, Sydafrika och USA. Källa: EU-kommissionen (2017d).

Råmaterial	Producentland	Andel av världsproduktionen i %	Användningsområden
Sällsynta jordartsmetaller	Kina	95	I elektroniska, optiska, magnetiska och metallurgiska produkter som är oundgängliga i det moderna samhället och alltmer viktiga inom högteknologisk industri och miljövänlig teknik.
Antimon	Kina	87	I flamskyddsmedel och batterier.
Volfram	Kina	84	Används i bland annat superlegeringar och specialstål eftersom det har den högsta smältpunkten av alla grundämnen.
Gallium	Kina	73	Halvedare i elektronikindustrin (integrerade kretsar), LED-belysning och solceller (CIGS).
Grafit	Kina	69	Infodring i smältugnar, smörjmedel, batterier, flamskyddsmedel, neutronmoderator i kärnreaktorer, elektromotorer (borstar), friktionsprodukter (till exempel bromsband), blyertspennor samt i nya högteknologiska material som grafen.
Indium	Kina	56	I solpaneler (bland annat i så kallade tunnfilms solceller CIGC) och plattskärmar.
Niob	Brasilien	90	I HSLA stål (high-strength, low-alloy) och i så kallade superlegeringar i produkter med motståndskraft mot korrosion och som tål höga temperaturer, bland annat för användning inom kärnkraft och rymdindustrin.
Beryllium	USA	90	Inom elektronik-, telekom-, försvars-, medicin- och rymdindustrin.
Platina	Sydafrika	70	Katalysatorer för avgasrening, petroleumraffinering och kemisk industri samt i smycken och elektronik.
Kobolt	DR Kongo	64	I superlegeringar, uppladdningsbara batterier (litiumjonbatterier) och katalysatorer.
Palladium	Ryssland	46	Katalysatorer för avgasrening, petroleumraffinering och kemisk industri samt i smycken och elektronik.



**Figur 1.** EU:s lista över kritiska råmaterial (EU-kommissionen 2017a). De sällsynta jordartsmetallerna (eng. *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 att lantan och erbium ligger utanför det "kritiska" fältet (guldfärgat) enligt EU. Platinagruppens metaller består av rutenium, rodium, palladium, osmium, iridium och platina.



Figur 2. Världsproduktion av batterimetaller (Layout: Lars Norlin SGU, källor: EU-kommissionen 2017b, USGS 2017, BGS 2016).

## Hållbar mineralutvinning

För att säkerställa EU:s långsiktiga råvaruförsörjning behövs fokus på hållbar mineralutvinning. Sverige är ett av EU:s ledande gruvländer och har förutsättningar för detta. Även om det bedöms att Sverige har en god geologisk potential för ett antal innovationskritiska metaller och mineral (Hallberg & Reginiussen 2018), och dessutom är i framkant när det gäller teknik och utveckling, sker ingen utvinning inom landet av dessa. Enbart god geologisk och ekonomisk potential samt fungerande infrastruktur är i dag inte tillräckligt för att starta en utvinning i Sverige av kritiska råmaterial. Det finns projekt, även mycket långt gångna sådana med redovisad malmberäkning, vilka har stoppats upp på grund av utdragna tillståndprocesser. Detta är en paradox när Sverige samtidigt anses vara ett land som har förutsättningar för en ansvarsfull och hållbar mineralutvinning, vilket inte alltid är fallet i några av de länder som i dagsläget står för en stor andel av världsproduktionen (tabell 1). En viktig åtgärd för att kunna möta dessa utmaningar är därför att etablera snabbare och mer förutsägbara tillståndprocesser, vilka också accepteras av samhället.

Några kritiska metaller kan förekomma i låga halter i malmer som bryts efter andra metaller. Om de utvinns sker detta ofta som en biprodukt i ett senare steg i metallernas produktionskedja. Utvinning av innovationskritiska metaller och mineral som en biprodukt av en huvudmetall, kräver att det finns teknologi på plats för att ta till vara biprodukten under något steg i produktionsprocessen. Denna utvinning kan kräva egna processer i gruva, i anrikningsverk, vid metallframställning eller metallraffinering, vilket kräver investeringar. Investeringar i sådan utvinningsteknik konkurrerar med investeringar i ett utvinningsföretags kärnverksamhet. Med tanke på de kraftigt varierande råvarupriserna för kritiska råmaterial och den osäkra framtida efterfrågan på dessa, kommer investeringarna oftast att göras i själva kärnverksamheten.

Gamla avfallsdeponier (varphögar och sandmagasin, fig. 3) från tidigare gruvbrytning och anrikning kan vara intressanta på grund av sina innehåll av metaller som av dåvarande ekonomiska eller tekniska orsaker inte togs till vara. Återvinning av avfall från tidigare gruvbrytning har potential för att vara ett komplement till produktion från primära källor och kan dessutom ge en miljövinst genom att återanvända och ta bort potentiellt miljöfarligt avfall. Inom detta regeringsuppdrag har SGU fortsatt med den provtagning och analys av gruvavfallsdeponier i Bergslagen som påbörjades i ett tidigare regeringsuppdrag (Hallberg & Reginiussen 2018).

Återvinning är en mycket viktig del i arbetet med att uppnå resurseffektivitet och minskad miljöpåverkan. Återvinningsgraden för ett flertal av de kritiska råmaterialen är dock fortfarande låg (tabell 2). Även med en mycket hög återvinningsgrad är inte återvinning nog för att täcka framtida efterfrågan. Primär gruvproduktion av kritiska material kommer fortsatt att behövas (EASAC, 2016).

**Tabell 2.** Funktionell återvinningsgrad för kritiska råmaterial. Data från UNEP (2013). Funktionell återvinning innebär att materialets fysiska och kemiska egenskaper bevaras efter återvinning. Detta kan till exempel vara återvinning där metall i en uttjänad produkt separeras och sorteras för att få fram ett återvunnet material som kan återgå till en produktionsprocess för att tillverka en given metall eller en 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



**Figur 3.** Genomskärning av stratifierad anrikningssand, Åsboberg. Det förekommer en tydlig stratifiering mellan lager med olika kornstorlekar. Sedimentära strukturer, bland annat korsstrukturer och graderad lagring är synliga i ett sandigt lager (vit pil). Blå pilar visar uttag av material för bergartskemisk analys. Sekundära processer, det vill säga olika sedimentära och kemiska processer som har ägt rum i sandmagasinet efter deponering, kan påverka dess sammansättning som i sin tur kan påverka utvinningspotentialen. Foto: Helge Reginiussen.



## Lagstiftning

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). Lagen syftar på koncessionsmineral som finns i berggrunden där staten förbehåller sig rätten till mineralfynd. Samma minerallag gäller oavsett om undersökningar och eventuell bearbetning görs i nyupptäckta fyndigheter eller i områden där gruvdrift pågått tidigare. Det är dock för närvarande oklart 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. Deponierna är därmed att jämföras med jordarter, som till exempel morän eller isälvsavlagringar, och faller då under annan lagstiftning. Äldre gruvområden och gruvavfall skyddas i några fall av kulturmiljölagen (KML 1988:950) vilket måste beaktas vid prospektering samt eventuell utvinning.

## Konfliktmineral

Konfliktmineral betecknar mineral och metaller som utvinns i områden med politisk instabilitet, inbördeskrig eller annan väpnad konflikt och där handel med dessa används 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 de riktlinjer som är satta av OECD, för att säkerställa att importen är från ansvarstagande och hållbara källor.

## Prospektering

Mineralprospektering är en förutsättning för att hitta nya brytvärda förekomster. Många renodlade prospekteringsbolag (så kallade *Junior companies*) är viktiga aktörer när det gäller att initiera nya prospekteringsprojekt och driva dessa framåt. Dessa bolag är ofta beroende av internationellt börs- och riskkapital eller privata investerare för sin finansiering. Prospektering är en långsiktig verksamhet med hög finansiell risk. Den sker i flera steg som kan ta flera år att genomföra, i vilka det krävs ett antal olika tillstånd samt investeringar bland annat i borringar och kostsamt undersökningsarbete. Ett framgångsrikt projekt inleds oftast med att några enstaka block- eller hållprov med ekonomiskt intressanta metall- eller mineralhalter upptäcks. Nästa steg i prospekteringen inkluderar geologisk och geofysisk kartering och borring. Är resultaten fortfarande ekonomiskt intressanta går prospekteringen vidare till noggrant genomförda malmberäkningar baserade på hundratals till tusentals analyser av borrhärdar. Resultaten definierar tillsammans en malmkropp som kan brytas med vinst. Endast ett fåtal av prospekteringsprojekten leder till någon gruvdrift.

Den nya, moderniserade Minerallagen som trädde i kraft 1992, i kombination med bra fyndpotential och god tillgång till grundläggande geologisk information samt relaterade databaser, gör att Sverige betraktas som ett attraktivt land att bedriva prospektering i. Detta återspeglas bland annat i intresset från både utländska och svenska prospekteringsbolag, samt framskjutna placeringar i Fraser-institutets årliga ranking av gruv- och prospekteringsländer. Sverige har dock tappat från plats åtta år 2016 till plats 21 under 2018 (Fraser 2016, 2018).



# GEOLOGISK POTENTIAL I BERGSLAGEN

Magnus Ripa & Alexander Lewerentz

Bergslagen är ett av Sveriges viktigaste malmdistrikt med fler än 10 000 kända fyndigheter och tre aktiva gruvor (fig. 4). Förutsättningen för detta är att Bergslagen har en berggrund som bildats och omvandlats genom processer som är gynnsamma även för uppkomsten av vissa typer av mineraliseringar (naturliga anrikningar av mineral). Intressanta mineral är framför allt sådana som innehåller metaller i lättprocessad form (till exempel järnoxider samt zink-, bly och kopparsulfider), men även de med ickemetaller, som till exempel fluor (i flusspat). Där mineraliseringarna varit tillräckligt koncentrerade och omfattande har brytning av dem varit lönsam.

Traditionellt har man i Bergslagen mest eftersökt och brutit järn och de så kallade basmetallerna koppar, zink och bly (Magnusson 1973, Stephens m.fl. 2009). I viss utsträckning har även nickel (under krigstider), volfram och svavel (för svavelsyretillverkning) varit aktuellt. Området har emellertid också potential för innovationskritiska metaller, som sällsynta jordartsmetaller, platinagruppens metaller, volfram, kobolt, indium, vismut och beryllium samt för innovationskritiska mineral, som grafit, flusspat och apatit.

I Bergslagen finns sällsynta jordartsmetaller i första hand associerade med järnmalmer. Dels finns de i apatit i apatitjärnmalmen (till exempel Grängesberg), dels i olika mineral i de skarnjärnmalmer som finns längs en linje från ungefär Karlskoga till Avesta (till exempel Bastnäs; Sadeghi m.fl. 2019). I det förra fallet är det uppenbart att anrikningen av sällsynta jordartsmetaller är direkt kopplad till järnmalmsbildningen. När det gäller de sällsynta jordartsmetallernas genetiska koppling till skarnjärnmalmen mellan Karlskoga och Avesta är det oklart när anrikningen av dem skedde, antingen var det vid samma process som bildade järnet eller vid någon process i samband med senare metamorf överprägling. Djupare kunskaper om bildningsmiljön för järnmalmer, vilka innehåller sällsynta jordartsmetaller, är av stor vikt för att kunna förutspå deras potential.

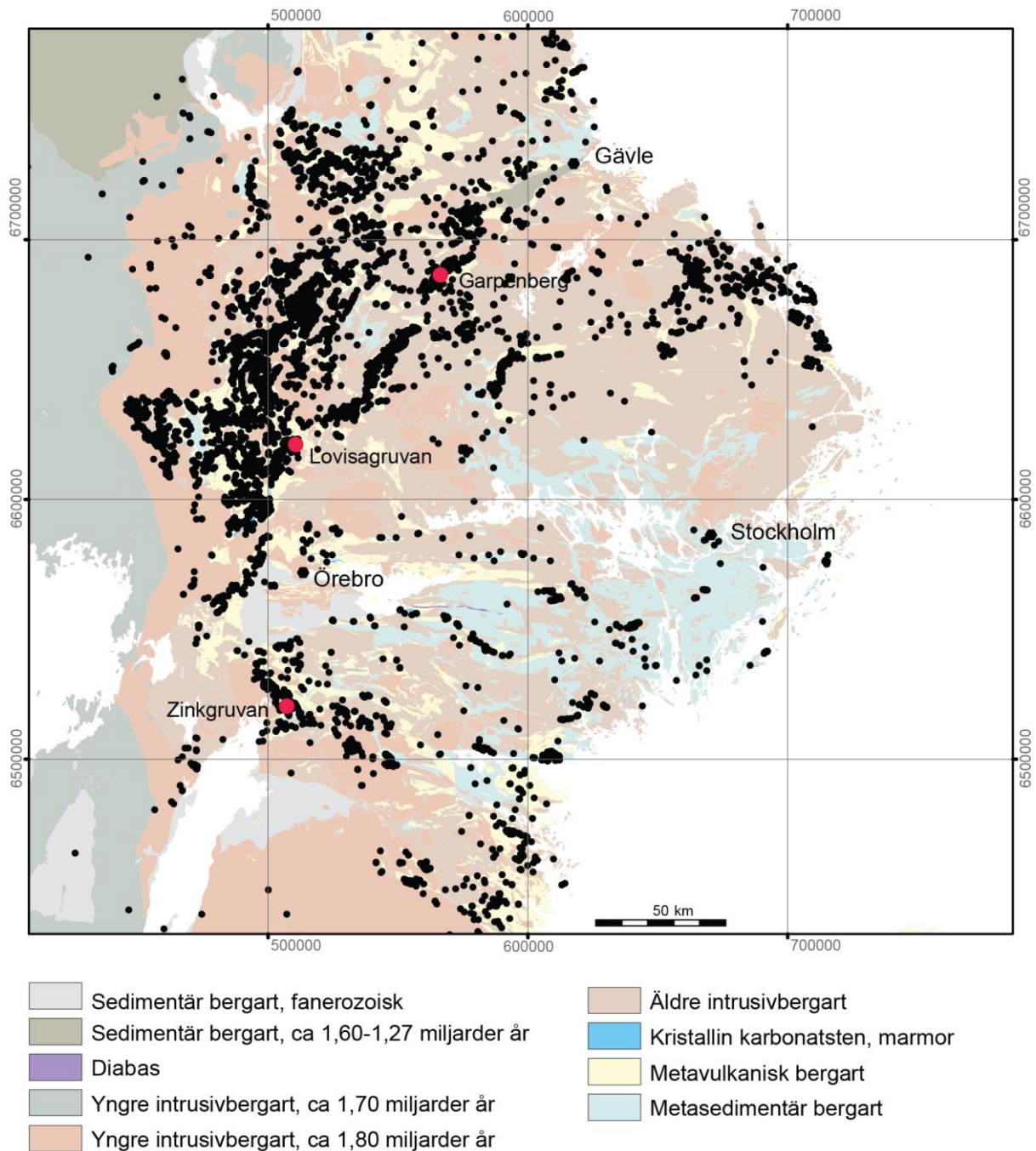
Förekomster av platinagruppens metaller finns i basiska till ultrabasiska intrusioner i Bergslagen (t.ex. Filén 2001, Ripa m.fl. 2017, Claeson m.fl. 2018). Dessa har dock aldrig brutits för platinagruppens metaller utan för innehållet av främst koppar och nickel.

Volfram, vismut, beryllium och flusspat finns i Bergslagen i skarn som bildades i samband med en metamorf händelse för cirka 1,80 miljarder år sedan (till exempel Yxsjöberg; Stephens m.fl. 2009). Det mineraliserade skarnet bildades i horisonter av karbonatsten, intill graniter och pegmatiter av denna ålder (fig. 4). Trots att sådana kombinationer finns över hela Bergslagsområdet ligger samtliga kända förekomster nordväst om en linje ungefär mellan Lovisagruvan och Garpenberg (fig. 4). Volfram förekommer också i kvartsrika gångar som sannolikt är relaterade men posttektoniska till samma metamorfos (Gavelin 1985).

Kobolt förekommer till synes på två sätt i Bergslagen (se avsnitt *Detaljkarterade områden* samt Magnusson 1973), dels tillsammans med nickel- och kopparmineral i en deformerad, basisk bergart (Slättberg), dels med kopparmineral som impregnation i metavulkanit (Vena gruvfält) och i karbonatsten (Tuna bergslag).

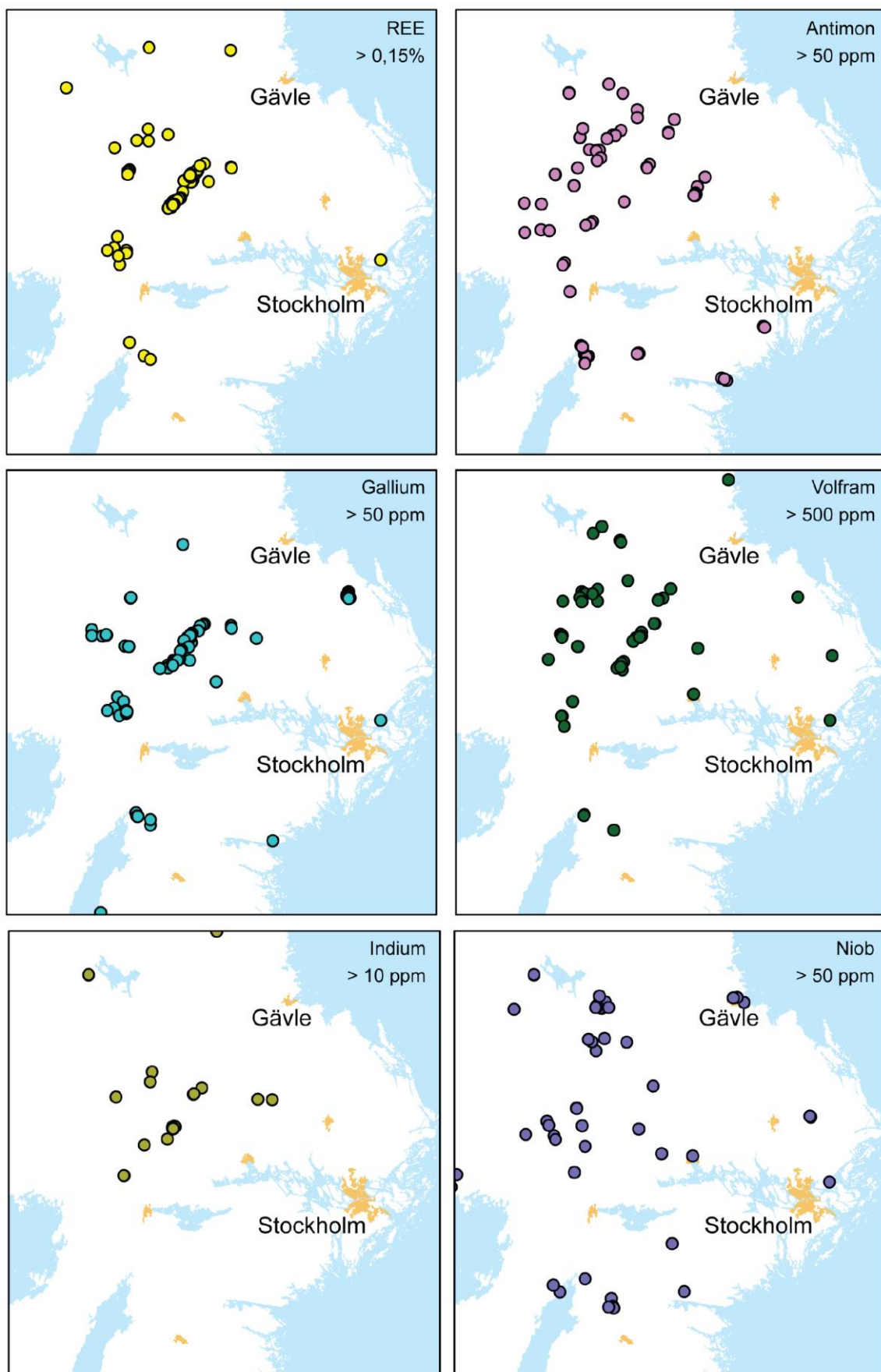
Indium och beryllium kan finnas i så kallade greisenmineraliseringar (se avsnitt *Detaljkarterade områden* samt Stephens m.fl. 2009). Sådana är i huvudsak gångar i och kring de cirka 1,70 miljarder år gamla intrusivbergarterna i nordvästligaste Bergslagen (fig. 4). Områdets zinkmalmer torde dock ha störst potential att utvinna indium ifrån, då det är frågan om större volymer.

Grafit finns på några platser i Norbergsområdet (se avsnitt *Detaljkarterade områden*).

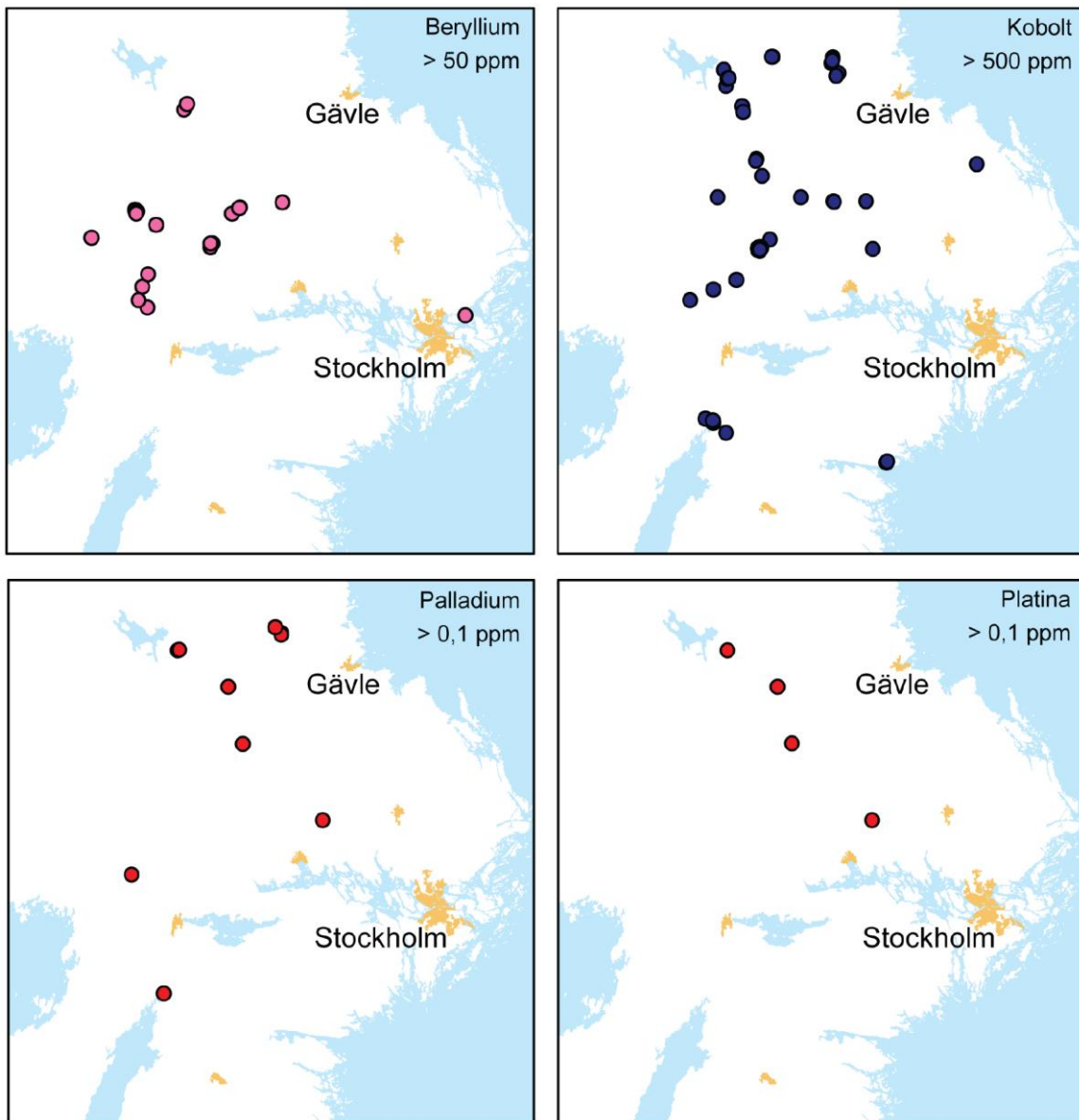


**Figur 4.** Svarta prickar anger kända metalliska förekomster i Bergslagen, totalt visas 10 039 fyndigheter (SGUs Mineralresursdatabas). Aktiva gruvor är namngivna och markeras med röda prickar. Bergart och bildningsålder anges i teckenförklaringen.

Ett annat sätt att visualisera Bergslagens potential för innovationskritiska metaller och mineral är att använda information from SGUs bergartskemiska databas. Denna databas innehåller dels tidigare insamlad information om provtagna bergarters kemiska sammansättning, men har också fyllts på avsevärt genom arbeten inom detta regeringsuppdrag och det nu löpande Bergslagsprojektet. I figur 5 visas platser där förhöjda halter av innovationskritiska metaller påträffats (jfr tabell 1), vilka skulle kunna vara av intresse för framtida prospekteringsinsatser. Med SGUs webbaserade kartvisare Bergartskemi (se avsnitt *Länklista*), kan provers halter av innovationskritiska metaller visualiseras, samt tillhörande metadata studeras.



**Figur 5.** Bergartskemiska analyser inom Bergslagen, där endast prover med förhöjda halter av innovationskritiska metaller visas (källa: SGUs litogeokemiska databas).



**Figur 5.** (fortsättning) Bergartskemiska analyser inom Bergslagen, där endast prover med förhöjda halter av innovationskritiska metaller visas (källa: SGUs litogeokemiska databas).

# GENOMFÖRANDE

## Kritiska råmaterial från primära och sekundära källor

Helge Reginiussen & Anders Hallberg

Svenska gruvor satte under 2018 nytt produktionsrekord med 81,2 miljoner ton malm (Bergverksstatistik 2018). Bidraget från Bergslagen var 4,0 miljoner ton men värdemässigt utgör Bergslagens produktion 20 procent av det totala *in-situ*-värdet av Sveriges malmproduktion, eftersom de Bergslagsgruvor som är i drift idag är metallrika (se avsnitt *Beräkningar av malmproduktion och gruvavfall*).

Från Bergslagens berggrund har det utvunnits nästan 575 miljoner ton malm från 574 gruvor och gruvfält sedan 1800-talets mitt. Utöver dessa gruvor och gruvfält finns det flera tusen mindre gruvor och skärpningar som lagts ner innan landsomfattande statistik började föras. Den totala malmproduktionen är alltså större än den som redovisas, men produktionen i äldre dagar var blygsam i förhållande till modern gruvidrift.

De mest betydande malmslagen är järnmalm (78 %) och koppar-zink-blymalm (21 %). Den sista procenten malm utgörs av antimon-, nickel-, guld-, silver-, volfram- och molybdenmalm samt industrimineral som grafit, flusspat och svavelkis.

Mängden innovationskritiska metaller och mineral som utvunnits är, undantaget volfram, försvinnande liten. Det är dock känt sedan tidigare att sällsynta jordartsmetaller förekommer i anslutning till en del järnmalmer och att kobolt finns i en del järn-kopparmalmer. Att så många gruvor varit i drift, och att så mycket malm har utvunnits inom ett relativt begränsat område, visar att de malmbildande processerna i Bergslagen har varit betydande. Sannolikheten är därför stor att andra metaller och mineral kan finnas i regionen, till exempel de innovationskritiska, än de som historiskt sett varit eftersökta.

Många av de innovationskritiska metallerna bildar sällan egna brytvärda malmer som motiverar gruvbrytning, utan förekommer vanligtvis i mycket låga halter i malmer som bryts för andra metaller. I dessa fall är huvudmetallen den ekonomiska drivkraften för brytning och utvinning. Eventuell utvinning av innovationskritiska metaller sker som biprodukt någonstans i huvudmetallernas produktionskedja, till exempel i smältverk eller vid metallraffinering.

Ett första steg i en framtida värdekedja för kritiska råmaterial är dock att de eftersökta mineralen och metallerna finns i ekonomiskt intressanta halter och mängder, samt att veta var de finns. För att identifiera, kvantifiera och lokalisera förekomster av kritiska råmaterial i Bergslagens fyndigheter har SGU gjort sammanställningar av bergartskemiska analyser, gjort analyser av borrhärdar och analyser av gruvavfall.

### *Sammanställningar av bergartskemiska analyser*

Bergartskemiska analyser är ett viktigt verktyg vid både prospektering, malmberäkning, malmutvinning och miljöarbete, och även inom geologisk forskning kring bergartsbildning och malmbildande processer. Det saknas idag en samlad kunskap om vad svenska gruvor, gråbergsdeponier och anrikningssand innehåller, framför allt med avseende på innovationskritiska metaller och mineral. Därför har som underlag för föreliggande undersökning insamlats analysresultat av borrhärdar, gråberg, anrikningssand samt malmer och mineraliseringar från prospekteringsrapporter, protokoll från borrhärdar, publicerade data och från andra källor, vilka har sammanställts med SGUs egna analyser. Sammanställningen som idag innehåller cirka 33 000 analyser, varav drygt 6 000 härrör från Bergslagen, finns publicerad som bilaga till Hallberg & Reginiussen (2018) och kan hämtas från SGUs hemsida (se avsnitt *Länklista*).



### **Analys av borrhäror**

En genomgång av gruvkartor från Bergslagen (se avsnitt *Länklista*) visar att få gruvor i Bergslagen har brutits till större djup än 500–600 meter, de flesta är betydligt grundare. Flera av de större gruvorna stängdes under 1980-talet på grund av svag efterfrågan och sällan för att malmen var slut. Sedan dess har gruvbrytnings- och anrikningstekniker förbättrats, efterfrågan ökat och nya metaller efterfrågas. För att ta reda på vilka metaller som malmerna innehåller, förutom de metaller som gav vinst till brytningen, har inom regeringsuppdraget tillgängliga borrhäror analyserats från ett representativt urval av malmtyper.

### **Analys av gruvavfall**

I samband med malmbrytning och efterföljande bearbetning genereras stora mängder gruvavfall, som gråberg och anrikningssand. Brytningsmetoder och anrikningsteknik i äldre gruvor var oftast mindre effektiva än i moderna gruvor, vilket betyder att äldre avfall kan ha ansenliga halter av vissa innovationskritiska metaller och mineral.

### **Gråberg och varphögar**

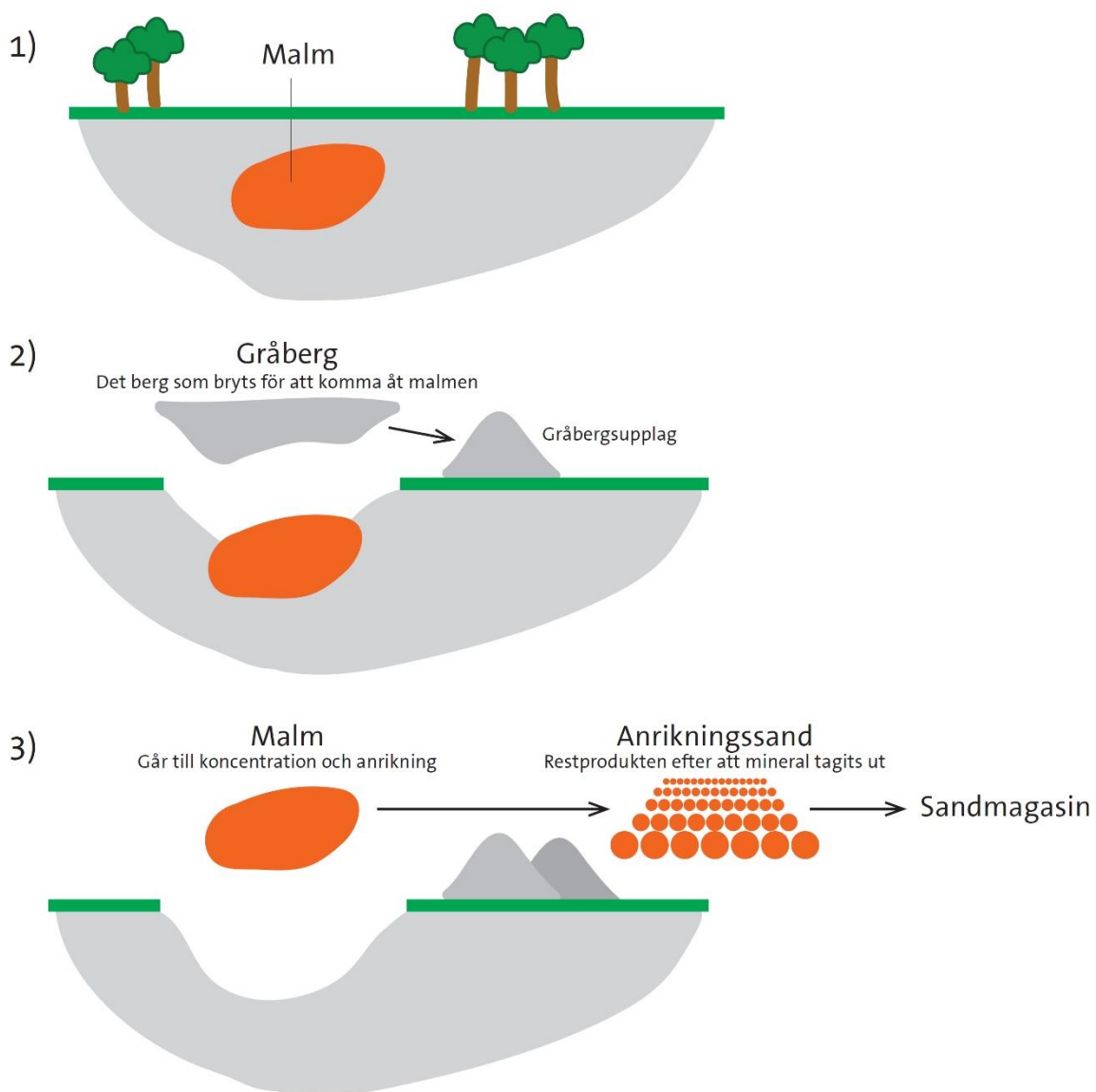
Malmutvinning kräver alltid att stora mängder sidoberg tas bort för att komma åt malmen. Dessa bergmassor, gråberg, deponeras vanligen i omedelbar anslutning till gruvan. Eftersom även sidoberget ofta är något mineraliserat kan gråbergsdeponier innehålla ekonomiska halter av järn samt bas-, ädel- och innovationskritiska metaller. Äldre gruvavfall i form av varphögar är mycket vanligt förekommande i Bergslagen (fig. 6). Oftast utgör dessa högar relativt blygsamma volymer, men i somliga fall finns större varphögar med potential för ett betydande metallinnehåll. Varp-högar som innehåller sulfidmineral innebär ofta ett miljöproblem eftersom de kan generera surt lakvatten. På grund av sin uppkomst och historia kan varphögar visa stora variationer med hänsyn till materialets beskaffenhet. Om det överhuvudtaget finns existerande uppgifter om metallinnehållet i dem, kommer dessa oftast från några enstaka analyser av malmblock som påträffats i varpen. Dessa analyser är mycket viktiga och kan ge en fingervisning om den ursprungliga malmens sammansättning, men kan inte användas för att karakterisera varphögens metallhalter som helhet – för detta krävs ett annat provtagningsupplägg. SGU har påbörjat provtagning och analys av gråberg vid två gråbergsdeponier inom Stollbergfältet och har i projektet testat provtagningsmetodik som beskrivs av Sädbom & Bäckström (2018).



