Bergslagen, etapp 1

Profilkartering av berggrunden i Fagersta-Avestaområdet

Magnus Ripa, Johan Jönberger & Daniel Larsson

april 2020

SGU-rapport 2020:12





Omslagsbild: Åsgruvans dagbrott, Norberg, gruvlaven i bakgrunden. Vy mot sydväst. Fotograf: Daniel Larsson.

Författare: Magnus Ripa, Johan Jönberger och Daniel Larsson Granskad av: Stefan Bergman Ansvarig enhetschef: Ildikó 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

Abstract	4
Sammanfattning	4
Inledning	4
Tidigare arbeten	5
Berggrunden	7
Profiler	7
Övriga observationer	. 15
Sammanfattning av profiler och övriga observationer	. 18
Petrografi	.20
Strukturer	. 21
Geofysik	.22
Petrofysik	.24
Geofysisk modellering och tolkning	. 27
Litogeokemi	. 35
Referenser	. 39
Bilaga 1. Bergarternas kemiska sammansättning	.40

ABSTRACT

Bedrock-mapping and geophysical investigations, mainly along traverses across dominant structures and presumed stratigraphy, have been done at selected places in the Fagersta–Avesta area, Bergslagen, Sweden. The rocks of the area are part of the so-called REE line and host variably skarn-altered banded iron formations, REE-bearing skarn iron ores and some sulphide ores. The present investigation has not been able to definitely evaluate the stratigraphy of the area, but tentatively two parallel, northeast-striking synclines appear to exist. The anticlinal structure between these is in such a case composed of strongly hydrothermally altered volcanic rocks, subvolcanic rocks and older granites. The intrusions are interpreted to have generated and localised the hydrothermal alteration. The sedimentary formation in the northwestern part of the area mainly underlies the volcanic rocks but contains volcanic interbeds and clast and are thus in part synvolcanic.

SAMMANFATTNING

SGU har karterat och utfört geofysiska mätningar av ett antal profiler tvärs över dominerande strukturer och förmodad stratigrafi i Fagersta-Avestaområdet. Området är en del av den så kallade REE-linjen i Bergslagen, och berggrunden där innehåller skarnomvandlade bandade järnformationer, REE-förande skarnjärnmineraliseringar och några sulfidmineraliseringar. Den här undersökningen har inte med säkerhet lyckats fastslå stratigrafin och strukturen i området, men sannolikt finns här två parallella synklinaler med nordostlig strykning. Den anti-klinala strukturen dem emellan utgörs i så fall av starkt hydrotermalt omvandlade vulkaniter, subvulkaniska intrusioner och äldre granit. Intrusionerna antas vara orsaken till bildningen och lokaliseringen av den hydrotermala omvandlingen. De sedimentära bildningarna i områdets nordvästra del underlagrar i huvudsak vulkaniterna, men innehåller också vulkaniska led och klaster och är således delvis synvulkaniska.

INLEDNING

Inom SGU-projektet *Bergslagen, etapp 1* finns ett antal delprojekt (SGU 2017). Ett av dem avser kartering i några geologiska nyckelområden. Ett av dessa är Fagersta-Avestaområdet (fig. 1), eftersom det är en del av den så kallade REE-linjen i Bergslagen (Jonsson & Högdahl 2013).

Under 2017 och 2018 gjordes i detta område ca nio veckors kartering längs utvalda profiler och ca fyra veckors geofysiska mätningar längs i huvudsak samma profiler. Dessutom gjordes TEM-mätningar under ca en vecka vid Stripåsens koppargruva. Karteringen gjordes av Daniel Larsson (2017) och Magnus Ripa (2017 och 2018) och de reguljära geofysiska mätningarna av Johan Jönberger. TEM-mätningarna gjordes av Lena Persson, Mehrdad Bastani och Johan Jönberger i samarbete med personal från Luleå tekniska universitet.

Karteringen gjordes längs ett antal av de profiler som på förhand valts ut. Läget för profilerna baserades på befintliga geologiska data, förekomst av hällar eller tunt jordtäcke enligt SGUs jordartsinformation, förekomst av metall- och mineralfyndigheter enligt SGUs databas och på en tolkning av lineament och konnektioner utifrån befintliga geofysiska data. Några av de föreslagna profilerna i södra delen av projektområdet ströks eftersom berggrunden här visar sig vara så metamorf att ursprunglig karaktär och stratigrafi hos ytbergarterna är extra svårbedömd och svår att korrelera från punkt till punkt.

Nittioen observationer har lagts in i SGUs databas halldb och trettiotre prover har tagits för kemisk analys och tunnslipstillverkning. Resultaten av de kemiska analyserna har levererats till SGUs litogeokemiska databas. SGUs kartdatabas har i tillämpliga fall uppdaterats och är grund för den bild som visas i figur 1. Koordinater är enligt sweref99tm.

TIDIGARE ARBETEN

Tidigare geologiska undersökningar i området är Geijer (1936), Strömberg (1983) och Ambros (1988). En sammanställning av berggrunden i Bergslagen gjordes av Stephens m.fl. (2009). En strukturtolkning av hela Bergslagen gjordes av Beunk & Kuipers (2012). Bergslagens mineralfyndigheter beskrevs av Tegengren m.fl. (1924) och Geijer & Magnusson (1944).

Området har varit föremål för flera flygkampanjer där olika geofysiska datamängder har samlats in (se tabell 1 i Ripa m.fl. 2018a). Samtliga geofysiska flygmätningar har genomförts av SGU förutom slingrammätning, vilken utfördes 1984 av LKAB. Under 2016 genomfördes en geofysisk flygmätning där linjestråken var vinkelräta mot majoriteten av de magnetiska anomaliernas strykningsriktning. De geofysiska data som samlades in rörde magnetfältet, markens naturliga gammastrålning och det elektromagnetiska fältet. Genom att använda två VLF-sändare erhålls elektromagnetisk information som gör det möjligt att identifiera elektriskt ledande strukturer oberoende av deras riktning till sändarna.

Sedan tidigare fanns det tyngdkraftsmätningar i området, men det var generellt stora avstånd mellan mätpunkterna. Mätpunktavståndet var ungefär 2–3 km med undantag för två profiler som sträcker sig i nordvästlig riktning genom de centrala delarna av karteringsområdet. Under 2017 gjordes en förtätning av tyngdkraftsinformationen vilket resulterade i ett genomsnittligt mätpunktsavstånd på cirka 0,5–1,5 km.

Verksamheten i projektet under 2017 beskrevs av Ripa m.fl. (2018a).



Figur 1. Förenklad och modifierad berggrundskarta enligt SGUs uppdaterade databas över projektområdet Fagersta- Avesta med omnejd. Avesta ligger ca 15 km nordost om Norberg och strax utanför visat område. Vit tvärstreckning betyder hydrotermal omvandling, vit prick porfyrisk textur.

Simplified and modified geological bedrock map of the project area and surroundings. White cross-hatching denotes hydrothermal alteration, white dot porphyritic texture.

BERGGRUNDEN

Generellt kan man konstatera att stora delar av berggrunden är hydrotermalt omvandlad, vilket yttrar sig i dels glimmerrika och dels cordierit- och glimmerrika partier. Delar av stråket av metavulkaniter och kalkstenar är starkt bandade parallellt med den dominerande tektoniska strukturen, S2, som stryker ungefär mot nordost. Bandningen är i allmänhet en kombination av primär lagring och senare strukturell överprägling. Den hydrotermala omvandlingen och deformationen gör att bergarternas ursprungliga karaktär, eventuella primära strukturer och kontakter dem emellan ofta är svårtolkade. Lokalt är dock bergarterna välbevarade.

Profiler

Profil mellan Stora Älgsjön och Stora Ötjärnen samt förbi Korsstensgruvan

Ett litet område kring Korsstensgruvan (fig. 1) karterades redan 2015 i EURARE-projektet (Sadeghi 2019). Vid vägen och gruvan finns ett vulkaniskt konglomerat vari omvandling och mängden magnetitporfyroblaster ser ut att avta mot väster (fig. 2A), och uppåt torde därför också vara åt det hållet om man antar att omvandlingen kommer underifrån.

Norr om stora landsvägen ca 700 m sydväst om Korsstensgruvan finns kvartsporfyrisk tuff med enstaka pimpstensfragment och litiska dito (fig. 2B). Under kraftledningen en bit norrut är bergarten ganska glimrig och med selektivt urvittrade delar (fragment?). Det finns granitådror som är parallella den dominerande strukturen (orienterad ca 20).





Figur 2. A. Metavulkaniskt konglomerat, delvis hydrotermalt omvandlat och med magnetitporfyroblaster. Vid Korsstensgruvan 6656432/545783. **B.** Pimpstensfragmentförande metavulkanit, 700 m sydväst om Korsstensgruvan 6655867/543310. **C.** Yngre granit, väster om Lilla Ötjärnen 6654550/546251.

A. Metavolcanic conglomerate, partly hydothermally altered and magnetite porphyroblast-bearing. **B.** Pumice-bearing metavolcanic rock. **C.** Young granite.

Under kraftledningen finns fint medelkornig metagranit och en skiffrig varietet av densamma. Metagraniten har tätt (ca 4 per m) med kvartsläkta sprickor, vilka också är parallella med den dominerande strukturen. I området nordväst om Korsstensgruvan finns hällar med kvartsporfyrisk metavulkanit som är tämligen lik den ovan nämnda, dvs. den har lokalt också pimpstensfragment, upptill dm-stora, och andra litiska fragment. Mängden och storleken på kvartsströkornen varierar, och längs Bruksleden ser den "siltig" ut, men har fortfarande enstaka strökorn. Vid skogsbilvägen nordväst om leden finns dock en horisont med vulkanisk silt- till sandsten.

Söder om stora landsvägen ca 700 m sydväst om Korsstensgruvan finns längs några hundra meter mot sydsydost kvarts- och, underordnat, fältspatporfyrisk metavulkanit, i stort sett liknande bergarten norr om vägen, om än klastfri. Kring gruvorna längre söderut finns omväxlande skikt av vulkanisk silt- till sandsten och kvartsporfyrisk vulkanit. Magnetanomalierna i detta område (fig. 11) antyder att de magnetiska horisonterna torde ha en annan strykning än den dominerande nordostliga foliationen. Lagringen går dock inte att direkt se här men formen på gruvhål och utbredningen av skarniga aggregat, vilka båda sannolikt i stort sett följer lagringen, antyder att foliationen är axialplan i s-veckade lager. Ur hålen har man antagligen brutit magnetit, även om det mest ser ut att finnas aktinolitskarnig karbonatsten. En bit söder om skogsbilvägen sydost om gruvfältet finns dels röd, fint medelkornig, jämnkornig och massformig yngre granit (fig. 2C) och dels glimmeromvandlade, eventuellt pimstensfragmentsförande, möjligen cordieritförande varieteter av vulkaniterna ovan. De senare är genomsatta av gångar av yngre granit. Det finns även dm-breda pegmatitådror med central kvarts, vit fältspat, muskovit och ett svart oidentifierat mineral.

Profil åt nordväst från Stora Malmtjärnen till väster om Bånkarmossen

En del hällar vid Stora Malmtjärnen (fig. 1) karterades redan 2015 i samband med EURAREprojektet (Sadeghi 2019). Öster om tjärnen finns lokalt cordieritförande glimmerskiffer (fig. 3A). Vid den gamla banvallen och vidare åt nordväst finns en ofta intetsägande, jämnkornig till något kvartsporfyrisk, lokalt klastförande och sannolikt lagrad sekvens av ryolitiska metavulkaniter (fig. 3B). I Silvtjärns naturreservat finns häll med pimpstensfragmentsförande metaryolit (fig. 3C). Vid Silvtjärnen finns ett stråk av skarnig och delvis mineraliserad kalcitkalksten som brutits på några platser (fig. 3D, E) samt en blottning av metabasit (troligen en gång). Det finns en viss "bucklighet" vid kontakter mellan vulkanit och kalksten, men det beror sannolikt på veckning och inte på förekomst av stromatolitdomer. Eventuell gradering är svårtolkad i de tunna och delvis skarnomvandlade metavulkanitskikten.

Bergarterna från Silvtjärnen och ca 700 m mot nordväst domineras till synes av liknande bandade och jämnkorniga sekvens som sydost om den. Dock är bandningen lokalt även tämligen tektonisk och till och med mylonitisk (fig. 4A, B), speciellt intill två tunna horisonter med kalksten som finns i topografiska sänkor som är parallella med foliationen (här orienterad ca 225/70) 250 m nordväst om Silvtjärnen. Även i dessa kalkstenar har viss brytning skett. Strax sydost om här finns en häll med två granatförande bergarter (fig. 4C, D). Dels bandad vulkanit enligt ovan, men med enstaka ljusröda granater, dels en bergart som är rikligare granatförande och som till synes har bakad kontakt mot den förra. Den senare är alltså troligen en lava eller subvulkanit.

Intill en skogsbilväg ca 550 m nordväst om Silvtjärnen finns enligt Af-kartan (Ambros 1988) en sydostligt pekande uppåtstruktur. Under två rotvältor här finns eventuell korsskiktning (fig. 4A) och graded bedding som antyder att det kan stämma. Den lokalt starka deformationen kan förklara bergarternas intetsägande utseende och frånvaron av lättolkade kontakter, men den gör också att tolkningar av uppåtstrukturer kan ifrågasättas i en del fall.



Figur 3. A. Lokalt cordieritförande glimmerskiffer vid Stora Malmtjärnen, 6658168/547145. Vertikal hällyta, vy mot nordost. Notera två stycken foliationer, S1 och S2, markerade med streckade linjer. **B.** Klastförande metaryolit i sprängt block, norr om Stora Malmtjärnen 6658431/548661. **C.** Grovt pimpstensfragmentsförande metavulkanisk breccia i Silvtjärns naturreservat 6658437/546654. **D.** Något aktinolitskarniga kristallina kalkstenslager och metavulkanisk siltsten i stenbrott vid Silvtjärnen, 6658565/546454. Vy mot sydväst. **E.** Gruvhål med sulfider och magnetit sydväst om Silvtjärnen 6658578/546442.

