Bergslagen, etapp 3

Malmnära profilkartering i området Ställdalen–Kopparberg under 2021–2022

Magnus Ripa, Stefan Andersson, Cecilia Brolin & Patrick Casey

juni 2024

SGU-rapport 2024:07





Omslagsbild: Tillmakade gruvhål vid Finngruvan norr om Kopparberg. Foto: Magnus Ripa.

Open pit at the Finngruvan mine, north of Kopparberg village, showing use of fire-setting technique.

Författare: Magnus Ripa, Stefan Andersson, Cecilia Brolin & Patrick Casey Granskad av: Johan Jönberger och Mikael Tillberg Ansvarig enhetschef: Ildiko Antal Lundin

Redaktör: Lina Rönnåsen

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

www.sgu.se

INNEHÅLL

Sammanfattning	4
Abstract	4
Inledning	5
Tidigare arbeten	5
Fältarbeten	6
Berggrunden	9
Generell bild1	0
Detaljer i berggrunden längs profilerna1	3
Petrografi2	0
Uppdatering av och kommentarer till kartdatabasen2	2
Geofysik2	3
Metoder2	3
Resultat2	4
Litogeokemi4	4
Åldersbestämning4	9
Referenser	2
Bilaga 1. Kemisk sammansättning5	4
Bilaga 2. Halter av sällsynta jordartsmetaller	7

SAMMANFATTNING

Sveriges geologiska undersökning (SGU) har under åren 2021–2022 utfört geologiska och geofysiska undersökningar i området Ställdalen–Kopparberg i Örebro län. Syftet med projektet har varit att uppdatera de geologiska, geofysiska och litogeokemiska underlagen för berggrunden, framför allt ytbergarterna. Området är ur malmsynpunkt historiskt sett viktigt och den geologiska information som finns är huvudsakligen från 1980-talet. Aktuell information är viktig för samhället i stort och för prospekteringsbolag.

Undersökningarna inom projektet har i huvudsak gjorts längs profiler över områdets ytbergarter. Rapporten presenterar en något reviderad kartbild, i huvudsak avseende några bergarters utbredning, tillsammans med sammanställningar av underliggande fältobservationer, petrografiska observationer, litogeokemiska och geofysiska data samt sammanvägda tolkningar av de olika datamängderna. Därutöver presenteras även resultatet från en radiometrisk åldersbestämning. Den uppdaterade kartbilden och alla insamlade data finns tillgängliga via SGU:s olika karttjänster och geodataprodukter.

ABSTRACT

During the years of 2021–2022, the Geological Survey of Sweden (SGU) has conducted geological and geophysical investigations in the Ställdalen–Kopparberg area, Örebro County. The purpose was to update geological, geophysical and geochemical base data. The investigations were mainly made along traverses across the supracrustal rocks of the area. The slightly revised map, mainly regarding the distribution of some lithologies, the collected field observations, petrographic observations, lithogeochemical and geophysical data, as well as integrated interpretations, are presented in this report. The result from one radiometric age determination is also presented. The revised map along with all collected data are available through the map and geodata services of the SGU.

INLEDNING

Projektområdet ligger i Örebro län och Ljusnarsbergs kommun.

Syftet med detta projekt var att genom riktade insatser uppdatera de geologiska, geofysiska och litogeokemiska underlagen för berggrunden, framför allt ytbergarterna, i det ur malmsynpunkt historiskt sett viktiga Ställdalen–Kopparbergsområdet; några kända förekomster är Ljusnarsberg, Kaveltorp, Ställberg, Moss- och Sköttgruvorna och Wigström. I området är den geologiska informationen huvudsakligen från 1980-talet. De geofysiska underlag som användes då var inte lika detaljerade som de som numera finns att tillgå. Uppfattningen om hur bergarterna har bildats har delvis förändrats sedan dess. Lägesbestämningar förr i tiden gjordes utan hjälp av GPS. Det finns alltså ett behov av kompletteringar och förtätning av informationen samt eventuellt omtolkningar i en del fall.

De geologiska och geofysiska undersökningarna bedrevs längs ett antal profiler tvärs förmodad lagerföljd och strukturer (fig. 1 och 3).

En lägesrapport (Ripa & Brolin 2022) beskrev de insatser som gjordes i fält under säsongen 2021 och några preliminära resultat därav.

En åldersbestämning gjordes av Patrick Casey (se avsnitt Åldersbestämning).

Koordinater anges enligt SWEREF99 TM.

TIDIGARE ARBETEN

En undersökning av Magnusson (1940) beskrev berggrunden i projektområdet och dess omgivningar samt då kända mineraliseringar, i den publikationen finns även hänvisningar till ännu tidigare arbeten. Modernare arbeten som omfattar delar av projektområdet utfördes av Lundström (1985, 1995), Strömberg (1988) och Ripa (1998). Andra arbeten som relaterar till projektområdet är Parr & Rickard (1987), Parr (1988) och Vandenberghe m.fl. (2020). Även några prospekteringsrapporter berör områdets bergarter, till exempel Sädbom & Sandahl (1987) och Sädbom (1988). Vulkanismen i Bergslagen beskrevs av Allen m.fl. (1996). Översiktliga beskrivningar av berggrunden i hela Bergslagen finns i Geijer & Magnusson (1944), Stephens m.fl. (2009) och Stephens & Jansson (2020). Bergslagens mineraliseringar beskrevs av Tegengren m.fl. (1924) och Geijer & Magnusson (1944).

De första yttäckande geofysiska flygmätningarna i området genomfördes mellan 1969 och 1973 under ledning av SGU och innefattade magnetfält och gammaspektrometri. År 1973 utfördes även VLF-mätningar med en sändare. Flygmätningarna gjordes i gjordes i öst–västlig riktning med 200 m mellanrum mellan flyglinjerna och den nominella flyghöjden var 30 m över markytan. En tolkning av magnetfältet från dessa mätningar, tillsammans med petrofysiska och gravimetriska mätningar, presenterades av Nisca (1981) i en rapport för kartområdet 11F Lindesberg NV.

Under 2016 och 2017 samlades nya, moderna geofysiska data in, med högre upplösning och noggrannare positionsbestämning. Dessa inkluderade även VLF-mätningar gjorda med två sändare. De nya flygningarna utfördes i riktningen 130–310 grader, med en linjesepearation på 200 m och en nominell flyghöjd på 60 m. Flygriktningen är mer optimal för området, eftersom den i allmänhet då är vinkelrät mot den huvudsakliga strukturriktningen i området.

Den nya datamängden möjliggjorde skapandet av en karta över den skenbara resistiviteten som inte är beroende av förhållandet mellan flygriktning och strukturriktningar i området, vilket var fallet för de tidigare VLF-mätningarna som endast utnyttjar en sändare. Inom projektområdet finns också historiska geofysiska data, som SGU har erhållit genom rapportering till Bergsstaten från prospekteringsbolag, vars sekretess har löpt ut. Ytterligare geofysiska data finns även från Sveriges Geologiska AB (SGAB) i SGU:s arkiv. Figur 2 visar områden med dessa data.

FÄLTARBETEN

Under fältsäsongerna 2021 och 2022 gjordes 16 veckors geologiska fältarbeten i projektområdet; åtta av Magnus Ripa samt fyra vardera av Stefan Andersson (2022) och extrageolog Alice Bäckström (2021). Karteringen följde i stort de planerade profilerna (fig. 1). Längs dessa har 172 observationer på 254 hällar och gruvhål utförts. Data har matats in i SGU:s hälldatabas. Femton prover togs för tunnslipstillverkning och kemisk analys samt två prover för åldersbestämning. Resultaten av de kemiska analyserna har matats in i SGU:s litogeokemiska databas.

Det geofysiska fältarbetet sträckte sig över totalt sex veckor och utfördes av Cecilia Brolin under fältsäsongerna 2021 och 2022. Insamlingen av geofysiska data följde i huvudsak de planerade profilerna (fig. 1 och 3). Dock gjordes vissa anpassningar för de geofysiska profilmätningarna med hänsyn till tolkningar av det geofysiska underlaget och tillgänglighet i fält.

Inom ramen för detta projekt utfördes totalt 26 magnetometerprofiler med en sammantagen längd av 64 km. Längs sex av dessa profiler samlades även VLF-data in. Mätningar av naturlig strålning (gammaspektrometri) genomfördes på 65 platser och omfattade totalt 74 bergarter. Dessutom samlades 71 berggrundsprover in från hällar och varp för mätning av petrofysiska egenskaper. Figur 3 visar det geografiska läget för insamlade geofysiska data inom detta projekt. Alla data har arkiverats och finns att tillgå i SGU:s geofysiska databaser.

SGU har inom ytterligare två projekt genomfört överlappande arbete inom projektområdet. Arbetena av Robert Berggren (Lynch m.fl. 2023) och Daniel Sopher (Casey m.fl. 2023) har bidragit till att uppdatera tillgängligt geofysiskt underlag, även om fokus har varit olika i projekten. Dessutom har SGU:s systematiska och länsvisa inventering av fyndigheter nyligen avslutats i Ljusnarsbergs kommun, och mineralresursdatabasen har uppdaterats.

Observationer och tolkningar av samtliga insamlade data ligger till grund för en uppdatering av SGU:s kartdatabas. En förenklad version av kartbilden visas i figur 1.

▶ Figur 1. Förenklad bild av berggrunden i projektområdet (inom röd ram) enligt SGU:s uppdaterade kartdatabas i skala 1:50 000. Geografisk information enligt Lantmäteriets karta i skala 1:1 miljon, sjöytor enligt Lantmäteriets vägkarta. Blå, streckade linjer med nummer visar profilerna för geologisk undersökning.

Simplified geological map of the bedrock in the project area (within red frame). It is based on the now updated 1:50 000 SGU database. Numbered blue, hatched lines mark locations of the investigated traverses.





Figur 2. Polygoner som visar områden vari geofysiska mätningar gjorts i prospekteringssyfte. Bakgrunden är höjddata från Lantmäteriets databas (bearbetad med lutningsanalys).

Location of areas where geophysical investigations for prospecting purposes have been performed. The background map is processed elevation data.



Figur 3. Geofysiska observationer och profilmätningar utförda inom detta projekt. *Geophysical observations and profiles measurements performed within this project.*

BERGGRUNDEN

Både Magnusson (1940) och Lundström (1985) beskriver att ytbergarterna i projektområdet ligger i en nordsydligt strykande synklinal med metasedimentära bergarter som högsta stratigrafiska nivå. Magnusson (1940) ansåg att synklinalen var asymmetrisk i det att han inte kunde identifiera samma bergartsled i östra veckbenet som i det västra, och tolkade detta som att en regional förkastning fanns direkt öster om de metasedimentära bergarterna. Lundström (1985) hittade dock flera hällar (i flodfåror och längs nya vägar) på östra sidan som visade samma eller liknande bergartsled som finns på den västra och avfärdade behovet av någon förkastning.

Lundström (1985) indelade ytbergarterna i projektområdet i tre formationer. Underst den vulkaniska Vasslandformationen, däröver den också i huvudsak vulkaniska Uskenformationen och överst den sedimentära Mårdshytteformationen. Formationerna enligt Lundström (1985) indelas vidare i olika led som i stora drag överensstämmer med de som Magnusson (1940) beskrev.

Generell bild

SGU:s aktuella kartering visar preliminärt på samma bild som framförts av tidigare nämnda äldre undersökningar. De få uppåtbestämningar vi kunnat göra visar att lagren i ytbergarterna i områdets västra del blir yngre mot öster och att de metasedimentära bergarterna ligger högt i lagerföljden. Skillnader mellan öster och väster i synklinalen är att det i öster finns betydligt färre kända mineraliseringar, att dacitisk sandsten och dacitisk koherent vulkanit saknas, att det är högre metamorf grad samt att granit- och pegmatitådror är vanligare. Tolkningen är att tämligen stora och ur mineraliseringssynpunkt viktiga faciesskillnader finns på ömse sidor av synklinalens längdaxel.

Den lägsta stratigrafiska nivån i synklinalens västra veckben utgörs av lagrade vulkaniska sandstenar med dacitisk sammansättning (fig. 4A). De finns vid södra delen av profil 9 (fig. 1). Undersökningar av Allen m.fl. (1996) i området strax väster om denna profil visade att dessa dacitiska sandstenar lokalt associerar med fältspatporfyriska koherenta facies, bland annat i form av vulkaniska bomber, med liknande sammansättning. Isotopanalyser av zirkoner i prov av sandstenen visar åldrar mellan 1 926 och 1 870 miljoner år med en topp kring cirka 1 899 miljoner år (Vandenberghe m.fl. 2020). Vid norra delen av profil 9 finns omväxlande klastisk metadacit och koherent metadacit. Den senare har inslag av blandade gångar av dels intermediär, dels granitisk sammansättning (fig. 4B); sannolikt representerar bergarten Storsjöformationen enligt Lundström (1985). Den klastiska metadaciten har lokalt till synes centimeter- till decimeterstora xenoliter av vulkanisk siltsten.

De metadacitiska sandstenarna överlagras åt nordost av först fältspatporfyriska och därefter fältspat- och kvartsporfyriska vulkaniska breccior eller konglomerat vari klasterna i en del fall tolkas som decimeterstora pimpstenar (fig. 4C–D). Strökornens karaktär, från fältspat till fältspat plus kvarts till kvarts plus fältspat, antyder att dessa tuffer graderar från dacitisk till ryolitisk uppåt i lagerföljden. Bergarterna finns längs profilerna 5, 7 och 9 (fig. 1). Längs profil 7 finns en diffust bandad, glest kvartsporfyrisk och lokalt magnetitförande metaryolit (fig. 4E), som tolkades som ett möjligt intrusiv eller en lava av Ripa & Brolin (2022), men som efter revision omtolkas som metavulkanisk siltsten.

