

Beskrivning till berggrundskartan i projekt Falun, gruvnära kartering

Magnus Ripa, Mikael Carlsson, Stefan Luth,
Per Nysten & Mats Thörnelöf

DESCRIPTION TO THE MAP OF SOLID ROCKS
in project Falun, near-mine mapping



ISSN 1652-8336
ISBN 978-91-7403-445-5

Närmare upplysningar erhålls genom
Sveriges geologiska undersökning
Box 670
751 28 Uppsala
Tel: 018-17 90 00
Fax: 018-17 92 10
E-post: kundservice@sgu.se
Webbplats: www.sgu.se

Omslagsbild: Området kring Falu gruva sett från sydost.
Area at the Falu mine, view from south east.
Foto: Per Nysten

© Sveriges geologiska undersökning, 2018
Layout: Ulrika Hurtig, Johan Sporrang & Lina Rönnåsen, SGU

INNEHÅLL

Inledning	5
Tidigare undersökningar	5
Fältarbete	5
Områdets berggrund	5
Inledning	5
Utvecklingshistoria	5
Bergarterna i Falunområdet	7
Subvulkaniter, vulkaniter och andra ytbergarter	7
Övriga intrusivbergarter	10
Metagranit och metagranodiorit	10
Blandade gångar	12
Basiska, ultrabasiska och anortositiska intrusivbergarter	12
Yngre sura plutoniter	14
Pegmatiter	14
Tunagångar	16
Diabaser	16
Strukturer, metamorfos och hydrotermalomvandlingar	17
Strukturer	17
Metamorfos	17
Hydrotermal omvandling	17
Strukturtolkning	20
Veckstrukturer	21
Skjuvzoner och förkastningar	22
Berggrundens tredimensionella uppbyggnad	25
Framtagande av 3D-modellen	25
Geofysik	30
Metodik	30
Tyngdkraftsmätningar	30
Magnetometri	31
Strålning	31
Petrofysik	34
Geokemi	35
Litogeokemi	35
Metavulkaniter	36
Intrusivbergarter	38
Petrogenes	41
Morängeokemi	41
Provtypen morän	41
Metodik	44
Provberedning	44
Analysering	45
Resultat	45
Naturresurser	51
Referenser	57
BILAGA 1. Profiler	59
BILAGA 2. Litogeokemi	66

INLEDNING

År 2012 inledde SGU projektet "Falun, gruvnära kartering, berg" i samarbete med ett doktorandprojekt vid Luleå tekniska universitet (LTU). Undersökningsområdet omfattar delar av Falun och Borlänge kommuner i Dalarnas län (fig. 1). Målet med undersökningen var att skapa ett berggrundsgeologiskt kartunderlag i skala 1:20 000 och en tredimensionell (3D) modell över projektområdet till nytta för prospektering och samhällsplanering. I samband med fältundersökningen av berggrunden gjordes också mätningar av dess tyngdkraft, magnetiska susceptibilitet, elektriska ledningsförmåga och naturliga radioaktiva strålning. Projektet inkluderade även en förtätad provtagning för analys av moränens kemiska sammansättning.

Delar av projektområdet undersöks för närvarande, eller har nyligen undersökts, av ett antal gruv- och prospekteringsföretag som Boliden Mineral AB, Eastern Highlands AB samt ett samarbete mellan Drake Resources Ltd och Royal Falcon Mining LLC.

TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR

Tidigare berggrundsgeologiska undersökningar i området gjordes av Geijer (1917), Kulling & Hjelmqvist (1948), Hjelmqvist (1966), Kresten & Aaro (1987), Bromley-Challenor (1988), Stephens m.fl. (2009) och Döse & Kübler (2011). Lokala undersökningar i Falu gruva och området närmast där omkring gjordes bl.a. av Törnebohm (1893), Tegengren m.fl. (1924), Koark (1962), Koark m.fl. (1986), Weijermars (1987), Åberg & Fallick (1993) och Laskkogen (2010). Jordarterna i området har beskrivits av Kulling & Hjelmqvist (1948), Lundqvist (1951) och Ising (2008) samt moränens kemiska sammansättning av Andersson (2009). Ett antal prospekteringsrapporter kring olika geovetenskapliga aspekter i Falun och dess omgivningar finns också tillgängliga och kan sökas bl.a. via SGUs referensdatabas Georegistret (www.sgu.se). Verksamheten i projektet under 2012 beskrevs av Ripa m.fl. (2012).

Närmare 300 tunnslip från Geijers (1917) och Kulling & Hjelmqvists (1948) undersökningar finns bevarade i SGUs samlingar. De representerar de flesta av områdets befintliga bergarter och provlokaler kan i många fall identifieras. Det här projektet har producerat 80 polerade tunnslip, 55 kemiska bergartsanalyser, 63 kemiska moränanalyser och tre åldersbestämningar.

FÄLTARBETE

Sammanlagt ca 34 veckors geologisk kartering gjordes under fältsäsongerna 2012 och 2013. I arbetet deltog Stefan Luth, Per Nysten och Magnus Ripa från SGU samt Tobias Kampmann, doktorand vid LTU. Totalt har ca 700 observationer adderats till SGUs hälldatabas i det här projektet. Dessutom gjordes ca nio veckors geofysiska undersökningar och ca tre veckors moränprovtagning. De geofysiska undersökningarna inkluderade ca två veckors tyngdkraftsmätningar som utfördes av Johan Jönberger och Anders Gustafsson. Övriga mätningar gjordes av Mats Thörnelöf och Mehrdad Bastani. Moränprovtagningen gjordes av Mikael Carlsson.

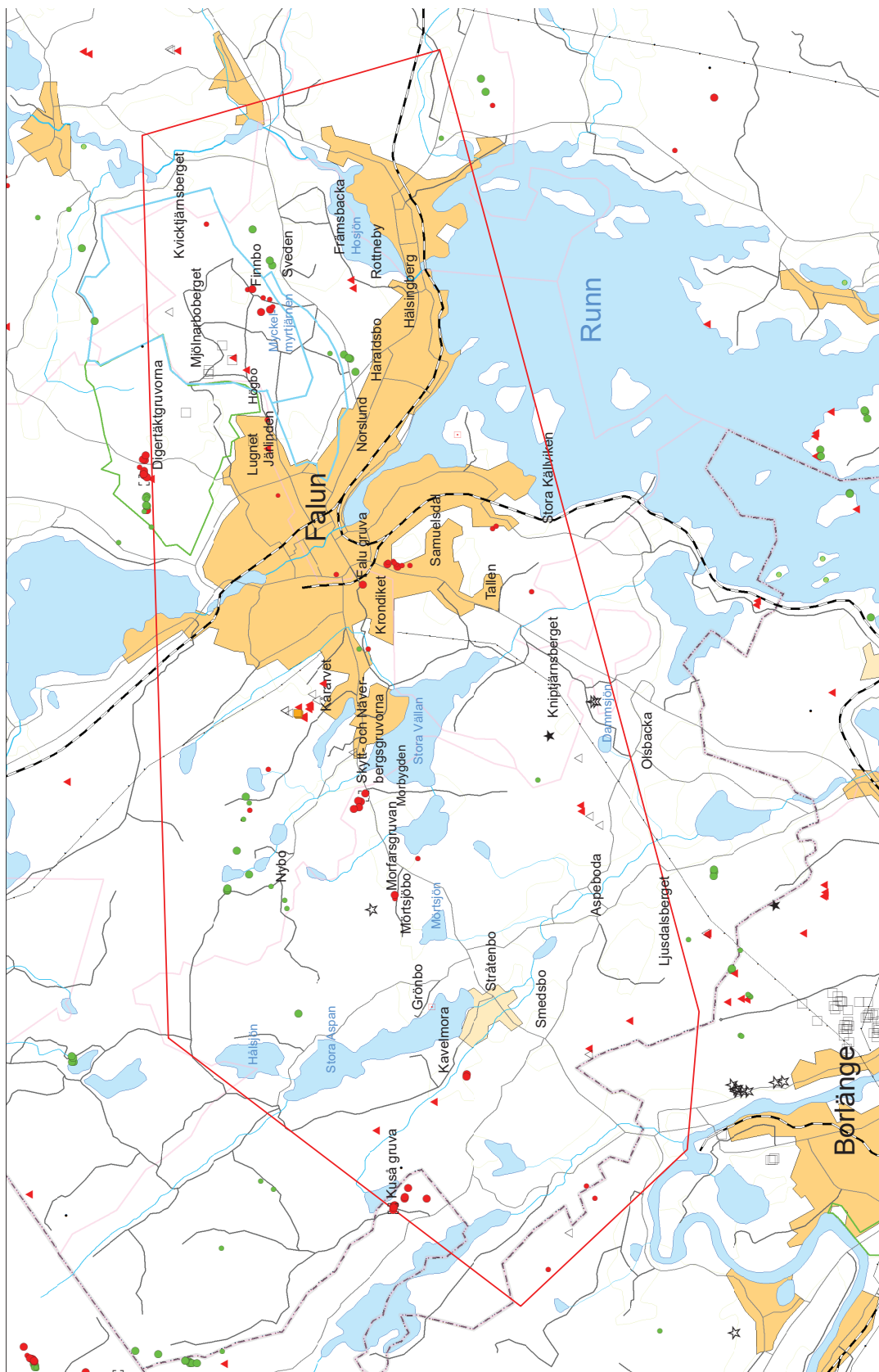
OMRÅDETS BERGGRUND

Inledning

Berggrunden i projektområdet liknar i huvudsak den i Bergslagen i övrigt. Den senaste och mest omfattande geologiska beskrivningen av Bergslagsområdet gjordes av Stephens m.fl. (2009). Följande kortfattade redogörelse för bergets bildning och utveckling baseras på denna skrift. För läsbarhetens skull har referenser utelämnats.

Utvecklingshistoria

För ca 1900 miljoner år (Ma) sedan befann sig det som nu är Bergslagsområdet vid kanten av en kontinental litosfärsplatta. Plattkanten täcktes av ett grunt hav i vilket sedimentation av ler- och fältspathaltig sand skedde. Subduktion av en oceanisk litosfärsplatta ledde till magmatisk aktivitet vid kontinentranden. Stora mängder vulkaniska utbrottsprodukter ersatte och slog ut den rådande sedimentationen under en period på ca 10 miljoner år. Mot slutet av den vulkaniska perioden, när den vulkaniska aktiviteten var låg, avsattes kalkstenar över stora områden. En del magmor, antagligen de flesta, nådde inte upp till jordytan, utan stelnade på olika djup i jordskorpan.



Figur 1. Utbredningen av projektområdet (röd linje). Förekomster enligt SGUs fyndighetsdatabas, mdep, är markerade med symboler som på berggrundskartan. Orts- och platsnamn som hänvisas till i texten är markerade.

Extent of the project area (red line). Deposits according to the SGU mineral deposit database, mdep, are noted with symbols as on the bedrock map. Names of places referred to in the text are also noted.

I de vulkaniska utbrottsprodukterna, vilka dominerades av tuffer, fanns ett por- eller grundvatten baserat på havsvattnet i sedimentationsbassängen. På platser nära vulkankrattrar och magmor värmdes detta vatten upp och steg mot jordytan, medan kallt vatten sjönk ner på andra ställen. Vattnet kom på så sätt att cirkulera genom de vulkaniska lagren. Det reagerade i varierande grad med sin omgivning. Både vattnet och vulkaniterna fick förändrade kemiska egenskaper. I en del fall blev vattnet tämligen rikt på metalljoner som t.ex. järn, mangan, koppar, zink och bly. De omgivande vulkaniterna utarmades på dessa metalljoner, men anrikades i stället på andra grundämnen, t.ex. magnesium. På platser där metallrikt vatten steg upp till kontakten mellan vulkaniter och kalksten eller till havsbotten fälldes en del av metallerna ut i form av järnoxider och sulfider av bl.a. koppar, zink och bly.

Med tiden litifierades de sedimentära och vulkaniska avlagringarna och blev till bergarter. Berggrunden utsattes vid åtminstone ca 1870 och 1800 Ma, men möjligen också redan vid ca 1890 Ma, för deformation. Då hamnade delar av den längre ner i jordskorpan och utsattes för högre temperaturer och tryck. På grund av detta omvandlades bergarterna, så kallad metamorfos. I samband med de metamorfa händelserna fanns också magmatisk aktivitet i jordskorpan.

Vid ca 1470 Ma intruderades berggrunden av både basiska och sura magmor, huvudsakligen i form av gångar. Vid ca 950 Ma utsattes berggrunden för ytterligare deformation längs vissa zoner och intrusion av diabasgångar.

Bergarterna i Falunområdet

I projektområdet kan man se effekterna av de flesta av ovan nämnda processer. Kartan som publicerades av Kresten & Aaro (1987) har områden med ursprunglig klastisk sedimentär bergart. De tolkas emellertid av oss som områden med hydrotermalt omvandlad vulkanit, så någon representant för den prevulkaniska sedimentationen har inte hittats. Resultaten av den magmatiska aktiviteten vid ca 1900–1890 Ma är däremot det som dominerar berggrunden i Falunområdet. Vi bedömer emellertid att vulkaniska tuffer (ursprungligen vulkanisk aska), till skillnad från Bergslagen i stort, är underordnade. Det mesta av det som på både äldre och föreliggande karta markeras med gul färg är snarare bildat som ytnära intrusioner.

Även om vulkaniska tuffer och kalkstenar är underordnade i området, är de viktiga genom att det är i dessa som huvuddelen av alla mineraliseringar och malmer sitter. Till exempel är det tydligt att blötmalmen i Falun delvis har bildats genom förträngning av en ursprunglig kalksten (Törnebohm 1893). På grund av stark hydrotermal omvandling i närmast omgivande vulkaniska bergarter kan deras ursprungliga karaktär, dvs. som tuff, lava eller subvulkanit, lokalt vara svår att bedöma. Även vid Skytt- och Näverbergsgruvorna (fig. 1) ingår enligt Geijer (1917) kalksten i stratigrafin som annars består av vulkanisk siltsten.

De subvulkaniska intrusivbergarterna graderar via finkorniga, lokalt kvartsporfyriska randfacies över i medelkorniga metagranitoider av GDG-typ (begrepp enligt Stephens m.fl. 2009; ”urgraniter” i äldre litteratur). På den tryckta kartan har samtliga randfacies markerats som porfyriska för att framgå.

I projektområdet har mafiska intrusivbergarter relativt stor utbredning (grön färg på kartan). Vår bedömning är att de representerar två generationer av GSDG-magmatism (begrepp enligt Stephens m.fl. 2009, TMB- eller TIB-magmatism i en del litteratur). De blandar sig och samexisterar med granitiska och kvartsmonzonitiska intrusivbergarter. Dessa finns också i två generationer (röda färger på kartan). Dessutom finns amfiboliter vars ålder är oklar.

Den metamorfa händelsen vid ca 1800 Ma ledde bland annat till att delar av befintlig berggrund smälte upp. Dessa smältor stelnade till intrusiva kroppar i områdets östligaste och västligaste delar (tegelröd färg på kartan). Dessutom bildades troligen huvuddelen av områdets pegmatit- och aplitgångar i samband med denna händelse.

Den magmatiska händelsen kring ca 1470 Ma representeras av s.k. Tunadiabaser och den vid ca 950 Ma av BDD-gångar (violetter linjer på kartan).

Subvulkaniter, vulkaniter och andra ytbergarter

Vulkaniterna i området domineras av porfyriska metaryoliter. Strökornen i dessa varierar starkt i antal. Allt från nästan afyriska till tämligen strökorrika varieteter förekommer. De förra är i allmänhet endast fältspatporfyriska medan de senare ofta har fler kvarts- än fältspatströkor (fig. 2). Fältspatkornen är på många ställen idiomorfa och kvartskornen har lokalt korrosionsbukter, vilket tyder på att vulkaniterna utgör koherenta facies. Eftersom de uppträder över stora områden och få lagringsytor har observerats torde detta betyda att de i de flesta fall är ytnära intrusioner. Nära kontakter mot vulkaniska siltstenar kan metaryoliterna växla färg från ljusröd till grå. Detta

kan bero på en reaktion vid själva kontakten och stöder teorin att denna är intrusiv. En datering som gjorts i detta projekt visar att åldern på metaryoliterna är ca 1892 Ma (se Kampmann m.fl. 2015).

Fältspatströkornen är ofta röda, men i någon varietet finns två fältspater: vit plagioklas(?) och röd alkalifältspat(?). Den senare ser ut att ha omkristalliserat till två faser. Lokalt finns 1–5 cm stora, möjliga enklaver. Där metaryoliten har få strökorn eller där tillgängliga hållblottningar är svårtolkade är den svår att skilja från vulkanisk silt- till sandsten.

Underordnat finns metavulkaniter som tolkas som ytbergarter, nämligen ryolitisk till dacitisk vulkanisk silt- till sandsten, ryolitisk till dacitisk vulkanisk breccia, dacitisk sandsten och basalt. Lokalt uppträder de tillsammans med metamorf karbonatsten som i varierande grad är mineraliserad med malmmineral och skarn i anslutning till traktens metallfyndigheter (utom Kuså). Områden med ytbergarter finns dessutom väster om Kavelmora, väster om Mörtsjön, Morbygden, kring Nybo, vid Kårarvet, söder om Krondiket och öster om Norslund (fig. 1). Dessa är troligen stora xenoliter i ovan nämnda porfyrisk led, men det är oklart i vilken utsträckning de är *in situ* eller ”simmar” i sin värdbergart. Det är problematiskt att korrelera de olika förekomsterna av ytbergarter. Det innebär att områdets ursprungliga struktur, definierad av lagringsytor i ytbergarterna, inte kan rekonstrueras med någon större säkerhet.

Genom studier av tunnslip i mikroskop och hållar i fält ser man att bergarterna lokalt har två foliationer. Vulkanisk siltsten (till lokalt sandsten) ser ut att bestå av ca 50 procent rundade kvartskorn, 10 procent biotit och resten fältspat (med lägre brytningsindex än kvarts). Kornstorleken i grundmassan i porfyrisk varieteter är ca 0,05–0,1 mm. Strökorn av kvarts är <1–3 mm stora och har lokalt korrosionsbukter. Fältspatströkorn, <1–4 mm stora, består mest av plagioklas, men alkalifältspat finns som inneslutningar i dessa. Ett prov av vulkanisk breccia har biotitrika fläckar med omkristalliserade kvartsaggregat som sannolikt representerar ursprungliga pimpstensfragment. Breccian har också mm- till cm-stora fragment av fältspatporfyrisk vulkanit.



Figur 2. Strökornsrik metaryolit söder om Stora Vällan, 6716611/530285.

Porphyritic metarhyolite.

Mineralogiskt består metavulkaniterna av kvarts, sericitiserad eller saussuritiserad plagioklas, kalifältspat, biotit, klorit, hornblände, ospecificerad amfibol, epidot, allanit, prehnit, apatit och zirkon. Opaka faser är hematit, magnetit, rutil och ilmenit. Omvandlade varieteter har dessutom cordierit, antofyllit, granat och zinkspinellen gahnit. Lokalt ser det ut som om amfibol, biotit och gahnit växer över cordieriten. Kvartsströkornen är ofta undulösa. En del hematit sitter i kloritiserad biotit och antyder att biotiten omvandlas till en Mg-rikare klorit vid retrogradering under oxiderande förhållanden.

Hydrotermalt omvandlad och sericitrik vulkanisk siltsten finns t.ex. strax söder om Järlinden i anslutning till de militära skjutbanorna (fig. 1). Bergarten är ljus grå, finkornig och förskiffrad. Den kan lätt tolkas som en metasedimentär bergart, men mikroskopi visar en jämn fördelning av biotit i en grundmassa med ca 0,1 mm grov kvarts, mikroklin och sericitiserad plagioklas. Mikroklinen är relativt rikligt förekommande, vilket tyder på en ryolitisk sammansättning. Accessoriskt finns 0,1 mm stora, anhedrala korn av allanit(?) och zirkon.

Vulkaniter, som är omväxlande mörkt och ljus bandade i knapp cm-skala, finns vid Kårarvet och söder om Kvicktjärnsberget (fig. 1). Mikroskopi visar dels band rika på frisk, olivfärgad, 0,1–0,15 mm grov biotit, kvarts och plagioklas, dels band rika på grönt hornblände. Där finns även band rika på anhedral granat. Banden separeras av kvartsrika partier. Enstaka biotiter ses växa över foliationen. Den metamorfa mineralogin återspeglar en sammansättningsvariation som torde vara primär och inte deformationsbetingad.

Vulkanisk breccia finns strax söder om Kårarvets naturreservat. Kantiga, mörka och parallellt orienterade fragment av några centimeters storlek bildar lager i en finkornig, sur grundmassa (fig. 3). Eftersom klasterna är monomikt och delvis har konkava begränsningsytor är det möjligt att det rör sig om ett slags autobreccia snarare än en tuff. Vulkanisk breccia med tuffkaraktär finns vid Mörtsjöbo (fig. 1).

Dacitisk sandsten finns i lokaler söder och sydost om Nybo (fig. 1). Metabasalt finns väster om Mörtsjön, norr om Kårarvet och vid Övre Norslund (fig. 1). Vid Mörtsjön är bergarten rejält kalkslaggig. Troligtvis gäller detta



Figur 3. Vulkanisk breccia, Kårarvet, 6719343/531286.

Volcanic breccia.



Figur 4. Deformerad och bandad, slaggig metabasalt med urvittrade hålrum efter karbonat, samt ljusa hålrumsfyllnader troligen fyllda med kalksilikater. 6718828/537144.

Amygdaloidal metabasalt, amygdules were filled with now weathered carbonates and calc-silicates.

även Norslundlokalen då oregelbundna, urvittrade hålrum förekommer rikligt. Metabasalten norr om Kårarvet har strökorn av fältspat och ett mafiskt mineral. Lokalen vid Övre Norslund visar en brant stående, deformerad och slaggig basalt, dels med urvittrade hålrum, dels med hålrumsfyllnader av ljust material som troligen består av kalksilikater (fig. 4).

De förekomster av "amfibolitiska agglomerat" som beskrivits av Geijer (1917) och Kulling & Hjelmqvist (1948) kan med hjälp av deras egna slipprover, på grund av sin relativa grovkornighet, avfärdas som intrusiva bergarter. Klasterna är i de flesta fall amygduler med kvarts och fältspat.

Eventuellt kan runda, delvis koncentrisk inneslutningar i sur metavulkanit vid Samuelsdal tolkas som pisoliter (fig. 1).

Metavulkaniterna visar lokalt tecken på hydrotermal omvandling. Detta beskrivs nedan under rubriken Strukturer, metamorfos och hydrotermalomvandlingar.

Övriga intrusivbergarter

Metagranit och metagranodiorit

Felsiska intrusivbergarter som traditionellt har uppfattats vara av GDG-typ (se Stephens m.fl. 2009), dvs. så kallade "urgraniter", förekommer i områdets norra och södra delar (Kresten & Aaro 1987). De är i varierande grad deformerade och utgörs huvudsakligen av hornbländeförande metagraniter, metagranodioriter och möjligen metakvartsmonzoniter. Lokalt uppträder magmablandning i form av enklaver som bildar avlånga till runda, upptill 5 dm stora spolar (stänglar) av mafiskt material i en granitisk eller granodioritisk grundmassa (fig. 5). En



Figur 5. Magmablandningsstruktur, Hökviken, 6722572/534657.
Magma mingling.

datering av en metagranit som gjorts i detta projekt gav en ålder på ca 1892 Ma (se Kampmann m.fl. 2015), dvs. samma som den för tidigare nämnda subvulkanit. I söder är det lokalt oklart om starkt stängliga led är av GDG-, GSDG- eller GP-typ. De har preliminärt tolkats som GDG-typ.

Bergarterna är lokalt inte uppenbart metamorfa, men på andra ställen är de tydligt omkristalliserade och starkt folierade eller stängliga – även varianter med närmast gnejsig struktur förekommer. Till exempel finns norr om Kuså en metagranit som mikroskopiskt visar omväxlande band med varierande kornstorlek där de finare är 0,1–0,2 mm och de grövre 1–2 mm. Metagraniterna kan ha ett kvartsporfyriskt randfacies och graderar över i ovan nämnda ytnära ryolitiska intrusioner, vilket alltså även deras lika ålder antyder. I området från söder om Smedsbo och österut (fig. 1) finns finkornig metagranitoid som är svår att skilja från metavulkanit, speciellt som den har partier, troligen xenoliter, av något som tolkas som metavulkanit. Mikroskopiskt visar den en grundmassa på 0,1–0,4 mm vari ca 1 mm stora kvartsströkor kan förekomma. Lokalt är bergarten något mera mafisk. Den motsvarar i huvudsak det som Geijer (1917) kallade granitgnejs. Kresten & Aaro (1987) betecknade bergarten som porfyrisk metavulkanit medan Döse & Kübler (2011) kallade den subvulkanit.

Ytterligare exempel är röd, ojämnkornig till porfyrisk, massformig till svagt deformerad subvulkanit alternativt granit som finns vid Tallens industriområde söder om Falun. Prover härifrån av två snarlika bergarter har mikroskopiserats. Båda bergarterna har granofyrisk textur, men en har seriat textur medan den andra är tydligt porfyrisk med 1–2 mm stora kvarts- och fältspatströkor. Den senare har komplexa fältspater (fläckvis pertit och antipertit) och anhedral granat. Kornen i grundmassan varierar från 0,05 till 0,1 mm. Den seriata typen har frisk grön biotit som rikligt innesluter zirkon. Glimmern är koncentrerad till 1 mm stora aggregat och accessoriskt finns epidot med allanitkärnor.

Metagranitoiderna består av kvarts, oligoklas, kalifältspat, biotit och lokalt hornblände. I mindre mängder finns prehnit (på biotit), apatit, epidot, magnetit (lokalt med ilmenitlameller och delvis hematitomvandlad), sericit eller

saussurit (på plagioklas), klorit (på biotit), titanit (på biotit), allanit och zirkon. Lokalt är mängden allanit relativt hög. Plagioklasen har inneslutningar av kalifältspat. Myrmekit och bandformad pertit är vanliga texturer. Kvartsen har undulös utsläckning och fältspater i grundmassan kan i vissa partier uppvisa fina trippelpunkter.

Blandade gångar

I Falu gruva uppträder blandade sura och basiska gångar eller subvulkaniska intrusioner (Törnebohm 1893). De sura (felsiter, enligt Törnebohm 1893) är kvarts- och fältspatporfyriska med kvartskorn 1–2 mm och fältspater 1–4 mm stora i en ca 0,05–0,1 mm grov grundmassa. Kvartsen är undulös och har subkornbildning. Plagioklas är dominerande fältspat även om det också finns sådan med lågt brytningsindex i grundmassan. Övriga mineral är biotit, opaka faser, sericit eller saussurit (på plagioklas), epidot och muskovit. Muskovit växer på sericit. Omvandlade varieteter har cordierit och antofyllit. Vid kontakt mot de samexisterande basiska gångarna är porfyren än mer finkornig och det finns kvartskorn i de förra, vilket torde betyda att basiterna intruderade först.

De basiska gångarna är av två typer: en relativt felsisk och en närmast ultramafisk. Dessa kallades Sture- respektive Fritioftrapp av Törnebohm (1893). Den mer felsiska typen består av kvarts, bl. a. som strökorn, plagioklas, biotit, hornblände, opaka mineral, apatit, sericit eller saussurit (på plagioklas), möjligen allanit, cummingtonit, serpentin och klorit (på biotit). Kvartsen är undulös och halten opaka mineral är hög i vissa prov. Den mer mafiska typen består av hornblände, cummingtonit, sericit eller saussurit, opaka mineral, serpentin (till synes efter pyroxen), fältspat, biotit, klorit (på biotit) och prehnit (på biotit). I den mån befintlig sericit–saussurit inte växer på plagioklas, vilket oftast inte går att avgöra, torde bergarten i många fall vara ultramafisk.

I området i övrigt finns dels finkorniga amfibolitgångar, dels fin- till medelkorniga och lokalt också grovkorniga metabasiter som bildar större, intrusiva kroppar. En tre meter mäktig amfibolitlins kan studeras i den östra delen av Stora stöten. Amfibolitgångar av några meters mäktighet finns även i en vägskärning (vägen mot Borlänge) sydost om Stora stöten. Gångarna är brant stående, öst–västligt orienterade och omgivna av sura metavulkaniter. Granat har observerats i en av dessa gångar.

Två tunnslip av amfiboliter finns i SGUs samlingar från Falun. Det ena är av nästan ”ren” hornbländit, det andra av en normal amfibolit, dvs. plagioklashaltig. Ett prov från denna undersökning visar också en hornbländitisk karaktär. Mineralen är hornblände, plagioklas, apatit, kvarts (undulös) och en färglös klinoamfibol (troligen cummingtonit). Dessutom finns möjligen allanit och biotit. Opaka mineral är hematit och ilmenit som omvandlats till rutil och hematit. Granat finns som porfyroblast och karbonat som sprickfyllnad. Texturen är heterogen med >1 cm stora, rundade aggregat av mer grovkornigt (1–2 mm) material i en finkornigare, ”filtig” grundmassa. Granaterna ser ut att ha växt sent syntektoniskt i förhållande till den dominerande strukturen eftersom den senare bara i viss utsträckning böjt runt granaterna medan dessa delvis växt över hornblände.

Basiska, ultrabasiska och anortositiska intrusivbergarter

Den metamorfa karaktären är inte uppenbar överallt i de intrusiva basiska bergarterna. Magmatisk lagring finns på några ställen (fig. 6). De är ofta heterogena dels med omväxlande ultramafiska, gabbroida, anortositiska och kvartsmonzodioritiska sammansättningar, dels med varierande kornstorlekar. Eventuellt finns till och med tonalit på några platser, bland annat väster och sydväst om Mörtsjöbo och norr om Skytt- och Näverbergsgruvorna (fig. 1). Tonaliten är lokalt finkornig och smått amfibolporfyrisk och är på någon lokal fältspatporfyrisk med talrika, cm-stora xenoliter av ytbergarter. Den bildar gång genom dioritisk till nästan ultrabasisk bergart. På Ljusdalsberget (fig. 1) blandar sig kvartsmonzodiorit med granit till kvartsmonzonit av sannolikt äldsta (ca 1 863 Ma) GSDG-typ. Ett relativt felsiskt led i Kusåmassivet har i detta projekt daterats till ca 1 788 Ma (se Kampmann m.fl. 2015), dvs. det har GSDG 2- eller TMB 1-ålder. En kuriositet i Kuså som måste beaktas vid tolkningen av bergarternas bildning är förekomsten av aplit bestående av karbonat (>30 procent), pertitisk mikroklin, albit och klorit (Geijer 1917), dvs. ett slags karbonatit. Det är emellertid oklart om karbonatiten är ungefär likåldrig med Kusåmassivet eller avsevärt yngre. Bergarten hittades inte vid den här undersökningen.

Basiska intrusivbergarter är vanligt förekommande i projektområdets västra delar men finns även som små massiv i de södra och östra delarna. Norr om Järlinden, nära Lugnetstadion (fig. 1) har ett delvis zonerat dioritmassiv noterats. Makroskopiskt ser man här att berget i de västra delarna är ljusare än i de östra, medan någon signifikant skillnad inte framgår av kemiska analyser avseende huvudelementen. Mikroskopi visar dominerande hornblände, subhedral plagioklas med sericitiserade kärnor och frisk, olivgrön biotit. Den ljusare bergarten har rikligt med



Figur 6. Bandad och veckad gabbro norr om Hälsingberg. 6718282/538840.

Flow-banded and tectonically folded metagabbro.

poikilitiskt innesluten kvarts i hornbländet. Accessoriska faser skiljer sig dock. Den ljusare bergarten är rik på titanit och epidot samt innehåller kopparkis, pyrit och goethit. Sulfiderna är associerade med epidot. Den mörkare är rik på apatit, zirkon och har fluorit i en sprickfyllnad. Båda bergarterna har något förhöjda Co- och V-halter. Norr om Hälsingberg finns en rytmiskt bandad och isoklinalt veckad gabbro (fig. 1 och 6).

De intrusiva mafiternas heterogena karaktär framgår också i tunnslipen från Geijers (1917) och Kulling & Hjelmqvists (1948) prover. De domineras av plagioklas och hornblände i olika proportioner. Plagioklasen varierar i sammansättning från oligoklas–andesin till andesin till labradorit–bytownit mellan prover. Den är saussuritiserad och sericitiserad. På Ljusdalsberget bildar den enstaka större (ca 1,5 mm) korn i en för övrigt ca 0,5–1 mm grov, omkristalliserad grundmassa. Dateringsprovet från Kuså har en kornstorlek på ca 1–3 mm och förefaller mer välbevarat än motsvarande från mafiten på Ljusdalsberget. Övriga mineral är klorit, sekundär titanit, apatit, epidot (på saussurit och hornblände), biotit (lokalt på hornblände), prehnit (på biotit), kvarts (undulös), muskovit (på sericit), olivin, klinopyroxen, kalifältspat (med pertit i band), serpentin (efter pyroxen? i ultrabasiskt led) och karbonat. Lokalt, t.ex. i Kuså, finns zirkon. Opaka faser är delvis hematitomvandlad magnetit, kopparkis, ilmenit, magnetkis och pyrit med inneslutningar av magnetkis. Enligt Tegengren m.fl. (1924) finns även pentlandit i malmen i Kuså. Zakrzewski (1989) identifierade också sperrylit (PtAs_2). Apatit kan det finnas ganska rikligt av och mest tillsammans med kvarts och plagioklas. Lokalt har den korrosionsbukter. Karbonat finns både i grundmassan (i ovan nämnda karbonatit) och som sprickfyllnad. Kvartsen är undulös. Hornblände bildar delvis pseudomorfoser efter pyroxen. Lokalt finns cm-stora strökorn (oikokrister) av hornblände med rikligt med <0,1 mm stora kadakrister av kvarts och fältspat. Strökornen finns i en grundmassa av plagioklas, hornblände och kvarts. I ett prov från denna undersökning finns aggregat av kvarts, klorit och karbonat som möjligen representerar ursprungliga hålrumsfyllnader.

Yngre sura plutoniter

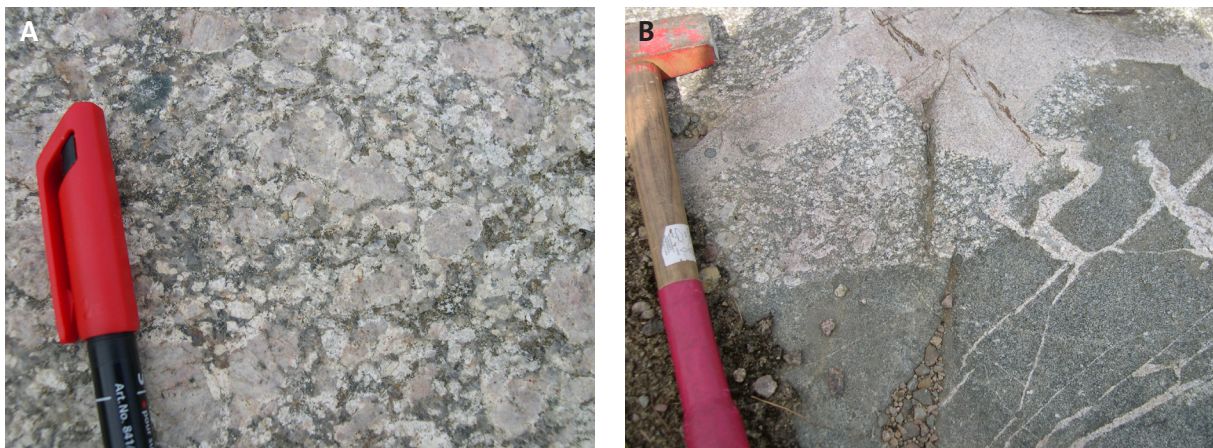
Yngre granit till kvartsmonzonit uppträder både som finkorniga gångar och som medelkorniga massiv. I projektområdets sydligaste del är den dock grov och grovporfyrisk (med rapakivi-textur) och lokalt kvartsmonzonitisk (fig. 7). Den senare blandar sig med ovan nämnda mafiter. Massivet sträcker sig ner till Borlänge där ett prov daterades till ca 1863 Ma i samband med ett bergkvalitetsprojekt som SGU genomfört (Döse & Kübler 2011). Magmablandningen klipps av finkorniga granitgångar (fig. 7). Vid Kuså och i områdets västligaste delar finns medelkornig, jämnkornig granit. Gångar av graniten klipper mafiterna i Kusåmassivet. Den är alltså något yngre än, men i stort sett troligen likåldrig med, de senare, dvs. ungefär 1790 Ma. Graniten strax utanför projektområdets sydvästliga gräns är tämligen "anatektisk" och slirig till karaktären och torde vara av GP-typ, dvs. cirka 1800 Ma. Det är dock i många fall oklart om de senare graniterna och de finkorniga granitgångarna är av GSDG- eller GP-typ. I området öster om Falun är de yngre graniterna lokalt pegmatitiska.

I tunnslip ser man kalifältspat, kvarts, oligoklas–albit, muskovit, sericit eller saussurit, brun och grön biotit, hornblände, epidot (på saussurit), titanit, apatit, zirkon, klorit (på biotit), prehnit (på biotit), allanit och pumpellyt. Opaka mineral är magnetit, pyrit och möjligen också ilmenit. Det finns också granat och ett oidentifierat mineral. Granaterna är till synes välbevarade men lokalt även rundade och troligen xenokrister eller restiter. Det oidentifierade mineralet (hög relief, spaltning längs två nästan vinkelräta riktningar, mellanhöga interferensfärger; pyroxen?) torde också vara xenokrist. Kvartsen är undulös och omkristalliserad. Kalifältspaten har ofta små plagioklaskrystaller i sig och pertit i band. Myrmekit förekommer. Klorit och en opak fas bildar tillsammans lokala pseudomorfer efter något mineral som till formen skulle kunna vara olivin.

Pegmatiter

Pegmatiter finns av två typer: dels en som domineras av vit fältspat, muskovit och kvarts, dels en som domineras av röd fältspat, kvarts och biotit (fig. 8). Den senare har lokalt starkt kvartsdominerade led som är svåra att skilja från kvartsådror. Några gångar innehåller dessutom röd granat och oxid eller silikat med sällsynta jordartsmetaller (REE) i form av glasiga, metamiktta, svarta till mörkt bruna till mörkt gröna korn. De senare kräver ytterligare undersökning för verifikation. De kan vara allanit och gadolinit. Ett par gångar består av vit fältspat, kvarts, biotit, granat, molybdenglans och trolig gadolinit. Apliter i området har ofta pegmatitiska partier mot kontakter.