A. Locally cordierite-bearing micaschist showing two foliations, marked with dashed lines. Vertical surface, view towards northeast.
B. Clast-bearing metarhyolite in blasted boulder.
C. Pumice-bearing metavolcanic breccia.
D. Actinolite skarn-bearing marble and metavolcanic siltstone beds. View towards southwest.
E. Small mining pit with sulphides and magnetite.



Figur 4. A. Möjlig korsskiktning (upp åt höger i bilden), ca 550 m nordväst om Silvtjärnen 6659037/546185. **B.** Bandad metavulkanisk sekvens knappt 500 m väster om Silvtjärnen 6658682/546137. **C.** Glest granatporfyroblastisk, bandad metavulkanisk siltsten (B1) och rikligare granatförande, kvartsporfyrisk metaryolit (B2), väster om Silvtjärnen 6658663/546315. **D.** Kontakten mellan B1 och B2 i figur 4C ser "bakad" (kyld?) ut och är s-formad. Sannolikt är B2 (under pennan) alltså en lava eller en subvulkanit.

A. Possible cross-bedding. **B.** Banded metavolcanic rock sequence. **C.** Sparesly garnet-bearing metavolcanic siltstone (B1) and more garnet rich metarhyolite (B2). **D.** The contact between B1 and B2 in Figure 4C looks chilled and s-folded. B2 (under pen) is thus most likely a coherent facies.

Direkt nordväst om nämnda väg finns ytterligare någon häll med bandad vulkanit enligt ovan, men därefter finns en cordierit- och magnetitförande bergart (fig. 5A–C). Bergarten är kvartsporfyrisk, biotitrik, endast lokalt hornbländeförande och med ganska fin kornstorlek (<0,2 mm) i grundmassan. Cordieriterna växte över en tidigare foliation och en senare och dominerande foliation avlänkas kring dem. Berget har ådror av hornblände och fältspat som överpräglades av kvarts (fig. 5D); ådrorna är s-veckade i centimeterskala i horisontalplanet (fig. 5D). Det finns också turmalinförande, kvartsdominerad pegmatit, troligen som gång (fig. 5E).

Vidare mot nordväst och Bånkarmossen kommer en ca 600 m mäktig packe av relativt biotitrik metaryolit. Lokalt är den heterogent ytterligare glimmerrik på grund av omvandling och i de nordvästligare delarna cordieritförande och möjligen pimpstensfragmentsförande.

Metavulkaniterna ansluter väster om Bånkarmossen till en ca 200 m mäktig sedimentär arkos- till kvartsitformation. Den innehåller minst två stycken inlagringar av vulkanit som förefaller vara identisk med nyss nämnda biotitrika metaryolit. Det finns siltiga delar med till synes peperitkontakt mot subvulkanit (fig. 6A) och delvis grusig breccia med pimpstensfragment



Figur 5. A. Cordieritförande metaryolit ca 800 m nordväst om Silvtjärnen, 6659156/545931. **B.** Närbild av hällytan i figur 5A. **C.** Närbild av den cordieritförande bergarten i figurerna A och B. Notera att foliationsriktningen inom cordieriterna är annorlunda än den utanför och att bergarten har svarta magnetitporfyroblaster. **D.** S-veckad kvarts-, fältspat- och hornbländeådra. Häll strax väster om den i figur 5A, 6659193/545864. **E.** Turmalinförande pegmatit i häll strax sydost om den i figur 5A, 6659113/545972.

A. Cordierite-bearing metarhyolite. B. Close up of surface in Figure 5A. C. Detail of cordierites in Figure 5A. Note different orientation of foliations in- and outside cordierites and that magnetite porphyroblasts are present.
D. S-folded quartz-feldspar-hornblende vein. E. Tourmaline-bearing pegmatite.



Figur 6. Bergarter sydväst om Bånkarmossen, 6660050/545485. **A.** Kontakt (peperitisk?) mellan kvartsporfyr och siltsten med "stökig" lagring. **B.** Pimpstensfragment i metaarenit vilket visar på samtidig vulkanisk och klastisk sedimentation. **C.** Kontakt mellan finkornigt, metagranitiskt randfacies till metatonalit och metaarenit. Kontakten är en knapp dm till vänster om pennan. **D.** Korsskiktning i metaarenit visar upp åt höger i bilden, dvs. åt ostsydost. *Lithologies southwest of Bånkarmossen.* **A.** Peperitic (?) contact between guartz-phyric metavolcanic rock and

metavolcanic siltstone with disturbed bedding. **B.** Pumice clast in meta-arenite is evidence of coeval volcanic and clastic sedimentation. **C.** Contact between fine-grained, granitic rim om metatonalitic intrusive and meta-arenite. Contact lies c 1 dm to the left of pen. **D.** Crossbedding in meta-arenite.

och upp till meterstora klaster av finkornigt material. Pimpstensfragment finns också i arkos till kvartsit (fig. 6B). Det senare och växellagringen av litologier tyder på i stort sett samtidig klastisk sedimentation och vulkanism.

Längst i nordväst längs profilen finns intrusiv metatonalit till metagranodiorit som har ett finkornigare och mer granitiskt randfacies närmast kontakten åt ostsydost mot den metasedimentära formationen (fig. 6C). Den senare är korsskiktad nära kontakten och visar att den stratigrafiska uppåtriktningen är åt ostsydost (fig. 6D).

Profil åt öster från Stora Malmtjärnen mot västra delen av Bojmossfältet i Norberg

Hällarna i området mellan tjärnen och stora landsvägen och kraftledningen karterades översiktligt i EURARE-projektet (Sadeghi 2019). De består övervägande av i varierande utsträckning cordieritförande glimmerskiffer. Hela vägen nästan rakt österut från här till strax över landsvägen finns denna bergart. Den varierar något i kornstorlek, vilket kan tolkas som att grövre delar, lokalt i centimetertunna ådror, ursprungligen kan ha varit granit snarare än ryolit. Sekvensen från landsvägen mot Bojmossfältet (vilket senare också delvis karterades i EURARE-projektet) består i huvudsak av en bandad, jämnkornig bergart, ungefär som den nordväst om Stora Malmtjärnen, dock utan litiska klaster. Det finns något mer sandiga, kristallrika och till synes graderade lager strax nordväst om mineraliseringarna i Bojmossfältet, vilka visar att den stratigrafiska uppåtriktningen möjligen är åt sydost. De vulkaniska silt- till sandstenar som är värdbergarter till järnmineraliseringarna är lokalt tämligen glimmerrika.

Profil öster om Bånkarmossen

Parallellt med norra delen av ovan beskrivna profil väster om Bånkarmossen, men öster om densamma (fig. 1) finns i norra delen massformig till stänglig och jämnkornig metagranodiorit. Den har mot söder kontakt mot kvarts- och fältspatporfyrisk, folierad metaryolit. Xenoliter av ryoliten förekommer i granodioriten. De metasedimentära bildningar som finns längs profilen strax sydväst härom saknas alltså här. Cirka 200 meter söder om kontakten finns en skjuvzon (orienterad 273/90) i metaryoliten. Ytterligare 100 meter söderut finns en mörkt gråröd och fältspatporfyrisk metavulkanit med magnetitporfyroblaster och kvartsådror. Mot söder blir bergarten först mer biotitrik och därefter hornblände-, kvarts- och fältspatporfyrisk med dacitisk sammansättning. Bergarten liknar den metadacit som finns strax sydost om Öster Djupkärra (se avsnitt *Profil från Öster Djupkärra till Lilla Öfstjärnen*). Längst i söder i profilen (6659800/547100) finns kvartsporfyrisk metaryolit.

Profil över Klackbergsfältet

Berggrunden i en profil vid Klackberg (från sjön Kalven ner till Norberg; fig. 1) representerar en sekvens av ursprungliga tuffer med inslag av kalkstenar. Malmerna i Klackberg sitter i skarnomvandlad kalksten som växellagrar med vulkanisk silt- till sandsten. Det finns flera stycken, några meter mäktiga kalklager med vulkanit emellan. En gradering i kornstorlek precis vid Klackberg anger stratigrafiskt upp åt sydost. Liknande bergarter fast inte mineraliserade finns vid sjön Kalven. Mellan Klackberg och Kalven och längs vägen sydost om Klackberg finns jämnkornig till något kvartsporfyrisk och relativt glimmerrik metavulkanit. Jämnt fördelad glimmer är vanligare än koncentrerad i starkt glimmerrika zoner. Det finns något mer grovkorniga bergarter vid Gruvbyn, men omvandling och deformation gör tolkningar av ursprunget (vulkanit eller subvulkanit) osäkra (fig. 7).

Ytterligare en profil från Klackberg ner mot Bojmossfältet karterades genom skogen väster om landsvägen. Berggrunden här är en i varierande grad och skiktvis i dm-skala glimmerrik och folierad, sannolikt lagrad, kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit, dvs. i stort likartad med den som finns vid vägen öster här om. Strax söder om vägen mot Kolningsberg finns en tunn diabasgång. Gruvhålet enligt fastighetskartan vid koordinaterna 6659183/549546 ser snarast ut som en grävning (dock med rätt mycket skrotsten uppbrutet) och har till synes endast givit den lokala bergarten, knappast någon malm. Den skiktade sekvensen fortsätter till strax norr om stora landsvägen. Direkt norr om denna väg dominerar dock en övervägande finkornig, folierad bergart som är svårtolkad. Det mesta talar för att den är ett randfacies till äldre granit, eftersom den på några ytor ser ut att vara medelkornig, men dess bildning oklar. Den finns nästan ända fram till gruvhålen intill stora landsvägen där bergarten är fint skiktad, hematitmineraliserad metavulkanit. Mycket grov kvarts (kvartsdominerad pegmatit?) finns i varpen här.

Profil vid sjön Ungen

Längst i söder på profilen vid sjön Ungen (fig. 1), vid Ungtjärnens södra strand, finns en grå, svagt mineralstänglig metagranodiorit till-tonalit. Mot öster och nordost upp mot Ungens södra



Figur 7. Starkt glimmeromvandlad metavulkanit (glimmerskiffer) vid Gruvbyn 6659792/549984. Strongly mica-altered metavolcanic rock (mica schist).

strand finns mörkt grå, fältspat- och hornbländeporfyrisk, folierad, lagrad och veckad metadacit. Amfibol finns som sprickfyllnad. Vid Ungen finns klastförande lager med skarp övergång till klastfri varietet. Klasterna är mörkt grå och innehåller radialstråliga aggregat av antofyllit eller cummingtonit. En biotitrik skjuvzon är orienterad 233/65. Lokalt finns veckade gångar eller ådror av ljust grå, medelkornig, till synes massformig granit och en dissemination av sulfider.

Längre västerut längs Ungens södra strand finns kvarts- och fältspatsporfyrisk, folierad metaryolit utan uppenbar lagring (subvulkanit?) som mot nordväst övergår i mer jämnkornig, lokalt tydligt lagrad vulkanit. I en strandhäll ser sandigare lager möjligen ut att ha eroderat ner i finkornigare och visar att uppåt i stratigrafin i så fall är åt sydost här. Bergarterna innehåller ett flertal meterbreda gångar med en ljust gröngrå, mycket finkornig till finkornig bergart med finkorniga aggregat av sulfidmineral. Gångarna är orienterade ungefär 244–270/70.

Vidare mot nordost längs västra stranden finns först åter den kvarts- och fältspatsporfyriska, folierade, eventuellt subvulkaniska metaryoliten, därefter en strökornsfri, lagrad dacit med kvartsgångar och dissemination av sulfider. Längst i norr finns något biotitomvandlad, fältspat- och hornbländeporfyrisk metadacit liknande den vid Ungtjärnen. Gångar av kvarts- och fältspatporfyrisk metaryolit med magnetitporfyroblaster klipper daciten. Kvartsläkta sprickor och vindlande, decimetertunna gångar av ovan nämnda gröngrå, finkorniga bergart genomkorsar dessa bergarter.

Profil från Öster Djupkärra till Lilla Öfstjärnen

Längst i nordväst, ca 600 m norr om gården Öster Djupkärra (fig. 1) finns gråröd, fint medelkornig, jämnkornig, folierad och lokalt hornbländeförande metagranit. Strax norr om gården finns liknande metagranit med decimeterstora xenoliter av en jämnkornig, finkornig och mörkare bergart. Vid Öster Djupkärra finns en stor häll med en svårtolkad bergart. Den är omväxlande mörkt grå och gråröd och finkornig, till synes ungefär dacitisk. Om det är en ytbergart eller subvulkanit är oklart. Det finns delar som ser ut att ha magmablandningsstrukturer. Det finns rikligt med biotitstrimmor, kvartsådror och disseminerade järnsulfider. Lokalt finns en veckad bandning, och generellt ser bergarten starkt deformerad ut. Eftersom det finns häll med finkornig metagranit även strax öster om gården är det möjligt att den svårtolkade bergarten är en xenolit i intrusivbergsarterna. Strax söder om Öster Djupkärra finns ett öst-västligt, från geofysiken tolkat lineament (fig. 1), vilket sammanfaller med en del av sjöarnas utbredning i området. En häll här har en starkt kvartsbreccierad, obestämbar bergart och visar att lineamentet återspeglar en deformationszon som är spröd till karaktären.