**Figur 6.** Varp-hög vid Dammerberggruvan i Stollbergfältet. Foto: Helge Reginiussen.

## Anrikningssand

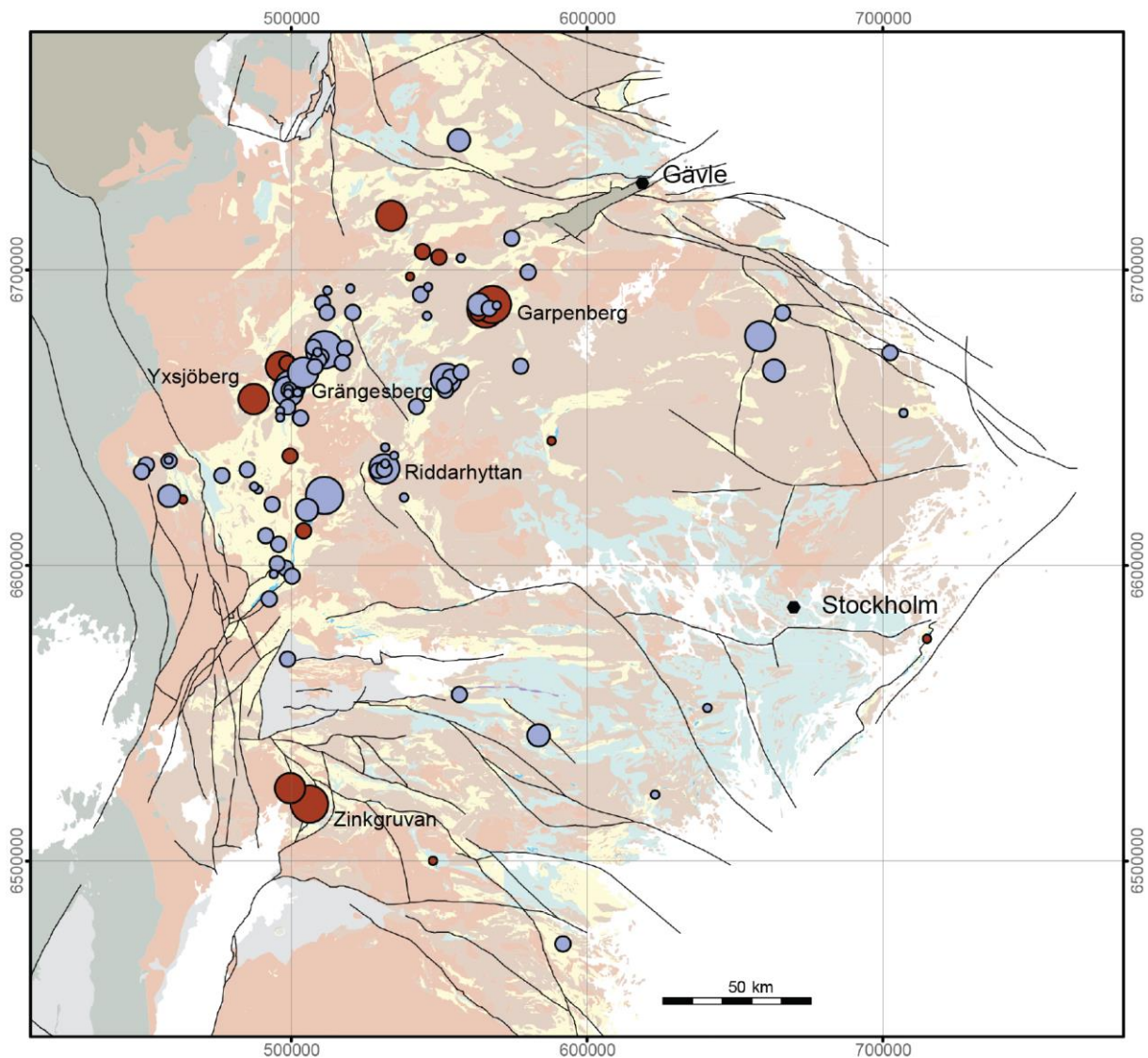
En stor del av den malm som producerades i äldre dagar var i form av styckemalm som gick att använda direkt i masugnar och smältverk och eventuella innovationskritiska metaller har därmed försvunnit från gruvområdena. Moderna anrikningsmetoder börjades användas i början av 1900-talet, något som möjliggjorde utvinning från fattigare malm. Mängden malm som anrikas har ökat med tiden och idag anrikas nästan all malm som bryts i Sverige. Summerar man de år där pålitlig statistik finns så har cirka 60 procent av all malm anrikats. Restprodukten i form av anrikningssand är intressant av två skäl. Dels kan det vara möjligt, med moderna metoder, att utvinna mera metaller ur sanden än vad som var möjligt när den bearbetades. Dels går det att få en uppfattning om vad den ursprungliga malmen innehöll. Detta eftersom anrikningssanden i princip består av en nermal, utarmad malm och då utbytet vid anrikningen sällan är över 90 procent så kommer en kemisk analys av sanden att visa de ämnen som malmen innehöll (fig. 7).



Figur 7. Schematisk bild över olika huvudtyper av gruvavfall.



SGU har statistiska uppgifter från omkring 140 svenska anrikningsverk, varav cirka 110 ligger i Bergslagen. Från dessa data kan den totala mängden anrikningssand som har producerats från början av 1900-talet till idag beräknas. Figur 8 visar lägena och hur mycket sand som producerats genom åren vid de olika anrikningsverken i Bergslagen, uppdelat på sand från anrikning av järnmalm respektive icke-järnmalm. I vissa gynnsamma fall går det att beräkna metallhalterna i anrikningssanden från produktionsdata. För att få en bättre uppfattning av sandmagasinens hela metallinnehåll har 65 magasin provtagits (fig. 9). Totalt 204 prov togs och analyserades med moderna metoder.



**Anrikningssand från**

järnmalm	icke-järnmalm	
○	●	< 0,1
○	●	0,1–2,25
○	●	2,25–4,5
○	●	4,5–10
○	●	10–40

miljoner ton

**Figur 8.** Läge, typ och storlek på sandmagasin i Bergslagen.



**Figur 9.** Sandmagasin vid Bäckegruvan i Västmanland. Foto: Helge Reginiussen.

### ***Beräkningar av malmproduktion och gruvavfall***

För att lokalisera provtagningsobjekt, beräkna reserver och tillgångar, mängd och metallhalt på utbruten malm, samt mängd gråberg, anrikad malm, producerad anrikningssand, samt i vissa fall metallhalter hos anrikningssanden har SGUs MALM-databas använts. Databasen innehåller årlig information om produktion och bearbetning, samt reserver och tillgångar hos svenska malmer. Informationen om malmproduktion och anrikning kommer huvudsakligen från de årliga skrifterna Bergshanteringen (1833–1977) och sedan 1978, från Bergverksstatistik. Andra betydelsefulla informationskällor är ”Bergmästarens relationer” och Tegengren (1924). Information om reserver och tillgångar är hämtad från prospekteringsrapporter och prospekteringsbolags publicerade uppgifter.

Idag innehåller databasen för malmproduktion information från 690 gruvor och gruvområden från år 1699 till 2018. Det är dock först från sent 1800-tal till tidigt 1900-tal som informationen är pålitlig och rikstäckande. Årlig information om anrikningsverk, inkluderande malmens ursprung, ingående malmmängd med halter och utgående mängd koncentrat med halter finns för 146 anrikningsverk från 1863 till 2018. På samma vis som för malmproduktionsdatabasen är det först i början av 1900-talet som uppgifterna är rikstäckande. Vidare saknas än så länge uppgifter om anrikning av icke-järnmalm från 1924 till 1937. Uppgifter om reserver och tillgångar finns för 280 fyndigheter.

Den Fennoskandiska malmdatabasen (eng. *The Fennoscandian Ore Deposit Database, FODD*) är en sammanställning av data ur SGUs MALM-databas. Den visar reserver, tillgångar och producerad mängd malm med medelmetallhalter, samt viss geologisk information för 930 svenska gruvor, gruvområden och gruvprospekt (se avsnitt *Länklista*).



## Fokus på utvalda gruvområden

Fyra gruvområden i Bergslagen som tidigare pekats ut som intressanta för utvinning av innovationskritiska metaller och mineral (Hallberg & Reginiussen 2018) har undersökts vidare under 2019. Dessa områden är Riddarhyttefältet med förekomst av järn, koppar, sällsynta jordartsmetaller, molybden och kobolt, Yxsjöberg med koppar, volfram, flusspat och beryllium, Grängesberg med innehåll av järn, apatit och sällsynta jordartsmetaller, samt Stollbergsfältet med järn, zink och bly. Gruvorna i dessa områden har brutits till relativt måttliga djup, vilket antyder att det kan finnas stora mängder kvarvarande malm. För ett av gruvområdena (Grängesberg) finns även moderna malmbereäkningar och för Riddarhytteområdet finns en äldre malmbereäkning (Fagersta Bruk 1978) som gjordes innan den sista gruvan i området stängdes 1979. Mängden gruvavfall i form av anrikningssand kan beräknas från malmstatistik och några av områdena utgör dessutom en potentiell miljöfara genom sitt innehåll av sulfider och potentiellt skadliga element.

### *Riddarhyttefältet*

I Riddarhyttefältet i Skinnskattebergs kommun i Västmanland har bergsbruk bedrivits sedan medeltiden och området skiljer sig från många andra malmstrukturer genom en större mineral- och metallrikedom. Järn och koppar har genom tiderna varit de viktigaste produkterna, men sällsynta jordartsmetaller, kobolt och molybden har tidvis brutits (Tegengren m.fl. 1924). Inom fältet finns tre större gruvor; Bäckegravan, som stängde 1979, samt Persgruvan i Morbergsfältet och Källfallsgruvan, vilka lades ner 1967. Den årliga malmproduktionen i fältet under perioden 1900 till 1979 visas i figur 10. Malmen anrikades i två större anrikningsverk – vid Bäckegravan, i drift till 1979, och Källfallet som stängdes 1963.

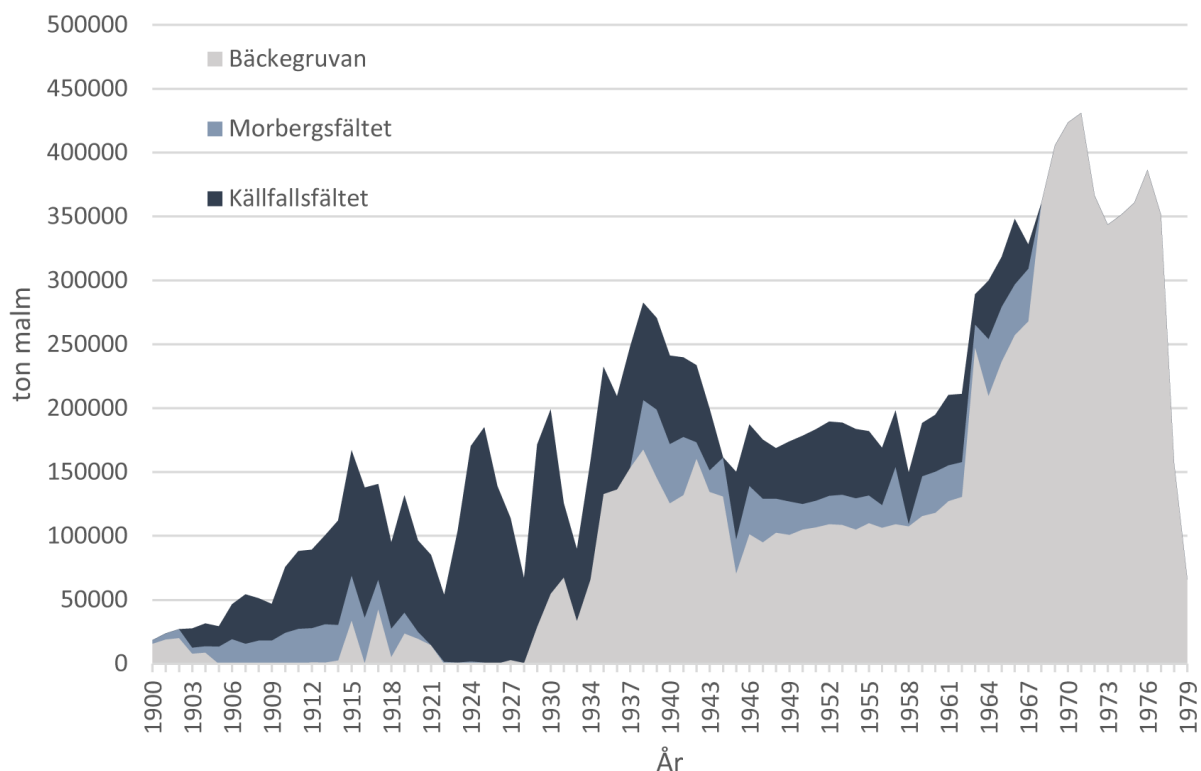
Ett år innan nedläggningen av Bäckegravan uppdaterades beräkningen för kvarvarande malm i Bäckegravan och i Persgruvan (Fagersta Bruk 1978). Beräkningen visade att det fanns drygt 10 miljoner ton malm i Bäckegravanområdet och i Persgruvanområdet med 34,4 procent järn, medan 0,67 miljoner ton utgjordes av kopparhaltig järnmalm med 0,37 procent koppar. Utöver det uppskattades mängden sannolik malm i andra delar av Riddarhyttefältet till 14,5 miljoner ton (tabell 4). I samband med malmbereäkningen blev varken halten kobolt i kopparmalmen eller halten av koppar, kobolt och sällsynta jordartsmetaller i järnmalmen analyserade.

Gruvdriften i Bäckegravan nådde aldrig större djup än 360–400 meter och de utförda malmbereäkningarna inkluderar inte malm från djupare delar än 400 meter. Det kan antas, och har även påvisats genom borrhningar, geofysik och geologiska undersökningar, att malmen fortsätter på djupet och mot norr (Fagersta Bruk 1978). Inom ramen för regeringsuppdraget har ett antal äldre analyser från publikationer och rapporter sammanställts, samt beräkningar av mängd och halt för malmproduktionen och anrikningssanden utförts. Därtill har 54 borrhörnesektioner provtagits och analyserats från olika gruvor i området.

Anrikningssanden från anrikningsverket i Källfallet har deponerats i ett sandmagasin nära verket. Bäckegravans anrikningsverk deponerade avfallssanden i två magasin, ett äldre som var sjön Nedre Skärsjön och ett nytt sandmagasin som byggdes norr om det gamla (fig. 11). Antagandet gjordes att det äldre sandmagasinet användes fram till 1963 varefter all sand deponerades i det nya. Sammansättningen på anrikningssanden i de tre magasinerna (tabell 3) skiljer sig tydligt åt med hänsyn till metallinnehåll, både gällande beräknade halter samt provtagna och analyserade sandprov, något som reflekterar att olika malmtyper har anrikats och att anrikningsprocesserna har förbättrats över tiden.

SGUs beräkningar indikerar att de tre sandmagasinen tillsammans innehåller 7,45 miljoner ton sand med ett relativt högt innehåll av sällsynta jordartsmetaller i alla magasin, höga kopparhalter i Bäckegravans gamla magasin och höga halter molybden i Källfallets sand.

Totalt finns därmed 24,5 miljoner ton kvarvarande malm och 7,45 miljoner ton anrikningssand med intressanta halter av järn, mangan, koppar, kobolt, molybden och sällsynta jordartsmetaller i området (tabell 3 och 5). Det bör understrykas att antalet prov är begränsat och inte kan jämföras med en modern malmbärkning. För att kunna redovisa en bättre malmbärkning i enlighet med moderna rapporteringsstandard krävs ytterligare arbete.



**Figur 10.** Diagrammet visar den årliga järnmalmsproduktionen (styckemalm och anrikningssand) vid de tre största gruvorna i området år 1900–1979. Utöver dessa gruvor har mindre mängd malm periodvis producerats i Riddarhyttefältets norra del. Mindre mängder koppar- och koboltmalm har också producerats. Århundradena före 1900-talet var kopparmalm en viktig produkt från Riddarhyttefältet.

**Tabell 3.** Malmproduktion och bearbetning vid Riddarhyttefältet 1900–1979. Mt = miljoner ton.

Data	Objekt	Tonnage (Mt)	Fe %	S %	Cu %	Mo %
Total mängd bruten malm	Källfallsfältet	4,11	45,3	0,12	-	-
	Persgruvan (Morbergfältet)	1,31	43,9	0,29	-	-
	Riddarhytte odalutmål	9,34	35,0	1,01	-	-
Bearbetat i anrikningsverk	Källfallet	3,57	36,9	0,19	≈ 0,02	≈ 0,05
	Bäckegruvan	9,27	34,0	1,35	≈ 0,1	-
Deponerad anrikningssand	Källfallet	2,01	8,68	0,16	-	-
	Bäckegruvan t.o.m 1963	2,22	9,73	2,60	-	-
	Bäckegruvan 1964–1979	3,22	11,2	0,40	-	-

**Tabell 4.** Kvarvarande malmtillgångar i Riddarhyttefältet. Data från Fagersta bruk (1978). Mt = miljoner ton.

Data	Objekt	Tonnage (Mt)	Fe %	S %	Cu %	Mo %
Känd malm	Bäckegravan	7,5	32,6	-	-	-
	Bäckegravan (kopparhaltig järnmalm)	0,67	29,7	1,0	0,37	-
	Persgruvan	2,8	35,5	-	-	-
Sannolik malm	Riddarhyttefältet	14,5	-	-	-	-

**Tabell 5.** Analyser av anrikningssand och borrhärnor från Riddarhyttefältet. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

Data	Objekt	Fe %	S %	Cu %	Mo %	Co %	REE %	As ppm
Sandmagasin <sup>1</sup>	Källfallet (n=8)	7,9–	0,0–	0,01–	0,02–	0,00	0,11–	0–2
		25,2	0,5	0,04	0,05		0,48	
	Bäckegravan, gamla (n=4)	15,3–	1,5–	0,11–	0,01	0,01–	0,13–	250 <sup>2</sup>
		23,2	3,2	0,32		0,11	0,18	
Bäckegravan, nya (n=5)	9,9–	0,8–	0,08–	0,00	0,01–	0,03–	10–70	
	18,5	1,2	0,12		0,02	0,11		
Borrhärnor <sup>1</sup>	Bäckegravan (n=23)	2,05–	0,01–	0,00–	0,00–	0,00–	0,01–	1–250 <sup>2</sup>
		40,9	0,69	0,28	<b>0,29</b>	0,02	<b>1,68</b>	
	Källfallet (n=11)	6,58–	0,02–	0,00	0,00–	0,00	0,01–	0
		42,1	0,61		0,01		0,12	
Persgruvan (n=20)	8,25–	0,01–	0,00–	0,00–	0,00–	0,01–	0	
	59,3	1,74	0,28	0,01	0,02	<b>0,82</b>		

<sup>1</sup>Intervallen visar lägsta och högsta halten av analysresultaten från anrikningssand och borrhärnesektioner.

<sup>2</sup>250 ppm är övre intervallgräns för analysmetoden och ett värde på 250 indikerar att innehållet av As är 250 ppm eller högre.

**Figur 11.** Bäckegravan med nya och gamla sandmagasinen. Foto: Google Earth.

## Yxsjöberg

Yxsjöberg, söder om Ludvika, var känd som kopparfyndighet redan i början av 1700-talet, men i modern tid har volfram varit den viktigaste produkten. Gruvan har stått för mer än 90 procent av all producerad volframmalm i Sverige. Brytning av volfram började 1917 och pågick periodvis fram till 1989. Senaste perioden med drift var från 1971 till 1989. Enligt beräkningar från data hämtad ur Bergverksstatistik för perioden 1938 till 1989 har 5,3 miljoner ton malm anrikats vid anrikningsverket i Yxsjöberg (tabell 6). Denna mängd inkluderar mindre mängder malm från närliggande små volframgruvor, bland annat Wigströmsgruvan och Sandudden.

Efter anrikning och framställning av volfram, koppar och flusspatkoncentrat kvarstod drygt 5 miljoner ton anrikningssand som har deponerats i det gamla sandmagasinet vid Smaltjärnen åren före 1964 (2,8 miljoner ton) och från 1973 i det nya magasinet vid Morkulltjärnen (2,4 miljoner ton). Figur 12 visar en översiktsbild av gruvområdet med läget för de två sandmagasinen. Eftersom det saknas statistik för anrikningen under åren före 1938 kan det antas att mängden sand i det gamla magasinet är något större än vad beräkningarna visar.

Beräkningar av metallinnehållet i anrikningssanden blir mycket osäker eftersom data saknas för flera år och inget är känt om hur mycket metall som följt med andra anrikningsprodukter än den avsedda. Ett överslag tyder dock på att anrikningssanden i det gamla magasinet håller ungefär 0,05–0,20 procent volfram. Sanden som gick till det nya magasinet innehöll ungefär 0,10–0,25 procent volfram under de första tre åren, men föll sedan till nära noll. Samma mönster gäller för kopparhalterna i anrikningssanden, från 0,10–0,18 procent koppar i det gamla magasinet till under 0,04 procent i det nya magasinet. Beräkningar av mängden flusspat i anrikningssanden blir ännu osäkrare eftersom den under flera år inte togs tillvara utan gick direkt till sandmagasinen (fig. 13).

På 1980-talet blev möjligheten att utvinna volfram från det gamla sandmagasinet utredd (Lindvall 1988), men ledde inte till någon produktion. I ett nyligen avslutat forskningsprojekt (REMinE) där bland annat Luleå tekniska universitet deltagit har avfallssandens miljöpåverkan undersökts och möjligheten för eventuell återvinning setts över (Hällström m.fl. 2018).

Analysresultaten från provtagning av borrhärdar samt anrikningssand från båda sandmagasinen redovisas i tabell 7.

**Tabell 6.** Malmproduktion och bearbetning vid Yxsjöberg. Mt = miljoner ton. Markerat värde (fet stil) visar särskilt hög halt.

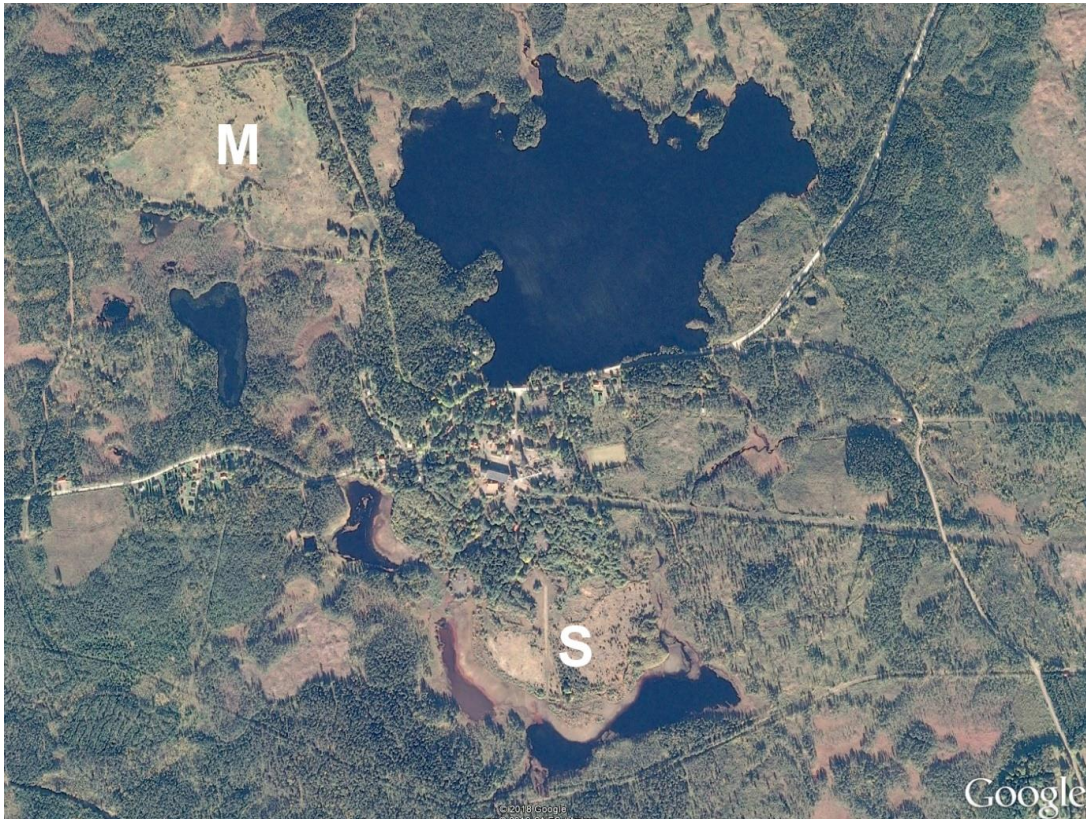
Data	Objekt	Tonnage (Mt)	W %	Cu %	Flusspat %
Total mängd bruten malm	Yxsjöberg	4,95	-	-	-
	Wigström	0,13	-	-	-
Bearbetat i anrikningsverk	Yxsjöberg	5,32	<b>0,26</b>	0,16	5,88
Deponerad anrikningssand	Yxsjöberg, Smaltjärnen (1938–1963)	2,80	0,09	0,09	-
	Yxsjöberg, Morkulltjärnen (1973–1989)	2,43	0,04	0,05	-

**Tabell 7.** Analyser av anrikningssand och borrhärdar vid Yxsjöberg. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

Data	Objekt	W %	Cu %	S %	Be ppm	Bi ppm	In ppm	Sn ppm
Sandmagasin <sup>1</sup>	Morkulltjärnen (n=4)	0,04– 0,22	0,02– 0,07	0,26– 0,79	<b>117–</b> <b>162</b>	<b>421–</b> <b>614</b>	4	200– 246
	Smaltjärnen (n=11)	0,06– 1,00	0,03– 0,36	0,45– 3,42	<b>65–297</b>	<b>440–</b> <b>864</b>	4–7	276– 371
	Borrhärdar <sup>1</sup>	Yxsjöberg (n=14)	0,00– 0,95	0,01– 0,84	0,13– 9,97	<b>373–</b> <b>443</b>	1– <b>1 420</b>	0–30 <b>1 420</b>

<sup>1</sup>Intervallen visar lägsta och högsta halten av analysresultaten från anrikningssand och borrhärdar.





**Figur 12.** Yxsjöberg. Morkulltjärens (M) och Smaltjärens (S) sandmagasin är markerade. Foto: Google Earth



**Figur 13.** Smaltjärens sandmagasin vid Yxsjöberg. Foto: Helge Reginiussen.



## Grängesberg

Malmerna i Grängesbergfältet och i Risbergfältet utgörs av apatitjärnmalm, där järn är associerat med fosfatmineralet apatit. Apatit i apatitjärnmalmerna innehåller ofta sällsynta jordartsmetaller, något de har gemensamt med de stora apatitjärnmalmerna i Kirunavaara och Malmberget, norra Norrbotten. Under de senaste 250 åren har 156 miljoner ton malm, huvudsakligen styckemalm, utvunnits från gruvorna i Grängesbergområdet. Av denna mängd har 49 miljoner ton malm anrikats vid två större anrikningsverk och 14,4 miljoner ton anrikningssand har deponerats i tre större dammar i området (se tabell 8 och 9).

Malmbrytningen i Grängesberg avslutades 1989 då brytningen hade skett ner till cirka 650 meters nivå. Geofysiska undersökningar antyder att malmen i Grängesberg fortsätter ner till åtminstone 1700 meters djup och moderna uppskattningar av tillgångarna visar att det finns 148 miljoner ton malm kvar i gruvan (Grängesberg Iron AB 2014).

Provtagning av borrhärdar och anrikningssand, kombinerat med rapporterade mineraltillgångar och beräknade sandmängder i deponierna, tyder på att området kan vara en betydande framtida tillgång av fosfor och sällsynta jordartsmetaller samt järn.

**Tabell 8.** Malmproduktion och bearbetning vid Grängesberg. Mt = miljoner ton.

Data	Objekt	Tonnage (Mt)	Fe %	P %	S %
Total mängd bruten malm	Risbergfältet	20,4	42,5	0,62	0,003
	Grängesberg	1 338	50,0	0,88	0,011
Bearbetat i anrikningsverk	Risbergfältet, Bergslagsschaktet	18,5	41,6	0,42	0,004
	Grängesberg, Södra verket	29,9	60,1	0,8	0,02
Deponerad anrikningssand	Risbergfältet, Bergslagsschaktet	8,36	14,6	0,5	-
	Grängesberg, Södra verket	5,71	39,1	0,22	-

**Tabell 9.** Analyser av anrikningssand och borrhärdar vid Grängesberg. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

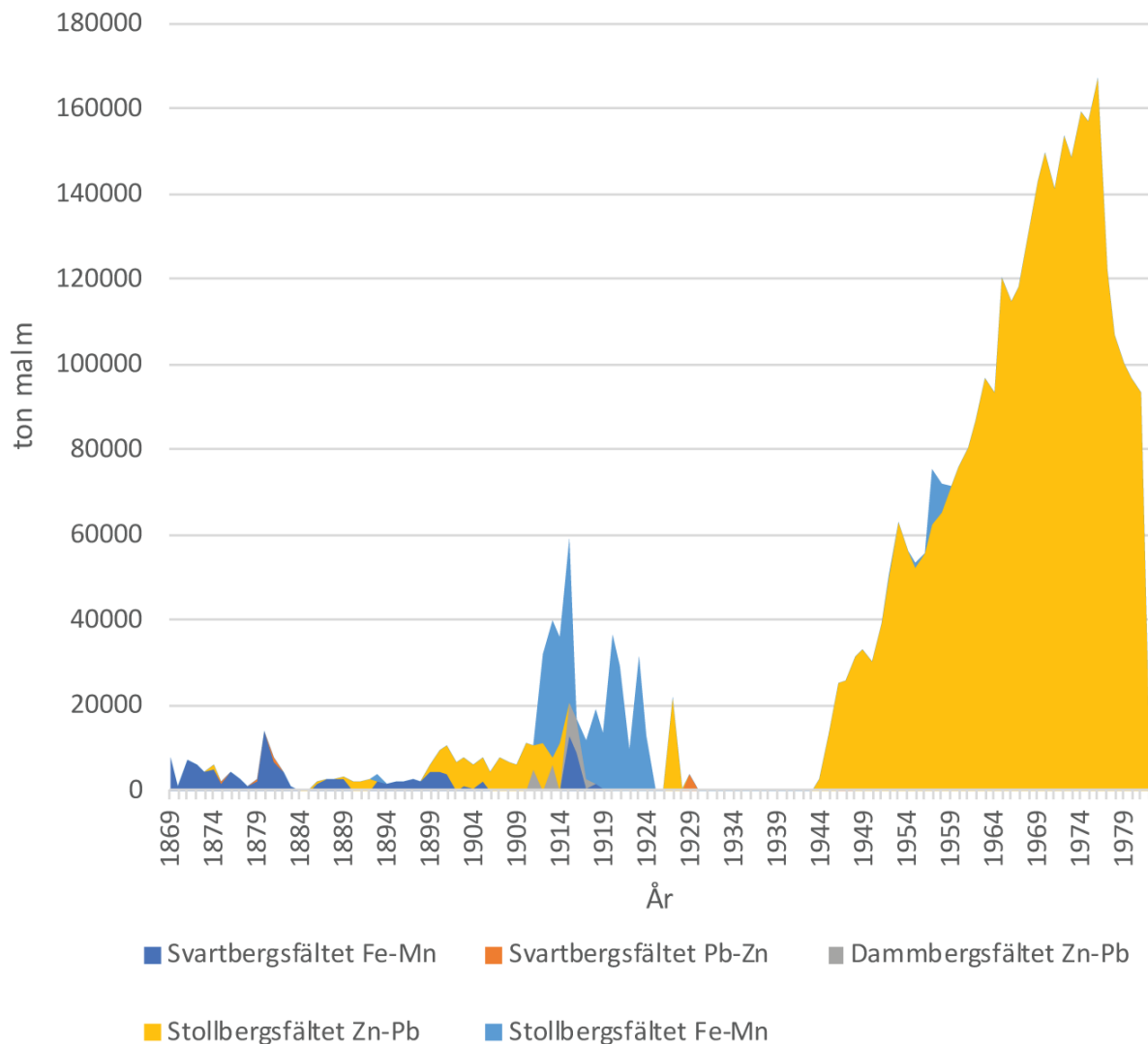
Data	Objekt	Fe %	P %	S %	REE %	Sn %
Sandmagasin <sup>1</sup>	Bergslagsschaktet	5,2–	0,69–	0,00–	0,06–	0,006–
	(n=4)	15,7	0,97	0,01	0,09	0,010
	Höjtjärnsmagasinet	18,1–	0,27–	0,00–	0,11–	0,020–
	(n=4)	36,4	1,63	0,02	0,25	<b>0,028</b>
	Jan-Mattsdammen	6,3–	0,71–	0,01–	0,07–	0,003–
	(n=7)	14,7	3,18	0,02	0,23	0,012
Borrhärdar <sup>1</sup>	Grängesberg	17,4–	0,48–	0,01	0,10–	0,002–
	(n=5)	64,8	2,06		<b>0,47</b>	<b>0,051</b>

<sup>1</sup>Intervallen visar lägsta och högsta halten av analysresultaten från anrikningssand och borrhärnesektioner.

## Stollbergsfältet

Stollbergsfältet, som ligger nordöst om Ludvika, består av flera gruvor och malmfält som sträcker sig från Brusmalmen i söder via Dammsbergsfältet till Lustigkullagruvan i norr. Malmerna i fältet består huvudsakligen av järn-manganmalm och zink-blymalm och gruvdrift har bedrivits här sedan medeltiden. I äldre tider, när fältet gick under namnet Väster Silvberg, producerades styckemalm, men malmen anrikades senare vid två anrikningsverk i Silfhytan. På 1940-talet, när gruvdriften nystartade vid Brusgruvan i södra delen av fältet, flyttades anrikningsverket till den nyupptäckta Brusmalmen och så småningom anlades ett större sandmagasin vid platsen. All gruvdrift och anrikning lades ner 1982. Figur 14 och tabell 10 visar årlig malmproduktion från fältet i perioden 1869–1981.

Sandmagasinet vid Brusmalmen har tidigare borrats, provtagits och analyserats för bly, zink och silver. Resultaten indikerade att de högsta halterna föreligger i en cirka 4 meter mäktig zon nära sandmagasinets botten (Ohlsson 1980). Zonen tycks vara mäktigast mot östra dammvallen, närmast själva anrikningsverket, där anrikningssanden deponerades.



Figur 14. Årlig malmproduktion från Stollbergsfältet 1869–1981.