Inom området Järlinden–Högbo–Sveden, dvs. till stora delar inom skjutfältet öster om Falun, förekommer rikligt med granitpegmatiter med en tydlig kemisk fraktioneringstrend. Trenden kan följas såväl regionalt i kilometerskala som lokalt inom enskilda förekomster (t.ex. i Finnbo). Området studerades av Smeds (1994) som



Figur 7. Foton av GSDG-granit till GSDG-kvartsmonzonit i dikesällar på Ljusdalsberget. 6712257/ 524417. **A.** Rapakivi-textur på kalifältspatströckorn. Notera mafiska "droppar" i grundmassan. **B.** Övergång/kontakt mot monzodioritiskt led och senare ådror av granit/aplit med pegmatitiska inslag.

Photos of GSDG-type granite to quartz monzonite at Ljusdalsberget. A. Rapakivi-texture on K feldspar megacrysts. Note "droplets" of mafic material in matrix. B. Transition/contact towards monzodiorite and later veins of granite/aplite with pegmatitic parts.

dokumenterade fraktioneringstrender baserade på kemisk analys av mikroklin, muskovit och granat kopplad med paragenetiska observationer från pegmatiter. Vid den nu aktuella karteringen har ytterligare information framkommit. Tidigare okända lokaler för både primitiva och kemiskt utvecklade gångar samt koncentrationer av lokala block har observerats. De sistnämnda kan jämföras med de mineralogiskt komplexa förhållandena i de så kallade "Broddboblocken" strax norr om Falu gruva. Här följer en beskrivning av området med lokalbeteckningar baserade på Smeds (1994).

Området domineras helt av felsiska metavulkaniter i form av ett öst–västligt orienterat och linsformat stråk omgivet av metamorfa graniter till granodioriter av GDG-typ. I den östra delen av vulkanitområdet finns sulfidförekomster omgivna av associerad hydrotermalomvandling. Nordöst här om finns en heterogen, mineralogiskt sett "primitiv" pegmatitgranit, benämnd Främsbacka (Smeds 1994). Den består av kalifältspat, kvarts, biotit, lokal granat och magnetit samt underordnad muskovit. Pegmatitgranit finns även inom två smärre massiv söder om sulfidmalmsområdet. Från de centrala delarna av vulkanitstråket och vidare åt väst och nordväst ökar fraktioneringsgraden inom de här observerade gångsvärmarna. Den mest utvecklade gången är Finnbofyndigheten. Den omges av GDG-granit, men har nära kontakt till metavulkanit. Cirka 500 m östsydöst om denna har ytterligare två små pegmatitgångar av samma typ hittats. Mineralogiskt består de ca 10–15 cm breda gångarna av vit mikroklin, rikligt med granat, biotit, molybdenglans och ett glasigt REE-silikat (troligen gadolinit). En av gångarna, med strykning 165/80, uppträder i metadiabas eller amfibolit. I en välblottad pegmatithäll ca 100 m norr om dessa gångar finns den sydligaste delen av Myckelmyrans pegmatitgranit (avbildad på framsidan av GFF 116 : 3; Smeds 1994).

Centralt inom vulkanitstråket har ett flertal tidigare okända, REE-förande gångar och stora blocksamlingar observerats. Dessa pegmatiter karakteriseras av vit mikroklin, rikligt med vit till gulgrön muskovit, granat och lokalt rikligt med gadolinit, speciellt i albitrika delar. Detta är tydligt i blocken som upptäcktes här nära Scandic Hotell Lugnet. Liknande mineralogi finns också i den gadolinitrika lokalen Vasagruvan som idag ligger under bebyggelse i stadsdelen Järlinden. Vasagruvan ligger inom vulkanitområdet och nära kontakten till GDG-granit enligt Kulling & Hjelmqvist (1948).

Kontakter till sidoberget är inte alltid blottade, men det finns två huvudsakliga strykningssiktningar, nord-nordväst–sydsydöst och nordost–sydväst. Eventuellt finns ett konjugerande par.

Även inom GDG-granitområdet (speciellt vid Lugnets skidstadion) har delvis REE-Mo-F-förande gångar blottlagts. Granat, magnetit, fluorit och molybdenglans karakteriserar dessa tillsammans med ett glasigt REE-silikat. Norr om Finnbobrottet finns små, västnordvästligt strykande pegmatitgångar, vilka består av röd mikroklin, granat, magnetit, biotit och ett glasigt REE-silikat; en mineralassociation som indikerar en lägre grad av fraktionering än den i de muskovit- och gadolinitförande gångarna.



Figur 8. Subparallella, ca 1–3 dm breda pegmatitgångar i metagranodiorit. Lugnets skidstadion. 6720590/536173. *Pegmatite dykes in metagranodiorite.*

Genetiska aspekter på pegmatiterna framfördes av Smeds (1994). Smeds länkar bildningen till fraktionerad kristallisation av granit och pegmatitgranit av GP-typ vars protolit, enligt författaren, troligen innefattar mantel-deriverade felsiska vulkaniter. Alla de här diskuterade pegmatiterna skär den regionalt förhärskande S2-foliationen och måste därför vara yngre än denna deformationsfas. Det finns en tendens till att de gadolinitförande gångarnas strykning är orienterad nära 90 grader mot S2-foliationen. De båda huvudriktningarna finns emellertid representerade i mer primitiva gångsystem. Därför kan ett direkt samband mellan pegmatiters orientering, mineralogi och sidobergets strukturer inte enkelt härledas.

Tunagångar

Gångar av en tät, fältspatporfyrisk och basisk bergart finns på några ställen. Troligen är de s.k. Tunagångar som lokalt samexisterar med sur s.k. Gustafsporfyr (se t.ex. Kulling & Hjelmqvist 1948). Tunnslip av sådana visar att både plagioklas och en mafisk fas bildar strökorn, att det finns gångar i gångar samt att bergarten är amygdaloidal. Övriga mineral är klorit, hematit, pyrit, magnetit, ilmenit, sericit eller saussurit (på plagioklas), allanit, klinopyroxen, epidot och kvarts (sannolikt xenokrist). En del amygduler har klorit närmast väggen, därefter grov kvarts, sedan fin kvarts som omger ett oidentifierat mineral och innerst ett delvis karbonatfyllt hålrum. Andra amygduler är i stort sett fyllda med klorit men har underordnade karbonatfyllda delar. Gustafsporfyr har inte identifierats i det här projektet.

Diabaser

Yngre diabas i området är finkornig till fint medelkornig, jämnkornig, ofitisk enligt svensk nomenklatur och klotvittrande (fig. 9). Den kallades för Åsbytyp av t.ex. Kulling & Hjelmqvist (1948), men daterades av Söderlund m.fl. (2005) till ca 946 miljoner år och är alltså av BDD-typ.

Mineralen består av plagioklas (andesin–oligoklas), olivin, klinopyroxen, opaka faser, apatit, biotit, kvarts, hornblände (på pyroxen), sericit (på plagioklas), klorit och prehnit. Klorit respektive prehnit och opak fas bildar olika pseudomorfer. Texturen är övervägande jämnkornig och intergranulär.



Figur 9. Klotvittrande, grovkornig diabas. Stranden till Stora Vällan vid Korsgården. 6717637/531612.

Spheroidal weathering in coarse-grained dolerite.

STRUKTURER, METAMORFOS OCH HYDROTHERMALOMVANDLINGAR

Strukturer

Eftersom ytbergarter är ovanliga i projektområdet är även primära lagringsytor det. Den dominerande struktur man ser i bergarterna är en foliation som stryker mot nordost till ostnordost. Strukturen är heterogent utbildad med starkt deformerade zoner som varierar i grad och som omger närmast opåverkade litoner. I några få observerade veckomböjningar i mikro- och mesoskala ser man att foliationen krenulerar eller överpräglar en äldre dito och alltså är åtminstone S2-foliation (och resultatet av D2-deformation). Dess orientering utanför veckomböjningar sammanfaller antagligen i de flesta fall med den hos S1 och också med den hos eventuell S0. Dessutom sammanfaller orienteringen på foliationen ofta men endast ungefärligt med strykningen hos den dominerande sprickriktningen. S2-foliationen är lokalt mylonitiskt utbildad. Söder om Falun, vid Tallens köpcentrum är berggrunden påtagligt bandad med cm-breda, mestadels parallella, täta till finkorniga band som varierar i färg och sammansättning. Vi tolkar dessa band som resultat av kraftig deformation (mylonitbildning).

De intrusiva bergarterna har lokalt en stänglighet eller foliation. Foliationen är oftast samma som den i omgivande vulkaniter. Stängligheten kan vara parallell foliationens stupningsriktning och F2-veckaxlar. Den grovporfyriskä yngre graniten till kvartsmonzoniten har lokalt en svag kvartspressning och semipenetrativ foliation (spaced cleavage), medan den mafit som den blandar sig med har en mer penetrativ och parallell foliation.

Det finns åtminstone två generationer kvartsläta sprickor. Dessa klipps i sin tur av oläta sprickor eller sådana läta med röd fältspat eller adular. Epidotläta sprickor med epidotomvandling i sidoberget finns också.

Lokalt kraftig spröd deformation finns vid Lugnets skidstadion där delvis öppna sprickor i metagranodiorit fyllts ut med euhedral prehnit och epidot. Sprödektionisk deformation och lågtemperaturomvandling finns även i form av laumontitfyllda sprickor. Kvartsläta, delvis öppet drusiga, sprickor som skär granit finns vid Sprängbacken norr om Rottneby där man har anlagt ett litet stenbrott i breccian. Den spröda deformationen kan följas några 100 m vidare mot väster där ytterligare en skärpning finns i en kvartsanrikad omvandlingszon av graniten. Skärpningen är troligen upptagen på en mager blymineralisering eftersom blyglans observerats i hållväggen. En nord-sydligt orienterad kvartsbreccia finns även vid Hosjöns östra del.

Metamorfos

Metamorfa indikatormineral i området är bl.a. cordierit, antofyllit och andalusit. Det innebär att metamorfos av ungefär mediumgrad eller amfibolitfacies har drabbat bergarterna. Weijermars (1987) uppfattade att dessa mineral växte sent under bildningen av S1-foliationen (vid D1-deformationen). På flera platser och även i slip ser det dock ut som att dessa indikatormineral snarare växer samtidigt som och över S2.

Hydrotermal omvandling

De metamorfa indikatormineralens sammansättning visar att bergarterna har utsatts för kraftig hydrotermal omvandling, speciellt Mg-anrikning (se avsnittet om geokemi nedan). Omvandlingen måste alltså senast ha skett strax före eller samtidigt med bildningen av S2. Vid lättare omvandling av vulkaniterna sker ofta en färgändring från röd till grå. Efter ytterligare omvandling är bergarterna glimmer- eller amfibolförande. Intill de metamafiska intrusivbergarterna har ofta omgivande metavulkaniter amfibolomvandlats. Vid den s.k. Morfarsgruvan ser man att denna omvandling också var associerad med bildningen av magnet- och kopparkis och att den skedde ungefär samtidigt med D2-deformationen. Dessa iakttagelser visar indirekt att intrusionerna också torde ha skett då. Många av de smärre sulfidmineraliseringar som finns i området verkar vara lokaliserade i eller intill kontakten mellan metabasit och sidoberg.

Vulkaniska siltstenar i närheten av mineraliseringar visar ofta tecken på omvandling. Vi har observerat skarn-, glimmer-, sulfid- och amfibolomvandling på flera platser. Glimrarna domineras av ljus sådan (sericit) men även biotit förekommer. Även de förmodat subvulkaniska ryoliterna har drabbats av glimmer- och amfibolomvandling. Lokalt är de dessutom magnetitförande, något som kan bero på omvandling.

Längs med Svärdsjövägen, mellan Haraldsbo och Sveden, har vi noterat ett område med blekt metavulkanit eller metagranit (fig. 10). I vägskärningar kan man se en ljus grå till vit, finkornig, lokalt fläckig, lokalt folierad bergart vars protolit (vulkanit eller granit) inte helt säkert kunnat fastställas. Vissa partier är jämnkorniga och ser



Figur 10. Hydrotermalomvandlad, ljus grå och finkornig metaryolit eller metagranit. 6718799/538568.
Hydrothermally altered, light grey and fine-grained metarhyolite or metagranite.

närmast aplitiska ut. Geijer (1917) omnämner "vit granit" från trakten av Sveden vilken troligen omvandlats av samma lösningar som dessa bergarter.

Vid Lugnets skidstadion finns en hydrotermal zon i en massformig, omkristalliserad, något ojämnkornig metagranit som vi tolkar som en greisenomvandling. I zonen är bergarten kvarts- och kloritrik samt sprött deformationerad. Mikroskopi visar 2–3 mm stora, euhedra plagioklaser med helt sericitiserade kärnor. Kvartsen är delvis helt omkristalliserad och visar annealing-textur (trippelpunkter). Mikroklin saknas helt. Bergarten innehåller grova aggregat och euhedra kristaller av blekt gulbrun glimmer som skär över plagioklas. Detta skulle kunna vara zinnwaldit, ett mineral karakteristiskt för greisenbildningar. Klorit finns av två typer, dels färglös och dels grön. Oxider finns som disseminerad hematit och magnetit. Vidare har en semiopak fas med vita inre reflexer observerats som inneslutning i glimmer. Det är troligen rutil.

Vid Gamla Bergsdammen, strax nordväst om Krondiket, finns en svagt blyglans- och kopparkismineraliserad metatonalit till metagranodiorit som mikroskopiskt visar rikligt med nybildad, grov muskovit och stora, omkristalliserade kvartsaggregat (3–4 mm) med ojämna korngränser. Det finns även frisk, brun biotit (rik på zirkon) som innesluter nybildad muskovit. Fältspater består av stora, subhedra plagioklaser som innesluter små "rutor" av mikroklin eller ortoklas, dvs. antipertit. Fältspaten saknar tvillingar och är svagt sericitiserad i kärnor. Bergarten innehåller även enstaka, 0,15 mm stora granater.

Silt- till sandstenar är ofta skarnomvandlade intill mineraliseringar. En observation av andalusitförande bergart kan vara glimmeromvandlad metavulkanit, men den tolkades som en metasedimentär bergart av Kresten & Aaro (1987). Omvandlingsbergarterna kring Skytt- och Näverbergsgruvorna ser ut att ursprungligen ha varit vulkanisk silt- till sandsten.



Figur 11. A. Översikt av vägsärningen vid infarten till Falun längs motorvägen till Borlänge. Notera de kraftigt rostiga hållarna norr om kraftledningen. 6717720/533908 – 6717838/533939. **B.** Detalj av Mg-omvandling i form av radialstrålig antofyllit och almandingranat. Pennan är 10 mm bred. 6717809/533932.

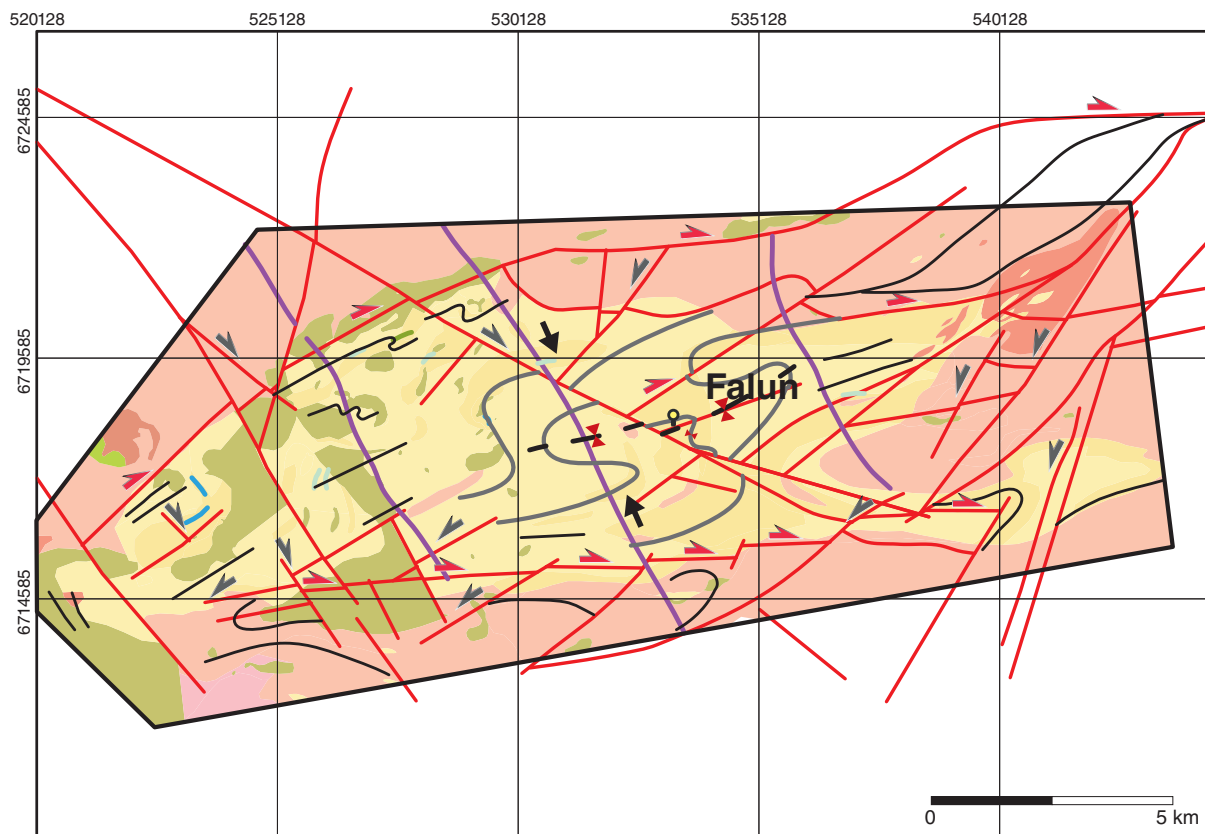
A. Road cut along motorway to Borlänge showing strong sulphide weathering (below power line). **B.** Close up showing Mg-alteration represented by anthophyllite and almandine.

Mg-omvandlade metavulkaniska bergarter kan studeras vid en lång vägsärning nära den södra infarten till Falun längs med motorvägen från Borlänge (fig. 11). Speciellt i den norra delen av särningen finns kraftigt omvandlade, nu antofyllit- och almandinförande bergarter. Dessa är lokalt mineraliserade och kopparkis kan ses i håll. Arsenikkis har också noterats i polerprov.

Prov från nedfarten (rampen) till Stora stöten vid Falu gruva visar andalusitblaster, upp till 3 cm stora i en kvartsrik, hydrotermalt omvandlad vulkanit. Mikroskopi visar att andalusiten i sin centrala del är fri från inneslutningar, men att det finns rikligt med kvartsinneslutningar i randpartierna. Runt andalusiten dominerar omkristalliserade kvartskorn, ca 50–500 mikrometer stora. Mellan andalusit och kvarts finns lokalt klorit- och sericitomvandlad cordierit. Det finns antofyllitkvastar som bildar en foliation. Euhedral, grön zinkspinell (gahnit) växer över antofylliten. Opakmineral utgörs av magnetit, ilmenit?, kopparkis, arsenikkis, zinkblände, magnetkis, blyglans och gedigen vismut. Andalusit och antofyllit är inte i kontakt med varandra och samexisterar inte nödvändigtvis i jämvikt.

STRUKTURTOLKNING

Som nämnts ovan är det svårt att göra en geografisk korrelation mellan olika observationer av ytbergarter. Ytbergartsförekomsterna ligger i slingrande stråk dels från Kavelmora via Nybo till Kårarvet, dels från Mörtsjön till Morbygden (med förlängning till Skytt- och Näverbergsgruvorna; fig. 1). Få och osäkra bestämmningar, baserade på graderad skiktning, avvattningsstrukturer samt omvandlingen och zoneringen i befintliga mineraliseringar, visar att stratigrafiskt uppåt i dessa bergarter tämligen konstant är åt söder och sydost i de flesta fall, utom i Falun och vid Krondiket. Där är ”upp” troligen åt väst respektive norr. Möjligen beskriver suprakrustalförekomsterna alltså resterna av en ungefär öst–västligt orienterad synklinal. Av tyngdkrafts- och magnetiska data för berggrunden (se Geofysik nedan) framgår att bergarterna beskriver stora s-veck i projektområdesskalan. Med hjälp av dessa data och bergarternas nuvarande rumsliga fördelning kan en bild av en veckad F1-synklinal framträda (se fig. 12 och kartan). I den skulle alltså (spåren av) en ursprunglig stratigrafi visa uppåt åt norr och nordväst i områdets östra delar, upp till och med ungefär en bit över stråket med mineraliseringen i Falun. Någonstans väster här om vänder lagerföljden. Vid t.ex. Skytt- och Näverbergsminaliseringarna är man tillbaka på motsvarande stratigrafiska nivå som i Falun. Väster om en linje ungefär vid sjöarna Stora Aspan och Mörtsjön är relationerna ännu mera osäkra. Möjligen ligger mineraliseringarna vid Grönbo på samma stratigrafiska nivå som Falun och Skytt- och Näverbergsfältet.



Figur 12. Strukturkarta över projektområdet som visar huvudsakligt deformationsmönster och relativa rörelser. Mörkfärgade linjer visar formlinjer av foliationen enligt fältobservationer och tolkning av den flygmätta magnetiska anomalikartan. Svarta pilar visar möjliga uppåtriktningar i stratigrafin. Röda linjer markerar förkastningar och skjuvzoner baserade på tolkning av den flygmätta magnetiska anomalikartan. Halva pilar indikerar relativa rörelser längs dessa zoner. Röda halvpilar indikerar den dextrala fasen, grå halvpilar fasen av kompression i nord–sydlig riktning. Gula bakgrundsfärger markerar metavulkaniter och -subvulkaniter, röda olika sura intrusivbergarter och gröna basiska intrusivbergarter.

Structural map of the Falun study area showing the main deformation pattern and kinematic indicators. Dark coloured lines represent the map trace of the foliation as derived from outcrop measurement and from the airborne magnetic anomaly map. Black arrows indicate stratigraphic younging directions. The red lines are fault traces derived from the airborne magnetic anomaly map. Asymmetrical arrows indicate relative displacement direction (red colour: displacements related to the dextral phase, grey colour: displacements related to the north–south shortening phase). Yellow background colours denote metavolcanic and -subvolcanic rocks, red different acid intrusive rocks and green basic intrusive rocks.

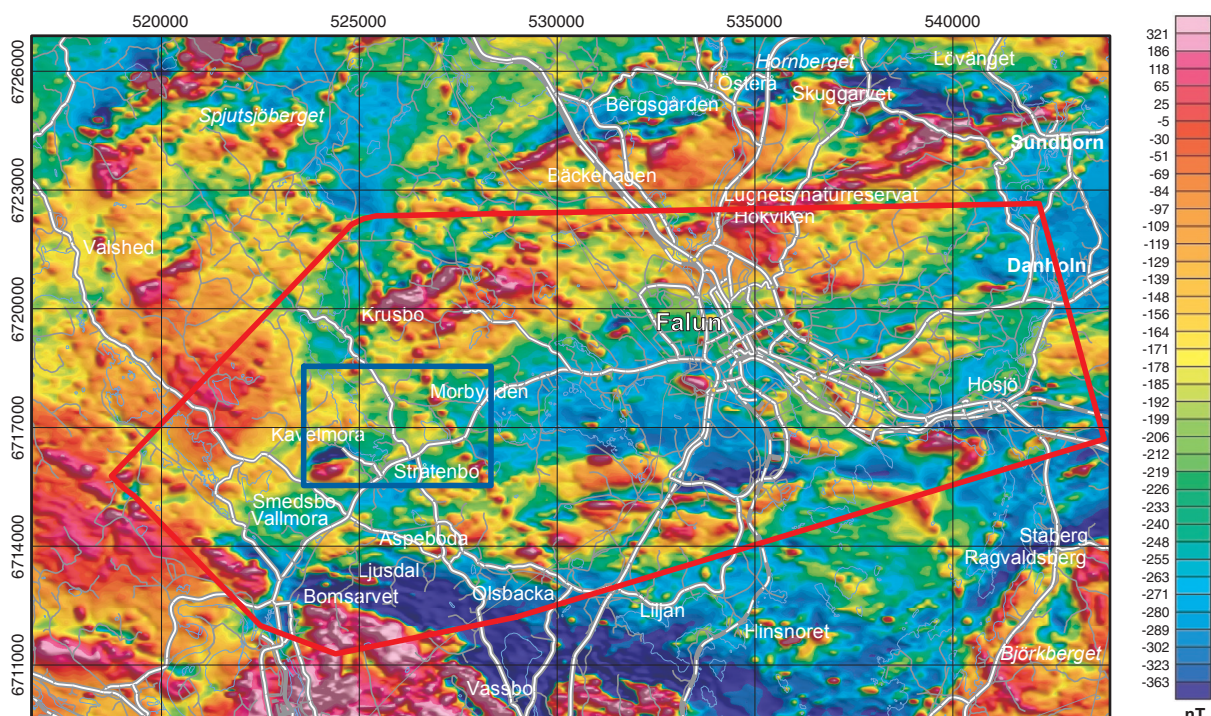
Baserat på geofysiska data kan man göra en 2D- till 3D-tolkning av de storskaliga strukturerna i projektområdet och dess omgivning. Observera att denna tolkning avviker från den vi ursprungligen gjorde (Ripa m.fl. 2012). Den viktigaste skillnaden är att vi nu tolkar den gravimetriska bilden i området som ett stort s-veck snarare än ett m-dito. Vecket är en F2-struktur och den dominerande foliation man ser i fält, S2, dess axialplan.

Den strukturella bilden av projektområdet framgår av figur 12. I figuren markeras med svart färg formlinjer av den tektoniska foliationen och med röda linjer huvudsakliga förkastningar och skjuvzoner. Strukturerna baseras primärt på fältobservationer och tolkning av mönstret som framgår av den flygmätta magnetiska anomalikartan (se avsnittet om geofysik nedan).

Veckstrukturer

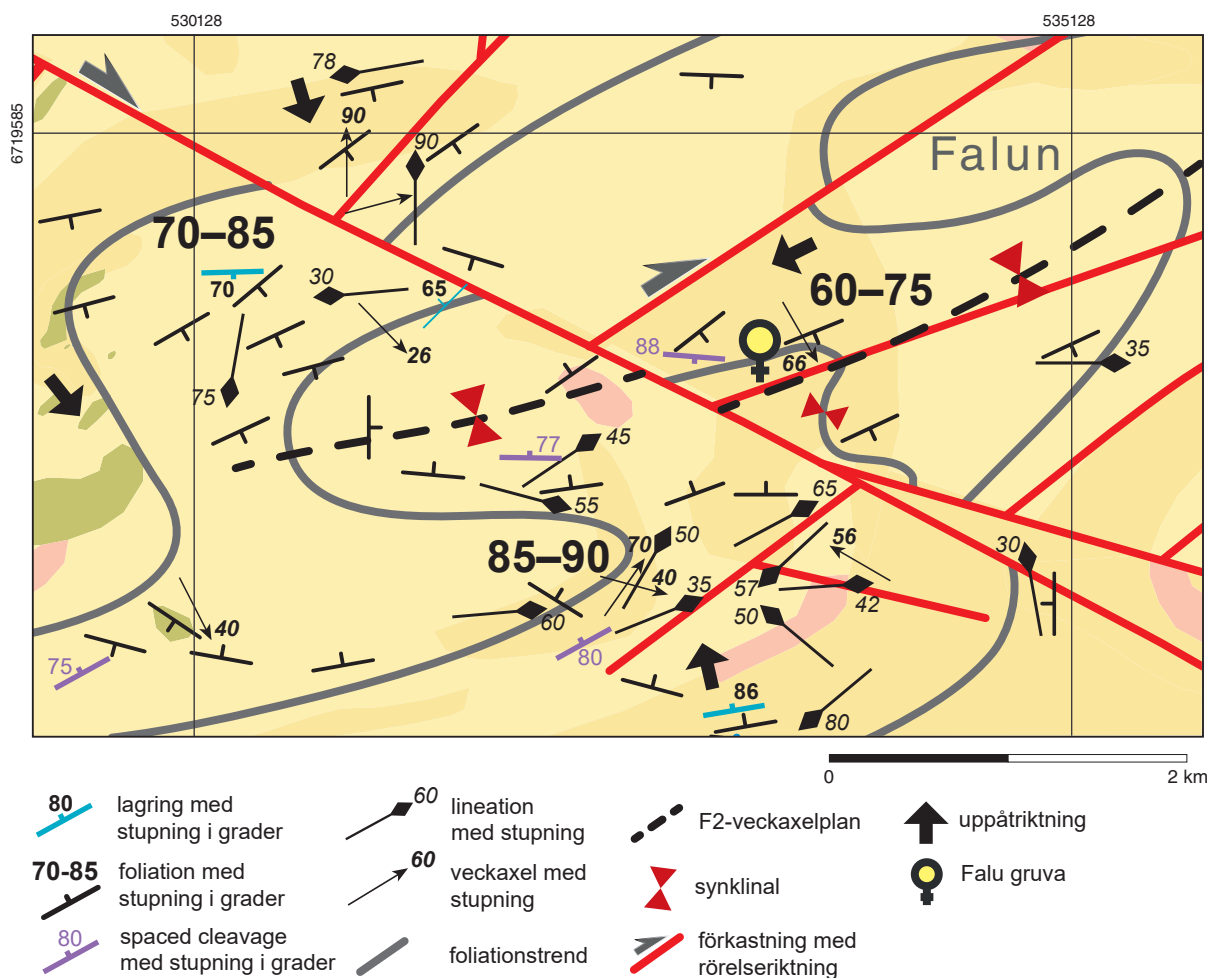
Både den gravimetriska bilden och den magnetiska anomalikartan visar s-formade strukturer inom projektområdet (se fig 12 och 13). I områdets västra del definieras veckstrukturen i tyngdkraftsbilden av mafiska bergarter. I den östra delen baseras veckstrukturen på magnetdata. De senare är sannolikt delvis relaterade till en mer eller mindre kontinuerlig horisont av lokalt mineraliserade ytbergarter. De s-formade strukturerna är i ungefär samma skala som området. Tillsammans med fältobservationer av foliation, lagring och osäkra uppåtbestämningar kan detta sammanställas till bilden av en s-veckad synklinal i projektområdet (fig. 12). Det bör understrykas att kartbilden är en osäker tolkning och att den måste betraktas med utgångspunkt från detta.

Existensen av veckmönstret stöds emellertid av att även foliation och en del sträckningslineationer också har veckats (fig. 14). Vi tolkar därför strukturerna som att det funnits en första veckfas som bildade D1-strukturer, som S1-foliation, en sträckningslineation och åtminstone småskaliga F1-veck (fig. 15a). Vidare måste en andra veckfas ha bildat D2-strukturer, som veckmönstret i regional skala av S0 och S1, den dominerande foliationen, S2, och lineationer. Veckmönstret i figur 12 representerar alltså enligt ovanstående resonemang formen hos axialytan till F1 efter veckning längs en östnordöstlig F2-dito.



Figur 13. Utdrag ur den flygmätta magnetiska kartan. Den visar responsen mellan 30 och 500 m djup. De nordnordvästligt strykande diabaserna framträder tydligt. Den röda polygonen anger projektområdet och den blå mindre rektangeln området där magnetisk markmätning utfördes, se figur 22.

Magnetic data (airborne measurements) showing the response from 30 to 500 m below surface. The northnorthwest-trending dolerites are clearly visible. The red line marks the extent of the project area, the blue rectangle marks the extent of Figure 22.



Figur 14. Utsnitt av den centrala delen av vulkanitområdet. Synklinalen är troligen F2 och baseras på veckning av en förmodad L1 (se fig. 16). De mörkgrå linjerna är formlinjer av foliationen och kan representera spåret av F1:s axialyta.

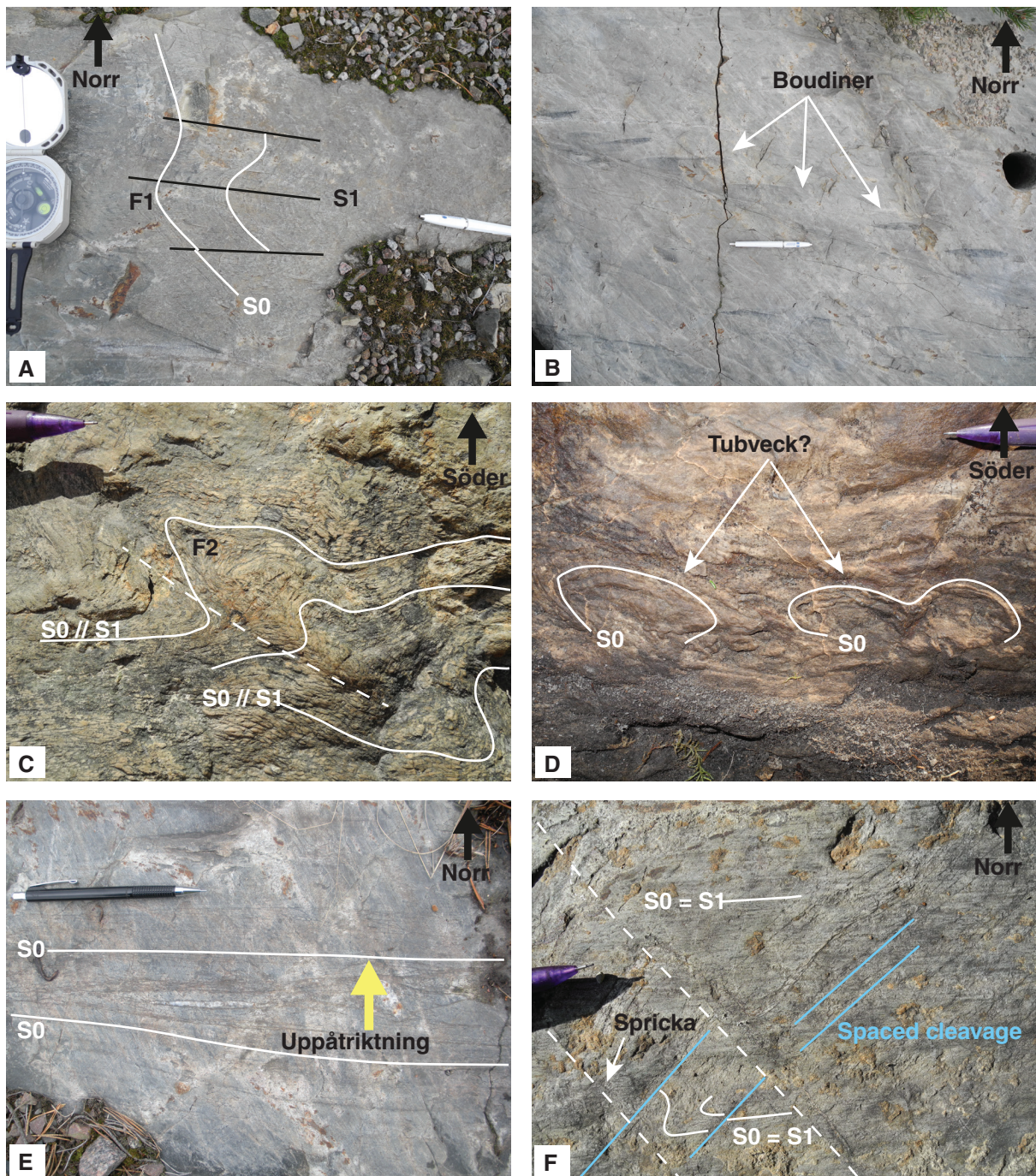
Detail map of the central part of the volcanic domain. The syncline probably represents an F2 fold based on reorientation of an older stretching lineation associated with D1 (see stereoplots in Fig. 16). The folded map trace (solid grey line) is interpreted from the main foliation (strike-dip symbols) and may represent an F1 axial plane surface trace.

Plottarna i figur 16 visar att orienteringen av foliationer i vulkanitstråket inte skiljer sig nämnvärt från dem i omgivande GDG-bergarter. Möjligen visar plottarna att stupningen är något flackare i de senare. En viss skillnad märks emellertid bland lineationerna där de i GDG-bergarterna stupar tämligen konstant 30–50 grader mot öster medan de i vulkaniterna har större spridning. Lineationerna torde i huvudsak vara L2 och i mindre utsträckning L1 som i varierande grad transponerats. Skillnaderna i orientering kan förklaras av att vulkaniterna reagerade annorlunda än djupbergarterna vid deformationsfaserna genom att de förra troligen varit mer plastiska och att D2 kanske huvudsakligen togs upp i form av skjuvning i djupbergarterna (se nedan). Variationen i stupningsriktningar och bristen på distinkt gruppering av dessa kan delvis bero på att F2-fasen möjligen inte var helt cylindrisk.

Skjuvzoner och förkastningar

Lineament tolkade utifrån den flygmätta kartan över bergarternas magnetiska egenskaper (fig. 13) visas i figur 12. Relativa rörelser längs dem är baserade på fält- och tunnslipsobservationer samt på tolkning av den magnetiska anomalikartan. De flesta av de öst–västligt strykande lineamenten är brant stupande, plastiska deformationszoner med en dextral rörelsekomponent. Även en vertikal komponent där det södra blocket rört sig uppåt finns. Bredden på zonerna kan variera mellan ett par meter och kanske flera hundra meter. Måtten är svårtolkade eftersom all berggrund i projektområdet i varierande grad drabbats av sinistral skjuvning (därför s-formen på ovan nämnda veck). Speciellt i områdets södra delar ser man en ökad grad av deformation och till och med tendenser till gnejsighet.