Drygt 1 000 m sydost om Öster Djupkärra längs profilen börjar ett stort hällområde. Längst i norr finns grå, kvartsporfyrisk, svagt deformerad och homogen metaryolit. Mot söder och sydost finns mörkgrå, finkornig till fint medelkornig, kvarts-, fältspat- och hornbländeporfyrisk metadacit. Liksom metaryoliten är den tämligen massiv, välbevarad och homogen över stora ytor, och båda bergarterna tolkas som delar av en subvulkanisk intrusion. I hällområdets sydöstra del är metadaciten cordieritförande, med upptill dm-stora porfyroblaster. Liksom vid profilen vid Stora Malmtjärnen växte cordieriterna över en äldre foliation i vinkel mot den andra och dominerande foliationen (här ca 240/85).

Nordost om och vid Bålsjön (fig. 1) finns en ljust till mörkt rödgrå, finkornig, kvartsporfyrisk och folierad metaryolit; den mörkare varieteten är troligen hydrotermalt omvandlad. Dessutom finns gråaktig, mycket finkornig till finkornig, jämnkornig, lagrad metaryolit med skarnomvandlade lager. Skarnmineralen är epidot och aktinolit. Det finns också metamorf karbonatsten som brutits här.

Cirka 500 meter åt öster finns en lagrad och veckad sekvens av omväxlande grå, kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit och jämnkornig dito (fig. 8A). Vid Lilla Öfstjärnen finns en lagrad, epidotomvandlad dacitisk (?) bergart med skarnjärnmineraliseringar. Möjlig korsskiktning antyder att stratigrafiskt upp är åt sydost.

Profil mellan Häste-Dammsjön och Stripåsen

Profilen vid Häste-Dammsjön (fig. 1) börjar ca 300 m norr om sjön. Här finns grå och folierad vulkanisk sandsten, med sammansättning från ryolit till dacit. Mot söder finns fältspatdominerad pegmatit och en liten nedlagd och nästan igenfylld järngruva. Det som har brutits är magnetit i ett skarn av hornblände och epidot. Det finns även pyrit. Omgivande bergarter är grå, sandstensgrov, biotitrik, folierad metavulkanit och rödgrå till grå, finkornig, kvartsporfyrisk, folierad metaryolit. Den senare har utbredning söderut mot sjön. Genom den senare går samma spröda deformationszon som vid Öster Djupkärra (se avsnitt *Profil från Öster Djupkärra till Lilla Öfstjärnen*; fig. 1).

Vid Västra Träskogruvan strax söder om Häste-Dammsjön finns magnetitmalm i svart, troligen amfibolskarn. Öster om vägen söder om sjön finns dels i norra delen något kvartsporfyrisk tuff och dels längre mot söder skiktad och glimmerfolierad dito. Den senare motsvarar den bergart som är hematitskiktad och manganrik på Oxberget väster om Stripåsen. Dominerande foliation och lagring är i stort parallella, den förra tillhör en andra generation (S2) eftersom den är axialplansfoliation till veck i cm-skala av en tidigare foliation. Vid Stripåsens kopparmineraliseringar liksom vid Södra Långgruvan, nordost om Stripåsen, är dock S2 något mera östlig än S0, vilket indikerar en omböjning åt norr av lagringen. Det senare kan även tolkas från magnetanomalikartan (fig. 11).

Övriga observationer

Observationer vid Semlafältet, Fagersta

Norr om Stortäktsgruvan i Semlafältet utanför Fagersta (fig. 1) finns dels skiktad vulkanisk silttill sandsten (dacit–ryolit) med skarnlager och magnetit, dels kvartsporfyrisk och pimpstensfragmentsförande metaryolit. Enligt lokala block finns även skarnig karbonatsten. Både lagring och foliation stryker åt sydsydväst och stupar relativt brant åt väster, och någon veckomböjning som man kan tolka från magnetanomalikartan (fig. 11) är inte synlig just här. Osäker graderad skiktning under kraftledningen antyder att upp i stratigrafin kan vara åt ostsydost. Gruvhål och sidoberg är i stort sett otillgängliga och få vettiga observationer låter sig göras där.

Knappt 400 m norr om Rudgruvan finns i pisolitförande, stänglig vulkanisk silt- till sandsten täta veck i dm-skala vari den dominerande foliationen är axialplansfoliation (fig. 8B). Det kan vara så, att även om lagringen är parallell med foliationen är det kanske oftast bara veckbenen man ser på mindre hällytor. Lagringen kan alltså i mindre än mesoskopisk skala vara vinkelrät mot foliationen, vilket antyds av magnetanomalikartan (fig. 11).

Observationer nordost om Meling, Fagersta

Området ca 2000 m nordost om Meling vid Fagersta (fig. 1) visar på en stark blockighet och inga hällar hittades. De lokala blocken består dels av svårtolkad, jämnkornig, folierad metavulkanit, dels av kvartsfattig pegmatit (röd och vit fältspat samt muskovit dominerar helt). Den metamorfa graden är alltså tämligen hög här, och data från eventuella hällobservationer torde vara svåra att extrapolera.

Observationer vid Vasstjärnen

Strax sydost om Vasstjärnen (fig. 1) finns en fältspat- och hornbländeporfyrisk, folierad och tämligen sur till intermediär bergart, dacit till andesit. Dess primära karaktär är inte alldeles uppenbar. Den har dels hornblände-, fältspat- och kvartsläkta sprickor, dels till synes märkliga aggregat av bland annat fältspat (fig. 8C). De senare tolkas dock som boudinerade varieteter av ådrorna.

Kring ådrorna finns en reaktionsbård varifrån material till dem tagits. Mot söder finns en liknande bergart men med mindre strökorn. Här finns också centimetertunna granitådror. Ytterligare mot söder finns vulkanisk breccia till konglomerat (fig. 8D). Matrix är en kvartseller kvarts- och fältspatporfyrisk metaryolit som delvis är aktinolitomvandlad, delvis i varierande grad glimmeromvandlad. Klasterna är decimeterstora och av två typer, dels finkornig intermediär bergart med variabel halt strökorn av amfibol, dels finkornig, jämnkornig sur bergart. Omvandlingen ger lokalt upphov till en glimmerbrecciering i centimeterskala som är svåridentifierad då även litiska klaster i motsvarande storlek och av liknande material som värdbergarten finns (fig. 8E). Det finns också delar utan uppenbara klaster.

Observationer kring Norbergs gruvor

En profil karterades över malmstråken i Norberg (fig. 1) men observationspunkterna blev tämligen få på grund av infrastrukturen i samhället; de inskränker sig där till nästan bara gruvhål och direkt sidoberg, vilka beskrivs i följande text.

Vid rampen ner till gruvorna i Risbergsfältet, nära värmeverket i Norberg, finns rödgrå, ojämnkornig, massformig till svagt deformerad metagranit. Ungefär 170 meter västerut vid Stora Spettalsgruvans dagbrott finns kvartsporfyrisk och folierad metaryolit som utgör mineraliseringens sidobergart i dagbrottets nordvästra sida. Malmen som bröts var bandad järnmalm. Ungefär nordligt strykande och veckade, magnetitrika lager har högre magnetisk susceptibilitet än vad som går att mäta i fält. Kvartsläkta sprickor med magnetit förekommer liksom malakitförande sprickor. Gruvhålen i Mossgruveparken väster här om är väl inhägnade, men man kan syfta en stark stänglighet som stupar 50–55 grader mot sydväst.

Ytterligare ungefär 400 meter västerut finns Åsgruvans dagbrott. På dess västra sida finns grå, finkornig, jämnkornig och starkt folierad metadacit till -ryolit. Malmen som bröts är en fint bandad skarnmalm med magnetit. Magnetitlagren stryker ungefär åt sydväst med brant stupning och syns tydligt på en del horisontella hällytor som av någon anledning är fria från vittring och organiskt material här. Skarnmineralen är epidot och aktinolit-tremolit.



Figur 8. A. Växellagrad och tektoniskt störd kvarts- och fältspatporfyisk metavulkanit och metavulkanisk siltsten (i bilden brunaktig respektive ljusare), ca 500 m öster om Bålsjöns norra ände 6665295/554510. **B.** Tätt veckad och pisolitförande (vid pilar) metavulkanisk siltsten norr om Rudgruvan i Semlafältet 6654283/542420. **C.** Fältspat- och hornbländeporfyrisk metadacit till -andesit med kvarts-, hornblände- och fältspatläkta sprickor. Söder om Vasstjärnen 6658400/544450. **D.** Metavulkaniskt konglomerat till breccia med aktinolitomvandling, söder om Vasstjärnen 6658323/544428. **E.** Hydrotermalomvandling och -brecciering i metavulkanisk breccia, söder om Vasstjärnen 6658108/544410. **F.** Vulkanisk breccia (?) med m-stora pimpstensfragment i metavulkanisk siltsten. Norberg 6659895/551730.

A. Bedded and tectonically disturbed sequence of quartz- and feldspar-phyric metavolcanic rock and metavolcanic siltstone (brownish and light-coloured, respectively). **B.** Tightly folded and accretionary lapilli-bearing (by arrows) metavolcanic siltstone. **C.** Feldspar- and hornblende-phyric metadacite to meta-andesite with quartz-feldspar-hornblende veins. **D.** Metavolcanic conglomerate to breccia with actinolite alteration. **E.** Hydrothermal alteration and brecciation of metavolcanic breccia. F. Metavolcanic breccia (?) with m-sized pumice clasts in metavolcanic siltstone.

Lokalt förekommer sulfidanrikade lager, bland annat med kopparkis och pyrit. Malmen är ställvis veckad i decimeterskala längs axlar som stupar medelbrant åt sydväst. Ett flertal förkastningar, både sinistrala och dextrala, syns på horisontella ytor.

I en häll vid ett villaområde i Norberg (6659895/551727) finns en fint kinkveckad sekvens (fig. 8F). Det är vulkanisk silt- till sandsten med underordnade, boudinerade skikt eller klaster av kvartsporfyrisk tuff. Eftersom de senare lokalt har en reaktionsbård mot omgivningen tolkas de som ovanligt stora pimpstensfragment.

Sammanfattning av profiler och övriga observationer

Frågan om Geijers (1936) uppfattning, att strukturen i vulkanitstråket är två synklinaler snarare än en, eller Ambros (1988) uppfattning, att det är en monoklinal, är riktig, kan inte med säkerhet besvaras efter denna undersökning. Tolkningen av befintliga geofysiska data, vissa omvandlingsmönster, bergarternas utbredning och mineraliseringarnas typ och lägen talar dock för att Geijer kan ha rätt utom när det gäller hans tolkning av de klastiska metasedimentära bergarternas position i stratigrafin (se Ambros 1988).

Profilerna förbi Stora Malmtjärnen (fig. 1) kan anses vara representativa för stratigrafin i det undersökta området. Det är alltså möjligt att synklinaler finns på ömse sidor, nordväst respektive sydost, om stråket ungefär längs med stora landsvägen sydväst om Norberg med den lokalt cordieritförande glimmerskiffern, vilken i så fall borde vara en antiklinal (fig. 9). Den ursprungliga karaktären på bergarterna i glimmerskiffern är dock oklar, det vill säga om de helt eller delvis är subvulkaniska eller granitiska intrusioner eller om lokal grovkornighet är relaterad till omvandling, metamorfos och deformation. Tunnslipsprover visar kvartsströkorn med korrosionsbukter, och bergarterna tolkas därför som koherenta facies. Det finns partier som ser ut att vara granitiska gångar och vid profilerna vid Klackberg och söder om Korsstensgruvan finns sannolik respektive säker äldre granit i dagen. Synklinalerna domineras av lagrad eller bandad, lokalt klastförande ryolitisk metavulkanit. I den nordvästra synklinalen finns två mäktigare (Stora Malmtjärnen och Silvtjärnen) och två smalare (de nordväst om Silvtjärnen) kalkstenshorisonter. Pimpstensfragment och andra litiska klaster ser i allmänhet ut att bara finnas i de översta stratigrafiska nivåerna, över de mineraliserade och delvis skarnomvandlade karbonatstenarna.

I den nordvästra synklinalen (fig. 9) finns på den lägsta stratigrafiska nivån metakvartsit till -arkos och breccia, vilket tyder på strandnära avsättningsförhållanden. Där finns även dels metavulkaniska horisonter, dels sedimentära bergarter med pimpstensfragment, vilket tyder på samtidig vulkanisk och klastisk sedimentation. Lågt i stratigrafin finns även lokalt cordieritförande metadaciter, både som ytbergarter och som koherenta, sannolikt subvulkaniska intrusioner. Stratigrafiskt över dessa finns vulkaniska silt- till sandstenar med enstaka kvartsporfyriska inslag, vilka tillsammans troligen representerar turbiditiska, mer distala och djupare avsatta enheter. I övre delarna av dessa finns kalkstenar och underordnade bandade järnformationer, de senare dessutom bara i de norra delarna. Över kalkstenarna finns klastförande vulkaniter.

Den sydöstra synklinalen (fig. 9) består nästan bara av vulkaniska silt- till sandstenar, lokalt tämligen glimmerrika. I dessa finns rikligt med bandade järnformationer. Högst i stratigrafin finns i allmänhet en "synklinal köl" (Geijer 1936) av skarnomvandlad karbonatsten. En häll med möjligen grovt pimpstensfragmentsförande vulkanit inne i Norberg kan dock vara ytterligare en nivå.

Ett antal i varierande grad säkra stratigrafiska uppåtbestämningar har kunnat göras (fig. 1), i allmänhet med hjälp av kors- eller graderad skiktning. Osäkerheten beror på ovan nämnda omvandling och tektoniska överprägling. De flesta visar att upp är åt sydost, vilket skulle ge stöd åt Ambros (1988) tolkning. Bestämning av stratigrafiskt upp åt nordväst vid Stora Malmtjärnen är relaterat till omvandlingsmönstret såsom beskrivet av Geijer (1936) och med antagandet att



Figur 9. Schematiska stratigrafiska sektioner i de hypotetiska nordvästrespektive sydostsynklinalerna och en tillika schematisk tvärprofil. I princip torde den senare motsvara hur berggrunden ser ut längs profilen förbi Stora Malmtjärnen.

