

Bergslagen, etapp 1

Profilkartering av berggrunden i området Sala–Jugansbo

Magnus Ripa, Stefan Persson, Daniel Sopher & Nils Jansson

mars 2022

SGU-rapport 2022:01



Omslagsbild: Den åldersbestämda bergarten på Gyltberget. Notera
pimpstensfragment i form av centimeterlånga, mörka streck.
Fotograf: Magnus Ripa

Författare: Magnus Ripa, Stefan Persson, Daniel Sopher och
Nils Jansson (Luleå tekniska universitet)
Granskad av: Stefan Bergman och Johan Jönberger
Ansvarig enhetschef: Ildikó Antal Lundin

Redaktör: Lina Rönnåsen

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

INNEHÅLL

Abstract.....	4
Sammanfattning.....	4
Inledning.....	4
Tidigare arbeten.....	5
Fältarbeten.....	5
Berggrunden.....	8
Profiler och övriga fältobservationer.....	9
Sammanfattning av fältobservationer.....	25
Petrografi.....	25
Geofysik.....	30
Petrofysik.....	31
Tyngdkraft och flygburen geofysik.....	40
Geofysiska markmätningar i Delboområdet.....	42
Profilmodellering.....	46
Sammanfattning av geofysikobservationer och modelleringsarbete.....	64
Litogeokemi.....	64
Referenser.....	72
Bilaga 1. Geofysiska profilmodeller.....	74
Bilaga 2. Bergartskemiska data.....	85
Bilaga 3. Halter av sällsynta jordartsmetaller.....	91

ABSTRACT

Bedrock mapping and geophysical measurements have been conducted, primarily along traverses, in the Sala-Jugansbo area and in an area around the Banmossen wollastonite deposit in Bergslagen, Sweden. The purpose of these investigations was to evaluate certain stratigraphic and structural relations in the supracrustal rocks and to document the geophysical characteristics in the bedrock.

The investigations indicate the presence of an anticlinal-synclinal structure in the area between Broddbo and Jugansbo. The anticline comprises mainly metasedimentary rocks and the syncline mainly metavolcanic rocks and subordinate carbonate rocks. A stratigraphical correlation between the metasedimentary rocks and some of the volcanic rocks in the Jugansbo area is possible. The rocks are, however, locally strongly deformed, and correlations are uncertain. The stratigraphically uppermost lithologies of the syncline are skarn-banded volcanic silt- to sandstones and pumice-bearing metarhyolites, which have returned a preliminary SIMS U-Pb zircon age of 1902.9 ± 8.9 Ma.

The older intrusive rocks along an east-westerly traverse, including the Banmossen deposit, are dominated by metabasic rocks. They are variable in shape and composition and locally form complex hybrid rocks at contacts to metagranitoids. Variations in magnetite content in combination with various structures form an intricate magnetic pattern.

SAMMANFATTNING

Berggrundsgeologisk kartering och geofysiska mätningar har gjorts i huvudsak längs några profiler i Sala-Jugansboområdet. Avsikten var att utreda vissa stratigrafiska och strukturella förhållanden hos ytbergarterna samt att dokumentera berggrundens magnetiska egenskaper och mönster i ett område bland annat kring Banmossens wollastonitförekomst.

Undersökningarna visar på en asymmetrisk antiklinal-synklinalstruktur i området mellan Broddbo och Jugansbo. Antiklinalen består mest av metasedimentära bergarter och synklinalen av metavulkaniter med underordnade karbonatstenar. De metasedimentära bergarterna i antiklinalen kan lateralt motsvara en del av de vulkaniter som finns i Jugansboområdet. Lokalt är bergarterna dock starkt deformerade vilket gör stratigrafiska korrelationer osäkra. Synklinalens stratigrafiskt översta delar består av skarnbandade vulkaniska silt- till sandstensformationer och pimpstensförande metaryoliter, vilka har givit en preliminär SIMS U-Pb zirkonålder på $1\,902,9 \pm 8,9$ Ma.

De äldre intrusiva bergarterna längs en öst–västlig profil förbi Banmossen domineras av metabasiter. De varierar i sammansättning och bildar lokalt komplicerade hybridbergarter vid kontakter mot metagranitoider. Variationer i magnetit innehåll ger tillsammans med diverse strukturer upphov till ett komplicerat magnetmönster.

INLEDNING

Denna rapport avser berggrundskartering och geofysiska undersökningar som har utförts i Sala–Jugansboområdet under 2018 och 2019 (fig. 1). Projektet är en del av det så kallade Bergslagen, etapp 1-projektet som inleddes 2017. Projektområdet ligger i Västmanlands och Uppsala län och omfattar delar av Sala och Heby kommuner.

I det aktuella området har undersökningarna i huvudsak bedrivits längs profiler snarare än yttäckande (fig. 1). Anledningen till det är att befintligt berggrundsgeologiskt underlag i stort sett bedöms vara tillräckligt bra, men att vissa frågeställningar avseende stratigrafi och strukturer behöver besvaras. Till exempel ville vi undersöka om mineraliseringarna i Jugansbo korrelerar

med de i Sala samt om de metasedimentära bergarterna verkligen alltid underlagrar metavulkaniterna och om de utgör en antiklinal struktur.

Det geologiska fältarbetet i Sala–Jugansboområdet har delvis gjorts i samarbete med ett Vinnova-finansierat forskningsprojekt (VectOre), lett av Nils Jansson, Luleå tekniska universitet. Ett visst utbyte mellan projekten har dessutom förelegat under tolknings- och sammanställningsarbetet av en ny geologisk kartbild, till exempel är gränsen mellan karbonatsten och äldre granit vid Sala till stora delar omdragen efter Nils tolkning.

Beteckningar på och definitioner av bergarter följer de i Stephens m.fl. (2009). Koordinater är enligt SWEREF99 TM.

TIDIGARE ARBETEN

Modernt geologiskt underlag för projektområdet är berggrundskartorna 12G Avesta SO (Persson 1997), 11G Västerås NO (Ripa m.fl. 2002) och 12H Söderfors SV (Delin & Söderman 2005). Äldre arbeten är Kugelberg (1862), Erdmann (1865), Gumaelius (1868) och Sandegren & Asklund (1946). En regional beskrivning av hela Bergslagenområdet gjordes av Stephens m.fl. (2009); en del av observationerna i samband med det projektet har kunnat utnyttjas nu. Den senaste beskrivningen av berggrunden i Bergslagen är av Stephens & Jansson (2020). En inventering av fyndigheterna i Heby och Sala kommuner gjordes av Hellström m.fl. (2021a, b).

Resultaten från detta projekt under år 2018 finns i Ripa m.fl. (2019).

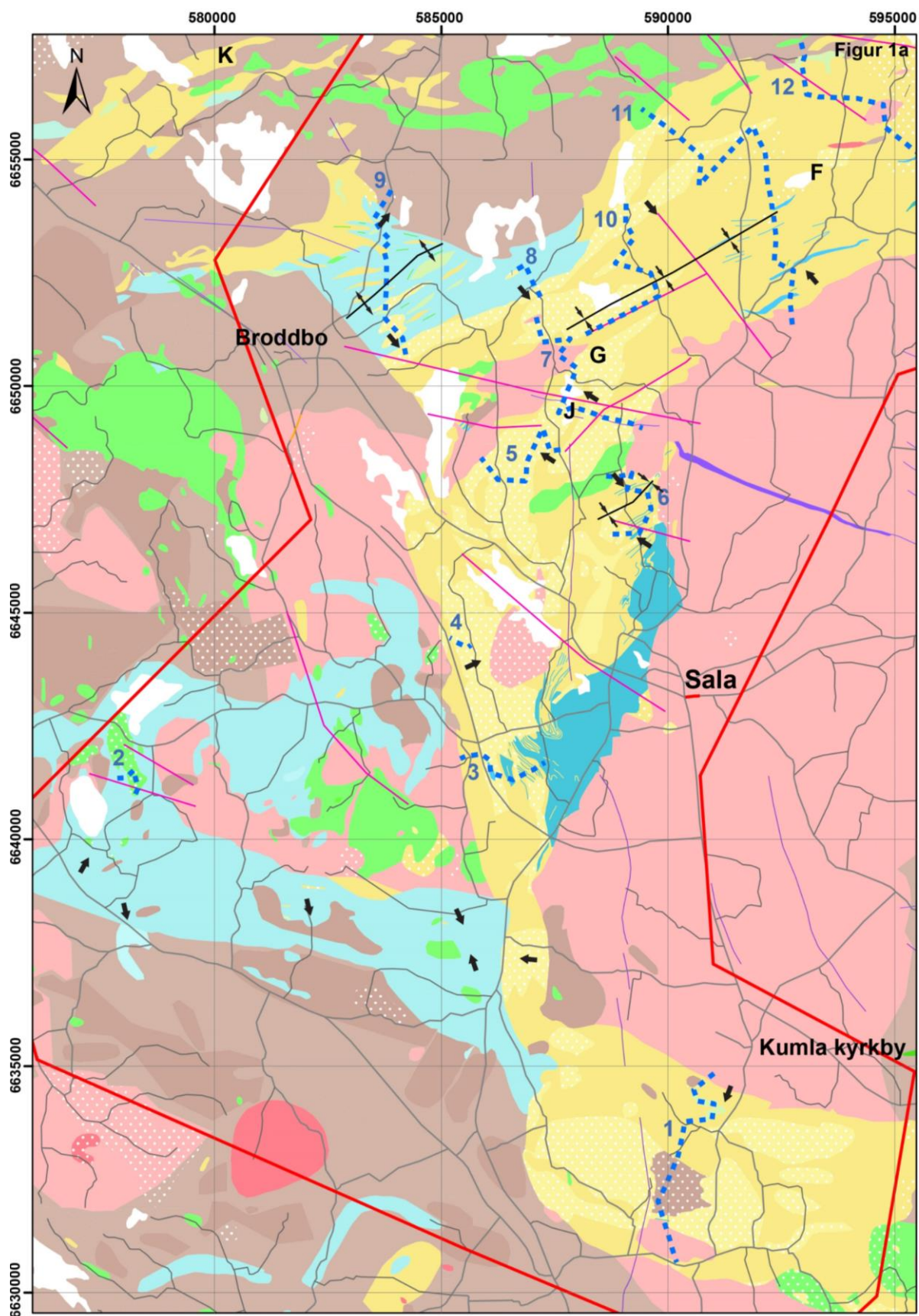
FÄLTARBETEN

Fältarbetena gjordes under åren 2018 och 2019 och omfattade cirka elva veckors kartering och fem veckors geofysiska mätningar. Karteringen gjordes av Stefan Persson och Magnus Ripa (till delar i samarbete med Nils Jansson), de geofysiska mätningarna av Cecilia Brolin (tidigare Jönsson), Stefan Persson och Daniel Sopher. En del geologiskt fältarbete gjordes också i samarbete med Rodney Allen, Volcanic Resources AB.

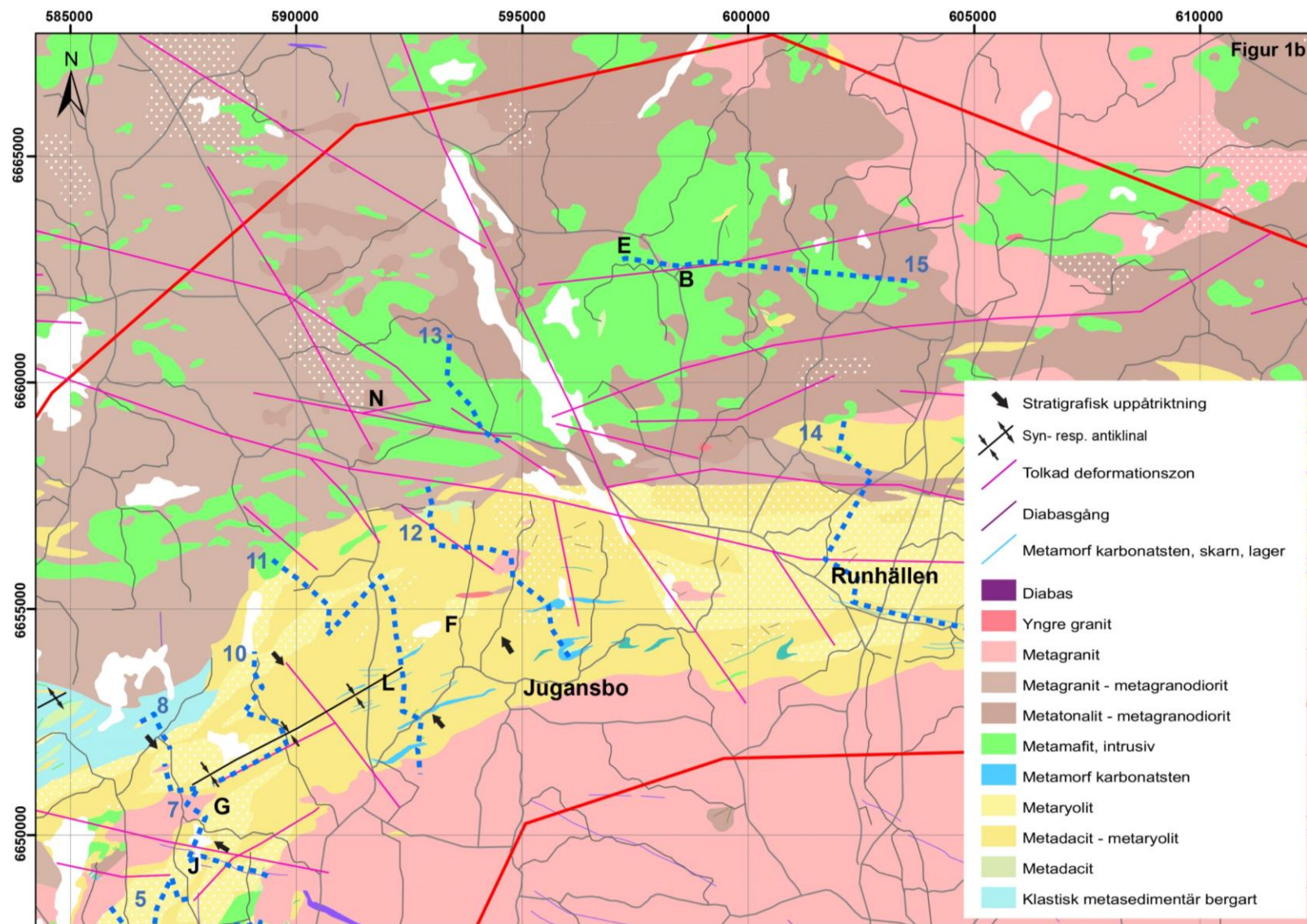
Av de planerade geologiska profilerna (fig. 1) ströks nummer 3 och 4 och längs nummer 6, 11, 12, 13 och 14 gjordes endast begränsade insatser. Anledningarna var tidsbrist och i några fall att vi bedömde att vidare undersökningar inte skulle ge ytterligare insikter. Förutom längs profilerna gjorde vi några observationer i områden där från geofysiken tolkade strukturer, troligen deformationszoner (fig. 2) skulle kunna finnas. Geofysiska mätningar och observationer samlades huvudsakligen in längs de geologiska profilerna. Av dessa gjordes geofysiska modeller av berggrundens struktur vilka ger stöd åt det geologiska tolkningsarbetet. Åtta regionala geofysiska modeller längs profiler skapades under projektet. Dessutom har nya tyngdkraftsmätningar utförts av SGU (Johan Jönberger med hjälp av Robert Berggren och Mats Thörnelöf) i stora delar av Bergslagen, och inom projektområdet Sala–Jugansbo har punkttätheten förbättrats väsentligt (Ripa m.fl. 2019).