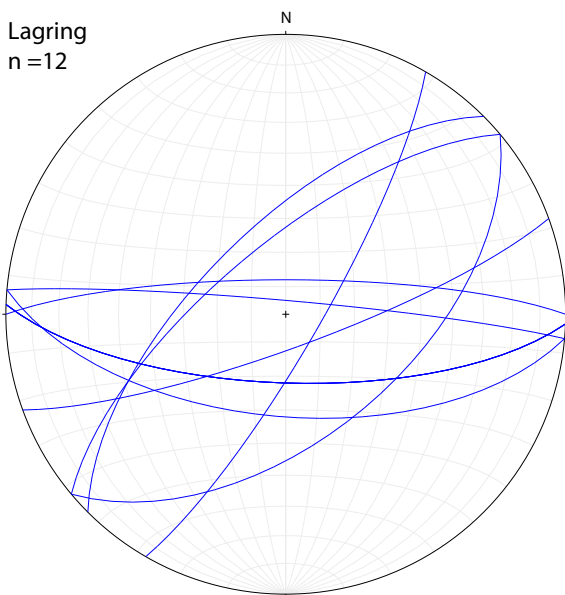
De öst–västliga lineamenten är på många ställen förkastade av distinkta nordvästligt strykande, dextrala och



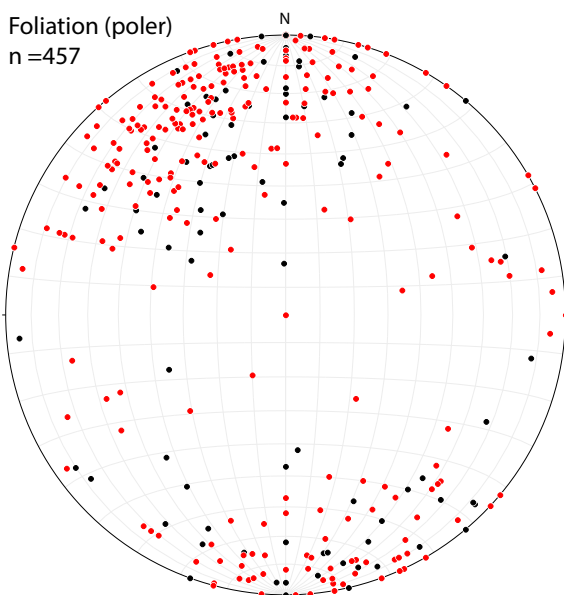
Figur 15. A. Lagring (S_0) som veckats kring ett öst–västligt axialplan (S_1/S_2). 6717019/533730. B. Tillplattade boudiner ligger en echelon i skiktad metavulkanit. 6717019/533730. C. F2-veck i lagrad metavulkanit vari S_0 och S_1 är parallella. 6717019/533730. D. Plymstruktur i lagrad metavulkanit som representerar tubveck eller avvattningsstruktur. 6717047/532613. E. Vålbevarad korsskiktning i lagrad metavulkanit visar upp åt norr. 6716105/533241. F. Nordöstligt strykande semipenetrativ foliation (spaced cleavage; S_3) som övertvårar lagring och dominerande foliation. Notera de små vecken i bilden nedre, vänstra del. 6717019/533730.

A. Folded, laminated bedding (S_0) around an east–west striking axial plane cleavage (S_1/S_2). B. Strongly flattened boudins arranged in an echelon within a bedded rock. C. F2 fold in a bedded rock where S_0 and S_1 are parallel. D. Partly rounded structures in a metavolcanic rock which may represent steeply plunging sheath folds. E. Well-preserved low-angle cross-bedding in a bedded rock indicates stratigraphic younging towards the north. F. Typical north-east striking spaced cleavage crosscutting both bedding and main foliation. Note the associated minor folds in the lower left.

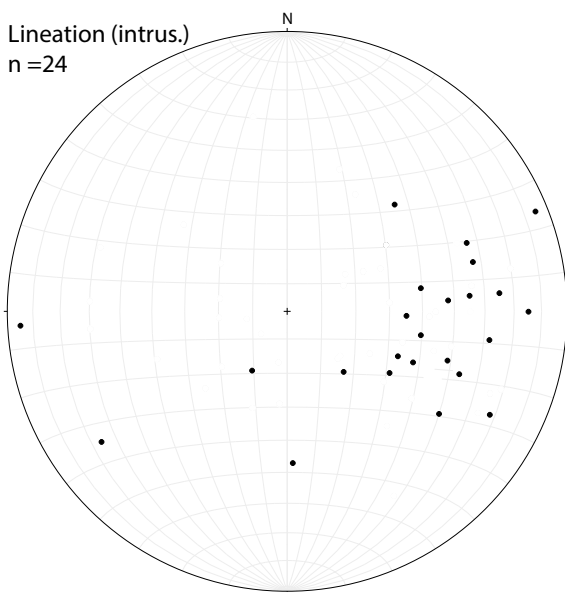
Lagring
n = 12



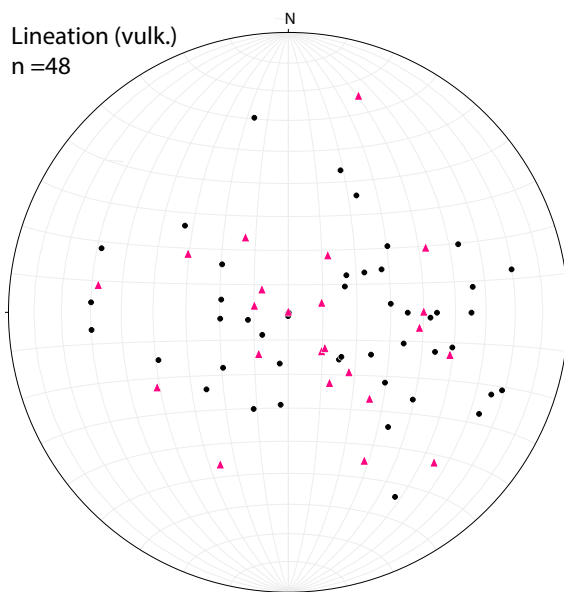
Foliation (poler)
n = 457



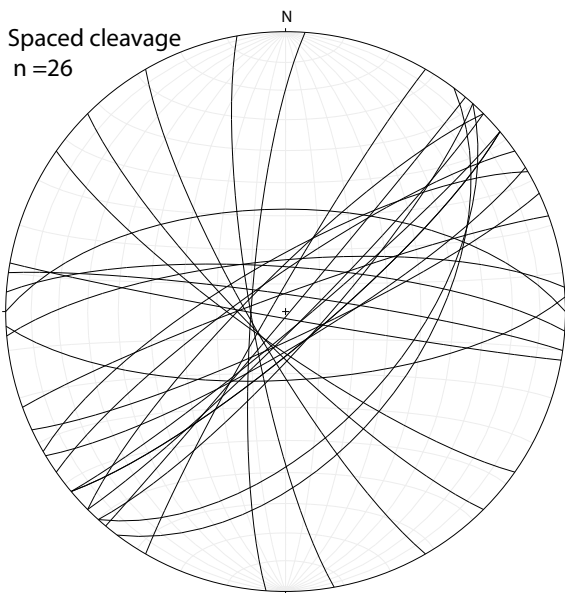
Lineation (intrus.)
n = 24



Lineation (vulk.)
n = 48



Spaced cleavage
n = 26



Figur 16. Stereogram (Lambert, ytriktigt) som visar projektområdets huvudsakliga strukturers orienteringar. Intrus. och vulk. avser intrusiv respektive vulkanisk domän. Svart cirkel visar mätningar från denna studie. Röd symbol visar mätningar från tidigare studier (SGU-strukturdatas).

Stereoplots (Lambert equal area) showing the orientations of the main structural fabrics. Intrus. and volc. refers to measurements in the intrusive and volcanic domains, respectively. Black circle denotes measurements in this study. Red symbol denotes measurements in earlier SGU-studies.

nordöstligt strykande, sinistrala förkastningar (fig. 12). Dessa riktningar avspeglas också i subvertikala, semipenetrativa foliationer (spaced cleavages) på flera platser i projektområdet (fig. 15 och 16). I områdets södra delar är de nordöstliga zonerna associerade med småskaliga z-veck, medan zoner med båda riktningarna i en del hållar uppträder i form av sprickor i konjugerande system. Det konjugerade spricksystemet tyder på nord-sydlig kompression. Till synes finns dessutom lineament som stryker nordnordvästligt, dvs. parallellt med BD-diabasgångarna.

Om de två ovan nämnda veckfaserna betecknas D1 och D2 bör fasen av nord-sydlig kompression kallas D3 och associerad (semipenetrativ) foliation S3. En del pegmatitådror av GP-typ ser ut att vara orienterade parallellt med D3-strukturer, vilket antyder att strukturerna bildades samtidigt (vid ca 1800 Ma).

Att döma av den magnetiska anomalikartan (fig. 13) har BD-diabaserna påverkats längs den långa, nordvästligt till västnordvästligt strykande skjuvzonen som passerar strax söder om Falu gruva, vilket visar att rörelser också skett längs denna zon vid eller senare än ca 950 Ma.

BERGGRUNDENS TREDIMENSIONELLA UPPBYGGNAD

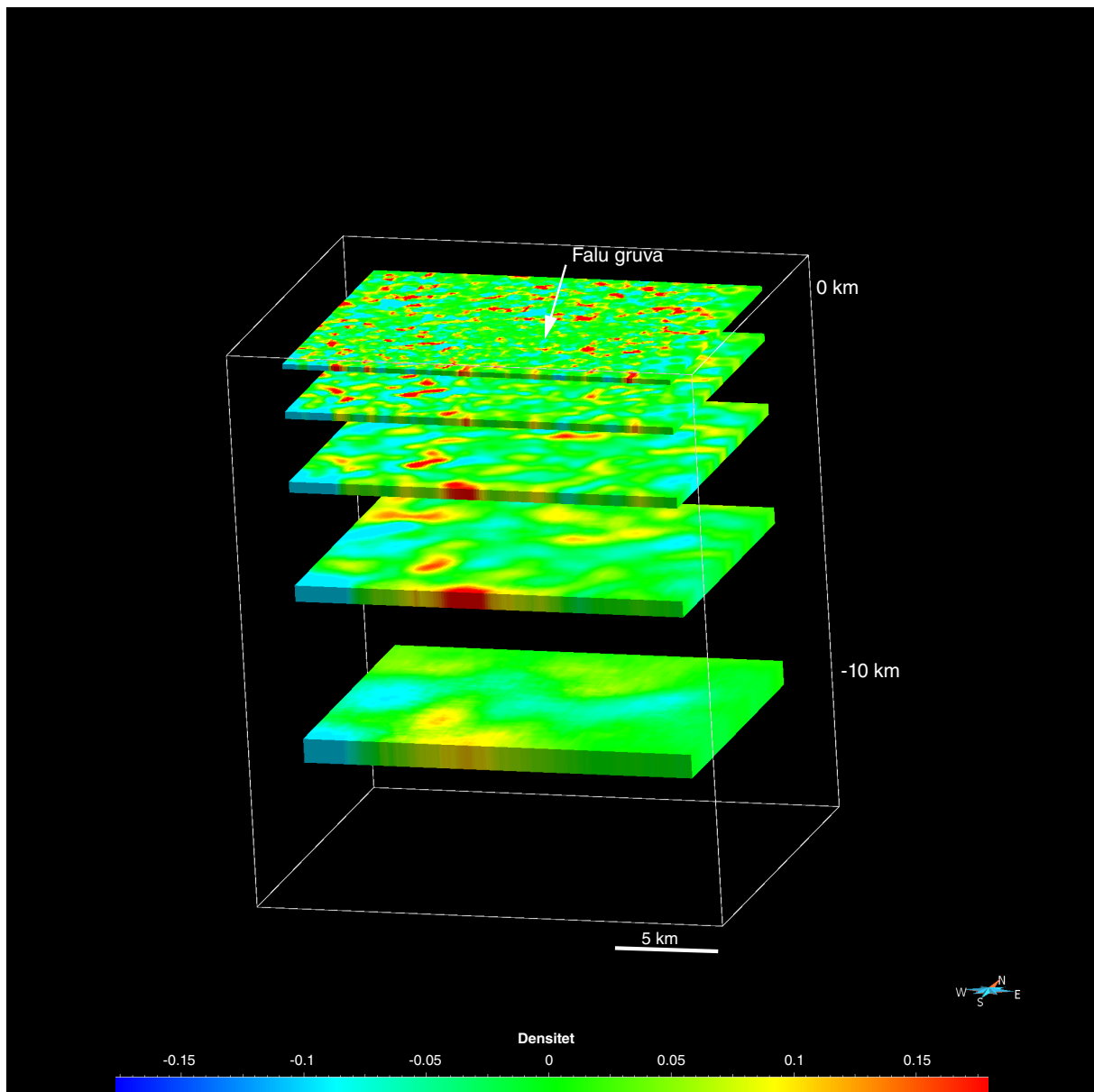
I ett försök att förstå geologin inom projektområdet kring Falun även i tre dimensioner har en 3D-modell skapats. Den baseras på inversionsmodellering av tyngdkraftsdata och extrapolering av strukturmätningar gjorda på markytan. Hänsyn togs även till den 3D-modell över Falu gruva som T. Kampmann vid LTU tagit fram (T. Kampmann, personlig kommunikation 2014).

Framtagande av 3D-modellen

Det första steget vid framtagandet av 3D-modellen var att konstruera (beräkna) två fysiska modeller baserade på tyngdkraften (dvs. egentligen på bergarternas densitet). De fysiska modellerna kan betraktas som volymer uppbyggda av jämnstora byggstenar (block; eng. grid cell), de senare var och en med en given densitet. De två modellerna skiljer sig genom storleken på de ingående blocken. Den ena modellen motsvarar den regionala geologin och den andra ett mindre och mer centralt område i projektet. Den regionala modellen sträcker sig nedåt till 5 km djup, den lokala är begränsad till 2,5 km djup.

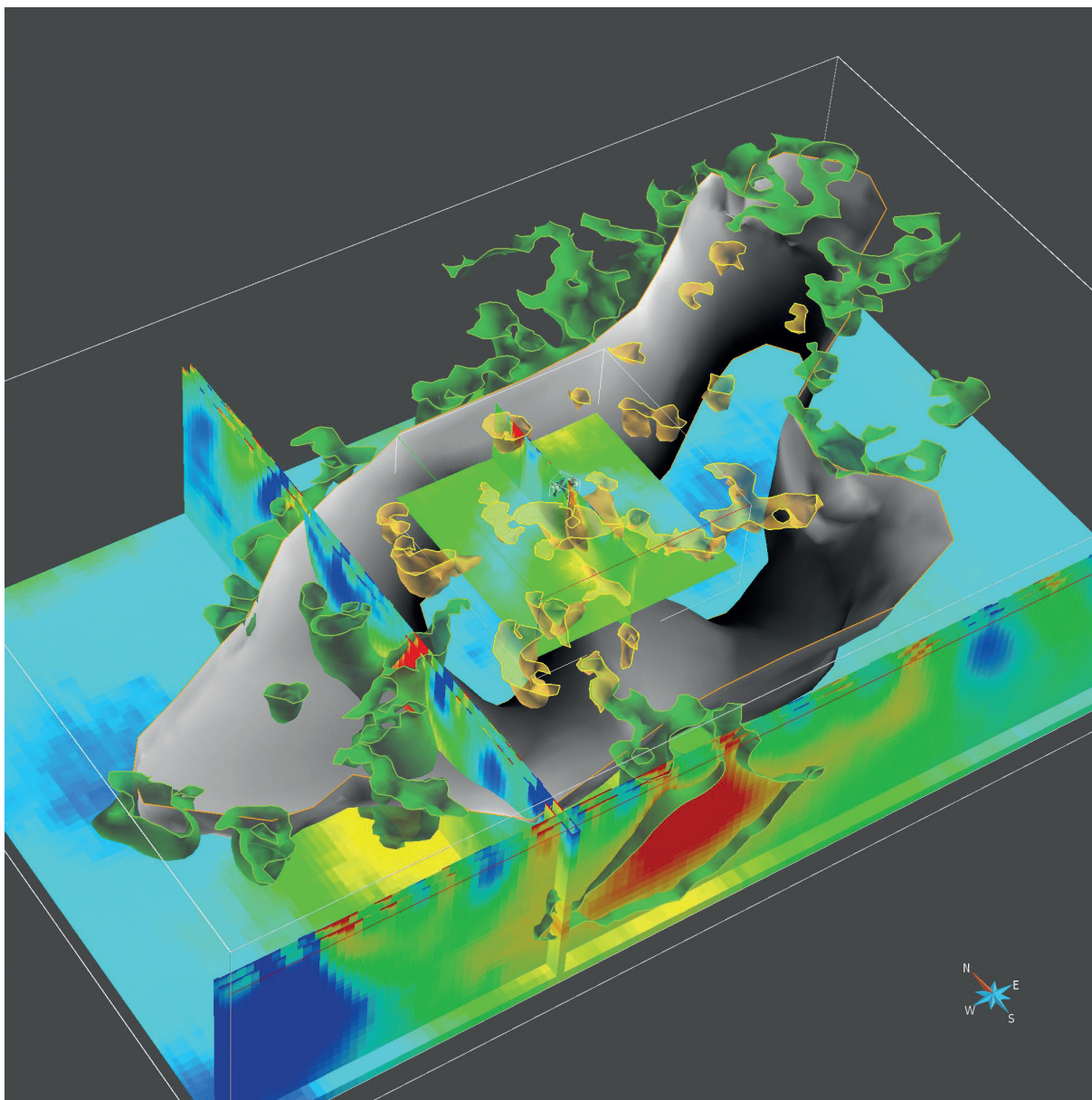
I den regionala modellen framträder en volym med relativt lätta bergarter under det metavulkaniska stråket (fig. 17). Dessa bergarter har tämligen låg densitet och en fortsättning mot djupet. En volym eller kropp som motsvaras av dessa lättare bergarter kan konstrueras (fig. 18). Motsvarande kan göras för volymer med relativt hög densitet, vilka torde motsvara de basiska GSDG-bergarterna. Modellens fördelning av lätta volymer, dvs. i huvudsak metavulkaniter, korrelerar väl med F2-veckstrukturerna på ytan. Modellen visar också att de flesta grupperingar av block med samma densitet, dvs. sannolika bergartskroppar, har mot djupet tabulära eller tubformade former. Formerna är en följd av de deformationsfaser som beskrivits ovan.

Ett antal tvärprofiler genom densitetsmodellerna har jämförts med andra data, som magnetiska anomalier, karterade bergartsgränser och mätta strukturer (se bilaga 1). Resultatet av jämförelserna användes för att skapa en regional modell vari alla datatyper har utnyttjats (fig. 19 och 20). I modellen har vi antagit att F2-veckaxlar är i huvudsak parallella med sträckningslineationer, vilka stupar ca 60 grader mot sydöst. Modellerade densitetsvärden överfördes och interpolerades längs de tolkade veckytorna (fig. 20). Den resulterande modellen visar att en del veckomböjningar och förkastade veckben rumsligt associerar med volymer med relativt hög densitet. Det är uppenbart att områdets sulfidmineraliseringar till läge och form är starkt kopplade till strukturmönstret.



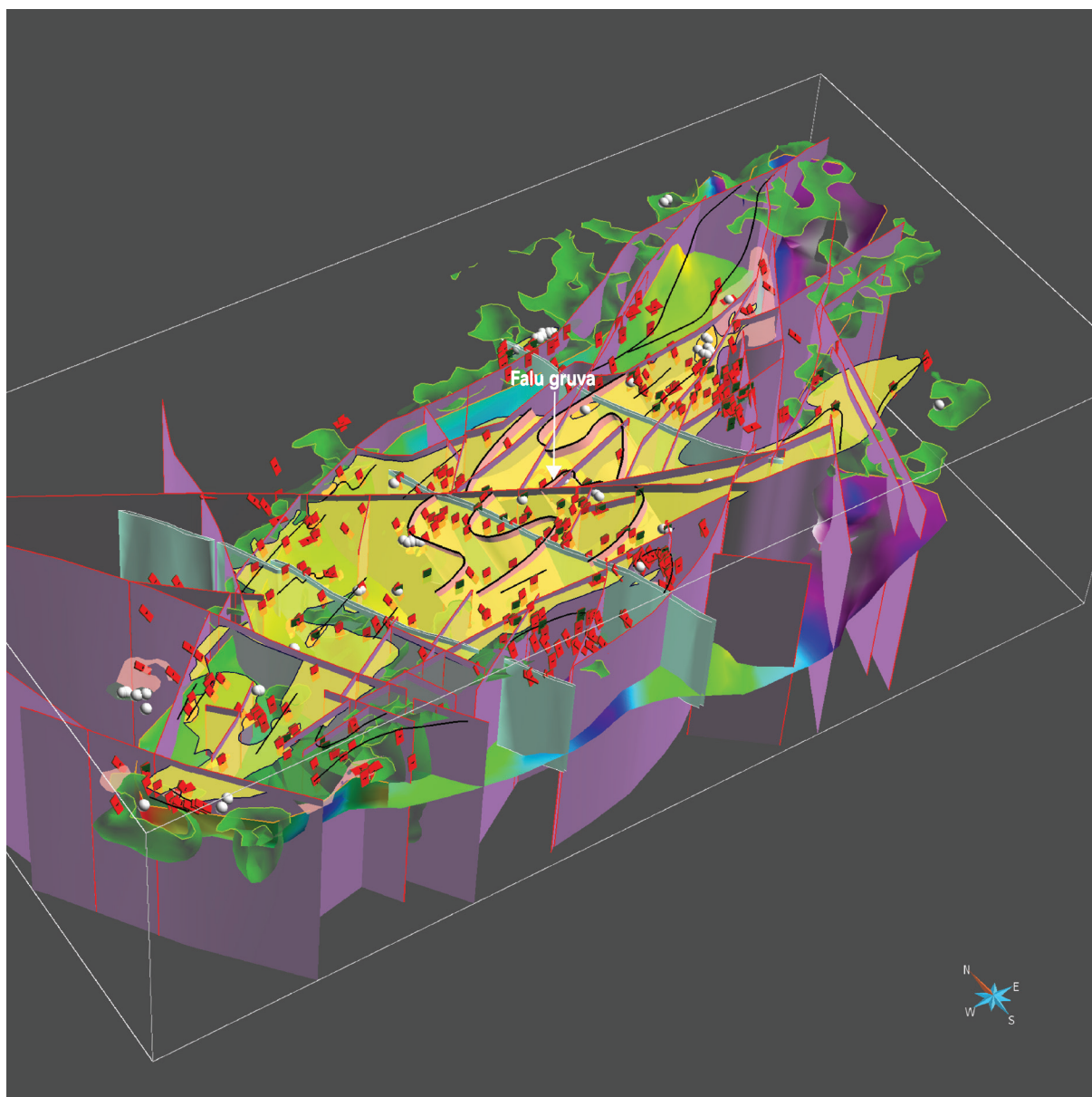
Figur 17. Modellerade volymsegment från olika djup under Falunområdet. Blå färg avser bergart med relativt låg densitet, röd färg bergart med relativt hög densitet. Den vertikala skalan är överdriven och det djupast belägna segmentet ligger 10 km ner. Notera att segmenten blir tjockare med djupet, vilket beror på att de modellerade blocken (grid cells) är större. Blå volymer konturlades för att skapa volymen av relativt lätta bergarter som visas i figur 18.

Several depth slices of the regional gravity model. Blue colour refers to relatively low density and red colours to relatively high density. Vertical scale is exaggerated and the lowest depth slice is located at 10 km depth. Note the increasing thickness with depth, which corresponds to a coarsening of the modeled grid cells. The relatively low density domains was contoured on each depth slice and a surface was created by connecting those contours (see greyish gradient surface in Fig. 18).



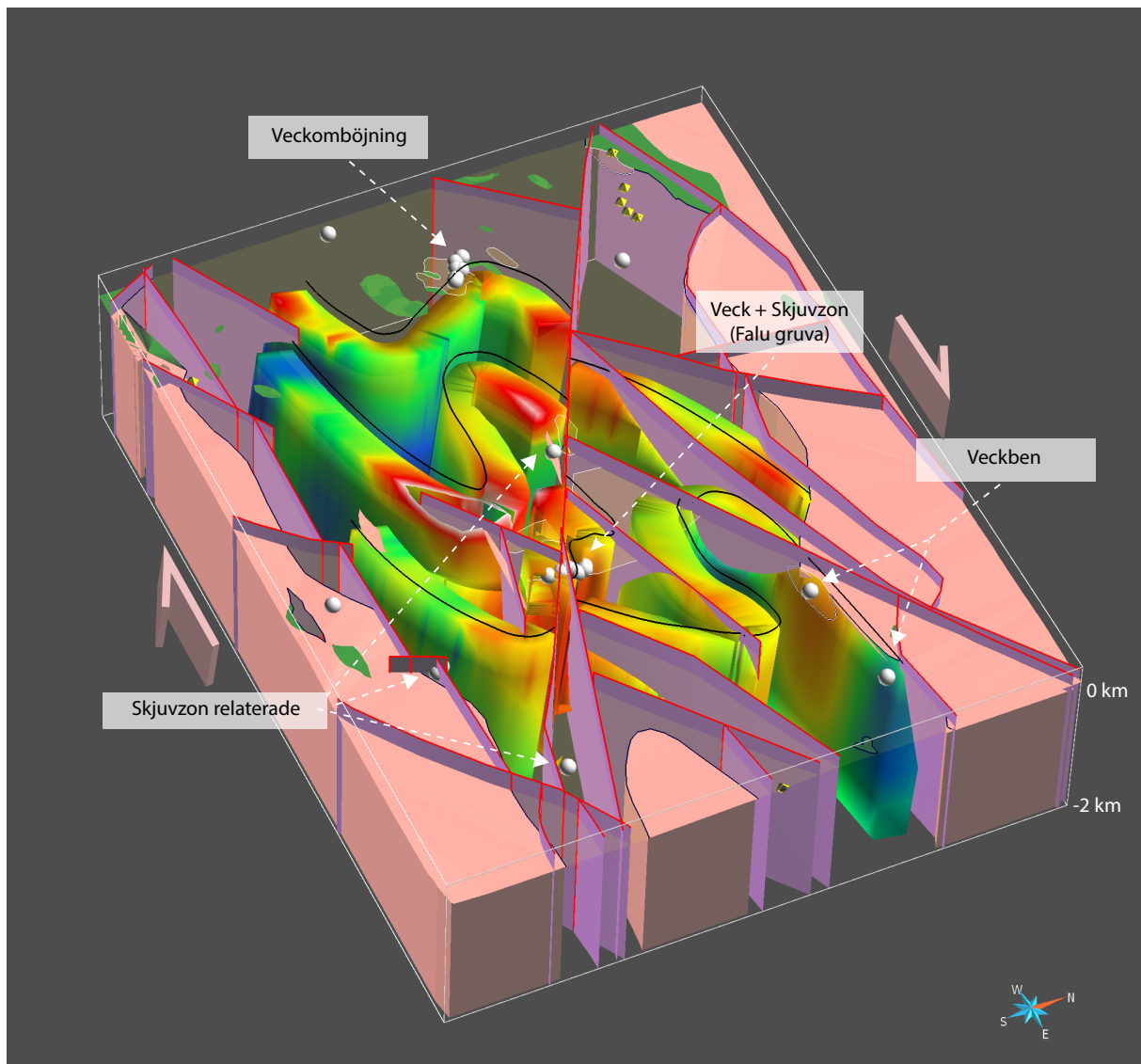
Figur 18. Resultat från den regionala och den lokala densitetsmodellen. Den regionala modellen (större "låda") sträcker sig 15 km ner, den lokala modellen (inre "låda") har bättre upplösning, men sträcker sig bara 5 km ner. I modellerna har ett antal profiler studerats så att kroppar med enhetlig densitet kunnat avgränsas. Den grå volymen är resultatet av en sådan analys av bergarterna med låg densitet från figur 17. Den motsvarar alltså i grova drag utbredningen av metavulkaniska bergarter. Gröna volymer är konstruerade på liknande sätt och motsvarar mafiska bergarter.

Results from the regional and local density models. A regional model (large cage with a depth extend to 15 km) and a higher resolution local model (inner cage with a depth extend to 5 km). Within those cages several profiles were extracted as such that the geometries of certain "iso-density" bodies could be determined for. The greyish gradient surface is the result from and interpolation of six contoured depth slices (see Fig. 17) and roughly mimics the outline of the volcanic domain. The green bodies represent iso-surfaces with relatively high densities and may be linked to gabbroic lithologies. The yellowish iso-surfaces surround "bodies" with only slightly above average densities (0.1).



Figur 19. Den regionala modellen ner till 10 km djup vari alla datatyper har beaktats. Det gula området motsvarar områdets metavulkaniter, röda fyrkant är foliation och svart streck visar foliationens formlinje. Vit kula är sulfidförekomst, lila yta är deformationsszon. Yta som begränsar kropp med relativt hög densitet har grön färg och yta som begränsar kropp med relativt låg densitet har gul färg.

The regional model in where all datasets are combined in a cage ranging to 10 km in depth. The yellow area corresponds to the volcanic domain. The red tablets refer to the strike and dip of the main foliation, which can be traced as form lines (dark solid lines). White balls symbolize the occurrence of sulfide mineralization. The purple surfaces are faults or shear zones. The iso-density-surfaces are shown in green (relatively high density) and yellow (modest density high).



Figur 20. Sammanställd geologisk-geofysisk 3D-modell för berggrunden kring Falu gruva. Vy mot nordväst. Det s-formade veckmönstret efter D2 baseras huvudsakligen på strukturmätningar och magnetiska data. F2-axlar stupar 60 grader mot sydöst om man antar att de är parallella med sträckningslineationer. Modellerade densitetsvärden har interpolerats längs de veckade ytorna (röd och blå färg motsvarar hög respektive låg densitet). Notera att högdensitetsvolymerna uppträder vid veckomböjningar och i veckben, vilket kan tolkas som att motsvarande bergart(er) bildades syn-D2. Notera också kända sulfidmineraliseringars läge (vita cirklar) i förhållande till D2-strukturer. Formen hos malmerna i Falu gruva är starkt beroende på det generella strukturmönstret.

Compiled geological-geophysical 3D model of the bedrock surrounding the Falu mine. View towards north-west. The s-shaped D2 folding pattern in the central part of the study area was primarily interpreted from structural field measurements and magnetic anomalies. F2 fold axes plunge 60 degrees towards south-east based on assumed parallelism to the average stretching lineation. Modeled density values were transferred and interpolated along the folded surfaces (red and blue colours refer to relatively high and low densities, respectively). Note that high density domains appear around fold hinges as well as within faulted fold limbs, which may imply a syn-D2 genesis of the corresponding rock(s). Note also that the position of many known sulphide mineralisations (white circles) may be related to D2 structures. The shapes of the ore bodies at Falun are for instance highly dependent on the structural evolution.

GEOFYSIK

Metodik

För att erhålla en så informationsrik och detaljerad bild som möjligt kompletteras den geologiska karteringen med mätningar av berggrundens fysiska egenskaper. Befintliga flygmätningar av det magnetiska fältet, VLF och radiometri har gått igenom och analyserats. Baserat på det resultatet i kombination med nya geologiska noteringar har även markburna metoder tillämpats. De fysiska metoder som användes vid mätningarna på marken var magnetometri, tyngdkraftsmätning, radiomagnetotellurik (RMT) och radiometri.

En kombination av såväl punktmätningar som profil-mätningar utfördes. Placeringen av profilerna för RMT gjordes utifrån tidigare kända anomalier eller karteringar. Den magnetiska profil-mätningen gjordes i ett parti där en eventuell bandning av bergartsled noterats strax norr om där magnetprofilerna mättes.

Punktmätningar på hållar gjordes av magnetisk susceptibilitet och på ett flertal lokaler även av den joniserande strålningen. Många punktmätningar av den magnetiska susceptibiliteten direkt på håll har utförts av de karterande geologerna. Profil- och yttäckande mätningar har framförallt gjorts på ställen där man funnit komplexa och svårösta problem. Dessa mätningar har även gjorts för att om möjligt fastsätta kontaktlägen och strykningsriktningar eller frånvaron av sådana.

Tyngdkraftsmätningar

Under perioden 11–20 juni 2012 gjordes tyngdkraftsmätningar i projektområdet av Johan Jönberger och Anders Gustafsson. Sedan tidigare fanns ett relativt tätt nät (ca 1 km avstånd) av punkter med tyngdkraftsdata (fig. 21). Syftet var i första hand att förtäta mellan de mätpunkter som fanns för att få sammanhängande tyngdkraftsinformation med ett punktavstånd på ca 300–500 m över hela området. Även mer objektorienterade mätningar, t.ex. vid Falun och Aspeboda, och profil-mätningar gjordes. Tyngdkrafts- och magnetfältsanomalier i andra delar av området följdes också upp med ett tätare mätpunktavstånd. Flera av de äldre punkterna mättes om, framför

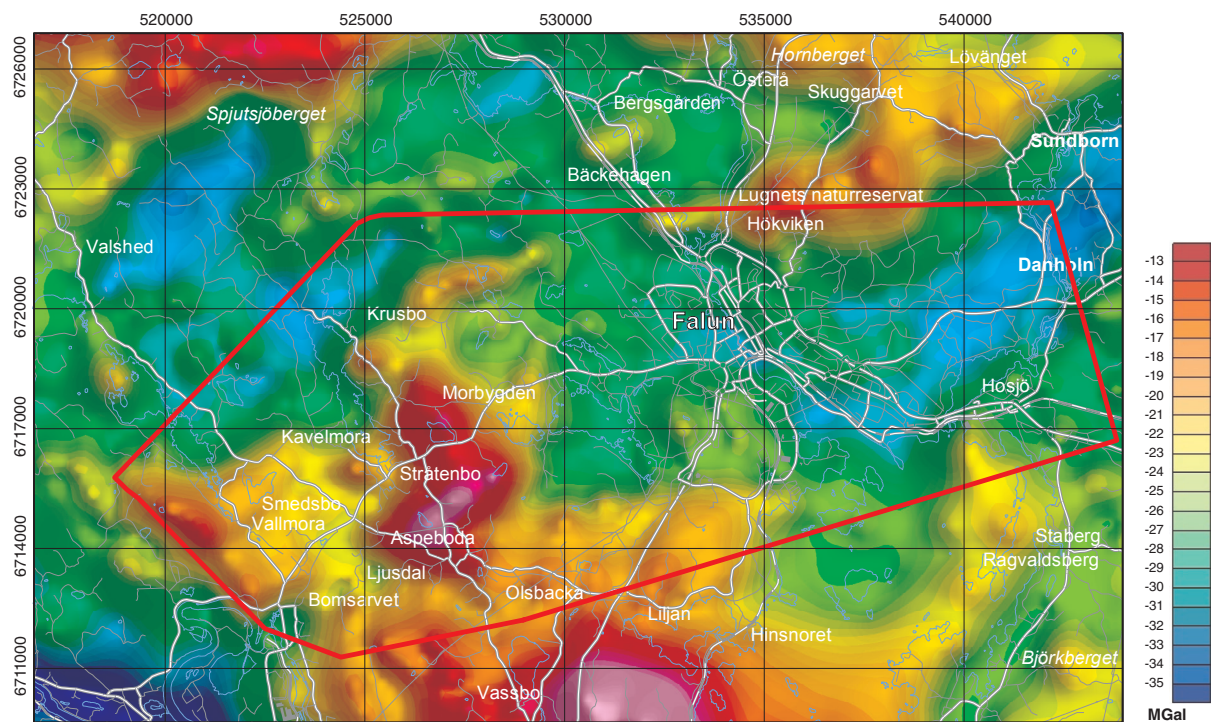


Figure 21. Residuala tyngdkraftsfältet som differens mellan Bouguer-anomalin och en analytisk fortsättning uppåt till 3 km. Lägga märke till den s-formade strukturen i väster. Den röda polygonen anger projektområdet.

The residual gravity field expressed as the difference between Bouguer anomaly and an analytical continuation upwards to 3 km. Note the s-shaped structure in the western part of the project area (marked by red line).

allt i områden där de objektorienterade mätningarna gjordes. Orsaken till detta var att verifiera kvaliteten hos de äldre mätningarna.

Totalt mättes 531 nya tyngdkraftspunkter. Transporten mellan mätpunkterna skedde med bil. Instrumenten som användes var en Scintrex CG-5 gravimeter samt GNSS-utrustning från Topcon med N-RTK (Network-Real Time Kinematics) och barometrar till höjdbestämningarna. Projektområdet täcks av Lantmäteriets nya nationella höjdmodell (NNH) som har använts under bearbetningen för kontroll av höjdbestämningarna.

Tyngdkraftsmätningarna knöts till Lantmäteriets nya baspunkt vid Borlänge och har bearbetats i programvaran Geosoft. De terrängkorrigerade Bouguer-anomalierna är i systemet RG82. De nya tyngdkraftsmätningarna har också säkerhetsgranskats av Lantmäteriet med hänsyn taget till rikets säkerhet.

Tyngdkraftskartan (fig. 21) visar det residuala tyngdkraftsfältet som differensen mellan Bouguer-anomalin och en analytisk fortsättning uppåt till 3 km. Det ger en mer ytnära bild av markens massfördelning. Generellt kan man säga att positiva avvikelser i tyngdkraftsfältet hänger samman med mer basiska bergartsled medan sura bergarter ger negativa avvikelser.

I tyngdkraftsfältet i den västra delen av projektområdet framträder en s-formad struktur av ett massöverskott. Bergarter i det område som omfattas av strukturen har en stor spännvidd från ytbergarter till mafiska intrusiva bergarter. Eftersom massöverskott generellt kan förknippas med mafiska bergarter kan man eventuellt dra slutsatsen att en del av de bergartsled som ger upphov till s-strukturen inte alltid når upp till dagens erosionsyta. Tyngdkraftens fördelning kan tolkas som att de mafiska bergarterna som ger upphov till den s-formade strukturen inte bara är brantstående utan också har stora variationer på läge i djupled. I den norra delen av projektområdet finns också ett stråk med massöverskott. Bergarterna här är diorit till granit och en och annan granodiorit. En tolkning av massöverskottet i öster är att det representerar en fortsättning av det bergartsled som bildar ovan nämnda, s-formade struktur.