Schematic stratigraphic sections and cross-section. Corresponds approximately to a traverse at Stora Malmtjärnen.

omvandlingen kom underifrån. Uppåtpilen åt nordväst vid Korsstensgruvan baseras på samma resonemang. Under förutsättning att de senare bestämningarna är riktiga, är istället Geijers (1936) tolkning rätt. En schematisk profil enligt den senare har skissats i figur 9. Här ser man att överstjälpning av axialplan plus asymmetriska intrusioner av plutoniter och subvulkaniter kan göra att sannolikheten för att hitta nordvästliga uppåtbestämningar blir relativt låg.

Det centrala glimmerskifferstråket är starkt glimmeromvandlat och lokalt cordieritförande. Vid Stora Malmtjärnen ser det ut som att den dominerande foliationen, S2, är axialplansfoliation till veck av en tidigare glimmerrik foliation (fig. 3A), och att alltså glimmeromvandlingen är äldre än eller synkron med den första deformationsfasen. Vår tolkning är att glimmeromvandlingen orsakades av och centrerades kring de subvulkaniska och granitiska intrusionerna. Även i övrigt är dock många metavulkaniter i projektområdet relativt starkt glimmeromvandlade. Omvandlingen varierar mellan penetrativ och koncentrerad till zoner.

Petrografi

Trettiosju stycken tunnslip (varav två från EURARE-projektet; Sadeghi 2019) har undersökts.

Metasedimentär bergart

Ett prov som i fält klassats som metaarkos och ett som finkornigt facies av en breccia har undersökts. Kornstorleken varierar från 0,1 till 0,3 mm, men lokalt finns korn på ca 1,5 mm. I fält har till och med grusiga korn (2–20 mm) noterats. Ovala och undulösa strökorn av kvarts ligger lokalt i en finare matrix. Mineralogiskt domineras de metasedimentära bergarterna av kvarts, men dessutom finns glimmer (både biotit och en ljus varietet), fältspat, epidot, opakmineral och möjligen titanit.

Porfyrisk metaryolit

I fält uppfattas dessa som tuffer och subvulkaniter. De flesta prov (n = 13) har både dominerande kvarts och underordnad fältspat som strökorn, några dock endast kvarts. Både plagioklas och kalifältspat förekommer som strökorn, men i några fall kan man bara se att det är fältspat med i allmänhet lägre brytningsindex än kvarts. Kvartsströkornen har korrosionsbukter i några prov, vilket tolkas som att de är koherenta facies. Grundmassan är 0,02–0,1 mm och strökornen 0,1–3 mm i storlek. Kvarts och fältspat kan oftast identifieras även i grundmassan som dessutom består av biotit, ljus glimmer (sannolikt flogopit), klorit, epidot, allanit, poikiloblastisk cordierit, apatit, opakmineral, möjlig zirkon och oidentifierade mineral (amfibol, pyroxen, spinell, apatit eller granat?). Kvarts, klorit, skapolit och karbonat finns som sprickfyllnader. Fältspaterna är sericit- eller saussuritomvandlade. Lokala glimmer- och kristallaggregat representerar sannolika pimstensfragment respektive andra litiska fragment. I något prov tolkas dock biotitaggregat som enklaver. Hydrotermalt omvandlade varieteter av porfyrisk metavulkanit med hög halt av ljus glimmer och cordierit graderar över i nedan beskrivna glimmerskiffer.

Glimmerskiffer

Dessa bergarter (n = 3) är tämligen säkert bildade genom hydrotermalomvandling av ovan nämnda porfyriska vulkaniter. I något prov ser man bevarade kvartsströkorn som visar ursprunget. Kornstorleken i grundmassan är för kvartskorn 0,1-0,3 mm. Kvartskorn inne i poikiloblastisk cordierit är dock bara ca 0,03 mm, vilket visar att de utanför rekristalliserat och förgrovats. Cordieriterna är i slip 0,5-4 mm, men som visats ovan (se fig. 5) kan de vara nästan decimeterstora i häll. Förutom kvarts och cordierit finns biotit och ljus glimmer (troligen flogopit) samt retrograd klorit (från biotit), fältspat och opakmineral.

Metavulkanisk silt- till sandsten

Dessa bergarter är kvartsrika och förmodligen övervägande ryolitiska, men på grund av finkornigheten är exakt mineralsammansättning svår att i fält bedöma och de klassas där ibland som ryolit till dacit. Lokalt visar de en skiktning även i slipskala. Något grövre skikt kan ha enstaka kvartsströkorn (0,5-1 mm), i övrigt är kornstorleken 0,01-0,02 mm. De prover (n=4) som undersökts innehåller kvarts, epidot, allanit, biotit, klorit, fältspat, ljus glimmer, opakmineral och granat.

Metadacit

I fält uppfattas dessa som tuffer och subvulkaniter, lokalt är dock bildningssättet oklart. Daciterna graderar sammansättningsmässigt dels till ryoliter, dels till andesiter. De är övervägande porfyriska med 0,2–5 mm stora strökorn av kvarts, fältspat och hornblände. Grundmassan är 0,03–0,1 mm. Proverna (n = 7) innehåller undulös kvarts (lokalt med korrosionsbukter), hornblände, biotit, plagioklas (oligoklas-andesin), apatit, möjlig zirkon, möjlig mikroklin, titanit (lokalt efter hornblände), pyroxen, cordierit, epidot (zonerad), klorit (i biotit) och opakmineral. Fältspaterna är sericit- eller saussuritiserade. Kvarts- och karbonatläkta sprickor förkastas av sådana med kvarts och klorit.

Varp

Tre prover har tagits ur varphögar. Ett prov från Stora Malmkärra (vid Stora Malmtjärnen) innehåller aktinolit-tremolit, klorit och opakmineral (bland annat magnetit). Ett prov av manganglänsande hematitmineralisering som finns i häll på Oxberget väster om Stripåsen innehåller nästan 18 viktprocent MnO (se bilaga 1). Mineralogiskt innehåller det enligt slip och röntgenanalys (den senare av Erik Jonsson) hematit, möjlig braunit, rodonit, klinoklor, kvarts, baryt, richterit, Mn-haltig flogopit, grossular och fältspat. Ett prov från Stripåsen innehåller andradit, flusspat (färglös i stuff), kopparkis, glimmer och kvarts. Karbonat i sprickfyllnad. Flusspat och opakmineral fyller ut mellan granatkornen.

Metatonalit

Ett prov visar en finkornig (0,1–0,3 mm), sannolikt på grund av rekristallisering, grundmassa. Plagioklasströkorn är 1–1,5 mm. Plagioklas finns även i grundmassan tillsammans med undulös kvarts, biotit, apatit, epidot, prehnit och opakmineral. Saussurit eller sericit finns i plagioklasen.

Yngre granit

Ett prov har en grundmassa om 0,3–3 mm bestående av undulös kvarts, mikroklin, plagioklas, biotit, apatit, sekundär muskovit, sericit (i plagioklas), epidot (något allanitisk), klorit (i biotit) och opakmineral.

Basisk gångbergart

Ett prov av en finkornig (0,1–1 mm) bergart har filtaktig textur och plockepinnorientering av fältspater. Kornstorleken gör mineralbestämningarna osäkra. Sannolikt finns dock plagioklas, klinopyroxen och opakmineral. Klorit och karbonat är hålrumsfyllnader.

Strukturer

Speciellt i området nordväst om Silvtjärnen (fig. 1) är deformationsgraden hög. Lagring och två foliationer är på de flesta ställen parallella, med mest sydväst–sydsydvästlig strykning och brant västlig stupning (fig. 10).

Ett fåtal lineationer har kunnat mätas och de stupar medelbrant åt antingen nordost eller sydväst. Geijer (1936; se hans fig. 21) dokumenterade ett större antal lineationsmätningar med liknande riktningar. Enligt honom finns de med sydvästlig stupning huvudsakligen i ytbergarterna närmast granitkontakten i öster medan nordostliga stupningar dominerar väster och norr därom.

Uppmätta sprickriktningar motsvarar till strykningen i stort sett de riktningar som deformationszonerna i figur 1 visar; sydostliga sprickor stupar medelbrant åt sydväst, nordostliga brant åt sydost och ostsydostliga brant åt söder. Dessutom finns nord–sydliga och nordvästliga vertikala sprickor.



Figur 10. Stereogram som i nedre hemisfären visar polerna till uppmätta foliationer och lagringar i projektområdet. *Stereoplots (lower hemisphere) showing poles to tectonic foliations (left) and bedding (right).*

GEOFYSIK

En sammanställning av tidigare geofysiska mätningar i projektområdet finns i Ripa m.fl. (2018a).

På kartan som visar magnetfältets variation (fig. 11) framträder järnmalmerna som de tydligaste höganomala strukturerna med utsträckning i främst nordost–sydvästlig riktning. Dessa är associerade med felsiska metavulkaniter, vilka utgör de centrala delarna av Norbergstråket. Öster om vulkaniterna utgörs berggrunden av främst relativt lågmagnetisk metagranit, vilket framträder som ett massunderskott på tyngdkraftskartan (fig. 12). På samma karta syns även massunderskott norr om vulkanitstråket vilket indikerar granitisk berggrund även där.

Väster om metavulkaniterna syns ett i huvudsak lågmagnetiskt område (fig. 11), dock uppvisar området ett framträdande massöverskott (fig. 12). I det här området utgörs berggrunden av främst metagranodiorit-metatonalit och metasedimentära bergarter, men det förekommer också mindre områden med metamafiter. Dessa bergarters densiteter är betydligt högre än metagraniternas (tabell 1), vilket ger upphov till massöverskottet. Förtätningen av tyngdkraftsinformation visar också ett massöverskott i den norra delen av vulkanitstråket, från sjön Ungen vidare åt nordost mot Kallmorberg. Ett annat massöverskott finns i anslutning till de rikligt förekommande järnmineraliseringarna kring Norberg.

På kartan som visar markens strömtäthet (fig. 13) syns de elektriskt ledande zonerna i området. Två riktningar dominerar hos deformationszonerna: nordost-sydväst och öst-väst.

Map showing the difference between the reduced-to-the-pole total magnetic field and the upward continued field to 1 km. Coloured dots denote location and value of magnetic susceptibility of petro-physical samples. White lines show location of ground measurements (magnetometer instrument). Red line denotes location of geophysical cross section.

[▶] Figur 11. Karta som visar differensen mellan det polreducerade magnetiska totalfältet och en analytisk uppåträkning till 1 km. Punkterna visar lägena för analyserade petrofysikprov med storlek och färger som motsvarar provernas magnetiska susceptibilitetsvärden. Vita streck representerar markprofilmätningar med magnetometer, medan det röda strecket visar läget för geologisk tolknings-profil baserat på geofysisk information (fig. 18).



Figur 11.

Petrofysik

Inom det geografiska område som visas i figurerna 11–13 finns petrofysisk information från totalt 390 prover. Det här projektet bidrog med 31 prov under 2017 och 23 under 2018. I tabell 1 visas en sammanställning av deras petrofysiska egenskaper, uppdelade per bergart.

Tabell 1. Densitet och magnetiska egenskaper för bergarter inom karteringsområdet. Densiteterna anges i kg/m³ och den magnetiska susceptibiliteten i 10⁻⁵ SI. Q-värdet är den s.k. Köningsbergerkvoten som visar förhållandet mellan remanent och inducerad magnetisering. Tabellen omfattar tidigare insamlade data tillsammans med de från innevarande projekt.

Density and magnetic susceptibility (\times 10⁻⁵ SI) for the rocks of the area. Q is the Koeningsberger number, i.e. the ratio between remanent and induced magnetization. The data represent samples from earlier projects as well as from the present.

Bergart	Antal prov	Densitet (medel)	Densitet (std avv)	Suscept (min)	Suscept (max)	Suscept (median)	Q (min)	Q (max)	Q (median)
Basalt-andesit	11	2 850	50	0	14 800	79	0,00	1,31	0,00
Dacit-ryolit	71	2 706	46	-7	9 550	42	-2,15	57,0	0,34
Diabas	10	2 911	22	92	2 210	1 620	0,49	1,51	1,25
Gabbro-diorit	12	2 946	98	0	15 200	157	0,17	36,7	0,37
Granit	79	2 647	20	-3	4 490	31	-2,28	197	0,21
Granodiorit- granit	22	2 688	35	0	1 510	19	0,11	5,56	0,53
Järnoxid- mineralisering	21	3 926	441	24 300	2 570 000	516 000	0,02	15,6	0,38
Kalksten	1	2 809	-	-	-	1250	-	-	0,54
Kvartsarenit	4	2 640	19	1	5	5	9,22	25,0	15,4
Ryolit	118	2 666	36	0	44 400	21	0,00	197	0,56
Tonalit-grano- diorit	26	2 739	21	14	4 300	34	0,00	2,56	0,31
Vacka	15	2 748	86	9	427	19	0,00	4,53	0,64

▶ Figur 12. Karta som visar det residuala tyngdkraftsfältet, uttryckt som differensen mellan bougueranomalin och en analytisk uppåträkning till 3 km. Små svarta punkter visar lägena för tyngdkraftsmätningar. De färgade punkterna visar lägena för analyserade petrofysikprov, med storlek och färger som motsvarar provernas densitetsvärden. Det röda strecket visar läget för en geologisk tolkningsprofil baserat på geofysisk information. Den röda kvadraten visar området där en tredimensionell modell gjordes baserad på information från tyngdkraftsmätningar (fig. 18).