De i detta avsnitt nämnda vulkaniska dacitiska sandstenar, porfyriska tuffer och underordnade horisonter av surare silt- till sandstenar torde tillhöra det som Lundström (1985) kallade Vasslandformationen. Växlingen mellan dessa bergarter och inslaget av koherenta dacitiska facies är i en skala som är svår att exakt visa i föreliggande kartbild (jfr med fig. 3 i Allen m.fl. 1996), som i området väster och sydväst om Ställdalen får betraktas som generaliserad.

▶ Figur 4. A. Metadacitisk vulkanisk sandsten (6639694/496117). Foto: Alice Bäckström. B. Koherent metadacit med blandade gångar av metakvartsdiorit och granit (6641119/495504). Foto: Magnus Ripa. C. Fältspatporfyriskt vulkaniskt konglomerat med mörka klaster eller inneslutningar (6641055/495578). Foto: Alice Bäckström. D. Kvarts- och fältspatporfyriskt vulkaniskt konglomerat med mörka partier som tolkas som pimpstenar (6644474/494381). Foto: Magnus Ripa. E. Diffust bandad, glest kvartsporfyrisk metaryolit (6642653/494916). Foto: Alice Bäckström. F. Metavulkanisk silt- till sandsten med skarnaggregat (6650909/498042). Foto: Alice Bäckström. G. Metagråvacka (6645051/497838). Foto: Stefan Andersson.

A. Metadacitic volcanic sandstone. **B.** Coherent metadacite with composite dykes of metaquartz diorite and granite. **C.** Feldspar-phyric volcanic conglomerate with dark clasts or inclusions. **D.** Quartz- and feldspar-phyric volcanic conglomerate with dark parts interpreted as possible pumice. **E.** Diffusely banded, sparsely quartz-phyric metarhyolite. **F.** Metavolcanic silt- to sandstone with skarn aggregates (possibly boudins from former beds). **G.** Metagreywacke.



Längs profilerna 1 till 4 och väster om de metasedimentära bergarterna (fig. 1) domineras berggrunden helt av ryolitiska till dacitiska vulkaniska silt- till sandstenar, lokalt skarnbandade eller med skarnaggregat (fig. 4F). Sannolikt överlagrar dessa de porfyriska tufferna och torde enligt Lundströms (1985) nomenklatur tillhöra Uskenformationen. Över silt- till sandstenarna kommer den sedimentära formationen (Mårdshytteformationen enligt Lundström 1985) som vi tolkar som en metagråvacka med omväxlande ursprungligen sandiga och leriga lager (fig. 4G). Lokalt är den rikligt porfyroblastisk med andalusit och cordierit.

Lagerföljden från metagråvackan och österut visas bäst i profil 6 samt i viss mån i profilerna 1 och 8 (fig. 1). Metagråvackan underlagras i söder och öster av en fint laminerad och lagrad, ryolitisk till dacitisk metavulkanisk siltsten-sandsten tillhörande Uskenformationen (fig. 5A). Den har även inslag av mörkare sedimentära lager och flera ca 1 dm breda skarnlager (fig. 5B). Precis i anslutning till och sydöst om Hånsgruvorna finns dels en finkornig, bandad basisk bergart, dels en jämnkornig och finkornig basisk intrusivbergart (fig. 6A–B). Den senare breccieras lokalt av finkornig granit.

Från ungefär Hånsjön och österut finns mestadels strökornsförande, ryolitiska till dacitiska tuffer utan tydlig lagring eller struktur. Bergarterna är fältspat- och kvartströkornsförande eller bara kvartsströkornsförande (fig. 7A) och tillhör förmodligen Vasslandsformationen. Strökornen är ofta kantiga och har varierande storlek. Lokalt saknas till synes strökorn och tydlig lagring helt i vulkaniten. På några platser är de ryolitiska tufferna omvandlade vilket antingen uttrycker sig som ansamlingar av mörka aggregat av troligen amfibol eller som en tydlig pseudobrecciering. Det sistnämnda förekommer i närheten till Olovsgruvorna, strax väster om riksväg 50. Där finns tydliga kvartströkornsförande "klaster" av ryolitisk tuff omgiven av magnetitrik fyllnad eller mellanmassa (fig. 7B). I varp från den norra Olovsgruvan förekommer även omvandlad metavulkanit med antofyllit eller gedrit.

Söder om den norra Olovsgruvan finns möjligen (osäker häll) ett litet intrusiv av en grå, muskovit- och biotitförande granit. Även öster om riksväg 50 förekommer kvartsströkornsförande ryolitisk tuff utan tydlig lagring eller struktur. Vidare mot öster gränsar ytbergarterna mot en rödgrå, massformig och ojämnkornig yngre granit, kontakten är inte blottad.

Undersökningarna längs övriga profiler (10–12; fig. 1) bekräftar i huvudsak bilden som visas av profilerna 1–9, även om bergarternas stratigrafiska läge i relation till Mårdshytteformationen är oklar.



Figur 5. A. Lagrad ryolitisk till dacitisk siltsten-sandsten (6644657/498163). B. Samma häll som i A fast med mer översikt som även visar skarnband. Foton: Stefan Andersson.

A. Bedded rhyolitic to dacitic siltstone-sandstone. B. As in A but zoomed-out to include skarn bed.



Figur 6. A. Bandad metabasit (6644739/498194). B. Intrusiv homogen metabasit (6644317/498400). Foton: Stefan Andersson.

A. Banded metabasic rock. B. Intrusive, homogenous metabasic rock.



Figur 7. A. Kvartsströkornsförande metaryolitisk tuff (6644534/500230). **B.** Pseudobreccia i form av kvartströkornsförande metaryolitisk tuff med en magnetitrik fyllnad eller mellanmassa, blockobservation (6645339/500768). Foton: Stefan Andersson.

A. Quartz-phyric metarhyolitic tuff. **B.** Pseudobreccia of magnetite alteration in quartz-phyric metarhyolitic tuff, seen in local boulder.

Detaljer i berggrunden längs profilerna

Här beskrivs ytterligare detaljer som observerats och som kan vara av intresse längs några av profilerna.

Profil 1

Norr och väster om Smaltjärnen längs profil 1 (fig. 1) finns en fin- och jämnkornig till glest plagioklasporfyrisk bergart som på befintlig tryckt berggrundskarta (Strömberg 1988) markerats som metadacit. Den är på vissa ytor nästan diabaslik (fig. 8A), men mineralogisk och kemisk sammansättning visar att det verkligen är en dacit. Bergarten saknar tydliga primära strukturer och är homogen över ett ganska stort område, och vår tolkning är att den representerar en subvulkanisk intrusion snarare än en ytbergart. Längs skogsbilvägen alldeles intill och öster om Smaltjärnen finns fina blottningar av Uskenformationen med metavulkanisk siltsten-sandsten med skarnaggregat och mm-tunna, mörkare skikt. Lokalt finns sulfidrostiga fläckar. Korsskiktning antyder att upp i lagerföljden är åt öster (se även Strömberg 1988). En del sprickor och mindre förkastningar gör dock att tolkningar av upp är vanskliga.

Vidare österut (fig. 1) blir metavulkaniterna mer och mer glimmerrika och sedimentlika, möjligen finns även sedimentära inslag. Vår tolkning är dock att den sedimentära formationen är tunnare här än vad som framgår av befintlig tryckt karta (Strömberg 1988), då inga av våra observationer i dagen har påträffat säker metagråvacka. Däremot finns den i borrkärnor härifrån och i varpen vid Vinterhalsfältet. Mineraliseringarna förekommer här som sprickfyllnader av zinkblände, blyglans, pyrit och magnetkis i en vulkanit och i ett manganrikt skarn tillhörande Uskenformationen och sitter alltså inte i gråvacka. Noterbart är också att metatonalit finns i varpen i de sydligaste delarna av Vinterhalsfältet och den innehåller kvartsrika sprickfyllnader och impregnering av zinkbländeblyglans. Det visar dels att metatonalit finns, även om den bara lokalt går i dagen, dels att metatonaliten kanske har med den mineraliserande processen att göra.

Profil 2

Profil 2 (fig. 1) börjar i väster liksom profil 1 i den subvulkaniska metadaciten. Mot öster finns skarnförande och lokalt sulfidmineraliserad metavulkanisk siltsten-sandsten. Strax väster om utbredningen av metagråvacka finns dock även inslag av kvartsporfyrisk metavulkanit. Öster om metagråvackan är de vulkaniska bergarterna mer svårtolkade och den metamorfa graden högre. Inslag av gångar av yngre granit och pegmatit förekommer. Profilen slutar vid Wigströmsgruvan.

Profil 3

Profil 3 (fig. 1) börjar vid Blybergsgruvorna 1 000 m nordväst om Ställberg. Moränen öster om gruvorna är rik på kraftigt sulfidrostiga block. Vid Hörksälven och Enbo kraftstation strax nordväst om Ställberg finns starkt, men i tunna ådror kvartsbreccierad felsisk metavulkanit. Breccieringen torde relatera till ett geofysiskt tolkat lineament här (fig. 1) vilket även är parallellt med älvens lopp.

Mellan 700 och 1 000 m sydost om Ställberg finns en varietet av metabasit som är delar av det som Magnusson (1940) kallade agglomerat. Två olika typer eller facies av denna fragmentförande bergart har noterats makroskopiskt: dels en med fragment av vulkanisk siltsten (fig. 8B), dels en med fragment av andra mafiska bergarter (fig. 8C). Tunnslip av den förra visar att även här finns mafiska xenoliter som i sin tur kan innehålla millimeter- till centimeterstora xenoliter av siltsten (se även avsnitt *Petrografi*). Tolkningen är en ytnära mafisk intrusion vars randfacies lokalt har breccierat siltsten och att randfaciet sedan i sin tur bildat xenoliter i intrusionen. Denna mafiska brecciabergart är inte samma sak som daciten längs profilerna 1 och 2, och kartbilden enligt Strömberg (1988) har reviderats.

Öster om Mårdshytteformationen finns metavulkanisk sandsten med granitådror och lokala skarniga block, vilket kan tolkas som att det är Uskenformation här.

Profil 4

Profil 4 (fig. 1) domineras av metavulkanisk siltsten-sandsten med enstaka skarnlager på ömse sidor av metagråvackan i Mårdshytteformationen. Längst i väster finns osäker korsskiktning som visar att upp i lagerföljden är åt öster. Strax öster härom finns dock samma geofysiskt tolkade lineament som vid profil 3, och det är osäkert hur långt man kan extrapolera uppåtbestämningen. I området mellan sjöarna Stora Kumlan och Stora Krigstjärnen finns en hel del intrusiv metabasit, troligen som gångar. Vid kontakt mot metavulkaniterna verkar den kunna orsaka sulfidmineraliseringar i sig själv och sidoberget (fig. 8D).

Uppåtbestämningen åt väster i synklinalens östra veckben som gjordes av Lundström (1985) kunde inte verifieras.



Figur 8. A. Välbevarad, diabaslik metadacit (6651293/497956). Foto: Alice Bäckström. **B.** Metabasisk bergart med felsiska fragment (6648406/496240). Foto: Magnus Ripa. **C.** Metabasisk bergart med mafiska fragment (6648434/496182). Foto: Magnus Ripa. **D.** Sulfidomvandlad metabasit i kontakt mot vulkanisk siltsten (6646138/495145). Foto: Magnus Ripa.

A. Subvolcanic metadacitic intrusion. **B.** Metabasic rock with felsic clasts. **C.** Metabasic rock with mafic clasts. **D.** Sulphide alteration in metabasic intrusive rock and volcanic siltstone country rock.

Profil 5

Profil 5 (fig. 1) domineras av kvarts- eller kvarts- och fältspatporfyriska metatuffer med litiska fragment och lokalt pimpstenar. Det finns dock även metavulkanisk siltsten-sandsten längs profilen, och sannolikt representerar området från profilens västra del fram till och med Svartviksfältet åtminstone två vulkaniska massflöden som graderar till jämnkorniga facies. Längst i väster ser det ut att finnas ett kvartsporfyriskt, koherent vulkaniskt, möjligen subvulkaniskt, facies och skarnbandad vulkanisk siltsten.

Profil 6

Bergarterna längs profil 6 (fig. 1) beskrevs i den generella texten ovan, men ett par detaljer invid Stora Hånsgruvan bör nämnas. Mineraliseringarna här sitter, liksom de vid Vinterhalsfältet (se profil 1), i absolut översta delen av Uskenformationen. Här är de dessutom belägna precis i synklinalens omböjningszon söder om Mårdshytteformationens sydligaste utbredning. En osäker graderad skiktning i häll vid skogsbilvägen (fig. 5A) och en säkrare graderad skiktning en bit norr om här (fig. 9A) visar upp åt väster medan belastningsstrukturer intill kanten av gruvhålet (fig. 9B) visar upp åt öster.

Tunnslip av kopparmineraliseringen (se även avsnittet *Petrografi* nedan) visar att kvartsådring associerad med den även ledde till en omgivande mm-tunn glimmeromvandling (nu flogopit) av sidoberget.