► **Figur 1A och B.** Modifierad och förenklad berggrundskarta enligt SGU:s uppdaterade databas. Projektområdet Sala–Jugansbo inom röd ram. Vita prickar avser porfyrisk textur. Väg (grå linje) och sjö (vit yta) enligt Lantmäteriet. Blå, streckade linjer med nummer markerar läget för samtliga planerade profiler. Endast synklinaler och antiklinal tolkade i detta projekt är inlagda. J = Järndammen, G = dateringslokalen på Gyltberget, K = Koppargruvsberget, N = Nordanberg, F = Fallet, B = Banmossen, L = Lungdalsgruvorna, E = Ekedalsgruvan. Rutnät och koordinater enligt SWEREF99 TM.

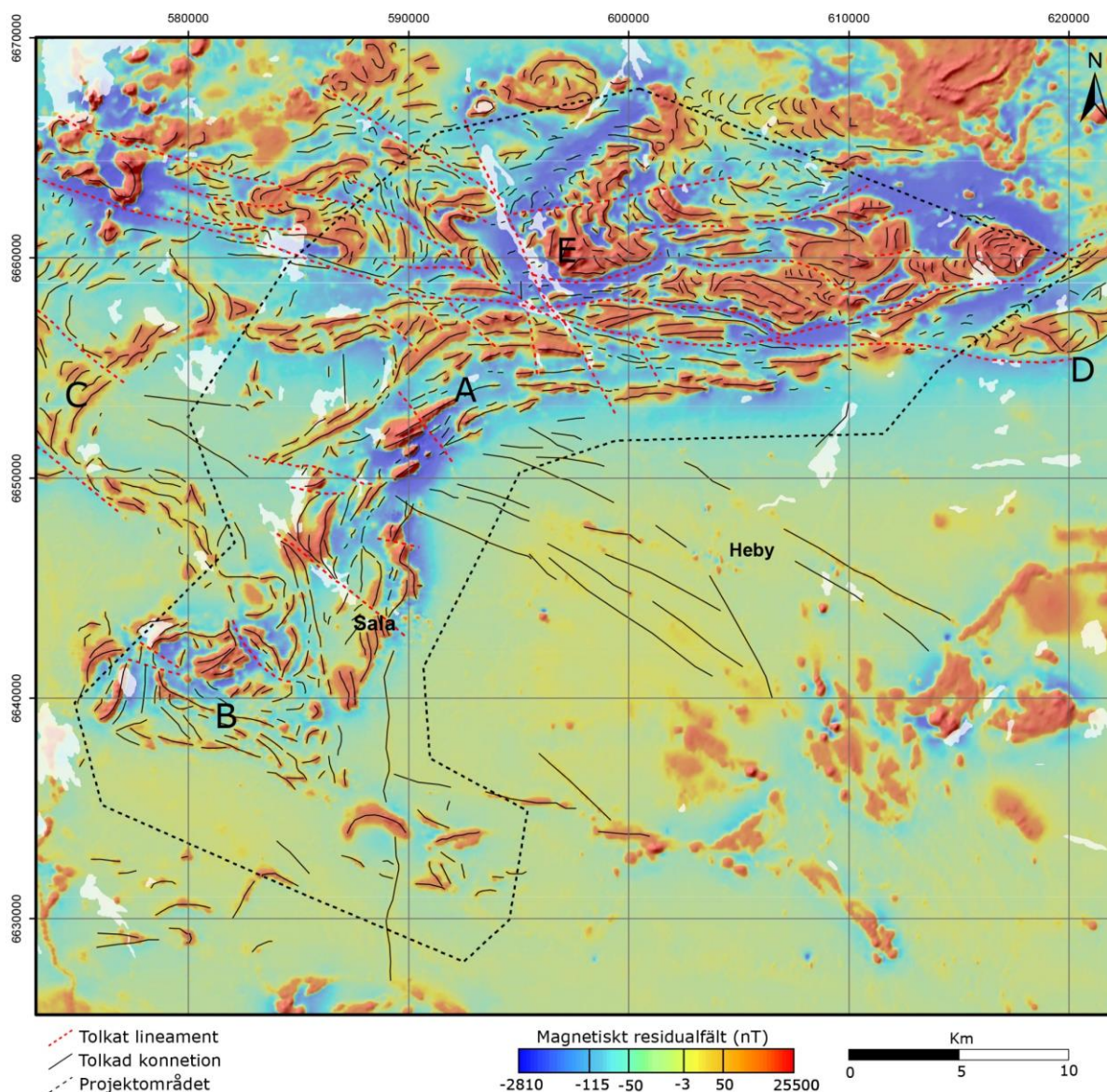
Modified and simplified bedrock map from the updated SGU database. The Sala–Jugansbo project area is within red frame. Blue, broken lines denote sites of traverses. The site of the dated sample at Gyltberget is marked G. Only synclines and anticline interpreted in this project are noted.



Figur 1A.



Figur 1B.



Figur 2. Karta av det magnetiska residualfältet över projektområdet (projektområdet visas med svart streckad linje). Anomalimönstret är korrigerat så att det har samma form som det skulle ha haft om det hade mätts på den magnetiska polen. Tolkade lineament och konnektioner visas som röda streckade linjer respektive svarta linjer. Bokstäverna A–E avser företeelser som diskuteras under geofysikavsnittet.

A map of the residual magnetic field over the project area (project area is shown with a black dashed line). The data have been reduced-to-pole. Interpreted lineaments and connections are shown as red dashed lines and black lines, respectively. Letters A–E refer to features discussed in the geophysics section.

BERGGRUNDEN

Från projektet har 294 observationer matats in i SGU:s hälldatabas och 35 bergartsprover har tagits för tunnslipstillverkning och kemisk analys. Ett prov för åldersbestämning togs av en metavulkanit på Gyltberget (fig. 1). SGU:s kartdatabas för berggrunden har uppdaterats utifrån de observationer vi gjort och ligger i förenklad form som grund till figur 1.

Profiler och övriga fältobservationer

Profil 1 (fig. 1) börjar i söder med en finkornig, deformerad, förskiffrad och korsskiktad metavulkanit med asymmetriskt veckade kvartsådror (fig. 3a). Det vulkaniska ursprunget och kors-skiktningen är kanske inte helt uppenbara på grund av förskiffring; strukturen i deformerade och kornstorleksförminskade zoner som förekommer i närliggande granit är liknande. I den mån det är korsskiktning är uppåtriktningen 186 grader. Norr om metavulkaniten och cirka 900 meter norrut finns metagranit samt gångar av amfibolit, subvulkanisk metaryolit och diabas. Metagraniten har zonerade strökor av plagioklas och små, runda metabasiska enklaver. Lokalt finns meterstora, rundade inneslutningar av sur till intermediär metavulkanit (fig. 3b). Bergarterna genomkorsas av deformationszoner med västnordvästlig–ostsydöstlig strykning (fig. 3c).

Vidare mot norr kommer ca 100 m med deformerad, bandad, sur metavulkanit, även här finns en korsskiktningssliknande struktur indikerande uppåt i stratigrafien mot syd (fig. 3d). Skarnomvandlade band eller lager förekommer och metavulkaniten är i norra delen av hällen förskiffrad.

Cirka 50 meter norr om metavulkaniten och fortsättningsvis cirka 1 140 meter norrut så finns finkornig, porfyrisk metatonalit till -granodiorit (fig. 3e). Den har små, runda basiska enklaver samt gångar av amfibolit. Deformationszoner med porfyroklaster av kvarts och glimmeromvandling förekommer (fig. 3f). Deformationszonerna har liknande strykning som de i metagraniten söder härom.

Norr om den porfyrisk metatonaliten till -granodioriten finns en förskiffrad zon där ryolit tolkas ha varit ursprungsbergarten. Pimpstensförande ryolitisk vulkanoklastit förekommer strax norr om denna (fig. 4a).

Här finns också inslag av amfibolit (fig. 4b). Dess relation till omgivande, huvudsakligen vulkanoklastiska metaryolit är dock oklar, dvs. om de är gångar eller lager.

Cirka 1 km nordnordost om metatonaliten till -granodioriten finns ett polymikt vulkaniskt massflöde eller konglomerat. Graderad skiktning och korsskiktning visar att upp i stratigrafien är åt söder. Intill detta finns en vulkanisk breccia (hyaloklastit, autobreccia?). Breccian tolkas som polymikt, men ryolit dominerar de kantiga klasterna (fig. 4c). Vidare mot norr finns mer massiv, pimpstensförande metaryolitisk vulkanoklastit.

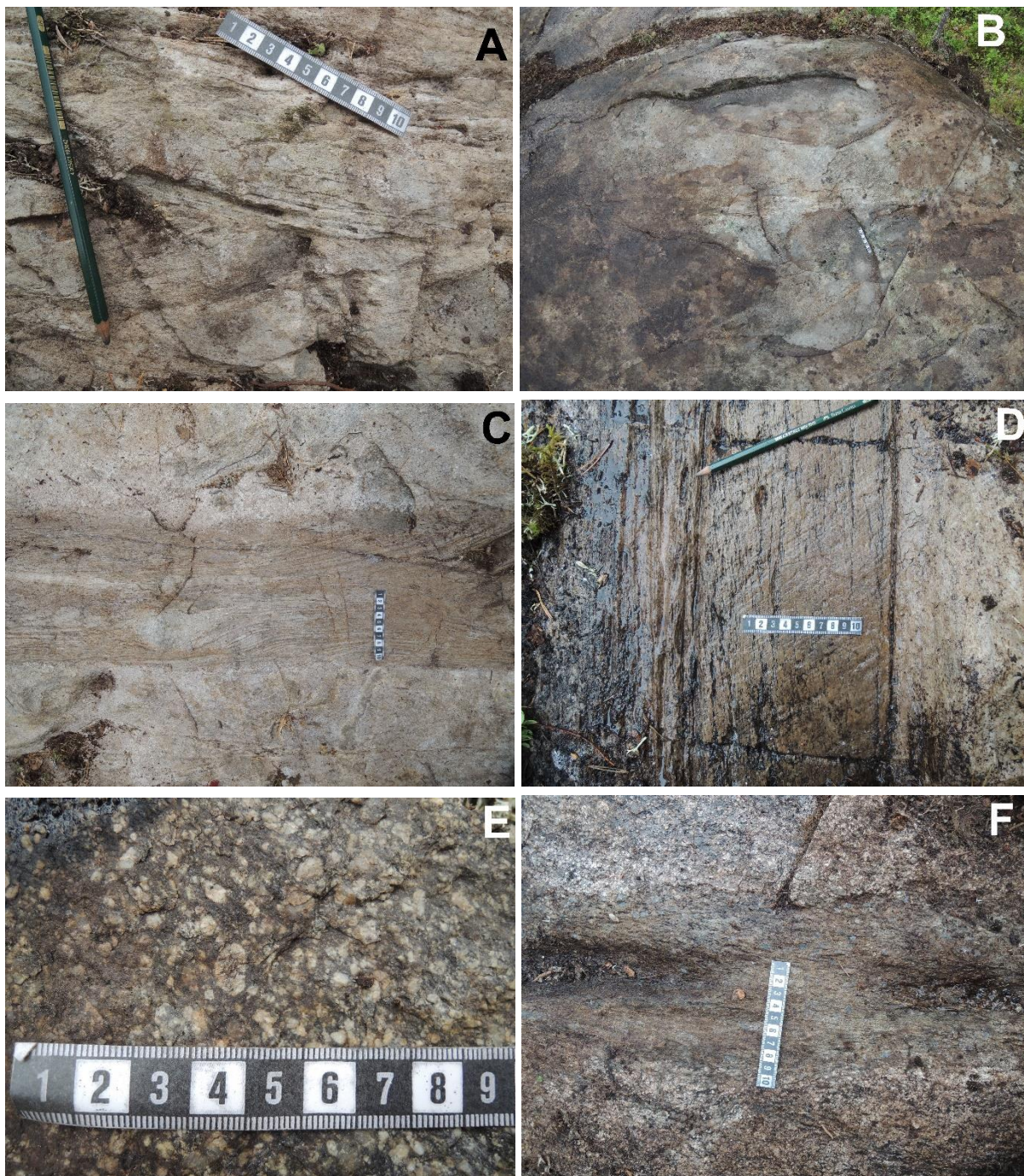
Cirka 400 meter österut så finns vulkanoklastisk metaryolit och metaandesit. Foliation (lagring?) hos metaryoliten stryker nordost–sydvästligt. Kontakten till metaandesiten är inte observerad. Vidare ca 300 m norrut dominerar metaandesit. Där följer från sydost till nordväst: koherent porfyrisk metaandesit, sur pimpstensförande metaryolit och polymikt vulkaniskt konglomerat med metaandesitiskt matrix till massiv metaandesit. Kontakternas strykning mellan de olika bergarterna och eventuell lagring hos vulkaniska massflöden och vulkanoklastiter kan tyda på att lagringen är nordöstlig–sydvästlig i detta område. Det tolkade vulkaniska konglomeratet har både runda och kantiga klaster (fig. 4d).

Lokalt finns en brecciering av den ryolitiska vulkaniten, breccian har en mörk, finkornig matrix (fig. 4e).

Vidare längs profilen dominerar metaandesit (fig. 4f) och metaryolit, sannolikt som växellagrade vulkanoklastiter. Lokalt är ryoliten förkiffrad. Ryolitens förskiffring och lagringen stryker ost–västligt.

Den magnetiska susceptibiliteten är lokalt hög i den lagrade vulkanoklastiska metaandesiten, och bergarterna faller inom eller precis i utkanten av områden med högre magnetisk fältstyrka enligt flygmätningar.

Längst i nordväst längs profilen finns dels medelkornig metatonalit, dels grovt medel- till grovkornig metagranit till -granodiorit.



Figur 3. A. Korsskiktning hos metavulkanit, pennudd mot norr. 6630697/ 590176. **B.** Metagranit med rundade inneslutningar av metavulkanit. 6631216/ 590031. **C.** Deformationszon i metagranit. 6630734/ 590174. **D.** Korsskiktad metavulkanit. 6631609/ 589898. **E.** Porfyrisk metatonalit till -granodiorit. 6632008 / 589809. **F.** Deformationszon med kvartsporfyroklastar i metatonalit till -granodiorit. 6632008 / 589809.

A. Cross-bedding in metarhyolite. **B.** Metagranite with rounded inclusions of metavolcanic rock. **C.** Deformation zone in metagranite. **D.** Cross-bedding in metavolcanic rock. **E.** Porphyritic metatonalite to -granodiorite. **F.** Deformation zone with quartz porphyroclasts in metatonalite to -granodiorite.



Figur 4. **A.** Pimpstensförande vulkanoklastit. 6633065/ 590236). **B.** Amphibolit med aplitisk och pegmatitisk ådring. 6633034/ 590199. **C.** Breccierad sur metavulkanit. 6633774/590426. **D.** Polymikt metavulkaniskt konglomerat. 6634118/ 591073. **E.** Breccierad metavulkanit. 6634098/ 590989. **F.** Metaandesit med inneslutningar av metaryolit. 6654132/ 591053.

A. Pumice in metarhyolite. **B.** Amphibolite with veins of aplite and pegmatite. **C.** Brecciated metavolcanic rock. **D.** Meta-volcanic conglomerate. **E.** Breccia in metavolcanic rock. **F.** Inclusions of metarhyolite in meta-andesitic rock.

Slutsats: I den södra delen av profilen dominerar intrusiva bergarter med en del större kroppar (xenoliter?) av vulkanoklastiter; samtliga uppåtstrukturer som observerats i metavulkaniterna indikerar uppåt i stratigrafien mot söder. I norra delen av profilen är den stratigrafiska uppåt-riktningen osäker.