Map showing the gravity residual field, expressed as the difference between the Bouguer anomaly and an upward continuation to 3 km. Small black dots denote site for gravity measurements. Coloured dots denote location and value of density of petrophysical samples. Red line denotes location of geophysical cross section. Red square denotes area of 3D model based on gravity data.

▶▶ Figur 13. Karta som visar strömtätheten över projektområdet, beräknad från flygburna VLF-mätningar. Vita streck visar lägena för markprofilmätningar med VLF-instrument (WADI) vid Kallmorberg och Stripåsen. Den röda kvadraten visar området där mark-TEM mätningar gjordes.

Map showing current density based on VLF measurements. White lines show location of ground measurements (WADI instrument). Red square shows area where ground TEM measurements were made.









Geofysisk modellering och tolkning

Inom ramen för projektet har ett flertal markprofiler mätts med geofysiska instrument, både med magnetometer och med VLF-instrument (WADI). I huvudsak har de gjorts med magnetometer och över särskilt intressanta objekt på 17 platser i området (fig. 11). Profilmätningarna med VLF-instrumentet gjordes över två sulfidmineraliseringar, Kallmorsbergs silvergruva och Stripåsens koppargruva (fig. 13). I stort sett vid varje geofysisk observation har petrofysikprov samlats in för analys. Antalet nya petrofysikprov uppgår till 54 stycken och de har främst varit inhämtade från äldre gruvhål och varphögar för att erhålla ett bättre geofysiskt underlag vid modelleringsarbetet. Under 2017 gjordes en riktad fältinsats med mark-TEM utrustning i området kring Stripåsens koppargruva. Resultaten från dessa mätningar presenteras nedan.

Ett flertal modeller har genererats som baseras på potentialfältsdata; både genom "forward modelling" och genom inversionsteknik för att ge en tredimensionell bild över anomaliernas geometri. Syftet har varit att skapa geologiska modeller baserade på geofysiska data för att ge en bild av berggrundens tredimensionella uppbyggnad och de olika bergartsenheternas geometrier. Som begränsningsdata för modellerna har densiteter och magnetiska egenskaper från petrofysiskstuffer eller magnetiska susceptibilitetsmätningar på berghällar använts. De modeller som har framställts genom "forward modelling" har genererats i mjukvaran Potent. De tredimensionella modellerna har skapats i VOXI-modulen i mjukvaran Geosoft Oasis Montaj.

Stripåsens koppargruva

Under 2017 gjordes en riktad geofysisk undersökning vid Stripåsens koppargruva i samarbete med Luleå tekniska universitet, vilken innefattade mark-TEM-mätningar med syfte att försöka kartlägga mineraliseringen (Ripa m.fl. 2018a). Mätområdet visas i figur 13 och mätkonfigurationen i figur 16. I samma område genomfördes även markprofiler med både magnetometer och VLF-instrument (WADI) över mineraliseringen. Utsträckningen för dessa profiler visas i figur 16. Från magnetfältsmätningen gjordes en tolkningsprofil (fig. 14) där den felsiska metavulkaniten representeras av gul färg, medan de mineraliserade horisonterna har tilldelats gråa nyanser. Metavulkaniten har blivit tilldelad den magnetiska susceptibiliteten 500×10^{-5} SI på basis av de petrofysikprov som finns strax nordväst om mineraliseringen (fyra prov inom två kilometers avstånd). Den naturliga remanenta magnetiseringen är underordnad den inducerade, då kvoten mellan dessa (Q-värdet) inte når över 0,4 hos något av proven.

I magnetfältsdata över mineraliseringen syns flera höganomala signaler, varav den kraftigaste är lokaliserad vid ett av de gamla gruvhålen. Från varpen bredvid gruvhålet togs ett petrofysikprov som har densiteten 4 394 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 9,5 SI och en naturlig remanent magnetisering om 53,7 A/m. De här egenskaperna har tilldelats de högmagnetiska skivorna som representeras av de gråa ytorna i figur 14. Riktningen för den remanenta magnetiseringen har antagits vara parallell med det jordmagnetiska fältet. Geometrierna har sedan anpassats till de magnetfältsanomalier som uppmättes längs markprofilen. Enligt modellen finns det fyra högmagnetiska skivor med en huvudsaklig brant, mellan vertikalt och 80 grader, nordvästlig stupning.

Resultatet från markprofilen med VLF-instrument (WADI) efter att data har behandlats i inversionsprogram visas som en resistivitetsprofil i figur 15. Där syns en relativt konduktiv struktur på djupet strax nordväst om mineraliseringen. Stupningen hos den här strukturen är ca 70 grader åt nordväst. Mark-TEM-mätningarna vid Stripåsen gjordes med två sändarslingor med storleken 100 × 100 m och mottagarinstrumentet placerat längs profiler tvärs slingorna (fig. 16). Längden hos respektive profil var ca 300 m och en mätning gjordes var 20 m (Ripa m.fl. 2018a).

Datamängden från TEM-mätningarna har tolkats i programvaran Maxwell. Tolkningen gör gällande att det inte finns naturliga anomalier för de mätpunkter som mättes då slinga 1 var aktiv (blå punkter i figur 16). Däremot finns det en naturlig anomali inom det område som mättes när slinga 2 var aktiv (gula punkter i figur 16). Den här anomalin kan modelleras som en elektriskt ledande zon med längden 50 m och djupet 50 m. Zonens bredd är någon meter med konduktansen 1 000 S. Den stupar vertikalt och har stykningsriktningen 75 grader. Zonens läge är åskådliggjord i figur 16 som den lila markeringen vid koordinaten 6665100/557000.

De olika geofysiska fältundersökningarna vid Stripåsen ger liknande resultat. Markprofilmätningarna med magnetometer och WADI-instrument indikerar att de högmagnetiska skivorna i berggrunden, och sulfidmineraliseringen som är kopplad till dessa, har en brant till nordvästlig stupning. Undersökningen med mark-TEM visar att den elektriskt ledande struktureren i berggrunden som modellerades har en vertikal utbredning.



Figur 14. Tolkad berggrundsgeologisk profil vid Stripåsens koppargruva baserad på markmätta magnetfältsdata och petrofysisk information. Övre delen: Blå linje representerar uppmätt magnetfält medan den röda visar responsen från de geologiska enheterna. Undre delen: De olika geologiska berggrundsenheterna, gul är metavulkanit, grå är järnmineralisering, röd är elektriskt ledande zon från TEM data. Röd triangel visar läget för Isaksgruvan.

Cross section at Stripåsen based on ground magnetic and petrophysical data. Blue line is measured magnetic field, red line is response from the rocks. Yellow denotes metavolcanic rock, grey iron mineralization, red electric conductor from TEM data. Red triangle marks position of the Isaksgruvan Cu mineralisation.



Figur 15. Markens resistivitet längs den markmätta VLF-profilen med WADI instrument vid Isaksgruvan, vars läge visas som en röd triangel. Den vita polygonen vid avståndet 230 m visar läget för den elektriskt ledande zonen från TEM data. *Ground resistivity (from VLF data) along a profile at Isaksgruvan mine (red triangle). White rectangle at 230 m denotes the location of the electric conductor from TEM data.*



Figur 16. Området vid Stripåsens koppargruva där mark-TEM-mätningar bedrevs under 2017. Den röda punkten nära mitten av kartan visar läget för Isaksgruvan. Den streckade svarta linjen visar utsträckningen för markprofilerna som gjordes med magnetometer och WADI-instrument. Den lila markeringen representerar den elektriskt ledande zonen från TEM data.

The area at Stripåsen where ground TEM measurements were made in 2017. The red dot near the middle of the view marks the Isaksgruvan pit. The black broken line denotes the extent of ground magnetic and VLF measurements. The purple line denotes the electric conductor from TEM data.

Norberg-Ungen

Den förtätade tyngdkraftsmätningen som genomfördes under 2017 gav ett betydligt bättre underlag för att tolka markens densitetsvariation. Inom ett område i den nordliga delen av karteringsområdet har tyngdkraftsdata använts för att generera en 3D-modell över markens densitetsförhållanden. Storleken på området som genomgick inversionen är 10 × 10 km och är markerat med röd kvadrat i figur 12. Inom området syns en förhöjning i tyngdkraftsdata som sträcker sig från de västra delarna och vidare åt nordost. Vid Norberg finns också en förhöjning i tyngdkraftsdata som har en nordlig utbredning. Dessa förhöjningar beror på högre densitet hos berggrunden och syftet med modelleringen var att utröna hur dessa tyngre bergarter utbreder sig på djupet.

Inversionsmodellen är uppbyggd av volympixlar, s.k. voxlar, med storleken 100×100 m i horisontalplanet. I djupled är varje voxel 50 m. Innan inversionen initierades sattes gränser inom vilka inversionen skulle arbeta. För att göra det användes densiteterna från analyserade petrofysikstuffer. Inom området finns flera järnmineraliseringar och densitetsbestämmelser av petrofysiska stuffer från olika järnmineraliseringar i det här området visar att densiteterna är inom intervallet 3 209–4 718 kg/m³, och är i medeltal 3 994 kg/m³ (n = 12). I huvudsak utgörs berggrunden i området av sura vulkaniter och granitoider. De förstnämndas densiteter är inom intervallet 2 585 – 2 782 kg/m³, och i medeltal 2 677 kg/m³ (n = 107) medan granitoidernas densiteter spänner över 2 603–2 726 kg/m³, med medeldensiteten 2 650 kg/m³ (n = 23). Det finns också mindre förekomster med intermediära till basiska vulkaniter och deras densiteter är 2793–2 924 kg/m³, i medeltal 2 850 kg/m³ (n = 11).

Med ovanstående information från petrofysikstufferna antogs en medeldenstitet för området till 2 700 kg/m³. Den nedre och övre densitetsgränsen inom vilka inversionen fick arbeta sattes till -0,1 g/cm³ respektive 0,3 g/cm³, det vill säga mellan 2 600 kg/m³ och 3 000 kg/m³. Resultatet från inversionen visas i figur 17, där de gröna kropparna representerar berggrund med högre densitet än 2 800 kg/m³.

Djupgåendet för de lättare felsiska metavulkaniterna mellan sjön Ungen och Kallmorberg är enligt modellen några hundratal meter och de underlagras av tyngre bergartsled. I den norra änden av massöverskottet bildar de tyngre bergartsleden en synform, med en veckaxel stupande åt sydväst.

Innan tyngdkraftsmätningarna förtätades i området under 2017 hade det genomförts tyngdkraftsmätningar längs några profiler tvärs över de suprakrustala bergartsleden. Mätningarna hade gjorts under mitten av 1970-talet och en av dessa profiler sträcker sig i nordväst–sydostlig riktning nära Norberg (fig. 12). Mätpunktavståndet längs profilen är ca 100 m och profilens längd är nästan 10 km. Från den här profilmätningen har data extraherats och tillsammans med magnetfältsdata från flygmätningen 2016 samt petrofysisk information har en tolkningsmodell konstruerats (fig. 18).

Vid en jämförelse mellan den geofysiska tolkningsprofilen i figur 18 och den schematiska geologiska tvärprofilen i figur 9 syns skillnader. Det beror på att tolkningsmodellen i figur 18 är baserad på geofysiska potentialfältsdata och petrofysik, medan den geologiska tvärprofilen i figur 9 visar en konceptuell tvärprofil av berggrunden.

Berggrunden vid tolkningsprofilens nordvästligaste del utgörs av intermediär vulkanit. I tolkningsprofilen representeras den av den gröna, ytnära kroppen (fig. 18), och tre petrofysikstuffer har samlats in i närheten av profilen. Mätresultaten från stufferna visar i medeltal densiteten 2 865 kg/m³ och en magnetisk susceptibilitet av 1 800 × 10⁻⁵ SI. Den remanenta magnetiseringen är underordnad den inducerade med ett Q-värde under 0,2. Kroppen i tolkningsprofilen har tilldelats dessa värden.

De centrala delarna av tolkningsprofilen utgörs av felsisk vulkanit med ryolitisk till dacitisk sammansättning och är åskådliggjord med gul färg (fig. 18). I den nordvästra delen, mellan



Figur 17. Inversionsmodell från tyngdkraftsdata inom den röda polygonen som visas i figur 12. De gröna kropparna visar berggrund vars densitet överstiger 2 800 kg/m³. Djupgåendet är ca 3 000 m. Betraktningsvinkeln är åt nordnordost.

Inversion model of gravity data from the area inside the red square in Figure 12. Green bodies represent rocks with a density more than 2 800 kg/m³. The depth of the model is 3 000 m, view towards north-northeast.

avstånden 500 och 2 500 m längs den horisontella axeln, har tre petrofysikstuffer samlats in och analyserats. Resultaten visar i medeltal densiteten 2 759 kg/m³. Den magnetiska susceptibiliteten når upp till 5 000 × 10⁻⁵ SI i den nordvästra delen av det felsiska vulkanitområdet, medan den är ca 1 000 × 10⁻⁵ SI längre åt sydost. Den naturliga remanenta magnetiseringen är underordnad den inducerade, med ett Q-värde under 0,2. De här värdena har tilldelats de kroppar som representerar den felsiska vulkaniten i detta område.

Under de metavulkaniska bergarterna finns sannolikt granitoider med granodioritisk till tonalitisk sammansättning, representerat av den bruna kroppen (fig. 18). Nordväst om tolkningsprofilen utgörs stora områden av dessa bergarter, och med hänsyn till gradienten som syns i tyngdkraftsdata underlagras metavulkaniterna sannolikt av tyngre bergartsled. De petrofysiska egenskaperna för granitoidkroppen i tolkningsprofilen har bestämts utifrån de petrofysikstuffer som har samlats in från granodiorit eller tonalit i området (tabell 1). Stuffernas medeldensitet uppgår till 2 740 kg/m³ och deras magnetiska susceptibilitet är mycket låg, medianvärdet är 30×10^{-5} SI. Granitoidkroppen blev således tilldelad dessa värden.