Inom Dammbergsområdet finns i anslutning till Dammbergsschaktet en större varphög (fig. 6). Under år 1980 togs det från högen en större mängd varp som anrikades i Stollbergs anrikningsverk. Provtagning och analyser som utfördes i samband med denna varpmalmsanrikning visade på relativt höga halter av basmetallerna bly + zink, cirka 5 procent totalt, samt något silver. Genomsnitt för den kvarvarande mängden bedömdes dock vara lägre (Månsson 1982). SGU har inom ramen för nuvarande regeringsuppdrag testat provtagningsmetodikerna som beskrivs av Sädbom & Bäckström (2018) på varphögar i Dammbergsgruvan och Mygggruvan i Stollbergsfältet. Syftet med provtagningen var att göra en bred analys och dokumentera det genomsnittliga innehållet av olika grundämnen inklusive innovationskritiska metaller i varphögarna som helhet.

Provtagning och analyser inom ramen för Regeringsuppdraget är redovisade i tabell 11. Analyser av borrhärdar, varphögar och anrikningssand har inte påvisat några signifikanta halter av någon kritisk metall. Halterna av zink, bly och mangan är däremot höga. Anrikningssanden, framförallt den vid sjön Staren vid Silfhyttan, är rik på zink, bly och mangan men även arsenik.

**Tabell 10.** Malmproduktion och bearbetning i Stollbergsfältet 1869–1981. Mt = miljoner ton. Markerat värde (fet stil) visar särskilt hög halt.

Data	Objekt	Tonnage (Mt)	Fe %	S %	Mn %	Zn %	Pb %	Ag ppm
Total mängd bruten malm	Svartbergsfältet Fe-Mn	0,13	-	-	-	-	-	-
	Svartbergsfältet Pb-Zn	0,01	-	-	-	-	-	-
	Dammbergsfältet Zn-Pb	0,03	-	-	-	-	-	-
	Stollbergsfältet Zn-Pb	3,48	-	-	-	-	-	-
	Stollbergsfältet Fe-Mn	0,3	-	-	-	-	-	-
Bearbetat i anrikningsverk	Mellanverket	0,38	27,7	3,5	6,7	-	2,7	-
	Stollberg	3,79	16,8	2,5	-	2,6	5,0	<b>93</b>
Deponerad anrikningssand	Mellanverket	0,30	12,1	-	6,2	-	-	-
	Stollberg	3,02	7,4	-	-	0,8	0,6	-

**Tabell 11.** Analyser av anrikningssand, varp och borrhärdar från Stollbergsfältet. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

Data	Objekt	Fe %	Pb %	Zn %	Mn %	Ag ppm	As ppm	In ppm	Sb ppm
Sandmagasin <sup>1</sup>	Stollberg Brusmalmen (n=11)	6,3– 13,4	0,13– 0,69	0,2– 0,66	1,39– 5,37	5,6– <b>16,9</b>	250– 5 000	0,2– 1,7	8,1– <b>34,5</b>
	Silfhyttan (n=4)	14,8– 20,8	0,49– 1,09	0,82– 1,25	4,39– 7,58	8,6– <b>14,6</b>	1 710– 7 550	1,22– 1,83	<b>18,9</b> – <b>21,6</b>
	Dammbergsgruvan (n=4)	13,6– 16,5	0,71– 1,30	1,79– 3,36	1,92– 4,40	<b>15,7</b> – <b>22,3</b>	3 960– 7 430	1,73– 3,68	<b>16,6</b> – <b>22,4</b>
Varphög <sup>1</sup>	Mygggruvan (n=2)	6,9– 9,3	0,58– 1,27	0,49– 0,53	3,62– 3,90	5,6–8 33–	33– 1 300	0,45– 2,52	2,6– 4,44
	Stollberg (n=4)	9,1– 34,6	1,10– 20,0	0,10– 10,1	2,10– 5,10	2– <b>355</b>	10– 250 <sup>2</sup>	1,00– <b>18,4</b>	0,3– <b>250</b> <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Intervallen visar lägsta och högsta halten av analysresultat från anrikningssand, varphögar och borrhärnesektioner.

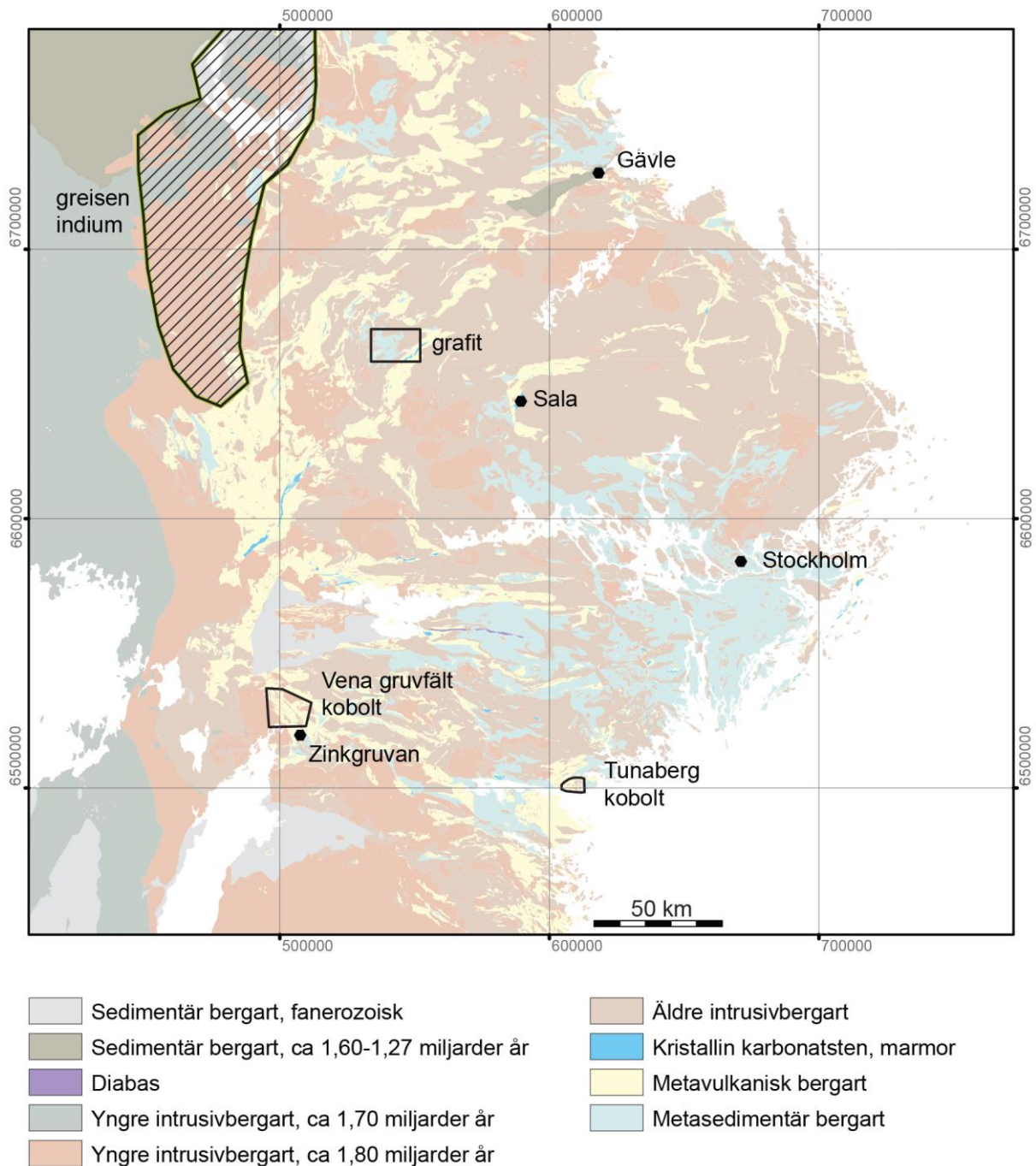
<sup>2</sup>250 ppm är övre intervallgräns för analysmetoden och ett värde på 250 indikerar att innehållet av As är 250 ppm eller högre.

<sup>3</sup>250 ppm är övre intervallgräns för analysmetoden och ett värde på 250 indikerar att innehållet av Sb är 250 ppm eller högre.

## Detaljarterade områden

Kobolt, grafit och indium är klassade som kritiska råmaterial på EU:s lista och är nödvändiga bland annat i omställningen till ett mer hållbart samhälle.

Fyra nyckelområden (fig. 15) har valts ut för att bedriva multidisciplinära undersökningar där insamling av berggrundsgeologisk, bergartskemisk och geofysisk information ingår. Två av dem är Vena gruvfält och Tuna bergslag med kända koboltförekomster. Ett annat nyckelområde är Giltjärns-Skrammelfall med grafitgruvor. Det sista området som har undersökts är ett stråk med greisenomvandling i Dala-granit i västra och nordvästra Dalarna, där anomala halter av indium har påträffats.



**Figur 15.** Karta över Bergslagen med detaljarterade områden som polygoner. Bergart och bildningsålder anges i teckenförklaringen.

## ***Kobolt i Vena gruvfält***

Alexander Lewerentz, Edine Bakker & Peter Hedin

### **Bakgrund och historik**

Vena gruvfält ligger i Askersunds kommun i södra Örebro län, cirka 10 km nordväst om Zinkgruvan där zink, koppar och silver i dagsläget utvinns ur bergarter liknande dem vid Vena. I närområdet finns hundratals gruvhål av varierande storlek, vilka brutits på järn- och sulfidmalmer sedan åtminstone 1500-talet och framåt (Erdmann 1889). Enligt Bergsstatens mineralrättighetsregister har ett flertal bolag i dagsläget undersökningstillstånd inom det undersökta området.

Inom själva Venafältet är i källor belagt att gruvdrift upptogs år 1770, inledningsvis för kopparbrytning men kort därefter också för kobolt dito, vilken fortsatte fram till år 1880 då sjunkande metallpriser gjorde driften olönsam. Produktionen varierade kraftigt från något enstaka ton till över hundra ton malm årligen, mellan 1807 och 1880 bröts totalt 416 ton malm med en genomsnittlig halt av 0,1–0,5 procent kobolt (Kommerskollegium 1877, 1880, 1881, Tegengren m.fl. 1924). Galtgruvorna, som år 1825 hade brutits till ett djup om över 60 meter, är fältets djupaste gruvhål.

Lövfalla-fältets järnoxidmineraliseringar, belägna cirka 300–800 meter sydost om Venafältet, bröts aktivt tillfälligt under år 1908 varvid 200 ton kopparmalm här uppforderades (Kommerskollegium 1909). Detta torde utgöra den senast aktiva gruvdriften i Venas absoluta närområde. Vena gruvfälts historia som koboltförekomst, i kombination med att dess mineraliseringar inte systematiskt undersökts i modern tid, gör området intressant för studier av potential för innovationskritiska metaller- och mineral i Sverige.

### **Sammanfattning av undersökningsaktiviteter**

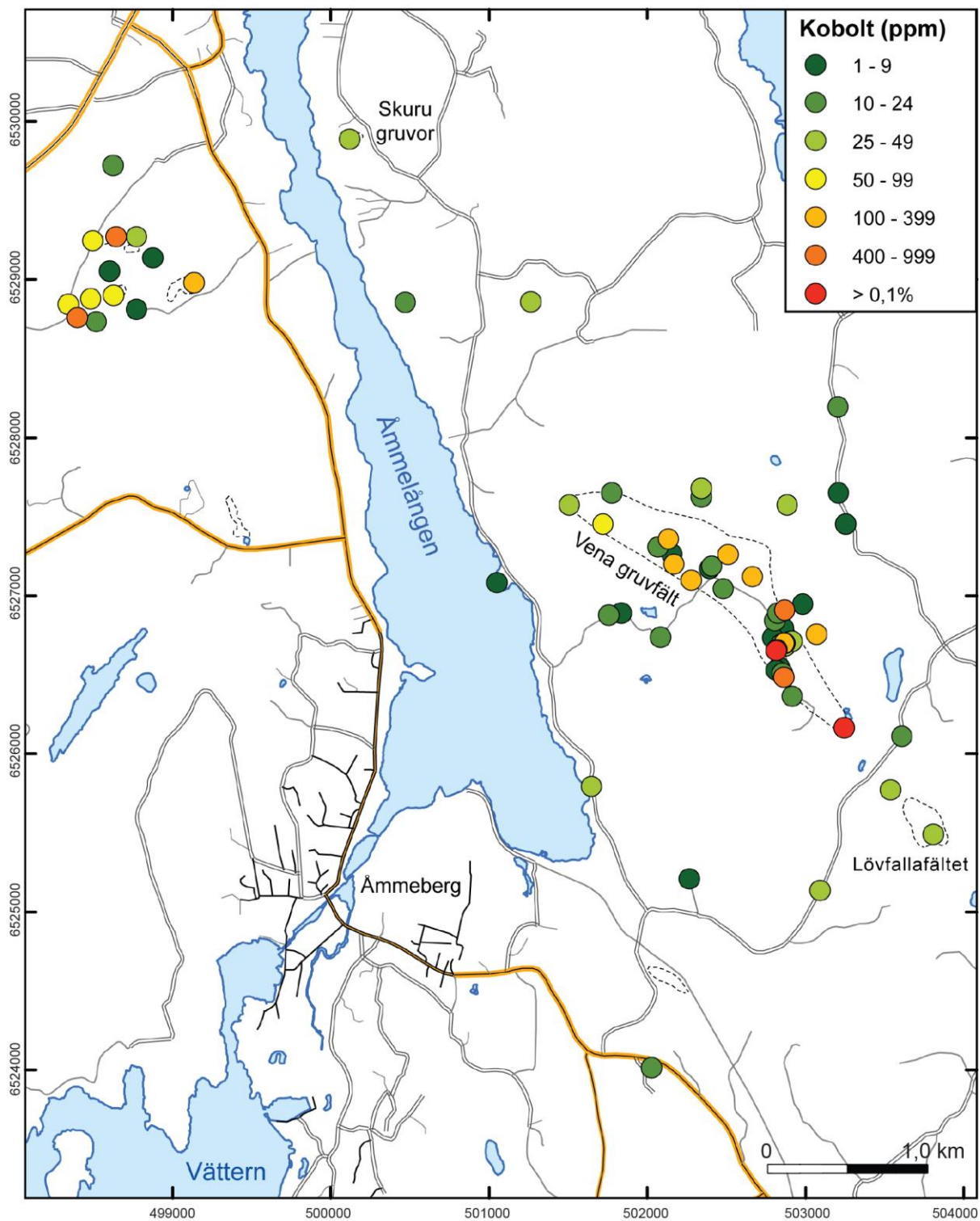
En detaljerad undersökning har utförts av berggrunden, från makroskopisk till mikroskopisk skala, i området kring Vena gruvfält (fig. 16). Fältarbeten utfördes under hösten 2018 och våren 2019. Dessa inkluderade beskrivning och dokumentation av områdets bergarter och mineraliseringar i håll, men också gruvhål och tillhörande varphögar (Lewerentz m.fl. 2019, Lewerentz m.fl. i tryck). Dessutom har borrhävar från SGUs arkiv i Malå respektive Zinkgruvan Mining AB:s arkiv i Zinkgruvan undersökts, vilka givit information om områdets geologiska förutsättningar ner till ett djup om cirka 700 meter under markytan. Totalt har 293 observationspunkter inlagrats i SGUs hålldatabas, vilka kan utgöra underlag för eventuella framtida prospekteringsinsatser.

Utöver regionala flygmätningar och tyngdkraftsmätningar (se avsnitt *Flyggeofysiska- och tyngdkraftsmätningar inom utvalda områden*) har högupplösta mätningar av bergarternas magnetiska egenskaper och elektriska ledningsförmåga mätts längs tio profiler över Venafältet, vilket ger information om bergarternas utbredning på djupet under markytan. Dessutom samlades 40 prov in för detaljerad bestämning av bergarternas densitet och magnetiska egenskaper. Alla nya geofysiska data har inlagrats i SGUs databaser.

### **Geologiska observationer**

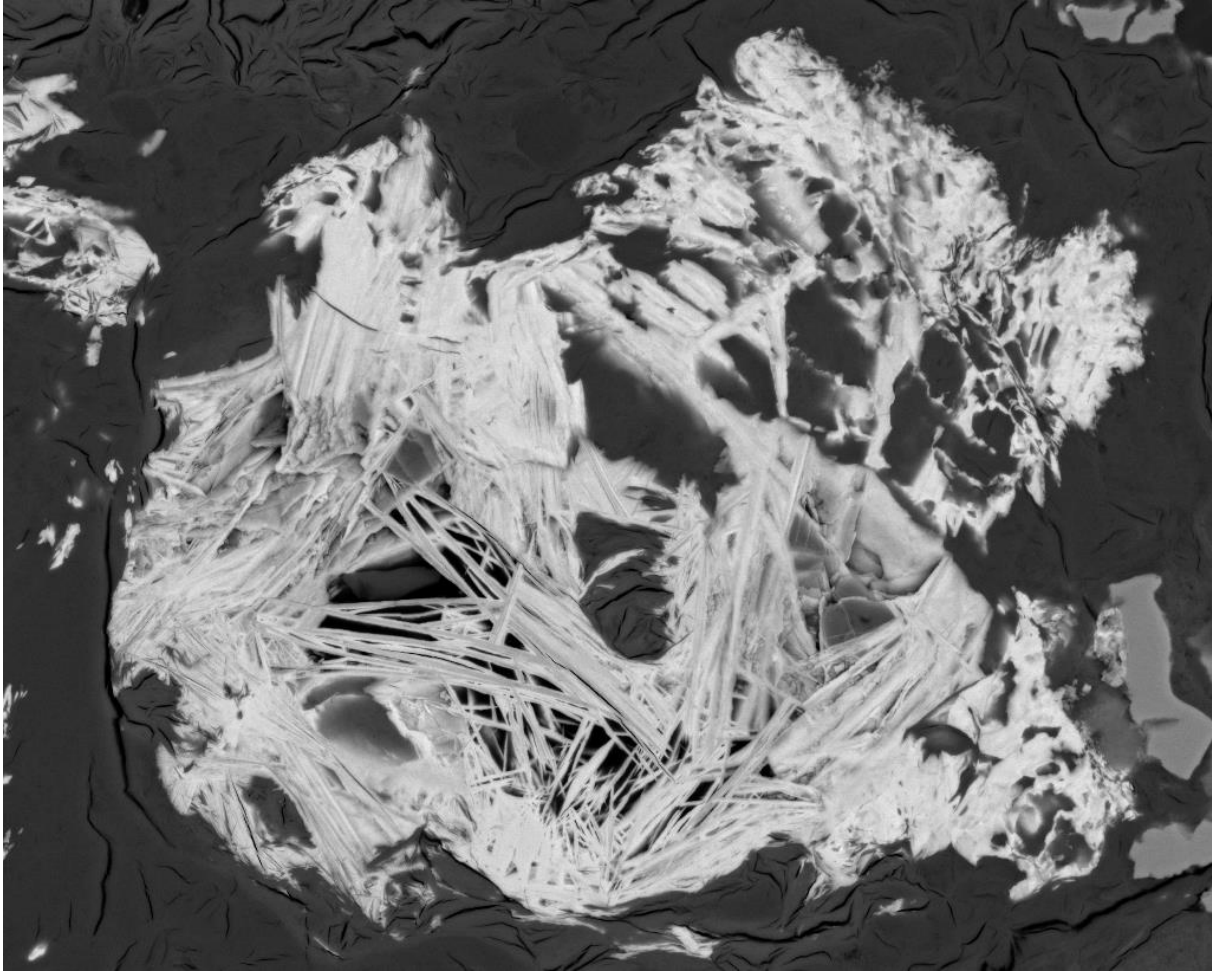
Fältobservationer utgör huvuddelen av den geologiska undersökningen. Särskilt intressanta observationsplatser har också provtagits för tunnslipstillverkning, vilket möjliggör undersökningar av bergarten i mikroskopisk skala. Konventionell ljusmikroskopi har använts för identifikation av de olika mineral vilka bergarterna och mineraliseringarna består av. Mineraliserade och bergartskemiskt intressanta prov har dessutom undersökts med svepelektronmikroskop, med vilket enskilda minerals kemiska sammansättning kan analyseras, för att fastställa i vilka värdmineral områdets innovationskritiska metaller finns uppboundna.





**Figur 16.** Karta över det undersökta området kring Vena gruvfält. Fyllda cirklar visar var prover inhämtats för bergarts-kemisk karakterisering, dessa är färgsatta för att visualisera spridningen i kobolthalt inom området.

Genom undersökning av totalt 49 tunnslip har flertalet koboltmineral identifierats i proverna från Vena, där det i särklass vanligaste är koboltglans. Upp till 10 procent kobolt har också uppmätts i de vanligtvis inte koboltförande mineralen arsenikkis och pyrit, vilka är besläktade med koboltglans. Förekomst av andra innovationskritiska metaller har påvisats genom identifiering av mineral innehållandes bland annat vismut och de sällsynta jordartsmetallerna (fig. 17).



**Figur 17.** Exempel på hur svepelektronmikroskopi kan användas för att identifiera innovationskritiska metaller och mineral; foto i hög förstoring visandes nålar av fluorokarbonatmineralet parisit, som till ungefär 55 procent består av de sällsynta jordartsmetallerna cerium, lantan och neodym. Bildens verkliga bredd är en tiondels millimeter. Varprov från Skuru järnmalmsgruvor, strax norr om Venafältet. Foto: Alexander Lewerentz.

### Halter av innovationskritiska metaller

Totalt har 98 prover ur hällar, borrhävar och varp analyserats för karakterisering av bergarts-kemisk sammansättning. En sammanfattning av de mest intressanta resultaten återges här i text och i tabell 12. Vismut är i vissa prover anrikat med upp till över 1 000 gånger bakgrundshalten i områdets icke mineraliserade bergartsled, dock ligger även de högsta halterna långt under brytvärda nivåer. Förhöjda till kraftigt förhöjda halter av kobolt, upp till 1,37 procent, återfinns i flera av de analyserade proverna. Det mest koboltrika provet innehåller dessutom något till måttligt förhöjda halter av molybden (0,15 %), sällsynta jordartsmetaller (0,13 %) och platinagruppens metaller (0,15 ppm).

Kraftigt förhöjda halter av sällsynta jordartsmetaller (0,7 %) har påträffats i provtagen varp från Skuru gruvor (fig. 16), en av områdets äldre järnmalmsgruvor. Dock saknas kunskap om spatial utbredning varför det inte kan avgöras om förekomsten är ekonomiskt brytvärd. Denna typ av förekomst är i Sverige sedan tidigare känd från området kring Riddarhyttan i mellersta Bergslagen (Jonsson m.fl. 2019, Sadeghi m.fl. 2019), men har alltså till följd av detta regeringsuppdrag påvisats även i Vena gruvfält i Bergslagens sydligaste delar.



**Tabell 12.** Utvalda analyser från Vena gruvfält med särskilt höga halter (fet stil) av de innovationskritiska metallerna vismut (Bi), kobolt (Co), platinagruppens metaller (PGM) och de sällsynta jordartsmetallerna (REE), samt förhöjda halter av bas- och ädelmetaller som silver (Ag), guld (Au), koppar (Cu), molybden (Mo) och zink (Zn). Med skärpning avses mindre provgrop som antagligen aldrig producerat någon malm.

Provtagningsplats	Bi ppm	Co %	PGM ppm	REE %	Ag ppm	Au ppm	Cu %	Mo %	Zn %
Borrkärneprov	1	<0,01	<0,01	0,02	1	<0,01	<b>0,22</b>	<0,01	<b>0,98</b>
Fredriksgruvan	<b>318</b>	0,10	0,01	0,02	3	0,03	<0,01	<0,01	0,08
Högmonsgruvorna	79	0,09	0,01	0,02	<b>21</b>	<b>0,16</b>	<b>2,00</b>	<0,01	0,22
Kofalls storgruva	51	0,01	0,01	0,01	<b>27</b>	0,02	0,06	<0,01	0,40
Krangruvan	<b>700</b>	<b>1,37</b>	<b>0,15</b>	<b>0,13</b>	9	0,05	<b>1,03</b>	<b>0,15</b>	0,11
Nya Galtgruvan	32	0,10	0,02	0,01	9	0,01	<b>1,10</b>	<0,01	0,16
Skuru gruvor	<1	<0,01	0,01	<b>0,71</b>	<1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Skärpning	3	<0,01	<0,01	0,02	5	0,02	<b>0,24</b>	<0,01	<b>1,08</b>
Skärpning	39	0,07	0,02	0,02	2	<0,01	<b>1,61</b>	0,02	0,06
V Myrmansgruvorna	17	0,02	<0,01	0,02	<b>17</b>	0,03	<b>1,74</b>	<0,01	0,18

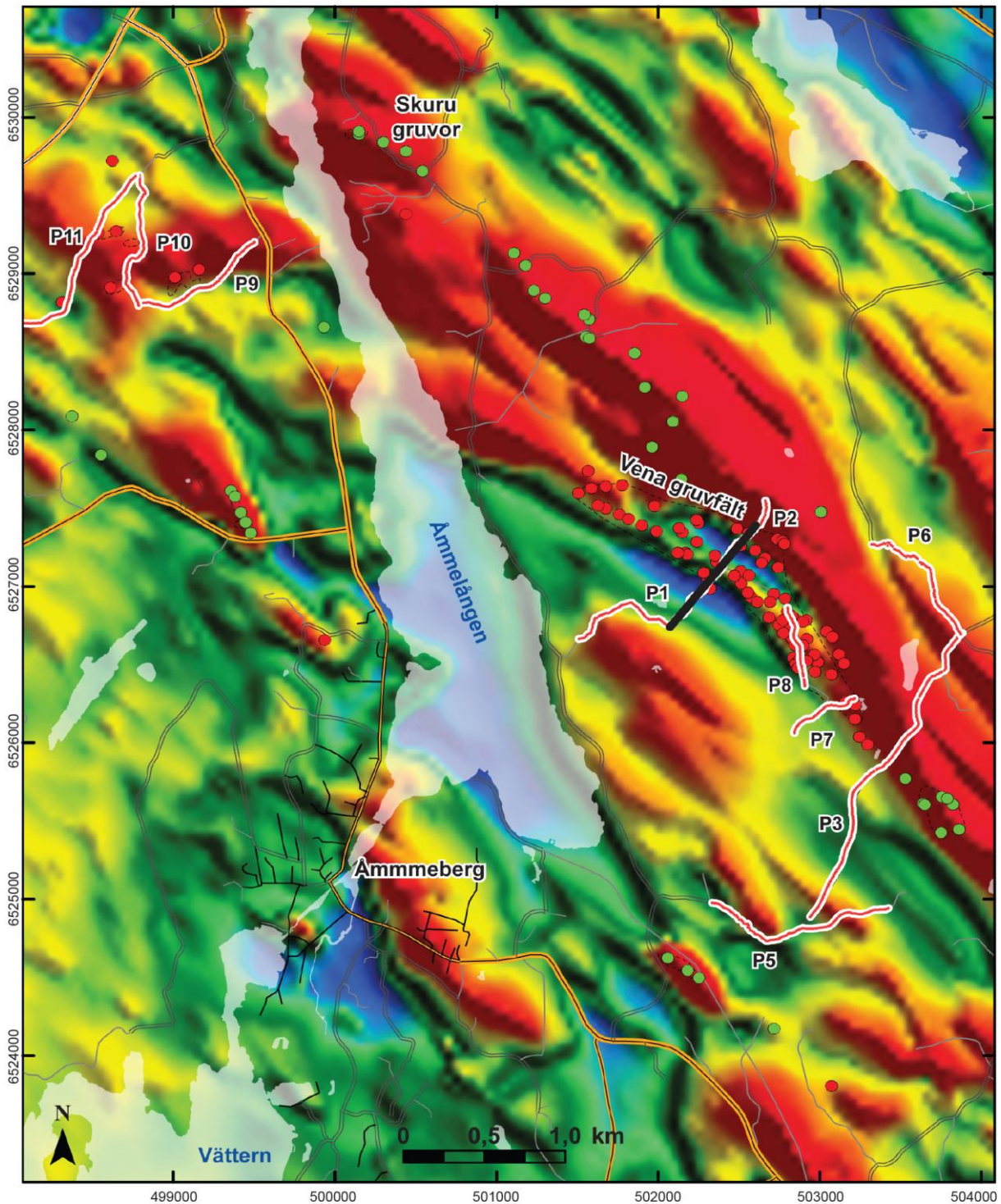
Utöver de innovationskritiska metallerna har även förhöjda halter av koppar och silver påträffats i flera prover. Halterna står i paritet med eller ligger strax under halterna i den kopparmalm som bryts i Zinkgruvan (jfr Jansson m.fl. 2017). Det är dock inte möjligt att utan omfattande prospekteringsinsatser avgöra om förekomsterna är brytvärda. Ett av de koppar- och silverrika proverna uppvisar även något förhöjd guldhalt. Även förhöjda halter av zink har påträffats, jämförelsevis uppgår dessa dock bara till cirka en tiondel av de i Zinkgruvans zinkmalm.

## Geofysiska undersökningar

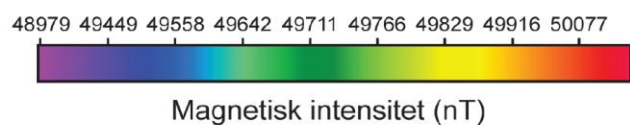
Av de geofysiska metoder som använts inom detta projekt har elektromagnetiska mätningar (VLF) och magnetometri längs markprofil den högsta upplösning nära ytan och kan ge information om geologiska strukturer och formationer ner till djup av storleksordningen 100 meter respektive 1 km. Flygmätningar av desamma har något lägre upplösning men större geografisk täckning. Tyngdkraftsdata har ännu något lägre upplösning nära ytan men ger information om mer djupgående formationer. Provtagning för karaktärisering av bergarternas fysiska egenskaper möjliggör en koppling mellan geofysiska resultat och geologin.

Venaområdet kännetecknas i flyggeofysiska data av tydliga stråk i nordvästlig till sydostlig riktning med förhöjd magnetisk fältstyrka (fig. 18) och förhöjd elektrisk ledningsförmåga, vilka kan orsakas av till exempel olika mineraliseringar. De starkaste magnetiska avvikelserna är framför allt kopplade till magnetithalten och sammanfaller med kända järnmalmgruvor vid Skuru och Lövfällafältet. Samtliga historiska sulfidmalmgruvor i Venafältet ligger i ett stråk med förhöjd magnetisk och elektrisk respons som geografiskt är parallellt med, men cirka 500 m sydväst om det magnetiska huvudstråket (fig. 18).

Resultat från bearbetning av VLF-data i 2D längs högupplöst markprofil (fig. 19) och bearbetning av flygmagnetiska data i 3D (fig. 20), tyder på att stråket med kända sulfidmineraliseringar ligger i en veckstruktur. Figur 19 visar även en god elektrisk ledare, L1, som sträcker sig till mer än hundra meters djup. Den sammanfaller med starkare magnetiska egenskaper och skulle kunna indikera en djupgående sulfidmineralisering innehållande magnetkis. Den magnetitförande bergart som har brutits i de gamla järnmalmgruvorna ger upphov till områdets dominerande magnetanomi, vilken kan ses i inversionsresultaten ner till närmare 1 km djup (fig. 20).

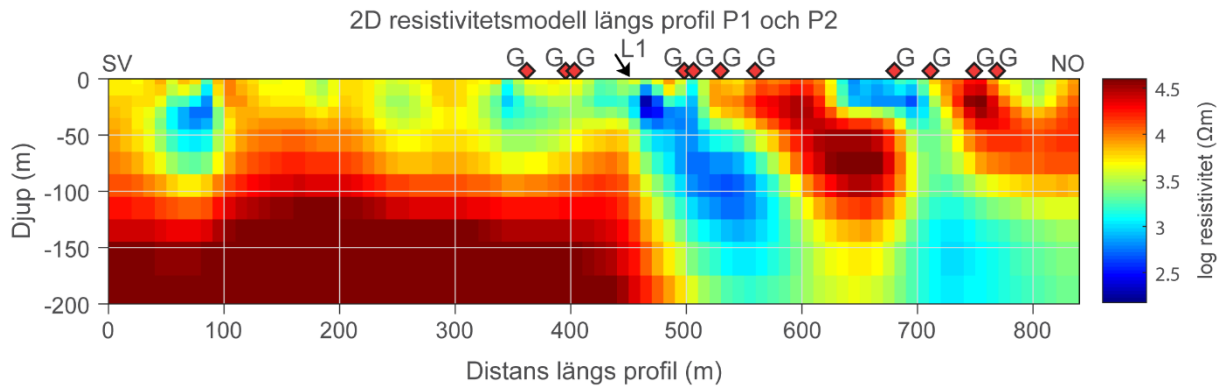


- Markprofil, VLF och magnetometri
- Tolkningsprofil, VLF
- Järnmalmsförekomst
- Sulfidmalmsförekomst

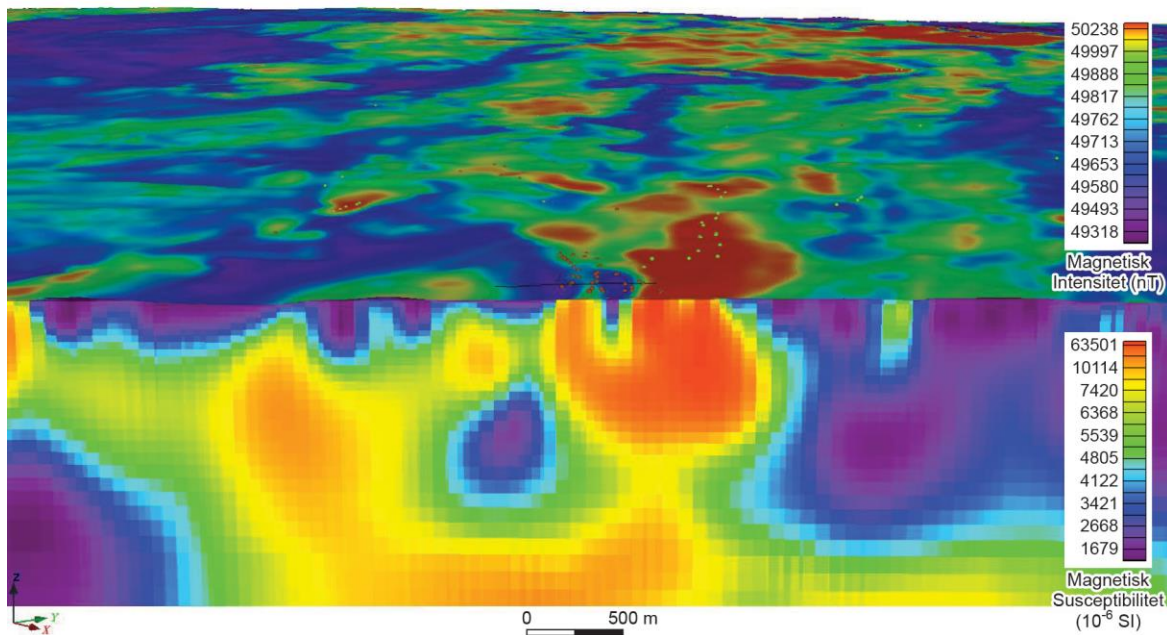


**Figur 18.** Variation i magnetisk fältstyrka, baserad på flygdata som insamlades 2018 av SGU. Positiva avvikelser (röda nyanser) visar områden med starkare magnetiska egenskaper, vilket ofta är kopplat till förekomsten av ferro- och ferrimagnetiska mineral, bland vilka magnetit och magnetkis är vanligast. Tolkning av VLF-data längs profil 1 och 2 (svart linje) kan ses i figur 19.