Magnetometri

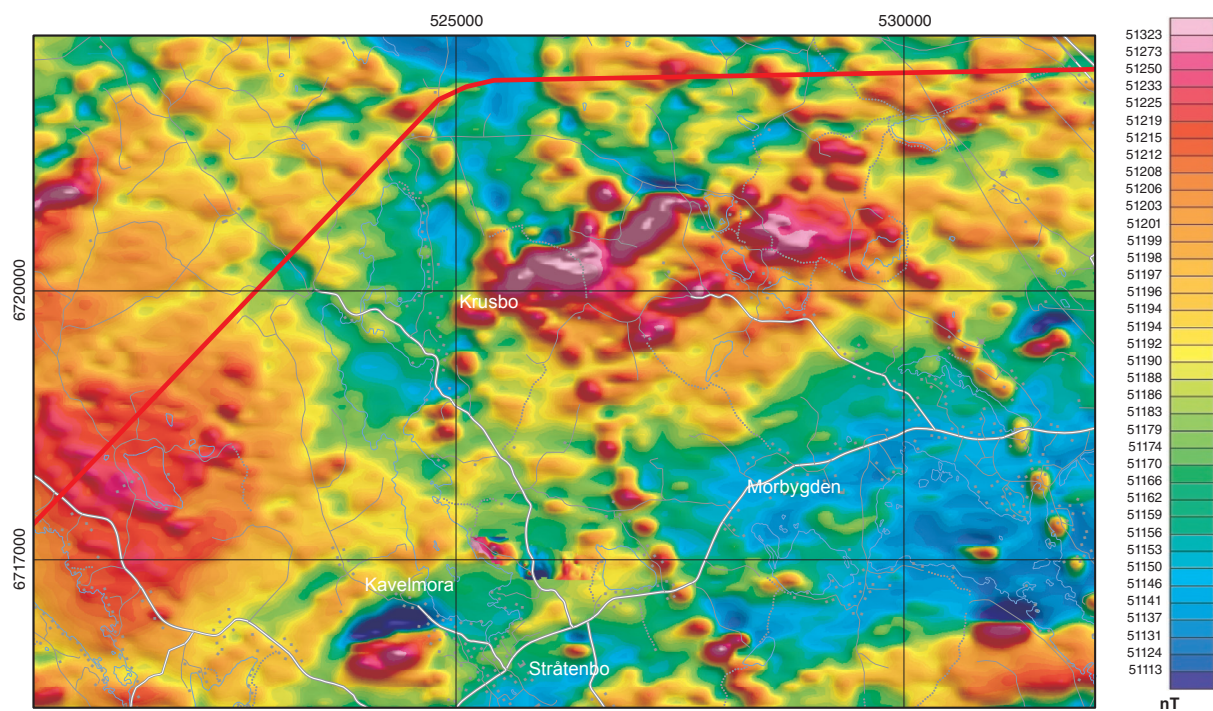
Bergarternas magnetiska egenskaper relateras till deras innehåll av magnetiska mineral. Viktigast av dessa mineral är järnoxiden magnetit och järnsulfiden magnetkis. Andra mineral har begränsat inflytande.

I den regionala bilden av flygmätt magnetometri ser man tydligt de nordnordvästligt strykande diabasgångarna som skär igenom övrig berggrund (fig. 13). Bland övriga stora drag syns i sydväst ett parti med högre magnetiseringsgrad som huvudsakligen utgörs av granit, granodiorit, diorit och gabbro. För övrigt ligger magnetiseringsnivån inom projektområdet i stort sett på en lägre nivå. Undantaget är i det nordligaste partiet som består av diorit till granit. Högre magnetiseringsnivåer är alltså kopplade till de yngre intrusivbergarterna i väster och norr och till ovan nämnda diabasgångar.

De magnetiska profil-mätningar som utfördes mellan Stora Aspan och Mörtsjön visar en stor variation i de ytnära delarna av berggrunden (fig. 22). De regionala flygmätta magnetkartorna har en gridcell om 50x50 m, medan de markmätta profilernas gridcell är 20x20 m. Det innebär att markmätta data i högre grad visar magnetfältets variation i den ytnära delen av berggrunden jämfört med flygmätta data. De mer magnetiska partierna i den östra delen av det markmätta området ligger i linje med mätningar på håll med gabbro av susceptibilitet gjorda strax norr här om. I mittenpartiet, med lägre magnetisk susceptibilitet, torde äldre ytbergarter av vulkaniskt ursprung liksom det gör längre norrut föreligga.

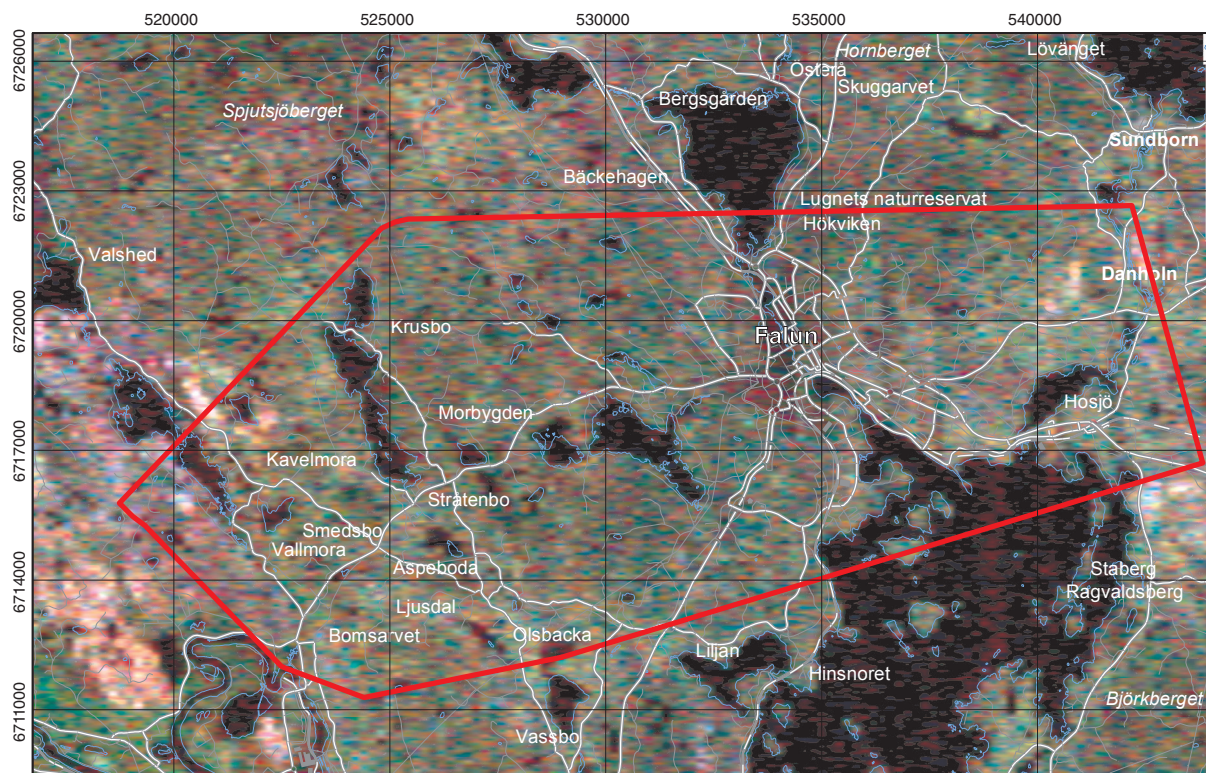
Strålning

Hela det undersökta området har mätts från flygplan avseende joniserande strålning. Denna strålning har sitt ursprung i bergarternas innehåll av grundämnena uran, torium och kalium. Flygdata visar att de intrusiva bergartsleden i västra respektive östra delarna av projektområdet har en något högre aktivitetsnivå än de delar som domineras av vulkaniter (fig. 23 och 24A–C). Detaljnivån är inte sådan att man kan följa de enskilda mindre kropparna av yngre bergarter som gabbro eller diorit. Hållmätning med spektrometer visar att kontrasterna kan vara för små för att denna metod ska tillföra någon viktig information till projektet.



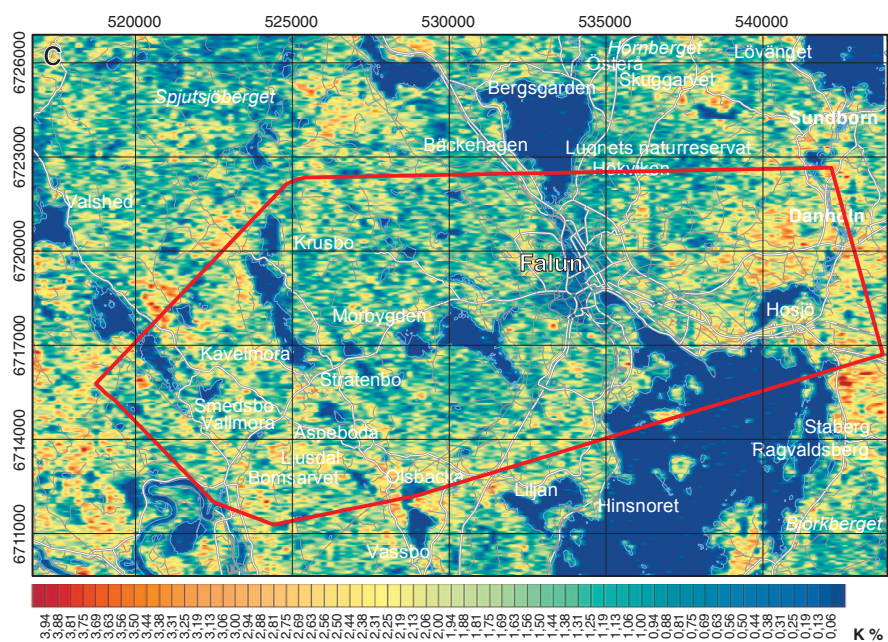
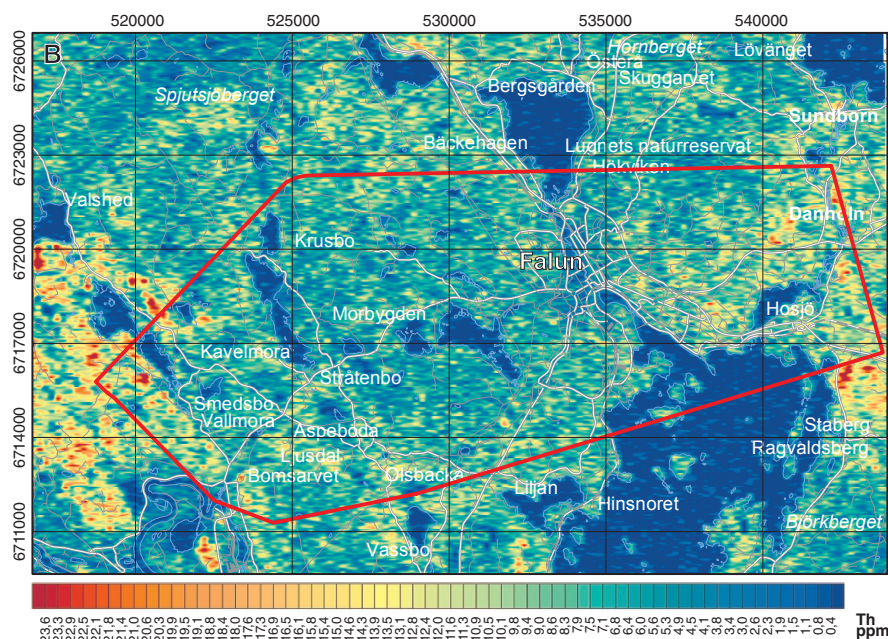
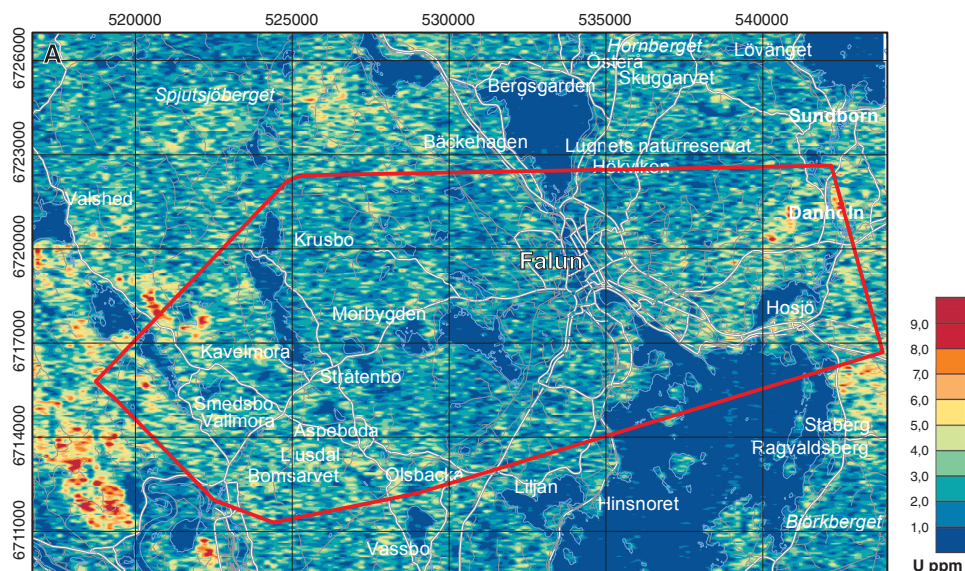
Figur 22. Detaljkarta som visar markmätningar av det magnetiska fältet. Skalan anger värden för markmätningen. Bakgrundskartan är den flygmätta magnetkartan, se också figur 13.

Detail of Figure 13 showing magnetic ground measurements. The background is the same as in Figure 13.



Figur 23. Kompositkarta för markytans naturliga gammastrålning av uran (rött), torium (blått) och kalium (grönt).

Composite map of the natural ground gamma radiation from U (red), Th (blue) and K (green).



Figur 24. Markens naturliga gammastrålning, uppdelad per bidragande grundämne.
A. Uran (ppm). B. Torium (ppm). C. Kalium (%).

The natural ground gamma radiation per contributing element. A. U (ppm). B. Th (ppm). C. K (%).

VLF

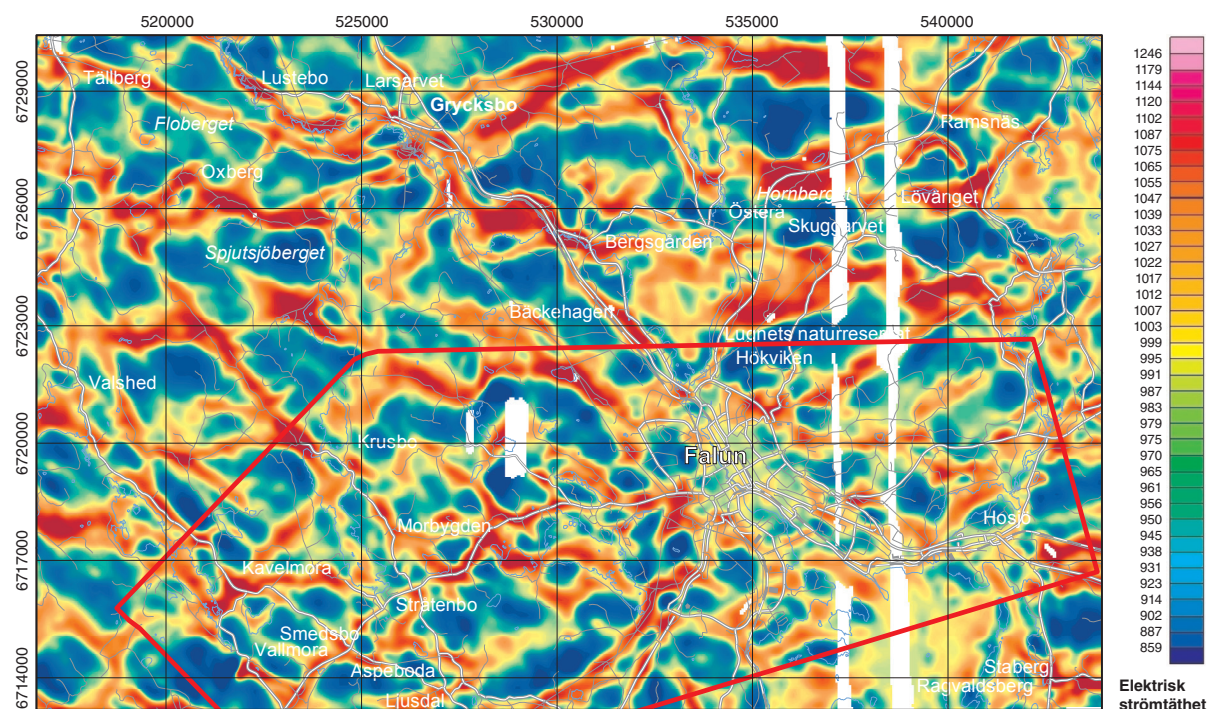
Långvågig (med låg frekvens) elektromagnetisk strålning, som radiovågor, som träffar på en elektriskt ledande kropp inducerar ett sekundärt magnetfält som kan registreras. Vissa ledande bergarter och strukturer i berget kan därför upptäckas med hjälp av VLF-metodiken. VLF är en passiv elektromagnetisk metod och påverkas i hög grad av infrastruktur som ger oönskat brus eftersom den generellt är mer ledande än sin omgivning. Det betyder att signaler och brusförhållanden påverkas negativt. Ett sämre sådant förhållande gör det svårare att upptäcka små variationer som naturligt ledande, brantstående, tvådimensionella objekt ger upphov till.

Området har tidigare till ca 90 procent täckts av flygbaserade VLF-mätningar. Av dessa data har framställts kartor som visar strömtäthetsfördelningen (fig. 25). Ett mindre antal anomalier kan identifieras i strömtäthetskartan över projektområdet. Vid en närmare studie av kartan ser man framför allt att ett system av mer eller mindre parallella anomalier stryker i en huvudriktning från nordväst till sydöst. Man kan också finna mer eller mindre parallella anomalier som har en strykningsriktning nordost-sydväst. De bildar i stort sett ett rutnät av strukturer med högre strömtäthet. Ett likartat mönster finns i stort sett över hela Sverige.

Förutom rutmönstret av anomalier kan man ana ett veck med en sannolikt brantstående veckaxel i den bågformiga anomalin i sjön Runns norra del och öster om Falun.

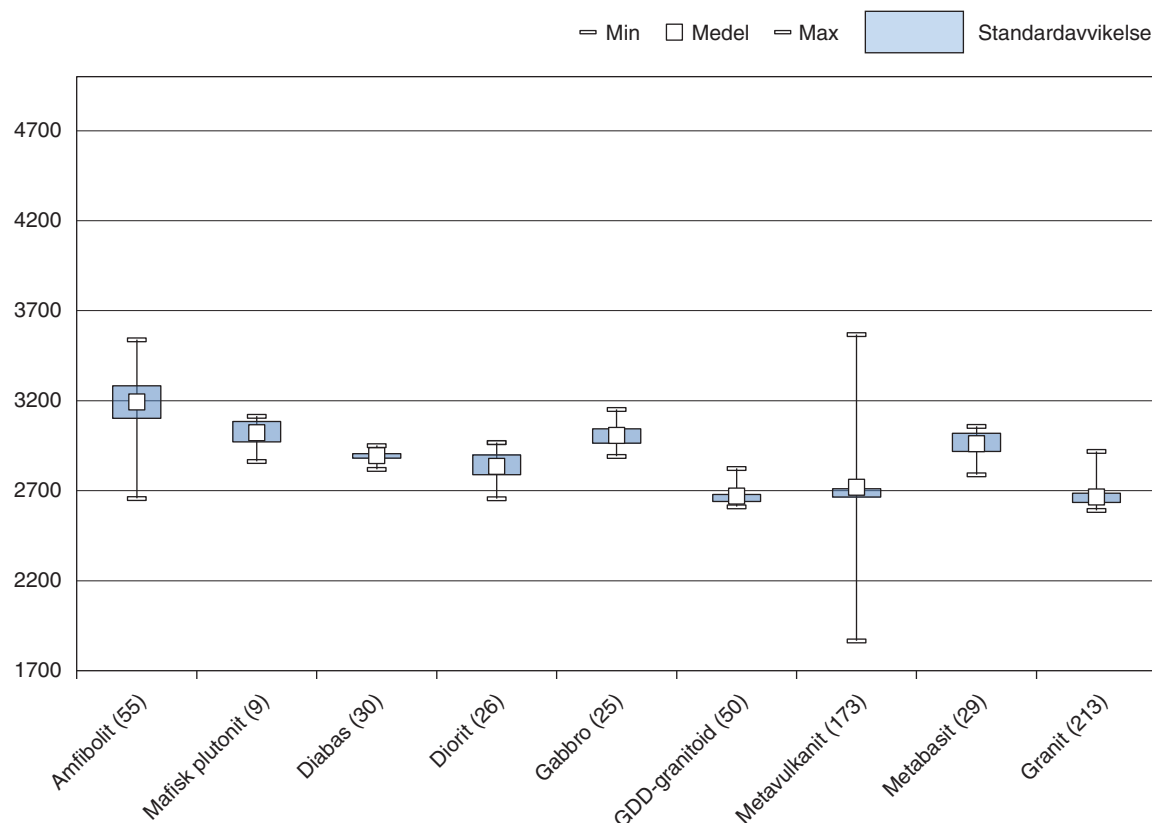
Petrofysik

En sammanställning av bergarternas fysiska egenskaper har gjorts i tabell 1. Tabellen visar de grundläggande petrofysiska skillnaderna för bergarter i kartområdet 13F (enligt Lantmäteriets gamla indexering). Figur 26 visar variationerna i densitet inom en given bergart och mellan olika bergarter.



Figur 25. Strömtäthetskarta extraherad från flygmätning med VLF. VLF-data saknas för sydvästra delen av projektområdet. Infrastruktur påverkar signaler och brusförhållanden, men större strukturer kan urskiljas.

Density of electric currents retrieved from airborne VLF measurements. VLF data for the south-western part of the project area are missing. Infrastructures may affect the signal/noise relations, but larger structures are still discernable.



Figur 26. Diagram som visar variationen av densiteten hos bergarter i kartområdet 13F.

Diagram showing the variation in densities in rocks in the map area 13F.

Tabell 1. Några av bergarternas fysiska egenskaper.

Some physical properties of the rocks.

Bergart	N	Densitet (kg/m³)	Susceptibilitet (x10 ⁻⁵ SI-enheter)	NRM (mA/m)	N	Kalium (%)	Uran (ppm)	Torium (ppm)
Amfibolit	55	3194 ± 174	50 ± 144	108 ± 320	7	1,0 ± 0,8	1,4 ± 0,9	4,9 ± 2,9
Mafisk plutonit	9	3023 ± 92	47 ± 69	125 ± 281	3	1,2 ± 0,6	3,3 ± 2,5	4,8 ± 1,9
Diabas	30	2896 ± 26	289 ± 134	1992 ± 2067	11	1,8 ± 0,5	3,4 ± 2,7	7,4 ± 4,3
Diorit	26	2836 ± 80	180 ± 289	161 ± 246	26	0,5 ± 0,6	1,2 ± 1,0	1,6 ± 0,8
Gabbro	25	3008 ± 64	198 ± 327	425 ± 1423	5	1,1 ± 0,3	1,2 ± 0,8	4,2 ± 2,4
GDD-granitoid	50	2671 ± 42	143 ± 191	103 ± 190	46	3,1 ± 0,8	11,4 ± 2,5	23,9 ± 5,6
Metavulkanit	173	2720 ± 140	87 ± 421	300 ± 2931	10	2,4 ± 1,0	3,7 ± 2,4	10,3 ± 5,8
Metabasit	29	2962 ± 69	83 ± 202	1063 ± 5487	4	1,4 ± 0,4	2,0 ± 0,4	6,1 ± 0,7
Granit	213	2666 ± 45	77 ± 130	68 ± 242	254	3,9 ± 1,1	12,7 ± 10,4	25,7 ± 16,2
Totalt	610				366			

GEOKEMI

Litogeokemi

I figurerna 27–34 visas några kemiska egenskaper hos bergarterna i projektområdet. I bilaga 2 redovisas samtliga litogeokemiska data (utom isotoper) i detta projekt. I plottarna för intrusivbergarter (utom subvulkaniter, fig. 30–33) finns vanligen en indelning mellan de med mer eller mindre än 60 procent SiO₂. Anledningen är att ungefär vid denna halt ändrar bergarterna differentiationstrend för flera viktiga grundämnen. Dessutom finns få prover med en SiO₂-halt mellan ca 60 och 65 procent. I några av figurerna har den genomsnittliga sammansättningen hos sju stycken metasedimentära bergarter (arenit, argillit, gråvacka) i kartområdet 11G Västerås SO plottats för jämförelse (Arnbom 1999, blå punkt). Dessa representerar sannolikt enligt Stephens m.fl. (2009) underlaget till vulkaniterna och är alltså möjligen en komponent i de magmor som bildat dem.

Metavulkaniter

I figur 27A visas områdets metavulkaniters alkalisammansättningar enligt Hughes (1973). Både Na- och K-rika varieteter förekommer p.g.a. hydrotermal omvandling. Tre av de mest K-rika har låga totala alkalihalter (grå punkter), beroende på att de dessutom är bl.a. Mg-Si-anrikade. Dessa tre prover har klassificerats som hydrotermalt omvandlade redan i fält eftersom de är glimmer- eller amfibolrika.

I figur 27B ser man att de mest Na-rika metaryoliterna i allmänhet har låga Mg/Fe-kvoter medan K-rika varianter visar en positiv korrelation med sådana kvoter, dvs. K- och Mg-anrikning skedde samtidigt eller åtminstone i samma bergarter. När det gäller prover som klassats som vulkaniska silt- till sandstenar med dacitisk till ryolitisk sammansättning ser man inte någon direkt koppling mellan alkalihalt och Mg/Fe-kvot. Det beror troligen på att dessa bergarter utsattes för samtidig K-Mg-omvandling och utfällning av magnetit eller järnsulfider.

Figur 27C visar flera punkter som definierar en linje från origo med en K_2O/Rb -kvot på ca 0,06. Båda grundämnena var alltså i grova drag lika mobila vid omvandlingen av vulkaniterna. Linjen från origo med en K_2O/Rb -kvot på ca 0,01 definierar gränsen mellan å ena sidan biotit samt å andra sidan kalifältspat och muskovit eller sericit som samexisterar i sura magmatiska plutoniter enligt Lange m.fl. (1966). Linjen med en K_2O/Rb -kvot på 0,06 representerar med all sannolikhet kalifältspat (se Lange m.fl. 1966) och visar att detta mineral dominerar fördelningen av dessa grundämnen i många av bergarterna. Punkterna utanför denna linje visar dock att även glimrar förekommer. Totalhalterna av K och Rb längs ”kalifältspatlinjen” visar dels graden av alkaliomvandling, dels graden av fältspatnedbrytning.

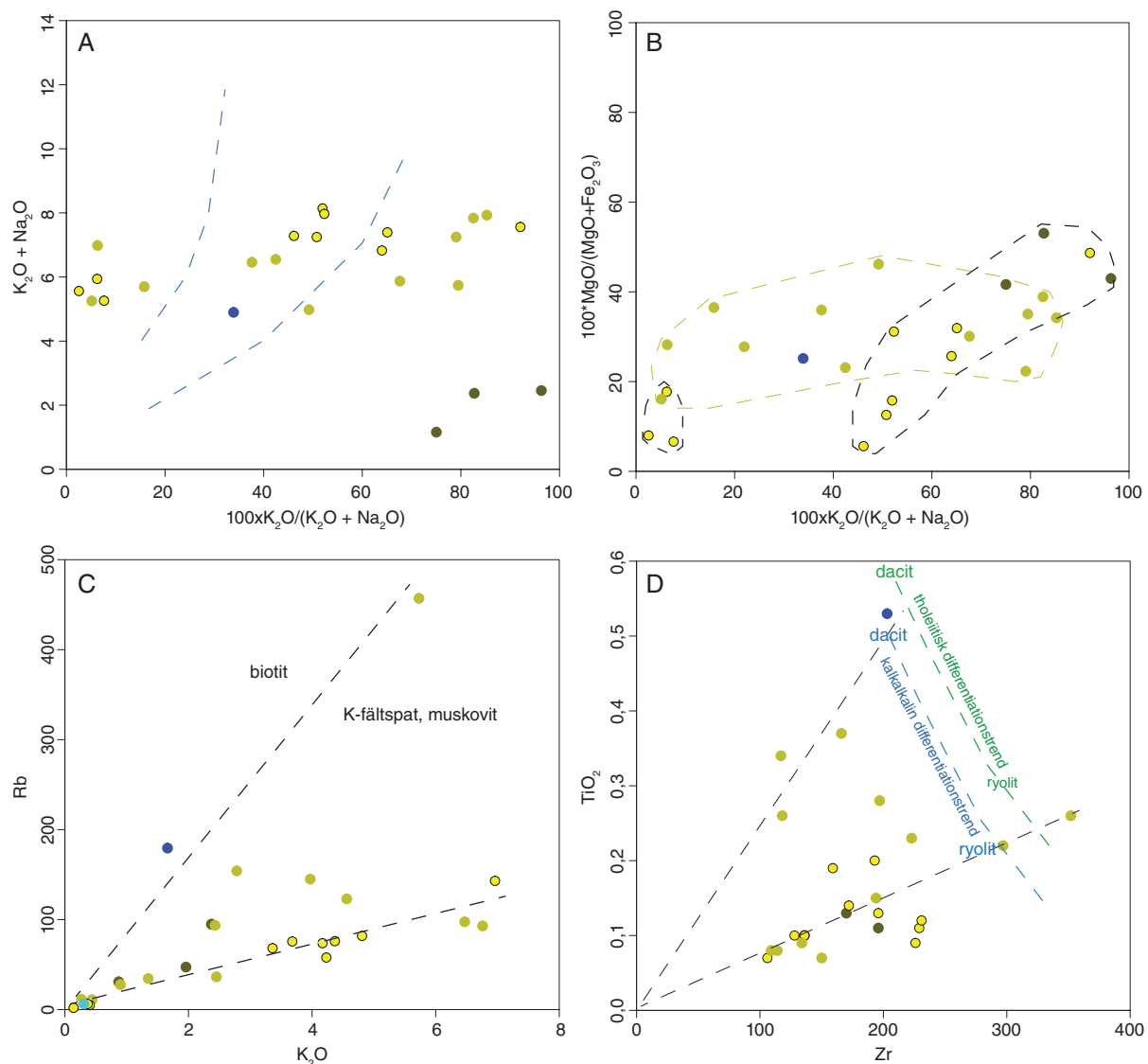
Figur 27D visar att Ti och Zr var relativt immobila eller lika mobila vid den hydrotermala omvandlingen av vulkaniterna. En hypotetisk differentiationstrend från kalkalkalin dacit till ryolit är markerad, liksom motsvarande för tholeiiter enligt MacLean & Barrett (1993). Den kalkalkalina trenden baseras på att fraktionering av magnetit rimligen leder till lägre Ti-halt än i tholeiit vid jämförbar SiO_2 -halt. Linjerna från origo motsvarar omvandlingstrender för kalkalkalina ryoliter och daciter. Några punkter plottar under omvandlingstrenden för ryoliter och representerar möjligen något mer differentierade bergarter än normalfallet. Det framgår också av figuren att omvandlingen i nästan alla fall har inneburit en addition av material till ursprungsbergarten.

I figur 28A har sammansättningen hos områdets metavulkaniter plottats i diagram enligt Winchester & Floyd (1977). De framstår huvudsakligen som subalkalina ryoliter till daciter. I en plott av Zr mot Y enligt MacLean & Barrett (1993) sprider proverna från Falun mellan kalkalkalin och tholeiitisk affinitet (fig. 28B).

Metavulkaniternas kondritnormaliserade (Boynton 1984) halter av sällsynta jordartsmetaller (REE) framgår av figur 28C. Från Ho till Lu är mönstret tämligen horisontellt. REE lättare än Ho visar olika grad av anrikning, utom Eu som har en negativ anomali. Om man plottar Y mot La–Lu (inte visat) ser man att grundämnena Ho–Lu har närmast perfekt korrelation med Y, Sm–Dy (utom Eu) har tämligen bra korrelation och La–Nd har inbördes likartad, men dålig korrelation. Eu visar ytterligare annorlunda och låg korrelation med Y. Detta visar att LREE och MREE (La–Dy) var mer eller mindre mobila under den hydrotermala omvandlingen medan HREE (Ho–Lu) var immobila. De kondritnormaliserade halterna för Ho–Lu varierar för Falunproverna i storleksordningen 10–40 vilket ligger mellan värdena för normala kalkalkalina (≤ 20) och tholeiitiska (ca 50) ryoliter. Det är intressant att notera att det kondritnormaliserade REE-mönstret för ovan nämnda sedimentära bergarter (Arnbom 1999) är i stort sett identiskt med vulkaniternas. Teoretiskt sett är det alltså möjligt att de senare bildats genom uppsmältning av de förra (se vidare nedan).

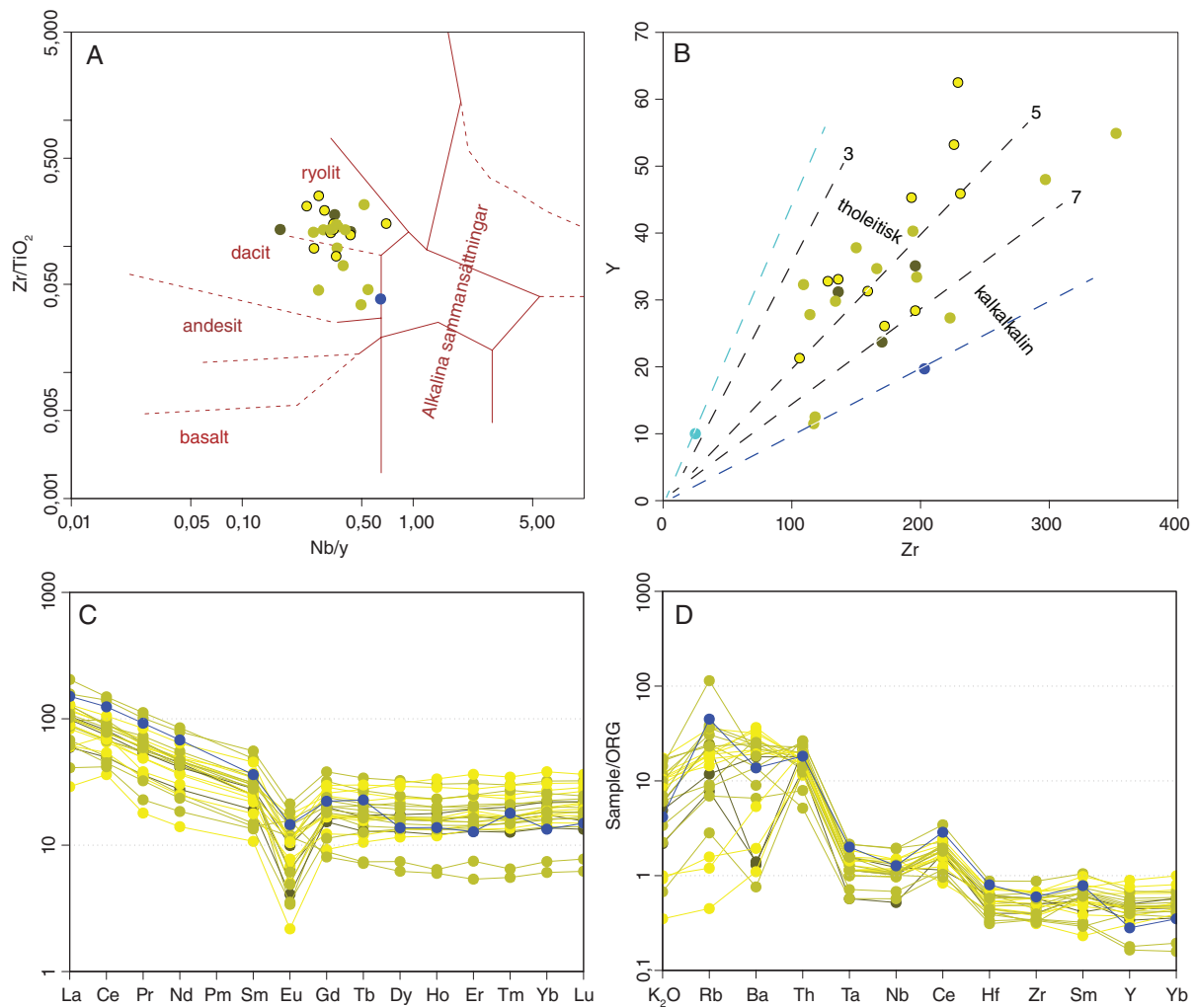
I figur 28D har de ORG-normaliserade (*ocean ridge granite*, Pearce m.fl. 1984) halterna av några inkompatibla grundämnen hos områdets metavulkaniter (de med >68 viktprocent SiO_2) plottats. För jämförelse har den genomsnittliga sammansättningen hos metasedimentära bergarter (Arnbom 1999) inkluderats. Som synes plottar de nästan exakt lika som metavulkaniterna. Samtliga graderar i detta diagram från subduktionszonsrelaterade graniter till sådana intruderade inom plattor (*volcanic arc granite*, *VAG till within plate granite*, WPG, Pearce m.fl. 1984). En tänkt, rät linje genom de grundämnena som är mest immobila i vattenlösning (Yb, Y, Zr, Hf, Nb, Ta) visar förhöjda halter av Ce, Th, Rb och K samt i de flesta fall även av Ba. Dessa anrikningar kan ha skett både i manteln vid en subduktionsprocess och genom omvandling efter avsättningen. De låga Ba-halterna i några av de mest omvandlade vulkaniterna (grå prickar) representerar sannolikt nedbrytning av fältspat i samband med postdepositionell omvandling.

I plottarna i figur 29 (enligt Pearce m.fl. 1984) framstår Falunområdets metavulkaniter som VAG. Punkterna som ligger i fältet för kollisionsrelaterade graniter (COLG) kan bortses från eftersom Rb säkert varit mobilt vid omvandlingar. Möjligen är det relevant att några punkter hamnar i fältet för graniter som bildas inom plattor (WPG).



Figur 27. Diagram som visar olika aspekter av hydrotermal omvandling hos metavulkanitproverna från Falun. Se texten för utförligare resonemang! Gul prick avser metaryolit, grön prick avser vulkanisk silt- till sandsten, grå prick avser bergart som redan i fält klassats som hydrotermalt omvandlad, blå prick avser medelvärde hos metasedimentära bergarter enligt Arnbom (1999; se texten). **A.** Hughes (1973) magmatiska spektrum. Området mellan de blå, streckade linjerna i diagrammet definierar sammansättningen hos normala magmatiska bergarter. Notera att flera av proverna från Falun faller utanför detta område. De flesta har dock ändå tämligen konstant alkalisumma. **B.** Plott för att visa eventuellt samband mellan alkali- och magnesiumomvandling. **C.** Plott av K_2O mot Rb. En tämligen god korrelation mellan dessa grundämnen i flera prover visar att de varit lika mobila vid omvandling (lägre streckade linjen). **D.** Plott av Zr mot TiO_2 som visar att dessa grundämnen varit immobila eller lika mobila vid hydrotermal omvandling eftersom flera prover plottar tämligen väl längs räta linjer genom origo. Tholeiitisk differentiations trend enligt MacLean & Barrett (1993) och en hypotetisk dito för kalkalkalina daciter till rhyoliter har markerats.