Profil 2 (fig. 1) gjordes för att tolka åldersrelationen mellan äldre intrusivbergart och metagråvacka samt för att se om någon omvandling finns längs kontakten. Delar av området här domineras av metagråvacka med gångar av finkornig till fint medelkornig metatonalit (till metakvartsdiorit?) som i sin tur innehåller xenoliter av metagråvackan. För övrigt dominerar dels granodioritisk, dels tonalitisk metaintrusivbergart. De innehåller xenoliter av metagråvacka samt runda inneslutningar av metabasit. Det finns även gångar av metabasit. I större xenoliter av metagråvacka ser omgivande metatonalit ut att ha trängt in längs lagringen. Modalanalysen av den dominerande intrusiva bergarten ger tonalitisk sammansättning medan en kemisk klassificering ger kvartsdiorit till diorit (se avsnitt *Litogeokemi* nedan).

Profil 5 (fig. 1) börjar i öster längs vägen mot Järndammen med skarnskiktad vulkanisk siltsten. Siltstenen överlagras åt väster vid vandringledden av ett polymikt konglomerat med ett arkosaktigt sandstensmatrix (fig. 5a). Vid kartering 1994 kunde man se korsskiktning som visade att uppåt i stratigrafin är åt väster (Ripa m.fl. 2002). Väster om konglomeratet finns glest kvartsporfyrisk metavulkanit som, trots få strökorn, tämligen säkert är ett facies av en rikt kristallförande vulkanit strax väster om Järndammen (se profil 7 nedan). Längs strykningen åt söder finns pimpstensförande vulkanisk breccia som överlagras av en glest fältspatporfyrisk vulkanisk sandsten med skarnaggregat. Även dessa tolkas som facies av vulkaniten väster om Järndammen. Liknande bergarter, lokalt magnetitförande och pegmatitådrade, finns även väster härom. Profilen avslutas med finkornig till fint medelkornig och ojämnkornig till fältspatporfyrisk, sannolikt randfacies av, äldre granit.

I området kring profil 6 (fig. 1) gjordes endast en rekognoscering för att utreda möjligheterna att se uppåtriktningar i stratigrafin relaterat till den tolkade formen på en magnetisk konnektion här. Det finns en hel del håll med delvis skarnig dolomit i området och utbredningen av koherent, sannolikt subvulkanisk porfyr (fig. 5b) visar sig vara större än vad som framgår av kartan av Ripa m.fl. (2002). Även tyngdkraftsdata visar att utbredningen av dolomitmarmor sannolikt är större än vad som framgår av kartbilden och borrhälsdata från området visar upp mot 100 m mäktiga sektioner av sådan. I södra delen av området finns *scour-and-fill*-struktur i metavulkanit som visar att stratigrafiskt uppåt är åt västnordväst. I norra delen finns tveksam graderad skiktning och möjlig korsskiktning som visar att uppåt är åt sydost. Bergarterna i området tolkas därför utgöra en synklinal struktur. Den bergart strax nordväst härom som av Ripa m.fl. (2002) tolkades som metadacit uppfattas nu som en finkornig, men intrusiv metabasit med disseminerad magnetit, och bildar sannolikt en del av en antiform eftersom strukturer vidare norrut (se profilerna 7 och 8) visar upp mot väster.

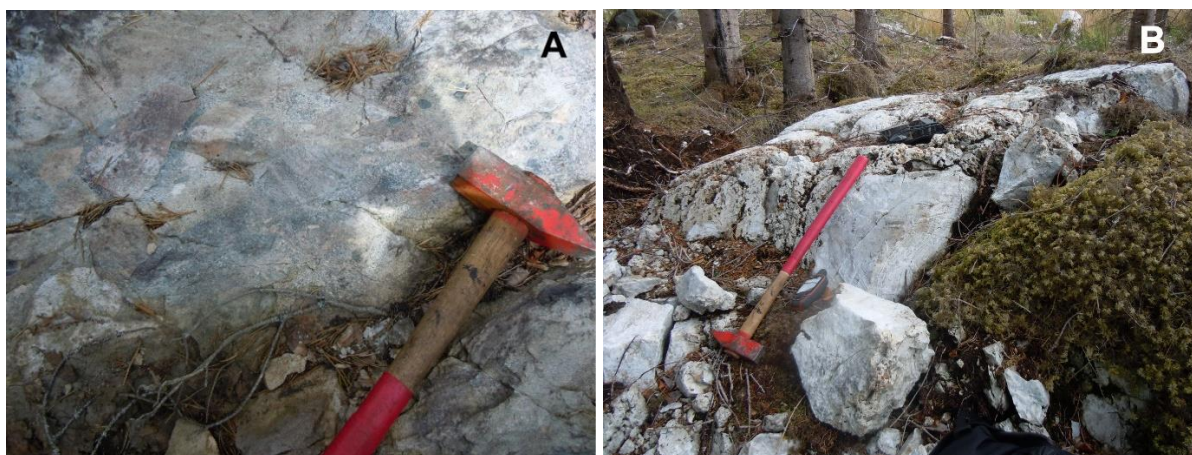


Figure 5. A. Polymikt metakonglomerat med arkosisk grundmassa. 6648874/587484. **B.** Lokala block av flödesbandad metarhyolit med hålrum. 6646677/588774.

A. Polymict metaconglomerate with an arkosic matrix. **B.** Local boulders of flowbanded metarhyolite.

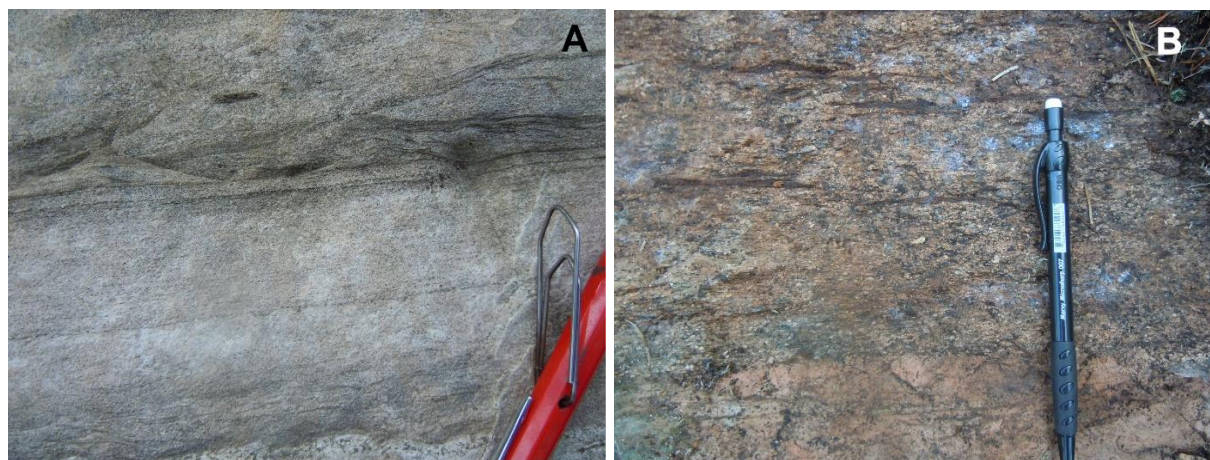
Profilerna 7 och 8 kan tillsammans betraktas som en profil tvärs över vulkanitstråket (fig. 1). Längst i norr finns metagråvacka som mot söder övergår i metaarkos. Gråvackan har centimeterstora, svårtolkade, möjliga boudiner av sand i lerigare skikt. Det finns ett stenbrott där man har brutit kvarts i pegmatit i en grovt kvartsporfyrisk subvulkanisk bergart. Cirka 500 m mot söder finns omväxlande decimeterbredda lager av metaarkos till -gråvacka och mörkfärgad metasandsten. Korsskiktning visar upp åt söder (fig. 6a). Hällområdet strax söder om skogsbilvägen har kors-skiktad kvartsitisk metasandsten, upp är fortfarande åt söder. Det finns lokalt spröd deformation parallellt med lagring och foliation som ser sinistral ut. Det finns meterbredda glimrigare och starkare folierade delar.

Vidare mot söder överlagras ovan nämnda metasedimentära formation först av en tunn horisont vulkanisk siltsten och därpå av en något diskordant, pimpstensförande samt rikt och grovt kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit (fig. 6b). I nedre delen av den senare finns pimpstensfragment och litiska klaster, uppåt i stratigrafin är strökornen färre och mindre. Den porfyriska metavulkaniten åldersbestämde till $1\,906 \pm 3$ Ma (miljoner år) av Stephens m.fl. (2009).

Söder härom finns endast enstaka blottningar vid och omkring vägen ner till Järndammen. Inga uppåtstrukturer har noterats längs denna sträcka. Närmast ovan nämnda bergarter finns en horisont av skarnbandad vulkanisk siltsten. Skarnbanden är boudinerade och skarnaggregaten är oregelbundna till formen. Vidare mot söder kommer åter porfyrisk vulkanit ungefär enligt ovan, men med mycket färre och mindre strökorn.

För övrigt finns i området ner mot Järndammen dels en magnetitförande, fältspatrik vulkanisk sandsten med en finkornigare grundmassa, dels stänglig kvarts- eller kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit, den senare har enstaka glimriga aggregat och är möjligen pimpstensförande. Ytbergarterna intruderades av äldre granit som lokalt är finkornig.

Från området kring Järndammen och österut är det tydligt att uppåt i stratigrafin är åt väster eller nordväst, det vill säga att någonstans norr härom finns det en omböjningszon. På Gyltberget och omedelbart väster om Järndammen (fig. 1) finns den fältspat- och kvartsporfyriska och sannolikt pimpstensförande metaryolit som provtogs för åldersbestämning. Pimpstenarna är 1×20 mm stora och kan vara tillplattade parallellt med ursprunglig lagring (fig. 7a). Bergarten är lokalt förvånansvärt massiv i sig, lokalt ser man dock två foliationer. Det finns också extremt strö-kornsrik vulkanit (fig. 7b). Båda dessa tolkas som facies av samma vulkaniska flöde som fortsätter åt sydsydväst (se profil 5 ovan).



Figur 6. A. Korsskiktning i metaarenit. 6652459/587063. **B.** Pimpstensförande (mörka strimmor) och grovt porfyrisk metaryolit. 6652184/587101.

A. Cross-bedding in meta-arenite. **B.** Pumice-bearing metarhyolite.



Figur 7. A. Pimpstensförande metaryolit på Gyltberget. 6650404/588025. **B.** Kristallrikt facies som tolkas tillhöra samma vulkaniska flöde som bergarten i A. 6649373/587589. **C.** Vulkaniskt konglomerat med arkosisk grundmassa och mörka tungmineralhorisonter. Tolkas vara samma led som bergarten i figur 5a. 6649557/587899. **D.** Vulkanisk silt- till sandsten med skarniga skikt. 6649557/587899.

A. Pumice-bearing metarhyolite on Gyltberget. **B.** Crystal-rich facies of the metarhyolite in A. **C.** Volcanic conglomerate. Note thin dark layers of heavy minerals. Interpreted to be the same level as the one shown in Figure 5a. **D.** Volcanic silt- to sandstone with skarn beds.

Uran-blyisotopdata från provet på Gyltberget ger en preliminär bildningsålder på $1\,902,9 \pm 8,9$ Ma (zirkon) och en preliminär metamorf ålder på cirka 1 821 Ma (monazit). Resultaten innebär att det ännu är oklart om bergarten på Gyltberget är i stort sett jämnåldrig med den vulkanit som direkt överlagrar de metasedimentära bergarterna norr härom och att de vulkaniska bergarter som underlagrar den i så fall stratigrafiskt skulle kunna korrelera med de senare, eller om det är flera miljoner års tidsskillnad mellan dem. Ett fel på nästan 10 miljoner år motsvarar i stort sett tids- spannet på hela den vulkaniska fasen i Bergslagen (se t. ex. Stephens & Jansson 2020). En separat redovisning av dateringsarbetet avses att presenteras senare.

Öster om Järndammen finns metaarkos till konglomerat med lokalt rikligt med centimeter- till decimeterstora klaster av metavulkanit (fig. 7c). På en del ställen böjer lagringen runt klasterna. De senare är av åtminstone två typer: dominerande fältspatporfyrisk och underordnat mer sandstenslik. Korsskiktning av tungmineralhorisonter ger upp åt väster. Bergarten är utan tvekan samma som den som beskrivits vid profil 5. Underlagrande arkoskonglomeratet finns omväxlande lager av vulkanisk silt- och sandsten (fig. 7d). Sannolikt graderad skiktning vid övergång från silt till sand visar också upp åt väster. Sandstenen har enstaka kvartsströkor. Siltstenen har skarnskikt och överlagrande sandsten har skarnaggregat i undre delen vilka kan vara *rip-up clasts*. I hållområdet finns dessutom xenolitförande, plagioklasporfyrisk diabas, sannolikt av Breven-Hälleforstyp.

Omväxlande vulkanisk silt- och sandsten med enstaka kvartsströkorn samt blottningar av diabas dominerar även området öster härom, men ca 800 m öster om Järndammen uppträder vulkanisk sandsten med enstaka kvartsströkorn, skarniga aggregat och magnetit. Den har mörka streck som sannolikt är pimpstenar och som definierar en lagring. Foliationen ser ut att vara parallell med lagringen och brant stupande mot väster. Kring den nordsydliga skogsbilvägen finns glest kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit. En håll precis vid vägen har något grövre och fler kvartsströkorn. Öster om skogsbilvägen finns hållar med liknande bergart men som åtminstone lokalt är koherent enligt ett slipprov. Profilen avslutas längst i öster med metagranit som genomslås av en närmast östvästlig, ca 30 m bred diabas av Breven-Hälleforstyp. Diabasen har xenoliter av metagraniten och av pegmatit.

De nordligare två tredjedelarna av profil 9 (fig. 1) utgörs mest av sandstensdominerad metagråvacka till metaarkos i en antiklinal struktur (fig. 8a). Vissa lager ser tämligen vulkanogena ut. I den allra nordligaste delen visar både graderad skiktning (fig. 8b) och möjlig kors-skiktning (fig. 8c) att uppåt i stratigrafin är åt nordost. I området finns också kvartsporfyr, gångar av amfibolit och



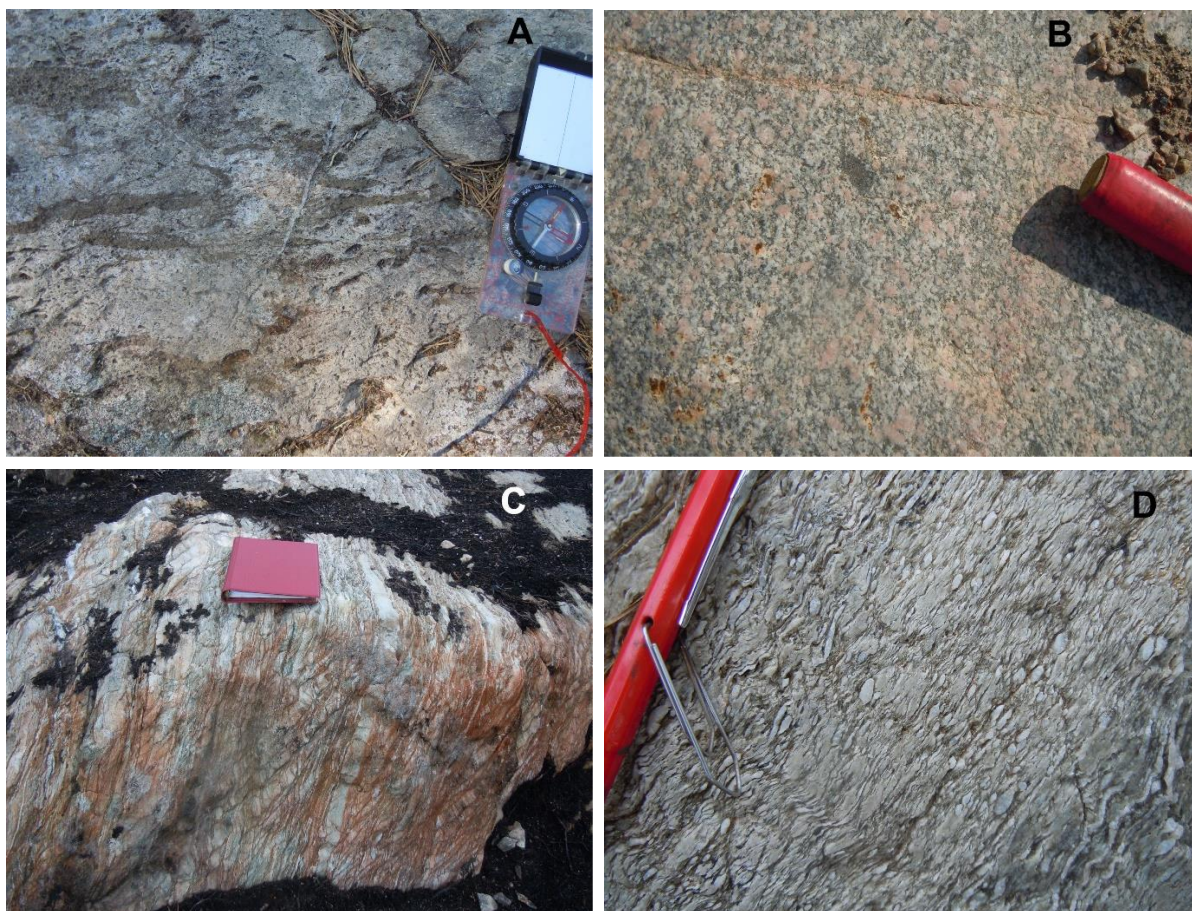
Figur 8. A. Metagråvacka som visar lagring (S0) i vinkel till två tektoniska foliationer (S1 och S2), den senare en krenulations-förskiffring. 6652099/583883. B. Graderad skiktning i metagråvacka. Pilen visar stratigrafisk uppåtriktning. Notera tunn glimmeranrikning (reaktionsbård?) mellan ursprungligen lerigare skikt och överliggande sand. 6653927/583540. C. Kors-skiktning i sanddominerad del av metagråvacka. Frågetecknet beror på att mindre förkastningar också har ungefär denna riktning. Pilen visar stratigrafisk uppåtriktning. 6653927/583540. D. Kontakt mellan metagråvacka och koherent fältspatporfyrisk metadacit. 6653907/583463.