**Figur 19.** Variation i elektrisk ledningsförmåga på djupet längs profil P1 och P2, baserad på bearbetade VLF-data (2D inversion). Blå färg indikerar låg resistivitet, det vill säga god elektrisk ledningsförmåga. Äldre gruvhål (G) inom 100 meter från profilen har projicerats till sektionen och märkts ut vid markytan och de flesta kan ses ligga i en synform veckstruktur. En god elektrisk ledare (L1) kan ses i synformens sydvästra sida. Den sammanfaller med lokalt förhöjda magnetiska egenskaper (fig. 18) och kan indikera en sulfidmineralisering ner till djup av 100 meter. Horisontell upplösning är 10 meter.



**Figur 20.** Variation av magnetisk intensitet på ytan, baserad på flygmagnetiska data, och variation av magnetisk susceptibilitet i berggrunden ner till 1,5 km djup, baserad på bearbetade flygmagnetiska data (3D inversion). Vy mot nordväst. Positiva avvikelser (röda nyanser) visar områden med starkare magnetiska egenskaper, vilket ofta är kopplat till förekomsten av ferro- och ferrimagnetiska mineral, bland vilka magnetit och magnetkis är vanligast. De gamla sulfidgruvorna (röda prickar) kan ses ligga i en veckstruktur. Den magnetitförande bergart som har brutits i de gamla järnmalmsgruvorna (gröna prickar) ger upphov till områdets dominerande magnetanomali som här ses ner till närmare 1 km djup. Den svarta linjen visar läget för VLF-profilen som visas i figur 19. Längdskalan gäller i modellens framkant. Horisontell upplösning i inversionsresultat är 50 meter. Skalan gäller både horisontell och vertikal riktning.

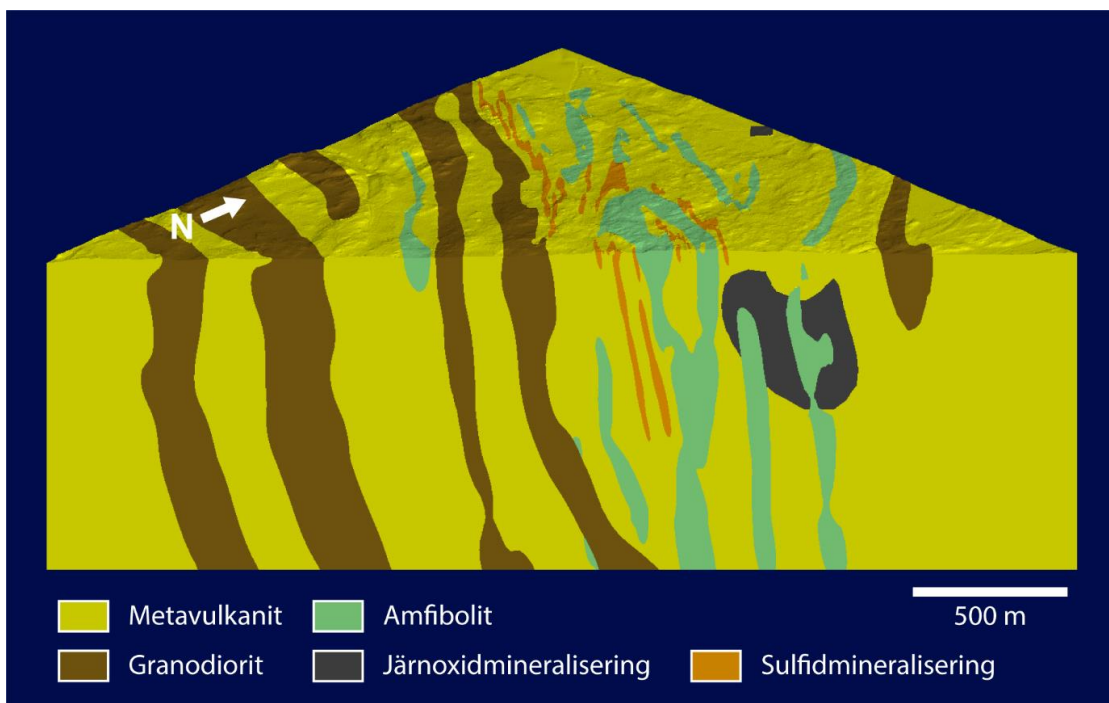
De nya tyngdkraftsmätningarna i området visar en stor positiv avvikelse (se fig. 36) som indikerar berggrund med högre densitet än omgivningen. Denna tyngdkraftsanomali har sitt maximum strax sydväst om anomalierna för magnetism och elektrisk ledningsförmåga, men följer samma nordvästliga till sydöstliga trend. Anomalin kan förklaras av en större kropp av bergarter med hög densitet som ligger dold på ett djup av storleksordningen 1 km under markytan, vilken också kan vara kopplad till mineraliseringarnas bildande.

### 3D-modell av Vena gruvfält

En sammanvägd 3D-modell har konstruerats för Venafältet (fig. 21). Som grund till denna ligger dels geologiska och geofysiska observationer från markytan, men även observationer från borrhål och modellering av geofysiska data som ger information om berggrundens utseende under markytan. Denna återger en möjlig tolkning av bergarters och mineraliseringars utbredning på djupet.

### Vena gruvfälts potential

Undersökningarna visar att mineraliseringarna fortsätter på djupet, om de är brytvärda tas inte ställning till i denna rapport utan detta får eventuella framtida prospekteringsinsatser avgöra. Förekomst av kobolt och koppar har genom detta arbete bekräftats. Kraftigt förhöjda halter av de, som innovationskritiskt utpekade, sällsynta jordartsmetallerna har också påvisats vid Skuru gruvor, vilket tidigare inte har rapporterats från området. Därutöver har också förhöjda halter av vismut (kritisk metall) och silver (ädelmetall) påträffats. SGUs uppdaterade geofysiska underlag, genom regeringsuppdraget nya insamlade flygdata och markmätningar, utgör en bra grund för vidare undersökningar och utvärderingar av Vena gruvfälts potential. Vena gruvfälts bergartsled och mineraliseringstyper är generellt sett ganska vanligt förekommande Bergslagen, därmed finns det sannolikt också potential att påträffa koboltmineraliseringar i liknande geologiska miljöer på andra platser.



**Figur 21.** Tredimensionell modell av berggrund och mineraliserade stråk inom Vena gruvfält. Denna visar att mineraliseringarna fortsätter på djupet och därmed inte är utbrutna, vilket tidigare beskrivits av Tegengren m.fl. (1924) dock utan vidare djupangivelse. Koboltmineral förekommer i sulfidmineraliseringen som visas i orange. Skalan gäller både horisontell och vertikal riktning.

## ***Kobolt i Tuna bergslag***

Alexander Lewerentz, Edine Bakker & Peter Hedin

### **Bakgrund och historik**

Tuna bergslag ligger i Nyköpings kommun i södra Södermanlands län och utgjordes tidigare av Tunabergs, Hammars och Tunas socknar. Det undersökta området, vilket i stort sammanfaller med Tunabergs sockens utbredning och utgör större delen av det historiska bergslaget, är beläget cirka 10–15 km söder om Nyköping. I området finns ett stort antal äldre gruvhål varav de äldsta finns omnämnda i Erik av Pommerns stadfästelse från år 1420, men som troligast varit brutna även innan dess (Erdmann 1848, Hoppe 1887). Inledningsvis bröts främst järn och koppar, senare kobolt, zink, bly och mangan. Tunabergs senast aktiva gruva är Stora Utterviks mangangruva, där gruvdrift upphörde år 1956 (Hök 1956). Enligt Bergsstatens mineralrättighetsregister har ett flertal bolag i dagsläget undersökningstillstånd inom det undersökta området.

Gruvorna kring Koppartorp (fig. 22) började på allvar att bearbetas på 1750-talet, inledningsvis som rena koppargruvor men snart bröts också koboltmalm (Erdmann 1848). Storgruvan, den enda gruva som varit av egentlig ekonomisk betydelse, har brutits ned till ett djup av 165 meter under markytan (Tegengren m.fl. 1924). Statistik från den tidiga brytningen saknas, men under åren 1810–1916 uppförades totalt 670 ton blandad koppar- och koboltmalm samt drygt 4 450 ton ren kopparmalm med metallhalter om cirka 0,1–2 procent kobolt och 1–2 procent koppar (Tegengren m.fl. 1924, Kommerskollegium 1917).

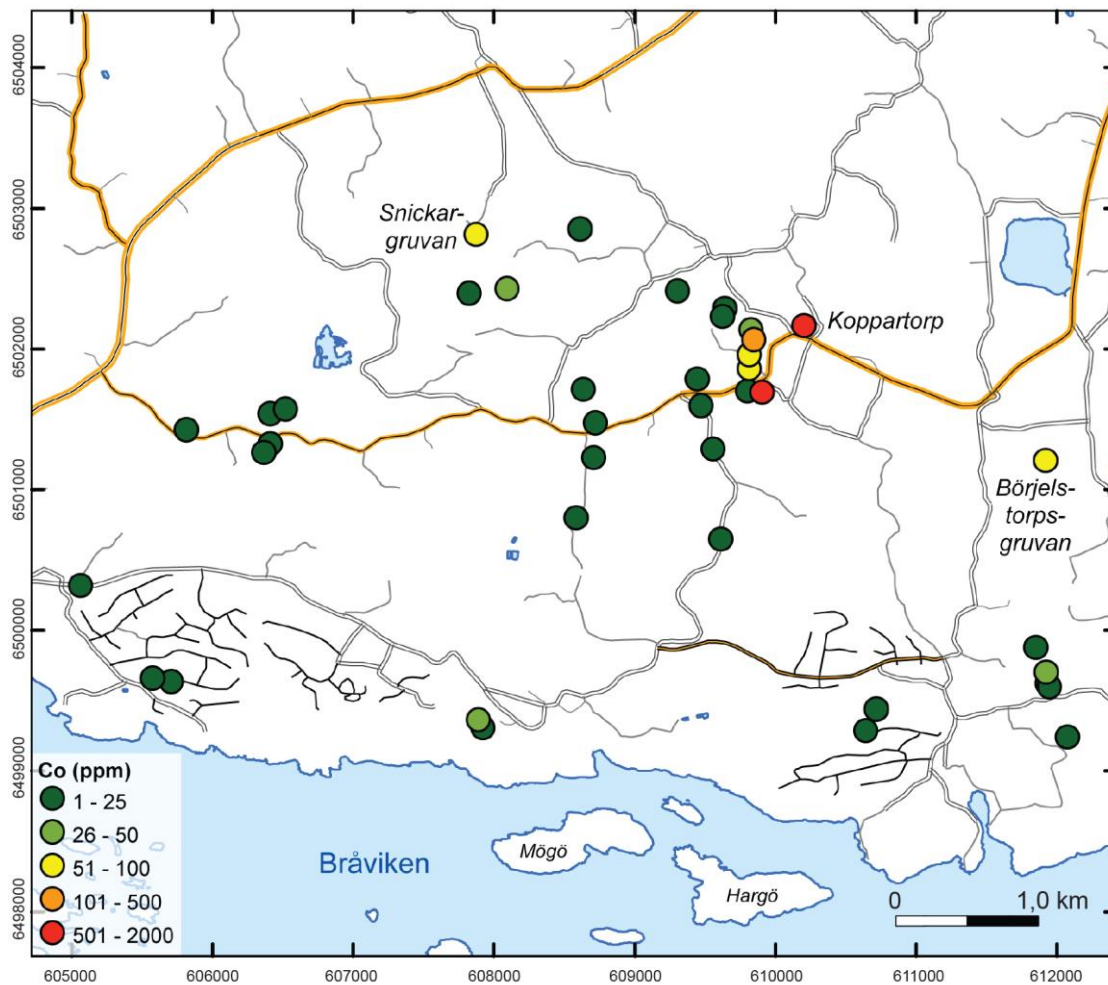
### **Sammanfattning av undersökningsverksamheter**

En detaljerad undersökning har utförts av berggrunden, från makroskopisk till mikroskopisk skala, i området kring Tunaberg (fig. 22). Fältarbeten utfördes under sommaren 2019 och inkluderade beskrivning och dokumentation av områdets bergarter och mineraliseringar i håll, men också gruvhål och tillhörande varphögar (Lewerentz m.fl. i tryck). Dessutom har borrhävar från SGUs arkiv i Malå undersökts, vilka givit information om områdets geologiska förutsättningar under markytan.

Utöver tyngdkraftsmätningar (se avsnitt *Flyggeofysiska- och tyngdkraftsmätningar inom utvalda områden*) har högupplösta mätningar av bergarternas magnetiska egenskaper och elektriska ledningsförmåga utförts längs tio profiler i området omkring Tunaberg, detta för att ge information om hur bergarterna breder ut sig på djupet under markytan. Dessutom samlades 48 prov in för detaljerad bestämning av bergarternas densitet och magnetiska egenskaper. Alla nya geofysiska data har inlagrats i SGUs databaser.

### **Geologiska observationer**

Särskilt intressanta observationsplatser har också provtagits för tunnslipstillverkning, vilket möjliggör undersökningar av bergarten i mikroskopisk skala. Genom fältobservationer och undersökning av 44 tunnslip har flertalet koboltmineral identifierats i proverna från Tunaberg, bland annat koboltglans, koboltpentlandit och skutterudit (fig. 23).



**Figur 22.** Karta över det undersökta området där lokalisering av bergartsprover är utmärkt med punkter. Färgsättningen av dessa punkter symboliserar den uppmätta halten av kobolt uttryckt i miljondelar (ppm).



**Figur 23.** Koboltmalm från Storgruvan (även benämnd De Bescheska gruvan) i Koppartorp, i mitten av stufen ses en cirka 2 cm stor kristall av koboltglans. Material ur Tunabergs Hembygdsförenings samlingar, antas motsvara den malm som här en gång bröts. Foto: Edine Bakker.



## Halter av innovationskritiska metaller

Totalt har 56 prover ur håll, borrhärd och varp analyserats för karakterisering av bergartskemisk sammansättning, en sammanfattning av de mest intressanta resultaten återges här i text och tabell 13. Området kring samhället Koppartorp, som var centrum för 1700- och 1800-talens koboltbrytning, har ägnats särskild tyngd vid provtagning av håll och varp. Material från Storgruvan och Adolfsbergsgruvan har visat sig innehålla särskilt förhöjda halter av kobolt och koppar, men även antimon, vismut, mangan och silver (tabell 13).

Utöver de före detta koboltgruvorna har även övriga järn- och sulfidmalmsgruvor i området provtagits. Förhöjda halter av basmetaller som bly, koppar och zink, men även andra spår- och ädelmetaller, har uppmätts i material från ett flertal av dessa, där Börjelstorpsgruvan, Kärrgruvan och Snickargruvan särskilt utmärker sig (tabell 13). Bland annat har analyser av borrhärd från Snickargruvan, borrhärd av Bolidens Gruvaktiebolag år 1948, påvisat kraftigt förhöjd guldhalt om cirka 2 ppm och därutöver större mängder av det kritiska mineralet baryt.

Vid Börjelstorpsgruvan har ur varpen insamlats ett särskilt sulfidrikt prov. Sammanräknat med den cirka 100 meter därifrån belägna Skaragruvan, bröts ur denna gruvatotalt 818 ton zinkmalm med en genomsnittlig halt av 35 procent zink under åren 1914–1916 (Bergshanteringen 1915, 1916, 1917). Detta varpprov har visat sig innehålla 45,9 procent zink och får därmed anses representera den rikare delen av den malm som brutits (tabell 13). Provet innehåller också ansevärd mängder bly och silver samt därutöver förhöjda halter av mangan och kadmium.

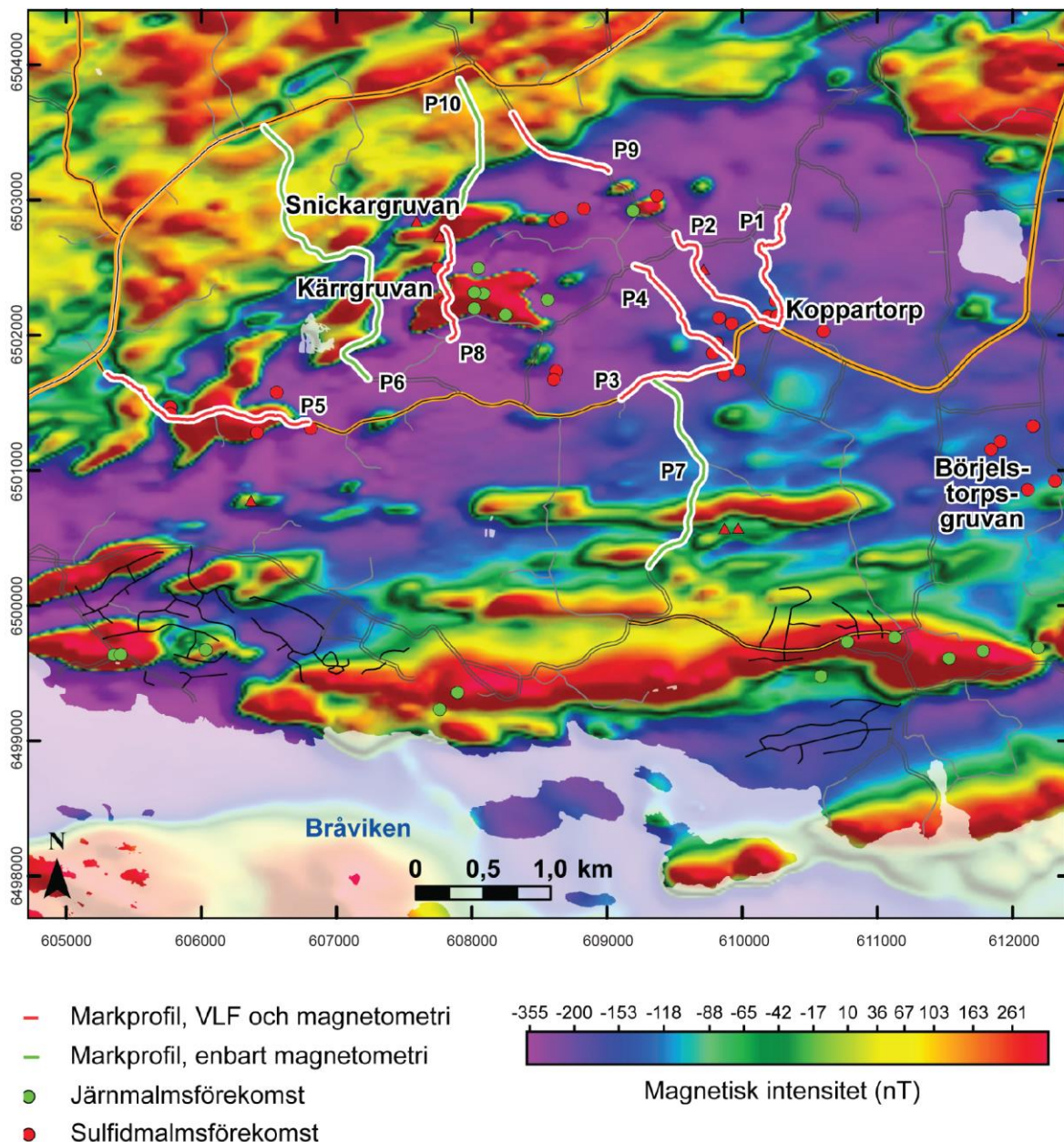
## Geofysiska undersökningar

I området kring Tunaberg har geofysiska elektromagnetiska mätningar (VLF) och magnetometri utförts längs markprofiler. Dessa har högst upplösning nära ytan, men kan även ge information om geologiska strukturer och formationer ner till djup av storleksordningen 100 meter respektive 1 kilometer. Flygmagnetiska data som samlades in 1970 täcker in området geografiskt men är av lägre kvalitet och upplösning än dagens mätningar. Flygmätningar med VLF har aldrig utförts. Tyngdkraftsdata har något lägre upplösning nära ytan men ger information om mer djupgående formationer. Provtagning för karakterisering av bergarternas fysiska egenskaper möjliggör en koppling mellan geofysiska resultat och geologin.

**Tabell 13.** Utvalda analyser från Tuna bergslag med särskilt höga halter (fet stil) av grundämnen silver (Ag), guld (Au), barium (Ba), vismut (Bi), kadmium (Cd), kobolt (Co), koppar (Cu), mangan (Mn), bly (Pb), antimon (Sb) och zink (Zn).

Provtagningsplats	Ag ppm	Au ppm	Ba %	Bi ppm	Cd %	Co %	Cu %	Mn %	Pb %	Sb ppm	Zn %
Adolfsbergsgruvan	6	0,03	<0,01	12	<0,01	<b>0,12</b>	<b>1,37</b>	<b>0,34</b>	0,38	5	0,02
Börjelstorpsgruvan	<b>165</b>	0,05	<0,01	18	<b>0,14</b>	0,01	<0,01	<b>0,12</b>	<b>7,38</b>	52	<b>45,9</b>
Kärrgruvan	6	0,01	0,04	<1	<0,01	<0,01	<b>0,16</b>	<b>0,11</b>	0,18	3	<b>1,68</b>
Snickargruvan 1	<b>14</b>	0,02	0,12	5	0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,62	<b>120</b>	<b>4,01</b>
Snickargruvan 2	<b>28</b>	0,03	0,19	6	<0,01	<0,01	0,01	0,08	0,85	<b>139</b>	<b>1,48</b>
Snickargruvan 3	2	0,01	<0,01	8	<0,01	0,01	0,02	0,07	0,01	3	<b>4,74</b>
Snickargruvan 4	<b>46</b>	<b>2,16</b>	<b>4,17</b>	<b>286</b>	<0,01	<0,01	0,08	0,10	<b>2,49</b>	<b>92</b>	0,63
Snickargruvan 6	<b>70</b>	0,04	0,88	<b>140</b>	<0,01	<0,01	0,01	<b>0,24</b>	<b>5,09</b>	12	0,56
Storgruvan 1	<b>18</b>	0,06	<0,01	<b>165</b>	<0,01	<b>0,18</b>	<b>0,64</b>	<b>0,23</b>	0,18	36	0,02
Storgruvan 2	<b>38</b>	0,08	<0,01	<b>399</b>	<0,01	0,01	<b>0,75</b>	<b>0,51</b>	0,46	<b>239</b>	0,01

Sulfidmineraliseringarna i Koppartorp ligger mitt i ett lågmagnetiskt område och de äldre regionala flygmagnetiska data ger inte mycket information om ytnära geologiska formationer och strukturer kopplade till mineraliseringarna (fig. 24). Avvikelser i den magnetiska fältstyrkan kan ses i angränsande områden, med betydligt starkare magnetiska egenskaper vid de gamla järnmalmsgruvorna vid till exempel Kärrgruvan, men visar också på en komplicerad historia av regional deformation till följd av rörelser i jordskorpan. Resultaten av de nya tyngdkraftsmätningarna visar på avvikelser i densitet som följer ett regionalt mönster liknande det för magnetisk fältstyrka, med högre densitet vid järnmalmsgruvorna (se fig. 37).



**Figur 24.** Variation i magnetisk fältstyrka, baserad på flygdata insamlade av SGU år 1970. Positiva avvikelser (röda nyanser) visar områden med starkare magnetiska egenskaper, vilket ofta är kopplat till förekomsten av ferro- och ferrimagnetiska mineral, bland vilka magnetit och magnetkis är vanligast.

Avsaknaden av högupplösta regionala geofysiska data från flygmätningar försvårar geofysisk tolkning och modellering med fokus på mineraliseringar nära ytan. I Koppartorp finns mycket infrastruktur, som försämrar kvaliteten hos de data som erhålls från detaljerade profilmätningar av bergarternas magnetiska och elektriska egenskaper. Lokalt kan dock strukturer med god elektrisk ledningsförmåga, potentiellt kopplade till de mineraliserade formationerna, ses sträcka sig några tiotal meter ner på djupet.

### **Tuna bergslags potential**

Analysen har bekräftat förekomsten av koboltrika bergarter i Tunaberg. Dessa påvisar också förhöjda halter av andra kritiska metaller och mineral (vismut, antimon och baryt) samt vissa ädel- och basmetaller (guld, silver, koppar, mangan, zink och bly). Geologin kring koboltmineraliseringarna i Tunaberg skiljer sig från den vid till exempel Vena gruvfält, genom att mineraliseringen här förekommer inom en mäktig kalkstenshorisont. Detta påvisar potentialen för koboltfyndigheter i ytterligare en typ av geologisk bildningsmiljö, med möjliga analogier på andra platser i Bergslagen.

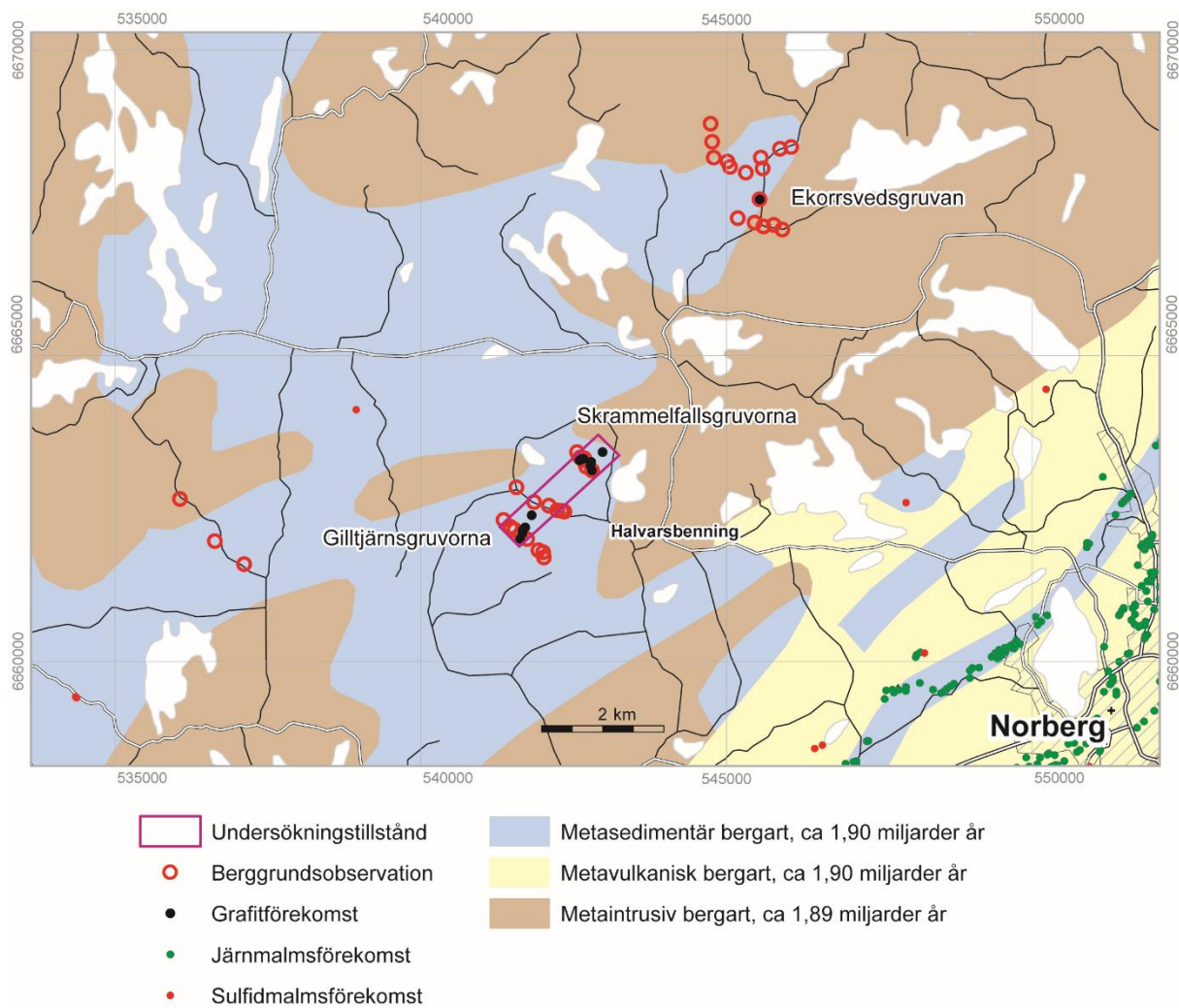
### **Grafit i Norbergsområdet, Giltjärn-Skrammelfall- och Ekorrsvedsgruvan**

Torbjörn Bergman & Peter Hedin

Nordväst om Norberg i Västmanlands län finns ett cirka 7 km långt nordost-sydvästligt stråk med ett flertal kända grafitfyndigheter. Fyndigheterna är lokaliserade till ett område med ursprungligen sedimentära bergarter, vilka senare blivit metamorft omvandlade (fig. 25). Ett undersökningstillstånd över en del av grafitstråket (Halvarsbening) har nyligen beviljats av Bergsstaten till Asera Mining AB för prospektering och vidare undersökning av grafitförekomsterna i området (fig. 25).

Grafitförekomsterna i Norbergsområdet är kända sedan början av 1800-talet och bröts i mindre omfattning i slutet av 1800-talet (Lindroth 1918). De största gruvorna inom stråket är Giltjärnsgruvorna och Skrammelfallsgruvorna, båda belägna nära Halvarsbening strax väster om Norberg. Åren 1914–1917, det vill säga under första världskriget, bröts dessa i någon större omfattning och drygt 3 000 ton grafitmalm bröts i området (Bergverksstatistik). Skrammelfallsgruvan är bruten ner till 20 meters djup och är den djupaste gruvan i området. I stråkets nordostligaste del ligger Ekorrsvedsgruvan som är en mindre provbrytning (fig. 25).

En grafitförande horisont i berggrunden utgör vanligtvis en god elektrisk ledare. Grafit uppträder i många fall också tillsammans med magnetkis, som utöver god elektrisk ledningsförmåga också ger bergarten magnetiska egenskaper. Därför kan information om grafithorisonterns möjliga utbredning både vid markytan och på djupet erhållas med hjälp av moderna geofysiska metoder; direkt med VLF-metoden vilken är känslig för elektriska ledare, och indirekt med magnetometri som är känslig för variationer i de magnetiska egenskaperna hos berggrunden. Regionala magnet- och VLF-data från SGUs flygmätningar 2016 visar att Skrammelfallsgruvorna och Giltjärnsgruvorna ligger i ett stråk med både förhöjd magnetisk fältstyrka (fig. 26) och god elektrisk ledningsförmåga (fig. 27). Tydliga positiva avvikelser i de geofysiska kartorna visar även på ett flertal områden väst till nordväst om de undersökta platserna, vilka troligtvis innehåller magnetkis och eventuellt associerade grafitförande bergarter. För att undersöka eventuella fortsättningar av den grafitförande bergarten under och bortom de sedan tidigare kända förekomsterna, har SGU inom ramen för regeringsuppdraget utfört bergartskemisk provtagning och analys, samt geofysiska mätningar utmed nio profiler inom och utanför området (fig. 26 och 27).

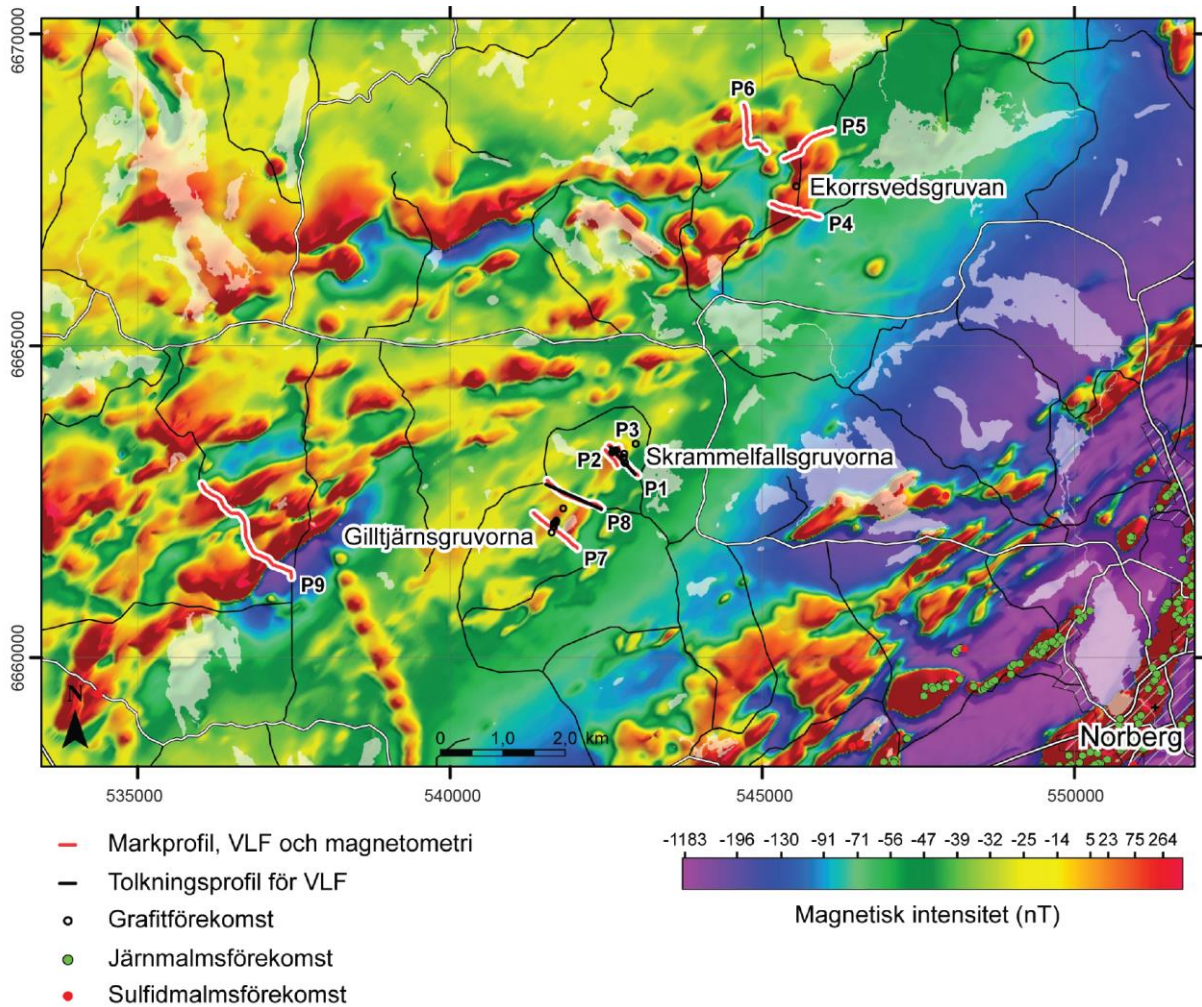


**Figur 25.** Berggrundskarta över Norbergsområdet med kända grafit-, järnmalms- och sulfidmalmsförekomster markerade. Bergart och bildningsålder anges i teckenförklaringen.