*Various aspects of hydrothermal alteration as shown by the metavolcanic rocks in the Falun project area. Yellow dot denotes metarhyolite, green dot metavolcanic silt- to sandstone, grey dot sample noted as hydrothermally altered already in the field, blue dot unweighted average value for Bergslagen metasedimentary rocks (Arnbom 1999) interpreted to be part of the volcanic substratum and hence a possible source for the formation of the latter. **A.** Hughes (1973) igneous spectrum. **B.** Plot to evaluate possible connection between alkali and magnesium alteration. **C.** Plot of mobile elements K vs. Rb suggests that both elements were equally mobile during alteration(s) and that their distribution is largely controlled by K feldspar. **D.** Plot of Zr vs. TiO_2 showing that these elements were immobile (or equally mobile) during alteration(s). The tholeiitic differentiation trend according to MacLean & Barrett (1993) and a hypothetical, corresponding trend for calc-alkaline dacites to rhyolites are indicated.*



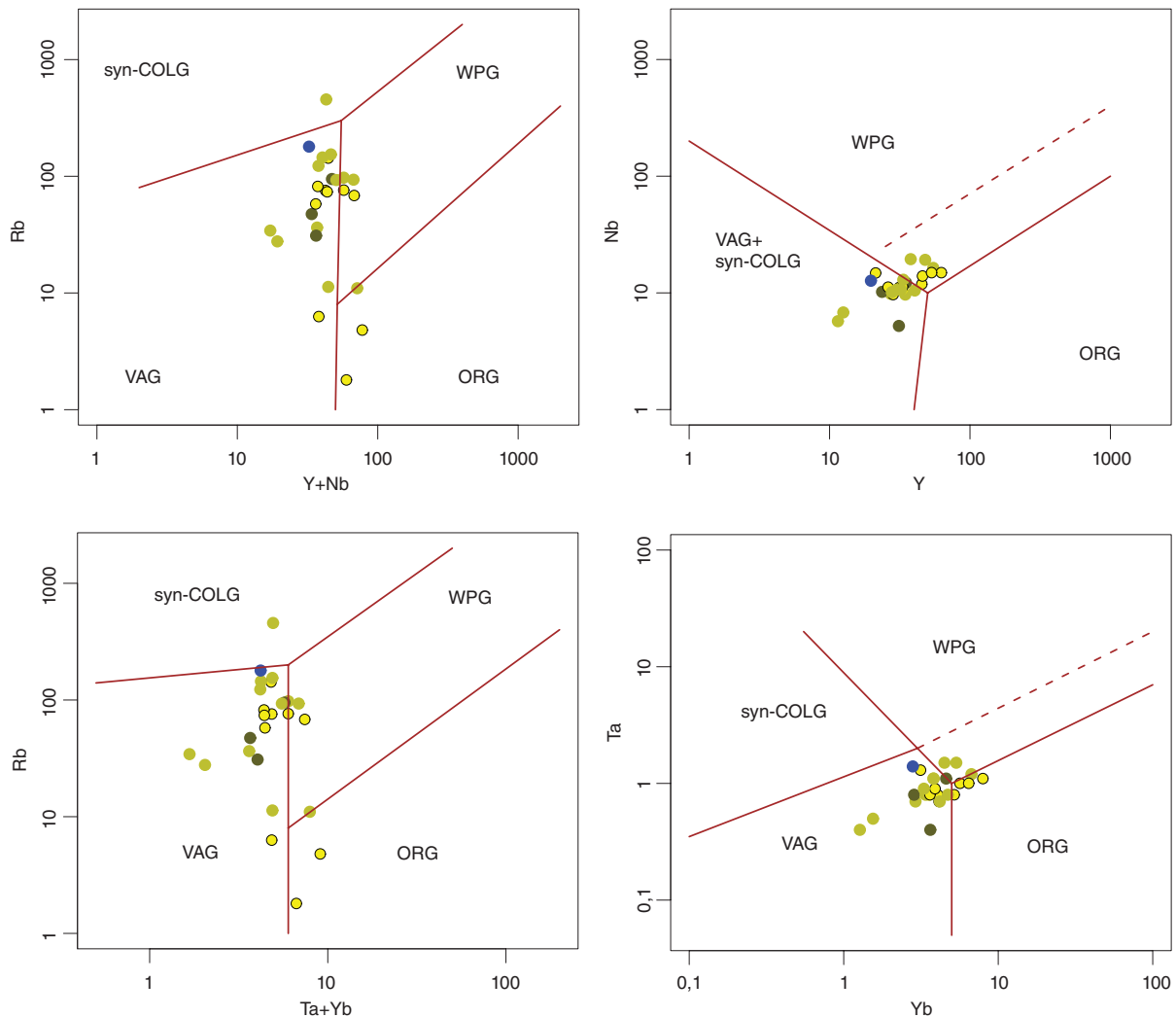
Figur 28. Klassificering, kemisk affinitet och möjlig bildningsmiljö hos Faluntrakts metavulkaniter. Symboler som i figur 27 förutom ljusblå prick som definierar hypotetisk primitiv sammansättning hos Bergslagens GDG-mafiter enligt Johansson & Hålenius (2012). **A.** Plott enligt Winchester & Floyd (1977) som visar dels att metavulkaniterna plottar som ryolit till dacit, dels att de är subalkalina. **B.** Plott som enligt MacLean & Barrett (1993) visar affinitet hos subalkalina vulkaniter. Som synes har proverna från Falun egenskaper mellan tholeiitisk och kalkalkalin. Jämför denna plott med den i figur 34B och läs resonemanget kring dessa. **C.** Metavulkaniternas kondritnormaliserade (Boynton 1984) halter av sällsynta jordartsmetaller (REE). Se texten för resonemang. **D.** ORG-normaliserade (ocean ridge granite, Pearce m.fl. 1984) halter av några inkompatibla grundämnen hos områdets metavulkaniter (de med >68 viktprocent SiO_2). Relativa positiva anomalier av K, Rb, Ba, Th och Ce visar på sannolik anrikning i samband med subduktion och bildning i en vulkanisk-magmatisk båge (se också figur 29).

Classification, chemical affinity and possible tectonic setting of the Falun metavolcanic rocks. Symbols as in Figure 27 except light blue dot which denotes the theoretical primitive composition of GDG-type magma according to Johansson & Hålenius (2012). A. The rocks plot mainly as subalkaline rhyolites to dacites. B. The rocks range between tholeiitic and calc-alkaline in character (discrimination values according to MacLean & Barrett 1993). C. Chondrite-normalised REE values. D. ORG-normalised values suggest a subduction and VAG setting.

Intrusivbergarter

Sammansättningen hos intrusiva bergarter med mindre än 60 viktprocent SiO_2 -halt (kallade basiska bergarter i fortsättningen) har plottats i figurerna 30–31. Som nämnts ovan, anser vi att de basiska bergarterna i de flesta fall tillhör två generationer, ca 1,86 respektive 1,79 Ga, GSDG-bergarter. Figur 30A visar alkaliförhållanden enligt Hughes (1973). De mest basiska leden, de med lägst totalhalter, visar en viss K-anrikning, annars ligger proverna mest inom fältet för normala magmatiska bergarter. Provet med högst totalhalt alkali representerar Tunadiabas.

I PQ-diagram (fig. 30B, Debon & Le Fort 1983) visar de basiska bergarterna i huvudsak en trend från gabbro via kvartsdiorit till granodiorit. Två prover plottar som kvartsmonzodioriter; Tunadiabas är ett av dessa. Provet



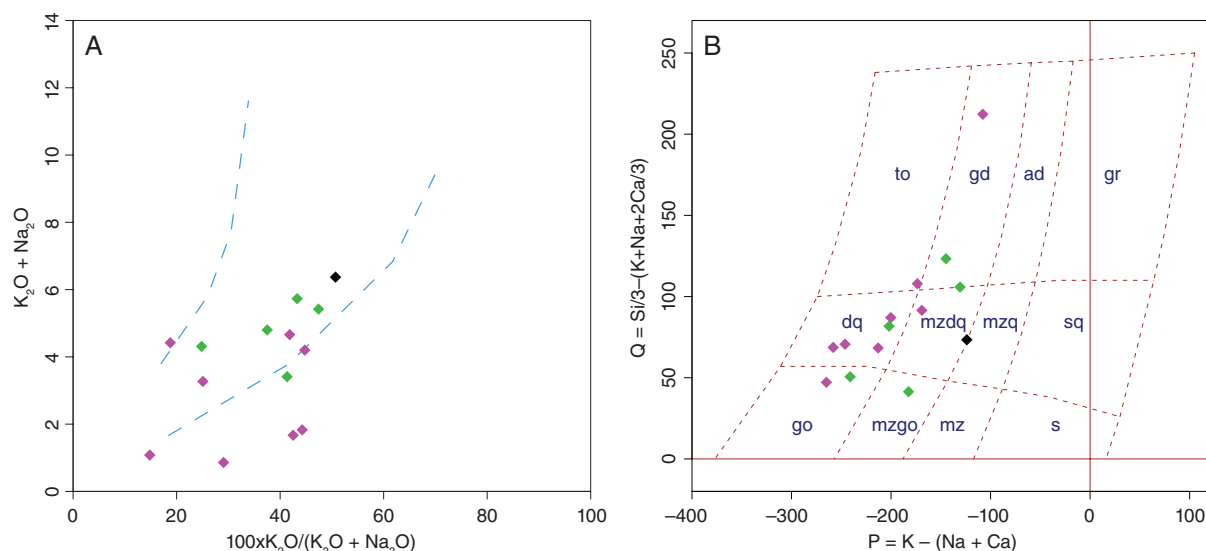
Figur 29. Diverse plottar enligt Pearce m.fl. (1984) som liksom figur 28D visar att metavulkaniterna i Falun kemiskt sett mest liknar graniter bildade i en vulkanisk båge (VAG). Symboler som i figur 27.

A number of plots that suggest a VAG (to WPG) setting for the Falun area metavolcanic rocks. Symbols as in Figure 27.

med högst Q-värde motsvarar det med lägst alkalihalt i figur 30A, och det visar att alkali lakats ur (eftersom övriga halter verkar normala).

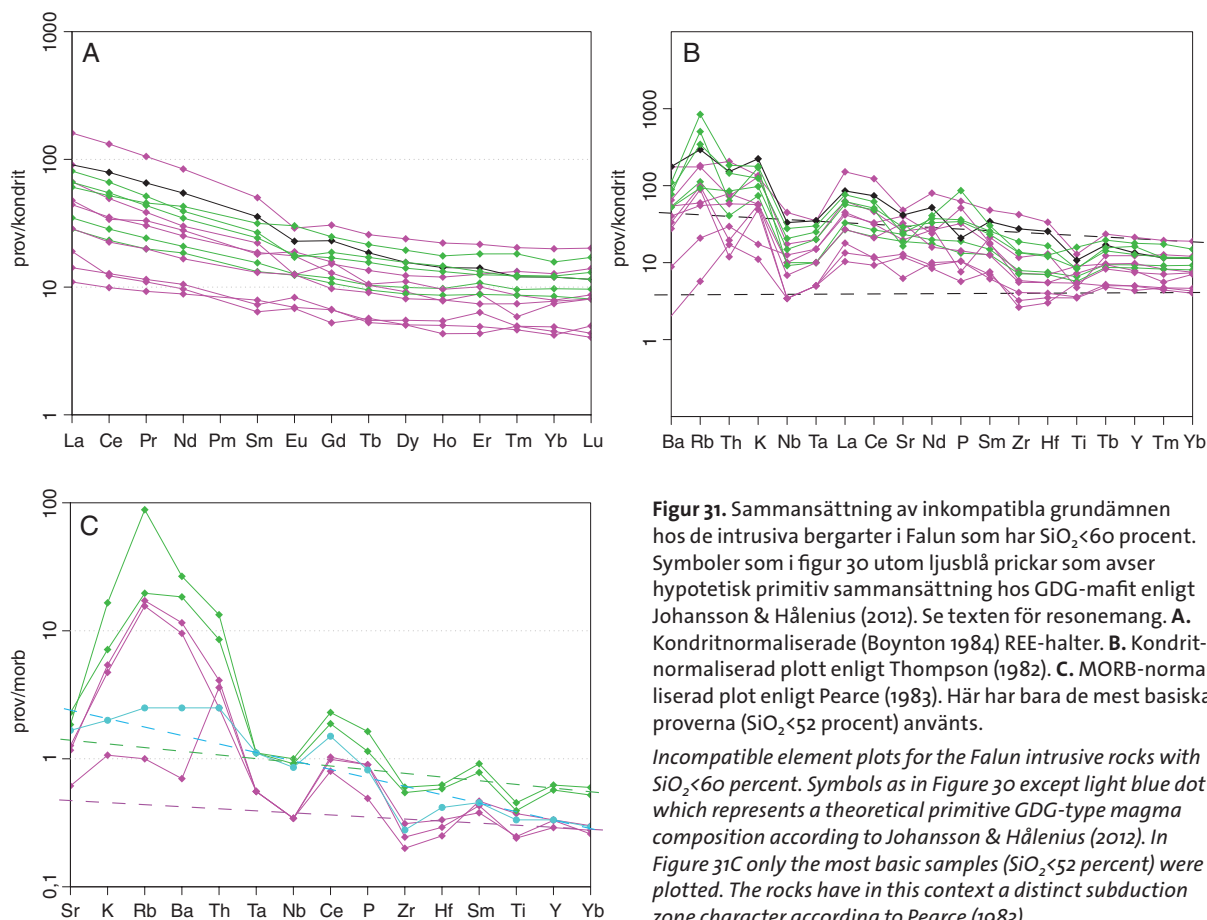
De basiska bergarternas kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-halter visas i figur 31A. Proverna ger ett enhetligt mönster med linjär ökning av de normaliserade halterna från HREE till LREE och med svaga positiva eller negativa Eu-anomalier. De tre mest basiska proverna visar distinkt lägre totalhalter än övriga, men samma trend. Noterbart är också att provet av Tunadiabas har samma REE-mönster som de äldre basiterna.

Kondrit- (Thompson 1982) och MORB-normaliserade (Pearce 1983) värden för inkompatibla grundämnen i de basiska bergarterna visas i figurerna 31B respektive 31C. I den senare figuren har bara de prover som har en SiO_2 -halt <52 procent använts, dvs. strikt basiska prover, och med blå färg plottas som jämförelse en hypotetisk, ursprunglig (primitiv) magmasammansättning för GDG-generationen (Johansson & Hålenius 2012). Figurerna visar att de mest basiska bergarterna dels har inbördes likartade trender, dels att de har liknande trend som den hypotetiska GDG-bergarten och dels att samtliga visar typisk subduktionskaraktär. Den senare visar sig som förhöjda värden av K, Rb, Ba och Th. Detta anses bero på hydrotermal anrikning av litosfärmanteln över själva subduktionszonen. Förhöjda värden även av Ce och P anses bero på en tillförsel av en smältkomponent i samma mantel (Pearce 1983). Det faktum att Ta-Nb visar relativt högre, normaliserade värden än Zr-Hf och ännu mer än Y-Yb, antas bero på att den huvudsakliga källan till magman, nämligen den subkontinentala litosfärmanteln, varit något anrikad i dessa mest inkompatibla grundämnen.



Figur 30. Diverse aspekter på sammansättningen hos de intrusiva bergarter i Falun som har $\text{SiO}_2 < 60$ procent. Violett prick avser prov som tolkats som antingen GSDG 1- eller 2-mafit, grön prick avser mafit vars ålder är obestäm, svart prick avser Tunadiabas. **A.** Hughes (1973) magmatiska spektrum (se figur 27a). De prover med lägst totalhalt alkaliämnen och som är de som är mest mafiska visar på kaliumanrikning. Övriga har tämligen normala alkaliförhållanden. **B.** I plott enligt Debon & Le Fort (1983) visar proverna en trend från gabbro via kvartsdiorit till granodiorit. Ett prov hamnar som kvartsmonzodiorit vilket är i linje med GSDG-bergarternas förväntade karaktär. Tunadiabasprovet faller precis på gränsen mellan kvartsmonzodiorit och kvartsmonzonit.

Various aspects of the chemical composition of the intrusive rocks in the Falun area with $\text{SiO}_2 < 60$ percent. Purple dot denotes rock sample classified as of either GSDG 1- or GSDG 2-age, green dot sample of unspecified age, black dot Tuna-type dolerite. **A.** Hughes (1973) igneous spectrum. The rock samples with the lowest total alkali contents are also those most basic and they are in general K-enriched. **B.** Most samples plot from gabbro through quartz diorite to granodiorite according to Debon & Le Fort (1983).



Figur 31. Sammansättning av inkompatibla grundämnen hos de intrusiva bergarter i Falun som har $\text{SiO}_2 < 60$ procent. Symboler som i figur 30 utom ljusblå prickar som avser hypotetisk primitiv sammansättning hos GDG-mafit enligt Johansson & Hålenius (2012). Se texten för resonemang. **A.** Kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-halter. **B.** Kondritnormaliserad plott enligt Thompson (1982). **C.** MORB-normaliserad plott enligt Pearce (1983). Här har bara de mest basiska proverna ($\text{SiO}_2 < 52$ procent) använts.

Incompatible element plots for the Falun intrusive rocks with $\text{SiO}_2 < 60$ percent. Symbols as in Figure 30 except light blue dot which represents a theoretical primitive GDG-type magma composition according to Johansson & Hålenius (2012). In Figure 31C only the most basic samples ($\text{SiO}_2 < 52$ percent) were plotted. The rocks have in this context a distinct subduction zone character according to Pearce (1983).

Den kemiska karaktären hos områdets intrusivbergarter med SiO_2 -halt >60 procent visas i figurerna 32–33. Proverna representerar dels GDG-sviten, dels yngre, sannolika GSDG-bergarter. I figur 32A visas bergarternas alkaliförhållanden enligt Hughes (1973). Några prover ur GDG-sviten visar tecken på alkaliomvandling, men de flesta har normala, magmatiska sammansättningar ur denna synpunkt.

I PQ-diagram (fig. 32B, Debon & Lefort 1983) plottar GDG-bergarterna som tonalit till granit och GSDG-bergarterna som granodiorit och kvartssyenit. Detta är i linje med deras förväntade karaktärer (jfr. Stephens m.fl. 2009). Provet som plottar i kvartssyenitfältet är från Ljusdalsberget och bedömdes i fält att vara granit till kvartsmonzonit. Liksom metavulkaniterna (fig. 29) har de surare intrusivbergarterna karaktär av att ha bildats i en vulkanisk–magmatisk båge (VAG). Tendensen att plotta även i fältet för graniter bildade inom en kontinentalplatta (WPG) är emellertid än starkare (fig. 32C).

Figurerna 33A–B visar att de sura intrusivbergarterna i Falunområdet har närmast identisk karaktär när det gäller inkompatibla grundämnen som vulkaniter och subvulkaniter (se ovan). Det är troligt att bildningssättet är gemensamt (GDG) eller liknande (GSDG). I figur 33B har bara prover med SiO_2 -halt >68 procent använts.

Petrogenes

När det gäller sammansättningen av områdets äldre magmatiska bergarter kan man anta att två komponenter som kan ha påverkat denna är dels eventuella underliggande sediment eller sedimentära bergarter, dels basiska smältor som trängt in i dessa. I binära diagram av inkompatibla och immobila grundämnen, som t.ex. Zr mot Yb, kommer differentiations-, uppsmältnings- och omvandlingstrender att plotta längs samma räta linjer. I figurerna 34a–b har sammansättningarna för områdets intrusiva respektive vulkaniska till subvulkaniska bergarter plottats. Dessutom har sammansättningarna hos ovan nämnda primitiva, hypotetiska GDG-mafit (Johansson & Hålenius 2012) och den hos sannolikt underliggande metasedimentära bergarter (Arnbom 1999) plottats. Som synes hamnar proverna från området i stort sett mellan differentiations- och uppsmältningstrenderna för dessa teoretiska ändled. Detta betyder att nästan alla kan ha bildats genom blandningar dem emellan. Man måste dessutom ha i åtanke att en blandsmälta dels kan ha differentierat, dels kan bergarten, som bildats ur smältan, ha hydrotermalomvandlats. Faktum är att intrusivbergarterna i viss utsträckning ser ut att plotta längs hypotetiska blandlinjer (fig. 34A). När det gäller vulkaniterna är bilden mindre tydlig (fig. 34B). Eftersom dessa sannolikt varit utsatta för hydrotermal omvandling i högre grad än sina mer djupintruderade motsvarigheter, är det emellertid troligt att en del av spridningen beror på det. Bilden i figur 34B kan jämföras med den i figur 28B, där Zr plottats mot Y, dvs. ett grundämne med motsvarande egenskaper som Yb. Affiniteten från tholeiitisk till kalkalkalin kan alltså också förklaras med ovan beskrivna blandningar.

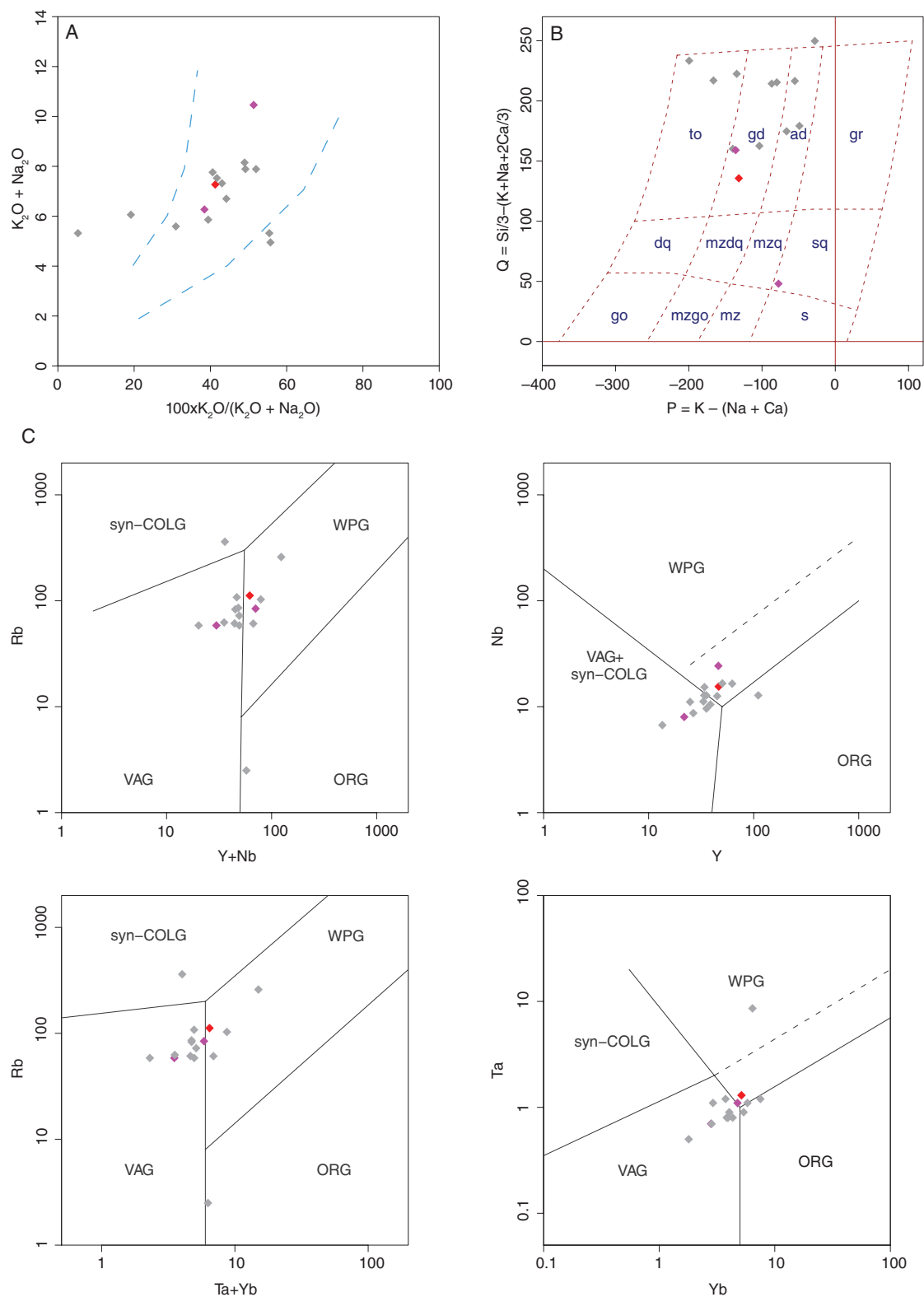
Morängeokemi

Målet med en markgeokemisk undersökning är bland annat att se om det finns någon koppling mellan sammansättningen i jordarterna och den i berggrunden, inklusive kända mineraliseringar. De bergarter som främst förekommer i projektområdet är metavulkaniter i områdets centrala delar, metabasit och basit i de västra delarna och felsiska bergarter av GDG-typen i norr och söder (se kartan). När denna berggrundstolkning var gjord visade det sig att en del moränprov var tagna nära gränsen mellan olika bergarter. Detta skulle kunna ha en effekt på resultatet eftersom det lokalt finns mineraliseringar vid kontakten.

Provtypen morän

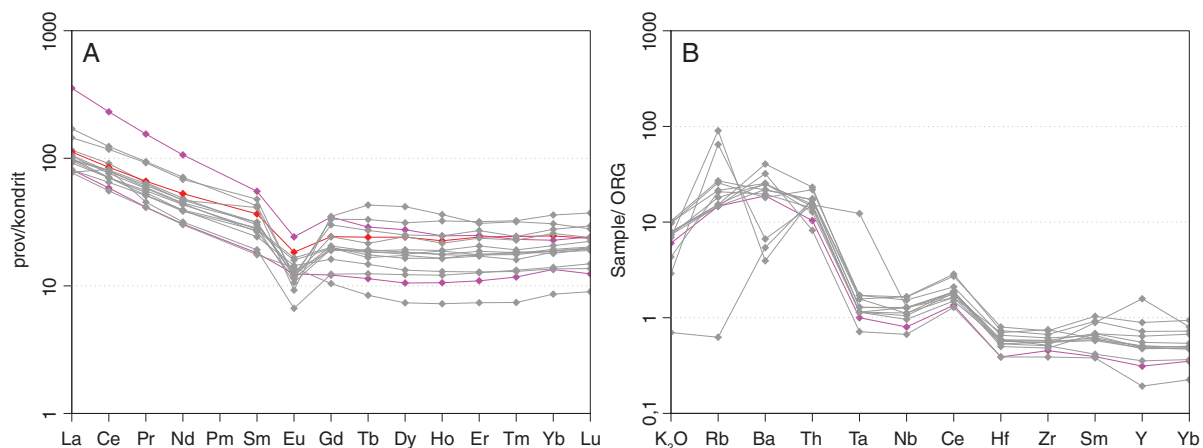
Jordarten morän förekommer över så gott som hela Sverige. Totalt är ca 75 procent av berggrunden täckt av morän (Fredén 2002). Detta gäller även för projektområdet. Moränen har generellt sett avsatts av flera inlandsisar. Isen eroderade berggrunden och transporterade iväg det nybrutna materialet tillsammans med varierande mängder äldre jordarter bildade före senaste nedisningen, Weichselistiden, som varade för mellan ca 120 000 och 10 000 år sedan.

Tre huvudtyper av morän förekommer generellt: basalt deponerad morän (bottenmorän), utsmältningsmorän och flytmorän. Basalt deponerad morän avsätts under en aktiv is (glaciär) och resultatet blir ofta en hårt packad jordart med relativt få strukturer. Den är relativt homogen vad avser utseende, textur och innehåll. Denna moräntyp ger i regel den bästa speglingen av den lokala berggrunden. Utsmältningsmorän bildas när materialet sakta smälter fram ur is som vanligen är stagnant. Flytmoränen är ett vattenrikt material som samlats på en kallbaserad



Figur 32. Den kemiska karaktären hos områdets intrusivbergarter med SiO_2 -halt >60 procent. Grå prick avser GDG-granitoid, rosa prick GSDG 1-granit (till-syenitoid), röd prick GSDG 2-granit. **A.** Hughes (1973) magmatiska spektrum. Diskriminantlinjer som i figur 27a. En del av GDG-bergarterna visar tecken på alkaliomvandling. **B.** PQ-plott enligt Debon & Lefort (1983). **C.** Klassificering av tektonisk bildningsmiljö enligt Pearce m.fl. (1984) visar liksom för metavulkaniterna (se fig. 29) en vulkanisk-magmatisk bågkaraktär (VAG), dock med en dragning över mot inomplattsgranit (WPG).

The chemical composition of the Falun area intrusive rocks with SiO_2 -content >60 percent. Grey dot denotes GDG-type granit(oid), pink dot GSDG-type granite (to syenitoid), red dot GSDG-type granite. A. According to Hughes (1973) igneous spectrum some of the GDG-rocks were alkali-altered. B. PQ-plot according to Debon & Lefort (1983). C. Tectonic setting according to Pearce et al. (1984). The rocks are (like the metavolcanic rocks) mainly of VAG-type although a tendency towards WPG-character is shown by some samples.



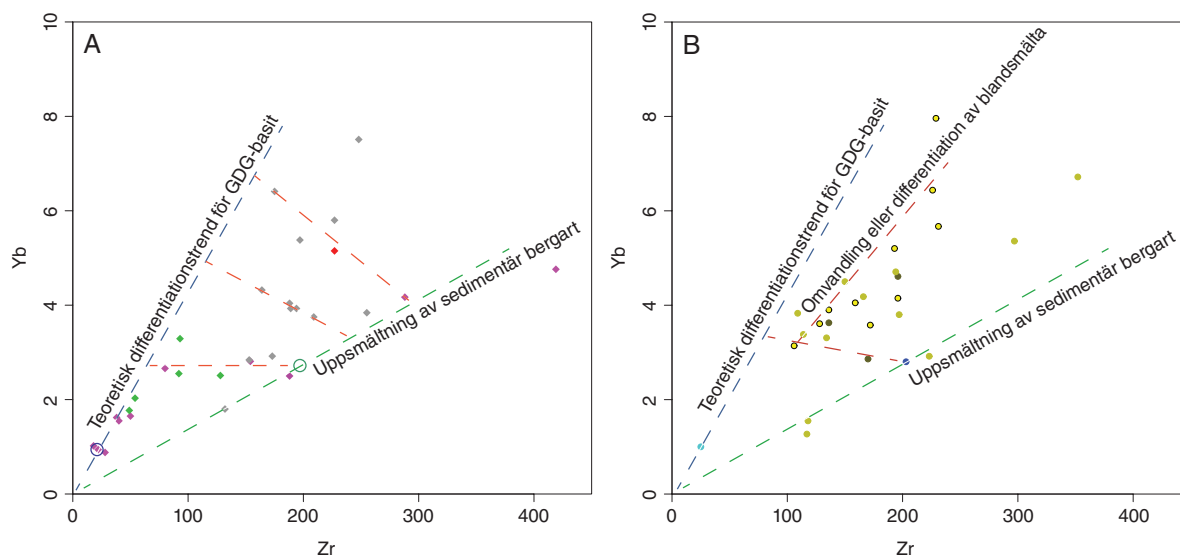
Figur 33. Egenskaper för inkompatibla grundämnen i de intrusivbergarter i Falunområdet som har $\text{SiO}_2 > 60$ procent. Symbolerna är samma som i figur 32. Observera likheten med motsvarande data för områdets metavulkaniter. **A.** Sällsynta jordartsmetaller, kondritnormaliserade värden (Boynton 1984). **B.** ORG-normaliserade (ocean ridge granite, Pearce m.fl. 1984) halter hos intrusivbergarter med > 68 viktprocent SiO_2 .

*Incompatible elements of the intrusive rocks in Falun with $\text{SiO}_2 > 60$ percent. Symbols as in Figure 32. Note similarities to those of the Falun area metavolcanic rocks. **A.** Chondrite-normalised REE-values (Boynton 1984). **B.** ORG-normalised plot according to Pearce et al. (1984). Only samples with $\text{SiO}_2 > 68$ percent were plotted*

is och transporterats och avsatts genom massrörelser. Utsmältnings- och flytmorän har påverkats av vattenströmning som kan ha medfört att moränen på vissa ställen tvättats ur på finmaterial och tunga mineral. Detta kan sedan anrikas, t.ex. runt stenar, och ge en ibland ganska heterogen morän. För mer ingående diskussioner rörande olika moräntyper, strukturer och texturer, se t.ex. Krüger (1979). När en vattenmättad morän skredar ut från t.ex. ett isberg bildas en s.k. flytmorän. Den kan ur geokemisk tolkningshänseende ha liknande egenskaper som en utsmältningsmorän. Basalt deponerade moräner kan ibland täckas av såväl utsmältnings- som flytmoräner. Oavsett moräntyp finns allmänt sett ett samband mellan andelen finkornigt material i moränen och dess metallinnehåll.

Moränens transportlängd, som är en viktig parameter vid morängeokemisk malmprospektering, kan variera kraftigt. I Faluntrakten med omgivningarna finns det enligt Kulling & Hjelmqvist (1948) block från bl.a. dalaporfyryr, dalagraniter och dalasandsten vars moderklyft ligger långt utanför projektområdet. Det indikerar att en del moräner här representerar material som transporterats längre sträckor. Det är också viktigt att skilja på transportlängden för olika kornstorleksfraktioner i moränerna. När bergartsfragment nöts ner minskar förekomsten av en bergart i blockfraktionen medan representationen i finare fraktioner istället ökar. Olika bergarter har också olika förmåga att motstå vittring och nötning. Sedimentära bergarter, som t.ex. skiffer, nöts snabbt ner och finfraktioner av den kan därför påträffas ganska nära ursprungligt bergartsklyft. Magmatiska bergarter, som t.ex. granit, tål nötning bättre och relativt grova fraktioner kan transporteras betydligt längre sträckor. Moräner med förhöjd lerhalt finns inom området.

Landformerna i projektområdet är orienterade i nordnordvästlig till sydsydöstlig riktning vilket är parallellt med den huvudsakliga isrörelseriktningen. Olika moränformer som uppträder inom området är kullig morän, moränryggar och drumliner (Ising 2008). Enligt Kulling & Hjelmqvist (1948) ska det finnas korttransporterade moräner i sänkor och låglägen. Mäktigheten varierar från nära noll (för kala områden) till några meter. Det finns inga moräner i området som huvudsakligen består av material från en bergart. Moränerna är relativt väl blandade och representerar flera bergarter.



Figur 34. Möjliga källor till områdets äldre magmatiska bergarter. Nästan samtliga prover plottar mellan sammansättningen hos två teoretiska ändled: Differentierad och eventuellt också omvandlad varietet av hypotetisk, primitiv GDG-magma enligt Johansson & Hålenius (2012) samt dito smälta bildad av metasedimentära bergarter enligt Arnbom (1999). **A.** Områdets intrusivbergarter. Notera att en del prover faktiskt plottar längs teoretiska blandlinjer mellan ändleden. **B.** Områdets vulkaniter.

*Possible sources for the older igneous rocks of the Falun area. Most samples plot between two theoretical end-members: Differentiated and possibly also altered varieties of the hypothetical, primitive GDG-type magma according to Johansson & Hålenius (2012) and similarly evolved and altered melts formed from the underlying Bergslagen metasedimentary rocks (Arnbom 1999). **A.** The intrusive rocks. Note that samples to some extent actually plot along theoretical mixing-lines between the end-members. **B.** The volcanic rocks.*

Metodik

För regional provtagning gäller att moränproven insamlas med kriterierna att de ska vara representativa för regionen och om möjligt tillhöra typen sandig eller sandig-siltig morän. Dessutom ska potentiellt antropogent förorenade områden undvikas. I det här projektet har delvis även andra hänsyn tagits. Dels har det skett en förtätning av prov mellan befintliga prov och dels har ytprov tagits på en del provlokaler. Avståndet mellan proverna är ca 1 till 2 km. Detta avstånd mellan proverna är alltså kortare än vad som är normalt för regional provtagning eftersom en förtätning avsiktligt avsågs.

Vid provtagningen genomgrävs markprofilen för hand med spade och spett. På så vis kan man lättare upptäcka om provet av någon anledning är olämpligt att ta, t.ex. på grund av svallning, växrötter, djupt gående markprocesser eller underliggande sediment (fig. 35). Provet, som uppgår till ca 0,8 kg, tas sedan ett stycke ner i C-horisonten (normalt 0,7–1,2 m under markytan) genom att material slås loss på några ställen i gropens botten. Analyserna från dessa prover utgör därför en relativt homogen och jämförbar statistisk population, där förutsättningarna för grundämnenas haltvariation bygger på olikheter i ursprunglig kemisk sammansättning.

Om en provpunkt låg i närheten av gamla gruvhål, kända mineraliseringar eller i tätortsmiljö togs i detta projekt även ytnära prov av de 10–15 första cm direkt under rotfilten. De redovisas dock inte i denna rapport då den antropogena påverkan i området kring Falun får anses ha pågått under lång tid. Det gör försöken att hitta en naturlig signatur i moränen som återspeglar berggrund och eventuella mineraliseringar kan försvåras.

Provberedning

Moränproven vakuumtorkas och siktas på nylonsikt med 0,063 mm maskvidd. Anledningen till att proven fraktioneras före analys är att den så kallade finfraktionen (<0,063 mm) så gott som uteslutande innehåller mono-mineralkorn.



Figur 35. Bild på typisk provgrop i morän (nr. 1326010) strax sydöst om Falun på ö i sjön Runn.

Typical till sampling pit, south-east of Falun on an island in lake Runn.

Analysering

Ett sextiototal grundämnen analyseras i morän med kornstorlek $<0,063$ mm efter partiell lakning av proven med kungsvatten och med 7M HNO_3 . Den lösta delen av provet analyseras med plasmateknik (ICP-MS). Alla guldanalyser har utförts efter lakning med kungsvatten.

Resultat

Plottar av följande grundämnen har gjorts: Ag, As, Au, Bi, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Se och Zn (fig. 36–39). För att enklare kunna se eventuella trender har moränprov plottats med percentilindelning (90:e, 95:e och 99:e percentilerna) baserade på medianvärdet. Indelningen betyder att t.ex. 50:e percentilen är medianvärdet och att hälften av proverna har lägre och hälften av proverna högre värde än detta.

Sammanställningen hos moränproverna i projektområdet relateras till motsvarande i morän i riket som helhet.

Mangan (Mn, se fig. 36). Tre förhöjningar finns i östra delen av Falun, en vid Hosjö och en i anslutning till en mineralisering strax norr om Kavelmora. Manganhalterna i projektområdet ligger under medianen för riket. Mangan korrelerar starkt med järn och magnesium i området.

Selen (Se, se fig. 36). En förhöjning finns väster om Falun i anslutning till en mineralisering och två förhöjningar

i Falun i anslutning till Falu gruva och i isens rörelseriktning. Det finns även en förhöjning strax norr om Olsbacka. Selenhalterna i området ligger under medianen för riket. Selen korrelerar svagt med silver.