Denna glimmer definierar en första foliation som är parallell med kvartsådrorna. Ådrorna och första foliationen veckas öppet med bildning av en ny gles axialplansfoliation. Detta torde betyda att mineraliseringen som yngst är syn-D1. Glimmern i grundmassan i värdbergarten är muskovit och möjligen biotit.

Profil 7

Längst i väster av profil 7 (fig. 1) togs prov ALB210029A av en kvarts- och fältspatporfyrisk, lokalt fragmentförande metaryolit för bland annat åldersbestämning (fig. 10A; se avsnitt *Åldersbestämning*).

I östra delen av profilen finns enligt Lundström (1985) en metasedimentär bergart. Dess karaktär, cordieritförande glimmerskiffer (fig. 10B), avviker dock en del från den hos Mårdshytteformationen i allmänhet, och det är sannolikt att detta snarare är en hydrotermalt omvandlad och metamorf vulkanisk bergart.



Figur 9. Uppåtbestämningar. A. Graderad skiktning av sand på finare sand. Uppåt är upp i bilden och motsvarar åt väster. (6644910/498201). B. Belastningsstrukturer i metavulkanisk siltsten. Uppåt är upp i bilden och motsvarar åt öster. Notera även rostvittring i vissa lager (6644603/498151). Foton: Magnus Ripa.

Way-up determinations. **A.** Graded bedding of sand on finer sand. Stratigraphic younging is up in the photo which corresponds to towards west. **B.** Load casts/flame structures in metavolcanic siltstone. Stratigraphic younging is up in the photo which corresponds to towards east. Note rusty sulphide weathering in some beds.



Figur 10. A. Lokalen för provtagning av dateringsprov ALB210029A (6642523/494706). Foto: Magnus Ripa. **B**. Cordieritförande glimmerskiffer, tolkas nu som hydrotermalt omvandlad och metamorf vulkanit (6642651/496916). Foto: Alice Bäckström.

A. Sampling site for dating sample ALB210029A. *B.* Cordierite-bearing mica schist interpreted as hydrothermally altered and metamorphosed volcanic rock.

Profil 8

Profil 8 (fig. 1) passerar bland annat Finngruvorna (se omslagsbilden). Den amfibolomvandling av sidoberget här som framgår av varpbitarna liknar den som noterats längre norrut vid till exempel Olovsgruvorna (se avsnitt *Generell bild*).

Profil 9

Viktigare observationer längs profil 9 (fig. 1) har beskrivits i den generella beskrivningen ovan. Att notera är dock att ytterligare observationer gjordes i öst–västlig riktning vid profilens norra delar.

Ett prov av koherent metadacit för åldersbestämning togs vid profilens norra del, men för få zirkoner för bestämning hittades.

Profil 10

Profil 10 (fig. 1) visar hur berggrunden ser ut i och nära det serorogena granitmassivet i öster. Dominerande längs profilen är heterogen, ojämnkornig granit till pegmatit. På några platser finns aplitiska partier med röd, finkornig grundmassa och tydliga, grövre kvartsströkorn (upp till cirka 4 mm) och 1–2 mm stora, mörka biotitaggregat. Lokalt finns även tunna, parallella kvartsband i den aplitiska varieteten.

Enligt den tryckta berggrundskartan (Lundström 1985) ska det finnas en hel del metavulkanit i området, men vår uppfattning är att den som finns i huvudsak uppträder som xenoliter i de yngre intrusivbergarterna. Metavulkaniten genomslås i förekommande fall av flera gångar (fig. 11A) och större sammanhängande partier av granit-pegmatit och är starkt folierad till delvis gnejsig (fig. 11B). Primära texturer är inte vanliga, men grövre korn av kvarts i en annars relativt homogen grundmassa har observerats. I den förgnejsade vulkaniten syns även en viss variation i kornstorlek mellan olika skikt, som kan vara ursprunglig lagring, men även något som kan ha uppkommit genom omkristallisation.

Kartdatabasen har uppdaterats så att området här domineras av serorogena bildningar.



Figur 11. A. Kvartsströkornsförande metavulkanit klippt av granit-pegmatit (6641081/503656). B. Förgnejsad metavulkanit (6640795/503920). Foton: Stefan Andersson.

A. Quartz-phyric metavolcanic rock cut by granite-pegmatite dyke. B. Gneissic metavolcanic rock.

Profil 11

Profil 11 (fig. 1) är så pass långt från Mårdshytteformationen att dess position i synklinalen är svårbedömd. Dock motsvarar möjligen lagerföljden i den västra delen i huvudsak den vid till exempel profil 5, med omväxlande marmor- och skarnförande metavulkaniska sandstenar och strökornsförande vulkaniter. Öster om Kopparberg är berggrunden ungefär som längs profil 10, men med inslag av metabasit.

De metavulkaniska sandstenarna är ryolitiska till dacitiska och tydligt lagrade. Lokalt finns inlagringar av kalcitisk marmor och skarn. Granat förekommer som porfyroblaster, och den metamorfa graden är högre här än längre norrut. Strax väster om malmfälten i Kaveltorp och Kopparberg är bergarten svårtolkad men fortfarande tydligt lagrad. Den är mer omvandlad med disseminerad magnetit och klaster eller blaster av amfibol.

Den strökornsförande metavulkaniten är svårtolkad eftersom det på vissa ytor är svårt att säkert bedöma om det är porfyrisk textur eller dåligt sorterad sandsten. Bergarten är ljusgrå och lagrad, strökornen består av fältspat och kvarts som har varierande form, normalt är upptill 2 mm stora (lokalt dock upptill 7 mm) och kan förekomma glest till ganska rikligt (fig. 12A). Lagringen utgörs lokalt av mörkare band med grova fältspatkorn (fig. 12B). Mörka strimmor av biotit och magnetit definierar en foliation.

Vid Kaveltorp- och Ljusnarsbergsfälten består blottat berg av malm, skarn och omvandlingszoner av biotit och granat knutna till malmbildningen (fig. 13A). I varpen finns grå, lagrad metavulkanit med tunna mörkare skikt och finkornig marmor som kan vara rester av ursprunglig och mindre omvandlad kalksten.

I de östra delarna av Kopparberg ökar inslagen av yngre granit och pegmatit till den grad att det blir huvudbergarten i flera hällar. Dock finns i flera hällar omkring Finnkullbergets naturreservat mestadels kvartsströkornsförande men lokalt även fältspatsströkornsförande ryolit till dacit. Strökornen är upp till cirka 5 mm stora och kantiga till runda. Det finns 1–2 mm breda och upp till 1 cm långa mörka strimmor och svårtolkade, upp till centimeterstora, äggformade "bollar". Vulkaniten är starkt breccierad av yngre granit i gångar, ådror och större, mer homogena kroppar (fig. 13B). Vid kontakt mot granit kan vulkaniten innehålla magnetit. Möjligen kan hela vulkanitområdet här tolkas som en så kallad "*roof pendant*".

Öster om Kopparberg finns bara enstaka blottningar med finkornig, jämnkornig, strukturlös metavulkanit, medelkornig yngre granit och svart, fint medelkornig metabasit som ådras av yngre granit och pegmatit (fig. 13C).



Figur 12. A. Kvarts- och fältspatsströkornsförande metaryolit-dacit (6637023/497561). B. Mörka band med fältspatsströkorn i bergarten i A (6637023/497561). Foton: Stefan Andersson.

A. Quartz- and feldspar-phyric metarhyolite to -dacite. B. Same rock as in A with dark, feldspar-phyric bands.



Figur 13. A. Grovkornig biotit-granatskiffer i stora, lokala block söder om Ljusnarsbergsfältet (6637677/499342). **B.** Kvartsoch fältspatsströkornsförande, folierad metavulkanit som genomslås av granitgångar (6637540/500797). **C.** Fint medelkornig amfibolit med gångar av massformig yngre granit (6637436/502325). Foton: Stefan Andersson.

A. Coarse biotite-garnet schist seen in local boulders south of the Ljusnarsberg ore-field. **B.** Quartz- and feldspar-phyric, foliated metavolcanic rock cut by granite dykes. **C.** Fine medium-grained amphibolite cut by dykes of massive young granite.

Profil 12

Profil 12 ligger ännu längre bort från synklinalens centrum men torde ungefär motsvara västra delen av profil 11.

I västra delarna finns en på vittrad yta vitgrå, finkornig, tydligt lagrad, ryolitisk metavulkanisk sandsten. Den har varierande mäktighet på lagren, och det finns inlagrade, tunna, mörka skikt och upp till cirka 30 cm mäktiga, delvis skarnomvandlade kalcitiska marmorlager (fig. 14A). Det finns en variation i kornstorlek mellan individuella lager men inom lagren är den jämnkornig. Det finns enstaka grövre korn av kvarts, dock mindre än 1 mm. Lokalt uppträder en amfibolrik, bandad bergart som kan representera mer omvandlade skarnlager eller metabasit.

Mot öster finns en kvarts- och fältspatsströkornsförande metavulkanit som vidare mot öster övergår till enbart kvartsströkornsförande. Strökornen är här 1–5 mm stora, mestadels kantiga, även om rundade korn också kan observeras. Lokalt innehåller kvartsporfyren upp till 1,5 mm stora magnetitkorn och är tydligt lagrad (fig. 14B). I vissa lager finns röda granatporfyroblaster (fig. 14C). Foliationen utgörs av biotitstrimmighet.

Längre österut genomslås ytbergarterna av granitiska till pegmatitiska gångar och större kroppar av massformig, ojämnkornig, heterogen granit-pegmatit (fig. 14D). Dessutom uppträder mer jämnkornig granit med xenoliter av ytbergarter.



Figur 14. A. Ryolitisk metavulkanisk sandsten med inlagrad marmor (6634805/498544). **B.** Kvartsströkornsförande metavulkanit med magnetitkorn (6634687/498724). **C.** Fältspat- och kvartsströkornsförande metavulkanit med granatporfyroblaster i tunna mörka skikt, blockobservation (6635067/498588). **D.** Svagt porfyrisk och folierad metavulkanit med klippande granit-pegmatitgångar (6634548/499445). Foton: Stefan Andersson.

A. Rhyolitic metavolcanic sandstone with marble bed. **B.** Quartz-phyric, magnetite-bearing metavolcanic rock. **C.** Feldsparand quartz-phyric metavolcanic rock with garnet porphyroblasts in thin, dark layers, seen in local boulder. **D.** Weakly porphyritic and foliated metavolcanic rock with granite-pegmatite dykes.

Petrografi

Tjugo tunnslip har framställts av 15 prover.

Tre prover av metaryolit som i fält bedömts vara tuff har undersökts. Kornstorleken i grundmassan är 0,03–0,1 mm och i strökornen 0,2–3 mm. Strökornen är både av kvarts och fältspat. Fältspatens sammansättning är oklar i något prov, dess brytningsindex är lägre än det för kvarts. I ett annat prov är strökorn av fältspaten saussuritiserad med påväxt av epidot och alltså troligen plagioklas. Övriga mineral som identifierats är kalifältspat, muskovit, biotit, klorit, epidot, opakmineral och zirkon (osäkert). Klorit växer på biotit och förekommer som sprickfyllnad. Epidoten kan delvis vara allanitisk. Ett prov av en något skarnig bergart innehåller dessutom aktinolit, titanit och karbonat, det senare mineralet sannolikt som del i sprickfyllnad. En del amfibol i den skarniga bergarten ser ut att sitta i klaster, och det är oklart om inte en del strökorn representerar xenokrister snarare än fenokrister. Ytterligare ett prov innehåller drygt millimeterstora aggregat som sannolikt är litiska klaster. Tre prover av metaryolit som bedömts vara koherent har undersökts. Kornstorleken i grundmassan är 0,03–0,05 mm och i strökornen 0,1–1,5 mm. Grundmassan är i något prov ojämnkornig till seriat. Strökornen består av undulös kvarts med lokala korrosionsbukter. Övriga mineral är biotit, prehnit, muskovit, plagioklas, titanit (osäkert), kalifältspat, opakmineral, epidot och ett oidentifierat mineral (grönt, nästan isotropt). Plagioklasen är sericitiserad eller saussuritiserad. Prehnit växer på biotit.

Två prover av metavulkanisk siltsten-sandsten har undersökts. På grund av finkornigheten är det oftast svårt att i fält exakt bedöma sammansättningen på dessa bergarter, och ofta kodas de som ryolit till dacit, men i de här fallen ger den kemiska sammansättningen att de är ryoliter. Kornstorleken i grundmassan är 0,03–0,05 mm och enstaka grövre kvartskorn är 0,1–0,7 mm. Övriga mineral är biotit (delvis som millimeterstora aggregat tillsammans med opakmineral), karbonat, opakmineral, muskovit, plagioklas, fältspat (med lägre brytningsindex än kvarts), turmalin (enstaka kristall), ospecificerat kalksilikat och epidot (osäkert).

Ett prov av mineraliseringen i Stora Hånsgruvan som sitter i metavulkanisk siltsten-sandsten har undersökts. Förutom det som observerats enligt ovanstående så noteras att kopparkismineraliseringen (makroskopisk bestämning) är associerad med kvartsådring. Kvartsådringen ledde till en omgivande mm-tunn omvandling i sidoberget. Omvandlingsmineralet nu är flogopit som definierar en första foliation som är parallell med kvartsådrorna. Både den första foliationen och ådrorna är öppet veckade varpå en andra glesare axialplansfoliation bildats. Glimmern i grundmassan är muskovit och möjligen någon biotit.