A. Metagreywacke with bedding (S0) and two tectonic foliations (S1 and S2), the latter a crenulation cleavage. **B.** Graded bedding in metagreywacke. Note thin enrichments of micas (reaction rims?) at contact between originally clayey and overlying sandy layers. **C.** Cross-bedding in sand-dominated part of metagreywacke. Frågetecknet beror på att mindre förkastningar också har ungefär denna riktning. **D.** Contact between metagreywacke and feldspar-porphyrific metadacite.

pegmatit, fältspatporfyrisk metadacit (fig. 8d) och finkornig äldre granit. Även de två senare bergarterna bildar troligen smärre massiv och gångar. Kvarthsporfyrren ser ut att vara allt från koherent till klastisk med pimpstensfragment. Den del som är extrusiv representerar i så fall möjligen en äldre vulkanisk fas än den som har daterats vid profil 8 (fig. 9a; med reservation för möjliga veckningseffekter). Lokalt övergår kvarthsporfyrren i koherent metadacit. I höjd med landsvägen finns dels, väster om, stenbrott med hornblände- och fältspatporfyrisk, stänglig, troligen intrusiv metaandesit och dels, öster om, medelkornig metabasit.

Ganska direkt nordost om profilens norra del, i grustag intill landsvägen, finns äldre granit till granodiorit med enklaver och kalifältspatströkorn (fig. 9b).

Södra tredjedelen av profil 9 (fig. 1) är välblottad genom branden sommaren år 2018 och visar övergång mot sydost från metasedimentär bergart enligt ovan till metavulkanit, vilket är analogt med profil 8. I brandområdet mellan de två skogsbilvägarna domineras berggrunden av glest och fint kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit som tvärs lagringen graderar över till jämnkornig, tydligt skiktad dito. Foliationen är lokalt tät och deformationen har sannolikt varit stark. I hållarna närmast den nordligare av de två skogsbilvägarna finns en amfibolomvandling och -ådring som möjligen är relaterad till ett antal meterbredda amfibolitgångar. Lokalt finns sandstensaktiga lager



Figur 9. A. Pimpstensförande (mörka fläckar) metaryolit. 6651706/583843. **B.** Kalifältspatporfyrisk (till ojämnkornig) metagranit till metagranodiorit med centimeterstora enklaver (mörk fläck). 6654087/583944. **C.** Korsskiktad och krenulerad metasandsten. A6-anteckningsbok som skala. 6650858/584046. **D.** Kristallrik undre del av vulkaniskt flöde. 6650913/584172.

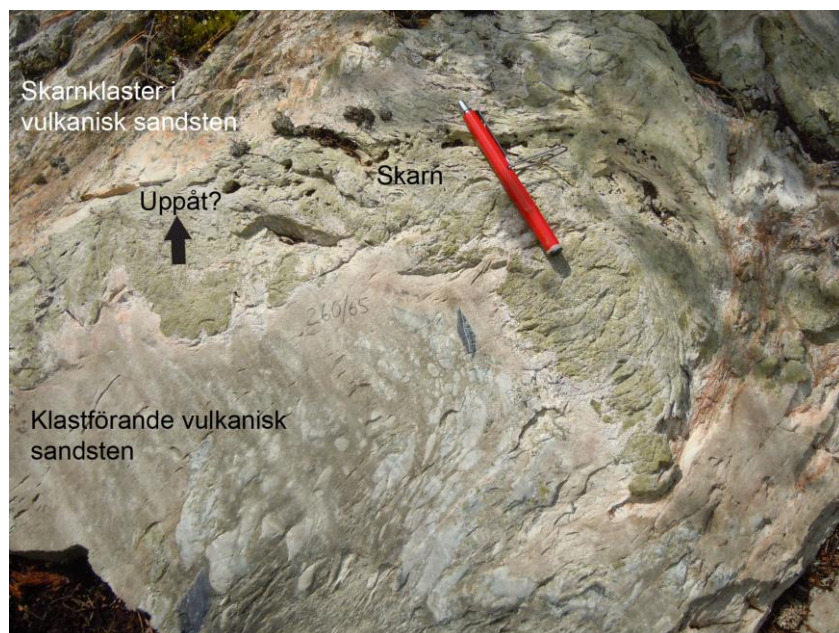
A. Pumice-bearing (dark spots) metarhyolite. **B.** K-feldspar porphyritic (to unequigranular) metagranite to metagranodiorite with cm-size enclaves (dark spot). **C.** Crossbedded and crenulated meta-arenite. **D.** Crystal-rich lower part of volcanic flow.

och kring den sydligare skogsbilvägen finns vackert korsskiktad och krenulerad metasandsten (fig. 9c) och en meterbred horisont som tolkas som ett finkornigt intraformationellt konglomerat. Stratigrafiskt uppåt är till synes åt sydost längs hela denna del av profil 9. Parasitveck i decimeter-skala visar både s- och z-symmetri längs flackt mot nordost stupande veckaxlar.

Den sydligaste delen av profil 9 utgörs av metavulkanit. Vulkaniten är i sin undre, nordvästra del rikt kristallförande och dåligt sorterad (fig. 9d) men graderar åt sydost till kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit. Kvartskornen är ca 2–5 mm, fältspatkornen ca 1–2 mm. Det finns flera meterbredda zoner med mer folierad varietet, sannolikt också glimmerrikare eller finkornigare. Bergarten ser starkt deformerad ut på vissa håll, och sammantaget kan avsevärd förskjutning av bergartsled ha skett tvärs den södra tredjedelen av profil 9.

Profil 10 (fig. 1) börjar i norr med en folierad, gråvackeliknande bergart med omväxlande lager av silt- och sandsten. Direkt öster om denna och med en mäktighet på ca 500 m finns osorterad metaryolit med små, kantiga till stora, runda kvartsströkorn som mot sydost övergår i vulkanisk sandsten med en del större fältspatströkorn. Matrix är även här ganska osorterat och fint med en hel del kvarts- och fältspatkorn i olika storlekar. Det finns också mer jämnkorniga skikt och sådana med grövre kvarts- och fältspatkorn. Lokalt finns förskiffrade zoner där dominerande foliation överpräglar en något mera nordlig dito. Intill ett topografiskt lineament finns kvarts- och epidotläkta sprickor samt en centimeterbred pegmatitgång.

Vidare åt sydost finns ett stort hällområde som domineras av skarnig vulkanisk silt- till sandsten (fig. 10). Den har s-veck i decimeter- till meterskala. Epidot bildar skarnskikt och ådror. Det finns även veckade kvartsläkta sprickor. Den dominerande foliationen är en krenulationsförskiffring som överpräglar en äldre dito. Tveksam gradering och klaster i botten av ett sandstenslager antyder att stratigrafiskt upp kan vara åt sydost (fig. 10). Området begränsas efter ca 450 m åt sydsydost av ett topografiskt lineament och en bäck via en några meter bred kvartsbreccia.



Figur 10. Skarnig metavulkanisk silt- till sandsten. Notera drygt centimeterstora, mörka klaster av järnmineralisering. 6653459/589264.

Skarn-altered to skarn-bedded meta-volcanic silt- to sandstone. Note cm-size clasts of iron mineralization.

Öster om skogsbilvägen ca 500 m sydost om kvartsporfyr finns hållar med vulkanisk siltsten med skarnband analogt med ovan nämnda hållområde ca 700 m nordnordväst härom. Den växlar dock på ett oklart vis med glest kvartsporfyrisk metavulkanit. Det finns z-veck i decimeterskala där även en foliation veckas. Dessutom finns en oläkt sprickzon.

En bit söder härom, i höjd med stråket av järnmineraliseringar, finns en starkt deformerad bergart, sannolikt fyllonit till mylonit av fältspatporfyrisk metavulkanit. En brant lineation antyder huvudsakligen vertikal rörelse. Det finns dessutom sentektoniska kvartssprickor. Fyra gruvhål intill har brutits på skarnbandad magnetitmalms.

I området västsydväst härom, på väg mot Järndammen, finns relativt strökornsrik kvarts- och fältspatporfyrisk metavulkanit. Lokalt finns kvarts- och epidotådring och centimeterstora glimmeraggregat som kan vara pimpsten. Bergarten tolkas att vara ett facies av det vulkaniska flöde som observerades på Gyltberget (fig. 1).

Profil 11 (fig. 1) börjar i söder med massformig metagranit med små basiska enklaver. Direkt norr härom domineras berggrunden av lagrade, sura metavulkanoklastiter och en större karbonatkropp. Lokalt är vulkaniten mylonitisk. Vid vägen mot Jugansbo finns en brant stupande, lagrad metavulkanoklastit med graderad skiktning som visar uppåt i stratigrafien mot nordväst (fig. 11a). I denna förekommer centimeter- till decimeterbredda skarnomvandlade lager och en koherent metabasisk bergart (fig. 11b). Vid nästa mindre hållområde ca 60 m norrut längs profilen är det mer tveksamt om vad som är upp i stratigrafien, här förekommer spröd-plastiska skjuvzoner, brecciering och förkastningar i lagrad sur kvartsporfyrisk metavulkanoklastit (fig. 11c). Strykning och stupning hos lagring har över lag samma riktningar som alla metavulkanoklastiterna söder härom. Här finns även kristallrikare avsättningar, kristalltuffliknande metaryolit med litoklaster (fig. 11d).

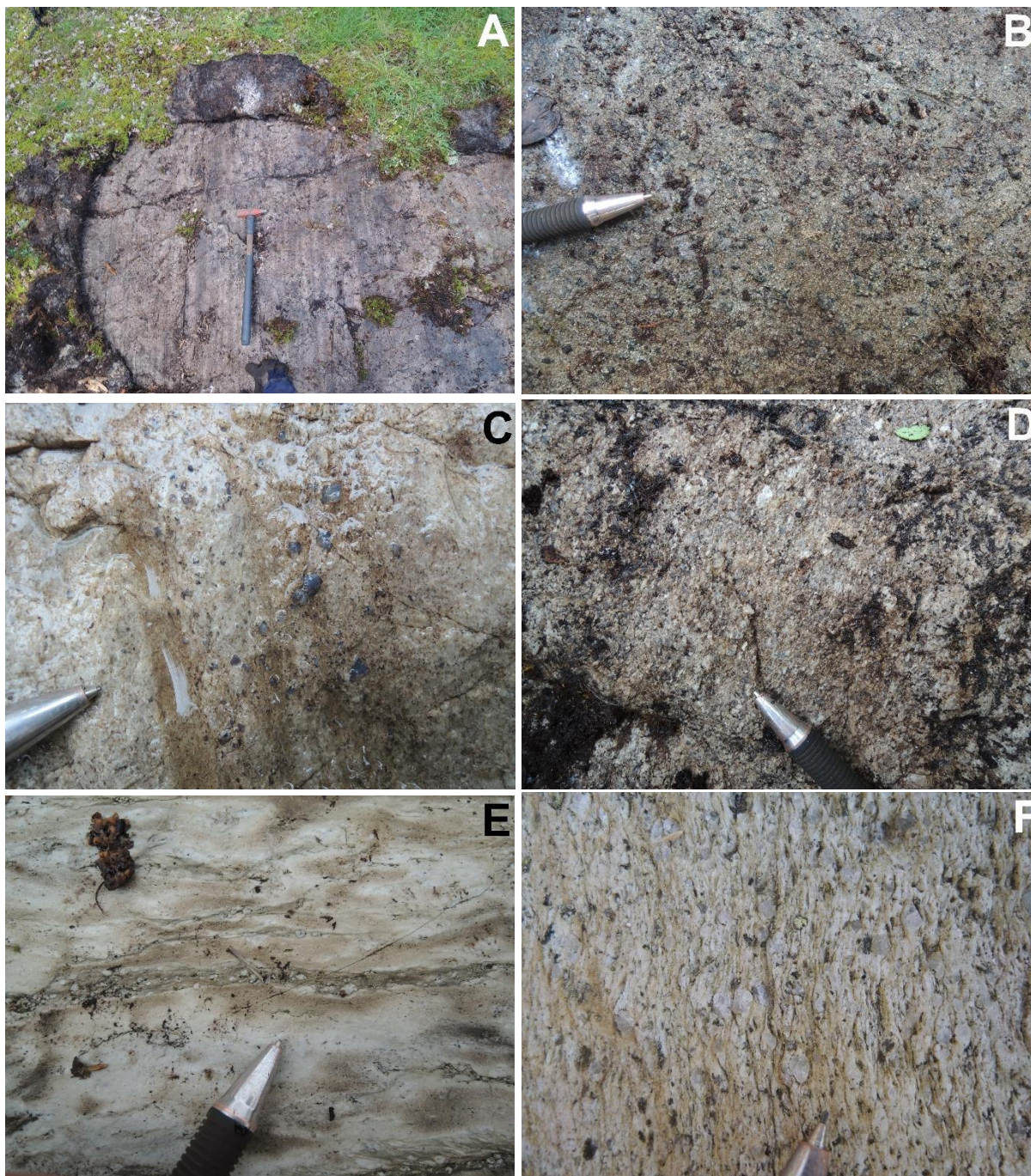
Ytterligare ca 280 m längre norrut finns längs ca 160 m massiv, pimpstensförande metaryolitisk vulkanoklastit (fig. 11e). Den följs av lagrad metaryolitisk vulkanoklastit. Lagringen stryker ungefär som längre söderut och är brant stupande. Graderad skiktning tyder på uppåt mot nordväst. Plastiska och spröda deformationszoner förekommer.

Vid Lungdalsgruvorna ca 500 m längre västerut (fig. 1) observerades ungefär samma lagringsriktning. Där finns meterbredda karbonatlager i sekvensen samt förskiffring hos metavulkaniten. Andelen skarnomvandlade lager ökar markant in mot järnoxidmineraliseringen.