Silver (Ag, se fig. 36). Förhöjda halter finns öster Falun, söder till sydost om kända mineraliseringar. I väster finns en förhöjning i metabasit. Projektområdets silverhalter ligger över medianen för riket. Silver korrelerar svagt med selen och zink i området.

Arsenik (As, se fig. 37). Förhöjda halter finns i Falun och söder där om, strax utanför och nordost om projektområdet, vid Hålsjön samt nordöst om Morbygdén, nära en mineralisering. Områdets arsenikhalter ligger under medianen för riket. Arsenik korrelerar svagt med bly i området.

Bly (Pb, se fig. 37). Förhöjningar finns väster, öster och söder om Falun, den senare i närheten till en mineralisering och i isens rörelseriktning. Det finns även en förhöjning vid Stråtenbo. Blyhalterna ligger över medianen för riket. Bly korrelerar svagt med arsenik och vismut i området.

Guld (Au, se fig. 37). Strax norr om Stora Källviken finns en mineralisering intill vilken moränen uppvisar en förhöjning. Även vid Stråtenbo och Aspeboda finns det förhöjningar, båda vid gränsen mellan vulkanit och basit. Guldhalterna ligger under medianen för riket. Guld korrelerar svagt med silver, koppar och zink i området.

Vismut (Bi, se fig. 38). Öster om Falun, i anslutning till två mineraliseringar, finns tre tydliga förhöjningar som ligger i metavulkanit. Förhöjda värden finns också strax väster om Ljusdal och Aspeboda. Vismuthalterna ligger över medianen för riket. Vismut korrelerar svagt med bly och koppar i området.

Zink (Zn, se fig. 38). Fem förhöjningar som ligger i öst–västlig riktning. En ligger direkt i anslutning till en mineralisering vid sjön Stora Vällan. Zinkvärdena ligger över medianen för riket. Zink korrelerar svagt med koppar, järn och magnesium i området.

Järn (Fe, se fig. 39). Flera förhöjningar finns i trakten runt Falun. Dock ingen direkt tydlig koppling till befintliga mineraliseringar förutom den nordöst om Kavelmora. Järnhalterna i moränen i området ligger under medianen för riket. Järn korrelerar starkt med Mg och något svagare med zink i området.

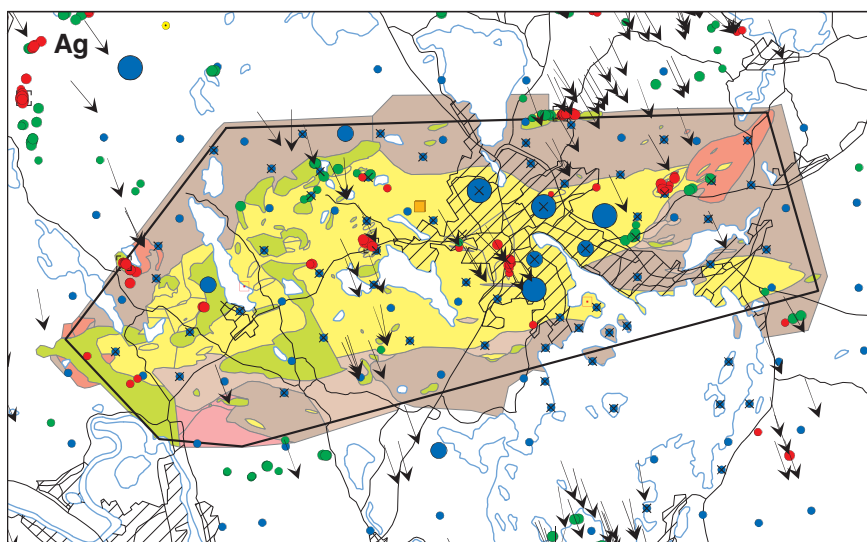
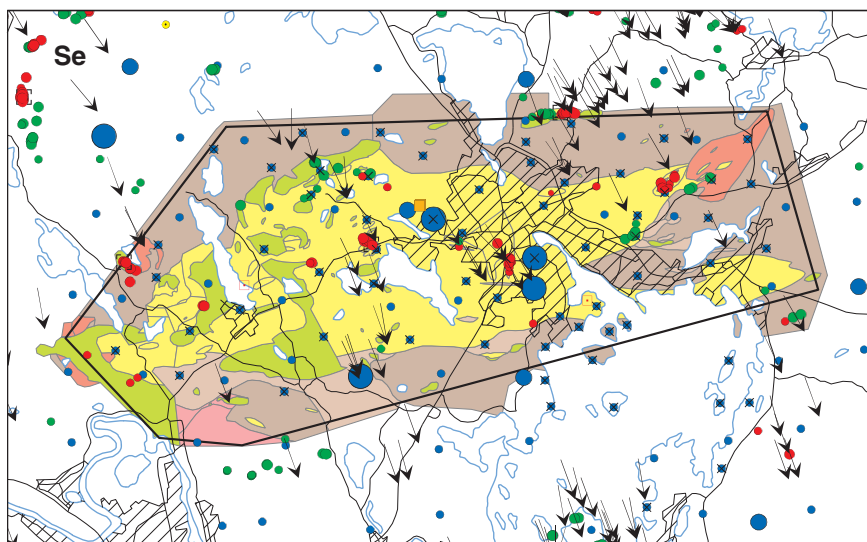
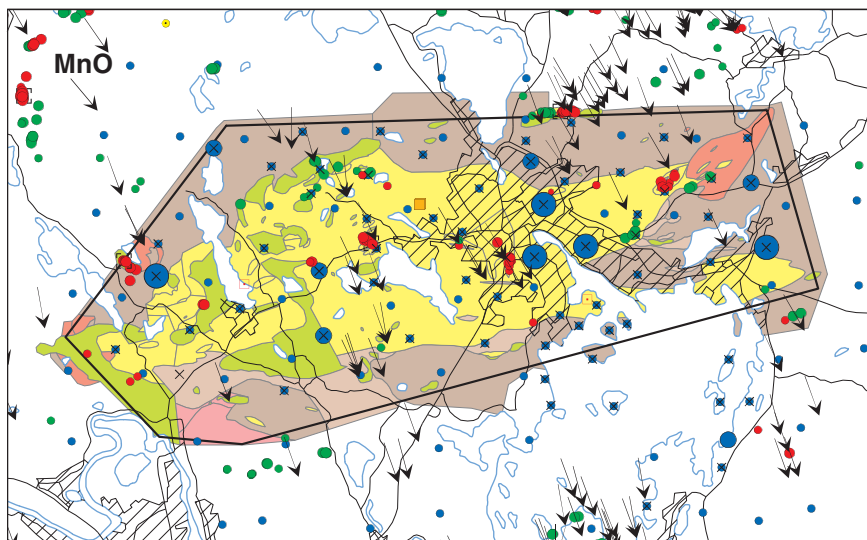
Koppar (Cu, se fig. 39). Inga extremvärden finns vid Falu gruva, utan endast en punkt från 95:e percentilen. Andra förhöjningar finns i öst–västlig riktning i områdets södra del. Kopparvärdena inom området ligger över medianen för riket. Koppar korrelerar svagt med järn och zink i området.

Magnesium (Mg, se fig 39). Fyra tydliga förhöjningar finns i norra delen av Falun, strax där om ligger en järn- och en sulfidmineralisering. Strax norr om Kavelmora finns en förhöjning i anslutning till en mineralisering. Magnesiumhalterna i området ligger under medianen för riket. Magnesium korrelerar starkt med järn och mangan.

Tabell 2 visar vilka grundämnen som normalt sett är typiska för olika bergarter (Andersson 2009). Sett till tabellen finns en viss överensstämmelse mellan halterna av redovisade grundämnen i morän (Ag, As, Au, Bi, Cu, Fe, Mg, Mn, Pb, Se och Zn) och berggrundskartan.

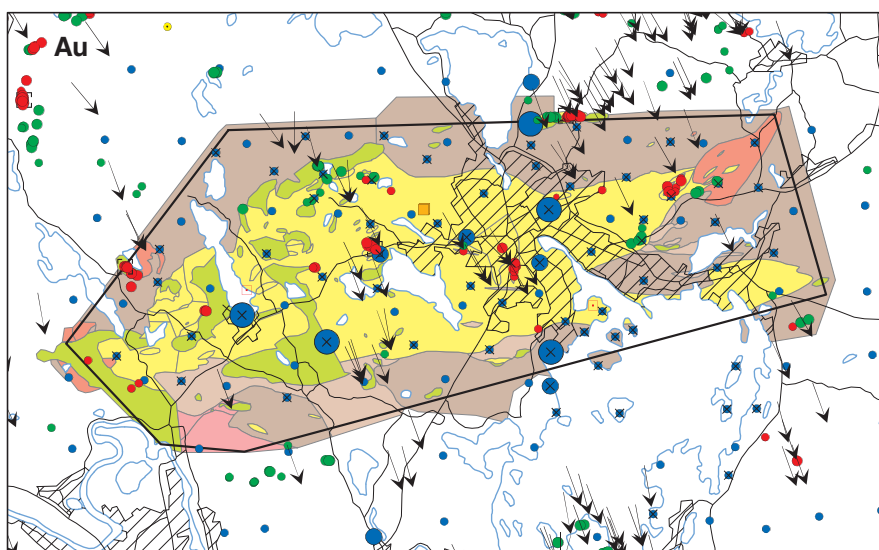
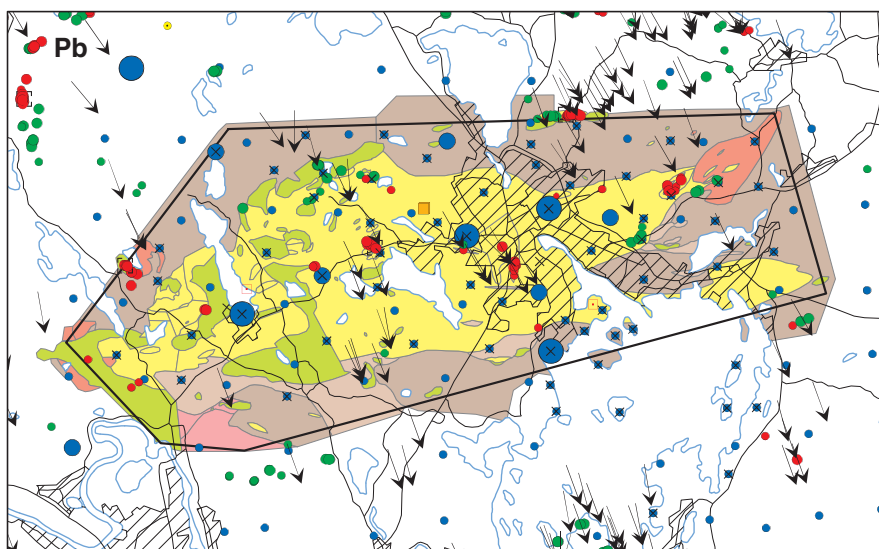
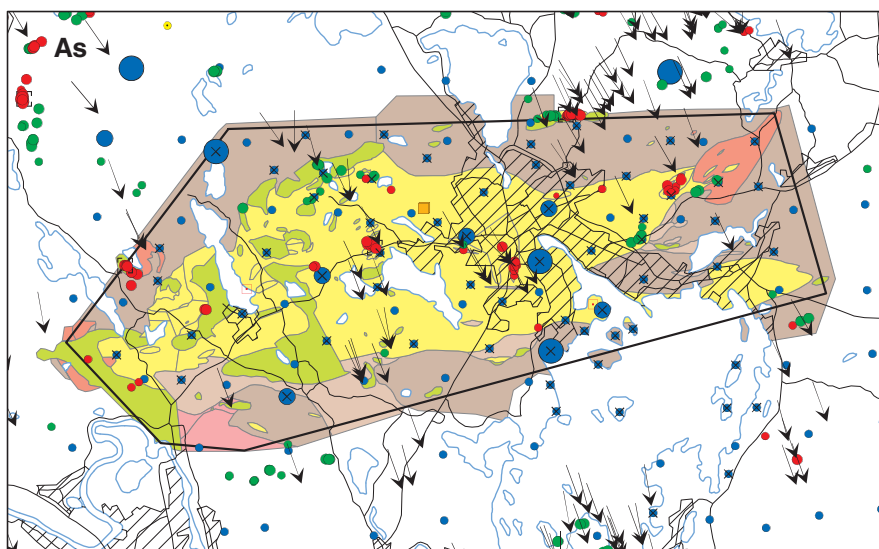
Tabell 2. Bergarter och associerade grundämnen (Andersson 2009).

Bergarter	Förhöjda halter
Graniter	Au, Ba, Be, Bi, Cl, K, La, Mo, Pb, Rb, Sn, Th, Tl, U, W, Y, Zr
Sura vulkaniska bergarter	Ag, As, Cd, Cu, Hg, Pb, Se, Zn
Basiska bergarter	Ca, Fe, Mg, Mn, P, Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, S, Sr, Ti, V, Zn
Skiffrar	Al, Ag, As, Au, Ba, Bi, Cd, Cl, Co, Cu, La, Li, Mo, Ni, Pb, Rb, S, Sb, Sn, Se, Th, Tl, U, W, Y, Zn



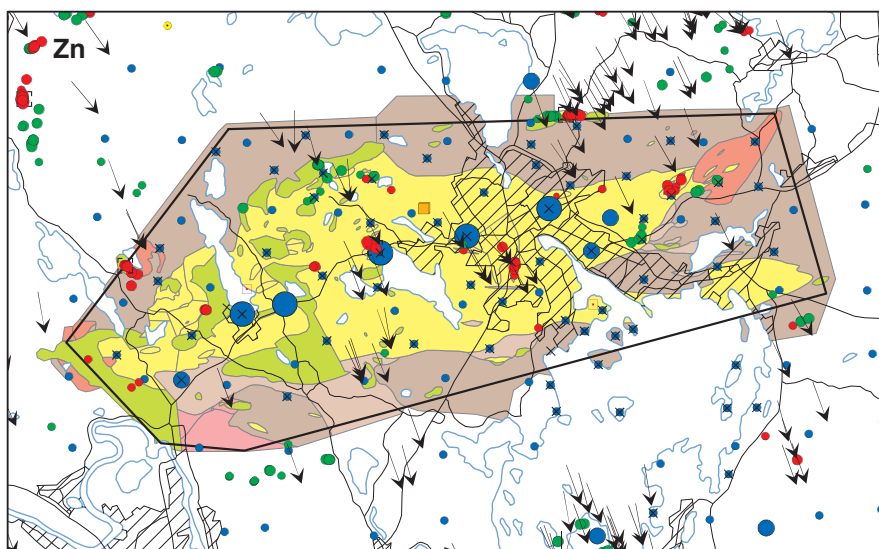
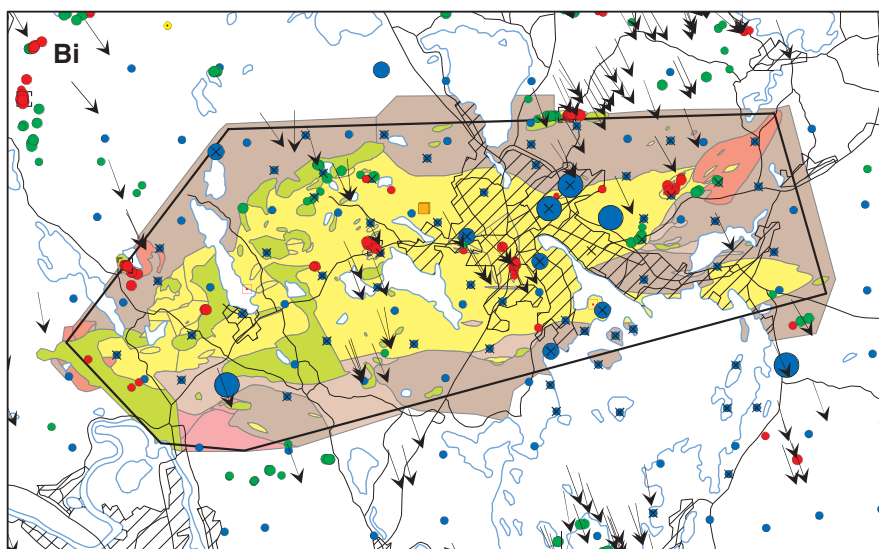
Figur 36. Analysresultat för MnO, Se och Ag i morän. Stor blå prick avser 99:e percentilen, mellanstor blå prick avser 95:e percentilen, liten blå prick avser 90:e percentilen. Övriga punkter avser fyndigheter (se berggrundskartan). Pilar markerar isrörelseriktning.

MnO, Se and Se contents in soil. Large blue dot denotes the 99th percentile, medium size blue dot the 95th percentile, small blue dot the 90th percentile. Other dots denote various deposits (see bed-rock map). Arrows denote direction of ice movement.



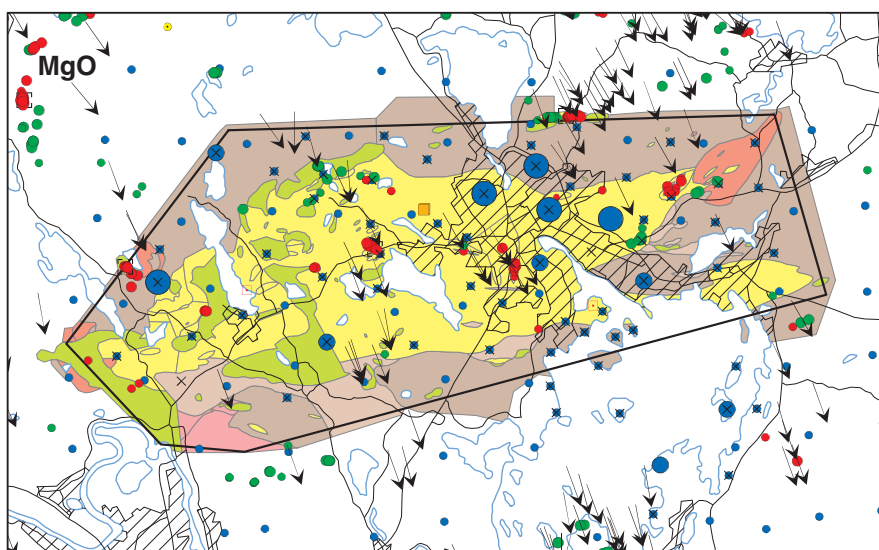
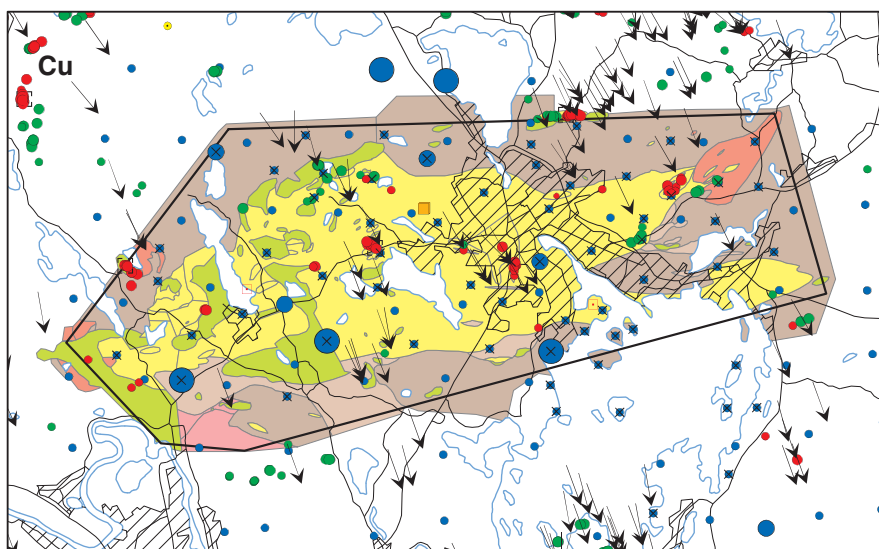
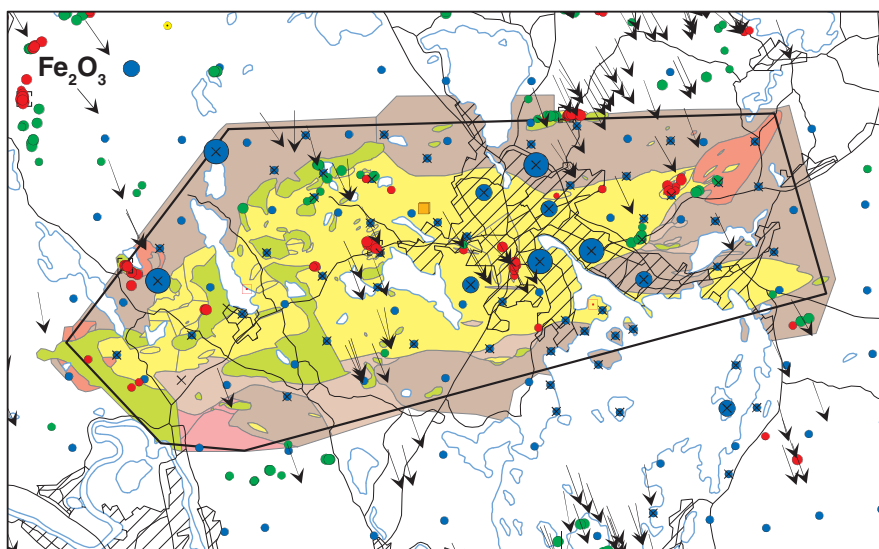
Figur 37. Analysresultat för As, Pb och Au i morän. Symboler som i figur 36.

As, Pb and Au contents in soil. Symbols as in Figure 36.



Figur 38. Analysresultat för Bi och Zn i morän. Symboler som i figur 36.

Bi and Zn contents in soil. Symbols as i Figure 36.



Figur 39. Analysresultat för Fe_2O_3 , Cu och Mg i morän. Symboler som i figur 36.
 Fe_2O_3 , Cu and MgO contents in soil. Symbols as in Figure 36.

NATURRESURSER

Det finns ett antal metall-, industrimineral-, blocksten- och krossbergsförekomster i området (fig. 1). Fyndigheterna finns bl.a. dokumenterade i en sammanställning för hela Dalarnas län (Ripa m.fl. 2015). I projektområdet bryts för närvarande endast krossberg. Metallfyndigheterna i området har beskrivits av bl.a. Törnebohm (1893), Geijer (1917), Tegengren m.fl. (1924), Kulling & Hjelmqvist (1948) och Magnusson (1973) och för utförliga redovisningar hänvisas till dessa. När det gäller Falu gruva är Törnebohms (1893) beskrivning hittills oöverträffad både till omfång och innehåll.

I områdets norra delar finns några mindre järnmineraliseringar med magnetit i amfibolskarn. Även pyrit, epidot och kvarts finns lokalt i skarnet. Dessa mineral ser ut att sitta i omvandlad vulkanisk silt- till sandsten, vilken i sin tur troligen är stora xenoliter i de koherenta och sannolikt subvulkaniska metaryoliterna.

Ur metallsynpunkt domineras området annars av ett antal sulfidmineraliseringar. Den viktigaste är naturligtvis den i Falun där koppar, zink, bly, silver och guld bröts (fig. 40 och 41). Under delar av produktionstiden var dock brytningen av pyrit för svavelsyratillverkning det ekonomiskt viktigaste, dvs. det var svavel snarare än metaller man ville åt.

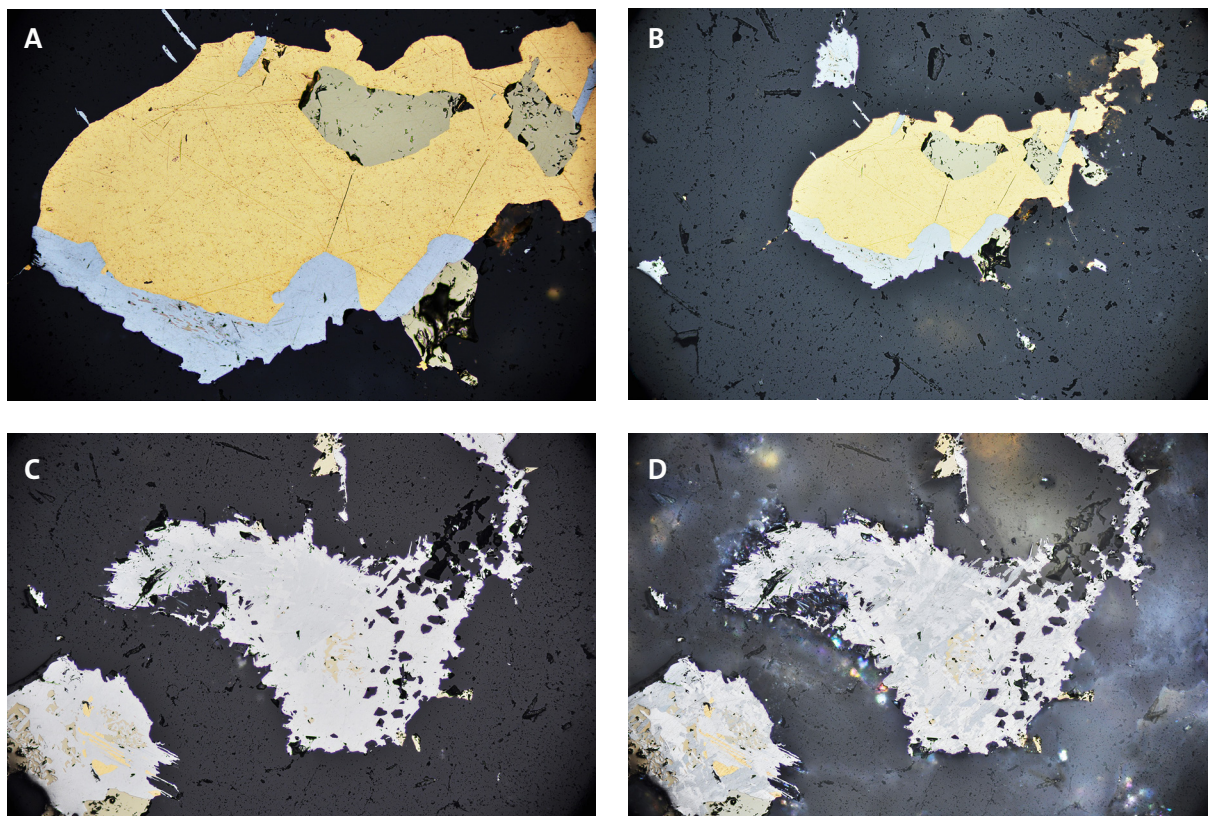
Delar av dagbrottet i Stora stöten, Falu gruva har karterats. Nerfarten (rampen) är tillgänglig och kan följas till stötens botten på 95 m avvägning (fig. 42).

I den norra väggen finns längst upp kraftigt Mg-omvandlad metavulkanit i form av brant stupande, planfolierad



Figur 40. Malmblock från botten (-95 m) av Stora stöten. Skarnig och bandad pyrit-zinkbländemalm. 6718300/533400.

Boulders containing ore at bottom of the open pit, Falun mine (95 m subsurface level). Banded, skarn-altered pyrite-sphalerite ore.



Figur 41. A och B. Grovt guldgrain inneslutande grågrön kopparkis och delvis omgivet av Bi-Se-S-sulfosalt. Omgivande mineral är kvarts. A har bildbredd 1,4 mm, B har bildbredd 2,8 mm (dvs. guldgrainet är ca 1,4 mm stort). C. Aggregat av Bi-Se-S-sulfosalter delvis inneslutande kopparkis och guld. Planparallellt polariserat, reflekterat ljus. D. Samma utsnitt som i fig. C men med delvis korsade polarisatorer, vilket framhäver komplexiteten mellan flera olika samexisterande sulfosalter. C och D har bildbredd 2,8 mm.

A and B. Coarse gold grain with inclusions of greyish green chalcopyrite and partly surrounded by a Bi-Se-S sulfosalt and quartz. Picture A is 1.4 mm wide, picture B is 2.8 mm wide (i.e. the gold grain is c. 1.4 mm in size). C. Aggregates of Bi-Se-S sulfosalts locally containing chalcopyrite and gold. Plane-polarised, reflected light. D. Same view as in fig. C but with partly crossed polars to visualise the complex relations between coexisting sulfosalts. Pictures C and D are 2.8 mm wide.

sericitskiffer med grovstrålig, delvis radiellt orienterad, pinitiserad cordierit. Den samexisterar med kompakt, delvis grovt bankad antofyllitkvartsit och med en kraftigt sericitfolierad, grovt kvartsporfyrisk metavulkanit (porfyroid, enligt Koark 1962). Den senare bergarten representerar möjligen en subvulkanisk intrusion eller gång. Längre ner längs nerfarten återkommer omvandlad metavulkanit. Lokalt är den mörkt kvartsitisk med disseminerad kopparkis och antofyllitrik med underordnat frisk cordierit och andalusit. De fyllosilikatrika delarna visar en varierande foliation från den norra till den östra delen av dagbrottets djupare delar. Variationen återspeglar troligen det storskaliga veck med brant mot sydost stående veckaxel som beskrevs av Koark (1962). Fyllosilikatrika, brant stående skjuvzoner komplicerar den tektoniska bilden. Boudinerade kvarts- och amfibolitgångar förekommer.

Törnebohm (1893) beskrev geologin i Falu gruva och dess mineraliseringar på ett ingående sätt. Enligt honom är uppdelningen i hård- och blötmalm en fråga om grad snarare än en artfråga. Hårdmalmen uppträder i huvudsak som järnsulfider och kopparkis i "kvartsit" (hydrotermalt omvandlad och metamorf vulkanit). Den övergår med ökad halt av sulfidmineralen i blötmalm, lokalt via en zon av så kallad halvhård malm. Proportionerna av ingående sulfider varierar också. En möjlig artskillnad är att blötmalmen delvis ersatt karbonatsten och delvis kvartsit, medan hårdmalmen bara sitter i den senare bergarten. Hårdmalmerna uppträder i två områden: västra respektive östra hårdmalmerna i förhållande till blötmalmen (fig. 43).

Karaktären hos malmerna och omvandlingen tolkas av oss som att hårdmalmerna representerar en "stringer"-zon stratigrafiskt under blötmalmerna. Enligt Törnebohms (1893) beskrivningar och figurer verkar det troligt att de "felsiter" (kvartsporfyrisk subvulkaniter eller gångar) och den "trapp" (mafiska subvulkaniter eller gångar) som



Figur 42. Stora stöten, Falu gruva, vy mot öster. I förgrunden ses sericitrika foliationsytor i kvartsporfyr. Det rosa partiet vid högersvängen av vägen domineras av Mg-rika omvandlingsbergarter. Under utsiktsplatsen syns ett rostfärgat parti som är en skjuvzon. Bildens högra del (i skugga) visar den kvartsitiska hårdmalmen. 6718339/ 533413.

In the open pit, Falu mine, looking east. In the foreground are sericite-rich foliation planes in quartz-phyric metavolcanic rock exposed. Pinkish rocks by the turn of the road are dominated by Mg-altered metavolcanic rocks. Below the outlook tower is a rusty rock representing a shearzone. The right hand part of the picture shows the Falun hard ore (in shadow).

finns i gruvans närhet i stort sett bara uppträder i den stratigrafiska liggväggen, dvs. tillsammans med hårdmalmen. De mafiska gångarna har lokalt blekta randzoner, sannolikt p.g.a. av omvandling. Kvartsporfyrerna är till synes i huvudsak opåverkade av omvandling. De är dock alla drabbade av två veckfaser. En viss skillnad i veckstil hos subvulkaniterna eller gångarna kan konstateras (Törnebohm 1893). I västra delen av östra hårdmalmsområdet är de mindre intensivt veckade än i östra delen (fig. 43). Skillnaden torde bero på att kvartsiten i de östra delarna av östra hårdmalmsområdet är mer rik på glimmer och mer plastiskt deformierbar än i de västra delarna. Detta, tillsammans med omvandlingen av "trappen", visar att det före någon veckfas skedde en hydrotermal omvandling.

Guld uppträder enligt Törnebohm (1893) på två sätt i Falu gruva. Dels finns guld i kvartsgångar och dels direkt i kopparmalmen. Vid tiden för hans beskrivning var årsproduktionen av guld knappt 100 kg varav drygt hälften kom ur kvartsgångarna och resten ur kopparmalmen. Enligt honom förekommer de makroskopiskt guldförande kvartsgångarna bara i det östra hårdmalmsområdet (fig. 43). Kvartsgångarna är mest guldrika intill F2-veckomböjningar i trapp. Möjligen har guldet anrikats ur kopparmalmen i ett första steg i veckomböjningar intill eller i trappen under D2 och i ett andra steg, något senare under eller post D2, mobiliserats in i kvartsådrorna.

En tolkning av relationerna vid Falu gruva baserad på Törnebohm (1893) och Koark (1966) visas i figur 43. I figuren har det som tolkats vara äldre deformationszoner (ungefär syn-D2, "skölar") markerats med röd, streckad linje och senare förkastningar (antagligen syn-S3) med svart, streckad linje. Observera att vi tolkar blötmalmsförekomsterna från Drottningstöten och vidare nordväst mot Stora stöten som huvudsakligen remobiliserade in i en skjuvzon här. Ett antal hypotetiska uppåtriktningar, baserade på förekomsten av dels hårdmalmer, dels

felsit och trapp och deras rumsliga relation till blötmalm, skarn och kalksten, har också markerats. Utifrån dessa framträder en bild av en veckad synklinal (ljusblå, streckad linje) där karbonatsten–skarn–blötmalm i ett östligt veckben övergår i blötmalm åt norr. I denna tolkning utgör huvudmalmen i Stora stöten i stort sett centrum av en synklinal. Dess stora volym kan förklaras av ansamling i veckomböjningar två gånger, både vid F1 och vid F2. Synklinalen och huvudmalmen klipps i norr av den skjuvzon som i stort sett sammanfaller med Stora stötens nordliga begränsning. Bergarternas fortsättning åt norr och väster, kring Lovisagruvan, är tämligen oklara. Vår tolkning är dock att uppåt är ungefär åt norr och att området med Lovisagruvans hårdmalmer ligger i en antyklinal (se fig. 43) och under blötmalmerna strax norr här om.

I figur 43 finns i det östra hårdmalmsområdet en grön, streckad linje som godtyckligt markerar gränsen för var felsiter och trapp övergår från att ha deformerats mer eller mindre starkt. Öster om linjen är de starkt veckade (Törnebohm 1893). Detta område sammanfaller som nämnts ovan också med förekomsterna av de mest guldrika kvartsgångarna. Kriterierna för guldrika kvartsgångar är enligt Törnebohm (1893) alltså veckad trapp i hårdmalmsområde. I figur 43 har vi markerat tre områden där dessa kriterier möjligen kan vara uppfyllda. I de två västligare områdena bör man söka mot djupet och dessutom antagligen åt sydväst, eftersom den hypotetiska F1-antiformen torde stupa åt nordost här, för att komma ner i mer glimmerrik och plastiskt deformerad berggrund. Det tredje området, ca 100 m öster om gruvmuseet, har enligt Koarks (1966) karta veckad trapp, möjligen är avståndet till känd hårdmalm för stort här.

Övriga någorlunda omfattande sulfidmineraliseringar finns i Skyttgruvan (koppar, zink, bly, silver), Näverbergsgruvan (koppar), Digertäkt (zink) och Kuså (koppar, nickel). När det gäller de två förra är befintliga hållar små och svårtolkade och någon annan bild av geologin än den som Geijer (1917) beskrev har inte framkommit vid denna undersökning. Skyttgruvan är kemiskt-mineralogiskt anomal i och med att zinkmalmen är ovanligt silverrik. Ag-halter upp till 1 560 ppm har rapporterats och mikroskopi visar riklig förekomst av Ag-Sb-legeringar och tetrahedrit som inneslutningar i både zinkblände och blyglans. Blyglansprover från den närbelägna Näverbergsgruvan är inte mineralogiskt jämförbara (de är Ag-fattiga). Karbonatstenen vid Skyttgruvan är lokalt utbildad som vackert fläckig ”ofkalcit”.

Digertäkts gruvor, varav Urfjällsgruvan är den största, har brutits på zink. Malmen är knuten till sura vulkaniter och förskarnad karbonatsten som ligger i ett öst–västligt orienterat brottstycke i metadiorit. Skarnet utgörs av tremolit, diopsid, kondrodit och svart serpentin (Geijer 1917). Mikroskopi av zinkbländeförande serpentin visar dessutom rikligt med vallerit, en koppar-järnsulfid med skikt av Mg-Al-hydroxid.

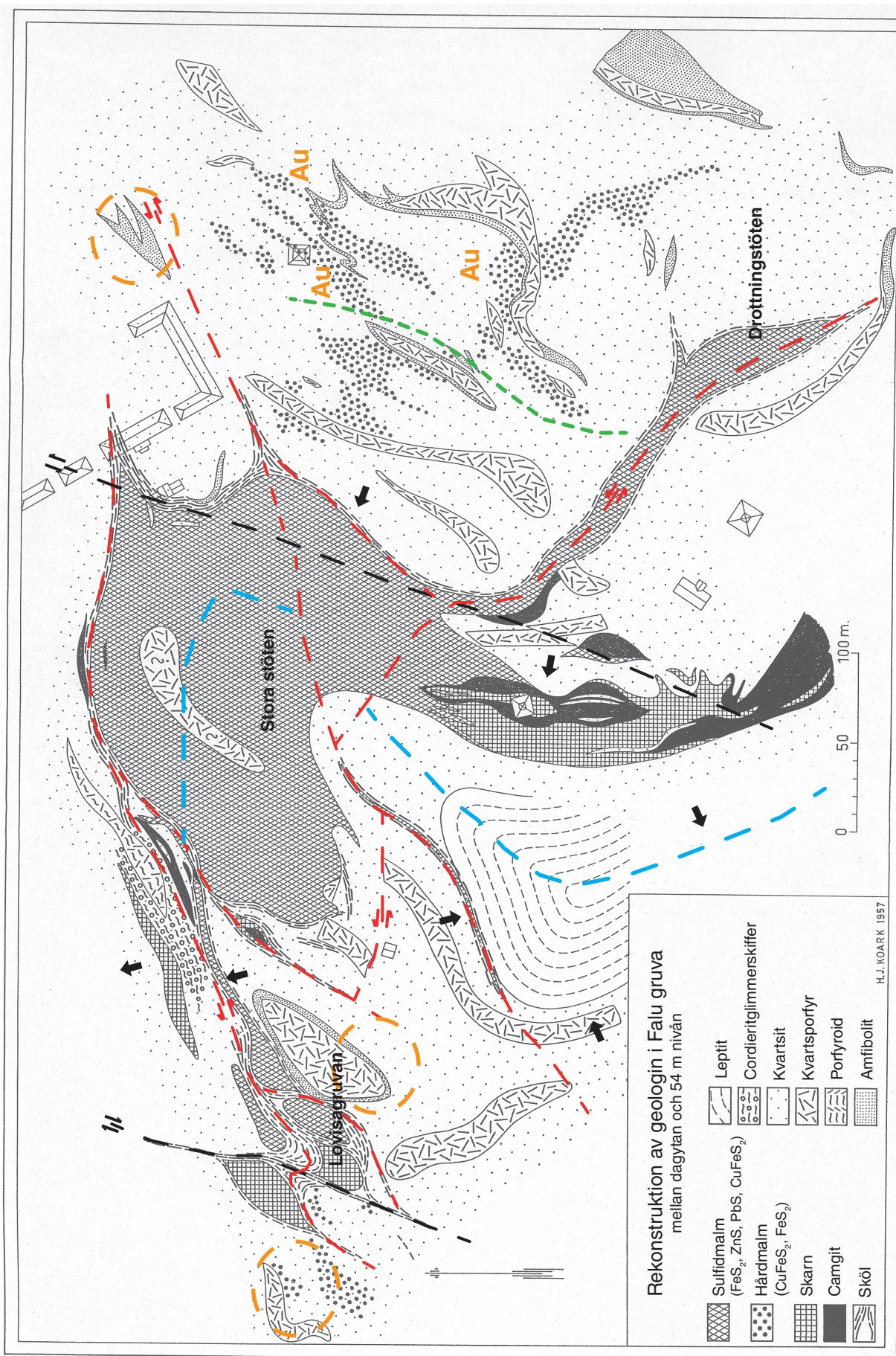
Kuså nickel- och kopparmineralisering har brutits ur ett antal hål. Den består av pentlandit, magnetkis och kopparkis i hornbländerik metamafit. Även intilliggande metagranit är sulfidomvandlad medan gångar av yngre granit inte är det. Eftersom mineraliseringen är relaterad till metabasiten torde metagraniten vara äldre än den senare. Det betyder i sin tur att basiten inte är av GDG-typ utan är en yngre bildning som beskrivits ovan.