Tre prover av metadacit har undersökts, två av dessa tolkades i fält vara subvulkaniter (eller åtminstone koherenta) medan ursprunget för ett prov är oklart. Kornstorleken i grundmassan hos samtliga är 0,05–0,1 mm och strökornen är 0,1–1,5 mm. Plagioklas, bland annat som strökorn, dominerar tillsammans med biotit eller hornblände. Plagioklasen är i varierande grad saussuritiserad eller sericitiserad, lokalt växer epidot på omvandlingen varpå det förra torde vara fallet. Övriga mineral som har identifierats är kvarts, apatit, opakmineral, kalifältspat, titanit, allanit, prehnit och zirkon (osäkert). Kalifältspaten ser mest ut som inneslutningar i plagioklas men det kan vara antipertitisk textur. För en del korn är det svårt att bedöma om de är epidot eller allanit. Prehnit är sekundärt i biotit.

Två prover av intrusiv metabasit har undersökts. Det ena provet är från den magmatiska breccian vid profil 3 (fig. 1), det andra är från strax nordost om Stora Hånsgruvan (profil 6; fig. 1). I den magmatiska breccian ser man i fält decimeterstora felsiska klaster (fig. 8B). I slip ser man drygt millimeter- till knappt centimeterstora xenoliter av dels mer felsiska (kvarts-fältspat), dels mer finkorniga och porfyriska mafiska sammansättningar. Både värdbergarten och de mafiska xenoliterna är amfibolporfyriska, den förra även något fältspatporfyrisk. Amfibolnålar växer in i en del felsiska xenoliter. En del mafiska xenoliter innehåller i sin tur felsiska xenoliter. Eventuellt är det så att en finkornigare varietet av mafiten plockat upp felsiskt sidoberg, sedan har den finkorniga varieteten och felsiska aggregat plockats upp av värdbergarten. Kornstorleken i grundmassan är 0,05–0,1 mm och i strökornen 0,5–1 mm. De mineral som identifierats är biotit, fältspat, aktinolit (svagt grönpleokroistisk), opakmineral och kvarts.

Mafiten vid Stora Hånsgruvan har ett bandat, finkornigt randfacies och bedömdes i fält att vara en metadiorit. I slip ser man att texturen är heterogen och ojämnkornig och visar en tämligen felsisk, fältspatrik bergart som ådras och har fläckar av mer hornblände- och biotitrika delar. Kornstorleken i grundmassan är 0,05–0,5 mm. Mineralen är hornblände, biotit, apatit, allanit, fältspat (möjligen två), kvarts och opakmineral. Hornbländet bildar en del relativt grova korn. Allanit är sekundärt och förekommer lokalt tillsammans med opakmineral. Ett prov av metagråvackan har undersökts. Två foliationer finns. Den första överväxtes av andalusitporfyroblaster. Detta krenulerades sedan av en andra foliation i hög vinkel. Kornstorleken i grundmassan är 0,03–0,1 mm och i porfyroblasterna >7 mm. De mineral som identifierats är andalusit, kvarts, muskovit, biotit, opakmineral, klorit, fältspat och cordierit. Kloriten är efter cordierit som bara finns som rester. En del fältspatkorn är rundade.

Uppdatering av och kommentarer till kartdatabasen

Ett problem vid profilkartering är att det är svårt att veta hur långt man kan extrapolera sina observationer och tolkningar. I de flesta fall blir ändringar av kartbilden därför bara gjorda precis längs linjen. I några fall kan man dock anta att det är rimligt att omtolka ett helt bergartsled. Några sådana ändringar har nämnts redan i de geologiska beskrivningarna ovan. Till exempel är utbredningen av metadacit som korsas av profilerna 1, 2 och 3 (fig. 1; jfr Strömberg 1988) ändrad även utanför linjerna. Likaså har hela området med metasedimentär bergart i östra delen av profil 7 (fig. 1) ändrats till hydrotermalt omvandlad, cordieritförande metavulkanit. Utbredningen av metasedimentär bergart vid och intill profil 1 (fig. 1) har ändrats. Stora delar av området längs profil 10 (fig. 1) har ändrats från övervägande metavulkanit till övervägande yngre granit.

Som framgår av figur 1 har ett antal lineament tolkats. Det har gjorts med hjälp av i första hand geofysik (se avsnitt *Geofysik*) och i viss mån topografi. I några fall kan lineamentets karaktär dokumenteras i fält men oftast är den samt eventuella rörelseriktningar och rörelsebelopp okända. Lineamenten avgränsar ett antal tektoniska linser vars relation till omgivningen är osäker.

Horisonten med manganrika skarnjärnmalmer är enligt vår tolkning inte kontinuerlig från Ställbergsfältet till Stora Krigstjärnsfältet, Svartviksfältet och Sundsgruvefältet (fig. 15B). Ställbergsfältet ligger i egen tektonisk lins och Stora Krigstjärnsfältet ansluter till Svartviksfältet via en i horisontalsnitt dextral deformationszon. Enligt magnetanomalier (se avsnitt *Geofysik*; fig. 15B) är det troligt att horisonten fortsätter från Sundsgruvefältet ända ner till Kaveltorp- och Ljusnarsbergsfälten, vilket kan ge en antydan om ungefär hur bergarterna i södra delen av projektområdet relaterar till synklinalens centrum.

De manganrika järnmalmernas läge i lagerföljden är i Ställbergs- och Stora Krigstjärnsfälten en bra bit upp i formationen med metavulkaniska siltstenar-sandstenar (Uskenformationen enligt Lundström 1985). Däremot ligger den i Svartviksfältet precis över formationen med omväxlande porfyriska tuffer och deras graderade toppar (Vasslandsformationen enligt Lundström 1985). Om nivån med manganrika skarnjärnmalmer utgör en ledhorisont betyder det att i de nordligare områdena avsattes (distal?) vulkanisk siltsten-sandsten samtidigt som (mer proximala?) vulkaniska massflöden avsattes i Svartviksområdet.

Den typ av penetrativ och tämligen utbredd amfibol- och lokalt även magnetitomvandling som bland annat finns vid och intill Olovs- och Finngruvorna har i det här projektet inte observerats i bergarterna i områdets västra delar och representerar en egen typ av mineraliserande process. Att omvandlingen ser ut att även sitta i klaster i vulkanisk tuff torde betyda att den är synvulkanisk.

GEOFYSIK

Metoder

Det geofysiska arbetet inom projektet omfattade sammanställning och tolkning av befintligt geofysiskt material samt insamling av nya data och modellering. Sammanställningen och tolkningen av befintligt material fokuserade huvudsakligen på de mest moderna flygmätta geofysiska data, som samlades in under 2016 och 2017, samt på markmätta gravimetriska data. SGU:s flygburna mätningar inkluderar mätningar av jordens magnetfält, gammaspektrometri och elektromagnetiska mätningar i VLF-bandet (eng. *Very Low Frequency*). Insamlingssystemet består av en Scintrex CS-2 magnetometer, en Radiation Solutions RSX-5 gammaspektrometer och ett av SGU byggt tvåfrekvens VLF-instrument. Tolkningen av data som samlats in från luften sker i en skala av cirka 1:50 000.

Från flygmätta magnetiska data tolkas konnektioner och lineament. Konnektionstolkningen innebär identifiering av strukturmönster i data, vilka huvudsakligen återspeglar sammanhållna sekvenser, till exempel lager eller bandning. Lineamentstolkningen innebär identifiering av avbrott i strukturer eller mönster, vilka främst representerar spröda strukturer, som förkastningar eller sprickor. Båda tolkningarna utförs på filtrerade och bearbetade data för att framhäva olika typer av mönster och även för att betona magnetiskt lågintensiva strukturer.

Även från flygmätta VLF-data tolkas lineament, vilka uppträder som lågresistiva stråk. Dessa representerar, likt magnetfältslineamenten, främst spröda strukturer. Dock är metoden känslig för befintlig infrastruktur som måste beaktas i tolkningen. VLF-metoden representerar också ytligare strukturer än tolkningar av magnetfältet.

Från flygmätta gammaspektrometriska data erhålls information om halterna av uran, torium och kalium i det översta marklagret. Genom analys av mönster i data kan olika bergarter eller olika anomala områden inom en och samma bergart ibland urskiljas.

Nya tyngdkraftdata med fokus på projektområdet samlades under 2021 in med hjälp av en Scintrex CG-5 gravimeter. Punkttätheten har därigenom förbättrats från 2,5 till 4,5 punkter per kvadratkilometer, vilket ger en mer högupplöst bild av tyngdkraftsmönstret.

Insamlingen av geofysiska data i fält omfattar både geofysiska observationer och provtagning samt profilmätningar. Båda typerna av insamling har huvudsakligen genomförts längs karteringsprofilerna (fig. 3), med vissa modifikationer av framför allt profilmätningarna baserat på de undersökta geofysiska anomalierna och terrängförhållandena.

Vid geofysiska observationer på häll görs en förenklad beskrivning (jämfört med geologens observation) av bergarten eller bergarterna, åtta mätningar av magnetisk susceptibilitet på varje bergart och mätning av gammastrålning med en handhållen gammaspektrometer, om möjligt, på tre punkter. I den mån det är möjligt slås dessutom en "stuff", det vill säga ett bergartsprov, lös från varje observerad bergart. Proven lämnas till SGU:s petrofysiska laboratorium i Uppsala för mätning av magnetiska egenskaper (susceptibilitet, K, och remanens, J) och densitet (D).

Profilmätningarna är antingen magnetiska eller elektromagnetiska. För dem har en GSM-19 från GEM Systems Inc. använts, med kombinerad magnetometer och VLF-sensor för tre frekvenser samt inbyggd GPS-mottagare.

Resultat

Tolkningen av det geofysiska underlaget är integrerad i den geologiska tolkningen och revideringarna i kartdatabasen. I detta avsnitt presenteras tolkningar och resultat, både per metod och översiktligt för hela projektområdet. Dessutom diskuteras och presenteras några specifika tolkningar och modeller för områden i mer detalj.

Regionala tolkningar

Här presenteras de lineament och konnektioner som tolkats från varje underlag samt en allmän beskrivning och tolkning av olika mönster och anomalier i data.

I figur 15 visas det magnetiska totalfältet. De centrala delarna av området domineras av en homogen lågmagnetisk signatur. Utbredningen av den är bredare än den av den sedimentära Mårdshytteformationen men följer dess form väl. Kraftigt positiva anomalier korrelerar till kända järnmineraliseringar och framträder oftast som sammanhängande stråk. De dominerar på västra sidan av Ställdalensynklinalen. Mineraliseringarna i Kummelälvsfältet, Sveparfältet, Blybergsfältet och Norra Ställbergsfältet associeras till samma högmagnetiska anomali och stråk. Formen på stråket följer kontakten mot granitmassivet väster därom.

Ställbergsfältet (fig. 15) ligger också i en relativt långsträckt högmagnetisk anomali, men den är här bredare och har en större amplitud än de i ovan nämnda fält. Stora Krigstjärnsfältet har en mer komplex geometri och denna del tolkas ligga i en separat tektonisk lins som avgränsas i söder av en tolkad dextral förkastning. Sundsgruvefältet ligger också i en mer långsträckt högmagnetisk anomali, den tolkas fortsätta söderut under Olovsjön och sedan längs Garhytteån. Möjligen kan det röra sig om samma horisont också vid Ljusnarsbergsfältet.

Öster om Mårdshytteformationen förekommer järnmineraliseringar inom två områden, vid Olovsgruvorna och Rundbergsfältet. Båda områdena är associerade med anomalier som sträcker sig utanför malmfältens avgränsning, men utgör inte lika tydligt en och samma horisont. De båda malmfälten tolkas här ligga i Vasslandsformationen.

I de östligaste delarna av projektområdet förekommer ett yngre granitmassiv som i magnetfältet representerar en relativt homogen "medelmagnetisk" enhet.

En del svagare anomalier tolkas också som konnektioner och visas i figur 15. Ibland är de tydligt associerade med diabasgångar, men ofta saknas någon uppenbar förklaring. Konnektionerna följer det allmänna strukturella mönstret i området och antas bero på sammansättningsvariationer inom bergartsenheterna.

I projektområdets sydvästra hörn och strax utanför projektområdet förekommer en stark och tydlig magnetfältsanomali som tolkas kunna utgöras av ett avgränsat veck. Ett fåtal järnmineraliseringar är associerade med strukturen. Vidare tolkning och modellering av detta område presenteras i avsnitt *Ljusnarens veckstruktur*.

> Figur 15. Magnetiska totalfältet. A. Med tolkningar av konnektioner och lineament.
> B. Med mineraliseringar och malmfält.

Total magnetic field. **A**. with interpreted connexions and lineaments. **B**. with mineralisations and ore-fields.



I figur 16 presenteras den skenbara resistiviteten, beräknad från VLF-data. Stråk med lägre resistivitet tolkas som lineament. VLF-metoden har en mer begränsad djupkänning (cirka ett par hundra meter, men det beror på typ av berggrund) jämfört med magnetfältsmönstret, och det är vanligt att lineament tolkade från dessa olika underlag inte alltid sammanfaller.





Apparent resistivity calculated from airborne VLF measurements together with interpreted lineaments.