Vid avståndet 1 000 m längs den horisontella axeln (fig. 18), mellan den högre magnetiserade vulkaniten i nordväst och den lägre magnetiserade vulkaniten i sydost, finns ett område med metasedimentär berggrund som representeras av den blå polygonen i tolkningsprofilen. Från den bergarten finns ingen petrofysikstuff i direkt anslutning till tolkningsprofilen. Istället har bergartens fysikaliska egenskaper antagits från de petrofysiskstuffer som har samlats in från kvartsareniter från övriga delar av området och som finns redovisade i tabell 1. Det innebär att den metasedimentära bergarten har blivit tilldelat densiteten 2 640 kg/m³ och den magnetiska susceptibiliteten 5 × 10⁻⁵ SI.



Figur 18. Tolkad berggrundsgeologisk profil vid Norberg, baserad på magnetfälts- och tyngdkraftsdata tillsammans med petrofysisk information. Översta delen: Magnetfältsdata där blå linje representerar mätdata och röd linje är responsen från den geologiska modellen. Mellersta delen: Tyngdkraftsdata där blå linje representerar mätdata och röd linje är responsen från den geologiska modellen. Understa delen: De olika bergartskropparna. Notera skillnaden mellan de vertikala och horisontella skalorna.

Geological cross section based on magnetic and gravity data, together with data from petrophysical analyses. Upper part: Magnetic data where blue line denotes measured data and red line response from the model. Middle part: Gravity data where blue line is measured data and red line the response from the model. Lower part: Rock distribution. Note difference between vertical and horizontal scales.

Vid avståndet 1 000–1 500 m längs den horisontella axeln finns ett lokalt, mindre massöverskott i tyngdkraftsdata (fig. 18). Det finns inget i de ytnära bergartleden som tyder på förekomst av tyngre bergartsled i det området. Väster om tolkningsprofilen finns dock förekomster av metamafit. Av den anledningen har en sådan lagts in i den underliggande granitoiden för att motsvara det lokala massöverskottet. Metamafitens densitet och magnetiska susceptibilitet har satts till 2 950 kg/m³ respektive 150×10^{-5} SI utifrån de petrofysiska egenskaperna för gabbro-diorit i tabell 1.

Vid avståndet 2 800 m längs den horisontella axeln passerar tolkningsprofilen järnmineraliseringarna vid Kolningsberg (fig. 18). Där finns även kalksten som mineraliseringarna är associerade med. I tolkningsprofilen motsvaras järnmineraliseringen av den lilla grå polygonen. De magnetiska data från den flygburna geofysiska mätningen visar en distinkt, höganomal signal över det området. En petrofysikstuff har samlats in från en varphög vid en av järnmineraliseringarna i det området och mätresultatet visar densiteten 4 076 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 5,2 SI och den naturliga remanenta magnetiseringen 245 A/m. De här värdena tilldelades det område i tolkningsprofilen som motsvarar järnmineraliseringen. För att anpassa kroppens storlek till uppmätta tyngdkraftsdata krävs ett djupgående av järnmineraliseringen på cirka 65 meter.

På ömse sidor om järnmineraliseringen och kalkstenen vid Kolningsberg finns felsisk vulkanit av i huvudsak ryolitisk sammansättning. I tolkningsprofilen (fig. 18) representeras den bergarten av en ljusgul kropp. Från den bergarten har 19 petrofysikstuffer samlats in i direkt anslutning till tolkningsprofilen. Mätresultaten från stufferna visar i medeltal densiteten 2660 kg/m³, och relativt låga magnetiska susceptibilitetsvärden på cirka 500 × 10⁻⁵ SI. Den naturliga remanenta magnetiseringen är till övervägande del underordnad den inducerade, med Q-värden på cirka 0,5. De här värdena tilldelades den kropp i tolkningsprofilen som representerar den felsiska vulkaniten.

Vidare åt sydost finns ett område av felsisk vulkanit, igen representerat av en gul kropp i tolkningsprofilen (fig. 18). Åtta petrofysikstuffer har samlats in från den bergarten nära tolkningsprofilen och analyserats. Deras densitet är i medeltal 2 680 kg/m³ och stuffernas magnetiska susceptibilitet är generellt låg, cirka 100×10^{-5} SI. Den felsiska vulkaniten i det här området blev tilldelat de värdena.

Vid kontakten mellan den kroppen och den ryolitiska vulkaniten finns en relativt kraftig högmagnetisk anomali, indikerad i de flygmagnetiska data. I en 3D-inversion av magnetiska data (fig. 18) motsvaras anomalin av en kropp med nordvästlig stupning på djupet. Strax sydost om anomalin finns en annan, högre magnetisk anomali. Upphovet till den har tolkats som en sydostlig stupande magnetisk kropp. Från dessa kroppar finns inga petrofysikstuffer, istället har densiteten för båda strukturerna antagits till 3 500 kg/m³. Den nordväststupande strukturen har blivit tilldelad den magnetiska susceptibiliteten 2 SI medan den sydoststupande strukturen har tilldelats 5 SI.

Det lågmagnetiska området nära de centrala delarna av Norberg utgörs av vulkanisk silttill sandsten. Området syns på den regionala magnetkartan (fig. 11) som ett lågmagnetiskt "öga", beläget mellan högmagnetiska band på ömse sidor. I tolkningsprofilen representeras den vulkaniska silt- till sandstenen av den gula, ytnära kroppen vid avståndet 4 800 m. Det har inte tagits något prov från just det här området, men utifrån analyserade petrofysikstuffer från ryoliter (tabell 1) har kroppen blivit tilldelad densiteten 2 666 kg/m³. Mätningar av den magnetiska susceptibiliteten direkt på hällytan visar i genomsnitt 15 × 10⁻⁵ SI, vilket har angivits för bergarten i tolkningsprofilen.

De magnetiska data visar kraftiga anomalier på ömse sidor av den vulkaniska silt- till sandstenen (fig. 18). Flertalet järnmineraliseringar finns vid dessa, vilket ger upphov till anomalierna. Flera petrofysikstuffer har tagits från varphögar, beläget vid gruvhål från dessa järnmineraliseringar. Den närmast belägna i relation till tolkningsprofilens utsträckning togs från Gruvparken i Norberg (6659475/551464). Mätresultatet från den stuffen visar en densitet av 4 110 kg/m³, den magnetiska susceptibiliteten 7,5 SI och den naturliga remanenta magnetiseringen 65,9 A/m. Det innebär ett Q-värde på 0,22, alltså att den remanenta magnetiseringen är underordnad den inducerade. Den här densiteten tilldelades den högmagnetiska ytan i tolkningsmodellen som finns vid den nordvästra kontakten mellan den vulkansika silt- till sandstenen och omgivande felsisk vulkanit. För att anpassa den magnetiska responsen från den högmagnetiska ytan till mätdata fick den dock ett något lägre värde för den magnetiska susceptibiliteten, nämligen 5 SI.

Vid den sydöstra kontakten mellan den vulkansika silt- till sandstenen och omgivande

felsisk vulkanit finns en relativt hög magnetisk anomali (fig. 18). Längs den finns flera järnmineraliseringar och från två av dessa har det samlats in petrofysikstuffer. Det prov som togs närmast tolkningsprofilen samlades in från en varphög vid Lapphyttan (6658462/550708). Mätresultatet från den stuffen visade en densitet av 3 855 kg/m³, en magnetisk susceptibilitet av 18 SI och den naturliga remanenta magnetiseringen 11,4 A/m. Den här densiteten tilldelades den högmagnetiska ytan i tolkningsmodellen som finns i det här området. För att anpassa den magnetiska responsen från ytan till mätdata fick den dock ett betydligt lägre värde för den magnetiska susceptibiliteten, nämligen 2 SI.

För att uppnå det massöverskott som syns i tyngdkraftsdata vid magnetanomalierna nära Norberg behövs en relativ stor utbredning av tyngre, högmagnetiska bergarter. Den nordväststupande strukturen, vid avståndet 4 200 m längs den horisontella axeln (fig. 18), har en bredd av cirka 100 m och ett djupgående av 260 m. Den sydoststupande strukturen har en bredd av cirka 70 m och ett djupgående av 130 m. De magnetiska bergarterna vid Norberg omger den vulkaniska silt- till sandstenen i en synklinalstruktur och når ner till cirka 240 m under markytan. Synklinalen är också synlig i den 3D-inversion som gjordes med magnetiska data (fig. 19).

Sydost om det metavulkaniska stråket finns granitisk berggrund, representerat av den röda kroppen i tolkningsprofilen (fig. 18). Ett flertal petrofysikstuffer har tagits från graniten (tabell 1). Dessa stuffer visar i medeltal densiteten 2 650 kg/m³ och generellt låg magnetisk susceptibilitet, cirka 30×10^{-5} SI. Graniten blev tilldelad dessa värden.

I samma område som det i figur 18 har det även gjorts en 3D-inversion av magnetfältsdata för att åskådliggöra hur de magnetiska bergartsleden fördelar sig på djupet. Inversionsmodellen gjordes utifrån flygburna magnetfältsdata som samlades in 2016. De enskilda volympixlarnas storlek i modellen sattes till 50×50 m i horisontalplanet och 25 m i djupled. Innan inversionen initierades sattes gränser inom vilka den skulle arbeta. För att göra det användes de magnetiska susceptibiliteterna från de petrofysikstuffer som samlats in från de olika bergarter som ligger till grund för tolkningsprofilen i figur 18. Statistiken över de magnetiska egenskaperna från bergarterna finns redovisade i tabell 1. Utifrån det underlaget sattes de nedre och övre magnetiska susceptibilitetsgränserna inom vilka inversionen fick arbeta till 0,00001 SI respektive 5 SI. Efter avslutad inversion extraherades sedan den tvärprofil som visas i figur 19. Dess utsträckning motsvarar profilen i figur 18. I tvärprofilen syns starka magnetiska strukturer i området som sammanfaller med Kolningsberg och strax nordväst om Norberg. Geometrin för den magnetiska strukturen vid Norberg har en nordvästlig stupning enligt inversionsmodellen. Vid Norberg syns också en högmagnetisk synklinalstruktur som har en sydostlig stupning.



Figur 19. Tvärprofil från en 3D-inversion baserad på flygburna magnetfältsmätningar. Profilens utsträckning visas i figurerna 11 och 12. Notera synklinalstrukturen i området nära Norberg, samt den starka magnetiska strukturen med nordvästlig stupning i samma område.

Cross section extracted from an 3D inversion of airborne magnetic data. The extent is shown in Figures 11 and 12. Note synclinal structure at Norberg and intense magnetic character dipping northwest in that area.

LITOGEOKEMI

I det här projektet har 29 stycken bergartsprover analyserats med avseende på kemisk sammansättning; resultaten visas i bilaga 1. I några av nedanstående plottar har dessutom sammansättningen hos tre prover från EURARE-projektet (Sadeghi 2019) använts.

I figur 20A visas metavulkaniternas totala och relativa alkalihalter i diagram enligt Hughes (1973). Färgerna på punkterna representerar olika Zr/Hf-kvoter (se fig. 21A). Plotten visar dels att bergarterna övervägande är mer K-rika än vanliga magmatiska bergarter, dels att några har låga totalhalter av alkalioxider. Kaliumanrikningen är relaterad till dels den glimmerom-vandling som är vanligt förekommande i området och som beskrivits ovan (se bland annat avsnitt *Berggrunden*), dels sannolikt till omvandling av fältspat. De låga totalhalterna beror på utspädning genom anrikning av andra grundämnen. Ser man till kvoterna mellan grundämnen som är tämligen immobila i hydrotermala lösningar (fig. 20B; Winchester & Floyd 1977) visar det sig att metavulkaniterna är subalkalina till karaktären.



Figur 20. Några aspekter på metavulkaniternas kemiska sammansättning. **A.** Hughes (1973) magmatiska spektrum för normala sammansättningar. Vikt-% på Y-axeln. **B.** Plott enligt Winchester & Floyd (1977) avseende subalkalina och alkalina vulkaniter. **C.** Multielementplott enligt Pearce m.fl. (1984) för att bestämma tektonisk miljö. En rät linje har dragits ungefär mellan de element som är immobila vid hydrotermal omvandling. **D.** Kondritnormaliserade värden (Boynton 1984).

Some aspects of the chemical composition of the metavolcanic rocks. **A.** Many are K-enriched. **B.** The rocks are subalkaline. **C.** Most likely they formed in a volcanic arc setting. **D.** Normalised HREE (Ho to LU) compositions suggest calc-alkaline to tholeiitic affinities.

Den tektoniska miljö i vilken vulkaniterna bildades var en magmatisk båge enligt figur 20C (Pearce m.fl. 1984). En rät linje ungefär genom punkterna för de grundämnen som är mest immobila vid hydrotermal omvandling, Ta, Nb, Hf, Zr, Sm, Y och Yb, har markerats. I relation till denna linje har i varierande grad, K, Rb, Ba, Th och Ce höga halter. Detta mönster är karakteristiskt för magmatiska bågar (Pearce m.fl. 1984). Höga halter av K, Rb, Ba och Th beror på anrikning genom hydrotermala fluider och hög halt av Ce på anrikning genom en smältfas i subduktionsmiljön (Pearce m.fl. 1984).

Fraktionering av eller jämvikt med fältspat vid uppsmältning av protolit framgår i figur 20D där många prover visar en negativ Eu-anomali. Några av de som inte har en utpräglad sådan anomali representerar fältspatporfyriska, dacitiska varieteter i områdets nordvästra delar. Kondritnormaliserade värden (Boynton 1984) på ca 10–30 för elementen Ho till Lu ligger från de för kalkalkalina (≤ 20) till under de för tholeiitiska (ca 50) bergarter.