Två skärpningar på Cu-Pb-mineraliserad, lokalt även biotit- och granatomvandlad intill kvartsläkt sprickor, metatonalit finns mellan Gamla Bergsdammen och Krondiket. Här finns också en igenfylld gruva med varpblock som visar kalkslirig amfibolit och magnetit samt sulfider och malakit i en håll nära stranden av dammen.

Faluområdet är känt för komplexa pegmatiter som karakteriseras av sitt innehåll av niob, yttrium och fluor, s.k. NYF-typ. Dessutom ingår REE, Ta, Be och Sn (Smeds 1990). Sådana har brutits i Kårarvetområdet, strax väster

Figur 43. (Se sidan 55). Skrivbordstolkning av vissa relationer i Falu gruva. Tolkningen baseras i huvudsak på beskrivning och figurer enligt Törnebohm (1893) samt figur enligt Koark (1966). Flera av skölarna (röda, streckade linjer) enligt Törnebohm (1893) tolkas som skjuvzoner. Dessutom är malmerna i vår modell från Drottningstöten och vidare åt sydost och de norr om västra hårdmalmsområdet tolkade som i huvudsak strukturbundna snarare än stratabundna. Blå, streckad linje markerar centrum i en hypotetisk F1-synklinal. Svarta pilar visar troligt uppåt. Grön, streckad linje markerar övergång från mer till mindre intensiv plastisk deformation av gångar eller subvulkaniter. Au markerar lägen för kända guldförekomster i Östra hårdmalmsområdet. Cirklar i orange markerar lägen för potentiella förekomster av guldförande kvartsgångar.

Desk-top interpretation of relations at Falun based on Figures and descriptions by Törnebohm (1893) and Koark (1966). Red lines denote shear zones ("skölar"), blue lines denote centre of hypothetical F1 syncline, black arrows denote younging. Green line denotes change from more to less intense plastic deformation of dykes or intrusions in footwall. Au denotes sites of known gold mineralisations, orange circles denote potential sites for Au-bearing quartz veins.



om Falun och vid Finnbo, strax öster om staden. Kårarvet är idag avsatt som naturreservat p.g.a. sitt vetenskaps-historiska värde. Strax norr om reservatet finns tre skärpningar på hydrotermal gångkvarts i amfibolit.

I kanten av ett stort hygge mellan Knipptjärnsbergets bergtäkt och Dammsjön finns en skärpning på pegmatit i metagranit. Pegmatiten har lokalt sockeralbit med lokala koncentrationer av oxider och REE-silikat.

Vid Knipptjärnsberget finns en bergtäkt (Falukrossen). Den är nordvästligt orienterad med en ca 350 m bred, konkav, 20–30 m hög, brant vägg längst i norr. Gränsen mellan sur metavulkanit och metagranit till metatonalit är exponerad här. I de västligaste delarna av brottet är berget heterogent med omväxlande pegmatit, amfibolit, metavulkanit och metagranit. Bergarterna är tektoniskt uppdelade i brant stående skivor av några meters tjocklek. Delvis avslitna amfibolitgångar eller dito brottstycken finns i metagranit, och pegmatit skär båda dessa bergarter. I block finns pegmatit bestående av sockeralbit, kvarts, mikroklin och biotit samt lokalt rikligt med spessartin–almandinggranat. I anslutning till granaten finns bruna till svarta, glasiga korn av REE-silikat. Två typer av metagranitoider finns i tåkten, dels röd till gråröd, medelkornig och folierad granit till granodiorit med mafiska fragment, dels grå till rödgrå, fint medelkornig och svagt deformerad tonalit till granodiorit. Den senare bildar till synes partier i den förra.

En liten och nedlagd krossbergstäkt i kvartsporfyrisk metavulkanit finns nordost om Mörtsjöbo.

Småskalig blockstensbrytning av kvartsrik, ljus grå och medelkornig metagranit har skett vid Högbo samt söder om Mjölnarboberget. Vid Karlsviksberget har block av en gråröd, medelkornig och biotitfolierad metagranit brutits.

För redovisning av samtliga fyndigheter hänvisar vi till SGUs fyndighetsdatabas (mdepdb) och inventeringen av fyndigheter i Dalarnas län (Ripa m.fl. 2015).

REFERENSER

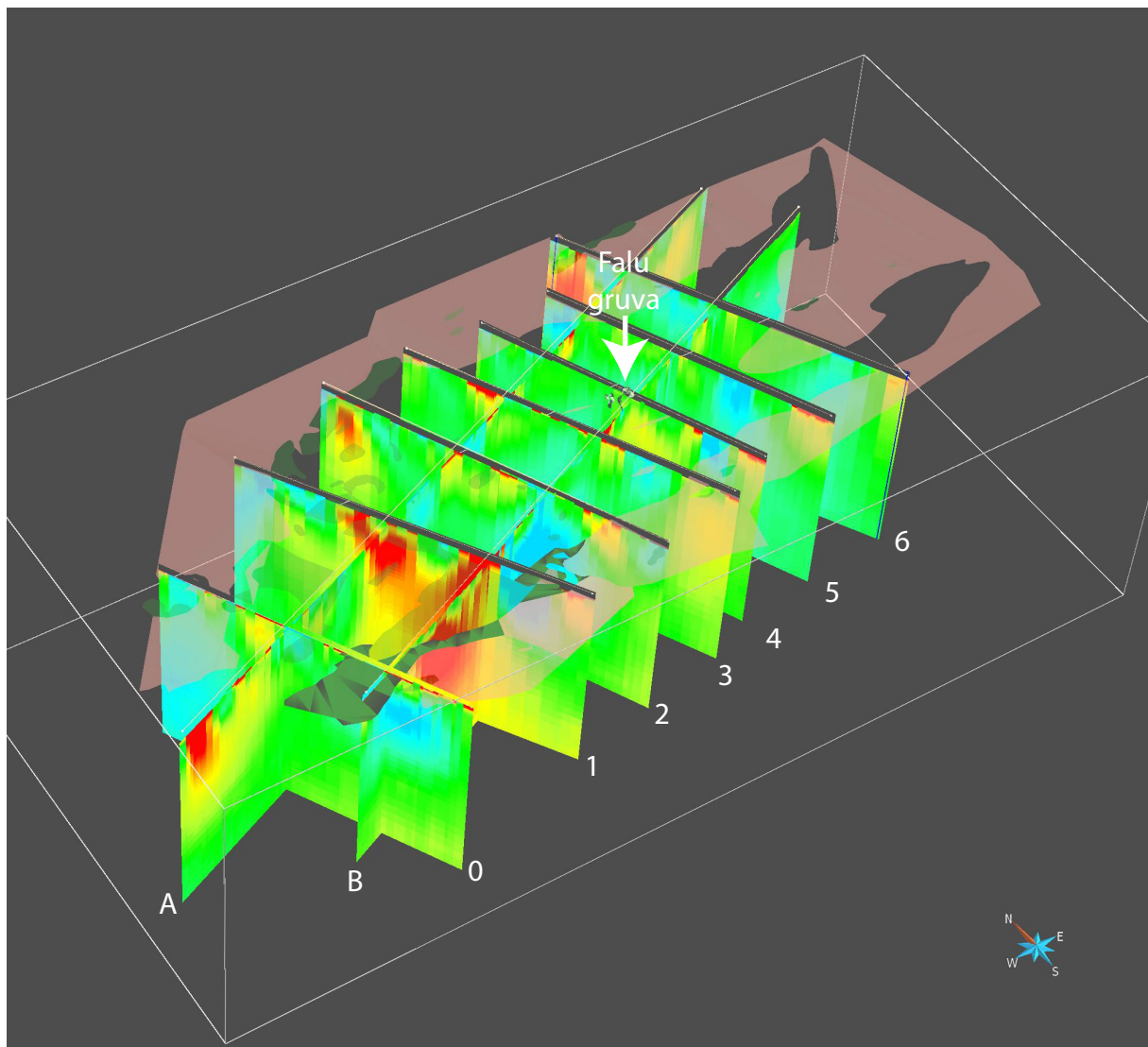
- Andersson, M., 2009: Metaller och andra ämnen i morän. Regionen Falun-Gävle-Sala. *Sveriges geologiska undersökning K 148*, 89 s.
- Arnbom, J.-O., 1999: Beskrivning till berggrundskartan 11G Västerås SO. *Sveriges geologiska undersökning Af 204*, 46 s.
- Bastani, M. & Pedersen, L. B., 2001: Estimation of magnetotelluric transfer functions from radio transmitters. *Geophysics* 66, 1038–1051.
- Boynnton, W.V., 1984: Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. I P. Henderson (red.): Rare earth element geochemistry. *Elsevier, Amsterdam*, 63–114.
- Bromley-Challenor, M.D., 1988: The Falun supracrustal belt. Part 1: primary geochemical characteristics of proterozoic metavolcanics and granites. *Geologie en Mijnbouw* 67, 239–253.
- Debon, F. & Le Fort, P., 1983: A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations. *Transactions of Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 73, 135–149.
- Döse, M. & Kübler, L., 2011: Beskrivning till bergskvalitetskartan Södra Dalarna. *Sveriges geologiska undersökning K 368*, 56 s.
- Fredén, C. (red.), 2002: Berg och jord. Sveriges Nationalatlas, *SNA förlag, Vällingby*, 208 s.
- Geijer, P., 1917: Falutraktens berggrund och malmfyndigheter. *Sveriges geologiska undersökning C 275*, 316 s.
- Hjelmqvist, S., 1966: Beskrivning till berggrundskarta över Kopparbergs län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 40*, 217 s.
- Hughes, C.J., 1973: Spilites, keratophyres and the igneous spectrum. *Geological Magazine* 6, 513–527.
- Ising, J., 2008: Beskrivning till jordartskartan 13F Falun SO. *Sveriges geologiska undersökning K 100*, 28 s.
- Johansson, Å. & Hålenius, U., 2012: Palaeoproterozoic mafic intrusions along the Avesta–Östhammar belt, east-central Sweden: mineralogy, geochemistry, and magmatic evolution. *International Geology Review*, 1–27.
- Kampmann, T.C., Stephens, M.B., Ripa, M., Hellström, F.A. & Weihed, P., 2015: Timing of magmatism, hydrothermal activity and mineralisation at the Falun base metal sulphide deposit, Sweden, using U-Pb (zircon) systematics. I T.C. Kampmann: *3D structural framework and constraints on the timing of hydrothermal alteration and ore formation at the Falun Zn-Pb-Cu-(Au-Ag) sulphide deposit, Bergslagen, Sweden*. Licentiatavhandling, Luleå tekniska universitet, appendix 2.
- Koark, H.J., 1962: Zur Altersstellung und Entstehung der Sulfiderze vom Typus Falun. *Geologische Rundschau* 52, 123–146.
- Koark, H., Kresten, P., Laufeld, S. & Sandvall, J., 1986: Geology of the Falu Mine. *Sveriges geologiska undersökning. ISBN 91-7158-408-0*, 28 s.
- Kresten, P. & Aaro, S., 1987: Berggrundskartan 13F Falun SO. *Sveriges geologiska undersökning Ai 18*.
- Krüger, J., 1979: Structures and textures in till indicating subglacial deposition. *Boreas* 8, 323–340.
- Kulling, O. & Hjelmqvist, S., 1948: Beskrivning till kartbladet Falun. *Sveriges geologiska undersökning Aa 189*, 184 s.
- Lange, I.M., Reynolds, R.C. & Lyons, J.B., 1966: K/Rb ratios in coexisting K-feldspars and biotites from some New England granites and metasediments. *Chemical Geology* 1, 317–322.
- Lasskogen, J., 2010: *Volcanological and volcano-sedimentary facies stratigraphical interpretation of the Falun Cu-Zn-Pb-(Ag-Au) sulphide deposit, Bergslagen district, Sweden*. Masters-uppsats vid Luleå tekniska universitet 2010:028, 104 s.
- Lundqvist, G., 1951: Beskrivning till jordartskarta över Kopparbergs län. *Sveriges geologiska undersökning Ca 21*, 213 s.
- MacLean, W.H. & Barrett, T.J., 1993: Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48, 109–133.
- Magnusson, N.H., 1973: Malm i Sverige 1. Mellersta och södra Sverige. *Almqvist & Wiksell, Stockholm*, 320 s.
- Pearce, J.A., 1983: Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margin. In C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (red.): Continental Basalts and Mantle Xenoliths, *Shiva Publishing Ltd.*, 231–272.
- Pedersen, L.B. & Becken, M., 2005: Equivalent images derived from very-low-frequency (VLF) profile data. *Geophysics* 70, 43–50.
- Ripa, M., Bastani, M., Carlsson, M., Jönberger, J. & Nysten, P., 2012: Berggrundsgeologisk undersökning, kartområdet Falun. *Sveriges geologiska undersökning Rapport 2012:20*, 16 s.
- Ripa, M. (red.), Sundberg, A., Wik, N.-G., Bergman, T., Claeson, D., Hallberg, A., Hellström, F., Kübler, L. &

- Nysten, P., 2015: Malmer, industriella mineral och bergarter i Dalarnas län. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter & meddelanden* 139, 918 s.
- Smeds, S.-A., 1990: Regional trends in mineral assemblages of Swedish Proterozoic granitic pegmatites and their geological significance. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 112, 227–242.
- Smeds, S.-A., 1994: Zoning and fractionation trends of a peraluminous NYF granitic pegmatite field at Falun, south-central Sweden. *GFF* 116, 175–184.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba* 58, 259 s.
- Söderlund, U., Isachsen, C.E., Bylund, G., Heaman, L.H., Patchett, P.J., Vervoort, J.D & Andersson, U.B., 2005: U-Pb baddeleyite ages and Hf, Nd isotope chemistry constraining repeated mafic magmatism in the Fennoscandian Shield from 1.6 to 0.9 Ga. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 150, 174–194.
- Tegengren m.fl., F.R., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges geologiska undersökning Ca* 17, 406 s.
- Thompson, R.N., 1982: Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province. *Scottish Journal of Geology* 18, 49–107.
- Törnebohm, A.E., 1893: Om Falu gruvfas geologi. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 15, 609–690.
- Weijermars, R., 1987: Structure, origin, history and future of Faluns sulphide deposit, Bergslagen ore province, central Sweden. *Konsultrapport till Stora Kopparbergs Bergslags AB*, 51 s.
- Winchester, J.A. & Floyd, P.A., 1977: Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325–343.
- Zakrzewski, M.A., 1989: Sperrylite from the Ni-Cu sulphide deposit of Kuså, Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 111, 100.
- Åberg, A. & Fallick, A.E., 1993: A fluid inclusion and light element stable isotope study of the gold-bearing quartz vein system, Falun, Sweden. *Mineralium Deposita* 28, 324–333.

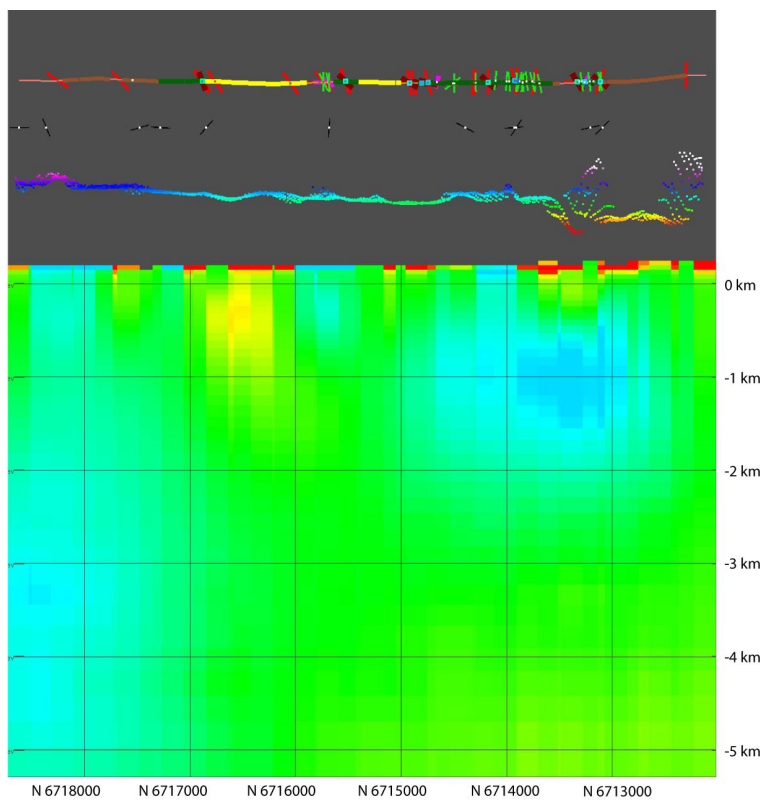
BILAGA 1. PROFILER

Figureerna B2–B10 visar detaljer av profilerna i figur B1. Färgerna i övre linjen relaterar till berggrundskartan. Tvärande röda, lila och mörka linjer är projektioner av foliation, icke penetrativ foliation (spaced cleavage) respektive sträckningslineation. Tvärande gröna linjer motsvarar foliationsmätningar från tidigare SGU-projekt. De svarta tvärstrecken i mellanlinjen är stupningar som beräknats med hjälp av magnetiska anomalier. Den tredje linjen uppifrån är den magnetiska bilden. Under denna kommer densitetsmodellen vara röd och blå färger representerar högre respektive lägre densiteter än genomsnittet som markeras med grön färg. Notera att modellblockens (*grid cell*) storlek ökar med djupet.

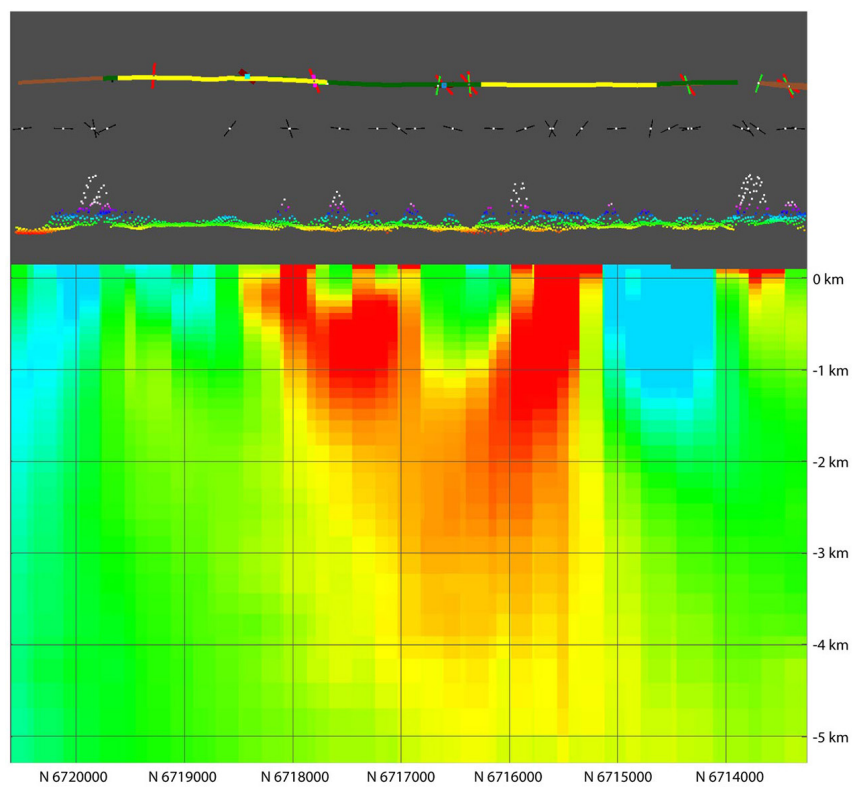
Figures B2–B10 show details of the profiles of Figure B1. The colours along the upper line refer to the different lithologies. The red, purple, and dark red lines onto this are projected dip lines of the main foliation, spaced cleavage and stretching lineations, respectively. The green lines correspond to foliations measured before this study (pre-2012). The black dip lines on the second line from above are calculated from the airborne magnetic anomaly, which is shown along the third line from the top. The grid profile below these lines is based on inverse gravity modelling in where red and blue represent higher and lower densities with respect to an average value (green colour). Note that the grid cell sizes increase with depth.



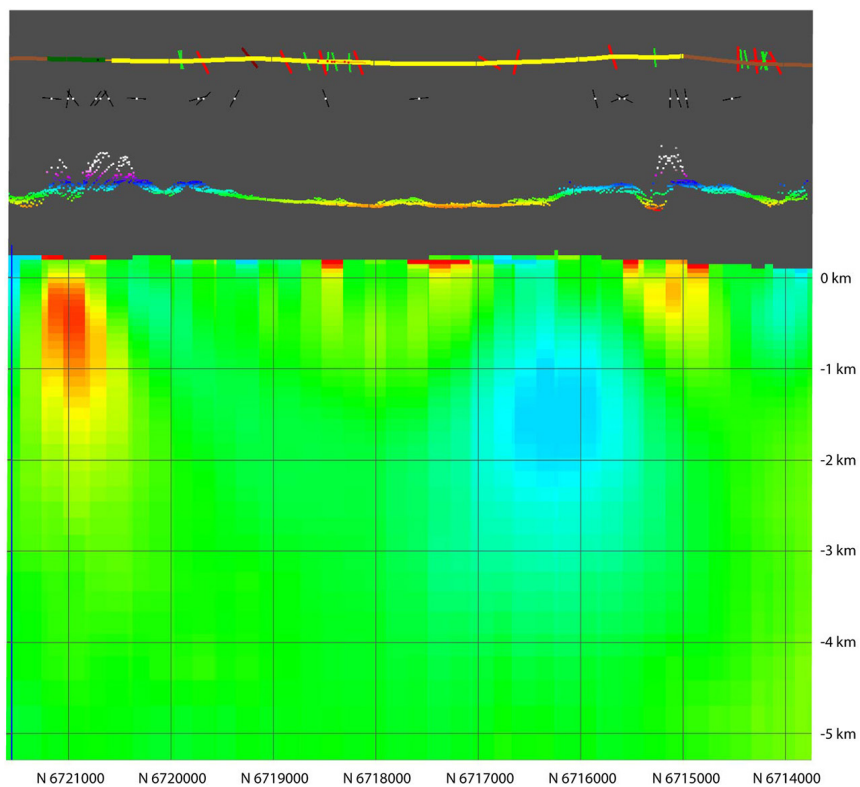
Figur B1. Profiler från den regionala densitetsmodellen.
Profiles extracted from the regional gravity model.



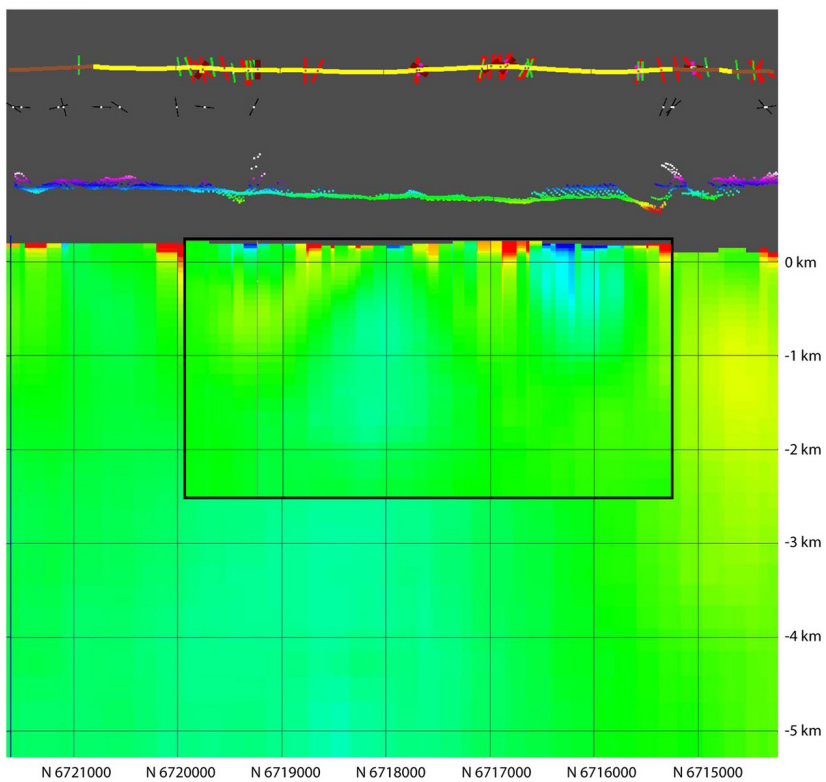
Figur B2. Profiler längs sektion 0.
Profiles taken along section line 0.



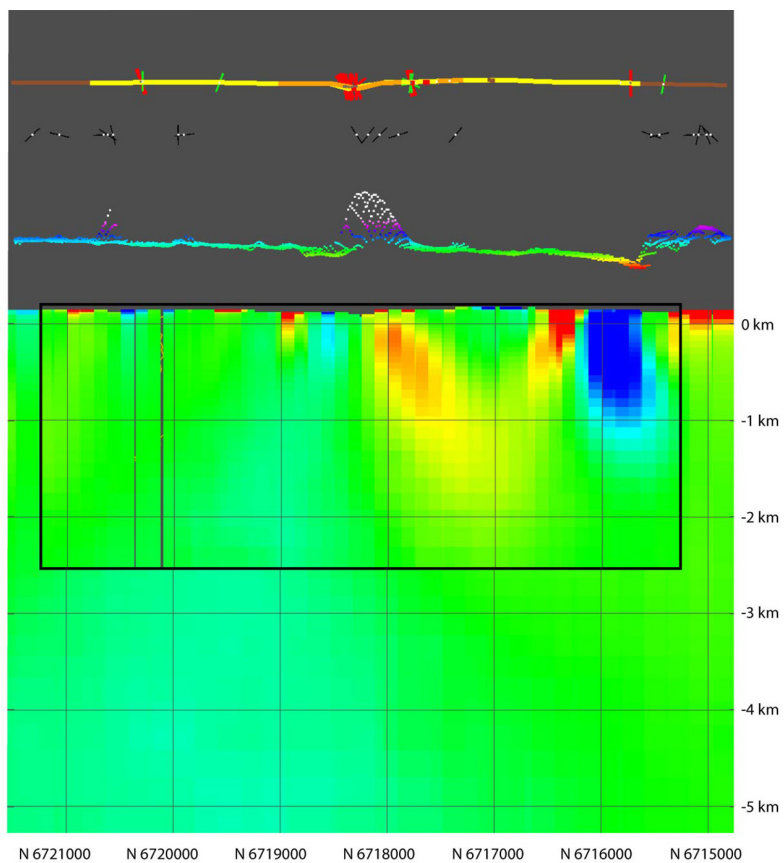
Figur B3. Profiler längs sektion 1.
Profiles taken along section line 1.



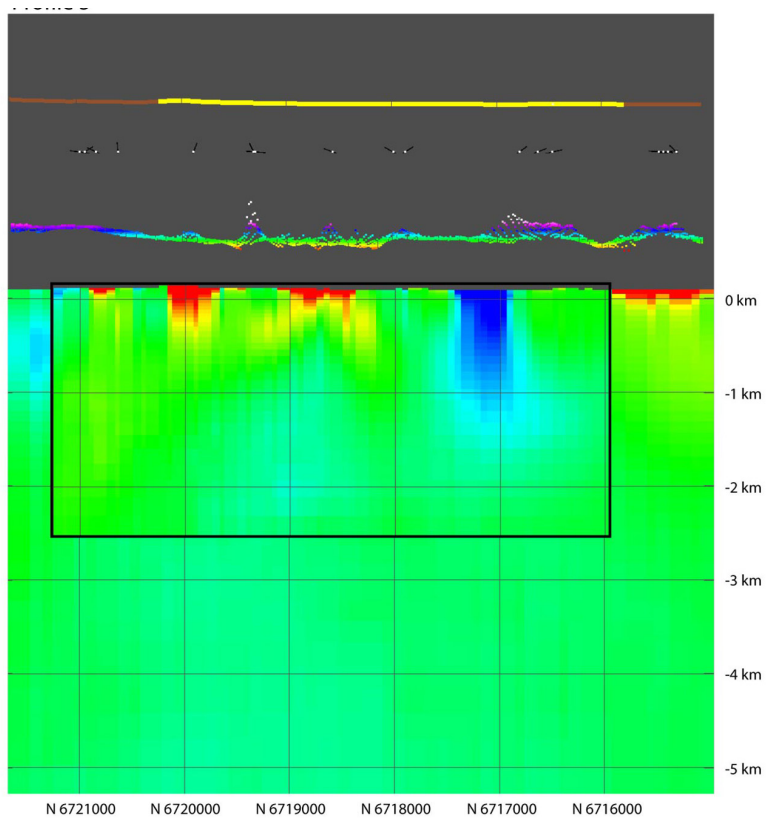
Figur B4. Profiler längs sektion 2.
Profiles taken along section line 2.



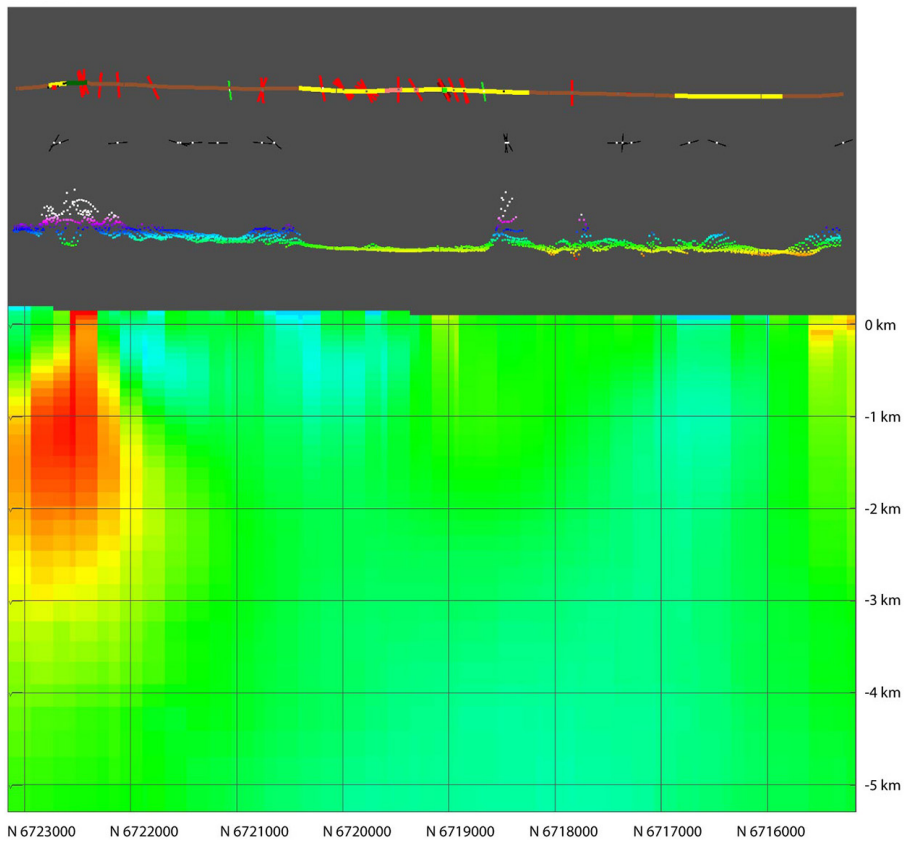
Figur B5. Profiler längs sektion 3.
Profiles taken along section line 3.



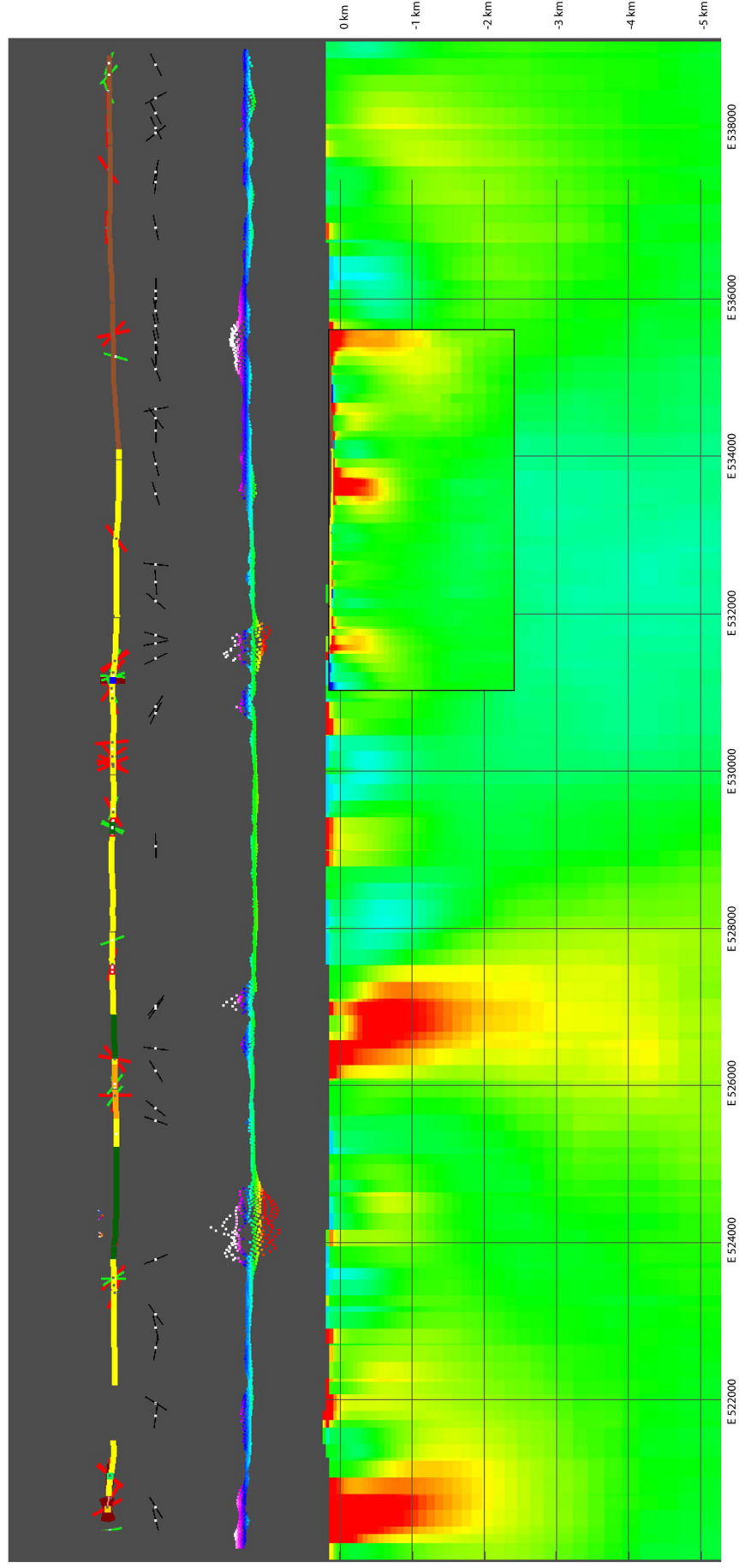
Figur B6. Profiler längs sektion 4.
Profiles taken along section line 4.