Det residuala tyngdkraftsfältet visas i figur 17. Det är uttryckt som skillnaden mellan Bougueranomali och en analytisk uppåtberäkning av fältet till 3 km, och syftar till att representera de översta kilometrarna av berggrunden. Upplösningen, och därmed också i vilken skala man kan tolka mönster, beror på mätpunktstätheten. Den senare varierar över området, men vissa tydliga anomalier går att tolka och dra slutsatser från. I det nordvästra hörnet av projektområdet förekommer ett större område med positiva anomalier som i tyngdkraftsdata representerar massöverskott. I området tolkas tre separata anomalier. Den västligaste följer väl malmfältens utbredning, och här tolkas dessa vara en orsak till massöverskottet. Det innebär då att malmerna troligen har en relativt stor utbredning på djupet för att kunna ge upphov till detta massöverskott. Dock förekommer också en hel del mafiska bergarter i detta område, och deras bidrag och eventuella geometri på djupet kan vara en del av förklaringen till anomalin.

Den mellersta markerade anomalin i figur 17 hör troligen ihop med den, inom detta projekt, tolkade ytnära mafiska intrusion längs profil 3. Anomalins utseende antyder att dess utbredning kan följa Mårdshytteformationens form. De petrofysiska prover som tagits av de mafiska bergarterna vid profil 3 visar högre densitet (2 850–2 950 kg/m³) än omgivande felsiska metavulkaniter (D_{medel}= 2 668 kg/m³, n = 26). Den kraftiga magnetiska anomali som är associerad med Ställbergsfältet ligger väster härom och anses därmed inte ge upphov till en tyngdkraftsanomali, vilket torde betyda att mineraliseringen är relativt begränsad i utbredning och djupgående.

Den östligaste markerade anomalin sammanfaller väl med utbredningen av den sedimentära sekvensen av metagråvacka som tillhör Mårdshytteformationen; den uppdaterade kartbilden av denna bergartssekvens utbredning är markerad med turkos färg i figur 17. Från den petrofysiska provtagningen framgår det tydligt att även denna bergart har högre densitet än omgivningen (se avsnitt *Petrofysik*), och en modell över berggrundsenhetens utbredning och geometri på djupet har tagits fram (se avsnitt *Geofysiska modeller*).

Fördelningen av kalium, uran och torium inom projektområdet presenteras i figurerna 18A, B och C, där även mätningar direkt på häll för respektive grundämne inkluderats. I figur 18D symboliseras hällmätningarna efter bergart. Både flyg- och markmätningar visar, som förväntat, högre halter i områden med yngre granitoida bergarter. I de östligaste delarna, och öster om projektområdet, observeras en tydlig korrelation med höga halter av alla dessa ämnen och det granitmassiv som finns i området (fig. 18D). Även den mer isolerade granitkroppen mellan Ställdalen och Högfors framträder tydligt.

Inom ramen för detta projekt har gammaspektrometriska mätningar på häll genomförts på 74 unika observationsplatser och bergarter. Inom ett annat SGU-projekt (Lynch m.fl. 2023) har ytterligare 22 mätningar genomförts på bergarter i och direkt intill projektområdet. Resultaten från alla hällmätningar presenteras i figurerna 19A, B och C, där de olika halterna av kalium, uran och torium är plottade mot varandra. Färgkodningen på symbolerna representerar olika bergarter (bergartsgrupper), och deras fördelning visas i figur 19D. Färgkodningen är densamma som i figur 18D. I diagrammet med uran mot torium (fig. 19C) framgår tydligt hur de granitoida bergarterna (röda) grupperas med höga halter av både uran och torium, även om avvikelser förekommer. De felsiska metavulkaniterna (gula) har stor spridning när det gäller kaliumhalten (se även avsnitt *Litogeokemi*) men uppvisar generellt måttliga uran- och toriumhalter. De mafiska bergarterna (gröna) har låga halter av alla ämnen.



Figur 17. Det residuala tyngdkraftsfältet över projektområdet. Residualfältet är uttryckt som skillnaden mellan Bougueranomali och en analytisk uppåtberäkning av fältet till 3 km.

Residual gravity map. The residual is expressed as the difference between the Bouguer-anomaly and an upward continuation to 3 km.



Figur 18. Halterna av **A.** kalium, **B.** uran och **C.** torium, yttäckande från flygmätningar och som symboler för hällmätningar. **D.** Gammaspektrometriska hällmätningar symboliserade efter bergart, med den uppdaterade berggrundskartan som underlag. Symbolisering av berggrundskartan är densamma som i figur 1.

Element contents. A. Potassium. B. Uranium. C. Thorium. Surface coverage from aerial measurements and symbols from outcrop measurements. D. Gamma radiation on outcrop measurements symbolised by bedrock type. Plotted on the bedrock map which has the same symbolisation as in Figure 1.



Figur 19. Halterna av **A.** kalium mot uran **B.** kalium mot torium och **C.** uran mot torium, från gammaspektrometriska hällmätningar. Färgkodning enligt D. **D.** Fördelning av mätningar per bergart.

The content of **A**. potassium vs uranium, **B**. potassium vs thorium and **C**. uranium vs thorium, from outcrop gamma ray measurements. Colours represent different rock types as shown in D. **D**. Distribution of measurements per rock type.

Petrofysik

Bergarternas petrofysiska egenskaper har sammanställts baserat på dels de nya prover som samlats in inom ramen för detta projekt, dels samtliga prover inom projektområdet som finns i SGU:s databas. Uppdelningen motiveras främst av att bergartsklassificeringen av äldre prover ibland saknas och ibland att man använt en annorlunda nomenklatur än dagens. Viss omklassning och omtolkning är möjlig, men osäkerheten består i det historiska materialet. Fördelen med att inkludera alla prover är att det blir enklare att identifiera trender med ett stort antal prover (totalt 516), medan de nyare proverna med mer enhetlig nomenklatur möjliggör en säkrare jämförelse mellan olika grupper. I figur 20 visas samtliga petrofysiska prover inom projektområdet och dess omedelbara närhet. Symboliseringen är baserad på bergart, och de prover som har samlats in inom detta projekt visas med något större symboler.



Figur 20. Fördelningen av petrofysiska prov inom projektområdet och dess närmaste omgivning. Proven är symboliserade efter bergart. Prov insamlade inom detta projekt visas med något större symboler. Berggrundskartan har samma symbolisering som i figur 1.

The distribution of petrophysical samples within the project area and its immediate surroundings. The samples are symbolised by rock type. Samples collected within this project are shown with slightly larger symbols. The bedrock map has the same symbolisation as in Figure 1.

I figur 21A visas fördelning och antal av alla bergartsbeteckningar som finns i det petrofysiska underlaget. Gula färger representerar metavulkaniska bergarter, ljusblå metasedimentära bergarter, röd-bruna granitoida bergarter, gröna olika basiska bergarter, svarta skarn och olika typer av mineraliseringar, lila diabaser och vita ej angivet eller kategorin "övrigt". I figur 21B visas den magnetiska susceptibiliteten mot densitet. Det syns tydligt att mineraliserade prover både har hög magnetisk susceptibilitet och densitet. Vidare framgår också att de basiska bergarterna både har "medelhög" densitet och susceptibilitet. De metavulkaniska och granitoida bergarterna har en relativt samlad densitetsfördelning men ett stort spann i magnetisk susceptibilitet.

I figur 21C visas magnetisk susceptibilitet mot naturlig remanent magnetisering (J). Här syns att både mineraliserade prover och diabaser ofta både har hög susceptibilitet och naturlig remanent magnetisering. I figur 21D, som visar den magnetiska susceptibiliteten mot Q-värdet (Königsbergerkvoten), framgår att de mineraliserade proverna ofta har Q-värden lägre än 1. Det innebär att den inducerade magnetiseringen är större än den remanenta, medan det för diabaserna är tvärtom. För övriga bergarter finns det en hel del prover som har höga Q-värden, medan susceptibiliteten är relativt låg, vilket gör att påverkan på magnetsfältmönstret inte blir extrem. Det bör dock hållas i beaktande vid tolkning att magnetfältsmönstret associerat med diabaser kan vara förskjutet.

I figur 22 visas samma diagram som i figur 21, men här enbart med de prov som är insamlade under detta projekt (totalt 75). Liknande trender observeras som i figur 21, men de är något tydligare i figurerna med färre prov. Ryoliter plottar tydligt i två olika grupper i figur 22B med låg respektive hög susceptibilitet. En möjlig rumslig trend kan ses genom att de prov som har hög susceptibilitet plottar i de västra delarna av projektområdet, antingen högt upp i stratigrafin sydväst om Ställdalen eller i den sydvästligaste delen av projektområdet.

De metavulkaniska och metasedimentära bergarterna är i fokus i detta projekt, och vissa skillnader mellan östra och västra sidan av synklinalen har observerats i fält. Inga tydliga skillnader eller trender utifrån de petrofysiska egenskaperna går dock att särskilja. Däremot observeras skillnader mellan de formationer som Lundström (1985) delade in ytbergarterna i, Mårdshytte-, Vassland- och Uskenformationen. De senare består huvudsakligen av metavulkaniska bergarter med varierande sammansättning och struktur medan Mårdshytteformationen utgörs av metasedimentära bergarter i Ställdalenssynklinalens centrala delar. I figur 23 visas den magnetiska susceptibiliteten mot densitet, och en viss gruppering för de olika formationerna kan observeras, inringade i figuren. Mårdshytteformationen har i allmänhet högre densitet än de övriga. De metavulkaniska bergarterna inom Vasslandformationen har i allmänhet högre susceptibilitet än de i Uskenformationen.



Figur 21. A. Fördelning av petrofysiska prov per bergart inom projektområdet och dess närmaste omgivning (rumslig fördelning enligt figur 20). **B**. Förhållandet mellan densitet (D) och magnetisk susceptibilitet (K). **C**. Remanent magnetisering (J) och magnetisk susceptibilitet (K). **D**. Königsberger-kvoten (Q) och magnetisk susceptibilitet (K). Alla petrofysiska prov är symboliserade enligt bergart som i A.

A. The distribution of petrophysical samples per rock type within the project area and its immediate surroundings. **B**. Magnetic susceptibility (K) vs density (D). **C**. Magnetic susceptibility (K) vs remanent magnetisation (J). **D**. Magnetic susceptibility (K) vs Koenigsberger ratio (Q). The samples are symbolised by rock type as in A.



Figur 22. A. Fördelning av petrofysiska prov per bergart som samlats in under detta projekt. **B**. Förhållandet mellan densitet (D) och magnetisk susceptibilitet (K). **C**. Remanent magnetisering (J) och magnetisk susceptibilitet (K). **D**. Königsbergerkvoten (Q) och magnetisk susceptibilitet (K). Alla petrofysiska prov är symboliserade enligt bergart som i A.

A. The distribution of petrophysical samples per rock type collected within this project. **B**. Magnetic susceptibility (K) vs density (D). **C**. Magnetic susceptibility (K) vs remanent magnetisation (J). **D**. Magnetic susceptibility (K) vs Koenigsberger ratio (Q). The samples are symbolised by rock type as in A.





Density (D) vs magnetic susceptibility (K) for the metavolcanic and metasedimentary rocks within the Usken, Vassland and Mårdshytte formation.

Geofysiska modeller

Vid framtagandet av geometriska modeller av berggrunden baserat på geofysiska data uppstår alltid ett överflöd av möjliga utfall som kan anpassas till uppmätta data. Tekniken möjliggör dock testning av geologiska konceptuella modeller och förfining av dessa. Den grundläggande principen är att det måste finnas skillnader i någon fysikalisk parameter för den enhet som modelleras jämfört med omgivningen. Inom detta projekt är modelleringen övergripande och generell för att testa och förbättra den geologiska tolkningen av olika berggrundsenheter. Modelleringen kan förbättras genom att införa olika begränsningar och ytterligare ingångsdata, såsom till exempel borrhålsinformation, men det har inte rymts inom detta projekt.

Två olika programvaror och modelleringstekniker har använts för att skapa geometriska modeller, både tvådimensionella (2D) och tredimensionella (3D), av berggrunden. Ingångsdata har varit antingen magnetfälts- eller tyngdkraftsdata. För 3D-inversion har programvaran Geosoft Oasis Montaj (version 2022.2) från Seequent använts, tillsammans med tillägget VOXI. VOXI använder en voxelbaserad inversionsmetod som representerar den fysikaliska parameter som modelleras som en 3D-grid av kuber. Genom denna modelleringsteknik genereras volymer, baserade på densitet eller magnetisk susceptibilitet. Resultaten från inversionsmodelleringen framställs alltid som "mjuka", kontinuerliga modeller. Från dem kan olika isoytor exporteras, vilka antas representera olika berggrundsenheter.

Den andra programvaran som använts är ModelVision (version 17.5.59) från Tensor Research. Modelleringstekniken är *forward modelling*, vilket innebär att en modell av berggrunden (fysikalisk parameter såsom densitet eller magnetisk susceptibilitet) skapas och dess respons analyseras i jämförelse med uppmätta data. Ofta utgår man från en konceptuell geologisk ingångsmodell och justerar denna sedan för att bättre passa uppmätta data. Även om modellerna är 3D sker justeringen vanligtvis längs en eller flera 2D-profiler.

I de modelleringar som presenteras i detta avsnitt har båda programvarorna och modelleringsteknikerna använts i kombination. 3D-inversionsmodellering används för att få en övergripande bild av en volym, dess motsvarande utbredning på markytan, djup, eventuell strykning och stupning. Denna volym importeras till ModelVision där den anpassas med fysikaliska parametrar från petrofysiska mätningar och testas mot data från profiler både från flyg- och markmätningar. 3D-modellen justeras sedan för att harmonisera med både den geologiska konceptuella modellen, insikter från 3D-inversionsmodellering och profildata från 2D-modelleringen. Att uppnå en perfekt överensstämmelse med uppmätta data är dock inte det främsta målet för denna typ av modellering, utan syftet är att genom en avvägning mellan geologiskt rimliga modeller och tillfredställande anpassning till geofysiska data få bättre insikter om berggrundsenheters geometrier både på och under markytan.