Nordost och norr om järnmineraliseringen vid Lungdalsgruvorna dominerar en grönfärgad, hydrotermalt omvandlad, brant stänglig, kvartsporfyroblastisk sericitskiffer (fig. 11f). Det är svårt att bedöma ursprungsbergart, om det kan ha varit koherent bergart eller en kristallrikare vulkanoklastit. Fördelningen av kvartsporfyroklaster är ojämn och deras kornstorlek varierar, en del är subhedrala.

Vid ca 800 m nordost om Lungdalsgruvorna förekommer lagrad metaryolitisk vulkanoklastit med graderad skiktning som visar uppåt mot nordväst, här finns också dolomitmarmorhorisonter. Cirka 400 m västerut finns finkornig, bandad, deformerad vulkanisk sandsten-siltsten. Strax norr om den finns hydrotermalt omvandlad porfyrisk metavulkanit som liknar ovan nämnda sericitskiffer. Den senare är dock inte lika hårt förskiffrad här.

I den södra delen av profil 11 dominerar lagrad sur metavulkanit, uppåtstrukturer som graderad skiktning pekar dominerande mot nordväst.



Figur 11. **A.** Lagrad metavulkanoklastit. 6652632/ 592608. **B.** Massformig koherent metabasit. 6652670/592631. **C.** Metavulkanoklastit med kvartsströkorn, norr är mot höger i bild. 6652770/ 592582. **D.** Kristallrik metavulkanoklastit med litiska klaster. 6652751/592469. **E.** Massiv metavulkanoklastit med pimpstensklastar. 6653150/ 592242. **F.** Sericitskiffer med kvartsporfyrklaster. 6653741/ 592098.

A. Layered metavolcanoclastic rock. **B.** Coherent, porphyritic, metamorphic basic rock. **C.** Quartz phyric metavolcanic rock. **D.** Crystal rich metavolcanic rock with lithic fragments. **E.** Massive pumice rock. **F.** Sericite schist with quartz porphyroclasts.

Istället för att följa dragningen av profil 12 undersöktes ett område en bit väster därom, kring en skogsbilväg norr om gården Fallet (fig. 1). Anledningen var att det här enligt befintlig berggrunds-karta (Persson 1997) kunde finnas korsande lagring och foliation och flera hållar längs vägen.

Från Fallet och ca 500 m mot nordnordväst finns gles kvartsporfyrisk metavulkanit. Lokalt finns finkornig till fint medelkornig yngre granit (tolkad som äldre granit av Persson 1997) som ådror och smärre massiv eller gångar.

Norr härom och österut mot skogsbilvägen finns ett stråk med järnmineraliseringar. De omges av vulkanisk siltsten med en gles foliation. Foliationen är associerad med mindre än millimetertunna kvartsådror och övertvårar en tidigare *spaced cleavage*. De västligare gruvhålen är mest grävningar till skärpningar. Vid hålet ca 200 m väster om skogsbilvägen syns fint magnetitbandad, veckad, något skarnig vulkanisk siltsten (BIF-typ; fig. 12). Vid vägen finns ytterligare ett gruvhål med skarnbandad vulkanisk silt- till sandsten. Boudiner och vågighet i lagring och foliation definierar en lineation. Ingen varp är synbar, men förmodligen finns bandad magnetit som i hålen väster härom.

Det finns knappt några hållar längs skogsbilvägen, och nästa blottning ligger ca 500 m norrut. Här finns en slät markhäll med vulkanisk silt- till sandsten. Det finns enstaka kvartsströkorn och mer folierade och troligen glimmerrikare zoner. De senare är rikligare och grövre kvartsporfyriska. Epidotläkta sprickor till förkastningar finns också.



Figur 12. Varpbit av veckad bandad järnformation. 6655466/593604.

Sample of folded BIF from tailings of testmining.

Profil 13 valdes för att studera dels om någon struktur som kan kopplas till tolkat lineament här (fig. 1), dels för att studera relationen mellan mafisk och felsisk äldre intrusivbergart enligt befintlig berggrundskarta (Persson 1997). Någon eventuell struktur visar sig inte i håll här. I den mån den finns torde den ligga under jord längs vägen och åkermarken här, vilket befintlig karta också visar. Övergången mellan mafisk och felsisk intrusivbergart är tämligen subtil och sannolikt gradvis snarare än att en intruderar den andre. Bergarterna ser vid ett ytligt betraktande lika ut, men vid närmare studium visar den på kartan markerad som felsisk en noterbar kvartshalt medan den mafiska är praktiskt taget utan kvarts.

Längs profil 14 (fig. 1) undersöktes bara sträckan från Runhällen och drygt 2 000 m norrut. Kring Runhällen finns klart identifierbar metavulkanit, norr om Runhällen och en bra bit norrut finns åkermark utan blottningar och i de första blottningarna norr härom finns dels äldre granodiorit, dels finkornig tonalitisk gnejs. Metavulkaniten i Runhällen är fältspat- och kvartsporfyrisk, lokalt dominerar fältspat-, lokalt kvartsströkornen, lokalt saknas nästan strökorn (fig. 13a). Det finns plastiska skjuvzoner i centimeter- till decimeterskala med till synes dextral rörelse. Gnejsen är en finkornig pegmatit-, aplit- och granitådrad metatonalit (fig. 13b). Bergarten är tämligen massformig i sig men har en granitådring i millimeterskala som ger en gnejsighet. Aplitådrorna är dels konkordanta, dels tillsammans med pegmatit diskordanta och ptygmatiskt veckade. Dessutom finns lokalt en vag foliation definierad av mörka mineral.

Tydligen sker ett ganska stort metamorft språng tvärs de lineament som tolkats här och som även markerats på befintlig berggrundskarta (Delin & Söderman 2005). Lineamenten, liksom ovan nämnda skjuvzoner, är delar eller uttryck av Hagaskjuvzonen (Jansson 2020). På en äldre berggrundskarta (SGU serie Aa; Sandegren & Asklund 1946) har delar av det här gnejsiga området tolkats som äldre intrusivbergarter medan Delin & Söderman (2005) tolkade det som metavulkaniter. Vår bedömning är att bergarterna i området borde markeras som ortognejs, men vi har i kartdatabasen omtolkat de delar vi direkt observerat som gnejsig äldre intrusivbergart medan övriga områden får kvarstå som metavulkanit men med tillägget gnejsig i kodningen.

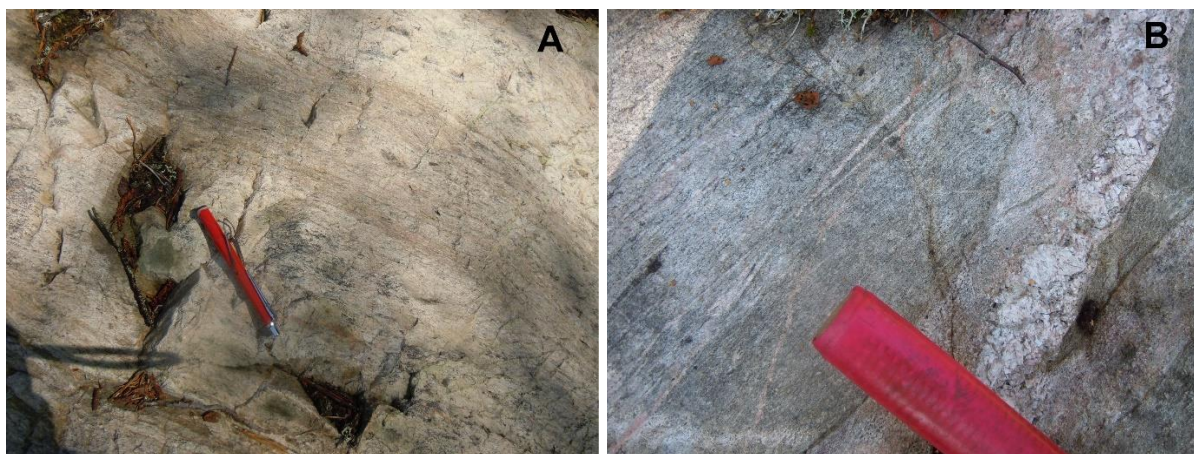


Figure 13. A. Porphyritic metarhyolite in Runhällen. Mörka stråk med starkare deformation. 6655452/602146. **B.** Tonalitic (till granodioritisk) gnejs. Millimetertunna granitiska ådror och konforma till skärande aplit- och pegmatitgångar. 6657986/602824.

A. Porphyritic metarhyolite. More strained parts appear darker. **B.** Tonalitic (to granodioritic) gneiss. Millimetre-sized granitic veins define the gneissosity. Conformable to cross-cutting aplitite and pegmatite veins.

Profil 15 (fig. 1) börjar i väster med medelkornig metabasisk intrusivbergart som är något heterogen med ultrabasiska körtlar och tunna finkorniga metabasitgångar. Nord-sydliga sprick-system och en nord-sydlig plastisk deformationszon förekommer. Vid några mineraliseringar här (Ekedalsgruvan, fig. 1) finns sulfidförande ultrabasit. Strax öster om gruvområdet är berggrunden ännu mer heterogen, med omväxlande metabasit och metagranitoider. Magmatisk blandning (både mixing och mingling som ger hybridbergarter) syns i kontaktzoner med dels en meta-granodioritisk till -tonalitisk, dels en metabasisk komponent (fig. 14a). En plastisk deformations-zon, liknande en sammansatt gång med metagranodiorit och metabasit, löper i nordväst-sydöstlig riktning. I denna finns en *echelon*-åderliknande struktur med kvartsfyllda sprickor. Även en mindre nordost-sydvästligt folierad metagranitkropp med klippande, men veckad, finkornig metabasitgång antyder dextral rörelse i nordost-sydvästlig riktning. Gabbroiska pegmatitgångar och även ultrabasiska körtlar finns i metabasiten. I sydöstra delen av detta hållområde förekommer en massformig, plagioklasrik metakvartsdiorit till -kvartsgabbro.

Cirka 500 m ostnordost om profilens start dominerar ojämnkornig metabasit med enstaka mindre partier av gångliknade metatonalitisk bergart bildad genom magmablandning och pyritfyllda sprickor. Ställvis är den magnetiska susceptibiliteten hög.

Ytterligare 140 m mot sydost finns ett större hållområde med medelkornig, massformig och homogen metagabbroid med tunna metabasitgångar. Cirka 300 m till österut finns en lokalt uppsprucken, nordväst-sydöstligt folierad metagranit. Här finns också starkt deformerad och magmatisk blandad metabasit och metagranitoid, fläckvis med upp till decimeterstora granater (fig. 14b).

Kring Banmossens wollastonitfyndighet, en av Europas största kända förekomster av wollastonit (Delin 2001), återkommer metabasiten och metagranodiorit i blandning. Fyndigheten är borrarad, malmberäknad och provbruten (Delin 2001). Den är ganska heterogen i sammansättning och kornstorlek. Starkt deformerade zoner, upp till ca 10 m breda, stryker i nordväst-sydöstlig riktning. Vid mineraliseringen är foliationen ostnordöstlig-västsydvästlig och i själva fyndigheten är nästan ost-västlig och vertikal. Wollastonitfyndigheten är inte speciellt bred här, under 50 m, den uppträder som en xenolit i metabasiten.

Metabasit fortsätter att dominera vidare österut, mindre xenoliter av metaandesit och wollastonit-förande, sur metavulkanit observerades upp till 280 m öster om Banmossens provbrytning. Magmablandade deformationszoner i metabasiten är ostnordost-västsydvästliga med en brant stupande lineation (fig. 14c). Lokalt dominerar metagranodiorit, kontakten till metabasit är magmablandad. Cirka 150 m åt nordost, finns heterogen metabasit, magmatisk blandbergart och ett större inslag av metatonalit. Foliationen här är nord-sydlig. Längre österut (vid Älgmossens järn- och sulfidskärpning) dominerar metabasit, men även metagranodiorit finns och kontakten är magmatiskt blandad. En deformationszon stryker i nordost-sydvästlig riktning. Här finns dessutom några upp till meterbreda pegmatit- och aplitförekomster, vilka är de bredaste som observerades längs hela profilen. Ytterligare 250 m österut dominerar metabasit med decimeter- till meterbreda magmablandade, nordost-sydvästliga och ost-västligt strykande deformationszoner.

Vid 2 300 m från profilens start och 600 m längs profilen österut finns rikligt med fin- till medelkornig, magmablandad metagranodiorit och hybridbergarter (metatonalit till -kvartsdiorit) i fin- till medelkornig metabasit. Foliationen i området är nordost-sydvästligt strykande och lineationen brant. Lokalt finns yngre, finkornig metagranit. En skarp kontakt mellan magmablandad metatonalit och en metagranodiorit stryker i nordost-sydvästlig riktning och stupar 70 grader mot sydost. Ytterligare 230 meter längre österut finns massformig, medelkornig, metakvartsdiorit till -kvartsgabbro med zonerade plagioklasströkorn. Grovkorniga, pegmatitiska metatonalitkörtlar är vanligt lokalt. Decimetertunna, fin- till medelkorniga metabasitgångar med kvartsxenokrister stryker i nordväst-sydöstlig riktning

Ytterligare 60 m längre österut och längs 370 m dominerar ojämnkornig, fin- till grovkornig metabasit. Metatonalitiska till -kvartsdioritiska hybridbergarter är vanligt förekommande i östra delen av detta område. Strax öster härom och längs 100 m finns starkt deformerad, fin- till medelkornig metatonalit med metabasitenklaver. Foliationen stryker i ost-västlig riktning.

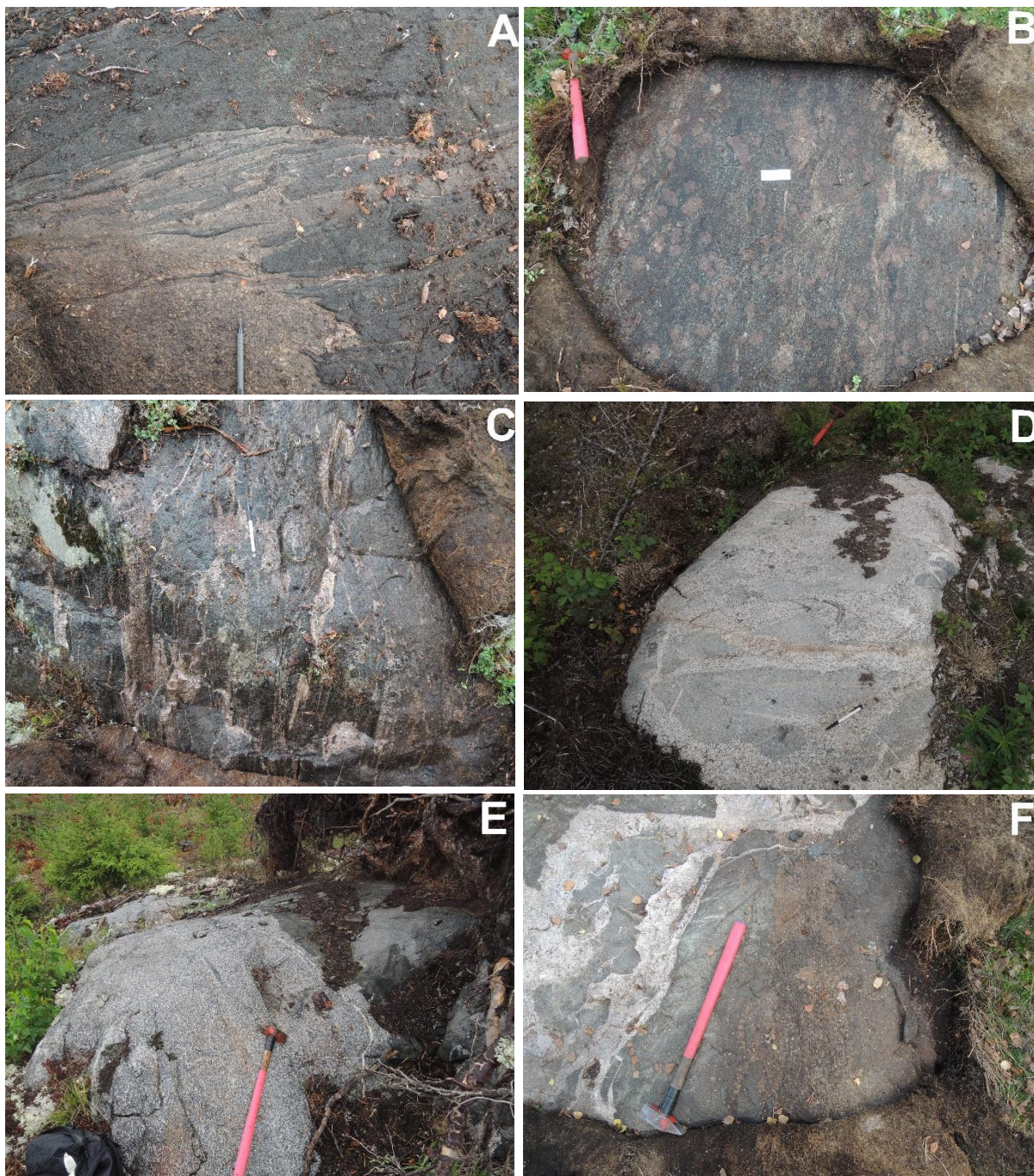
Vid 3 550 m öster om profilens start och längs 280 m mot sydost dominerar medelkornig meta-granodiorit med kalifältspatströkorn på upp till 1 cm i storlek. Lokalt finns nord-sydliga, magma-blandade metabasitgångar. En starkt deformerad zon med större inslag av fin- till medelkorniga metabasiska bergarter stryker nordost-sydvästligt. Även decimeterbreda, fin- till fint medelkorniga metabasitgångar strykande i nordost-sydvästlig riktning finns. Lokalt i östra delen av området finns medelkornig metatonalit. Bergarten för rikligt med metabasiska enklaver (fig. 14d).