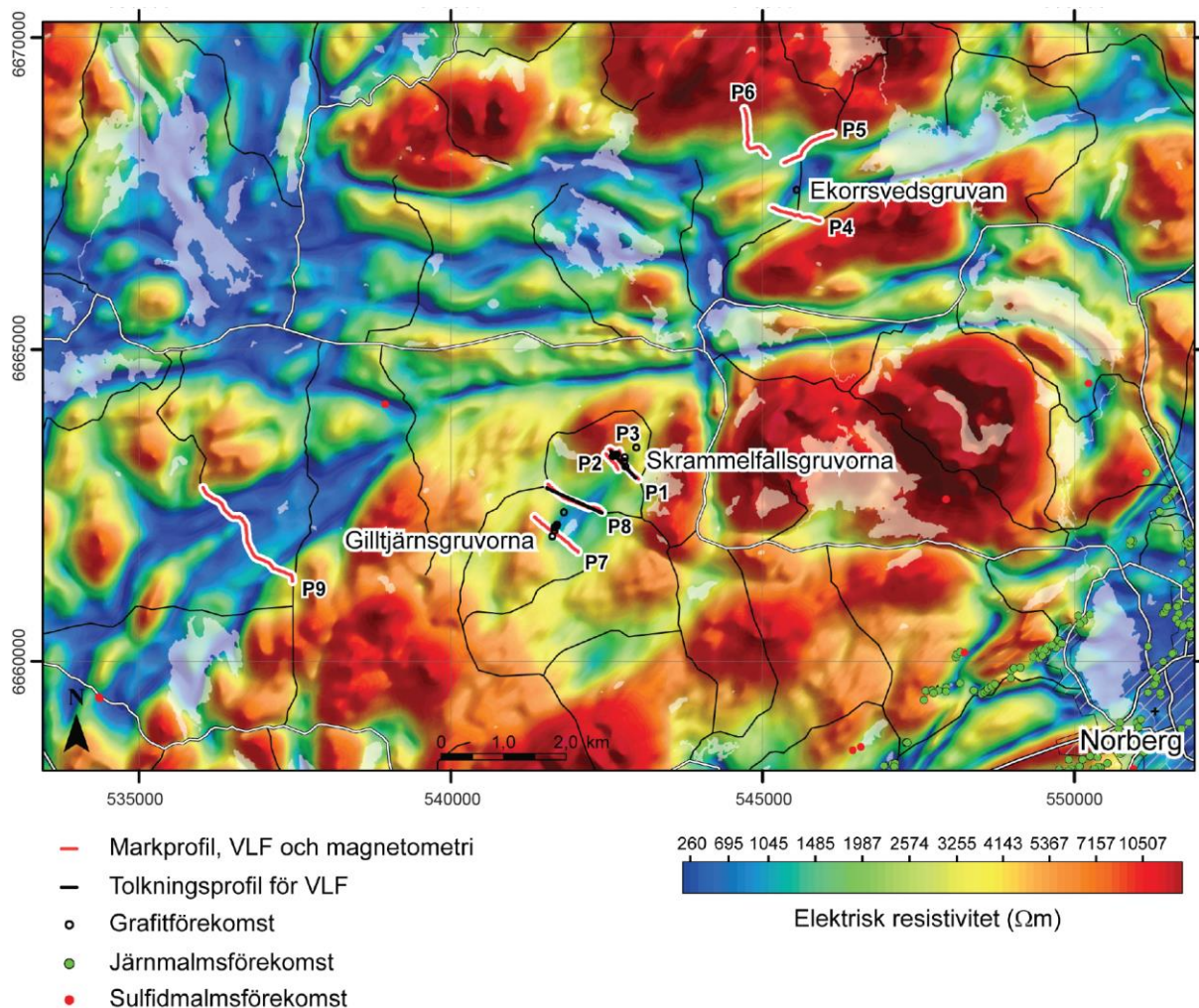
För att undersöka fyndigheternas kemiska karaktär och definiera mängden av grafitbundet kol har 17 geokemiska analyser av varp och hållmaterial från kända förekomster inom området utförts. Resultatet för kol (C) och svavel (S) redovisas i tabell 14. Fullständiga analysresultatet redovisas i SGUs databaser, samt i SGUs webbaserade kartvisare Bergartskemi.

För att avgöra i vilken form grafiten uppträder, och med vilka andra mineral den samexisterar, har sju polerade tunnslip från några av de större förekomsterna undersökts.





**Figur 26.** Variation i magnetisk fältstyrka, baserad på flygdata som insamlades 2016 av SGU. Positiva avvikelser (röda nyanser) visar områden med starkare magnetiska egenskaper, vilket ofta är kopplat till förekomsten av ferro- och ferrimagnetiska mineral, bland vilka magnetit och magnetkis är vanligast. I kartans centrala och västra till nordvästra delar indikerar de många positiva avvikelserna troligtvis förekomst av magnetkis och eventuellt associerade grafitförande bergartsled. De starka, positiva avvikelserna i kartområdets sydöstra del orsakas främst av de rika magnetitjärnmalmerna i Norbergsområdet.



**Figur 27.** Variation i elektrisk ledningsförmåga, baserad på flygmätningar med VLF som utfördes 2016 av SGU. Blå färg indikerar områden med låg resistivitet, det vill säga god elektrisk ledningsförmåga. Där dessa områden sammanfaller med positiva magnetiska avvikelser tyder de på elektriskt ledande mineraliseringar i berggrunden. Tolkning av VLF-data längs profil P1 och P8 visas i figur 29 och 30.

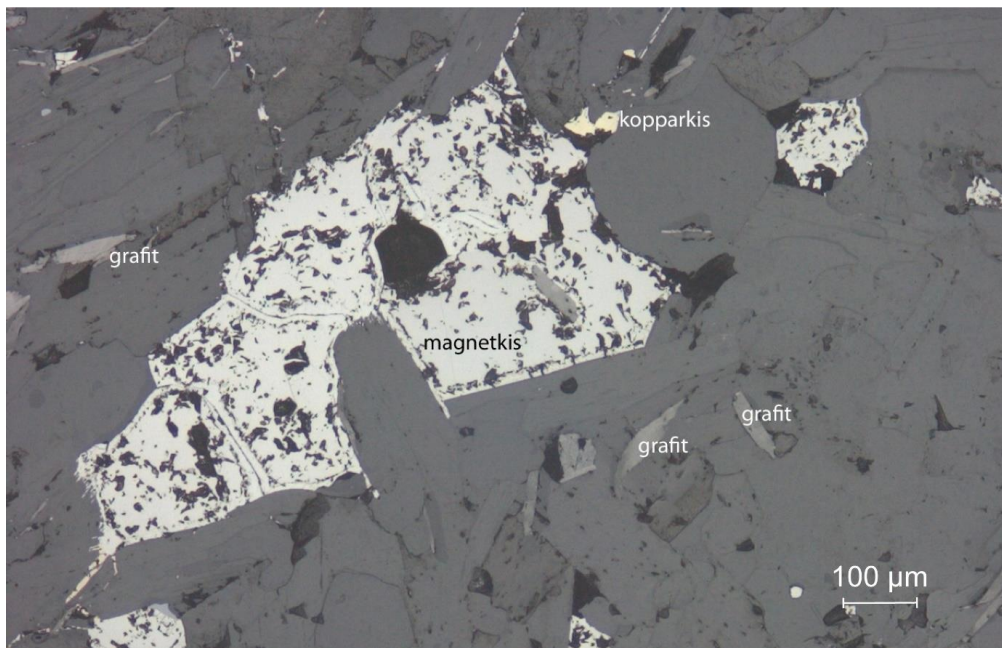
## Resultat

De kemiska analyserna bekräftar att grafit förekommer i relativt stor mängd i några av de sedan tidigare kända förekomsterna. De rikaste proverna som undersökts innehåller upp till 32 viktprocent grafitbundet kol (tabell 14). Prover tagna utanför tidigare kända förekomster uppvisar inget eller endast svagt förhöjt innehåll av kol.

Den mineralogiska mikroskopiundersökningen visar att grafiten i Skrammelfälls- och Giltjärnsgruvorna är mycket finkornig och amorf. Grafiten uppträder tillsammans med magnetkis i centimeter-breda band i en gnejsig kvarts-glimmerbergart, sannolikt av sedimentärt ursprung. Underordnat förekommer också pyrit, kopparkis och zinkblände. Kornstorleken för de enskilda grafitkornen är endast 0,01–0,05 mm. I Ekorrsvedsgruvan är de enskilda grafitkornen något grövre, cirka 0,1 mm, och jämnt spridda i kvarts-glimmerbergarten som enskilda korn tillsammans med magnetkis (fig. 28).

Utifrån de geofysiska flygmätningarna som utfördes 2016 (fig. 26 och 27), kan de kända förekomsterna vid Giltjärn och Skrammelfäll ses ligga längs ett stråk med tydligt förhöjd magnetisk fältstyrka och elektrisk ledningsförmåga. Fem markprofiler gjordes tvärs över dessa





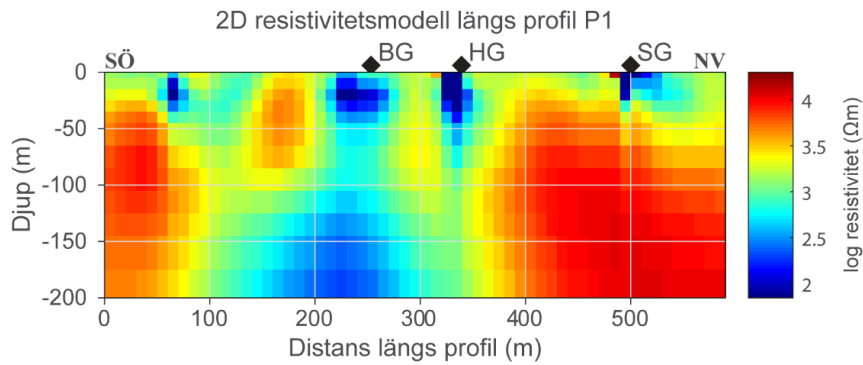
**Figur 28.** Mikroskopfoto taget i påfallande ljus av tunnslipsprov från Ekorrsvedsgruvan av grafit- och magnetisförande kvarts-glimmerbergart av metasedimentärt ursprung. Foto: Torbjörn Bergman.

stråk för att ge en bättre upplösning av de grafitförande horisonterna och undersöka ett eventuellt samband mellan de två gruvområdena. Figur 29 visar variationen av den elektriska ledningsförmågan på djupet längs profil P1 utifrån bearbetningar av VLF-data, profilen korsar Skrammelfallsfälten. Denna visar en tydlig koppling mellan kända förekomster och förhöjd ledningsförmåga, samt tyder på att bergarter med elektriskt ledande mineral förekommer ner till ett djup av cirka 50 meter. VLF-metodens djupkänning är dock begränsad under en mycket god ledare, så att respons från dess djupa delar i vissa fall inte når mätinstrumentet. Därför kan den elektriskt ledande bergarten sträcka sig till större djup än vad som visas i modellen.

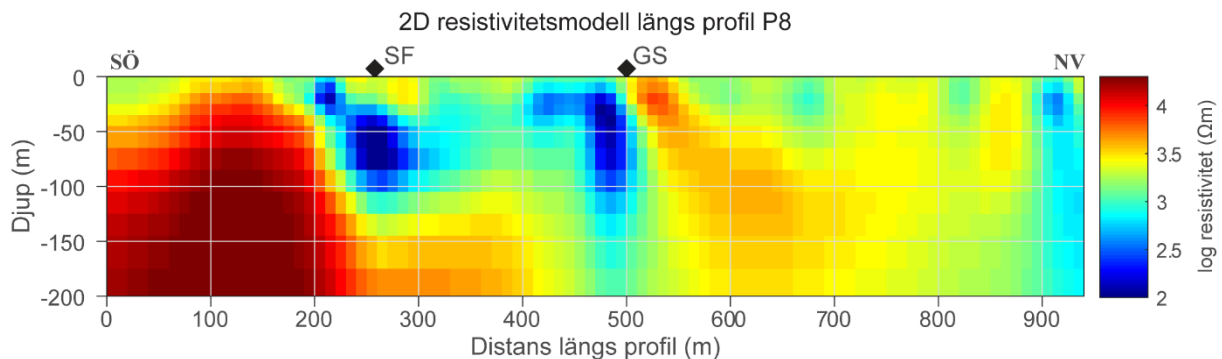
Figur 30 visar på samma sätt elektriska ledningsförmågan på djupet längs profil P8, strax norr om sjön Giltjärn. Profilen korsar både förlängningen av stråket med Giltjärnsgruvorna och det stråk som uppvisar starkast geofysisk respons i området och möjligtvis är en förlängning av liknande stråk vid Skrammelfallsgruvorna. Detta stråk sammanfaller dock med låg topografi som till stora delar är täckt av sjön Giltjärn och intilliggande våtmark, vilket förhindrat provtagning för bergartskemisk analys. Profilen visar tydligt hög elektrisk ledningsförmåga ner till drygt 100 meter, vilket indikerar en bergart med troligen magnetis och grafit. Utan mer noggrann provtagning, genom till exempel borrhning, är det oklart om denna geofysiska signatur är orsakad av grafit eller den associerade mineraliseringen av magnetis.

Geofysiska profilmätningar utfördes även i området omkring Ekorrsvedsgruvan, där flygdata påvisat en liknande signatur som i området vid Skrammelfall och Giltjärn, med hög elektrisk ledningsförmåga och förhöjda magnetiska egenskaper. De bergartskemiska proven uppvisar endast svagt förhöjda halter av grafitbundet kol (max cirka 1 procent C), vilket tyder på att de geofysiska signaturerna i dessa områden främst orsakas av magnetis. Detta har bekräftats vid mikroskopiundersökning av prov från Ekorrsvedsgruvan (fig. 28).

Utifrån flyggeofysiska data (fig. 26 och 27) skulle ett flertal områden väst till nordväst om de kända grafitförekomsterna vara intressanta för fortsatta studier, då de troligtvis är magnetisförande och eventuellt kan innehålla den associerade grafitförande bergarten. Provtagningen längs profil P9 (fig. 26 och 27), om än i något begränsad omfattning, visade dock inte några förhöjda halter av grafitbundet kol (prov TOB190156A och TOB190157A i tabell 14).



**Figur 29.** Variation i elektrisk ledningsförmåga på djupet längs profil P1 vid Skrammelfallsgruvorna, baserad på bearbetade VLF-data (2D-inversion). Blå färg indikerar låg resistivitet, det vill säga god elektrisk ledningsförmåga. Profilen passerar inom några tiotals meter från Blyertsgruvan (BG), Haggrensgruvan (HG) och Gamla Skrammelfallsgruvan (SG), där goda elektriska ledare kan ses sträcka sig ner mot djup på uppemot 50 m.



**Figur 30.** Variation i elektrisk ledningsförmåga på djupet längs profil P8 strax nordöst om Gilltjärnsgruvorna, baserad på bearbetade VLF-data (2D inversion). Blå färg indikerar låg resistivitet, det vill säga god elektrisk ledningsförmåga. Stråket med Gilltjärnsgruvorna kan extrapoleras cirka 200 meter till att korsa profilen vid en distans av strax under 500 meter (GS), och stråket med förhöjd magnetisk fältstyrka och elektrisk ledningsförmåga kan följas av cirka 900 meter från Skrammelfallsgruvorna i flyggeofysiska data (fig. 26 och 27), till att korsa profilen vid en distans av cirka 250 meter (SF). Vid båda dessa platser ses goda elektriska ledare som sträcker sig ner till cirka 100 meters djup.

**Tabell 14.** Analysresultat för kol (C %) och svavel (S %) från varpmaterial och hållar med grafitförande metasedimentära bergarter i Gilltjärn-Skrammelfall-Ekorrsvedstråket nordväst om Norberg. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

Prov id	Provtyp	Namn	C (%)	S (%)
TOB190130A	Varp	Ekorrsvedsgruvan	1	1,59
TOB190130B	Häll	Ekorrsvedsgruvan	1,23	1,65
TOB190119A	Varp	Blyertsgruvan/Skrammelfallsgruvorna	0,8	0,34
TOB190119B	Varp	Blyertsgruvan/Skrammelfallsgruvorna	<b>31,7</b>	0,23
TOB190119C	Varp	Blyertsgruvan/Skrammelfallsgruvorna	0,04	0,04
TOB180252A	Varp	Blyertsgruvan/Skrammelfallsgruvorna	0,23	0,03
TOB180251B	Varp	Haggrensgruvan/Skrammelfallsgruvorna	0,23	0,04
TOB190122A	Varp	Gamla Skrammelfallsgruvan 1	<b>28,3</b>	4,3
TOB190122B	Varp	Gamla Skrammelfallsgruvan 1	<b>22,2</b>	5
TOB180245A	Varp	Gamla Skrammelfallsgruvan 1	<b>27,8</b>	4,3
TOB180245B	Varp	Gamla Skrammelfallsgruvan 1	<b>26</b>	6,58
TOB180245C	Varp	Gamla Skrammelfallsgruvan 1	<b>29,7</b>	6,21
TOB180255A	Varp	Troengsgruvan 1/Gilltjärnsgruvorn	0,18	1,33
TOB180258A	Varp	Ångmansgruvan 1/Gilltjärnsgruvorna	<b>20,3</b>	1,33
TOB180260A	Häll	Gilltjärnsbergsgruvan/Gilltjärnsgruvorna	<b>18,2</b>	0,17
TOB190156A	Häll	Häll	0,06	0,06
TOB190157A	Häll	Häll	0,07	0,38

## *Indium i greisenomvandlingar av Dalagranit*

Dick Claeson

I samband med SGUs inventering av Dalarnas malm och mineral uppmättes den högsta halten av indium för hela Bergslagen i greisenomvandlad Dalagranit vid Norra Hällen 1 (Ripa m.fl. 2015). Det bestämdes att en provtagning riktad mot Dalagranit med greisen skulle vara intressant generellt sett ur perspektivet förekomster av innovationskritiska metaller och mineral. De flesta bergartskemiska analyser som fanns hos SGU var av äldre datum då dessa grundämnen inte analyserades rutinmässigt eller så var tidigare provtagning av Dalagranit inte fokuserad mot mineraliseringar. I en artikel anges att det finns anomala halter av indium vid Norra Hällen (Cook m.fl. 2011) och man refererar till Ahl m.fl. (1999) som källa för detta. Dock finns inget omnämnt om Norra Hällen i den senare referensen eller uppgifter däri att man analyserat sina prover för indium, då det grundämnet sällan analyserades vid denna tidpunkt.

Det har tidigare bedrivits prospektering riktad mot i första hand tenn och volfram inom Dalagraniternas utbredningsområde och i greisensystem, främst under 1980-talet (t.ex. Hammergren & Petersson 1982, Hammergren 1984). Många av de grundämnen som idag anges som innovationskritiska analyserades inte på 1980-talet. Det fanns heller inte någon avsättning för dem, eftersom väldigt få produkter krävde dessa innovationskritiska metaller, jämfört med det moderna, digitala samhället.

Det finns ett antal olika typer av malmbildande processer i samband med intrusioner av till exempel graniter, varav en benämns greisenomvandling. I denna typ av system sker främst hydrotermala omvandlingar. Greisen bildas i graniter vid slutet av deras kristallisering, då det byggts upp en hög koncentration av fluider samt gasfaser, vilka under en avgasningsfas eller kokning omvandlar de redan bildade delar som den genomtränger (t.ex. Pirajno 2009). I samband med avgasningen flyttas metalljoner som komplexbildningar i fluider och gasfaser och utfälls när någon fysisk eller kemisk parameter ändras, eller om det sker en kraftig reaktion med en annan bergart vilken träffas av greisenlösningen, som till exempel karbonatbergarter. Lösningarna infiltrerar även omgivande berggrund och kan bilda mineraliseringar i dessa. De flesta tenn-volfram dominerade greisengraniter är knutna till ett ursprungsmaterial av sedimentära bergarter. Greisenmineraliserade system kan vara zonerade med en lägre zon av tenn + molybden, vilken uppåt eller ibland lateralt utbildat volfram + vismut för att avslutas med koppar + zink + bly i de högre liggande delarna av systemet (t.ex. Pirajno 2009). Ibland förekommer även guld i greisensystemen.

Malmbildande processer relaterat till granitiska intrusioner som genomgår hydrotermala processer kan även innefatta skarnbildningar, brecciebildningar, gångar, sprickfyllnader, ådror och disseminerade förekomster i själva graniten och i dess omgivning. Det gemensamma är att samtliga är relativt ytnära fenomen. Eftersom endast kokning av magman och avblandning av en H<sub>2</sub>O-rik fas (den hydrotermala lösningen) från de i magman lösta volatilerna sker under dekompression och vid någon tidpunkt uppnås ett tryck i den hydrotermala lösningen som motsvarar det omgivande trycket, vilket då inte kan vara allt för stort. Det vill säga endast ytnära intrusioner ned till 5–7 km djup kan normalt uppvisa denna typ av malmbildningar (t.ex. Pirajno 2009).

Dalagraniterna delas normalt in i tre typer; Järna-, Siljan- och Garberggranit och den äldre Järnagranit skiljs ut från de yngre intrusionerna av Siljan- och Garberggranit (Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999, Högdahl m.fl. 2004). Samtliga typer anses tillhöra olika faser av det Transskandinaviska magmatiska bältet (t.ex. Högdahl m.fl. 2004). Järnagranit är den äldsta och anses ha intruderat på ett betydande djup i jordskorpan för cirka 1,79 miljarder år sedan (t.ex. Persson & Ripa 1993, Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999). Därav följer att Järnagranit troligen aldrig uppvisar några greisenomvandlingar som kan kopplas till dess egna magmatiska

skeenden. Siljan- och Garberggranit är mer fraktionerade graniter och intruderade på relativt grunda nivåer i jordskorpan för cirka 1,70 till 1,68 miljarder år sedan (t.ex. Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999, Ripa m.fl. 2008). De är associerade med de samtida vulkaniska Dalaporfyreerna, i rumsligt läge samt deras petrogenes (t.ex. Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999, Högdahl m.fl. 2004). Det är sedan tidigare känt att det förekommer mindre, polymetalliska greisenmineraliseringar inom Siljan- and Garberggranit (t.ex. Ahl & Sundblad 1997, Högdahl m.fl. 2004, Ripa m.fl. 2015). Rätangranit, vilken inte räknas till Dalagraniterna, finns norr och nordost om dessa och har samma bildningsålder som Siljan- och Garberggranit (t.ex. Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999). Rätangranit anses inte ha några greisenomvandlingar kopplade till dess magmatiska stadiet i vissa publikationer (t.ex. Ahl m.fl. 1999, Lundqvist & Persson 1999, Högdahl m.fl. 2004), dock anges det förekomma i andra (t.ex. Ahl & Sundblad 1997). Det mest troliga är att det förekommer senmagmatiska H<sub>2</sub>O-rika lösningar i samtliga och det är bara omfattningen av greisenomvandling, samt spårelementinnehållet som skiljer sig åt. Dock bör de mer ytnära intrusionerna ha mer välutvecklade greisensystem.

## Resultat

Förevarande provtagning fokuserades mot mineraliserade delar där greisenomvandling noterats i Dalagranit vid tidigare undersökningar av berggrunden. Även i något fall har bergarten analyserats i närheten av eller i äldre vulkaniska bergarter, där man noterat granit och greisenlösningar från Dalagranit och skarnbildningar. Detta urval gör att provtagning också skett utanför själva Bergslagen, då Dalagranit även förekommer norr därom (fig. 31). Ett prov från Rätangranit analyserades (fig. 31). En mängd av innovationskritiska metaller och mineral förekommer i förhöjda halter och även basmetaller i de nu undersökta bergarterna (tabell 15).

De bergartskemiska analyserna visar att området vid Norra Hällan har kraftigt anomala halter av indium. Fyra olika prover uppvisar halter från 24 till 98 ppm indium, vilket i jämförelse med en uppskattning av jordskorpan innehåll på 0,05 ppm är höga halter. Något bakgrundsvärde för Dalagraniter föreligger inte då elementet inte analyserats förrän de senaste decennierna. Det förekommer även förhöjda halter av tantal 7,6–12 ppm, koppar 0,7–1,51 procent och zink 0,5–1,57 procent vid Norra Hällan. Mycket höga koncentrationer av guld framkom i analyserna vid två lokaler, 8,17 ppm vid Eldberget och 5,14 ppm vid Sörbergshöjden. Anomala halter av silver 80 ppm vid Eldberget och Norra Hällan 1,36–67 ppm. Höga halter av vismut uppmättes vid Sörbergshöjden 2 970 ppm, Fagerberget 162 ppm och Norra Hällan 1,287–462 ppm. Provet från Flatberget uppvisade normalt innehåll av tenn 1 310 ppm. Fagerberget uppvisar förhöjda halter volfram 170 ppm. En anomal halt av kobolt erhöles från analysen av provet vid Sörbergshöjden 280 ppm. Getgruvan har förhöjd halt av totala mängden sällsynta jordartsmetaller + yttrium 1 060 ppm. Även intressanta halter av basmetallerna zink och bly, upp till 2,97 respektive 2,3 procent, finns bland de nu analyserade greisenomvandlade Dalagraniterna (tabell 15).

En meterbred greisengång återfanns vid Skräckbäcken intill Gyrisberget, i ett område som tidigare inte varit föremål för prospektering i graniten då det saknats uppslag. Provet visar intressanta halter av basmetallerna zink och bly, 1,8 respektive 1,72 procent, samt 16 ppm silver och 21 ppm vismut. Omvandlingen är ibland mycket tydlig med röd granit kontra dess ofta gröngrå, greisenomvandlade del (fig. 32A).

Även Rätangranit provtogs vid en känd mineralisering, Garpkölen södra, cirka 400 m öster om Örnbotjärnen (fig. 31). Mineraliseringen består främst av molybdenglans i Rätangranit och den bergartskemiska analysen som utfördes visar på ovanligt höga rheniumhalter. Provet uppvisar 1 120 ppm molybden respektive 3,33 ppm rhenium. Om all rhenium finns i molybdenglans är det 0,30 procent, vilket är en mycket hög halt för mineralet (Bertzina m.fl. 2005). Dock är inget känt om volymen av den molybdenglansförande Rätangraniten vid lokalen (Bjurstedt 1979). I aggregaten med molybdenglans finns underordnat svavelkis, magnetkis och kopparkis (fig. 32B).





Figur 31. Provtagningspunkter visas som röda cirklar för greisenomvandlade bergarter samt Rätangranit längst i norr.

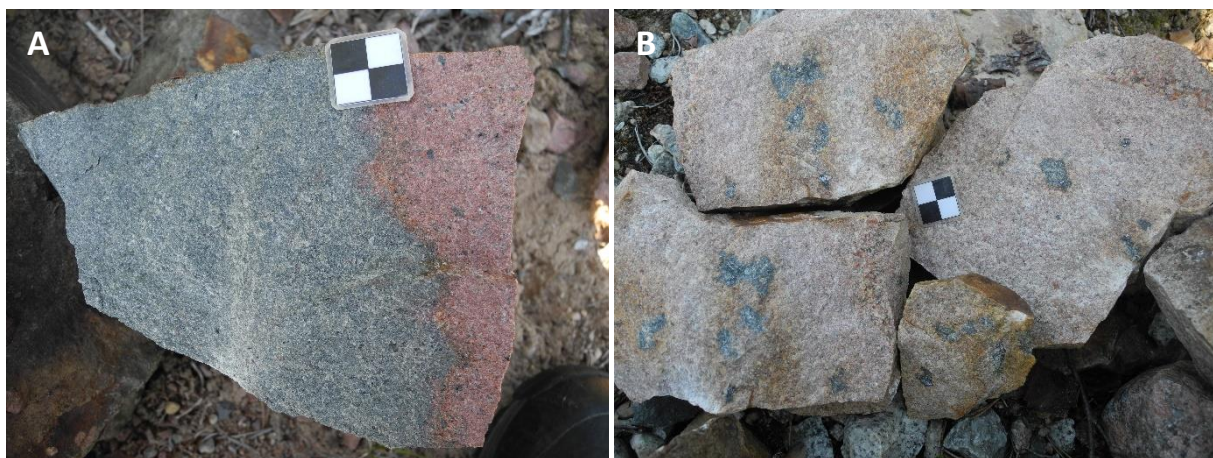
**Tabell 15.** Urval av bergartskemiska analysvärden från greisenomvandlade, samt molybdenglansförande granit. Samtliga värden i ppm utom S i procent. Markerade värden (fet stil) visar särskilt höga halter.

	Sörberget 1	Eldberget 2	Fagerberget 3	Flatberget 4	Norra Hällen 2 5A	Norra Hällen 2 5C	Norra Hällen 1 7	Getgruvan 8	Skräckbäcken 9	Örnbo-tjärnen 10	Norra Hällen 1 Dalarna malm och mineral
<b>Au</b>	<b>5,14</b>	<b>8,17</b>	0,009	0,004	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	<0,2
<b>Cu</b>	<b>1 960</b>	719	264	281	449	264	<b>7 120</b>	32	225	87	<b>15 100</b>
<b>Pb</b>	136	<b>23 000</b>	150	41,3	60,2	82,6	201	22,2	<b>17 250</b>	61,5	409
<b>Zn</b>	387	<b>29 700</b>	66	1 240	<b>9 860</b>	<b>8 030</b>	<b>4 640</b>	38	<b>18 000</b>	100	<b>15 700</b>
<b>S</b>	0,2	4,64	1,11	0,29	0,79	0,84	1,05	2,32	1,05	0,44	–
<b>Sn</b>	44	12	136	<b>1 310</b>	50	46	170	200	4	2	12,4
<b>W</b>	2	9	<b>170</b>	21	19	10	21	19	5	2	6,61
<b>Ag</b>	<b>17,9</b>	<b>80,1</b>	0,87	5,79	1,13	0,78	<b>36</b>	0,29	<b>15,5</b>	0,3	<b>66,8</b>
<b>As</b>	79,6	<b>&gt;10 000</b>	127	3,1	8,3	7	1,9	2,5	0,6	5,7	2,6
<b>Bi</b>	<b>2970</b>	3,4	<b>162</b>	<b>26,9</b>	6,99	6,03	<b>287</b>	1,48	<b>20,7</b>	0,39	<b>462</b>
<b>Co</b>	<b>280</b>	<1	2	1	2	2	2	2	5	7	4,6
<b>In</b>	0,206	0,119	0,082	0,353	<b>32,1</b>	<b>23,6</b>	<b>48,5</b>	0,075	0,13	0,118	<b>98</b>
<b>Mo</b>	2,43	<b>249</b>	3,7	0,83	45,9	13,4	9,66	30,9	0,49	<b>1 120</b>	13,1
<b>Te</b>	<b>11,4</b>	0,02	0,35	0,04	0,02	0,03	0,84	0,12	0,33	0,02	1,6
<b>Re</b>	<0,001	0,004	0,001	<0,001	0,003	0,005	0,006	0,011	0,001	<b>3,33</b>	0,001
<b>REE+Y</b>	245	209	298	160	224	231	386	<b>1 060</b>	171	146	–



Sammantaget visar denna provtagning att det finns möjligheter att finna en mängd olika innovationskritiska metaller i greisenomvandlad Dalagranit. För att få ett grepp om det finns tillräckliga volymer med greisenomvandlad granit eller hur variationerna mellan de olika metallernas förekomster inom greisensystemen måste det till större insatser och även annan metodik. I Finland har prospektering relaterad till greisensystem i stora, anorogena granitiska intrusioner resulterat i malmuppslag (t.ex. Cook m.fl. 2011, Valkama m.fl. 2016).

Petrofysiska prover togs i samband med fältarbetet för att kunna karaktärisera de greisenomvandlade mineraliseringarna och i framtiden användas för geofysiska arbeten (tabell 16). Ett ökat innehåll av metaller resulterar i en betydligt högre densitet i flertalet av proverna, där Fagerberget, Getgruvan och Örnbotjärn är mer att jämföra med ordinär granit. Samtliga har låg magnetisk susceptibilitet och naturlig remanent magnetisering.



**Figur 32. A.** Greisenomvandlad, gröngrå granit till vänster och ej omvandlad röd granit till höger vid Skråckbäcken intill Gyrisberget. Rik på vismut, bly och zink. **B.** Rätangranit med aggregat av rheniumrik molybdenglans vid Örnbotjärnen.

**Tabell 16.** Petrofysiska egenskaper från greisenomvandlade, samt molybdenglansförande granit.

Provpunkt	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )	Magnetisk susceptibilitet (μSI)	Naturlig remanent magnetisering (mA/m)
Sörberget	3 653	1 941	19,7
Eldberget	2 774	230	13,8
Fagerberget	2 563	318	36,0
Flatberget	2 727	212	10,0
Norra Hållen 1	2 739	271	24,9
Norra Hållen 2A	2 931	1 006	8,7
Norra Hållen 2B	2 761	432	15,4
Getgruvan	2 642	117	46,2
Skråckbäcken	2 767	292	26,6
Örnbotjärnen	2 607	183	28,9

## Flyggeofysiska- och tyngdkraftsmätningar inom utvalda områden

Mats Wedmark & Johan Jönberger

Med hjälp av olika geofysiska undersökningsmetoder karterar man markens och berggrundens fysikaliska egenskaper och kan indirekt ”se” under markytan. Tillgång till geofysisk information är en grundförutsättning för att hitta nya metaller och mineral på djupet. De redan kända metall- och mineralförekomsterna vid markytan ges också en bättre definierad utbredning, ytligt såväl som på djupet. Informationen är av stor betydelse för förståelsen av berggrundens uppbyggnad, prospektering och lokalisering av metall och mineralförekomster i berggrunden, samt för att kunna skapa 3D-modeller av berggrunden.

Vid mätningar från flygplan har jordens magnetfält, elektromagnetiska fältet och den naturliga gammastrålningen registrerats. Mätningarna har utförts på 60 meters höjd och med 200 meters avstånd mellan mätlinjerna.