Mårdshytteformationen, Ställdalensynklinalen

En tredimensionell modell har utarbetats för den metasedimentära Mårdshytteformationen, huvudsakligen bestående av metagråvacka, som tolkas vara den översta sekvensen i den så kallade Ställdalensynklinalen. Lundström (1985) tolkade att synklinalen har ett axialplan som är brant stupande åt öster och en veckaxel stupande åt norr (se fig. 5 i Lundström 1985). Metagråvackan inom denna formation skiljer sig från de omgivande bergarterna genom högre densitet (fig. 23, tabell 1), vilket också avspeglas i tyngdkraftsfältet (fig. 17). En diabasgång som skär igenom formationen har också modellerats för att ge en mer detaljerad bild av dess utbredning både på ytan och geometrin på djupet, vilket i sin tur påverkar modellen för Mårdshytteformationen. Diabasen skiljer sig i petrofysiska egenskaper, både när det gäller densitet och magnetisk susceptibilitet, från de i metagråvackan och övriga omgivande metavulkaniska bergarter (tabell 1). Tyvärr är upplösningen i tyngdkraftsfältet inte tillräcklig för att tydligt visa denna densitetsvariation, så modelleringen har endast baserats på magnetfältsdata.

För modelleringen av diabasen har framför allt tre markmätta magnetfältsprofiler använts som underlag. För diabasens utbredning på ytan har flygmätta magnetfältsdata använts som indata i 3D-inversionen. I figur 24A presenteras den tidigare och den nytolkade utbredningen av diabasen, kartdatabasen har delvis uppdaterats efter denna nytolkning. I figur 24B visas magnetiskt totalfält från de tre markmätningarna och den modellerade responsen från diabas-kroppen. Endast de anomalier som är associerade med diabasen har beaktats i modelleringen.

Diabasens möjliga utbredning på ytan över cirka 4 km i en nordväst–sydostlig riktning och på djupet visas i figurerna 24A och C. Kroppen har modellerats med en bredd nära ytan på mellan 40 och 100 meter och med ett djupgående på cirka en kilometer. Magnetfältets styrka varierar över diabasens utbredning, och man kan anta att det finns ytterligare variationer i både dess susceptibilitet och geometri än vad som återspeglas i denna förenklade modell. Detta framgår också tydligt i anpassningen mellan uppmätta och modellerade data i profilerna (se fig. 24B). Eftersom några direkta observationer av diabasen i häll inte gjorts i detta projekt har befintlig kartbild bevarats till stora delar.

Average values of petrophysical properties from samples that have been used in the model.							
Bergart	Densitet (kg/m³)	Magnetisk susceptibilitet (SI)	Antal prov				
Metagråvacka inom Mårdshytteformationen	2 770	0,0003	19				
Omgivande metavulkaniter	2 660	0,0004	71				
Diabas	2 860	0,023	2				

 Tabell 1. Medelvärden av petrofysiska egenskaper från prov som använts i modelleringen.



Figur 24. A. Magnetiskt totalfält och diabasens utbredning, både enligt kartdatabas och för modell. På kartan visas också Mårdshytteformationens utbredning samt position av markmätta magnetfälts- och karteringsprofiler. **B.** Magnetiskt totalfält, uppmätta data och modellerad respons för de tre profilerna vars position visas i A. **C.** 3D-vy över diabasens modellerade utbredning. Mårdshytteformationens utbredning visas på markytan tillsammans med de modellerade markprofilerna.

A. Total magnetic field with the outline of the dolerite (both according to the bedrock map and present modelling). In the map view, the outline of the Mårdshytte formation is also outlined, together with the location of the ground-based magnetic field traverse measurements and the mapping traverses. **B.** Total magnetic field, measured and modelled response for the three profiles which positions are shown in A. **C.** A 3D-view of the modelled dolerite. The outline of the Mårdshytte formation is shown at the topography together with the modelled ground profiles.

Modelleringen av metagråvackan bygger på tyngdkraftsdata och den tydliga densitetskontrasten gentemot omgivande bergarter. Utbredningen på markytan baseras på den kartlagda utbredningen och har justerats efter tolkning av 3D-inversionsyta (fig. 25A). Ingångsdata i 3D-inversionen inkluderar interpolerade tyngdkraftsdata (fig. 25A) med en cellstorlek på 130 \times 130 m. Gridden är baserad på heterogent fördelade punktdata med ungefär 6 punkter per km². Voxelmodellen har en upplösning på 250 \times 250 \times 315 m. 3D-inversionen bekräftar tolkningen av en stupande veckaxel med mäktigare lager åt norr. Dock kan ingen allmän stupningsriktning på axialplanet för hela sekvensen observeras i inversionsmodellen.

Därefter har den slutgiltiga modellen konstruerats i ModelVision. Densiteterna för metagråvecka och diabas har anpassats enligt tabell 1, och bakgrundsdensiteten är inställd på den för omgivande metavulkaniter. Ett konstant bakgrundsfält har subtraherats i modelleringen. Resultatet presenteras i figur 25C, och modellresponsen längs några profiler visas i figur 25B. Modellen består av flera delkroppar för att möjliggöra en enklare anpassning av dess djup, form och stupning. Alla kroppar antas stupa inåt, och bottenytan sätts att vara 70 procent av ytan på toppen (det vill säga markytan) av kroppen för att återspegla formen av en synklinal.

Från profil L1 och L2 i figur 25B går det att tolka att kroppen behöver ha en större utbredning på ytan för att bättre anpassa sig till data. Inom detta projekt har dock utbredningen minskats baserat på fältobservationer. En alternativ revidering kan vara att placera kroppen något djupare här (den är ej observerad i häll) och ge den en större utbredning eller en högre densitet. Längs profil L4 (fig. 25A) syns en mycket bra anpassning mellan modell och data. Anomalin längst i väster på profilen har inte modellerats, men antas bero på de malmstråk som finns här (se avsnitt *Regionala tolkningar*). I profil L5 (fig. 25A) syns påverkan från diabasens högre densitet i modellerade data, men denna effekt syns inte i uppmätta data. Troligen beror detta på en alltför låg upplösning hos de senare, och det är möjligt att diabasen är betydligt tunnare vid denna profil.

Resultatet av modelleringen ger en möjlig uppdaterad bild av geometrierna för både diabas och metagråvacka, både deras utbredning på ytan och på djupet. Den geologiska modellen som beskriver metagråvackan som en sekvens i en synklinal bekräftas. Likaså bekräftas antagandet om att veckaxeln stupar åt norr, där lagren är mäktigare än i söder. Eventuell stupning av axialplanet kan varken bekräftas eller förkastas.

För att uppnå högre upplösning i modellen krävs framför allt tätare tyngdkraftsdata. Den grova och enkla modell som presenteras här visar dock betydande potential för att kunna generera nya insikter om kroppens utbredning och geometri. För att ytterligare förfina modellen och för att få ökad precision skulle tätare geologiska observationer och petrofysisk provtagning vara avgörande; det skulle möjliggöra en mer exakt representation av inbördes variationer i sammansättningen av formationen.



Figur 25. A. Tyngdkraftsfältet över Mårdshytteformationen. **B.** Några av de modellerade profilerna. Data och modellrespons visas tillsammans med den modellerade kroppen. **C.** 3D-vy över den slutgiltiga modellen. Linjerna är modelleringsprofiler som också visas i A och B.

A. Gravity field over the Mårdshytte formation. **B.** Some of the modelled profiles. Data and model response are displayed along with the modelled body. **C.** 3D view of the final model. The lines represent modelling profiles also shown in A and B.

Ljusnarens veckstruktur

I det sydvästra hörnet av och strax utanför projektområdet påträffas en omfattande magnetisk anomali som misstänks utgöra en del av en veckstruktur (fig. 26A). Området består främst av metavulkaniska bergarter med inslag av skarn. De västra delarna av karteringsprofilerna 11 och 12 (fig. 1) går över delar av denna struktur, men övergripande sett har den huvudsakligen studerats baserat på dess geofysiska respons. Mineraliseringar inom strukturen är fåtaliga, och den starka magnetiska anomalin antas ha två potentiella källor. Den kan antingen härröra från tunna skarnband eller vara resultatet av en större sammanhängande volym av metavulkaniter med förhöjd magnetisk susceptibilitet. Sannolikt är det en kombination av dessa faktorer. I följande övergripande modell har dock en större kropp anpassats för att representera metavulkaniter med högre magnetisk susceptibilitet.

Genom en sammanställning av prover tagna inom området identifieras två kategorier av metavulkaniter: en grupp med hög och en med låg magnetisk susceptibilitet (fig. 27, tabell 2). Den rumsliga fördelningen av samtliga prover visas i figur 26B. De metavulkaniska bergarterna med hög susceptibilitet uppvisar samtliga Q-värden mindre än 1. Remanent magnetisering tas inte i beaktande vid modelleringen.

Det finns även många prover av diabas i sammanställningen, men det bör noteras att samtliga av dessa prover härstammar från samma plats, möjligen samma häll, och troligtvis har de ingått i någon detaljerad studie. Antalet diabasprover speglar således inte förekomsten av denna bergart i området. Det är av betydelse att notera att Q-värdet för diabaserna alltid är större än 1. Om det finns fler diabaser än vad som för närvarande är kartlagt skulle den magnetiska responsen från dessa väsentligen komplicera tolkningen av magnetfältet.

En 3D-inversion skapar en voxelmodell av den möjliga fördelningen av magnetisk susceptibilitet, vilket ger upphov till det observerade magnetiska mönstret på ytan. Ingångsdata till modellen härstammar från flygmätningar av magnetfältet insamlade från 37 flyglinjer med ett inbördes avstånd på 200 meter. Voxelmodellen har en upplösning på $50 \times 50 \times 170$ m. Från den har en isoyta extraherats för att jämföra responsen längs utvalda profiler i ModelVision. Kroppen är storskalig och övergripande, men modellen avslöjar en trågformad struktur med ett djup på ungefär 1 500 meter. Kroppen är också relativt symmetrisk, det vill säga den stupar inte åt något specifikt håll.

Figur 28 illustrerar geometrin av kroppen och dess anpassning till data längs utvalda flyglinjer. I ModelVision har kroppen tilldelats en magnetisk susceptibilitet på 0,042 SI-enheter (jämför med tabell 2). Utifrån dessa profiler framgår tydligt att kroppens form kan förfinas för att bättre harmoniera med data. Det blir ännu mer uppenbart vid jämförelsen mellan kroppens respons och de markmätta profilerna. Kroppen uppvisar en betydligt mer komplex geometri än vad denna första modell återspeglar. Nisca (1981) tolkade den magnetiska strukturen som ett intensivt bandat mönster och flera dislokationer med en lateral förskjutning på hundratals meter (se fig. 26C).



Figur 26. A. Magnetfältsdata och utvalda modellerade flyg- och markprofiler som visas i figur 28. **B**. Berggrundskartan, med samma symbolisering som figur 1, visar fördelning av petrofysika prov som också redovisas i figur 27. **C**. Tolkning av magnetfältsmönstret från Nisca (1981).

A. Magnetic field data and selected modelled airborne and ground profiles displayed in Figure 28. **B**. Bedrock map, with the same symbolisation as in Figure 1, with the distribution of petrophysical samples, also presented in Figure 27. **C**. Interpretation of the magnetic field pattern from Nisca (1981).



Figur 27. A. Diagram över förhållandet mellan densitet (D) och magnetisk susceptibilitet (K). **B.** Königsberger-kvoten (Q) och magnetisk susceptibilitet (K). Symbolisering efter bergart och gruppering av magnetisk susceptibilitet. Q-värdet beräknas endast för prov med K > 30 μ SI och J (inducerad magnetisering) > 30 mA/m.

A. Diagram illustrating the relationship between density (D) and magnetic susceptibility (K). **B.** Koenigsberger ratio (Q) and magnetic susceptibility (K). Symbolisation based on rock type and grouping of magnetic susceptibility. The Q-value is only calculated for samples with K > 30 μ SI and J (induced magnetisation) > 30 mA/m.

Tabell 2. Medelvärden av petrofysiska egenskaper från prov inom modelleringsområdet (fig. 26B och 27). Q-värdet beräknas endast för prov med K > 30 μ Sl och J (inducerad magnetisering) > 30 mA/m.

Average values of petrophysical properties from samples within the modelling area (I	Figs. 26B and 27). The Q-value is only
calculated for samples with K > 30 μSI and J (induced magnetisation) > 30 mA/m.	

Bergart	Densitet (kg/m³)	Magnetisk susceptibilitet (SI)	Q	Antal prov
Felsisk metavulkanit med hög magnetisk susceptibilitet	2 673	0,0420	0,2 (n = 46)	48
Felsisk metavulkanit med låg magnetisk susceptibilitet	2 693	0,0004	3,4 (n=2)	18
Diabas	2 953	0,0634	3,26 (n=18)	18



Figur 28. 3D-vy över den modellerade kroppen samt profiler med uppmätt data (svart kurva) och modellerad respons (röd kurva) och kroppens utseende i tvärsnitt längs dessa profiler.

3D view of the modelled body along with profiles featuring measured data (black curve) and modelled response (red curve), showcasing the cross-sectional appearance of the body along these profiles.