Ytterligare 50 m österut och längs 150 m finns fin- till medelkornig, massformig metabasit. Meta-granitoida magmablandningar förekommer. Både nordostliga-sydvästliga och nordväst-sydostliga deformationszoner finns. Detta följs av en nordväst-sydostlig kontakt till fin- till medelkornig meta-granodiorit. I kontaktzonen finns foliation i samma riktning. Massformig meta-granodiorit följer österut längs cirka 200 m. Små metabasitenklaver och metatonalitenneslutningar förekommer i meta-granodioriten.

Från 4 300 m öster om profilens start och längs 700 m österut dominerar metabasit. I västra delen är metabasiten amfibolitisk och folierad. Folierad meta-granodiorit finns som en 30 m bred inneslutning i nordväst-sydostlig riktning. Sedan följer fin- till medelkornig, massformig metabasit med enstaka strökorn på upp till 1 cm. Lokalt finns medel- till grovkornig metabasit. Grovkornig pegmatit i decimeterstorlek bildad av restlösningar är vanligt förekommande. Enstaka magmablandade deformationszoner på upp till 10 m bredd stryker i nordost-sydvästlig riktning. Det finns även upp till meterbreda, gångliknande magmatiska inblandningar av plagioklas- och magnetitrik, folierad metabasit (fig. 14e). Dessa stryker i nordväst-sydostliga riktningar. En variation i metabasitens halt av amfibolströkorn kan vara pulser i bredare basiska gångar inom metabasitkroppen, alternativt magmatisk lagring. Även decimetertunna, finkorniga metabasiska gångar klipper metabasiten här och var. I områdets östra del finns en deformerad, nordost-nordlig-sydvästsydlig strykande magmablandad gång klippande genom metabasitkroppen och den nordväst-sydostligt plagioklasrikare, gångliknade magmablandningsbergarten (fig. 14f). I områdets östra del ökar också andelen meta-granitoida magmablandningar i metabasiten. Vid profilens östra slut finns två mindre skärpningar; i varphögarna finns endast svag mineralisering av magnetkis och pyrit. Huvudbergart tolkas som metabasisk, men metatonalitiska enklaver finns, samt kvartsrik pegmatit. Även den nämnda gångliknande, plagioklasrikare metabasiten förekommer som en decimeterbred gång strykande i ostsydostlig-västnordvästlig riktning.

Slutsats: De nordväst-sydostligt folierade, plagioklas- och magnetitrikare, magmatiska gångliknade magmablandningsbergarterna är troligen något äldre än de nordost-sydvästligt strykande deformationszonerna. Magmablandning med hybridbergarter är mest frekvent i kontaktzoner mellan metabasiter och meta-granitoider. Den granitiska, pegmatitiska och aplitiska berggrunden som förekommer ganska underordnat representerar möjligtvis yngre formationer.

Observationer vid Koppargruvsberget (fig. 1). Berggrunden i området består av metavulkanit och metabasit. Metavulkaniten är mest kvartsporfyrisk och då lokalt till synes subvulkanisk, även om strökornen varierar i form och storlek. Den är dock lokalt även siltstensaktig och bandad. Bandningen (51/78) och lineationen (125/70) är delvis starka och vulkaniten där närmast mylonitisk. Metabasiten har avkylningskontakt mot metavulkaniten och tolkas som gångbergart. Den har pretektoniska, delvis rostvittrande kvartsläkt sprickor.



Figur 14. A. Magmatisk mingling och mixing. 6662781/597070. B. Granatfläckig, magmablandad metabasit. 6662615/598119. C. Deformerad zon med magmablandning. 6662604/ 598742. D. Enklavförande metatonalit. 6662506/600885. E. Plagioklasrik magmatisk gångliknade inblandning. 6662281/ 602070. F. Magmablandad, deformerad gång klipper en tidigare folierad, magmablandad struktur. 6662328/ 602115.

A. Magmatic mingling and mixing. **B.** Garnet rich hybride metabasic rock. **C.** Magmatic mingling and mixing in deformation zone. **D.** Tonalite with mafic enclaves. **E.** Plagioclase rich enclave. **F.** Magmatic mixed vein crosscutting older hybride rock.

Observationer öster om Nordanberg (fig. 1). Hällområde med jämnkornig och stänglig till massformig metatonalit till metagranodiorit med decimeterstora enklaver. Inga tecken på deformation relaterad till tolkat lineament syns. En eventuell skjuvzon får dock plats under fälten och vägen mellan befintliga hållar.

Sammanfattning av fältobservationer

De huvudsakliga ändringarna i kartbilden jämfört med tidigare är en större andel intrusiva bergarter längs profil 1 och i området en bit norr om Runhällen (fig. 1). I det senare borde dock bergarterna snarast betraktas som ortognejser eftersom ursprunget i många fall tolkats olika av olika generationer geologer. Området mellan profilerna 5 och 6, som tidigare markerats som metadacit, tolkas nu som finkornig, intrusiv metabasit.

Profilerna norr om Sala (fig. 1) visar dels en möjlig synklinal längs nummer 6, dels en antiklinal plus en synklinal längs numren 5 och 7–12. Vid profil 6 finns sannolikt en i stort sett östvästlig synklinal. Nyss nämnda intrusiva metabasit torde ligga i en antiformal norr om denna och avgränsa den från nästa synklinal norrut. Bergarterna längs profilerna 7 och 8 representerar denna och profil 9 följande antiklinal som domineras av metasedimentära bergarter. Synklinalen vid profilerna 7, 8, 10 och 11 visar (om dateringen på Gyltberget stämmer) att det i dess stratigrafiskt lägsta delar kan finnas en lateral faciesövergång från sedimentära bergarter i norr (profil 9) till vulkaniter i Jugansboområdet.

Berggrunden längs profil 15 är i detalj komplext uppbyggd, men den domineras av metabasiter och underordnade metagranitoider. Vid kontakterna mellan dessa finns i många fall magma-blandning som lett till bildningen av hybridbergarter. Magnetmönstret i området (fig. 2) relaterar till varierande magnetithalt i dessa bergarter och diverse strukturer.

Petrografi

Följande beskrivning är baserad på den mikroskopiska undersökningen av tunnslip gjorda i det här projektet.

Metagråvacka ($n = 3$). Grundmassan är ojämnkornig med en kornstorlek på 0,03–0,3 mm och tämligen osorterad. Bergarten är lokalt krenulerad där en andra foliation överpräglar en tidigare, båda dessa kan vara i vinkel mot lagringen. Huvudsakliga mineral är glimmer (både biotit och muskovit), kvarts och fältspat. Kvartskornen har subkornbildning och vågiga gränser mot omgivningen. Fältspatkornen är åtminstone delvis plagioklas, sericit- eller saussuritomvandlade och har lokalt en viss rundning. Övriga mineral är grönpleokroistisk till färglös klintoamfibol (sannolikt aktinolit-tremolit), opakmineral (minst två olika), apatit och allanit/epidot samt möjligen zirkon.

Metaryolit ($n = 16$). Bergarten är i de flesta fall porfyrisk med en grundmassa som lokalt är mycket finkornig, lokalt finkornig, i enstaka prov bara ca 0,015 mm men i allmänhet ca 0,05–0,1 mm. Strökornen varierar i storlek mellan 0,1 och 6 mm. Det finns även polymineraliska kornaggregat som är 0,5–2 mm. Halten strökorn växlar från måttlig till riklig, i något prov är den dock så låg att bergarten graderar mot en vulkanisk sandsten. Lokalt har metaryoliterna millimeter- till centimeterstora kluster av mer fint porfyrisk metavulkanit eller av en oidentifierad finkornig bergart och har där klassats som vulkanisk breccia. Ett prov innehåller centimeterstora, skarniga aggregat av glimmer och epidot samt i varierande grad opakmineral.

Både kvarts- och fältspatströkorn finns och proportionerna dem emellan varierar, så att både kvarts- och fältspatdominanta varieteter förekommer. Kvartsen är undulös och har subkornbildning. Fältspatströkornen är både kalifältspat och plagioklas (oligoklas till andesin). Kalifältspaten är mikropertitisk och innehåller dessutom lokala inneslutningar av en annan fältspat, troligen plagioklas. Plagioklaskornen är måttligt till kraftigt sericit- eller saussuritiserade. Jämnkorniga varieteter har en sammansättning som är mera kvarts- och glimmerrik, med både muskovit och biotit. Kloritomvandlingen i biotit är svag till lokalt måttlig. Som nämnts, finns epidot och opakmineral i aggregat tillsammans med glimmer. Epidot växer även på saussurit, den

är i några prov zonerad eller allanitisk. Lokalt förekommande mineral är muskovit, apatit, karbonat, klorit (efter biotit), turmalin, monazit, titanit, pyrit, hematit och zirkon, möjligen även amfibol.

I den ovan nämnda breccierade metaryoliten i profil 1 är matrix sammansättning heterogen och tolkningen av den svår. Dominerande kornstorlek är 0,04–0,1 mm men större korn är på 0,3–1 mm av muskovit och pertititisk kalifältspat samt kornaggregat finns. De senare uppgår i enstaka fall till 4 mm. Övriga mineral är kvarts, plagioklas, titanit och apatit. Halten kalifältspat, biotit och muskovit är högre än i omgivande metaryolit.

Värdbergarten till Banmossens wollastonitförekomst tolkas som en xenolit av sur metavulkanit i omgivande metabasit. Det finns en variation i färg och sammansättning med omväxlande vita band med rödbruna fläckar och gröna band. De vitare banden är ojämnkorniga och har en dominerande kornstorlek på 0,1–2 mm samt poikiloblastisk granat på upp till 8 mm. Övriga huvudmineral är wollastonit, kvarts och plagioklas. Underordnat förekommer diopsid och kalcit. Sericitomvandlingen i plagioklas är svag till måttlig. Övriga observerade mineral är titanit, zirkon, klorit, opaka mineral och ett oidentifierat mineral. De gröna banden är ojämnkorniga med en grundmassa på 0,2–0,8 mm samt kvartsströkorn och kvartsaggregat på upp till 2,5 mm. Grundmassan domineras av kalifältspat, kvarts och plagioklas. Sericitomvandling i plagioklas är måttlig i kornkärnor. Underordnat finns epidot, titanit, kalcit, zirkon, wollastonit, opaka mineral samt ett oidentifierat mineral. En röntgendiffraktionsanalys (av Erik Jonsson, SGU) av den vita bergarten visar att huvudmineralen är kvarts, wollastonit, grossular, mikroklin och albit.

Sericitskiffern längs profil 11 har en grundmassa på 0,01–0,1 mm. Den domineras av sericit och klorit. Klorit förekommer även som större, upp till 0,5 mm stora aggregat. Kvartsströkorn är 0,4–3,4 mm och har deformationslameller. Aggregat (troligen kvartsdominerade) med en kornstorlek på 0,04–0,45 mm finns, mineralen i dessa aggregat har stavformade glimmerinneslutningar. Sericit bildar en vågig parallellorientering. Övriga mineral är titanit, zirkon och opaka mineral.

Intermediära till basiska metavulkaniter ($n = 5$). Metaandesiten i den norra delen av profil 1 är heterogen i mineralfördelning och kornstorlek. Kornstorleken i grundmassan är 0,01–0,1 mm. Fläckvis finns aggregat med en kornstorlek på 0,05–0,2 mm av kvarts, biotit och epidot. Rektangulära plagioklasströkorn är 0,6–2 mm. Grundmassan är plagioklas- och biotitrik. Kloritomvandling är stark vid sprickor. Sericit- och saussuritomvandlingen i plagioklasströkorn är måttlig. En parallellorientering utgörs av avlånga aggregat och biotit. Övriga mineral är titanit, hornblände, apatit, pyrit, hematit och ett oidentifierat.

Metaandesitoida xenoliter som ligger i metabasit längs profil 15 förekommer i närheten av och i kontakt med Banmossens wollastonitförande sura metavulkanitxenoliter. De har varierande kornstorlek och sammansättning. En koherent typ har en grundmassa på 0,03–0,6 mm och zonerade, sub- till euhedra plagioklasfenokrister på 0,6–1,8 mm. Bergarten är omkristalliserad och parallellorienterad med biotit och hornblände. Sericitomvandlingen i plagioklas är dominerande svag men måttlig till stark i enstaka korn. Kloritomvandlingen i biotit är svag. Lokalt är prehnitomvandling i biotit vanlig. Kalifältspat förekommer underordnat som sista magmatiska kristallisationsfas. Andelen kvarts är ganska hög i grundmassan, och modalt plottar bergarterna nära dacitisk sammansättning. Övriga mineral är epidot, titanit, apatit, granat, zirkon, magnetit, pyrit, hematit och kopparkis.

I direkt kontakt med ovan nämnda wollastonitförande sura metavulkanit finns en metaandesitoid (?) med en kornstorlek på 0,05–0,4 mm. Zonering finns hos plagioklaskorn. Huvudmineral är plagioklas och hornblände. Även klinopyroxen och kornfogar fyllda med järnoxidmineral är vanligt. Övriga mineral är epidot, klorit, titanit, apatit, zirkon, flusspat, hematit, pyrit och två stycken oidentifierade.

De metabasiska intrusivbergarterna (n = 10, fig. 15a) längs profil 15 är massformiga och ojämnkorniga. Dominerande kornstorlek är 0,3–2 mm med enstaka korn 2–4 mm; lokalt förekommer fenokristrikare metabasiter med korn på 3–8 mm. Dominerande mineral är klintoamfibol, plagioklas och ortopyroxen. Amfibolerna bedöms vara i huvudsak sekundära efter pyroxen. Både hornblände och en svagt grönaktig till färglös amfibol förekommer. Primärt bildad ortopyroxen förekommer delvis bevarad i varierande halt. Plagioklaskorn i aggregatform tolkas som omkristalliserade med nykornsbildning. Subofitisk textur förekommer, främst hos de mer fenokristrika metabasiterna. Plagioklaserna är måttligt till kraftigt sericit- och saussuritomvandlade. Biotit är måttligt kloritiserad. Övriga mineral som förekommer är kvarts, epidot, apatit, kalcit, magnetit, pyrit, ilmenit, hematit och kopparkis.