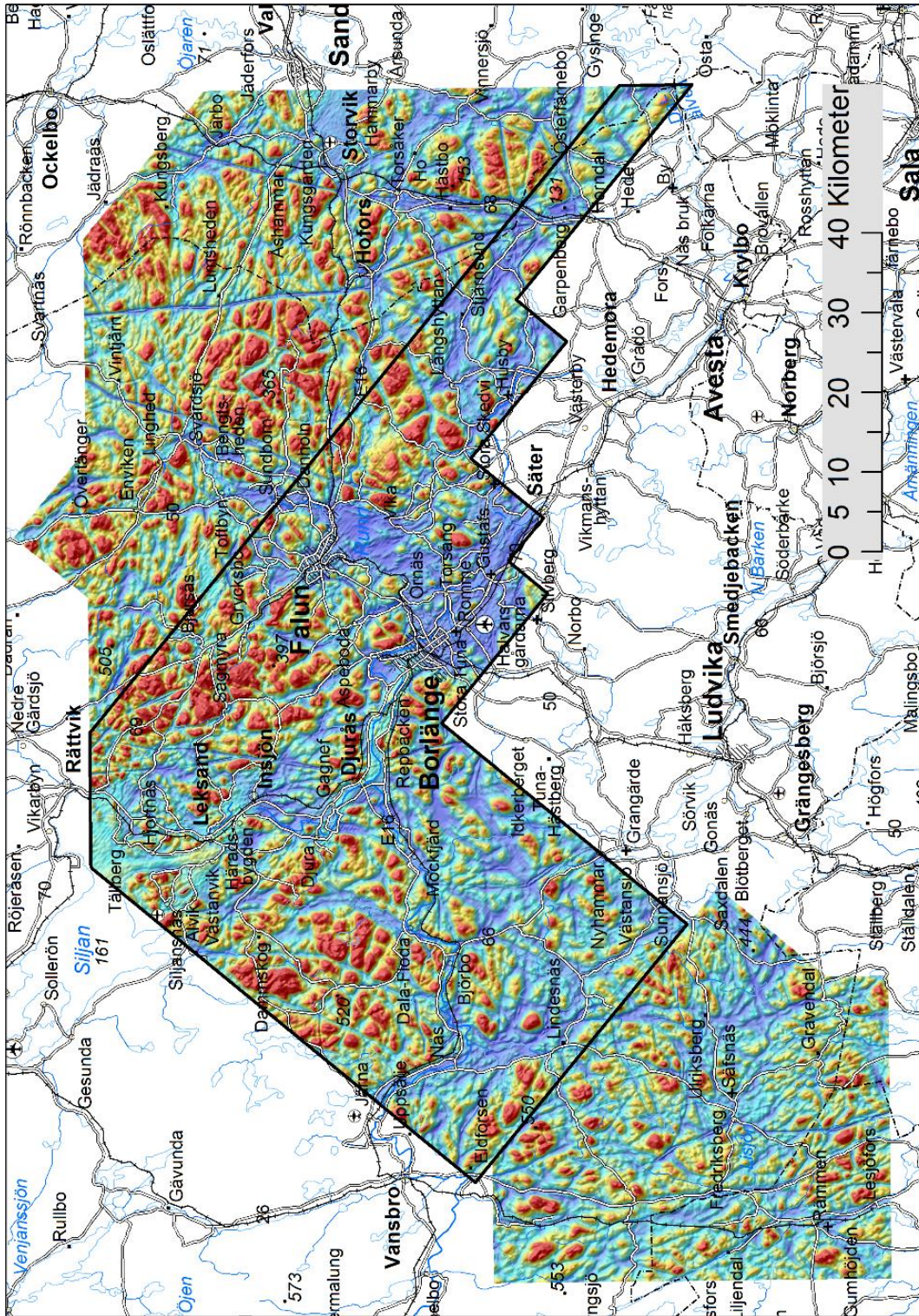
Tyngdkraftsmätningar utförs huvudsakligen på marken och ger information om massfördelningen i jordskorpan. Generellt sett ger bergarter med låg densitet, till exempel granit, upphov till negativa tyngdkraftsavvikelse, medan bergarter som till exempel gabbro med hög densitet, ger upphov till positiva avvikelser i tyngdkraftsfältet. Även järn- och sulfidmalmer ger normalt upphov till positiva tyngdkraftsavvikelse.

Anledningen till densitetsvariationerna hos olika bergarter beror på vilka mineral och grundämnen de är uppbyggda av. Exempelvis består graniter av mineral som har lägre densitet än de mineral som utgör gabbroider. Mineraliseringar har en betydligt större koncentration av tunga grundämnen, till exempel olika metaller. Om sådana mineraliseringar har en relativt stor utbredning kan de identifieras från tyngdkraftsmätningar som lokala, positiva tyngdkraftsavvikelse. Tyngdkraftsmätningarna i de nu undersökta områdena har initialt syftat till att uppnå en täckningsgrad av regional karaktär. Det innebär ett jämnt mätpunktsavstånd av cirka 1–1,5 km. Över vissa särskilt intressanta geologiska företeelser eller geofysiska anomalier har tyngdkraftsmätningar gjorts var 100–500 meter för att erhålla ett mer detaljerat dataunderlag för tyngdkraftsfältets variationer.

Den nya geofysiska informationen lagras i SGUs databaser och har också använts i de undersökta nyckelområdena: Vena gruvfält, Tunabergs bergslag och Giltjärns-Skrammelfall.

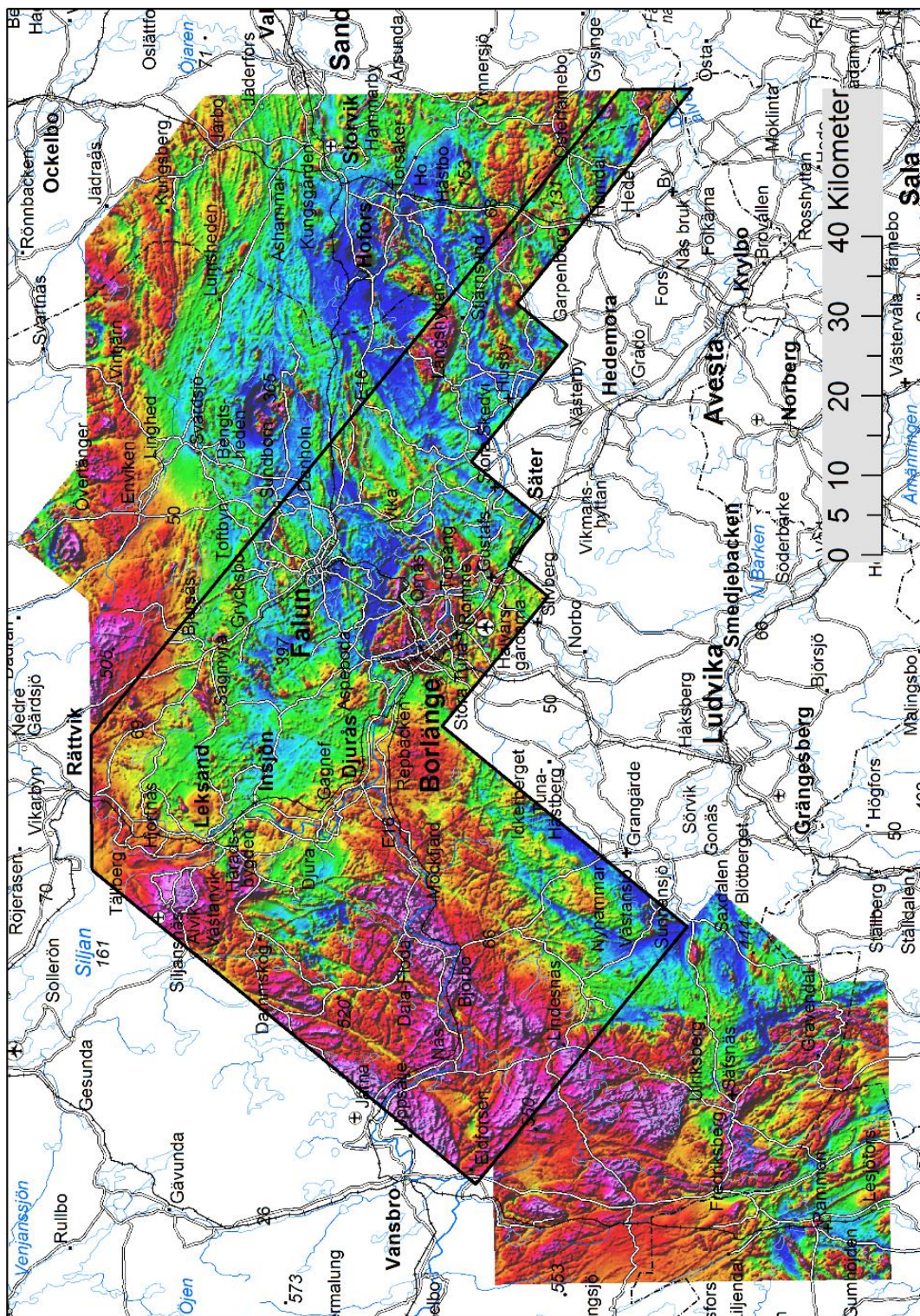
Sammanfattning av de utförda geofysiska mätningarna ses i tabell 18. Områden som har flyg- och tyngdkraftsmätts visas i figur 33–37.





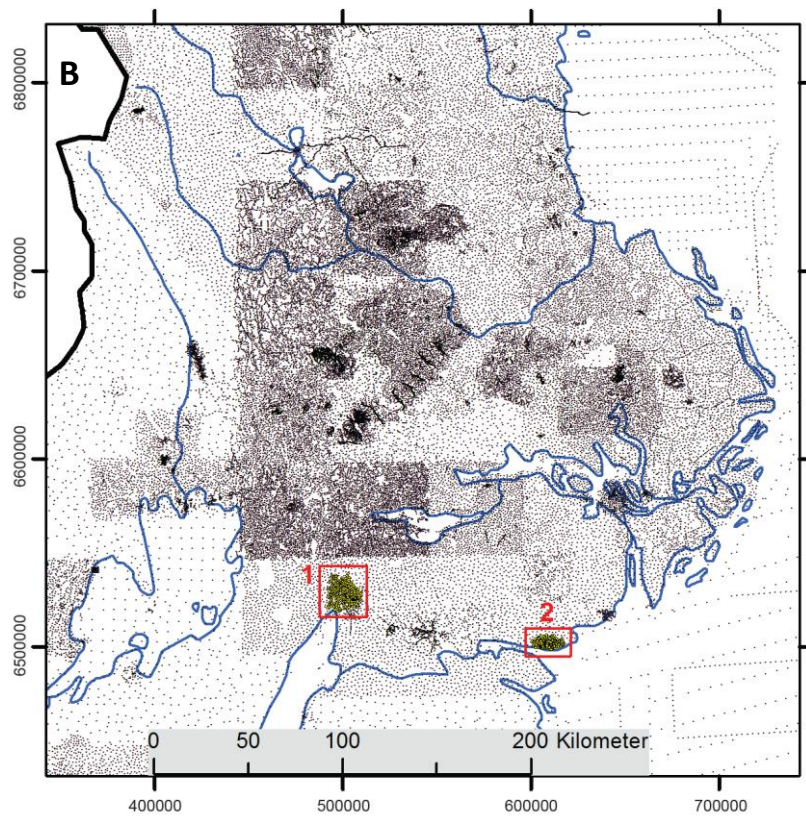
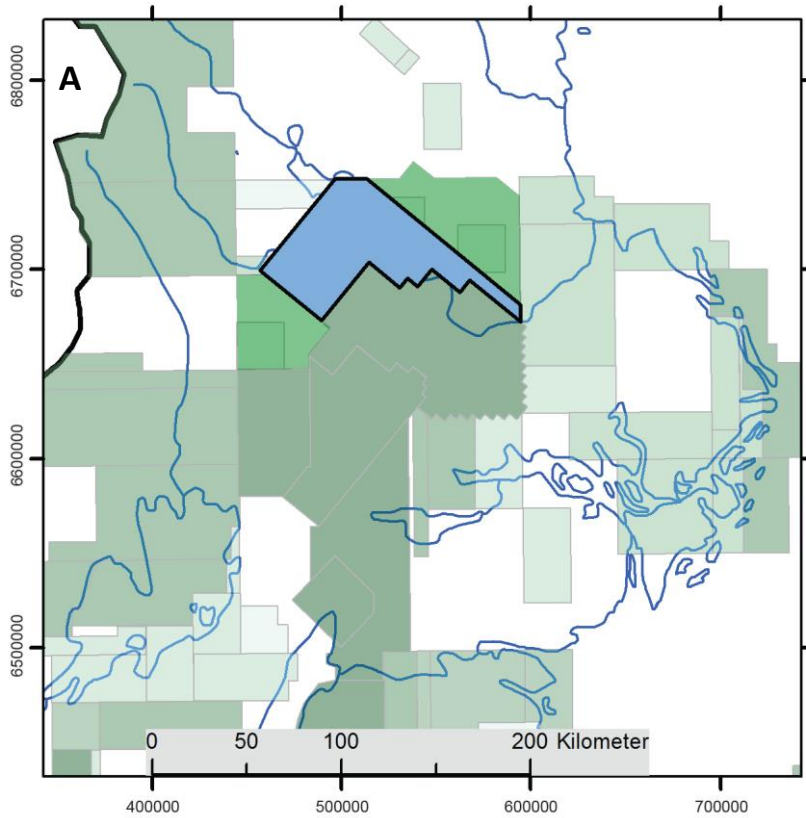
**Figur 33.** Markens elektriska ledningsförmåga beräknad från flygburna VLF-mätningar. Blå färg indikerar områden med, relativt sett, bättre elektriskt ledande material, som till exempel vattenförande sprickzoner, mineraliserad berggrund och djupa lerlager. Mätningarna inom den svarta polygonen är finansierat av detta regeringsuppdrag. Övriga kolorerade delar är insamlade inom SGUs ordinarie flygmätningar under 2019. Malmer och mineraliseringar är mycket goda elektriska ledare och kan detekteras med elektromagnetiska mätningar.



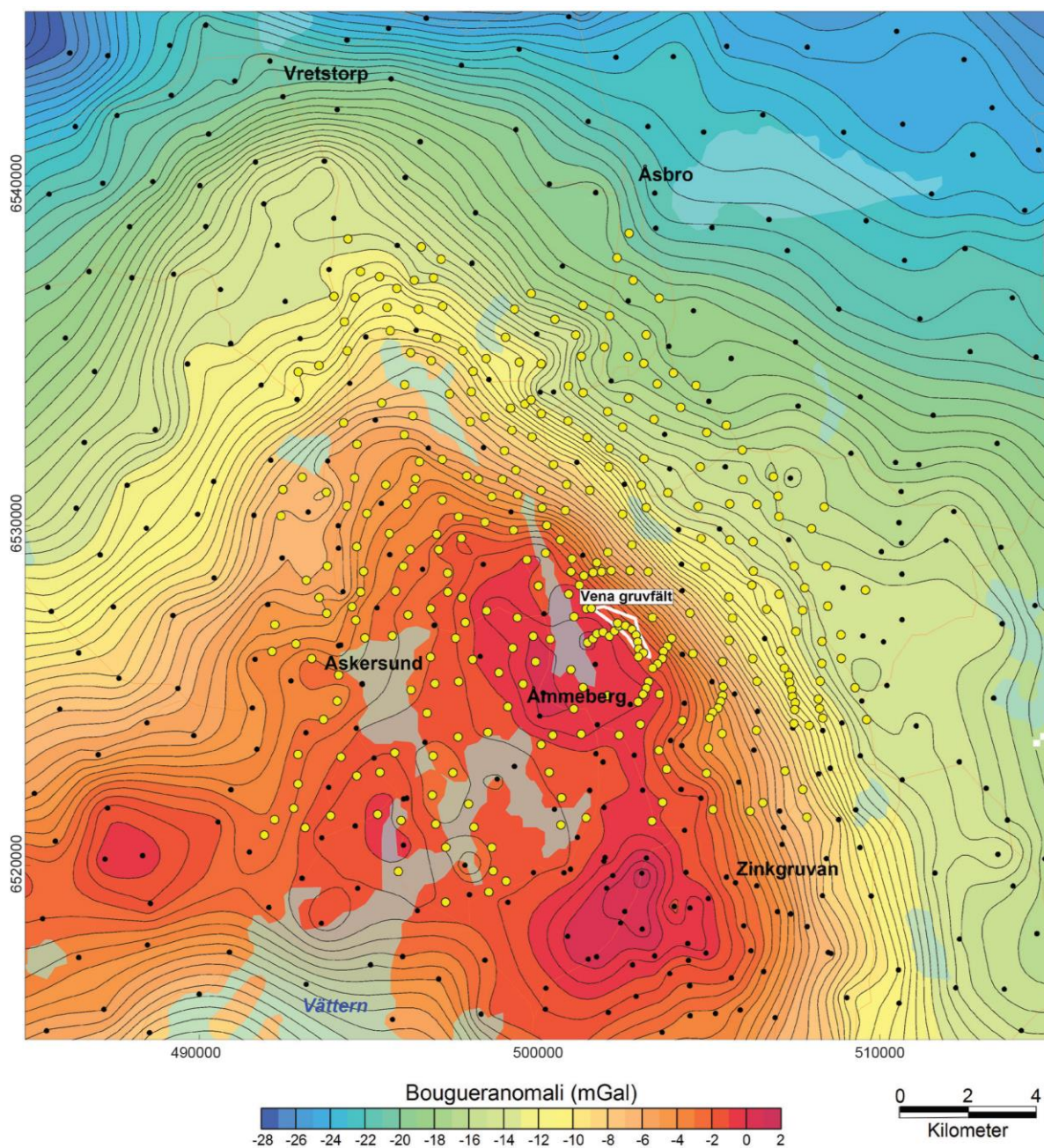


**Figur 34.** Magnetiskt anomalifält från flygburna magnetfältmätningar. Röda kulörer indikerar områden med relativt högt innehåll av magnetiska mineral och blåa relativt lågt. Mätningarna inom den svarta polygonen är finansierat av detta regeringsuppdrag. Övriga kolorerade delar är insamlade inom SGUs ordinarie flygmätningar under 2019. Järmmalmer och mineraliseringar som inte sällan är associerade med sållsynta jordartsmetaller i Bergslagen, kan detekteras liksom berggrundens strukturer.



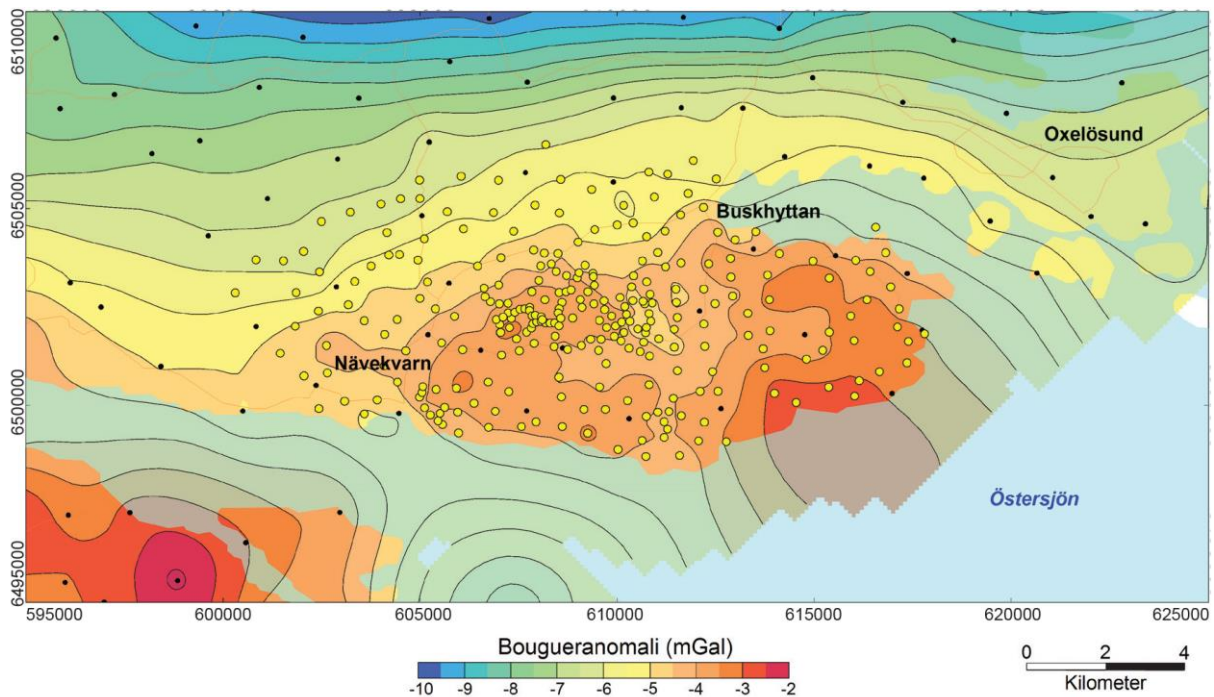


**Figur 35. A.** Översikt över tillgängliga moderna flygmätningar i Bergslagen i gröna nyanser. Blå polygon visar flygmätningar finansierade av detta regeringsuppdrag. Vita områden saknar moderna flygmätningar. **B.** Karta som visar täckningen av tyngdkraftsmätningar i Bergslagen med omnejd. De tyngdkraftsmätningar som har gjorts inom regeringsuppdraget visas som gula punkter inom områdena kring Vena gruvfält (1) och Tuna bergslag (2).



**Figur 36.** Bougueranomalikarta över området kring Vena gruvfält. Kartan visar variationer i tyngdkraftsfältet uttryckt som bougueranomali. Gula punkter representerar de tyngdkraftsmätningar som har utförts inom regeringsuppdraget, medan svarta punkter visar lägena för de äldre tyngdkraftsmätningarna. Den vita polygonen representerar utbredningen för Vena gruvfält.





**Figur 37.** Bougueranomali-karta över området kring Tuna bergslag. Kartan visar variationer i tyngdkraftsfältet uttryckt som bougueranomali. Gula punkter representerar de tyngdkraftsmätningar som har utförts inom regeringsuppdraget, medan svarta punkter visar lägena för de äldre tyngdkraftsmätningarna.

## Markgeokemisk kartering – innovationskritiska grundämnen i morän

Anna Ladenberger & George Morris

Geokemisk kartering innebär systematisk provtagning och analys av en eller flera olika provtyper, till exempel jord, morän eller sediment. Proven tas oftast i regelbundna nät där innehållet av kemiska grundämnen analyseras med olika metoder anpassade för de ändamål man vill studera. Resultatet avrapporteras i form av tabeller, kartor och en text som beskriver tolkningen av analysresultaten. Ursprungligen användes metoden till mineralprospektering men har idag en bredare användning, några exempel är för miljöövervakning, grundvattenkvalitet, samhällsplanering samt inom skogs- och lantbruk.

Under ledning av EU-kommissionen har en arbetsgrupp, Raw Materials Supply Group, identifierat metaller (metallgrupper), mineral och råmaterial som är särskilt viktiga för samhällets hållbara utveckling (tabell 17).

Flertalet av dessa kritiska metaller och material finns i den svenska berggrunden och förekommer i varierande koncentrationer i glacialsediment som morän. Morän är en jordart som bildats genom fysisk och kemisk aktivitet av de inlandsisar som täckt landet. Morän är ett heterogent material med stor variation i kemisk sammansättning och kornstorlek, från lera till block. I geokemisk kartering används morän eftersom det är den jordart som bäst kan knytas till de källbergarter som den bildats av. Morän kan sägas vara en sorts kompositprov som indirekt visar vilken kemi källbergarterna har. Morän täcker cirka 75 procent av landet och är vanligtvis inte antropogent påverkad eller i nämnvärd omfattning påverkad av vittringsprocesser på det djupa moränprovet tas, den så kallade C-horisonten, vilket normalt är cirka en meter under markytan. Den sträcka som moränen har transporterats är i stora delar av landet mindre än 10 km, den geokemiska sammansättningen i moränen speglar därför ofta relativt väl de lokala bergarterna.

**Tabell 17.** Kritiska metaller och andra råmaterial listade av EU år 2017. Med blå färg markeras grundämnen som finns tillgängliga i SGUs geokemiska databas.

<b>Kritiska metaller, mineral och råmaterial (2017)</b>				
Antimon	Baryt	Beryllium	Vismut	Boratmineral
Kobolt	Koks	Flusspat	Gallium	Germanium
Hafnium	Helium	HREE	Indium	LREE
Magnesium	Grafit	Naturgummi	Niob	PGM
Fosforit	Fosfor	Skandium	Kisel	Tantal
Volfram	Vanadin			

Den moderna markgeokemiska kartläggningen på SGU påbörjades under 1980-talet och bygger i huvudsak på moränprover. Provtätheten är ungefär 1 prov per 7 km<sup>2</sup> och moränen har analyserats med flera analysmetoder för att optimera antalet grundämnen som kvantifieras.

I detta kapitel redovisas tolkning av moränens geokemiska data med fokus på innovationskritiska metaller och mineral (fig. 38–47). Analysresultat baseras på moränens finfraktion (<0,063 mm) som erhöles genom två laktionsmetoder: salpetersyralakning (regionala data) och kungsvattenlakning (data från Geokemisk atlas över Sverige, Andersson m.fl. 2014). Samtliga analyser har utförts med induktivt kopplad plasmasppektrometer (ICP-MS). För mer detaljer om metodval se Andersson m.fl. (2014) samt Morris & Ladenberger (2017).

### *Morängeokemi i Bergslagen*

Tio metaller och andra grundämnen redovisas i denna rapport: beryllium, vismut, kobolt, gallium, germanium, lantan, skandium, vanadin, volfram och yttrium. Som underlag (rasterkartor, vilka baseras på 539 provtagningslokaler i Bergslagen) används rikstäckande data från Geokemisk atlas över Sverige (2 578 stycken, Andersson m.fl. 2014) med regionala data ovanpå som punkter (5 619 stycken). De senare har samlats in under olika provtagningskampanjer (2001–2017). För germanium och skandium finns bara analysdata (regional kartering) från undersökningar 2008–2017 (2 358 stycken). För gallium finns bara data från Geokemisk atlas över Sverige och detta ämne visas bara som rasterkarta. De tolkade grundämnena har varierande lakbarhet i de metoder som använts. Varken salpetersyra- eller kungsvattenlakning ger totala halter, vilket gör tolkningen mer komplicerad och betyder att anomalier som visas på kartorna kan ha olika ursprung.

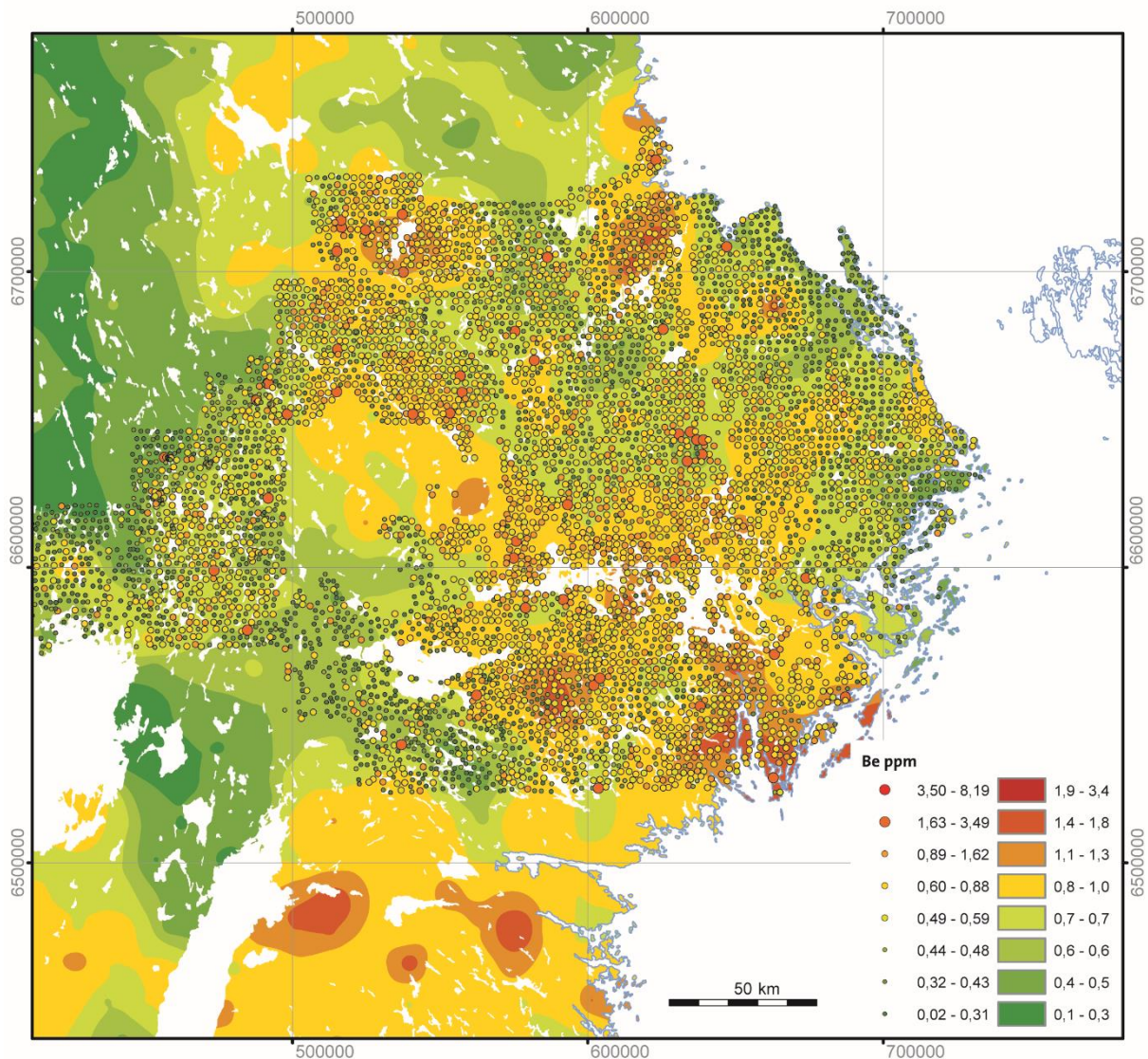
### **Beryllium (Be)**

Beryllium tillhör gruppen alkaliska jordartsmetaller och bildar sällsynta mineral som beryll. Dessa mineral finns huvudsakligen i senmagmatiska bergarter och i pegmatiter. Sekundär anrikning sker i finkorniga sediment rika på lermineral (lerskiffer) och kol. Beryllium är relativt mobilt vid lågt pH och har en stark tendens att adsorbera till lerpartiklar, organiskt material och järn-manganhydroxider.

I Bergslagen, generellt sett, uppträder höga berylliumhalter i de södra och centrala delarna i glimmerrik morän som överlagrar granit, pegmatit, gnejs, sur metavulkanit, metagråvacka och skiffer vilka samtliga är rika på glimmer och fältspat. Förhöjda halter av Be korrelerar med aluminiumrika bergarter. Sekundär anrikning kan ske i lerrik morän, vilken ligger under högsta kustlinjen och som påverkats av en marin miljö. Regionalt förekommer höga Be-halter inom olika bergartsled, vilket ses i morän ovanpå granitiska bergarter (väst om Uppsala), ovanpå vulkaniska bergarter (Falun, Hällefors) och metasedimentära bergarter (nära Västerås, Stockholm–Nynäshamn). De höga koncentrationerna kan bero på det stora antal kvarts- och pegmatitgångar som finns i området. En svagare koppling syns mellan förhöjda Be-halter och skarnmineraliseringar,



med magnetit och Cu-Pb-Ag sulfider samt volfram, till exempel i Långbans malmtrakt, Yxsjöberg och Björudden. Beryllium bröts på 1950-talet i Kolsva gruvor, norr om Köping. Mineraliseringen vid Kolsva gruvor med kvarts, fältspat och beryll, tycks inte här ha gett något större avtryck (Be cirka 1 ppm i morän), men mycket högre Be-halter förekommer norr om andra kvartstätter där kvarts förekommer i pegmatit. I Falun-Borlänge kan en betydande Be-anomali möjligtvis kopplas till kvartsgångar och pegmatit, lokalt med wollastonit och REE-mineraliseringar. Runt Ludvika kan skarnmineraliseringar med Fe, Pb, Zn, Cu, Ag, Mn förklara förhöjda Be-halter i moränen. I Fagersta-Norbergs malmfält förekommer många kvartsrika områden med kvartsgångar och pegmatit. I Stripåsen, norr om Norberg, uppträder en Be-anomali i anknytning till en pegmatit i sur vulkanit innehållande kvarts, fältspat, fluorit, topas och olika Ta-Nb-mineral. I Stockholm-Nynäshamnsområdet (inklusive skärgården med till exempel Utö) kan förhöjda berylliumhalter förklaras med förekomsten av granitoider, glimmerrika orto- och paragnejser och ett stort antal kvartsgångar och pegmatiter. Väst om Uppsala, söder om Bälinge mot Enköping-Bålsta, finns en långsträckt Be-anomali som inte kan knytas till kända mineraliseringar.

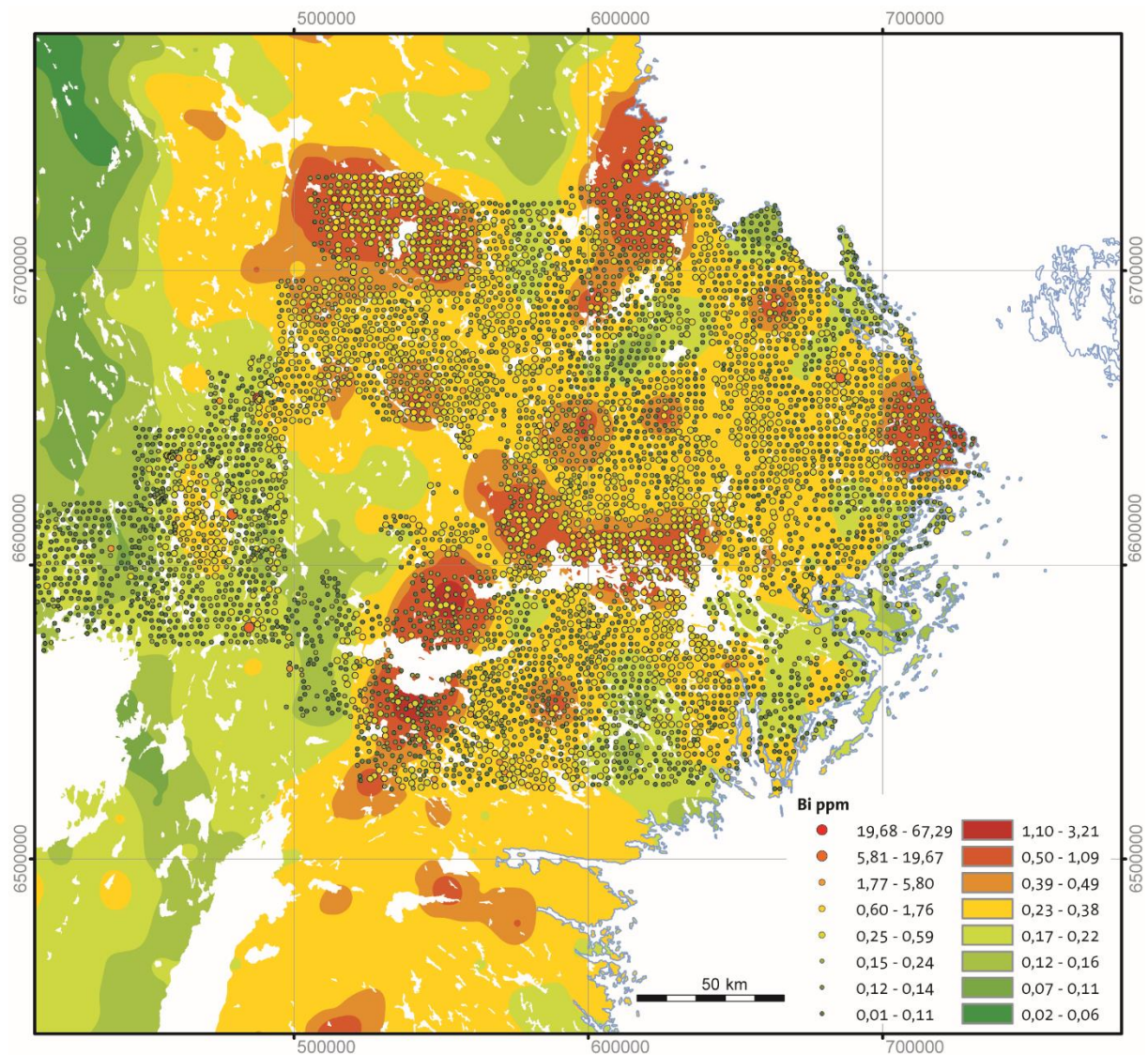


Figur 38. Geokemisk karta över beryllium i morän.