LITOGEOKEMI

Bergartsproverna processades av ALS Scandinavia AB. De analyspaket som användes var CCP-PKG01, ME-MS41 och PGM-ICP23. Valda resultat härav visas i bilagorna, kompletta data är inlagda i SGU:s litogeokemiska databas (likedb).

De diagram som presenteras i detta avsnitt har framställts med hjälp av GCDkit (Janousek m.fl. 2006). Även två analyser från Allen m.fl. (1996) har använts vid framställningen av diagrammen.

Bergarternas sammansättning avseende några huvudelement i relation till SiO₂-halt framgår av så kallade Harker-diagram (fig. 29). I dessa ser man att proverna av magmatiska bergarter i projektområdet hamnar i tre ganska distinkta grupper beroende på SiO₂-halt, det vill säga utan en uppenbart kontinuerlig differentiationstrend. Detta kan dock bero på det begränsade antalet prover. Grupperna representerar de bergarter vi klassificerar som mafit, dacit respektive ryolit.

Bergarternas alkalirelationer visas i figur 30. Normala magmatiska sammansättningar enligt Hughes (1973) ligger mellan de streckade linjerna, och områdets bergarter är med ett undantag tämligen normala eller kaliumanrikade. Ett prov som representerar en tuff ur Vasslandformationen i synklinalens östra veckben är starkt natriumanrikat. Standardtolkningen är att alkaliomvandlingen i Bergslagen beror på att bergarterna avsatts i och omvandlats av havsvattenbaserade lösningar.

Figurerna 31A och B visar att bergarterna är subalkalina och dessutom kalkalkalina, enligt diagram av Winchester & Floyd (1977) respektive Irvine & Baragar (1971), vilket är typiskt för subduktionszonsrelaterade magmatiska bergarter. Att de mer felsiska leden bildats i en magmatisk båge framgår av figur 32A enligt Pearce m.fl. (1984). En rät linje genom de i vattenlösning minst mobila elementen visar att kalium, rubidium, barium, torium och cerium har relativt höga halter. Anrikningen av de fyra första av dessa anses enligt Pearce (1983) bero på hydrotermala processer i en subduktionszonsmiljö, medan anrikningen av cerium beror på tillförsel genom en smältfas i samma miljö.

Figur 32B visar kondritnormaliserade (Boynton 1984) halter av sällsynta jordartsmetaller (REE). Mönstren är de som i allmänhet visas av Bergslagens äldre magmatiska bergarter (se till exempel Stephens & Jansson 2020). De två mafiska proverna visar inte negativa Eu-anomalier, vilket i det ena fallet kan bero på att bergarten är något plagioklasporfyrisk, i det andra på att plagioklas varken fraktionerats eller fanns i dess protolit. Kondritnormaliserade halter på mellan 7 och 10 för de tyngsta REE tyder vidare på att protoliten även saknade granat och alltså bör ha varit en spinellherzolit.



Figur 29. Harker-typdiagram för några huvudelement och summa alkali. Grupperingar snarare än en kontinuerlig differentiationstrend verkar att föreligga, vilket kan bero på det begränsade antalet prover.

Harker-type plots for some major elements and the sum of alkalis. Note tendency to clustering rather than a continuous differentiation trend, which may be due to the limited number of samples.



Figur 30. Bergarternas alkalirelationer. Normala magmatiska sammansättningar hamnar mellan de streckade linjerna enligt Hughes (1973). Symboler som i figur 29.

Alkali relations. Normal magmatic compositions fall according to Hughes (1973) between the hatched lines. Symbols as in Figure 29.



Figur 31. Klassificering av de magmatiska bergarternas affinitet. **A.** De är i huvudsak subalkalina enligt Winchester & Floyd (1977). **B.** Den subalkalina trenden är kalkalkalin enligt Irvine & Baragar (1971). Symboler som i figur 29.

Affinity of the magmatic rocks. **A.** They are mainly subalkaline according to the plot by Winchester & Floyd (1977). **B.** The subalkaline trend is calc-alkaline according to the plot by Irvine & Baragar (1971). Symbols as in Figure 29.



Figur 32. A. Multielementdiagram för bestämning av de mer felsiska magmatiska bergarternas tektoniska bildningsmiljö enligt Pearce m.fl. (1984). **B.** Kondritnormaliserat (Boynton 1984) REE-diagram för projektområdets bergarter. Symboler som i figur 29.

A. Spidergram by Pearce et al. (1984) for tectonic setting shows a volcanic arc setting. **B.** Chondrite-normalised (Boynton 1984) REE-plot for the samples in the project area. Here they appear like most similar rocks in Bergslagen (cf. Stephens & Jansson 2020). Symbols as in Figure 29.

Α

ÅLDERSBESTÄMNING

Två prover, ALB210029A och CMR220272A, togs för åldersbestämning. Av dessa innehöll endast ALB-provet tillräckligt med zirkoner för att tolkas. Bergarten (fig. 10A och profil 7) representerar en tämligen låg nivå i den vulkaniska lagerföljden strax över de metadacitiska sandstenarna.

En åldersbestämning med U-Pb-zirkonmetoden gjordes alltså bara av prov ALB210029A. Provet krossades och tungmineral separerades fram på ett WilfleyTm-skakbord. Zirkonerna plockades sedan ut från övriga tungmineral och monterades i en 25 mm stor epoxypuck tillsammans med referenszirkoner.

Zirkonerna avbildades med hjälp av ett Hitachi TM4000 svepelektronmikroskop (SEM) och katodluminescensavbildning skedde med ett Phillips SEM-instrument för att få bilder av strukturer och zonering i kristallerna. Epoxypucken fick en 25 nm tjock guldbeläggning inför analys. Analysen gjordes i december 2022 på NordSIMS-laboratoriet på Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm med en CAMECA IMS1280 jonmikrosond. En detaljerad beskrivning av metodiken för analys av zirkoner finns i Whitehouse & Kamber (2005).

Reduktion av rådata gjordes med hjälp av Microsoft Excel-tillägget IsoPlot (Ludwig 2003) och konkordiadiagram skapades med IsoPlotR (Vermeesch 2018).

Zirkonerna från ALB210029 är för det mesta euhedrala och prismatiska. Några enstaka metamikta korn observerades. Katodluminescensavbildningen visar kraftig zonering i de flesta zirkonerna. De innehåller låga halter av U (<1000 ppm) och Pb (tabell 3).

Totalt analyserades tolv zirkoner från prov ALB210029A. Av dessa tolv visade sju möjliga bildningsåldrar medan fem uteslöts på grund av dåliga analysresultat, antingen på grund av höga ²⁰⁴Pb-halter eller att de är för diskordanta (tabell 3).

U/Pb-åldern från prov ALB210029A (fig. 33), som tolkas som kristallisationsåldern, är 1 891,9 \pm 3,7 miljoner år (Ma; MSWD = 3,5). Den stämmer ganska bra med ²⁰⁷Pb/²⁰⁶Pb-åldern som beräknas till 1 893 \pm 2 Ma (MSWD = 7). Inga åldersskillnader mellan kärnor och kanter har observerats.

Zirkonerna bildades mest sannolikt under kristallisationen av bergarten och de har inte påverkats av senare metamorfos i någon större utsträckning. En möjlig metamorf ålder på 1 870 Ma observerades dock, men felmarginalen är för stor för att man säkert ska kunna avgöra detta.

Åldern på cirka 1 892 Ma antyder att den magmatiska fas som bildade ryolitiska tuffer i Ställdalenområdet ligger i den senare delen av den för vulkaniterna i Bergslagen i stort, vilka bildades mellan 1 906 och 1 888 Ma (Stephens & Jansson 2020).



Figur 33. Tera-Wasserberg diagram som visar analyser av zirkoner från ALB210029A med en kristalliseringsålder på 1891,9 ± 3,7 Ma.

Tera-Wasserberg diagram showing analyses of zircons from ALB210029A which give a crystallisation age of 1891,9 ± 3,7 Ma.

	Koncen	tratione	er (ppm))	Isotop	kvoter										Beräknad	de åldr	ar (Ma)	
Analyspunkt	U	Th	Pb	Th/U Ber.	²⁰⁷ Pb ²³⁵ U	±σ %	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	±σ %	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	±σ %	²⁰⁶ Pb ²⁰⁴ Pb	ρ	f ₂₀₆ %	Disk. % Konv	Disk.% 2σ- gräns	²⁰⁷ Pb ²⁰⁶ Pb	±σ	²⁰⁶ Pb ²³⁸ U	±σ
n6612_ALB29_1a	226	72	91	0,28	5,38	0,95	0,33	0,86	0,1166	0,40	61517	0,91	0,03	-2,7	-0.2	1906,1	7,1	1861,1	14,0
n6612_ALB29_1b	363	131	150	0,37	5,37	0,91	0,33	0,85	0,1151	0,32	52278	0,94	0,04	-0,2		1882,3	5,7	1879,3	13,9
n6612_ALB29_1c	233	77	93	0,33	5,24	1,12	0,33	1,01	0,1145	0,45	11412	0,91	0,16	-1,5		1872,1	8,1	1848,1	16,4
n6612_ALB29_2b	339	141	142	0,43	5,38	0,93	0,33	0,81	0,1156	0,45	131765	0,88	0,01	-0,9		1890,4	8,1	1875,9	13,3
n6612_ALB29_3a	649	387	285	0,62	5,43	0,88	0,33	0,84	0,1160	0,23	200946	0,96	0,01	-0,8		1896,6	4,2	1884,0	13,8
n6612_ALB29_3b	381	164	165	0,45	5,53	0,90	0,34	0,80	0,1154	0,39	85513	0,90	0,02	2,3	{p<5%}	1887,6	7,1	1924,5	13,5
n6612_ALB29_4a	386	162	159	0,42	5,34	0,90	0,33	0,84	0,1160	0,30	145075	0,94	0,01	-2,3	-0.1	1896,3	5,4	1858,6	13,6
n6612_ALB29_6a	330	159	141	0,49	5,45	0,92	0,34	0,85	0,1161	0,33	47843	0,93	0,04	-0,4		1897,6	6,0	1891,1	14,0
n6612_ALB29_7a	680	376	295	0,57	5,41	0,87	0,33	0,84	0,1157	0,22	332521	0,97	0.01	-0,5		1891,1	4,0	1883,6	13,8
n6612_ALB29_2a	343	140	143	0,42	5,43	0,94	0,33	0,88	0,1165	0,32	147844	0,94	0,01	-1,5		1904,0	5,7	1878,6	14,4
n6612_ALB29_5a	418	179	160	0,46	4,89	0,89	0,30	0,83	0,1152	0,30	123097	0,94	0,02	-9,1	-7.1	1883,2	5,5	1732,2	12,7
n6612_ALB29_5b	504	243	205	0,50	5,17	0,92	0,32	0,85	0,1158	0,32	40071	0,94	0,05	-5,0	-2.8	1893,1	5,8	1810,1	13,6
n6612_ALB29_4b	273,9	95,2	113	0,35	5,44	0,95	0,34	0,88	0,116	0,36	139911	0,93	0,01	-0,5		1896,9	6,5	1888,1	14,4

Tabell 3. Data från zirkonanalyser. Data from the zircon analyses.

REFERENSER

- Allen, R.L., Lundström, I., Ripa, M., Simeonov, A. & Christofferson, H., 1996: Facies analysis of a 1.9 Ga, continental margin, back-arc, felsic caldera province with diverse Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulfide and Fe oxide deposits, Bergslagen Region, Sweden. *Economic Geology 91*, 979–1008.
- Boynton, W.V., 1984: Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. *I P. Henderson* (red.): Rare earth element geochemistry, Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Casey, P., Brolin C., Persson L., Sopher D., Leroux V. & Persson S., 2023: Secondary resource directive. Characterisation of mining waste in central and western Bergslagen, Sweden. SGUrapport 2024:02, Sveriges geologiska undersökning, 190 s.
- Geijer, P. & Magnusson, N.H., 1944: De mellansvenska järnmalmernas geologi. Sveriges geologiska undersökning Ca 35, 654 s.
- Hughes, C.J., 1973: Spilites, keratophyres and the igneous spectrum. Geological Magazine 6, 513-527.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971: A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences 8*, 523–548.
- Janousek, V., Farrow, C.M. & Erban, V., 2006: Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47, 1255–1259. Doi: 10.1093/petrology/egl013
- Lundström, I., 1985: Beskrivning till berggrundskartan Lindesberg NV. Sveriges geologiska undersökning Af 140, 131 s.
- Lundström, I., 1995: Beskrivning till berggrundskartorna Filipstad SO och NO. Sveriges geologiska undersökning Af 177 och 185, 218 s.
- Ludwig, K. R., 2003: Isoplot 3.00: A geochronological toolkit for Microsoft Excel, Special Publication 4, Berkeley Geochronological Center, Berkeley, California.
- Lynch, E., Berggren R. & Bergman S., 2023: Geochemical and geophysical assessment of c. 1.8 Ga granites associated with W-F ± Mo mineralisation, western Bergslagen. SGU-rapport 2023:13, Sveriges geologiska undersökning, 75 s.
- Magnusson, N.H., 1940: Ljusnarsbergs malmtrakt. Sveriges geologiska undersökning Ca 30, 188 s.
- Nisca, H.D., 1981: Flygmagnetisk, petrofysisk och gravimetrisk interpretation. Kartblad 11F Lindesberg NV. Prospekteringsrapport BRAP 80422, 110 s.
- Parr, J.M., 1988: The metasediments associated with stratabound base metal mineralization, Ljusnarsberg District, Central Sweden. *Geologie en Mijnbouw 67*, 189–202.
- Parr, J.M. & Rickard, D.T., 1987: Early Proterozoic subaerial volcanism and its relationship to Broken Hill-type mineralization. *I* T.C. Pharaoh, R.D. Beckinsale & D.T. Rickard (red.): Geochemistry and mineralization of Proterozoic volcanic suites. *Geological Society of London Special Publication 33*, 81–93.
- Pearce, J.A., 1983: Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. I C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (red.): Continental Basalts and Mantle Xenoliths, Shiva Publishing Ltd., 231–272.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology 25*, 956–983.
- Ripa, M., 1998: Beskrivning till berggrundskartan Säfsnäs SO. Sveriges geologiska undersökning Af 190, 77 s.
- Ripa, M. & Brolin, C., 2022: Malmnära profilkartering i området Ställdalen-Kopparberg under 2021. *SGU-rapport 2022:02*, Sveriges geologiska undersökning, 12 s.