I figur 21A har Zr plottats mot Hf för samtliga prover. Dessa två grundämnen har så pass likartade kemiska egenskaper att eventuell fraktionering och omvandling inte påverkar kvoten dem emellan i någon högre utsträckning. Proverna plottar dels tämligen väl längs två linjer med Zr/Hf-kvoterna 26 respektive 38, dels spritt däremellan. De med lägre kvot markeras med grön färg, de med högre blå och de mellan med röd. Vid analys av var dessa prover kommer ifrån visar det sig att de med högre Zr/Hf-kvot representerar led i områdets nordvästligaste delar och de med lägre kvot representerar dels de förmodat subvulkaniska delarna som centrerar glimmeromvandlingen och dels intilliggande tuffer. De med en intermediär kvot (röda prickar) representerar övervägande de skiktade och lokalt klastförande vulkaniterna. Om man antar att Geijers (1936) stratigrafiska modell med två synklinaler är riktig och att de mest glimmeromvandlade delarna är subvulkaniska intrusioner, innebär fördelningen av Zr/Hf-kvoter att de med högst kvot representerar en äldre magmatisk fas och de med lägre kvot en yngre.

Även i en plott av Zr mot TiO_2 grupperar sig bergarterna på liknande sätt (fig. 21B) medan däremot kvoten mellan Zr och Al_2O_3 är likartad mellan grupperna. Faktum är att de "röda" prover som hamnar i gruppen med lägre Zr/ TiO_2 -kvot representerar lägre stratigrafiska nivåer än de med högre sådan kvot, dvs. både Zr/Hf- och Zr/ TiO_2 -kvoterna indikerar stratigrafisk nivå eller ålder.

I figur 20B ovan framstår de vulkaniska bergarterna som subalkalina. I ett diagram med Zr mot Y (fig. 21C) kan sådana i bästa fall vidare differentieras i tholeiitiska och kalkalkalina (MacLean & Barrett 1993). Proverna från Norbergsområdet plottar dock över hela spektrum från kalkalkalina till tholeiitiska, vilket även konstaterades för motsvarande bergarter i Falunområdet (Ripa m.fl. 2018b). I det senare området föreslogs en kombination av blandning av teoretiska ändled vid magmornas bildning och senare omvandling och differentiering som orsaker till spridningen i sammansättningar.

I figur 21B plottar vulkaniterna i två grupper med distinkt olika TiO₂/Zr-kvoter. I en plott med dessa grundämnen mot varandra (fig. 21D) ser man att prover med högre Zr/Hf-kvot (blå färg), dvs. de från lägst stratigrafisk nivå enligt resonemanget ovan, visar en differentiationstrend från ungefär dacit till ryolit (baserat på fältbedömning). De med lägre Zr/Hf-kvot (grön färg; högre stratigrafisk nivå) plottar längs en omvandlingstrend från ryolit mot origo.

De kemiska förändringarna vid omvandlingen visas i figur 22. Här har sammansättningen hos dels omvandlad och oomvandlad metadacit, dels mer och mindre omvandlad metaryolit jämförts. Proven valdes utifrån att de helst skulle ha samma Zr/Hf-kvot och så stor skillnad i omvandlingsgrad enligt figur 21 D som möjligt. Eftersom få prover med dacitisk sammansättning finns till hands får man ta resultaten med en stor nypa salt.

Omvandlingen av metadacit skedde vid praktiskt taget konstant volym, vilket visas av att halterna av immobila grundämnen, t.ex. Ti och Zr, är nära samma i omvandlad och oomvandlad varietet (fig. 22). Förändringen från omvandlad till mer omvandlad metaryolit skedde vid viss utspädning



Figur 21. A. Kemin hos samtliga prover. De grupperar sig dels längs två linjer med Zr/Hf-kvot 26 (gröna symboler) respektive 38 (blå symboler), dels däremellan (röda symboler). Rund symbol är metavulkanit, triangel är malm- eller skarnprov, fyrkant är plutonisk bergart. **B.** Bergarternas sammansättning definierar i huvudsak två populationer med olika Zr/TiO₂- men med likartad Zr/Al₂O₃-kvot. **C.** I ett Zr/Y-diagram plottar metavulkaniterna från kalkalkalin till tholeiitisk affinitet enligt MacLean & Barrett (1993). **D.** Möjliga differentiations- och omvandlingstrender för områdets metavulkaniter.

A. The chemistry of all samples. They either group largely along two lines representing Zr/Hf ratios of 26 (green symbols) and 38 (blue symbols), respectively, or in between these lines (red symbols). Dot represents metavolcanic rock, triangle ore or skarn, square plutonic rock. Stratigraphically the samples with low or intermediate Zr/Hf ratio represent higher levels or subvolcanic rocks. **B.** Also Zr/TiO₂ ratios appear to have stratgraphic relevance. **C.** The metavolcanics plot from calc-alkaline to tholeiitic. **D.** Possible differentiation and alteration trends.

eftersom en rät linje mellan t.ex. Ti och Zr hamnar vid värdet 0,67. Intressanta förändringar är Naanrikning i ryolit, att Cs och Rb har olika trender i dacit och ryolit och att omvandlingen i ryolit ledde till urlakning av de lätta sällsynta jordartsmetallerna (LREE). Det senare innebär att lösningarna som orsakade omvandlingen måste ha blivit anrikade på LREE, och att dessa grundämnen sedan kunnat fällas ut på andra ställen, t.ex. i ovanliggande kalkstenshorisonter. I figur 20A ser man att omvandlingen av ryoliterna sannolikt innebar att de först K-omvandlades men vid starkare omvandling därefter Na-omvandlades. Antagligen beror detta på att fältspaterna initialt omvandlas till att bli mer K-rika men att de vid ökad omvandling bryts ner till klorit och glimmer.



Figur 22. Kemiska förändringar från oomvandlad till omvandlad metadacit och från omvandlad till mer omvandlad metaryolit enligt figur 21D.

Chemical changes from relatively fresh to slightly altered metadacite and from altered to more altered metarhyolite (compare Fig. 21D).

REFERENSER

- Ambros, M., 1988: Beskrivning till berggrundskartorna Avesta NV och SV. Sveriges geologiska undersökning Af 153, 84 s.
- Beunk, F.F. & Kuipers, G., 2012: The Bergslagen ore province, Sweden: Review and update of an accreted orocline, 1.9–1.8 Ga BP. *Precambrian Research 216–219*, 95–119.
- Boynton, W.V., 1984: Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. *I P. Henderson (red.)*: Rare earth element geochemistry, Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Geijer, P., 1936: Norbergs berggrund och malmfyndigheter. Sveriges geologiska undersökning Ca 24, 162 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.
- Jonsson, E. & Högdahl, K., 2013: New evidence for the timing of formation of Bastnäs-type REE mineralisation in Bergslagen, Sweden. Abstract, proceedings 12th SGA biennial meeting, s. 1 724–1 727 (volume 4).
- MacLean, W.H. & Barrett, T.J., 1993: Lithogeochemical techniques using immobile elements. Journal of Geochemical Exploration 48, 109–133.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Geology 25*, 956–983.
- Ripa, M., Jönberger, J. & Larsson, D., 2018a: Kartering i Norbergsområdet. Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2018:13, 12 s.
- Ripa, M., Carlsson, M., Luth, S., Nysten, P. & Thörnelöf, M., 2018b: Beskrivning till berggrundskartan i projekt Falun, gruvnära kartering. *Sveriges geologiska undersökning K 622*, 58 s.
- Sadeghi, M. (red.), 2019: Rare earth elements distribution, mineralisation and exploration potential in Sweden. Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden 146, 168 s.
- SGU 2017: Ny kartläggning i Bergslagen. Sveriges geologiska undersökning. <www.sgu.se/ om-sgu/nyheter/2017/juli/nytt-karteringsprojekt-i-bergslagen> Åtkommen 30 mars 2020.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M, Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259 s.
- Strömberg, A.G.B., 1983: Beskrivning till berggrundskartan Ludvika SO. Sveriges geologiska undersökning Af 128, 99 s.
- Tegengren, F.R., m.fl., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca 17*, 406 s.
- Winchester, J.A. & Floyd, P.A., 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325–342.

BILAGA 1. BERGARTERNAS KEMISKA SAMMANSÄTTNING

Tabell 1. NS och	OV avser koordinat	er för provpunkt. Huvude	element som oxider i vikt	sprocent. LOI avser loss of	on ignition. Spårlement i ppm.
Provnummer	CMR170036A	DLA170018A	CMR170046A	CMR170039A	CMR170045A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit
NS	6658637	6661287	6659595	6657844	6659820
ov	546160	551581	550096	547081	549958
SiO2	74.6	77.3	77.1	77.9	77
AI2O3	11.6	11.2	12	11.8	11.85
Fe2O3	2.49	1	1.06	0.61	0.98
CaO	2,13	0.17	0.13	0.03	0,07
	2,27	0,17	0,13	0,03	0,07
Na2O	0,37	0,51	1,23	3,96	2,02
Nazo	0,15	1,42	2,9	0,24	2,41
K20	7,31	7,06	4,21	2,88	5,44
TiO2	0,13	0,09	0,08	0,08	0,08
MnO	0,08	0,02	0,01	0,01	0,01
P2O5	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02
LOI	1,74	0,55	1,09	2,86	0,82
Total	100,81	99,66	99,94	100,42	100,91
As	1,3	2,8	0,3	0,2	
Ва	407	2 640	973	223	1 6 9 5
Bi	0,36	0,03	0,19	0,02	1.48
Со	1	_1	- / -	1	1
Cr		10			
Cr.	2 51	0.24	0.41	167	0.47
Cu	2,31	0,54	0,41	1,07	0,47
Cu	87	1	47.0	10.0	1
Ga	15,6	14,1	17,3	10,9	15,2
Hf	7	4,1	5	5,2	4,6
Hg		0,006		0,006	
In	0,038	0,046	0,009		0,007
Li			10	20	10
Mo		1	1	1	4
Nb	18,3	15,5	18,3	15,7	15,9
Ni				1	
Pb	8	19	6		8
Rb	307	94.5	55.1	59.8	60.5
Sb	0.23	0.13		•	
Sc	5	2	6	6	6
Se	0.2	0.2	0.2	Ū.	Ū
Sn	0,2	3	0,2	1	1
Sil	4	5	4	70	20
31	15,4	54,1	20,9	7,0	29
1a 	1,4	1,2	1,4	1,2	1,2
le	0,02	0,02	0,01	0,01	0,78
Th	15,55	15,1	14,95	14,9	13,3
TI	0,24	0,02		0,03	0,04
U	3,83	3,23	3,34	1,73	4,1
V					
W	2	2	2	1	2
Υ	40,4	33	43,5	60,7	31,7
Zn	32	6	6	11	6
Zr	222	115	130	137	127
La	56,6	29,2	39,3	7	37,1
Ce	110.5	53.8	78.1	15.9	73.6
Pr	12.95	6.38	9,06	1.96	8 63
Nd	50.1	24.3	35.6	9,50 9,7	32.0
Sm	8.67	27,J	55,0	2 15	53,5 E 40
5	0,07	4,75	0,00	2,15	5,42
EU	1,12	0,27	0,73	0,25	0,36
Gd	7,23	4,52	6,56	4,49	4,37
Tb	0,99	0,75	1,06	0,98	0,74
Dy	6,56	4,99	7,16	7,4	4,61
Но	1,45	1,08	1,57	1,78	1,15
Er	4,2	3,5	4,51	5,78	3,5
Tm	0,65	0,54	0,63	0,82	0,54
Yb	4,62	3,89	4,74	5,95	3,89
Lu	0,7	0,63	0,71	0,91	0.6

Tabell 1. Fortsä	ttning.				
Provnummer	CMR170031A	CMR170054A	CMR170046B	DLA170009A	CMR170053A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metatonalit
NS	6658280	6659978	6659595	6665584	6660072
ov	546940	545501	550096	554019	545444
SiO2	77.7	87.9	80.3	76.1	70
Al2O3	, 11.75	6.35	10.4	12.1	14.7
Fe2O3	2.21	1.02	1.14	1.27	4.79
CaO	0.29	0.2	0.33	0.52	2 21
MgO	1 33	0.9	2 54	0.38	173
Na2O	0.09	1.83	1 /	0,93	1,75
K20	6.5	1,00	י, י ז ב ז	6.94	2,07
TiO2	0,5	1,18	2,55	0,94	2,07
Mag	0,11	0,29	0,00	0,07	0,77
NINU D2OF	0,04	0,01	0,01	0,02	0,06
P205	0,03	0,07	0,01	0,02	0,19
	1,64	0,61	2,25	0,85	0,74
lotal	101,82	100,38	101	99,37	101,89
-					
As	0,3	0,1		0,1	0,6
Ва	1130	89,9	297	1335	205
Bi	0,08	0,04	0,01	0,17	0,05
Со	1	1	1	1	7
Cr	10	20			
Cs	0,95	1,03	0,49	2,76	1,29
Cu	15	1	1	4	1
Ga	16	6,9	19	15	18,7
Hf	5,8	7,2	4,1	3,6	6,5
Hg	0,007	0,007	0,006	0,03	
In	0,033		0,01	0,009	0,036
Li	10		10		10
Мо	3	1		1	
Nb	15,6	8,4	13,8	14,7	15
Ni		2			
Pb			2	6	8
Rb	149	36.9	53.1	173	92.3
Sb	0.17	/-	/		0.07
Sc	6	3	5	2	13
Se	0	J.	5	-	0.2
Sn	3	2	6	2	2
Sr	18 7	17.2	11 3	39	1/12
Та	11	0.8	11	12	1
То	0.02	0,01	0.01	0.02	0.02
ть	11.9	11 65	11 55	0,02	0,02
TI	0.02	0.12	11,55	0.04	0.22
11	0,03	0,12	2.21	0,04	0,33
U	4,29	2,20	5,21	4,99	2,15
V \A/	2	1/	Л	1	1
vv	3	2	4	1	1
ř	30,3	13,4	39,7	26,5	37,8
Zn	26	10	8	10	50
Zr	1/9	282	105	93	231
La	31,1	32,9	5,7	27	23,9
Ce	77,1	61,7	12,6	49,9	57,6
Pr	7,63	6,86	1,62	6,83	5,73
Nd	30	25	7	27,2	22,3
Sm	5,32	3,83	2,03	5,41	4,32
Eu	0,63	0,57	0,38	0,98	1,01
Gd	4,58	2,65	3,42	5,05	4,79
Tb	0,67	0,38	0,7	0,76	0,79
Dy	4,71	2,15	5,39	4,83	5,54
Но	1,13	0,47	1,34	1,05	1,33
Er	3,34	1,31	4,1	3,15	3,94
Tm	0,52	0,19	0,61	0,5	0,54
Yb	3,67	1,32	4,3	3,54	3,84
Lu	0,55	0,22	0,62	0,52	0,58