## Vismut (Bi)

Vismut är en relativt tung metall som naturligt kan förekomma i gedigen form. Vismut bildar sällan egna mineral och förekommer oftast som spårelement i sulfider som blyglans, zinkblände och kopparkis. Vismut kan anrikas i senmagmatiska och vulkaniska bergarter. Mindre mängder vismutglans är inte ovanligt i en del av Bergslagens mineraliseringar. Sekundära, förhöjda koncentrationer av vismut finns i finkorniga sediment och leror. Vismut uppträder tillsammans med mineraliseringar av Cu, Zn, Pb, W, Sn, Be, U, Th, Y, REE, Mo och Au. Grundämnet används ibland som indikatorelement vid guldprospektering. Vismut har låg mobilitet och faller ut tillsammans med järn-manganhydroxider och adsorberas till organiskt material.

I Bergslagen uppträder de högsta vismuthalterna i morän i de centrala (Mälärregionen) och norra delarna (Falun). Förhöjda vismutkoncentrationer uppträder i områden med olika kända mineraliseringar (basmetaller, järnmalm, senmagmatiska mineraliseringar med bland annat W och Sn) samt ofta i granit, metavulkanit, pegmatit och kvartsrika sprickfyllnader. Vissa Bi-anomalier i



Figur 39. Geokemisk karta över vismut i morän.

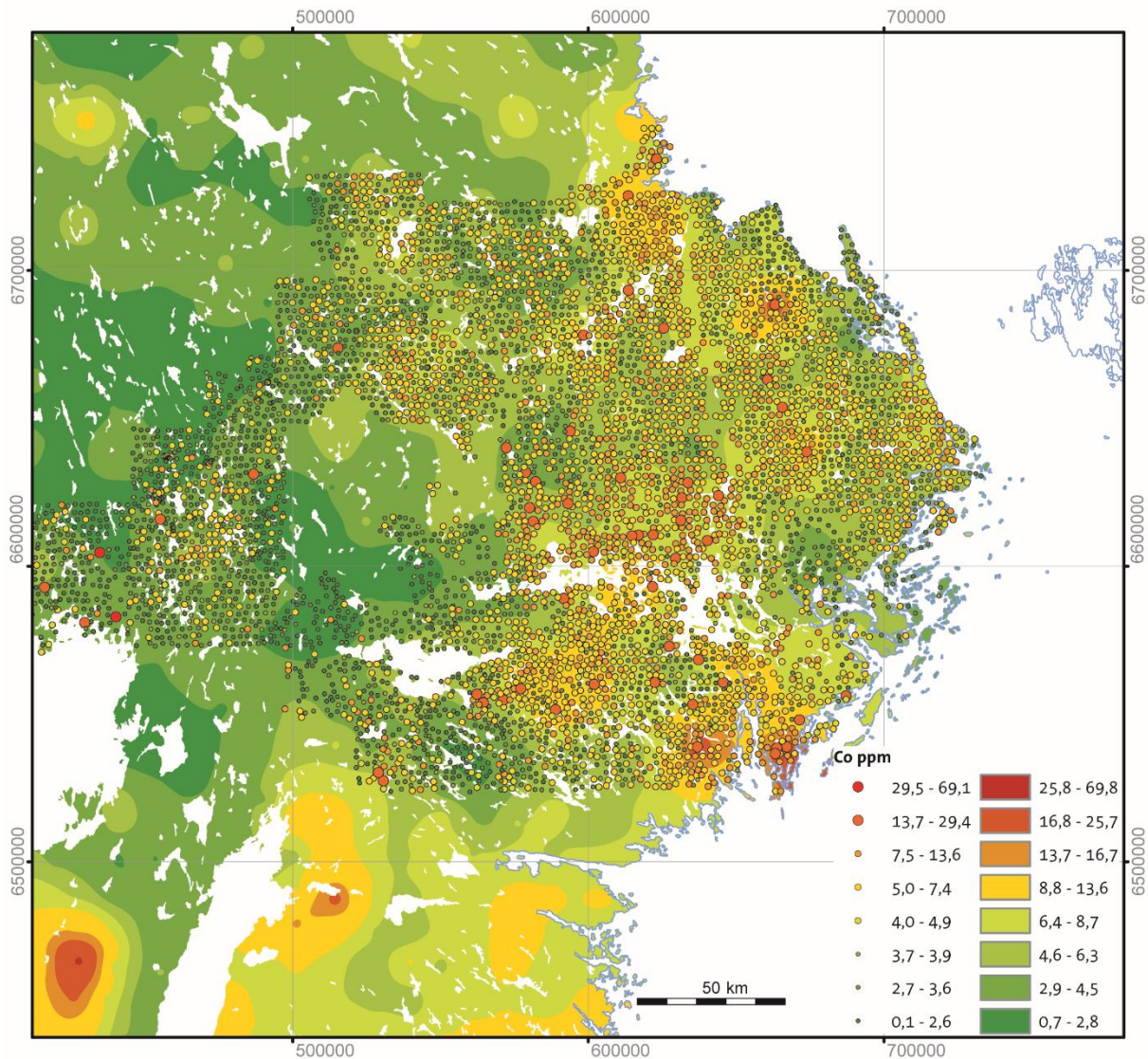


morän sammanfaller med polymetalliska sulfidmineraliseringar, speciellt de som förekommer i skarn, till exempel av typen Fe-Mn-Cu-Pb-Zn-Ag. Lokala vismutanomalier överlappar även med kända W-Sn-mineraliseringar i skarn, pegmatit, greisen, As-Zn-Pb-Cu-mineraliseringar i meta-sediment och kvartsfyllda sprickor samt med Au-mineraliseringar. I Falun-Borlänge-regionen sammanfaller de flesta höga Bi-halter med järn- och sulfidmineraliseringar i skarn, W-och REE-förekomster i granit och vulkaniska bergarter, samt i associerade pegmatiter, kvartsgångar och i kvartsbreccia. I västra Mälarenregionen (Hallstahammar, Västerås) finns förhöjda Bi-halter i morän som förekommer ovanpå metasedimentära bergarter, gråvacka till paragnejs som lokalt innehåller sulfidmineraliseringar och kvartsgångar. I Gävle-Skutskärtrakten finns Bi anrikat i morän ovanpå gnejs med kvartsgångar och mindre skarnmineraliseringar med Fe, Pb och W. Lokala punkt-anomalier förekommer bland annat i Långban-Gåsbornområdet (magnetit-och sulfidmineraliseringar i skarn och sura vulkaniter), Yxsjöberg (Bi-anomalin följer W-Cu-fluorit-mineraliseringar i skarn, här uppmättes den högsta Bi-halten i hela Bergslagen på 67 ppm), Hällefors-Grythyttan (magnetit- och sulfidmineraliseringar i skarn, kvartsgångar, glimmerskiffer med grafit, gnejs rik på kvarts-fältspat) och Glanshammar (skarnmineraliseringar med Pb och Ag, dolomit, andalusit i glimmerskiffer).

## **Kobolt (Co)**

Kobolt är en övergångsmetall med fysikaliska och kemiska egenskaper som liknar nickel. Kobolt bildar egna mineral, till exempel koboltglans, och uppträder som spårelement i vanliga sulfider (till exempel pyrit och arsenikkis) och i bergartsbildande mörka mineral som olivin, pyroxen och amfibol. De högsta kobolthalterna återfinns i kvartsfattiga ultrabasiska och basiska bergarter. Kobolt har hög mobilitet vid lågt pH och oxiderande förhållanden, samt låg mobilitet vid basiska och reducerande förhållanden. Mobilt kobolt faller ut med järn-manganoxider, anrikas i leror och finkorniga sediment.

Tydliga anrikningar av kobolt finns i moränen i de centrala och norra delarna av Bergslagen. Anomalier av kobolt sträcker sig från västra Mälaren (Västerås) mot Uppsala och vidare norr mot Gävle. De förhöjda halterna av kobolt i morän speglar förekomster av ultrabasiska och basiska bergarter (ett liknande geokemiskt mönster observeras hos nickel – se kartan för nickel i Geokemisk Atlas över Sverige (2014)) och i mindre grad järn- och sulfidmineraliseringar, bland annat i diabas och skarn. I Västra Mälarenregionen (norr om Mälaren) finns förhöjda kobolthalter (cirka 15 ppm Co) i morän där berggrunden består av metavulkaniter (basalt-andesit), gabbro, diorit, och metasedimentära bergarter (paragnejs). Morän över metasedimentära bergarter och över en 40 km lång diabasgång (i riktning väst-öst) norr om Katrineholm har särskilt höga Co halter (15–20 ppm). Söder om Stockholm (Nynäshamn) sammanfaller kobolt-anomalier med metasedimentära bergarter (metagråvacka) med mindre inslag av basiska intrusioner (gabbro, diorit). Flera av de isolerade koboltanomalierna (till exempel i Uppland och Södermanland) kan vanligen förklaras av små basiska och ultrabasiska intrusioner (till exempel diabas), sura metavulkaniska bergarter och skarnmineraliseringar med Fe-(Cu-Co). Särskilt höga kobolthalter finns i den sydvästra delen av det kartlagda området och syns på kartan som isolerade anomalier, till exempel i Hällefors och Bredsjötrakten. Den högsta uppmätta kobolthalten (69 ppm) kommer från ett prov taget nära Ölme, öster om Karlstad. Koboltanomalin vid Glanshammar (öst om Örebro) har också höga halter av Be, Bi och Y.



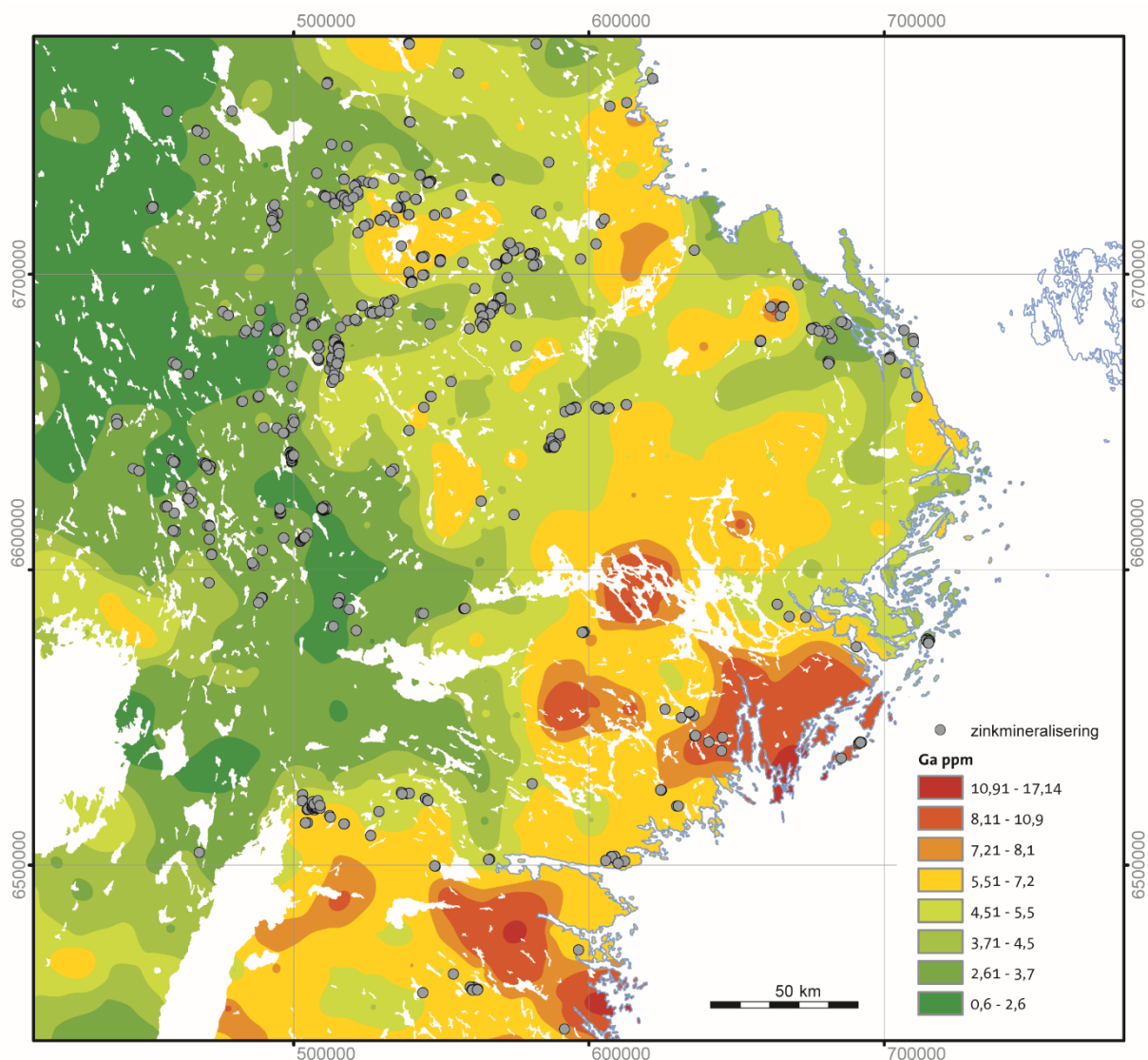
Figur 40. Geokemisk karta över kobolt i morän.

## Gallium (Ga)

Gallium är en mjuk metall som sällan bildar egna mineral. Gallium förekommer som ett spårelement i magnetit och zinkblände och i vanliga bergartsbildande mineral som amfibol, fältspat och glimmer, samt i sekundära mineral som klorit och lermineral. Skiffer och lerskiffer har relativt höga galliumhalter jämfört med andra bergarter. Mobiliteten hos gallium är vanligtvis låg, förutom vid låga pH-förhållanden. Mobilt gallium adsorberas till lermineral och till Fe-Mn oxider. Galliums geokemiska beteende liknar mest aluminium men har starka associationer med Mg, Fe, Sc, Rb och Zn, och med andra innovationskritiska grundämnen som indium och germanium. I Sverige uppträder förhöjda galliumhalter i alkalina magmatiska bergarter, glimmerrika metasedimentära bergarter, skiffer, basiska bergarter och sulfidförande bergarter. I den svenska moränen beror förhöjda halter på att källmaterialet härstammar från ovanstående bergarter och dess vittringsprodukter under sura förhållanden. Förhöjda galliumhalter är också vanligtvis associerade med Pb-Zn-Cu-sulfidmineraliseringar och sediment som har omvandlats vid höga tryck och temperaturer (skiffer, paragnejs).



Höga halter av gallium i morän förekommer i centrala och södra delarna av Bergslagen och de korrelerar med paleoproterozoiska till mesoproterozoiska intrusiva bergarter (diorit, granit) och deras vulkaniska motsvarigheter (andesit, ryolit), liksom med metasedimentära bergarter som paragnejs och skiffer. Samtliga dessa bergarter har höga aluminiumhalter med fältspat och glimmer som vanliga mineral. Lokala Fe-, Cu- och Pb-Zn-sulfidmineraliseringar (ofta i skarn och kvartsgångar) förekommer i samband med dessa anomalier. I Faluområdet kan till exempel höga galliumhalter i moränen förklaras med sulfidförekomster i kvarts-fältspatrika vulkaniter och intrusiva motsvarigheter. Den stora Ga-anomalin i Gävletrakten är svår att knyta till kända mineraliseringar, lokal berggrund med äldre graniter och pegmatiter samt yngre arkosiska (fältspatrika) sandstenar kan vara en källa till de höga halterna. Höga galliumhalter i Stockholmsregionen kan förknippas med kvarts- och fältspatrika metamorfa bergarter, både magmatiska och sedimentära. Sekundär anrikning av gallium i finkornig lerig morän kan också ha skett genom vittringsprocesser och påverkan från den marina miljön efter att inlandsisen smälte.

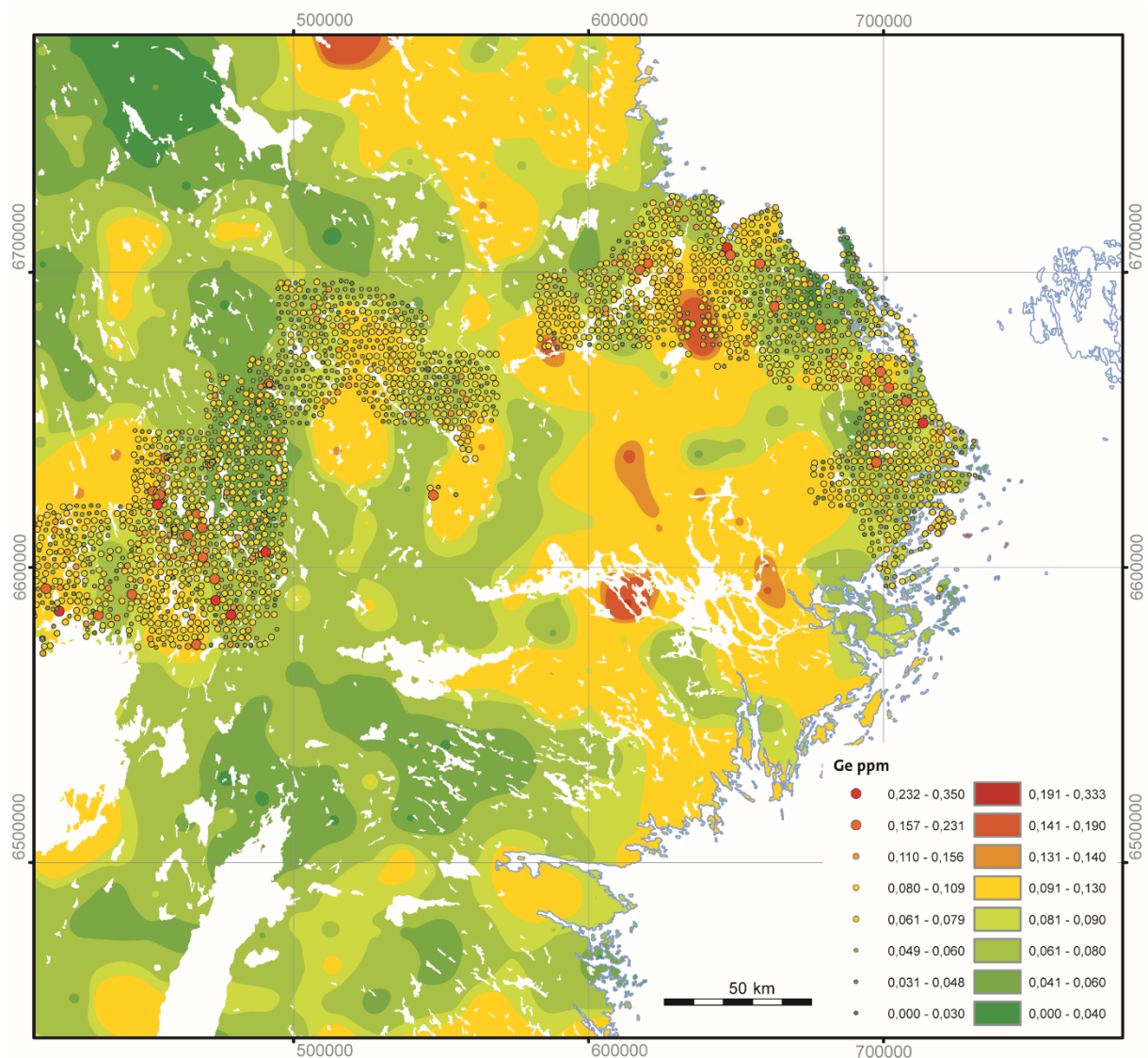


**Figur 41.** Geokemisk karta över gallium i morän (enbart interpolerade data från Andersson m.fl. (2014) visas på kartan, regionala galliumdata saknas). Lokaler med zinkmineralisering kommer från SGUs mineralresursdatabas.

## Germanium (Ge)

Germanium är ett sällsynt ämne som ingår i få mineral som en primär byggsten. Germanium utvinns primärt som en biprodukt vid zinkbrytning och från kolflygaska. Tre fjärdedelar av all germanium som produceras kommer från malmmineralet zinkblände och en fjärdedel från kol. I Sverige bryts inget germanium.

I Bergslagen är koncentrationen av germanium i glaciala jordarter mycket låg. Isolerade anomalier med relativt förhöjda germaniumhalter i morän förekommer i östra Bergslagen. De högsta halt-erna kan knytas till kända sulfidmineralfyndigheter, främst järn- och kopparsulfider (till exempel vid Skansta, nära Tierp, som bröts för koppar, och mellan Blidö och Svartlöga i Stockholms norra skärgård). Germanium hittas även tillsammans med nickel (Nisbö, öster om Uppsala), bly- och zinksulfid (Hjulsta, öster om Stockholm). I västra Bergslagen bildar förhöjda germaniumhalter i morän ett stråk från nordväst till sydost mellan Långban-Filipstad och Karlskoga. I norra delen av anomalin associeras höga germaniumhalter med förekomsten av järnmineraliseringar, framför allt i skarn.

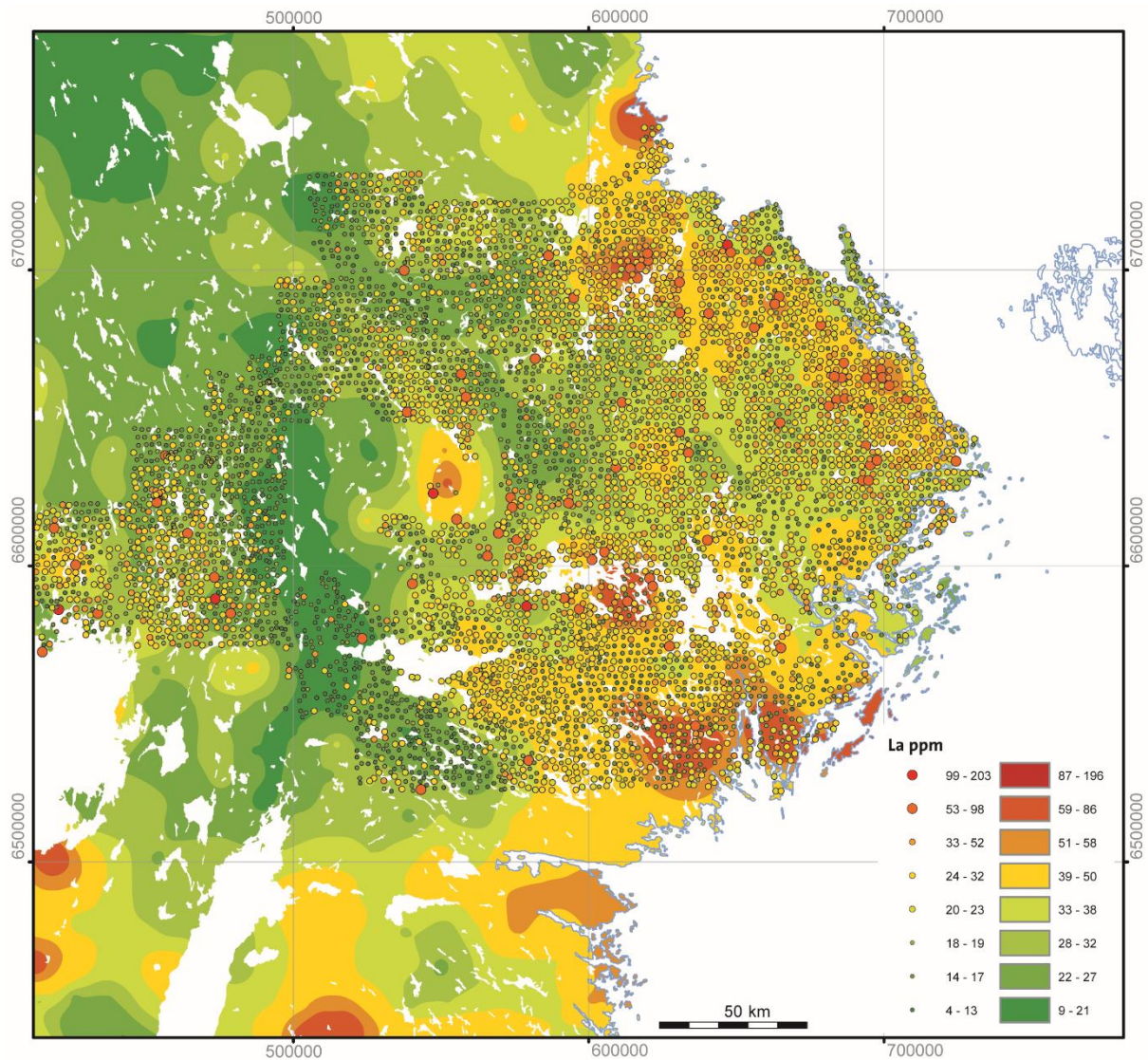


Figur 42. Geokemisk karta över germanium i morän.

## Lantan (La)

Lantan tillhör de sällsynta jordartsmetallerna (eng. *Rare Earth Elements*, REE) och är den näst vanligaste av dessa. Höga lantanhalter är typiska för magmatiska bergarter som granit, pegmatit och alkalina bergarter. Sedimentära bergarter och sediment härrörande från magmatiska bergarter kan också uppvisa mycket höga halter om de innehåller tunga mineral som till exempel monazit. Eftersom lantan adsorberas starkt av lera kan högt lerinnehåll i glaciala avlagringar också bidra till ökat lantaninnehåll. Lantan utvinns mestadels från monazit, apatit, allanit och bastnäsit. Lantan identifierades först i bastnäsit, ett mineral som upptäcktes i Bastnäs 1838 i centrala Bergslagen.

I Bergslagen finns ett antal mindre La-anomalier i ett område från norr om Gävle till Hallstavik. Anomalierna ligger nära eller inom glaciala transportavstånd från kända Fe- och Fe-Mn-avlagringar. Sådana avlagringar innehåller ofta apatit, vilket är den troliga källan till La-anomalin i moränen. I det centrala Mälardalenområdet, nordväst om Strängnäs, finns en betydande lantananomali associerad med flera andra kritiska grundämnen. Detta är ett område rikt på pegmatiter, bland annat finns en känd pegmatit som innehåller koppar- och järnsulfider (Hällby). Söder om Stockholm och i södra Stockholms skärgård är lantankoncentrationerna förhöjda i morän som täcker metasedimentära bergarter, till exempel glimmerskiffer, paragnejs och migmatit.



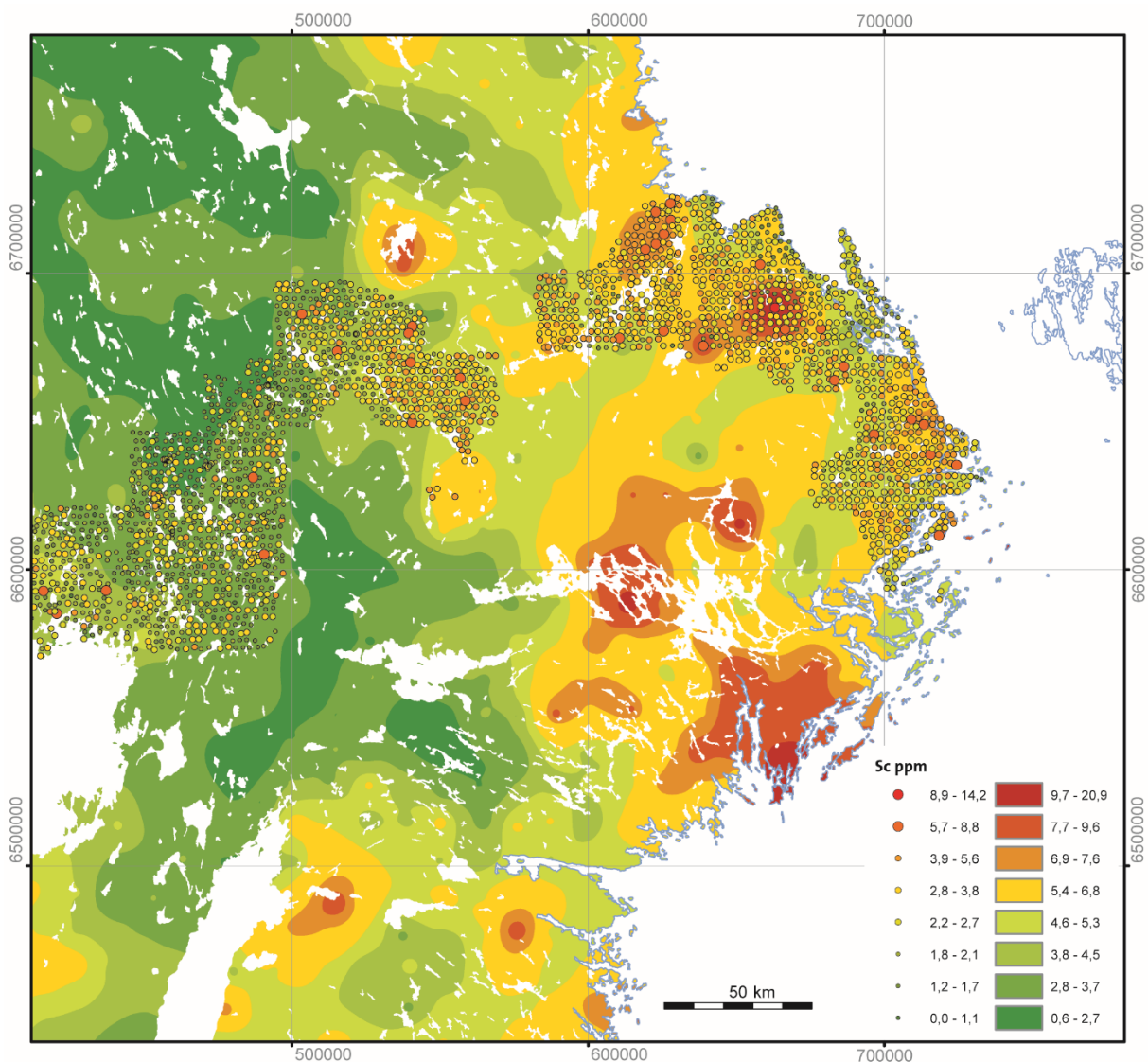
Figur 43. Geokemisk karta över lantan i morän.



## Skandium (Sc)

Skandium är en övergångsmetall som förekommer som spårämne i bergartsbildande mineral såsom amfibol, biotit, pyroxen, granat samt i accessoriska mineral som monazit. Basiska bergarter har vanligtvis högre skandiumhalter än sura bergarter. Alkalina bergarter, till exempel karbonatit, kan också uppvisa höga skandiumhalter. Höga koncentrationer uppträder i finkorniga sedimentära bergarter som lerskiffer och dess metamorfa motsvarighet. Även hydrotermalt påverkade bergarter, skarn och relaterade mineraliseringar, uppvisar ofta höga skandiumhalter.

I Bergslagen och Mälardalen finns ett antal mindre skandiumanomalier söder om Uppsala och Stockholm, vilka kan förklaras av metavulkaniska bergarter och metasediment. Flera skandiumanomalier är emellertid associerade med kända pegmatiter rika på järn och koppar, samt skarnmineraliseringar till exempel söder om Falun, mellan Ludvika och Avesta och norr om Danne-mora. Förhöjda skandiumhalter i moränen förekommer också söder om Gävle och norr om Norrtälje längs med kusten. Liksom flera andra kritiska grundämnen kan man se en betydande anomaly förknippad med den pegmatitrika berggrunden nordväst om Strängnäs.



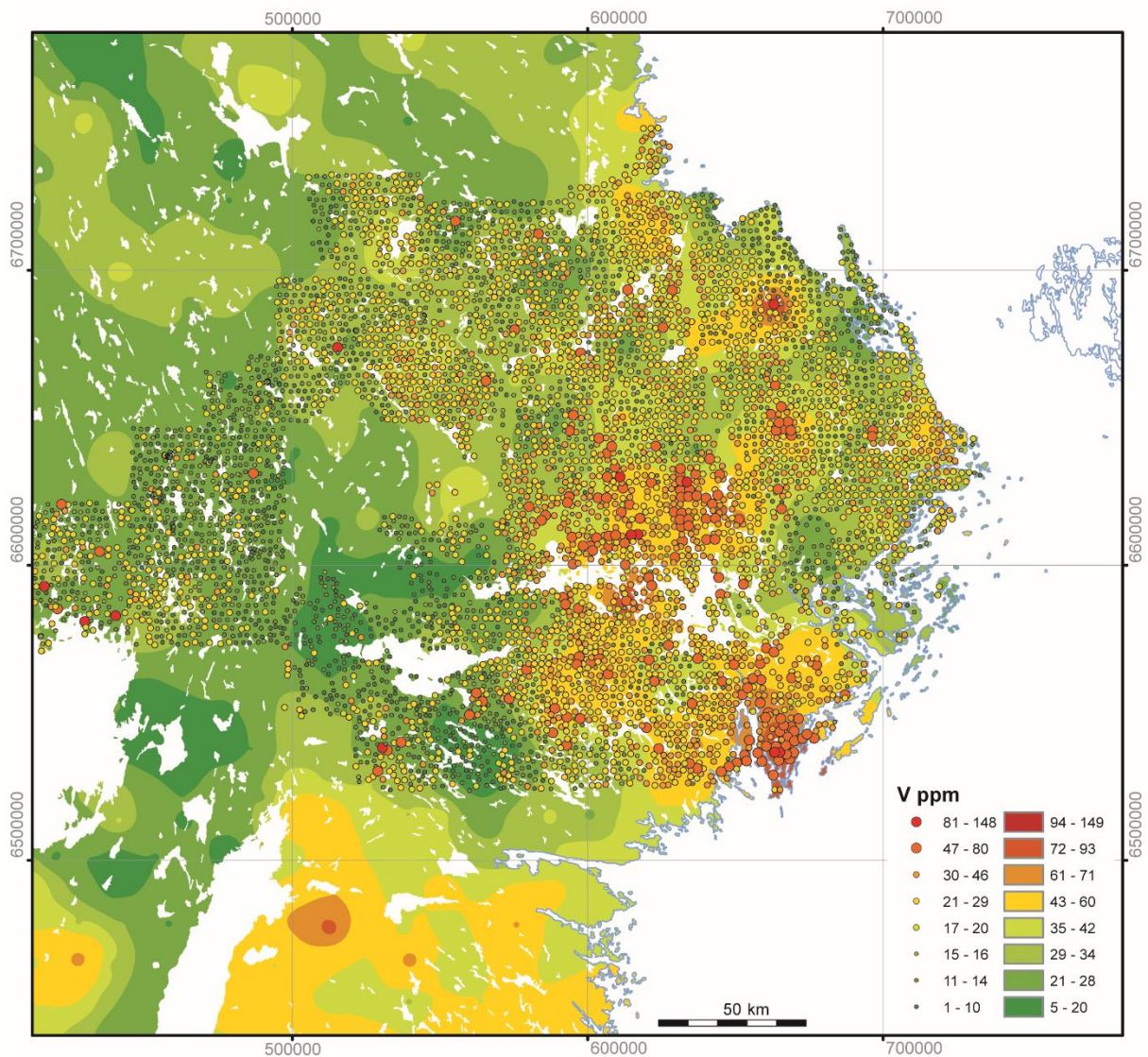
Figur 44. Geokemisk karta över skandium i morän.