- Stephens, M.B. & Jansson, N.F., 2020: Kapitel 6, Paleoproterozoic (1.9–1.8 Ga) synorogenic magmatism, sedimentation and mineralization in the Bergslagen lithotectonic unit, Svecokarelian orogen. I M.B. Stephens & J. Bergman Weihed (red.): Sweden: lithotectonic framework, tectonic evolution and mineral resources. Geological Society of London Memoirs 50, 105–206.
- 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.
- Strömberg, A.G.B., 1988: Berggrundskartan 12F Ludvika SV. Sveriges geologiska undersökning Af 158.
- Sädbom, S., 1988: Ställdalen fältgeologi. Prospekteringsrapport PRAP 87529, 76 s.
- Sädbom, S. & Sandahl, K.-A., 1987: Ställdalen geologi. Prospekteringsrapport PRAP 87511, 24 s.
- Tegengren, F.R. m.fl., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 17, 406 s.
- Vandenberghe, J., Kuipers, G., Beunk, F.F., Yi, K. & van der Wateren, F.M., 2020: Evidence of permafrost in the Paleoproterozoic (c. 1.9 Ga) of Central Sweden. *Permafrost and Periglacial Processes 2020*, 1–9.
- Vermeesch, P., 2018: IsoplotR: A free and open toolbox for geochronology. *Geoscience Frontiers 9*, 1479–1493.
- Whitehouse, M. J. & Kamber, B.S., 2005: Assigning dates to thin gneissic veins in high-grade metamorphic terranes: a cautionary tale from Akilia, southwest Greenland. *Journal of Petrology* 46, 291–318.
- Winchester J.A. & Floyd, P.A., 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology 20*, 325–343.

BILAGA 1. KEMISK SAMMANSÄTTNING

Tabell 4. Kemisk sammansättning, utvalda data, huvudelement som oxider anges i viktprocent, spårelement i ppm.

Chemical composition, selected data, major elements as oxides in weight percent, trace elements in ppm.

Prov	ALB210001A	ALB210002A	ALB210029A ALB210072A		CMR210243A
Bergart	Metadacit	Vulkanisk silt-sandsten	Metaryolit	Metadacit-ryolit	Metabasit, breccia
NS	6651293	6650909	6642600	6641055	6648406
ov	497956	498042	494636	495578	496240
SiO2	65,1	77,9	79,7	66,6	49,3
TiO2	0,86	0,16	0,18	0,87	0,78
Al2O3	13,25	11,7	10,7	13,95	15,2
Fe2O3	8,53	2,54	3,04	7,3	10,5
CaO	1,25	0,62	0,18	1,7	3,81
MgO	2,61	0,93	1,58	1,96	11,2
MnO	0,09	0,03	0,02	0,08	0,21
Na2O	3,88	2,95	1,86	4,01	3,16
К2О	3,03	4,06	2,27	3,26	3,25
P2O5	0,18	0,02	0,02	0,2	0,16
LOI	0,58	0,75	2,11	0,77	1,65
Total	99,41	101,73	101,7	100,78	99,34
As	0,4	0,7	1,1	1,1	0,2
Ва	455	589	338	627	769
Ве	0,25	0,45	0,35	0,36	0,14
Bi	0,05	0,32	0,01	0,07	0,09
Cd	0,02	0,31	0,02	0,01	0,11
Со	12,3	1,7	2,1	11,3	29,2
Cr	2	5	3	7	106
Cs	0,55	1,24	0,97	5,81	11,95
Cu	0,6	6,4	0,6	4,5	43,3
Ga	21,4	14,8	16,9	21,1	16,6
Ge	0,25	0,09	0,12	0,21	0,16
Hf	7,2	5	6,97	7,3	1,3
In	0,07	0,031	0,011	0,041	0,014
Li	13,2	13,1	13	15,8	22,4
Мо	1,86	1,69	0,45	1,06	0,24
Nb	12	11,1	13,1	14,1	2,3
Ni	0,5	2,7	0,2	3,6	38
Pb	5	38	5	10	30
Rb	75,8	138,5	98,1	122,5	85,7
Sb	0,09	0,98	0,08	0,07	0 <i>i</i>
Sc	21,3	5,4	1,3	17,8	8,1
Se	0,3		0,2	0,4	
Sn	2,7	1,3	0,9	1,9	0,2
Sr	24,2	32,7	18,8	102,5	113
Та	0,8	0,7	1,1	0,9	2.04
in Ti	12,1	14	14,1	11,45	2,01
TI	0,22	0,73	0,07	0,58	0,81
U	4,05	6,05	4,02	3,32	0,93
V	42	14	5	/6	281
vv	0,43	0,83	0,14	0,42	45.4
Y Ze	43,2	29,3	32,1	38,9	15,1
Zn Tu	85	128	36	101	90
Zr	252	1/2	252	2/1	41

Tabell 4. Fortsättning.

Prov	CMR210262A	CMR210263A	CMR220272A	CMR220278A	CMR220281A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metadacit	Basisk bergart	Metagråvacka
NS	6644388	6644474	6641119	6644683	6644927
ov	494166	494381	495504	498203	497890
SiO2	75,7	76,7	66	54,9	64,3
TiO2	0,16	0,2	0,9	1,44	0,58
AI2O3	12,5	11,35	14,15	15,8	18,95
Fe2O3	2,26	2,76	7,02	10,95	5,99
CaO	0,61	1,08	3,56	5,39	0,32
MgO	0,61	1,22	1,56	3,96	2,08
MnO	0,01	0,01	0,1	0,22	0,07
Na2O	1,7	2,55	3,19	4,17	0,9
К2О	5,55	3,97	3,38	3,29	4,22
P2O5	0,01	0,01	0,22	0,66	0,08
LOI	1,13	0,63	0,9	0,62	3,03
Total	100,33	100,63	101,12	101,58	100,61
As	0,3	0,3	3,1	1,6	11
Ва	757	1295	1210	1220	754
Ве	0,84	0,37	0,5	0,19	0,69
Bi	0,03	0,02	0,07	0,09	0,31
Cd	0,01	0,02	0,05	0,06	0,03
Со	0,5	1,4	9,5	17,9	8,1
Cr	3	4	8	45	43
Cs	1,93	1,87	4,67	10,5	8,75
Cu	0,6	0,6	3,9	36,7	12,5
Ga	21,1	20	22,9	21,8	27,1
Ge	0,08	0,13	0,21	0,24	0,14
Hf	8,7	9,9	6,82	4,78	4,06
In	0,026	0,044	0,041	0,028	0,028
Li	6,1	5,3	10	37,7	47,9
Мо	0,41	0,77	0,66	0,52	0,26
Nb	17	18,8	15,85	18,9	12,95
Ni	0,3	1,4	2,7	18,8	25,5
Pb	2		22	19	19
Rb	183	91,4	146,5	123	200
Sb		0,11	0,16	0,11	0,05
Sc	2,5	4,6	7,6	7,1	3,6
Se	0,2	0,2	0,3	0,4	
Sn	1,3	2,2	1,7	1,1	0,8
Sr	21	32,2	143	362	62,3
Та	1,2	1,3	1,2	1	1,1
Th	15,55	16,1	11,5	2,55	12,1
TI	0,04	0,11	0,39	0,64	0,25
U	4,62	5,32	3,63	1,15	2,91
V			76	191	101
W	0,11	0,71	1,76	0,36	0,21
Y	44,9	55,2	43,4	26,3	25,9
Zn	22	8	108	111	68
Zr	299	375	275	205	133

Tabell 4. Fortsättning.

Prov	SAN220040A	SAN220041A	SAN220064A	SAN220065A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit
NS	6644712	6644534	6634805	6634687
ov	499729	500230	498544	498724
SiO2	75	78,5	75,1	76
TiO2	0,23	0,13	0,19	0,25
AI2O3	11,8	11,25	10,15	11,15
Fe2O3	3,79	0,76	3,11	3,02
CaO	1,54	2,04	5,13	1,7
MgO	1,42	0,16	0,84	0,52
MnO	0,14	0,02	0,11	0,04
Na2O	0,62	6,02	0,7	1,36
К2О	4,87	0,13	3,33	5,63
P2O5		0,01	0,03	0,03
LOI	1,75	1,29	1,32	0,98
Total	101,19	100,31	100,06	100,83
As		0,2	1,6	0,9
Ва	288	15,4	460	1350
Ве	2,17	0,31	2,58	0,45
Bi	0,16	0,1	0,34	0,08
Cd	0,01	0,02	0,03	0,02
Со	0,7	0,5	1,9	0,5
Cr	4	5	5	3
Cs	1,26	0,05	1,92	0,96
Cu	0,8	0,9	3,8	0,5
Ga	22,7	16,6	15,6	20
Ge	0,19	0,08	0,16	0,19
Hf	10,8	6,96	7,09	9,07
In	0,037	0,016	0,082	0,03
Li	21	0,6	8,7	11
Мо	0,39	1,05	0,82	1,03
Nb	25,2	13,35	16	17,85
Ni	0,2		0,4	0,2
Pb	12	3	5	5
Rb	193	6,1	123	137
Sb	0,12		0,11	0,4
Sc	3	0,8	2,6	3,3
Se		0,2		0,4
Sn	2,6	1,2	2,2	1,8
Sr	15,9	8,4	23,9	27,5
Та	1,9	1,1	1,3	1,4
Th	17,6	10,5	12,6	12,9
TI	0,04		0,03	0,07
U	5,52	2,9	2,8	3,88
V				
W	0,49	2,92	1,5	1,02
Y	62,7	50,5	39,9	56
Zn	39	10	21	30
Zr	390	242	255	343

BILAGA 2. HALTER AV SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER

Tabell 5. Halter av sällsynta jordartsmetaller (REE) i ppm.Content of rare earth metals (REE) in ppm.

Prov	ALB210001A	ALB210002A	ALB210029A	ALB210072A	CMR210243A
Bergart	Metadacit	Vulkanisk silt-sandsten	Metaryolit	Metadacit-ryolit	Metabasit, breccia
La	21,2	36,5	50,6	22,3	7,8
Ce	46,9	70,2	107	65	15,6
Pr	5,73	8,6	13,1	6,35	2,31
Nd	23,1	31,7	50,1	25	9,7
Sm	5,02	5,86	9,38	5,41	2,4
Eu	1,48	0,75	1	1,4	0,75
Gd	5,58	5,17	7,68	5,6	2,6
Tb	1,06	0,83	0,99	1	0,4
Dy	7,04	4,95	5,74	6,49	2,79
Но	1,6	1	1,12	1,43	0,52
Er	4,72	3,03	3,13	4,28	1,62
Tm	0,7	0,41	0,54	0,69	0,25
Yb	4,97	3,07	3,4	4,73	1,49
Lu	0,76	0,46	0,55	0,67	0,22

Tabell 5. Fortsättning.

Prov	CMR210262A	CMR210263A	CMR220272A	CMR220278A	CMR220281A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metadacit	Basisk bergart	Metagråvacka
La	41,2	45,8	39,1	31	39,7
Ce	83,1	91,7	80,9	73,1	78,5
Pr	10,2	11,35	10,45	9,17	9,19
Nd	38,3	45	41,6	38,6	37,1
Sm	7,09	8,4	7,88	7,16	6,39
Eu	0,93	1,33	1,6	2,1	1,14
Gd	6,59	8,57	8,37	6,25	5,71
Tb	1,09	1,44	1,17	0,86	0,79
Dy	6,87	9,26	8,01	5,19	4,77
Но	1,52	2,04	1,69	1	0,98
Er	4,81	6,45	4,85	2,8	2,81
Tm	0,72	0,89	0,75	0,44	0,45
Yb	5,3	6,13	4,4	2,76	2,88
Lu	0,75	0,96	0,66	0,34	0,36

Tabell 5. Fortsättning.

Prov	SAN220040A	SAN220041A	SAN220064A	SAN220065A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit
La	53,9	9,5	42	44,2
Ce	126	25,5	90,6	95,6
Pr	14,9	3,6	11,15	11,8
Nd	59,5	16,7	44,5	48,6
Sm	12,5	4,81	8,8	10,85
Eu	1,56	1,09	1,11	1,96
Gd	11	6,75	7,8	9,85
Tb	1,84	1,06	1,2	1,6
Dy	11,6	8,34	7,51	10,5
Но	2,45	1,91	1,43	2,07
Er	7,16	5,3	4,22	6,31
Tm	1,07	0,95	0,63	0,91
Yb	7,59	6,06	4,57	6,5
Lu	1,06	0,71	0,61	0,83