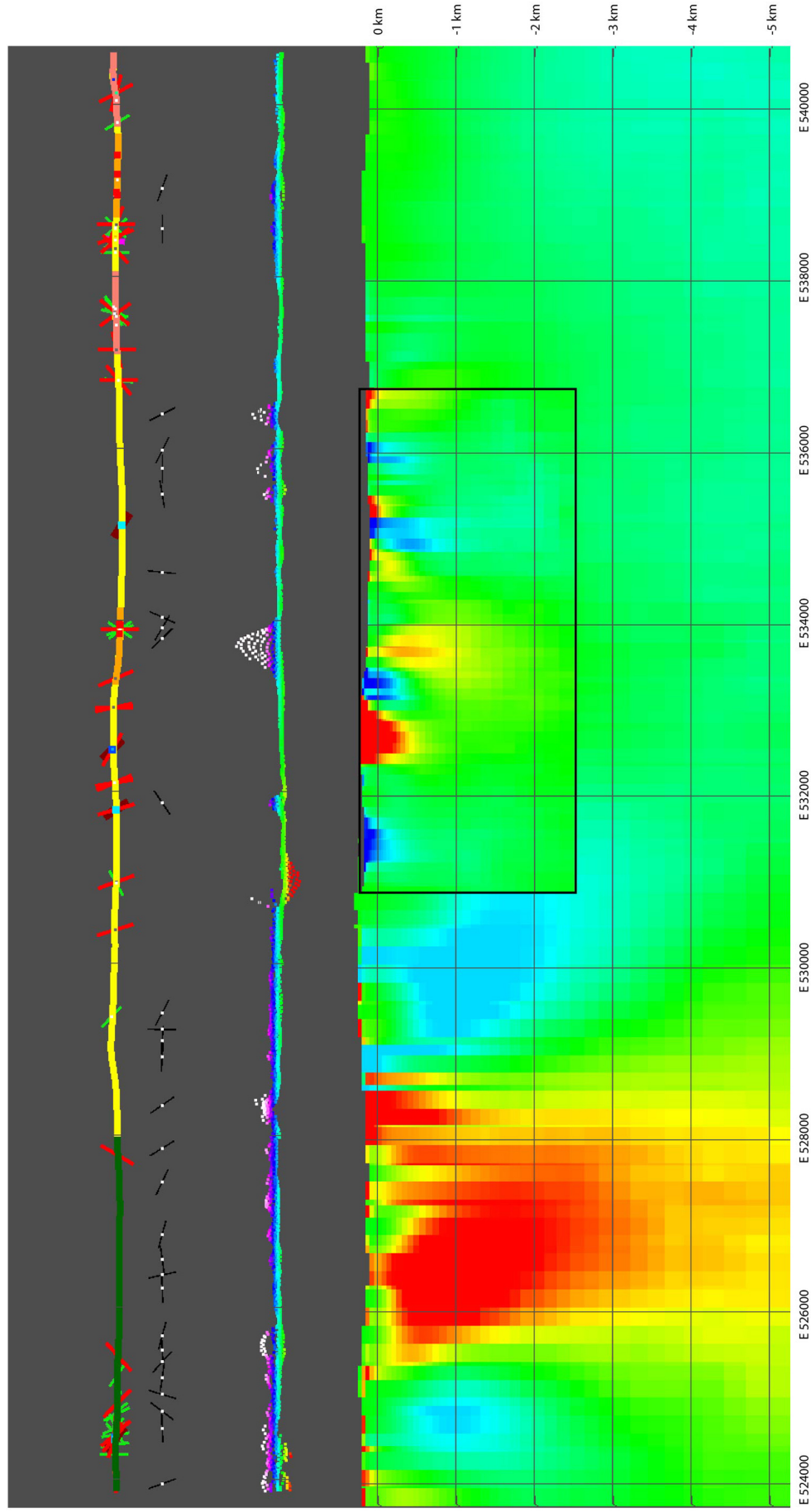
Figur B7. Profiler längs sektion 5.
Profiles taken along section line 5.



Figur B8. Profiler längs sektion 6.
Profiles taken along section line 6.



Figur B9. Profiler längs sektion A.
Profiles taken along section line A.



Figur B10. Profiler längs sektion B.
Profiles taken along section line B.

BILAGA 2. LITOGEOKEMI

Prov-ID	CMR120001A	CMR120008A	CMR120009A	CMR120015A	CMR120037A	CMR120073A	CMR130174A	PNY120111A
Bergart	Ryolit	Ryolit	Ryolit	Ryolitoid	Ryolitoid	Ryolit	Ryolit	Dacit
Ålder (Ga)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
N-koord	6721017	6720524	6720613	6719612	6720038	6715960	6717890	6719816
O-koord	529058	529194	529324	530414	527782	523370	526650	532301
SiO ₂	77,2	78,3	75,1	54,3	75,6	72,8	72,7	80,3
Al ₂ O ₃	11,85	11,55	12,1	17,1	11,25	12,55	12,05	10,65
TiO ₂	0,07	0,13	0,19	0,26	0,37	0,14	0,2	0,09
Fe ₂ O ₃	0,48	1,25	2,92	11	5,82	2,62	4,02	1,3
CaO	0,38	1,52	1,09	0,87	0,6	1,05	0,79	0,48
MgO	0,09	0,27	0,42	4,32	1,12	1,23	1,39	0,56
Na ₂ O	3,91	5,57	3,57	6,54	4,98	2,58	2,46	1,9
K ₂ O	4,23	0,37	3,68	0,44	0,27	4,81	4,37	3,97
MnO	0,01	0,04	0,01	0,22	0,06	0,04	0,06	0,03
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,03		0,14	0,04	0,04	0,02
C	0,02	0,02	0,02	0,03		0,05	0,01	0,02
S								
LOI	0,37	0,46	0,57	3,39	1,35	1,4	1,1	0,89
Total	98,74	99,5	99,81	98,46	101,57	99,46	99,34	100,34
Ag		0,02	0,02		0,01	0,01	0,01	0,03
As		0,2	0,4	0,2	0,2		0,1	0,5
Au (ppb)				0,001	0,001	0,001	0,001	
Ba	1085	96,5	1065	101,5	38,3	1675	1395	1185
Bi	0,18	0,1	0,1	0,11	0,11	0,15	0,04	0,22
Cd	0,02	0,06	0,04	0,08	0,01	0,08	0,05	0,01
Ce	29,2	59,3	52,8	113,5	54,4	43,6	62,5	73,4
Cl			130					
Co		1	1	5	12	2	1	1
Cr	10	20	10	10	10		10	10
Cs	0,36	0,04	0,37	0,04	0,08	0,68	0,84	0,52
Cu	2	3	5,4	0,6	56,7	3,3	2,2	8,7
Dy	3,73	5,2	5,4	10,45	6,21	4,3	7,68	4,75
Er	2,79	3,2	3,69	6,47	4,1	3,05	5,17	3
Eu	0,16	0,8	0,85	1,56	1,16	0,57	1,28	0,45
Ga	12,6	15	16,2	26,3	13	14,3	18,7	14,1
Ge		0,09	0,1	0,16	0,08	0,1	0,09	0,07
Gd	2,39	4,46	4,48	9,86	5,84	3,18	6,36	4,68
Hf	3,8	4,8	4,6	9,6	4,3	4,8	5,3	4
Hg		0,009	0,005	0,005				
Ho	0,85	1,11	1,12	2,18	1,35	0,95	1,67	1,03
In	0,015	0,025	0,043	0,098	0,037	0,041	0,022	0,007
La	9	18,6	25,8	48,7	27,1	19	32,1	39,2
Li	0,5	0,6	1,8	11,5	3,2	9,7	6,7	3,4
Lu	0,48	0,7	0,68	1,04	0,64	0,55	0,86	0,54
Mo	0,09	0,14	0,23		0,15	0,05	0,05	0,35
Nb	14,8	9,7	11,1	16,4	9,7	11,2	11,9	10,6
Nd	8,4	18,2	22,3	47,4	27,4	14,9	29,3	28
Ni	2	2	3	6	3	2	4	1
Pb	11	8	10	8		21	10	12
Pr	2,19	4,65	5,99	12,35	6,8	4,15	7,36	8,04
Rb	57,8	6,3	75,7	11	11,3	82	76,1	145
Sb		0,08	0,07					0,06
Sc	3	8	8	8	9	4	7	3
Se	0,2	0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	0,3	0,4
Sm	2,09	4,28	4,87	10,85	6,08	3,46	5,82	5,44
Sn	2	3	2	4	1	2	4	4
Sr	58,9	66,4	98,3	87	50,3	102,5	97,2	47
Ta	1,3	0,7	0,8	1,2	0,7	0,8	0,8	0,9
Tb	0,5	0,81	0,77	1,61	0,96	0,57	1,06	0,78
Te		0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	
Th	15,9	9,18	12,15	18,7	9,91	13,1	11,9	18,1
Tl			0,13			0,04	0,21	0,5
Tm	0,44	0,51	0,54	0,97	0,6	0,48	0,75	0,48
U	3,55	2,45	3,2	4,87	4,28	3,72	4,06	5,12
V				13	24			
W	0,26	0,14	0,48	0,14	0,45	0,33	0,53	0,23
Y	21,3	28,4	31,3	54,9	34,7	26,1	45,3	29,8
Yb	3,14	4,15	4,05	6,72	4,18	3,58	5,2	3,31
Zn	5	28	23	302	25	55	49	17
Zr	106	196	159	352	166	172	193	134

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	PNY120147A	PNY120185A	PNY120196A	PNY120275A	PNY120292A	PNY130212A	PNY130221A	PNY130226A
Bergart	Dacit	Ryolit	Ryolit	Ryolitoid	Ryolit	Dacit	Ryolit	Dacit
Ålder (Ga)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
N-koord	6718405	6717000	6715872	6720231	6720644	6720778	6719559	6719128
O-koord	531219	533762	532643	538481	538951	540308	537644	536842
SiO ₂	77,3	69,7	77,7	75,3	75	74,9	77,2	78
Al ₂ O ₃	10,7	14,8	11,05	11,95	12,6	9,43	12,4	11,1
TiO ₂	0,15	0,34	0,09	0,08	0,28	0,08	0,1	0,1
Fe ₂ O ₃	2,23	4,53	2,02	2,16	3,06	3,82	1,04	0,97
CaO	0,18	1,53	0,42	1,3	1,33	2,43	0,48	0,09
MgO	1,16	1,74	0,12	0,62	0,92	2,06	0,47	0,92
Na ₂ O	1,17	4,8	3,92	1,52	3,77	1,18	3,8	0,6
K ₂ O	6,76	1,35	3,36	5,73	2,78	4,56	4,17	6,96
MnO	0,1	0,08	0,04	0,11	0,07	0,18	0,02	0,03
P ₂ O ₅	0,04	0,08		0,02	0,01	0,04	0,02	0,02
C	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01
S		0,01	0,01					
LOI	0,61	1,75	0,63	0,64	0,76	0,75	0,64	0,79
Total	100,56	100,8	99,46	99,54	100,74	99,56	100,55	99,76
Ag	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04		0,02	0,02
As	0,1	0,1	0,4	0,5		0,1		
Au (ppb)		0,001	0,001	0,004		0,003	0,001	0,001
Ba	1230	691	963	913	1270	1090	1830	1585
Bi	0,03	0,17	0,11	0,04	0,05	0,6	0,15	0,06
Cd	0,19	0,06	0,04	0,01	0,01	0,03	0,01	0,06
Ce	70,9	36,2	85,2	63,2	68,2	33,7	73,9	55,5
Cl								
Co		5		3	2	5	1	1
Cr	10	10	10	10	10	10	10	10
Cs	0,3	0,46	0,1	3,45	1,83	0,83	0,22	1,6
Cu	7,7	4	4,4	2	4,2	3,7	1,8	5,6
Dy	6,56	2	9,39	5,18	5,38	4,32	5,18	5,25
Er	4,22	1,13	5,82	3,2	3,45	2,93	3,6	3,94
Eu	0,83	1,15	0,78	0,36	1,05	0,26	0,5	0,37
Ga	13,2	16,4	20,1	15,3	18,3	12,7	12,4	13,1
Ge	0,11	0,09	0,14	0,13	0,11	0,09	0,05	0,06
Gd	6,18	2,09	7,7	4,96	5,27	2,93	4,33	4,33
Hf	5,6	2,8	6,4	3,7	5,2	3,5	4	4,1
Hg								
Ho	1,44	0,43	2,06	1,12	1,19	0,96	1,15	1,17
In	0,015	0,008	0,066	0,016	0,021	0,016	0,028	0,015
La	39,8	19,2	40,1	31,7	33,7	12,7	35,8	27,7
Li	3,9	5,9	1,1	7,1	21,7	3,3	2,4	4,5
Lu	0,75	0,2	1	0,58	0,59	0,52	0,6	0,62
Mo	0,48	0,63	0,74	0,95	0,83	0,48	0,12	0,49
Nb	10,5	5,7	14,9	10,6	13	10,1	10,8	11,3
Nd	33,2	14,1	38,5	25,5	28	11,1	27,8	21,7
Ni	1	2	1	1	2	7	2	2
Pb	169	34	11	57	13	25	15	27
Pr	8,9	3,94	10,25	7,21	7,87	2,79	7,54	5,95
Rb	92,9	34,3	68,3	457	154	123	73,8	143
Sb			0,05	0,12			0,05	
Sc	6	10	1	3	8	3	5	3
Se	0,4	0,4	1,6	0,5	0,5	0,2	0,3	0,2
Sm	6,72	2,74	8,84	5,58	5,83	2,62	4,87	4,53
Sn	2	1	2	2	2	3	2	2
Sr	50,8	94,5	39	31,9	66,3	76,4	62,4	36,9
Ta	0,8	0,4	1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,9
Tb	1,01	0,34	1,42	0,83	0,89	0,6	0,78	0,74
Te		0,02			0,01	0,05		0,01
Th	11,3	4,13	16	19,3	15,6	14,15	12,65	13,65
Tl	0,5			5,1	0,8	0,11		0,25
Tm	0,68	0,18	0,96	0,54	0,55	0,49	0,52	0,54
U	3,81	1,76	4,55	3,47	3,67	3,13	3,26	5,27
V		22				7	5	
W	0,56	0,31	0,29	1,53	0,6	0,48	0,1	0,36
Y	40,3	11,5	53,2	32,3	33,4	27,8	32,8	33,1
Yb	4,71	1,27	6,44	3,83	3,8	3,38	3,61	3,9
Zn	152	47	48	36	31	60	17	56
Zr	194	117	226	109	197	114	128	136

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	PNY130237A	PNY130247A	PNY130327A	slh130078a	slh130081a	slh130087a	slh130095a	slh130096a
Bergart	Ryolit	Ryolit	Ryolit	Ryolitoid	Ryolitoid	Hydrothermal bergart	Malmkvartsit?	Malmkvartsit?
Ålder (Ga)	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
N-koord	6718632	6718799	6719735	6716913	6717668	6717000	6718346	6718375
O-koord	538610	538568	536965	526513	532055	534853	533027	533190
SiO ₂	79,3	78,4	69,6	75,5	76,2	80,8	78,5	68,2
Al ₂ O ₃	11,75	11,8	17,05	13	11,75	9,17	12,5	8,3
TiO ₂	0,11	0,12	0,22	0,23	0,07	0,13	0,11	0,1
Fe ₂ O ₃	0,99	1,38	3,15	2,46	1,46	2,54	4,02	9,18
CaO	2,06	2,12	1,25	0,66	0,17	0,03	0,01	4,2
MgO	0,07	0,12	1,77	2,11	0,93	2,87	3,03	6,55
Na ₂ O	4,86	5,42	4,03	2,53	1,37	0,41	0,09	0,29
K ₂ O	0,4	0,14	2,43	2,45	6,47	1,96	2,37	0,87
MnO	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,02	0,02	0,11
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,04	0,05		0,01	0,02	0,02
C	0,01	0,01	0,04	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02
S							0,01	0,58
LOI	0,36	0,24	2,21	1,95	1,06	2,39	1,01	1,43
Total	99,97	99,78	101,85	101,16	99,57	100,43	101,69	99,26
Ag			0,01		0,01		0,12	0,18
As		0,1			0,1	0,1	1,4	0,3
Au (ppb)				0,001			0,005	0,001
Ba	268	55,4	449	1405	697	897	65,3	70,1
Bi	0,11	0,12	0,55	0,12	0,06	0,05	1,89	0,13
Cd		0,01	0,02	0,01	0,04	0,01	0,02	0,11
Ce	73,4	62,5	120,5	54,8	78,9	65,5	40,1	59,8
Cl		120						
Co			1	3		1		1
Cr	20	30	10	20	10	10	10	30
Cs	0,22	0,01	0,9	0,15	0,27	0,49	0,72	0,39
Cu	0,4	1,2	7	1,3	0,9	0,7	96,6	58,1
Dy	9,98	7,57	7,93	4,42	6,95	4,12	5,61	5,11
Er	7,64	5,17	5,23	2,81	4,39	2,7	4,04	3,58
Eu	0,77	1,07	1,35	0,88	0,25	0,47	0,3	0,73
Ga	17,5	17,7	26	15,2	16,8	12,8	14,8	10,8
Ge	0,13	0,18	0,11	0,06	0,08	0,07	0,09	0,06
Gd	6,68	7,45	8,3	4,56	5,2	3,96	4,13	5,18
Hf	6,6	6,7	7,9	5,6	5,8	4,8	5,5	3,6
Hg							0,091	
Ho	2,4	1,66	1,66	0,95	1,43	0,87	1,28	1,12
In	0,063	0,068	0,018	0,014	0,024	0,009		0,025
La	36,6	31,1	63,4	27,9	30,1	32,4	18,4	30,6
Li	0,5	0,4	12,7	4,2	3,1	3,2	2,5	1,3
Lu	1,17	0,92	0,79	0,45	0,71	0,43	0,71	0,5
Mo	0,14	0,12		0,85	0,06		1,58	0,25
Nb	14,9	13,9	19,2	9,8	19,5	10,2	12,2	5,2
Nd	31,1	29,4	50,9	25,9	29,4	26,8	16,6	24,8
Ni	2	1	3	7	2	2	2	3
Pb	5	6	88	3	15	7	67	61
Pr	8,31	7,2	13,65	6,58	7,7	7,08	4,38	6,59
Rb	4,8	1,8	93,5	36,4	97,6	47,3	94,9	30,9
Sb			0,15				0,05	
Sc	4	5	11	7	2	5	4	4
Se	0,9	0,8	0,4	0,4	0,4	0,2	0,4	0,3
Sm	6,64	7,21	9,44	4,86	6,02	4,87	3,71	5,46
Sn	5	8	5	3	3	4	4	4
Sr	143,5	83,1	85,2	71,2	36,2	9,2	2,7	38,1
Ta	1,1	1	1,5	0,7	1,5	0,8	1,1	0,4
Tb	1,31	1,22	1,28	0,67	0,97	0,61	0,82	0,79
Te	0,01			0,01		0,01	0,01	0,02
Th	16,35	14,95	21,2	10,45	20,9	14,3	16,7	10,35
Tl	0,02		0,07		0,06	0,02	0,82	0,07
Tm	1,12	0,81	0,88	0,42	0,69	0,41	0,65	0,51
U	4,13	3,99	4,91	4,23	6,03	2,81	4,09	3,26
V			5	28		16		
W	0,35	0,11	0,23	0,23	0,14	0,06	0,61	0,1
Y	62,5	45,9	48	27,3	37,8	23,7	35,1	31,2
Yb	7,96	5,67	5,36	2,92	4,5	2,86	4,61	3,63
Zn	8	12	50	34	45	18	54	548
Zr	229	231	297	223	150	170	196	136

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	slh130097A	CMR120026A	CMR120053A	CMR120060A	CMR130142A	PNY120150A	PNY120180A	PNY120196B
Bergart	Metavulkanit?	Granit	Granit	Granit	Granit	Tonalit	Sur bergart	Granit
Ålder (Ga)	1,90	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
N-koord	6717019	6718566	6713797	6718643	6721010	6718229	6715286	6715872
O-koord	533730	521448	524925	523642	527000	532338	533759	532643
SiO ₂	74,2	71,7	76,6	73	70,8	71,8	67,3	78,2
Al ₂ O ₃	12,35	12,95	12,35	13,5	14,35	13,4	14,25	11,3
TiO ₂	0,26	0,22	0,14	0,23	0,32	0,29	0,52	0,09
Fe ₂ O ₃	3,2	3,33	2,25	3,39	4,93	4,27	6,45	2,01
CaO	0,23	0,77	0,68	0,95	1,22	0,79	4,17	0,46
MgO	1,84	0,32	0,42	0,35	0,55	2,07	1,47	0,05
Na ₂ O	4,8	3,79	4,17	4,16	4,61	2,37	3,55	4,01
K ₂ O	0,9	4,1	3,15	3,99	3,15	2,95	2,31	3,88
MnO	0,03	0,05	0,02	0,04	0,09	0,14	0,11	0,05
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,03	0,06	0,08	0,07	0,17	
C		0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
S						0,02	0,01	0,01
LOI	1,76	1,07	0,83	1,14	1,16	1,76	0,88	0,51
Total	99,66	98,48	100,77	100,96	101,42	100,1	101,33	100,67
Ag	0,01	0,01	0,01		0,01	0,06	0,02	0,05
As		0,2	0,1		0,2	0,1	0,1	0,7
Au (ppb)	0,001		0,002					0,001
Ba	328	1080	1095	1265	1270	1605	908	901
Bi	0,06	0,05	0,27	0,12	0,25	0,05	0,05	0,31
Cd	0,02		0,01	0,01	0,02	0,88	0,02	0,04
Ce	40,5	61,5	73,5	56,9	56,8	44,9	57,1	95
Cl				140				
Co	3	3		2	4	5	12	1
Cr	10	20	10	10	20	10	10	20
Cs	0,33	0,86	0,13	0,38	0,72	0,55	0,77	0,17
Cu	0,9	1,3	9,6	5,8	39,1	16,2	14,1	5,5
Dy	2,39	5,58	5,92	5,92	5,3	2,37	4,28	10,05
Er	1,57	3,73	3,63	3,92	3,59	1,55	2,7	6,69
Eu	0,86	0,84	0,96	0,78	1,22	1,02	1,06	0,85
Ga	14,2	15,3	17,9	14,8	14,9	17,8	16,9	20,3
Ge	0,05	0,09	0,08	0,09	0,1	0,09	0,18	0,16
Gd	2,3	5,14	4,9	5,04	5,18	2,7	4,19	8,61
Hf	3	5,1	5,9	4,8	6,3	3,5	4,1	7,2
Hg								
Ho	0,46	1,18	1,26	1,27	1,18	0,52	0,93	2,32
In	0,027	0,033	0,021	0,03	0,044	0,005	0,018	0,085
La	21	32,1	35,9	28,5	29,7	23,9	30,8	44,9
Li	5,7	1,9	3,6	1,9	3,2	7,5	5	0,4
Lu	0,25	0,65	0,63	0,63	0,61	0,29	0,44	1,2
Mo	0,06	0,27	0,09	0,26	0,13	1,2	0,57	1,16
Nb	6,8	12,8	15,3	12,8	11,2	6,7	8,7	16,5
Nd	15,3	26,4	29,2	23,6	26	18,1	23,4	41
Ni	4	1	4	3	3	2	3	
Pb	4	5	18	4	5	347	11	13
Pr	4,38	7,09	7,86	6,26	6,8	5,03	6,56	11,25
Rb	27,7	108	58,5	85,8	61,1	58,5	62,5	103
Sb						0,05		0,06
Sc	8	7	6	7	9	9	13	1
Se		0,4	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	1,5
Sm	2,9	5,19	5,87	5,56	5,43	3,42	4,73	9,32
Sn	1	2	3	2	3	5	2	2
Sr	31,9	98,7	40,1	98,3	124	60,7	361	28,1
Ta	0,5	0,9	1,2	0,8	0,8	0,5	0,7	1,2
Tb	0,35	0,79	0,91	0,87	0,83	0,4	0,7	1,57
Te	0,02	0,01	0,07	0,01	0,03			0,01
Th	6,34	13,65	13,7	11,7	10,2	6,56	11,3	17,45
Tl	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02			
Tm	0,21	0,58	0,6	0,59	0,52	0,24	0,42	1,05
U	2,38	6,05	3,97	4,57	3,1	2,68	2,82	5,77
V	17	8		9	17	30	88	
W	0,05	0,09	0,23	0,09	0,33	0,42	0,33	0,34
Y	12,5	33,8	34	35,4	33,2	13,5	26,6	62,4
Yb	1,55	4,04	3,75	3,93	3,84	1,8	2,84	7,51
Zn	17	34	30	20	53	573	63	45
Zr	118	188	209	189	255	132	153	248

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	PNY120255A	PNY120256A	PNY120272A	PNY130189A	PNY130245A	PNY130285A	CMR120025A
Bergart	Granit	Granodiorit	Granit	Granit	Granit	Granit	Kvartsmonzodiorit
Ålder (Ga)	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,86
N-koord	6720616	6720590	6720663	6721641	6719097	6719078	6712257
O-koord	536175	536173	538360	537580	538902	539405	524417
SiO ₂	75,2	77,6	77,6	53,3	52,6	54	51,2
Al ₂ O ₃	12,45	11,7	12,3	14,45	20,9	11,45	15,95
TiO ₂	0,19	0,1	0,15	1,33	0,75	0,93	0,68
Fe ₂ O ₃	2,73	1,92	1,56	10,6	7,87	15,15	10,2
CaO	1,59	0,66	2,4	7,52	9,35	5,24	8,93
MgO	0,26	0,08	0,22	4,11	1,98	7,64	6,61
Na ₂ O	3,74	4,39	5,04	2,32	3,59	0,61	3,24
K ₂ O	2,96	3,14	0,28	1,88	0,83	0,25	1,07
MnO	0,04	0,01	0,02	0,16	0,13	0,28	0,24
P ₂ O ₅	0,04	0,02	0,03	0,66	0,54	0,34	0,2
C	0,01	0,01	0,03	0,04	0,02	0,05	0,01
S				0,05	0,01		0,01
LOI	0,66	0,3	0,48	2,21	2,11	4,16	1,07
Total	100,02	100,14	100,13	98,75	100,75	100,12	99,47
Ag	0,01		0,01	0,03	0,05		0,02
As	0,1	0,1		0,1	0,2	0,3	0,1
Au (ppb)	0,001	0,001				0,002	0,001
Ba	1240	2020	270	1210	375	60,8	368
Bi	0,05	0,18	0,1	0,04	0,2	0,23	0,09
Cd	0,01	0,01		0,05	0,06	0,02	0,03
Ce	63,7	100	64,6	106,5	28,5	27,4	23
Cl	150	130	130	360	150		140
Co	2			29	19	37	32
Cr	10	20	10	60	10	180	40
Cs	0,73	0,16	0,07	0,41	1,75	0,14	1,39
Cu	1	1,6	2,9	30,4	51,7	19,3	27,6
Dy	6,18	8,07	7,83	7,69	2,96	3,56	3,2
Er	4,32	5,7	4,97	4,54	1,86	2,11	2,26
Eu	0,89	0,9	0,87	2,13	1,29	1,39	0,93
Ga	15,1	17,1	17,5	18,6	19,1	26,4	15,7
Ge	0,11	0,13	0,14	0,12	0,1	0,18	0,08
Gd	5,32	7,79	6,3	7,92	3,34	4,08	3,04
Hf	4,5	6,6	5,3	6,7	1,1	1,4	1,5
Hg				0,007	0,009	0,006	
Ho	1,36	1,77	1,55	1,59	0,56	0,69	0,7
In	0,023	0,026	0,045	0,017	0,013	0,036	0,006
La	32,7	52,8	29,8	49,8	13,7	14,8	10,8
Li	2,1	0,6	0,9	6,5	3,9	10,1	16,1
Lu	0,72	0,95	0,77	0,65	0,26	0,28	0,31
Mo	0,32	0,22	0,16	0,33	0,33	0,05	0,26
Nb	10,5	16,6	12,6	15,7	3,5	4,4	3,5
Nd	28,2	42,6	26,8	50,4	15,1	16,7	12,5
Ni	1	1	1	44	7	74	35
Pb	8	5	4	6	8	3	
Pr	7,48	11,5	7,2	12,85	3,7	4,04	2,95
Rb	72,4	60,9	2,5	61,3	20,9	7,3	39,3
Sb							
Sc	7	4	7	27	11	50	32
Se	0,5	0,8	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2
Sm	6,14	8,27	6,13	9,78	3,64	3,53	3,02
Sn	3	3	5	2	1	1	1
Sr	91,8	67,7	150	567	475	233	275
Ta	0,8	1,1	0,9	0,7	0,3	0,3	0,2
Tb	0,89	1,29	1,02	1,22	0,49	0,5	0,49
Te		0,01		0,02	0,01	0,01	0,02
Th	12,3	18,55	13,8	3,06	3,31	1,24	1,71
Tl	0,07			0,02	0,02		0,07
Tm	0,62	0,79	0,74	0,66	0,19	0,28	0,31
U	2,82	6,64	3,8	1,06	1,6	0,86	0,77
V	6			211	99	187	241
W	0,75	0,49	0,14	0,15	0,57	0,25	0,16
Y	38,7	50,3	44,9	42,6	15,7	19,5	18,7
Yb	4,32	5,8	5,38	4,17	1,55	1,65	2,03
Zn	22	8	14	126	67	80	104
Zr	164	227	197	288	40	50	54

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	CMR120035A	CMR120037B	slh130068a	CMR120045A	CMR120045B	CMR120053B	PNY120186A	PNY120254A
Bergart	Basisk bergart	Basisk bergart	Basisk bergart	Tonalit	Basisk bergart	Basisk bergart	Basisk bergart	Basisk bergart
Ålder (Ga)	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86
N-koord	6721154	6720038	6714306	6717661	6717661	6713797	6717838	6722527
O-koord	527433	527782	520906	526243	526243	524925	533939	535964
SiO ₂	52,6	54	51,2	68,5	46,9	51,5	52,5	52,3
Al ₂ O ₃	20,9	11,45	15,95	15	11,7	15,4	14,05	15
TiO ₂	0,75	0,93	0,68	0,33	0,56	0,59	1,64	0,56
Fe ₂ O ₃	7,87	15,15	10,2	4,33	14,8	10,45	13,45	10,75
CaO	9,35	5,24	8,93	3,69	10,35	7,3	6,18	10,35
MgO	1,98	7,64	6,61	1,16	10,75	6,57	3,99	6,11
Na ₂ O	3,59	0,61	3,24	3,86	1,02	3,25	2	2,45
K ₂ O	0,83	0,25	1,07	2,41	0,81	2,48	1,41	0,82
MnO	0,13	0,28	0,24	0,07	0,28	0,25	0,24	0,21
P ₂ O ₅	0,54	0,34	0,2	0,14	0,06	0,14	0,91	0,15
C	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,08	0,02	0,04
S	0,01		0,01				0,01	0,01
LOI	2,11	4,16	1,07	1,27	1,58	1,92	1,89	1,77
Total	100,75	100,12	99,47	100,9	98,88	99,95	98,33	100,57
Ag	0,05		0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,06
As	0,2	0,3	0,1	0,1		0,1	0,2	
Au (ppb)		0,002	0,001	0,001	0,006	0,001	0,001	0,001
Ba	375	60,8	368	942	231	533	361	278
Bi	0,2	0,23	0,09	0,02	0,08	0,3	0,17	0,05
Cd	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,04
Ce	28,5	27,4	23	47,3	8	18,8	42	18,2
Cl	150		140	270	370	220	130	
Co	19	37	32	7	61	30	16	33
Cr	10	180	40	10	130	90	10	190
Cs	1,75	0,14	1,39	0,59	0,62	0,68	0,67	0,3
Cu	51,7	19,3	27,6	7,8	34,9	0,4	10,8	53,3
Dy	2,96	3,56	3,2	3,39	1,77	2,85	6,26	2,61
Er	1,86	2,11	2,26	2,3	1,33	1,84	3,82	1,55
Eu	1,29	1,39	0,93	0,91	0,51	0,91	2,22	0,92
Ga	19,1	26,4	15,7	15,8	11,1	16,7	18,6	15,4
Ge	0,1	0,18	0,08	0,12	0,05	0,08	0,22	0,08
Gd	3,34	4,08	3,04	3,15	1,72	2,78	6,42	2,52
Hf	1,1	1,4	1,5	3,5	0,6	1,4	2,5	1,1
Hg	0,009	0,006						
Ho	0,56	0,69	0,7	0,76	0,39	0,62	1,26	0,57
In	0,013	0,036	0,006	0,011		0,041	0,029	0,007
La	13,7	14,8	10,8	25,2	3,4	8,8	18,8	8,9
Li	3,9	10,1	16,1	5	4,7	10,1	4,8	2,3
Lu	0,26	0,28	0,31	0,4	0,14	0,26	0,55	0,26
Mo	0,33	0,05	0,26	0,13	0,05	0,09	0,07	0,29
Nb	3,5	4,4	3,5	8	1,2	3,2	5,2	2,4
Nd	15,1	16,7	12,5	18,3	5,3	11,1	25,7	10
Ni	7	74	35	6	97	37	4	44
Pb	8	3		8		5	25	7
Pr	3,7	4,04	2,95	5,06	1,13	2,43	5,56	2,43
Rb	20,9	7,3	39,3	58,5	34,4	176,5	32,6	19,3
Sb								
Sc	11	50	32	7	26	37	31	34
Se	0,3	0,2	0,2	0,3		0,2	0,4	0,3
Sm	3,64	3,53	3,02	3,53	1,54	2,58	6,15	2,54
Sn	1	1	1	1		6	1	1
Sr	475	233	275	256	140	222	193,5	383
Ta	0,3	0,3	0,2	0,7	0,1	0,2	0,4	0,2
Tb	0,49	0,5	0,49	0,54	0,26	0,45	1,02	0,43
Te	0,01	0,01	0,02		0,05			0,01
Th	3,31	1,24	1,71	8,29	0,82	2,67	3,58	2,44
Tl	0,02		0,07	0,07	0,02	0,05	0,1	
Tm	0,19	0,28	0,31	0,38	0,16	0,28	0,59	0,24
U	1,6	0,86	0,77	2,35	0,28	1,68	1,41	0,76
V	99	187	241	41	267	249	65	185
W	0,57	0,25	0,16	0,21	0,13	0,29	0,7	0,17
Y	15,7	19,5	18,7	21,8	10	17,1	35,7	14,9
Yb	1,55	1,65	2,03	2,81	1,02	1,77	3,29	1,62
Zn	67	80	104	41	112	165	162	93
Zr	40	50	54	154	18	49	93	38

Bilaga 2. Fortsättning/Continuation

Prov-ID	PNY120259A	PNY120259B	PNY130267A	PNY130320A	CMR120124A	CMR120027A	CMR120056A	CMR120114A
Bergart	Diorit	Tonalit	Gabbro	Gabbro	Granit	Kvartsdiorit	Granit	Diabas
Ålder (Ga)	1,86	1,86	1,86	1,86	1,86	1,78	1,78	1,47
N-koord	6720519	6720519	6718282	6718416	6711804	6717740	6718149	6713377
O-koord	536347	536347	538840	541510	524741	521478	522125	523740
SiO ₂	56,7	56,3	46,2	44,3	62,1	58	67,7	54,8
Al ₂ O ₃	16,45	18,45	11,15	16,55	17,2	16,05	15,55	16,45
TiO ₂	0,86	0,88	0,36	0,37	0,87	0,49	0,47	1,11
Fe ₂ O ₃	10,1	9,54	11,75	8,93	5,19	7,93	4,82	9,51
CaO	5,23	8,04	13	11,05	1,53	7,15	3,23	5,11
MgO	2,97	1,64	12,45	12,15	1,13	3,37	0,79	4,89
Na ₂ O	2,85	3	0,92	0,96	5,09	2,71	4,27	3,14
K ₂ O	2,57	1,8	0,16	0,71	5,37	1,95	3	3,23
MnO	0,14	0,16	0,21	0,14	0,07	0,13	0,09	0,14
P ₂ O ₅	0,38	0,36	0,11	0,11	0,29	0,08	0,14	0,22
C	0,03	0,01	0,01	0,08	0,06	0,05		0,09
S	0,01			0,01		0,12		0,02
LOI	1,31	1,19	1,86	2,87	1,35	1,46	0,7	2,89
Total	99,68	101,47	98,26	98,27	100,41	99,41	100,88	101,69
Ag	0,03	0,17	0,01	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01
As					0,1	0,3	0,2	0,2
Au (ppb)	0,001	0,011	0,003	0,001		0,001	0,001	
Ba	757	617	14,2	191	1835	449	746	1220
Bi	0,4	0,55	0,09	0,07	0,08	0,07	0,2	0,06
Cd	0,03	0,1	0,01	0,06	0,03	0,03	0,03	0,08
Ce	53,5	44,2	10,3	9,9	187	39,9	68,7	63,9
Cl			300	400		230	330	
Co	24	19	57	55	8	27	6	34
Cr	20	10	610	650	10	10	10	40
Cs	38,1	6,84	0,07	0,71	0,65	1,75	2,03	2,03
Cu	4,8	260	6,3	144,5	2,2	24,7	4,8	25,6
Dy	5,02	4,53	1,63	1,63	8,87	3,96	7,76	5,03
Er	2,78	2,62	0,91	1,03	5,22	2,65	5,07	2,96
Eu	1,26	1,31	0,61	0,5	1,78	0,92	1,35	1,68
Ga	19,8	20,3	11,7	11,2	14,6	18,1	18,9	22,7
Ge	0,23	0,18	0,09		0,12	0,09	0,14	0,16
Gd	4,85	4,39	1,73	1,36	8,96	3,93	6,3	5,98
Hf	3,3	2,4	0,7	0,8	10,7	2,6	6	5,1
Hg				0,005		0,005	0,006	0,005
Ho	1,05	0,95	0,31	0,36	1,77	0,86	1,62	1,02
In	0,028	0,05	0,005	0,005	0,026	0,012	0,036	0,041
La	25,1	20,5	4,4	5,9	110	20,7	34,7	28,1
Li	42,7	44,7	3,1	10,1	6,8	11,4	14,1	23,9
Lu	0,37	0,42	0,13	0,16	0,78	0,45	0,76	0,37
Mo	0,43	0,72	0,32	0,14	0,24	0,09	0,21	0,27
Nb	9,7	7,2	1,2	1,2	24,3	6,1	15,5	11,6
Nd	23,6	20,8	6,3	5,8	63,8	18	31,7	32,7
Ni	15	6	156	261	7	5	1	60
Pb	6	6			19	6	14	8
Pr	6,28	5,31	1,4	1,34	18,9	4,7	8,07	7,97
Rb	295	120,5	2	31,2	84,3	63,8	112	103
Sb								
Sc	19	15	40	17	13	27	9	17
Se	0,7	0,6		0,2	0,6	0,3	0,5	0,5
Sm	5,21	4,73	1,42	1,25	10,75	4,32	7,14	6,93
Sn	5	9	1		3	2	4	2
Sr	286	341	73,7	152	157,5	302	311	490
Ta	0,6	0,5	0,1	0,1	1,1	0,4	1,3	0,7
Tb	0,81	0,74	0,25	0,27	1,37	0,64	1,14	0,88
Te	0,01	0,11	0,01	0,02		0,01	0,01	0,01
Th	7,73	6,11	0,72	0,5	24,5	8,66	16,2	6,39
Tl	1,4	0,6		0,02	0,03	0,16	0,36	0,05
Tm	0,39	0,4	0,16	0,15	0,75	0,43	0,79	0,39
U	2,2	3	0,38	0,26	5,12	4,06	4,01	1,26
V	117	94	202	102	55	241	19	169
W	0,48	0,36	0,3	0,3	0,25	0,12	0,53	0,63
Y	32,5	25,5	8,7	9,9	46,1	24,6	46,4	26,8
Yb	2,51	2,55	0,94	0,88	4,76	2,66	5,15	2,5
Zn	101	80	89	71	73	74	74	92
Zr	128	92	22	28	419	80	227	188