## Vanadin (V)

Medan vanadin är ett relativt vanligt grundämne, är det desto ovanligare att hitta det i ekonomiskt utvinnbar form. Det är ofta fördelat i basiska bergarter och deras metamorfa derivat. Vanadin kan finnas förknippat med Fe-sulfid- och Fe-oxidmalmer och det är i denna form som det är mest tillgängligt för gruvdrift. Vanadin är mobilt i oxiderande miljöer och mindre mobilt vid lågt pH, reducerande förhållanden och vid metamorfa processer. Vanadin adsorberas till Fe- och Mn-oxider och hydroxider, lermineral och organiskt material, och förekommer anrikat i alunskiffer.

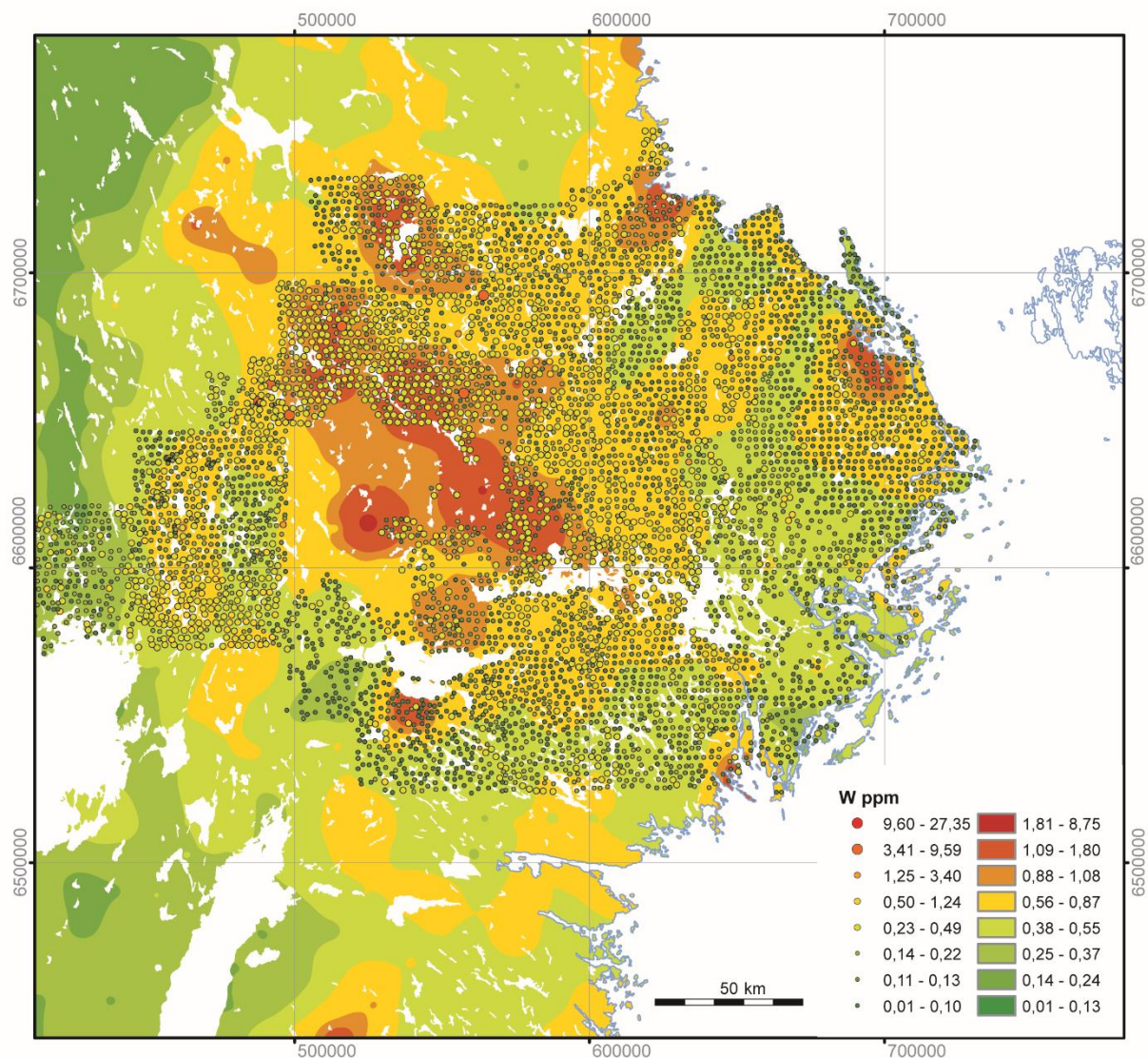
I Bergslagen är vanadinhalten i allmänhet låga med bara några få nämnvärda anomalier, där de bakomvarande källorna utgörs av ultrabasiska och basiska intrusivbergarter, metavulkaniska bergarter och deras metamorfa motsvarigheter (amfibolit), till exempel söder om Stockholm, mellan Enköping och Västerås samt väster om Uppsala. En betydande anomali kan också ses i det Fe-oxidrika malmfältet norr om Dannemora. Precis som många av de kritiska grundämnena, är en ytterligare anomali förknippad med det pegmatitrika området nordväst om Strängnäs.



Figur 45. Geokemisk karta över vanadin i morän.

## Volfram (W)

Volfram är ett relativt sällsynt grundämne som förekommer i magmatiska bergarter som granit och pegmatit, metasediment (grafitskiffer, fyllit) och finkorniga sedimentära bergarter (lerskiffer). Scheelit och volframit är de ekonomiskt viktigaste mineralen för volframutvinning och återfinns huvudsakligen i kvartsrika sprickzoner, pegmatiter och skarnmineraliseringar. De flesta volfram-mineraliseringar är ursprungligen av metasomatisk eller hydrotermal karaktär. Volframmineral förekommer ofta tillsammans med kassiterit ( $\text{SnO}_2$ ) och fluorit ( $\text{CaF}_2$ ). Små mängder av volfram finns i glimmer, magnetit och rutil. Volfram används också som indikatorgrundämne inom guldprospektering. De geokemiska egenskaperna hos volfram liknar de hos molybden. Metallens löslighet är låg och volframmineral är generellt olösliga vid sura pH-förhållanden. Frigjort volfram är dock mobilt och adsorberas lätt till manganoxider och lerpartiklar. Höga volframhalter i vissa svartskifferförekomster indikerar att det finns en tendens hos metallen att bindas till organiskt material.



Figur 46. Geokemisk karta över volfram i morän.

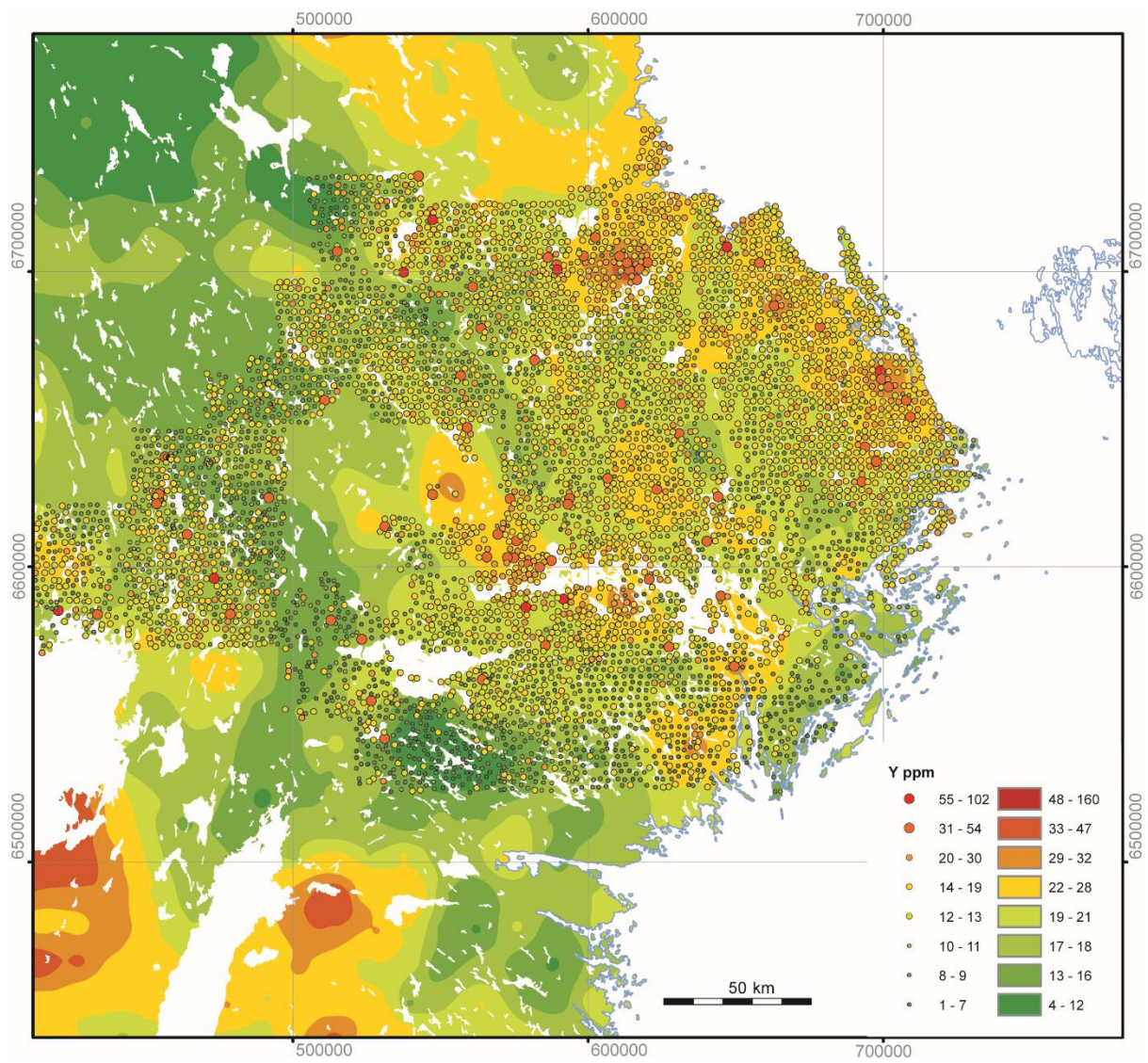


I Bergslagen finns viktiga volframmineraliseringar (scheelit) i skarn-kalksten, ofta i kontaktzonen mellan svekokarelska graniter och kalksten. Medan majoriteten av volframförekomsterna är småskaliga mineraliseringar, finns många av Sveriges mest kända volframmineraliseringar i Bergslagen, såsom Yxsjöberg, Sandudden, Wigström och Elgfall. Dessa avspeglas tydligt i morän-geokemin som betydande anomalier kring Ludvika och Grängesberg. En betydande, linjär volframanomali kan observeras längs Kolbäckån mellan sjön Väsman och Mälarens strand. En annan betydande volframanomali kan ses syd-sydost om Falun i ett område som är rikt på skarn-avlagringar med Cu och Fe-Mn. I västra Bergslagen finns en mindre anomali utsträckt i nordvästlig-sydostlig riktning, med den högsta uppmätta volframhalten nära Järna. Inga kända mineraliseringar kan sättas i samband med anomalin, vilket kan vara av intresse för eventuell prospektering. Sydost om Örebro kan ytterligare en anomali ses vid Hjälmarens södra strand. Ett antal järnskarnmineraliseringar är kända i detta område, men hittills har inga volframmineraliseringar hittats där. Ytterligare en betydande anomali finns nära Harg och Hargshamn vid Östersjökusten. Flertalet små Fe-Mn-mineraliseringar är kända i området, men anomalin antyder att dessa skulle vara värda att undersöka även för innehållet av volfram. Ytterligare anomalier finns runt Furuvik, nära Gävle och i Trosa, båda områdena med kända förekomster av kalksten och svekokarelsk granit, vilka därför möjligen kan innehålla volframförande skarnavlagringar.

## Yttrium (Y)

Yttrium är en övergångsmetall som på grund av liknande kemiska egenskaper ibland ingår som en i gruppen av de sällsynta jordartsmetallerna. Xenotim, monazit och gadolinit är vanliga mineral som innehåller yttrium. Som spårelement förekommer yttrium även i andra accessoriska mineral som zirkon, apatit och granat, samt i vanliga bergartsbildande mineral som biotit och pyroxen. Yttrium förekommer i senmagmatiska bergarter som granit och pegmatit, alkalina bergarter (syenit) och hydrotermalt omvandlade bergarter. Sekundära koncentrationer i sedimentära bergarter beror på förekomsten av tunga mineral (zirkon, monazit) som i sig själva är vittringsresistenta. Frigjord yttrium är relativt mobilt och har hög tendens att adsorberas till lermineral och Fe- och Mn-oxider och -hydroxider.

De högsta koncentrationerna av yttrium i morän uppträder i olika delar av Bergslagen och har sin huvudkälla i underliggande granitoider, alkalina bergarter, pegmatiter och kiselrika metavulkaniter. Yttriumanomalier uppträder i samband med mineraliseringar framför allt i skarntyper av Fe-oxider och Fe-sulfider, Pb, Ag, Zn, Cu, Mn, Mo, och W. Mobiliserat yttrium har anrikats i morän med hög lerhalt till exempel i Uppland och dess kustområde, nära Västerås och mellan Söderfors och Sandviken.



Figur 47. Geokemisk karta över yttrium i morän.



## SAMMANFATTNING AV RESULTAT I TABELLFORM

Projektets samlade resultat som lagras i SGUs databaser.

**Tabell 18.** Resultat av undersökningarna i siffror.

	Bergartskemi (analyserade prov)	Tunnslip (antal tillverkade)	Petrofysik (analyserade prov)	Morängeokemi (analyserade prov)	Tyngdkraftsmätning (mätpunkter)	Flygmätning från flygplan (linjekilometer)	Geofysiska markprofiler (kilometer)
<b>Analys primära sekundära</b>	155						
<b>Vena</b>	98	49	40		320		13,8
<b>Tunaberg</b>	56	44	48		273		15,4
<b>Gilltjärns-Skrammelfall</b>	17	7	42				9,1
<b>Greisen</b>	10		10				
<b>Bergslagen, flyggeofysik</b>						22 182	
<b>Bergslagenprojektet</b>	964						
<b>Total produktion</b>	1 300	100	140	5 619 (befintlig data)	593	22 182	38,3

## SLUTSATSER

I uppdraget ingick en utökad insats för kartläggning av de innovationskritiska metaller och mineral som är nödvändiga för bland annat miljö- och klimatomställningen. Råvaror från primära och sekundära källor i Bergslagen skulle identifieras och inventeras. Uppdraget är en del av regeringens strategi för smart industri.

Bergslagen har fler än 10 000 kända fyndigheter och tre aktiva gruvor. Anledningen är att det här finns en berggrund som bildats och omvandlats genom processer som är gynnsamma för uppkomsten av vissa typer av mineraliseringar (naturliga anrikningar av mineral). Traditionellt har man i Bergslagen eftersökt och brutit järn och basmetallerna koppar, zink och bly samt i viss utsträckning även nickel, volfram och svavel. Bergslagen med omgivning har dock god geologisk potential för ett flertal innovationskritiska metaller och mineral såsom sällsynta jordartsmetaller, platinagruppens metaller, volfram, kobolt, indium, vismut och beryllium, samt mineralen grafit, flusspat och apatit. I rapporten konstateras att det finns förekomster både från primära och sekundära källor, det vill säga i fast berg och i olika typer av gruvavfall.

För att kunna hitta intressanta mineraliseringar på andra platser än de som redan är kända är det viktigt att förstå hur bildningen av dem gått till. Regeringsuppdraget och SGUs Bergslagsprojekt bidrar med ny kunskap om både innovationskritiska metaller och mineral, men också intressanta förekomster av ädelmetaller och basmetaller, i vissa fall tidigare helt okända förekomster.

Förekomst av kobolt har bekräftats och ytterligare karakteriserats i områdena kring Vena gruvfält, Tunaberg och Riddarhyttefältet. I fallen Vena och Tunaberg förekommer kobolt tillsammans med koppar, i fallet Riddarhyttan tillsammans med järn. Koppar och järn är förvisso inte klassificerade som kritiska, men utgör grund för lönsamhet vid eventuell brytning av kobolt som kommer att behövas för att klara en klimatomställning. Sannolikt finns potential för kobolt även i andra delar av Bergslagen, områden som i modern tid inte blivit detaljerat undersökta och provtagna, som tack vare resultaten som presenteras i denna rapport kan bli enklare att identifiera för eventuella framtida prospekterings- eller undersökningsinsatser.

Betydande mängder sällsynta jordartsmetaller (REE) har konstaterats inom Grängesbergfältet och Riddarhyttefältet, både i den kvarvarande järnmalmen och i den anrikningssand som efterlämnats vid de nedlagda gruvorna. Förhöjda halter av REE påträffades också vid Vena gruvfält, en tidigare okänd förekomst, vilket lokalt indikerar potential för REE. Sannolikt finns liknande, idag okända, REE-förekomster i närområdet av Vena gruvfält och på andra platser i Bergslagen.

Bergslagets främsta kända volframtillgång idag är sandmagasinen vid Yxsjöberg, framför allt det äldre magasinet som fylldes under en tid när anrikningsprocessen var mindre effektiv. Utöver volfram innehåller anrikningssanden beryllium, vismut och tenn, samt sannolikt flusspat. Det har inte varit möjligt att finna information om eventuell kvarvarande malm i Yxsjöbergsgruvan.

Genom SGUs undersökningar i anslutning till tidigare kända förekomster av grafit i Norbergsområdet, har goda förutsättningar för ytterligare förekomst kunnat konstateras. Det har bland annat noterats en sannolik förekomst av grafit på större djup än vad som tidigare varit känt. De geofysiska undersökningarna indikerar också eventuell förekomst av grafitförande bergarter i närliggande områden som ännu inte är undersökta i detalj.

Enligt det material som nu föreligger för greisenomvandlad Dalagranit är det enbart inom området runt Norra Hällen som mycket höga halter av indium noterats. Det innebär inte att potential saknas på andra håll, till exempel i Riddarhyttefältet och inom andra geologiska miljöer som skarndominerade järnmalmer och de vulkaniska. Kunskap om hur dessa greisensystem är

uppbyggda i 3D saknas helt. Greisensystemen i Dalagranit innehåller även en mängd andra intressanta innovationskritiska metaller och ställvis höga halter av både ädelmetaller och basmetallerna zink och bly.

Lättillgänglig, grundläggande geovetenskaplig information är grunden för att attrahera prospektörer till Sverige och Bergslagen. Informationen är också ett utmärkt underlag för forskning. Sverige är ett av EU:s ledande gruvländer och har förutsättningar för att bidra till en långsiktig och hållbar råvaruförsörjning. Det sker i dagsläget dock ingen utvinning av kritiska råmaterial i Sverige även om några projekt kommit en bit på väg inom tillståndsprocessen.

## REKOMMENDATIONER FÖR VIDARE ARBETEN

Teknikutvecklingen och den gröna omställningen driver på efterfrågan av metaller och mineral. Vid sidan av basmetaller och järn, som har varit den svenska gruvnäringens viktigaste produkter, har efterfrågan på så kallade innovationskritiska metaller och mineral som behövs till batterier, permanentmagneter, solceller och legeringar ökat exponentiellt. Sverige och Finland är bland de länder inom EU som har de bästa förutsättningarna att kunna säkra framtida värdekedjor inom grön teknikutveckling. För att uppnå FN:s hållbarhetsmål Agenda 2030 krävs grundinformation, kunskapsuppbyggnad och en ökad social acceptans för utvinning.

SGU har sedan några år inom ramen för Bergslagsprojektet, regeringsuppdragen och EU-finansierade projekt, börjat bygga upp kunskap om innovationskritiska metaller och mineral, då det finns stora kunskapsluckor om förekomster i såväl berggrund som gruvavfall. Dock är kunskaperna fortfarande rudimentära, oftast översiktliga och regionalt begränsade, eftersom systematisk kartläggning av dessa med moderna metoder saknas. Det finns också ett behov av att producera jämförbar information över större ytor, samt att använda nya geofysiska och geokemiska mätmetoder för att få långsiktigt perspektiv på den geologiska informationsförsörjningen.

Även om detta regeringsuppdrag ökat förståelsen för innovationskritiska metaller och mineral i Bergslagen är kunskapsluckorna fortsatt stora, varför den regionala potentialen är fortsatt svårbedömd. För att bygga upp kunskap om innovationskritiska metaller och mineral krävs:

- Systematisk kartläggning, provtagning och analyserande av både berggrunden, gruvavfall och existerande borrhävar över hela landet.
- Systematisk kartläggning med geofysiska metoder för att kunna prognosticera och undersöka primära och sekundära förekomster på djupet.
- Undersökningsmetodiken bör utökas med borrhvar i både sandmagasin och i berggrunden.
- De geokemiska databaserna bör utvecklas.

För att kunna bedöma vilka tekniska processer som krävs för en eventuell utvinning av dem behöver man gå vidare med att analysera i vilket eller vilka mineral de ingår. För att kunna hitta intressanta mineraliseringar på andra platser än de som redan är kända är det viktigt att veta hur bildningen av dem gått till.

Minerallagen är otydlig när det gäller råmaterial från gruvavfall, vilket gör potentiell hantering osäker. SGU har inom projektet identifierat några sandmagasin med stor potential för innovationskritiska element. Somliga innehåller potentiellt miljöfarliga grundämnen i höga halter. En utvinning av ämnen ur sådana sandmagasin skulle dessutom utgöra en potentiell miljövinst.

Mot bakgrund av de resultat som presenteras i rapporten och för att klara omställningen till ett fossilfritt samhälle, föreslår SGU i budgetäskandet för 2021–2023 att den redan pågående satsningen i Bergslagen stärks betydligt, samt utvidgas till delar av Västernorrland, Jämtland och Småland, de senare med fokus på bland annat kobolt, litium och sällsynta jordartsmetaller.



## REFERENSER

- Ahl, M. & Sundblad, K., 1997: Metallogeny of the TIB. I M. Ahl, U.B., Andersson, T. Lundqvist & K. Sundblad (red.): *Rapakivi granites and related rocks in central Sweden. Ca 87*, Sveriges geologiska undersökning, 29–32.
- Ahl, M., Sundblad, K. & Schöberg, H., 1999: Geology, geochemistry, age and geotectonic evolution of the Dala granitoids, central Sweden. *Precambrian Research* 95, 147–166.
- Andersson, M. Carlsson, M., Ladenberger, A., Morris, G., Sadeghi, M. & Uhlbäck, J., 2014: *Geokemisk atlas över Sverige* (Geochemical Atlas of Sweden). Sveriges geologiska undersökning, 210 s. DOI: 10.13140/2.1.1341.6642
- Bedder, J.C.M., 2015: Classifying critical materials: a review of European approaches. *Applied Earth Science* 124, 207–212.
- Bergverksstatistik 2018: *Periodiska publikationer 2019:2*, Sveriges geologiska undersökning, 88 s.
- Berzina, A.N., Sotnikov, V.I., Economou-Eliopoulos, M. & Eliopoulos, D.G., 2005: Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu–Mo and Mo–Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia. *Ore Geology Reviews* 26, 91–113.
- BGS 2016: World Mineral Production 2010–2014: <[www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html](http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/statistics/worldArchive.html)> (nerladdad 2020-02-07)
- Bjurstedt, S., 1979: Garpkölen Södra. *Grb 96*, LKAB Prospektering AB, 5 s.
- Blengini, G.A., Mathieux, F., Mancini, L., Nyberg, M. & Viegas, H.M. (red.), 2019: Recovery of critical and other raw materials from mining waste and landfills: State of play on existing practices. Publications Office of the European Union, Luxembourg, JRC116131.
- 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.
- Claeson, D., Antal Lundin, I., Sadeghi, M., Persson, S. & Jönsson, C., 2018: Sammanfattning av pågående verksamhet 2017, Berggrundsgeologisk undersökning, Ludvika, Bergslagen etapp1. *SGU-rapport 2018:12*, Sveriges geologiska undersökning, 66 s.
- Cook, N.J., Sundblad, K., Valkama, M., Nygård, R., Ciobanu, C.L. & Danyushevsky, L., 2011: Indium mineralisation in A-type granites in southeastern Finland: Insights into mineralogy and partitioning between coexisting minerals. *Chemical Geology* 284, 62–73.
- EASAC, 2016: Priorities for critical materials for a circular economy. EASAC Policy report. November 2016.
- Erdmann, A., 1848: Försök till en geognostisk-mineralogisk beskrifning öfver Tunabergs socken i Södermanland, med särskildt afseende på der belägne grufvor. Kungliga svenska vetenskapsakademiens handlingar 36, 94 s.
- Erdmann, E., 1889: Beskrifning till kartbladet Askersund. *Sveriges geologiska undersökning Aa 84*, 100 s.
- EU-kommissionen, 2017a: Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Executive summary. <<http://ec.europa.eu/docsroom/documents/25421>> (nerladdad 2018-01-09).
- EU-kommissionen, 2017b: Study on the review of the list of Critical Raw Materials, Critical raw materials factsheets. <<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>> (nerladdad 2020-01-13).

EU-kommissionen, 2017c: Combatting conflict minerals. <<http://ec.europa.eu/trade/policy/in-focus/conflict-minerals-regulation/>> (nerladdad 2018-09-03).

EU-kommissionen, 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>> (nerladdad 2018-10-31).

EU-kommissionen, 2019: Report from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee, the committee of the regions and the European investment bank on the implementation of the strategic action plan on batteries: Building a strategic battery value chain in Europe. COM/2019/176 final. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0176>> (nerladdad 2020-01-09).

Fagersta bruk, 1978: Gruvkarta Bäckegravan.

Filén, B., 2001: Swedish layered intrusions anomalous in PGE-Au. I P. Weihed (red.): Economic geology research. Vol. 1, 1999–2000. *Sveriges geologiska undersökning C 833*, 33–45.

Fraser, 2016: Annual Survey of Mining Companies, 2016. <<https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2016>> (nerladdad 2019-10-21).

Fraser, 2018: Annual Survey of Mining Companies, 2018. <<https://www.fraserinstitute.org/studies/annual-survey-of-mining-companies-2018>> (nerladdad 2019-10-14).

Gavelin, S., 1985: The Baggetorp tungsten deposit, southern Sweden. *Sveriges geologiska undersökning C 810*, 17 s.

Graedel, T.E., Harper, E.M., Nassar, N.T., Nuss, P. & Reck, B.K., 2015: Criticality of metals and metalloids. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 112, 4 257–4 262.

Grängesberg Iron AB, 2014: Grängesberg\_Technical report\_2014, Grängesberg Iron AB, [www.grangesberg.com](http://www.grangesberg.com)

Hallberg, A. & Reginiussen, H. 2018: Kartläggning av innovationskritiska metaller och mineral. Slutrapportering av regeringsuppdrag. RR 2018:05, Sveriges geologiska undersökning, 90 s.

Hammergren, P., 1984: Tenn och volfram i Siljansgranit delrapport III. PRAP 84526, Sveriges Geologiska AB, 11 s.

Hammergren, P. & Petersson, G., 1982: Prospekteringsläget inom tenn-volframprovinsen i SV Dalarna. BRAP 82546, Sveriges geologiska undersökning, 8 s.

Hoppe, F., 1887: Karta öfver De Bescheska grufvan i Tunabergs socken, Södermanlands län, upprättad efter äldre karta och egna mätningar, avslutade den 29 nov. 1886.

Hällström, L.P.B., Alakangas, L. & Martinsson, O., 2018: Geochemical characterization of W, Cu and F skarn tailings at Yxsjöberg, Sweden. *Journal of Geochemical Exploration* 194, 266–279.

Högdahl, K., Andersson, U.B. & Eklund, O., (red.) 2004: The Transscandinavian Igneous Belt (TIB) in Sweden: a review of its character and evolution. *Special Paper 37*, Geological Survey of Finland, 125 s.

Hök, N., 1956: Tunabergs bergslag. I Tunabergsbygden 1956, Tunabergs hembygdsförening.

- Jansson, N.F., Zetterqvist, A., Allen, R.L., Billström, K. & Malmström, L., 2017: Genesis of the Zinkgruvan stratiform Zn-Pb-Ag deposit and associated dolomite-hosted Cu ore, Bergslagen, Sweden. *Ore Geology Reviews* 82, 285–308.
- Jonsson, E., Nysten, P., Bergman, T., Sadeghi, M., Söderhielm, J. & Claeson, D., 2019: REE mineralisations in Sweden. I M., Sadeghi (red.): Rare Earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. *Rapporter och meddelande 146*, Sveriges geologiska undersökning, 168 s.
- Kommerskollegium, 1877: Bidrag till Sveriges officiella statistik. C, Bergshantering. Commerce Collegii underdåniga berättelse för år 1875. Stockholm, K.L: Beckman, 36 s.
- Kommerskollegium, 1880: Bidrag till Sveriges officiella statistik. C, Bergshantering. Commerce Collegii underdåniga berättelse för år 1879. Stockholm, K.L: Beckman, 34 s.
- Kommerskollegium, 1881: Bidrag till Sveriges officiella statistik. C, Bergshantering. Commerce Collegii underdåniga berättelse för år 1880. Stockholm, K.L: Beckman, 32 s.
- Kommerskollegium, 1909: Bidrag till Sveriges officiella statistik. C, Bergshantering. Commerce Collegii underdåniga berättelse för år 1908. Stockholm, K.L: Beckman, 22 s.
- Kommerskollegium, 1915: Sveriges officiella statistik, industri och bergshantering. Bergshantering, berättelse för år 1914. Stockholm, K.L: Beckman, 115 s.
- Kommerskollegium, 1916: Sveriges officiella statistik, industri och bergshantering. Bergshantering, berättelse för år 1915. Stockholm, K.L: Beckman, 116 s.
- Kommerskollegium, 1917: Sveriges officiella statistik, industri och bergshantering. Bergshantering, berättelse för år 1916. Stockholm, K.L: Beckman, 116 s.
- Lewerentz, A., Bakker, E. & Hedin, P., 2019: Undersökning av Vena gruvfält: preliminära resultat från fältarbeten 2018. *SGU-rapport 2019:08*, Sveriges geologiska undersökning, 25 s.
- Lewerentz, A., Bakker, E. & Hedin, P., i tryck: Tunaberg. I Lewerentz, A. (red.): Malmnära undersökningar i södra Bergslagen: Vena gruvfält och Tunaberg. SGU-rapport, Sveriges geologiska undersökning.
- Lewerentz, A., Bakker, E., Hedin, P. & Leopardi Navarro, D., i tryck: Vena gruvfält. I Lewerentz, A. (red.): Malmnära undersökningar i södra Bergslagen: Vena gruvfält och Tunaberg. SGU-rapport, Sveriges geologiska undersökning.
- Lindroth, G.T., 1918: Grafitfyndigheterna inom Norbergs Bergslag. *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 40:1, 27–76.
- Lindvall, M., 1988: Utvinning av volfram ur avfallssand. Slutrapport, Statsgruvor AB, 10 s.
- Lundquist, T. & Persson, P.-O., 1999: Geochronology of porphyries and related rocks in northern and western Dalarna, south-central Sweden. *GFF* 121, 307–322.
- Magnusson, N.H., 1973: *Malm i Sverige 1. Mellersta och södra Sverige*. Almqvist & Wiksell, Stockholm, 320 s.
- Morris, G. & Ladenberger, A., 2017: Till Geochemistry by Nitric Acid (HNO<sub>3</sub>) partial leaching at the Geological Survey of Sweden. *SGU-rapport 2017:14*, Sveriges geologiska undersökning, 10 s.
- Månsson, S., 1982: Inventering varphögar, Stollberg. *Grb* 277, Statsgruvor AB, 3 s.
- Ohlsson, L.-G., 1980: Zn-, Pb- och Ag-halter i Stollbergs avfallsdamm. *Grb* 198, prospekteringsrapport, 2 s.



- Persson, P.-O. & Ripa, M., 1993: U-Pb zircon dating of a Järna-type granite in western Bergslagen, south-central Sweden. *I* T. Lundqvist (red.): Radiometric dating results. *Sveriges geologiska undersökning C 823*, 41–44.
- Pirajno, F., 2009: *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer, 1 250 s.
- Ripa, M., Kampmann, T.C. & Hellström, F.A., 2017: SIMS U-Pb zircon geochronology at the Kuså Ni-Cu deposit, south-central Sweden. *GFF 139*, 233–240.
- Ripa, M., Rimša, A. & Hellström, F., 2008: SIMS-dating of a Dala-type granite north of Evertsberg, Dalarna, Sweden. *I* F. Hellström (red.): Results from radiometric datings and other isotope analyses 2. *SGU-rapport 2008:27*, Sveriges geologiska undersökning, 39–41.
- Ripa, M. (red.), Sundberg, A., Wik, N.-G., Bergman, T., Claeson, D., Hallberg, A., Hellström, F., Kübler, L. & Nysten, P., 2015: Malmer, industriella mineral och bergarter i Dalarnas län. *Rapporter & meddelanden 139*, Sveriges geologiska undersökning, 918 s.
- Sadeghi, M. (red.), 2019: Rare earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. *Rapporter & meddelanden 146*, Sveriges geologiska undersökning, 168 s.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259 s.
- Sädbom, S. & Bäckström, M., 2018: Sampling of mining waste – historical background, experiences and suggested methods. *BKAB 18-109 Rep*, Bergskraft Bergslagen AB, 71 s.
- Tegengren, F.R., m.fl., 1924: Sveriges äldre malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*, 406 s.
- Tiess, G., 2010: Minerals policy in Europe: Some recent developments. *Resources Policy 35*, 190–198.
- Tillväxtanalys, 2017: Innovationskritiska metaller och mineral från brytning till produkt – hur kan staten stödja utvecklingen? Tillväxtanalys dnr 2016/227. <[www.tillvaxtanalys.se](http://www.tillvaxtanalys.se)> (nerladdad 2017-12-03).
- USGS, 2017: Mineral Commodity Summaries. <<https://s3-us-west-2.amazonaws.com/prd-wret/assets/palladium/production/mineral-pubs/mcs/mcs2017.pdf>> (nerladdad 2020-01-13).
- Valkama, M., Sundblad, K., Nygård, R. & Cook, N., 2016: Mineralogy and geochemistry of indium-bearing polymetallic veins in the Sarvlaxviken area, Lovisa, Finland. *Ore Geology Reviews 75*, 206–219.

## Länklista

- Bilaga till Hallberg & Reginiussen (2018):  
<http://resource.sgu.se/produkter/regeringsrapporter/2018/RR1805-appendix1.xlsx>
- Fennoskandiska malmdatabasen:  
<http://gtkdata.gtk.fi/fmd/>
- Gruvkartor från Bergslagen:  
[www.sgu.se/produkter/soktjanster/gruvkartor/](http://www.sgu.se/produkter/soktjanster/gruvkartor/)
- Kartvisare Bergartskemi:  
<https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-bergartskemi.html>