Provnummer	CMR170040A	CMR170037A	DLA170006A	DLA170005A	DLA170024A
Bergart	Metaryolit	Glimmerskiffer	Metadacit	Metaryolit	Metaandesit
NS	6658081	6659122	6665646	6665694	6661839
ov	549081	545967	553221	553161	547679
SiO2	76,6	59,7	64,9	74	63,6
Al2O3	11,6	18,5	14,75	13,75	14.85
Fe2O3	2.28	7.05	5.8	3.19	71
(a0	0.65	0.23	۵,۵ ۸ ۸ ۸	2 52	5 21
MgO	0,03	6.15	2,00	1.02	1.05
Ne2O	0,94	0,15	2,09	1,03	1,05
Nazo	0,37	0,31	2,24	3,95	2,18
K20	5,89	4,6	2,98	1,6	3,58
TiO2	0,15	0,59	0,61	0,37	0,8
MnO	0,04	0,05	0,1	0,06	0,13
P2O5	0,02	0,18	0,13	0,1	0,14
LOI	1,46	2,54	1,38	0,81	0,87
Total	100,08	99,92	99,54	101,49	100,25
As	0,2		0,3	0,5	2,5
Ва	696	134,5	733	655	799
Bi	0.24	0.19	0.13	0.13	0.58
<u>Co</u>	-/	8	11	5	16
Cr		0	30	20	90
Cr	0.02	7.25	2 22	20 F 1F	2.44
CS C	0,92	7,25	3,27	5,15	2,44
Cu	4	1	3	4	61
Ga	16,3	23,8	19,6	18,4	20,6
Hf	5	6,1	5,1	5,6	5
Hg	0,008			0,006	
In	0,02	0,05	0,024	0,022	0,019
Li	10	40	10	10	10
Mo	1	1	2	2	1
Nb	13,9	16,2	10,8	10,9	11,6
Ni		4	3		16
Pb			9	2	13
Rb	164.5	198	94.1	69.3	85.3
Sh	0.06	100	0.11	0.19	0.17
50	5	11	17	12	12
50	J	П	17	12	13
Se	2	1	2	2	0,5
Sn	2	1	2	2	2
Sr	12,1	5,9	344	243	308
Та	1	1,1	0,9	0,9	0,8
Те	0,01	0,02	0,01	0,02	0,05
Th	10,65	10,2	9,98	9,96	9,55
TI	0,05	0,38	0,25	0,16	0,19
U	2,95	5,82	3,41	2,64	3,15
V		49	100	34	128
W	3	3	1	1	2
Υ	26	24	23,3	32,1	21,5
Zn	11	56	122	50	166
Zr	182	241	173	187	194
La	10.1	45.5	35	42.4	24.3
Ce	19.7	88.7	67.6	67.9	50.9
Pr	2 25	10.45	\$ N2	9.05	63
Nd	2,23	10,-5	21 /	22.0	0,5
Sm	3 09	40,9	51,4	5,5	24,0
511	2,08	7,40	5,44	5,77	4,62
EU	0,26	1,59	1,24	1,41	0,96
Gd	2,52	5,8	4,42	6,24	3,95
Tb	0,54	0,76	0,62	0,89	0,61
Dy	3,74	4,1	4	5,48	3,56
Но	0,81	0,78	0,79	1,14	0,77
Er	2,81	2,3	2,26	3,34	2,06
Tm	0,45	0,33	0,29	0,45	0,32
Yb	3,01	2,25	2,35	3,27	2,11
Lu	0,41	0,35	0,35	0,49	0,31

Tabell 1. Fortsättning.

Tabell 1. Fortsättning.					
Provnummer	CMR170055A	CMR170038A	DLA170009B	DLA170003A	CMR170053C
Bergart	Metaryolit	Glimmerskiffer	Metadacit	Metadacit	Metaarkos
NS	6659961	6659166	6665584	6666244	6660072
ov	545523	545954	554019	552073	545444
SiO2	68,8	66,6	66,6	69,5	88,3
Al2O3	15,55	15,3	14,3	14,5	6,69
Fe2O3	4,18	6,55	5,75	3,46	1
CaO	3,77	4,44	1,65	1,61	0,31
MgO	1,36	1,91	1,69	0,9	0,21
Na2O	3,32	2,61	2,87	2,54	1,48
К2О	1,55	1,5	3,9	4,7	2,17
TiO2	0,44	0,69	0,49	0,33	0,18
MnO	0,05	0,08	0,1	0,06	0,01
P2O5	0,11	0,15	0,13	0,1	0,07
LOI	0,65	0,78	2,21	0,94	1,02
Total	99,85	100,64	99,78	98,78	101,51
As	0,2	0,4	0,3	0,2	0,3
Ва	545	210	660	1015	479
Bi	0,11	0,06	0,13	0,15	0,03
Со	6	8	5	4	1
Cr		30	10	10	20
Cs	2,17	1,57	2,78	3,56	0,34
Cu	2	7	67	13	1
Ga	22,3	19,2	17,6	23,1	6,9
Hf	6,5	5,1	5,4	6,8	3,5
Hg	0,006			0,006	
In	0,031	0,09	0,018	0,01	
Li	10	10	10	10	
Мо	1	1	2	3	1
Nb	10,6	11,3	11,2	17,9	5
Ni	-	4			3
Pb	2	3	6	12	3
Rb	74,1	74,7	126,5	117,5	43,8
Sb			0,07		
Sc	9	18	10	10	3
Se		0,2		2	
Sn	180 5		1	2	1
Sr Te	180,5	62,6	61,9	215	46,2
	0,8	0,9	0,8	1,1	0,4
Th	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
	9,14	8,9	8,59	0.22	5,86
11	0,39	0,23	0,05	0,22	0,04
U	2,41	2,3	3,17	3,19	1,23
V \A/	41	1	30	2	13
v	22.4	22	2	2	0.6
7	22, 4 //1	23	56	23	9,0
Z11 7r	242	201	202	261	120
21	242	201	203	201	120
15	21.2	25.2	32.0	40	12 5
Ce	58.3	671	62.3	77.8	30.3
Pr	6 57	8 16	745	9.41	2 93
Nd	24.8	31.9	29.5	38.2	11 2
Sm	4 04	5 48	5 25	6.61	1.89
Eu	1,23	1.34	1.44	1.76	0.39
Gd	3,97	5.01	4.81	5.66	1.54
Tb	0.6	0.63	0.76	0.81	0.26
Dv	3,78	4.04	5,28	4.66	1.65
Ho	0,76	0.81	1.12	1.02	0.33
Er	2,28	2,37	3.11	2.81	1 03
Tm	0.36	0.32	0.48	0.47	0.15
Yb	2,4	2,49	2,97	2,79	1.04
Lu	0,34	0,36	0,46	0,46	0.19

Provnummer	CMR170051A	DLA170026A	CMR180067A	CMR180071A	CMR180074A
Bergart	Stripåsen Mn-hematit	Mafisk gångbergart	Metaryolit	Metaryolit	Yngre granit
NS	6665032	6662022	6656782	6654953	6654547
ov	556602	547130	545462	546060	546235
SiO2	39,6	52,6	76,5	78	75.5
AI2O3	0.77	15.1	11.9	11.85	13.85
Fe2O3	30.9	9.99	2.45	1.93	1.68
CaO	2.06	8 89	0.48	0.03	0.87
MgO	1.08	6.5	1.64	2 /	0,0,
Na2O	3.05	2 19	0.22	2,4	2 20
K20	0.12	0.20	5.42	2 21	3,35
TiO2	0,05	0,33	0.09	01	4,00
NInO	17.05	0,81	0,09	0,02	0,11
NINU D2OF	17,95	0,14	0,06	0,02	0,04
P205	0,01	0,07	0,01	1.07	0,02
LUI	1,38	2,22	1,52	1,87	0,62
lotal	98,05	98,96	100,33	100,54	101,19
				• •	
As	24,4	0,1	0,4	0,1	0,6
Ва	9 000	60,9	398	308	288
Bi	7,12	0,01	0,04	0,03	0,1
Со	4	45		1	
Cr	7	210	10	10	10
Cs	0,15	2,17	2,37	2,38	4,58
Cu	8	111	2	1	2
Ga	13,1	16,6	16,6	17,5	21,6
Hf	0,8	0,9	5,9	4,3	4,6
Hg	0,02	0,006	0,009	0,01	0,018
In	0,098	0,007			
Li	10	30			
Мо	1		1	2	2
Nb	6,7	1	16,6	16,8	35,6
Ni	8	145			
Pb	560	4			
Rb	3,7	24	199	94,1	355
Sb	16,1	0,06	0,15	0,08	0,06
Sc	1	24			
Se		0,4			
Sn	2		3	5	8
Sr	208	221	9.5	4.7	43.5
Та	0.4		1.2	1.8	5.8
Те	0.01	0.02	,	0.02	0.01
Th	2.88	0.38	14.65	14.1	52.6
TI	_/	0.12		,.	52,0
U	5.96	0.1	4.47	4.11	26.8
V	2	147	.,	7	6
W	14	1	2	7	2
v	13.1	11.6	52.5	34.9	82.4
7n	1,050	94	50	9	15
2n 7r	24	28	180	137	13
21	27	20	100	137	120
12	17 E	2 5	ED /	11 2	EQ.1
La	12,5	2,5	32,4 07.0	22,5	30,1 97 F
Ce Da	27	5,9	07,0	44,5	87,5
Pr	2,89	0,83	12,95	6,41	11,95
Na	11,4	4,8	51	23	42,4
Sm	2,32	1,54	11,05	4,84	9,87
EU	0,17	0,76	1,22	0,45	0,62
Ga	1,99	2,14	10,05	4,41	9,36
Tb	0,33	0,31	1,5	0,77	1,85
Dy	2,06	2,03	9,15	5,66	12,5
Но	0,46	0,42	1,87	1,21	2,68
Er	1,4	1,14	5,41	3,78	8,84
Tm	0,21	0,16	0,79	0,57	1,48
Yb	1,32	0,84	5,34	4,27	11,25
Lu	0,25	0,16	0,78	0,65	1,63

Tabell 1. Fortsättning.

Tabell 1. Forts	ättning.			
Provnumme Bergart	r CMR180075A Metaryolit	CMR180076A Metadacit	CMR180076B Metadacit	CMR180077A Metaryolit
NS	6654321	6658396	6658396	6658330
OV	546348	544435	544435	544426
SiO2	78	59,1	57,7	70,3
AI2O3	11,85	16,45	15,65	15,55
Fe2O3	2,07	9,23	9,29	3,37
CaO		6,21	3,47	1,77
MgO	1,49	3,38	3,83	1,44
Nazo	0,13	3,03	3,83	2,56
K20	5,12	1,35	2,23	2,98
1102	0,13	1,09	1,11	0,35
IVIIIO D2OE	0,01	0,06	0,03	0,02
F205	2.06	0,17	0,22	1.70
Total	101	101.03	98.25	1,73
Total	101	101,05	56,25	100,20
As	01	0.4	0.4	0.2
Ba	1230	233	465	845
Bi	0.04	0.14	0.07	0.05
Co	0,01	18	10	2
Cr		100	90	20
Cs	0.55	2.37	3.01	1.46
Cu	1	1	- / -	, -
Ga	14,7	19,5	18,5	19,8
Hf	5,1	4,3	4,3	6,1
Hg	0,007	0,009	0,007	0,01
In				
Li				
Мо	1	3	1	
Nb	12,2	9,4	9,5	11,9
Ni				
Pb				
Rb	103,5	83,9	126	102
Sb		0,07	0,05	0,05
Sc				
Se				
Sn	2	3	4	4
Sr	35,6	284	194,5	104
Та	0,9	0,7	0,6	1
Те	0,01	0,01		0,01
Th	11	6,63	6,4	13,85
TI				
U	3,92	1,58	2,06	2,58
V	4	219	193	38
W	1	20.0	2	4
Y Z	32,1	20,8	20	24,4
Zn Zr	/	38	63	16
Zr	1/1	152	158	210
	22.1	27 5	10.0	41.0
La	52,1	27,5	10,2	41,8
Ce Dr	57,5	47,9	31,4	10.05
PI	20.2	7,33	4,41	10,05
Sm	50,5	5 <i>/</i> 1	2.82	7.0
Fu	0.03	1 2 2	1 27	1 21
Gd	5 34	4.76	3.67	5.89
Th	0.79	-,/0	0.6	0.86
Dv	5,67	4 19	3 75	4.88
U, Ho	1 22	0.75	0.78	0.91
Fr	3.82	2.26	2 21	2 75
Tm	0.55	0.33	0.31	0.4
Yb	4.15	2.31	1.79	2.95
Lu	0,62	0,33	0,3	0,47
		- /	- / -	· /