Den plagioklas- och magnetitrika, gångliknande metabasiten som blandar sig med ovan nämnda bergart längs profil 15 är ojämnkornig med växelvis dominerande kornstorlek på 0,2–1,5 respektive 0,5–3 mm. Den ursprungliga kornstorleken hos plagioklasfenokrister är upp till 11 mm, men de är omkristalliserade till aggregat med kornstorlekar på 0,2–1,5 mm. Halten opaka mineral är cirka 5 % och de består mest av magnetit. Plagioklaserna är lite till måttligt sericitomvandlade. Klorit-omvandlingen av biotit är lokalt kraftig och klorit förekommer även som sprickfyllnad. Övriga huvudmineral är hornblände och en svagt grönaktig till färglös amfibol samt delvis bevarad ortopyroxen. Dessutom finns apatit, ett oidentifierat mineral, kopparkis och pyrit.

Metakvartsdiorit till -kvartsgabbro längs profil 15 är massformig med en dominerande kornstorlek på 0,2–3 mm och enstaka korn på 3–5 mm. Lokalt är bergarten omkristalliserad och ursprunglig dominerande kornstorlek är fint medelkornig till medelkornig. Zonerad plagioklas finns. Även subofitisk textur förekommer med plagioklas helt eller delvis innesluten i primärt hornblände. Kvarts fyller sprickor i plagioklas och bildar anhedrala korn som sista kristallisationsfas. Kvartsen innehåller en hel del av ett nålformat mineral (rutit?). I närheten till deformations- och magmablandningszoner är plagioklaserna genomgående sericitomvandlade. Där finns också aggregat av hornblände och kvarts med kornstorlekar upp till 4 mm. Klorit-omvandlingen i biotit är lokalt stark och prehnit-omvandlad biotit vanligt förekommande. Övriga mineral är epidot, titanit, kalcit, apatit, kalifältspat, muskovit, magnetit, pyrit, kopparkis och hematit.

Den amfibolitiska metabasiten som finns i deformerade magmablandzoner längs profil 15 är jämnkornig och har en dominerande kornstorlek på 0,2–0,6 mm. Huvudmineral är plagioklas och hornblände. Titanit är vanligt förekommande. Övriga mineral är apatit och pyrit. En parallellorientering utgörs av diffusa aggregat av hornblände och plagioklas. Plagioklasen är svagt sericit-omvandlad.

Ett massformigt amfibolskarn associerat med järnoxidmineralisering (Älgmossens skärpning) har en dominerande kornstorlek på 0,5–3 mm. Band med subhedrala till euhedrala magnetitkorn har klorit som sprickfyllnad. Vid övergången till silikatfasen förekommer magnetitkornen glesare och dessutom finns där större pyritkorn. Silikaterna domineras av amfibol, klorit och epidot samt lite kvarts och ytterst lite bevarad plagioklas. Kloritseringen av övriga mineral är omfattande.

En ultrabasit med sulfidmineralisering (Ekedalsgruvan) är massformig och ojämnkornig, 1–5 mm kornstorlek dominerar hos silikatfasen. Magnetit dominerar den opaka fasen och bildar upp till 12 mm stora korn. Utöver magnetit förekommer kopparkis, markasit, hematit och pyrit. Silikaterna domineras av amfibol, ortopyroxen, biotit och olivin. Serpentinomvandling av olivin förekommer. Klorit finns i sprickor och mellanmassa. Låga interferensfärger överlag hos silikatmineral i tunnslipet gjorde modalanalys svår, troligen har slipet fel tjocklek. Övriga mineral är spinell, ett oidentifierat och kvarts som sprickfyllnad.

Den massformiga metabasiten längs profil 11 är koherent. Grundmassan är 0,03–0,1 mm och domineras av stavformig plagioklas och amfibol. Strökorn av plagioklas på 0,35–1,6 mm är

måttligt till kraftigt saussurit- och sericitomvandlade. Stubbformiga aggregat på 0,5–3 mm med amfibol och klorit utgör troligen tidigare strökorn av pyroxen. Det förekommer även runda aggregat av klorit och amfibol (tidigare hålrum?). Övriga mineral är titanit, klintozoisit (zoisit?), pyrit, magnetkis och ett oidentifierat.

Metagranitoider (n = 8, fig. 15b). Metagranodioriten i profil 1 är porfyrisk med zonerade, euhedra till subhedra plagioklasströkorn samt kvartsströkorn på 1–6 mm. Grundmassan är 0,05–0,15 mm. Sericit- och saussuritomvandlingen hos plagioklasfenokristerna är varierande svag till stark och vanlig i kornkärnorna. Anhedral, pertitisk kalifältspat förekommer i grundmassan och är en sen kristallisationsfas. Biotit och epidot förekommer tillsammans i aggregat. En parallellorientering av mineral i grundmassan är draperad runt strökornen. Kloritomvandlingen i biotit varierar från svag till stark. Övriga mineral är titanit, epidot, kalcit och opaka mineral.

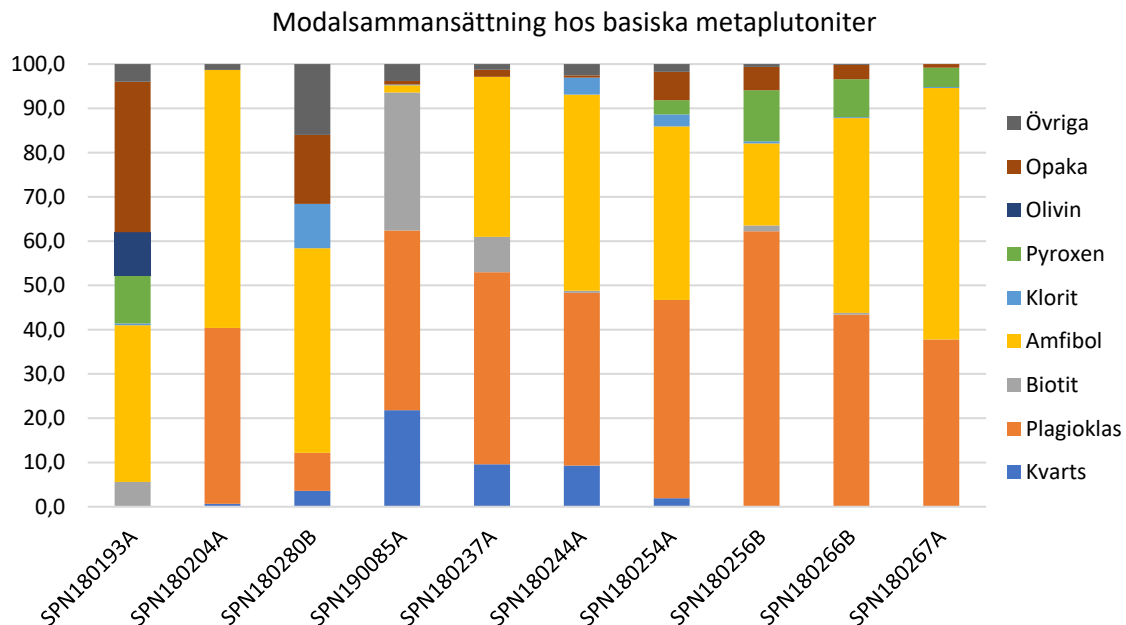
Metagranodiorit i och nära deformerade blandzoner längs profil 15 är ojämnkornig med en grundmassa på 0,1–1,5 mm. Strökorn och mineralaggregat är 0,8–3 mm. Zonerad plagioklas bildar strökorn. En parallellorientering utgörs av biotit och utdragna mineralaggregat. Sericitiseringsgraden hos plagioklas är dominerande svag till måttlig men starkare i kontaktzoner till metabasit och amfibolit. Kloritomvandlingen i biotit är varierande svag till stark. Övriga mineral är kvarts, kalifältspat, epidot, titanit, hornblände, apatit, zirkon, prehnit, magnetit, pyrit, hematit, kopparkis, digenit, covellin och ett oidentifierat.

I de områden längs profil 15 där metagranodiorit dominerar berggrunden är den porfyrisk eller porfyroklastisk, stänglig och omkristalliserad. Dominerande kornstorlek är 1–3 mm, men det är även vanligt med 0,2–1 mm i aggregat runt större korn. Kalifältspat bildar 3–6 mm stora strökorn. Aggregat av kvarts är upp till 12 mm. Bergarten bedöms ursprungligen ha varit medel- till grovkornig. Sericit- och kloritomvandling i plagioklas respektive biotit är svag till måttlig. Prehnitomvandling i biotit är också vanlig. Övriga mineral är epidot, titanit, kalcit, hornblände, apatit, zirkon, magnetit, pyrit, kopparkis och hematit.

Den äldre metaintrusiva bergart som dominerar profil 2 är modalt tonalitisk i sammansättning. Den är ojämnkornig med en grundmassa på 0,1–1 mm och strökorn på 1–2,5 mm, enstaka granater är upp till 7 mm. En parallellorientering är vågig och utgörs dels av enstaka biotitkorn, dels av avlånga biotitaggregat. Plagioklas bildar zonerade korn. De är svagt till måttligt sericitomvandlade. Övriga mineral är kvarts, titanit, hornblände, apatit, zirkon, prehnit, pyrit, hematit, magnetkis.

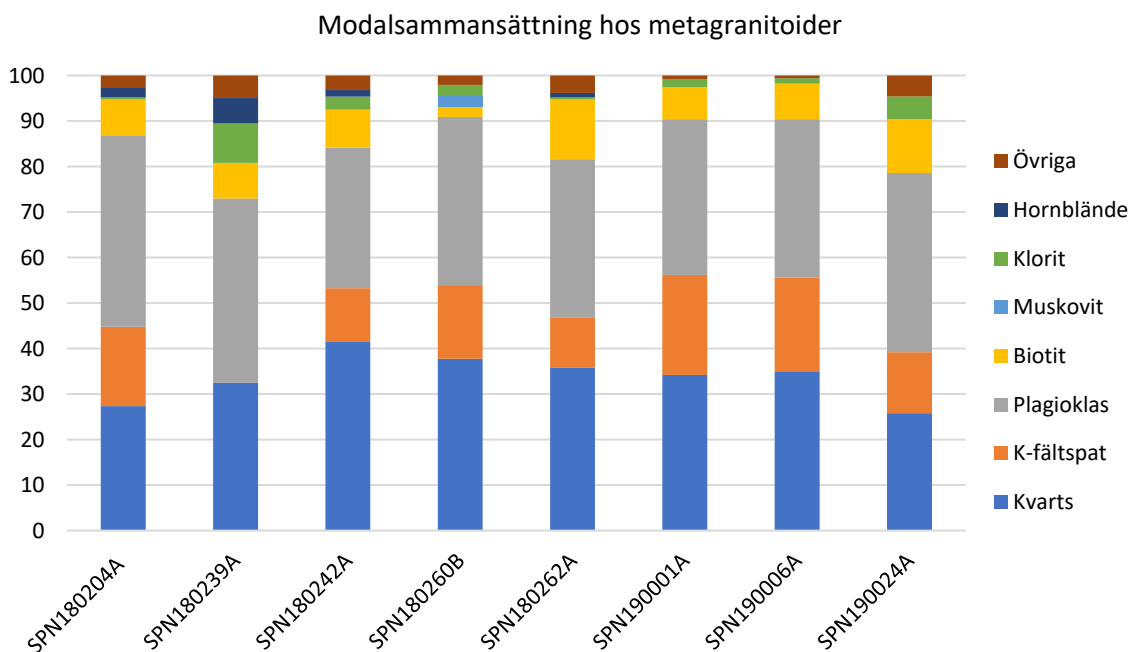
Metatonalit i deformerade blandzoner längs profil 15 är omkristalliserad med parallellorienterade mineralaggregat och biotit. Dominerande kornstorlek är 0,3–3 mm. Sericitomvandlingen i plagioklas är svag till måttlig. Kloritomvandlingen i biotit är varierande svag till stark. Även prehnitomvandling i biotit är vanlig. Övriga mineral är kvarts, epidot, titanit, hornblände, kalcit, apatit, zirkon, magnetit, pyrit, hematit, kopparkis och ett oidentifierat.

Metagraniterna längs profil 1 är ojämnkorniga och omkristalliserade. Zonerad plagioklas och kalifältspat är strökorn på 0,5–3 mm. Grundmassan är 0,05–0,7 mm. Aggregat av kvarts är 1–5 mm. En parallellorientering utgörs av utdragna mineralaggregat och biotit. Strökornen är spruckna och lokalt syns finkorniga aggregat runt dem. Bergarterna har påverkats av sprödplastisk deformation åtföljd av omkristallisation. Sericit- och kloritomvandlingsgraden i plagioklas respektive biotit varierar från svag till stark. Prehnitomvandling i biotit är vanlig.



Figur 15A. Modalsammansättning hos basiska metaplutoniter. Övriga mineral är epidot, serpentin, titanit, apatit, prehnit, kalifältspat, muskovit och ett oidentifierat. Amphibol inkluderar både hornblände och andra amfiboler.

Modal composition of basic metaplutonic rocks. Övriga = other minerals, include epidote, serpentine, sphene, apatite, prehnite, K-feldspar, muscovite and an unidentified. Amphibol = amphibole includes hornblende and other amphiboles.

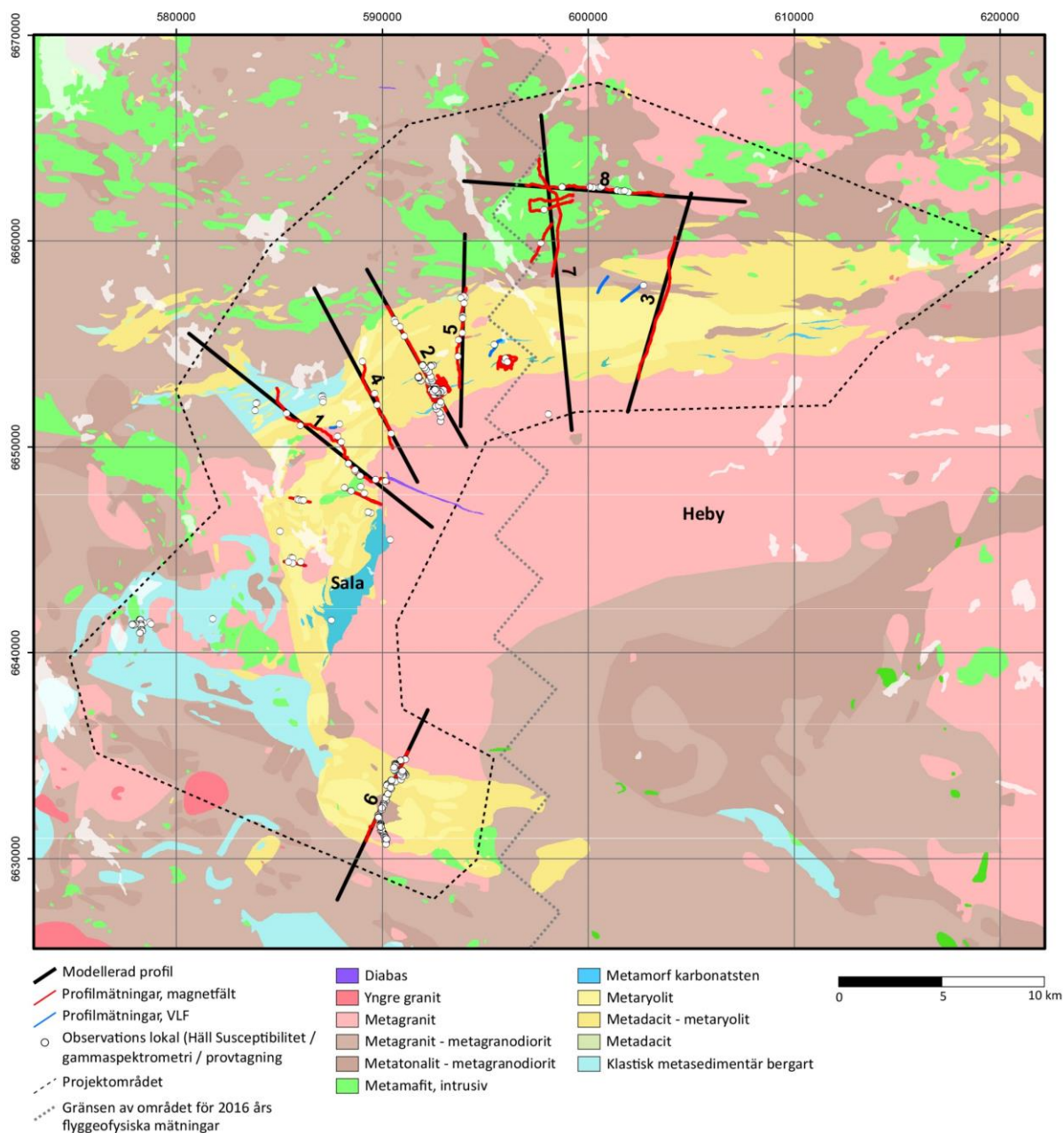


Figur 15B. Modalsammansättning hos metagranitoider. Övriga mineral är epidot, opaka, titanit, apatit, prehnit, zirkon och ett oidentifierat.

Modal composition of metagranitoids. Övriga = other minerals, include epidote, opaques, sphene, apatite, prehnite, zircon and an unidentified.

GEOFYSIK

Som en del av SGU:s undersökning av Sala–Jugansboområdet har olika geofysiska data samlats in. Nya flygburna geofysiska data samlades in under sommaren 2016 och täcker västra delen av området (fig. 16). De nya mätningarna inkluderade elektromagnetisk information från två VLF-sändare, magnetfältet och markens naturliga gammastrålning. Under sommaren 2018 förtätades tyngdkraftsinformationen och inom projektområdet har punkttätheten förbättrats väsentligt.



Figur 16. Geofysiska mätningar, observationslokaler och profilmätningar under projektet. Kartan visar också läget för de profiler som har modellerats (numrerade svarta linjer). Projektområdet visas med en svart streckad linje. Nya flyggeofysiska mätningar från 2016 är tillgängliga väster om den grå streckade linjen.

Base map showing the location of geophysical field observations and profiles collected during the project. The location of profiles, along which, geophysical modelling has been performed are shown as solid black numbered lines. Project area is within the black dashed line. The new 2016 airborne geophysical measurements are available to the west of the grey dashed line.

Inom projektet utfördes geofysiska undersökningar också under 2018 och 2019 (fig. 16). De här undersökningarna inkluderar 97 geofysiska observationer, insamling av 83 bergartsprover för petrofysisk analys och 119 gammaspektrometrimätningar (på 47 olika observationsplatser). Dessutom har magnetfältet mätts längs 25 profiler och markens elektriska ledningsförmåga med VLF-instrument längs åtta profiler. Huvudsyftet med de geofysiska undersökningarna var att samla in data som kunde användas till modellering av berggrundens struktur och sammansättning längs ett antal regionala profiler. Platsen för profilerna valdes för att vara så nära som möjligt de ovan nämnda geologiska profilerna, att vara vinkelräta mot strykningen av den storskaliga strukturen i området och för att korsa anmärkningsvärda geofysiska anomalier identifierade från flyggeofysiska data. Ytterligare ett syfte var att samla in fler petrofysikprov för att erhålla ett bättre underlag rörande berggrundens fysikaliska egenskaper. Särskilt från bergarter varav det fanns få prov (till exempel karbonatsten och olika typer av mineraliseringar).

Petrofysik

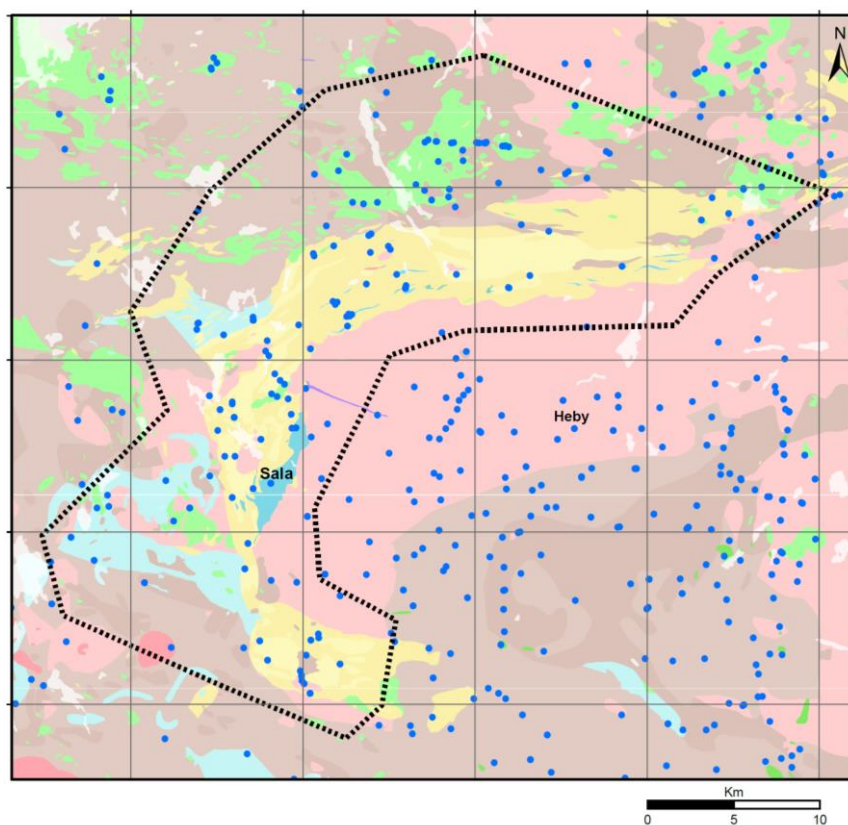
Efter analys av de nya petrofysiska proverna inkluderades dessa data i befintlig databas för statistisk analys. Läget för alla prover som har analyserats visas i figur 17a, medan lokalerna där den magnetiska susceptibiliteten har mätts direkt på håll visas i figur 17b. Det är ganska tydligt att provtagningslokalerna och mätpunkterna varken är jämnt fördelade över projektområdet eller de olika bergarter. När det gäller petrofysikprov har de flesta samlats in strax sydöst om projektområdet där berggrunden domineras av metagranit och -granodiorit. Fördelningen av provtagningslokaler har dock blivit bättre sedan de petrofysikprov som har samlats in under detta projekt inkluderades. När det gäller hållmätningar av den magnetiska susceptibiliteten finns mycket mer data i den östra än den västra delen av projektområdet på grund av olika metodik och resurser i tidigare projekt.

De petrofysiska data grupperades sedan efter bergart och en statistisk analys utfördes. Tabell 1 visar en sammanfattning av resultaten från analysen samt hur många prov eller hållmätningar som ingår i beräkningarna. De flesta prov representerar de metaintrusiva bergarter som ligger utanför metavulkanitområdet. Flera prov från de metasedimentära och -vulkaniska bergarter samt från järnmineraliseringar samlades in under det här projektet, men det finns fortfarande relativt lite data för de här bergarterna.

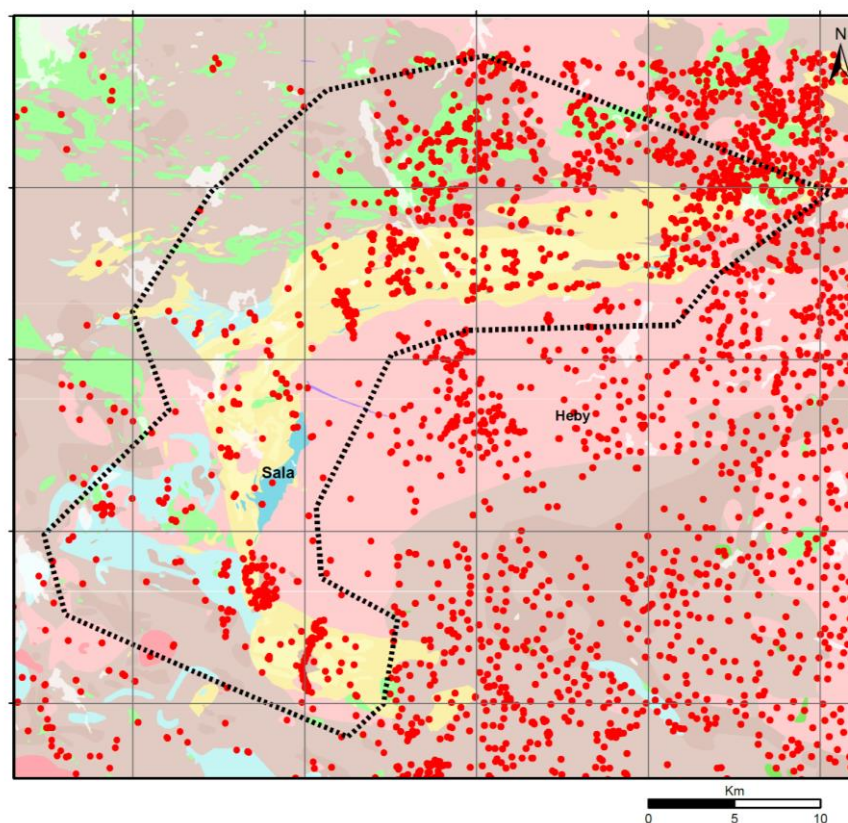
Det finns en relativt stor variation i de metasedimentära bergarternas fysikaliska egenskaper (tabell 1; fig. 18). Karbonatsten-marmor har högst medeldensitet av de sedimentära bergarterna, $2\,845\text{ kg/m}^3$, vacka och arenit $2\,739$ respektive $2\,713\text{ kg/m}^3$. Arenit har den lägsta genomsnittliga magnetiska susceptibiliteten och Q-värde. Q-värdet beskriver förhållandet mellan remanent och inducerad magnetisering, där ett värde över 1 betyder att den remanenta magnetiseringen är starkare än den inducerade. Karbonatsten-marmor har stor variation i magnetisk susceptibilitet med värden mellan 14 och $150\,000\text{ SI} \times 10^{-6}$. Denna variation reflekterar troligtvis skillnaden mellan ren och delvis mineraliserad karbonatsten (som kan innehålla magnetit, magnetkis osv.). Relativt stor variation i magnetisk susceptibilitet finns också i vackor. Ripa m.fl. (2002) tillskrev detta olika halter av magnetkis som kan finnas i bergarten. Det leder också troligtvis till ett ganska högt genomsnittligt Q-värde.

Fördelningen i densitet för dacit-ryolit visar ett ganska tydligt maximum på $2\,698\text{ kg/m}^3$. Där emot är fördelningen av den magnetiska susceptibiliteten bimodal. Ett maximum, som ligger på ungefär $100\text{ SI} \times 10^{-6}$, representerar metaryolit vars magnetisering kommer från paramagnetiska mineral. Ett andra maximum representerar dacit-ryolit som är mineraliserad till en viss grad. Figur 19 visar två exempel på ryolit, den första är ljus med låg magnetisk susceptibilitet (ungefär $2\text{ SI} \times 10^{-6}$). Den andra är mörkare och innehåller mörka band eller zoner, som eventuellt kan innehålla magnetit, och vars magnetiska susceptibilitet är ungefär $20\,000\text{ SI} \times 10^{-6}$.

A



B



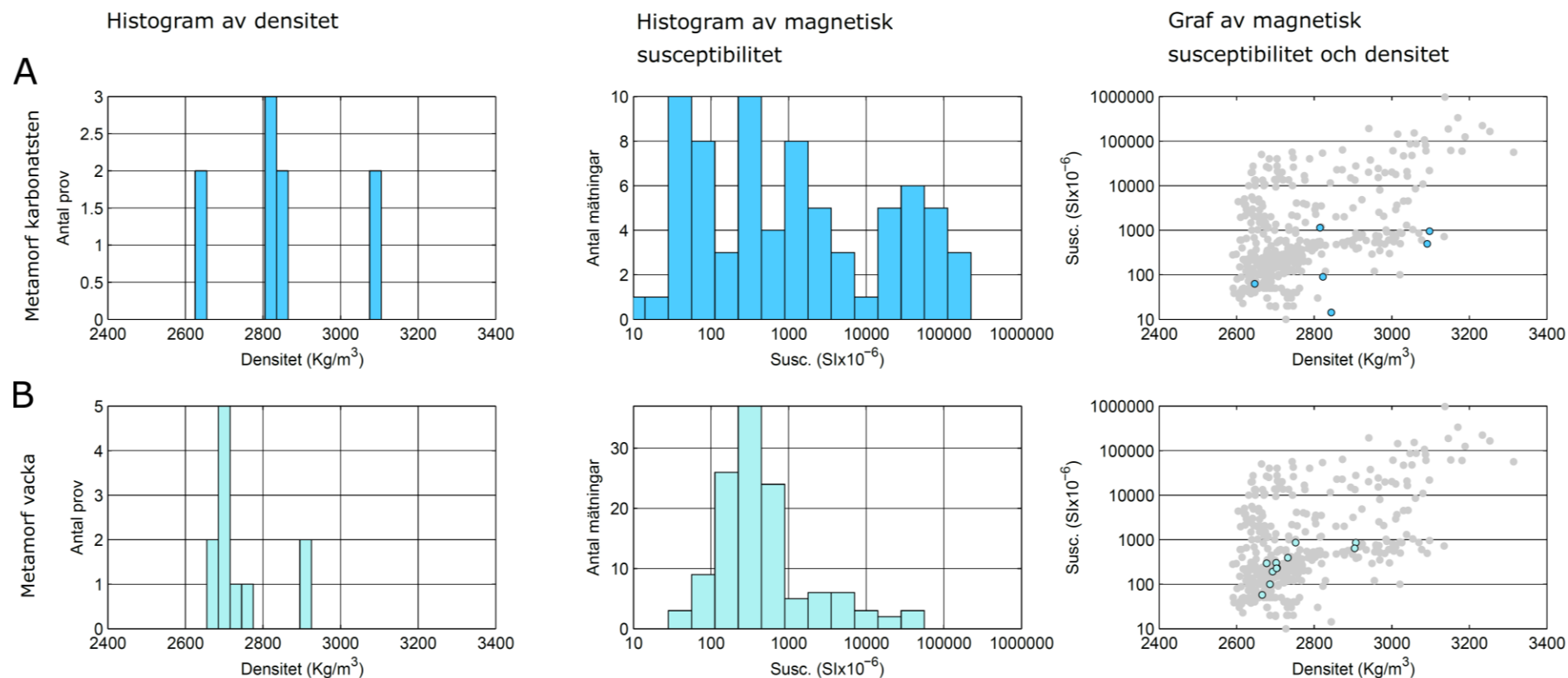
Figur 17. Kartor som visar läget för provtagningslokaler och mätpunkter som använts i den statistiska analysen i den här studien. Den svarta streckade linjen visar projektområdet Sala-Jugansbo. Se figur 16 för övriga färger. **A.** Petrofysiska data (mätta på prov). **B.** Magnetisk susceptibilitetsdata från hållmätningar.

Maps showing the location of acquired samples and in-situ measured data used in the statistical analysis in this study. The black dashed line shows the Sala-Jugansbo project area. See figure 16 for colour scheme for the bedrock geology.
A. Petrophysical data (measured from samples). **B.** Magnetic susceptibility measurements taken from outcrops.

Tabell 1. Sammanfattning av statistik från petrofysiskdata i den här studien. Alla bergarterna utom diabas är metamorfa.

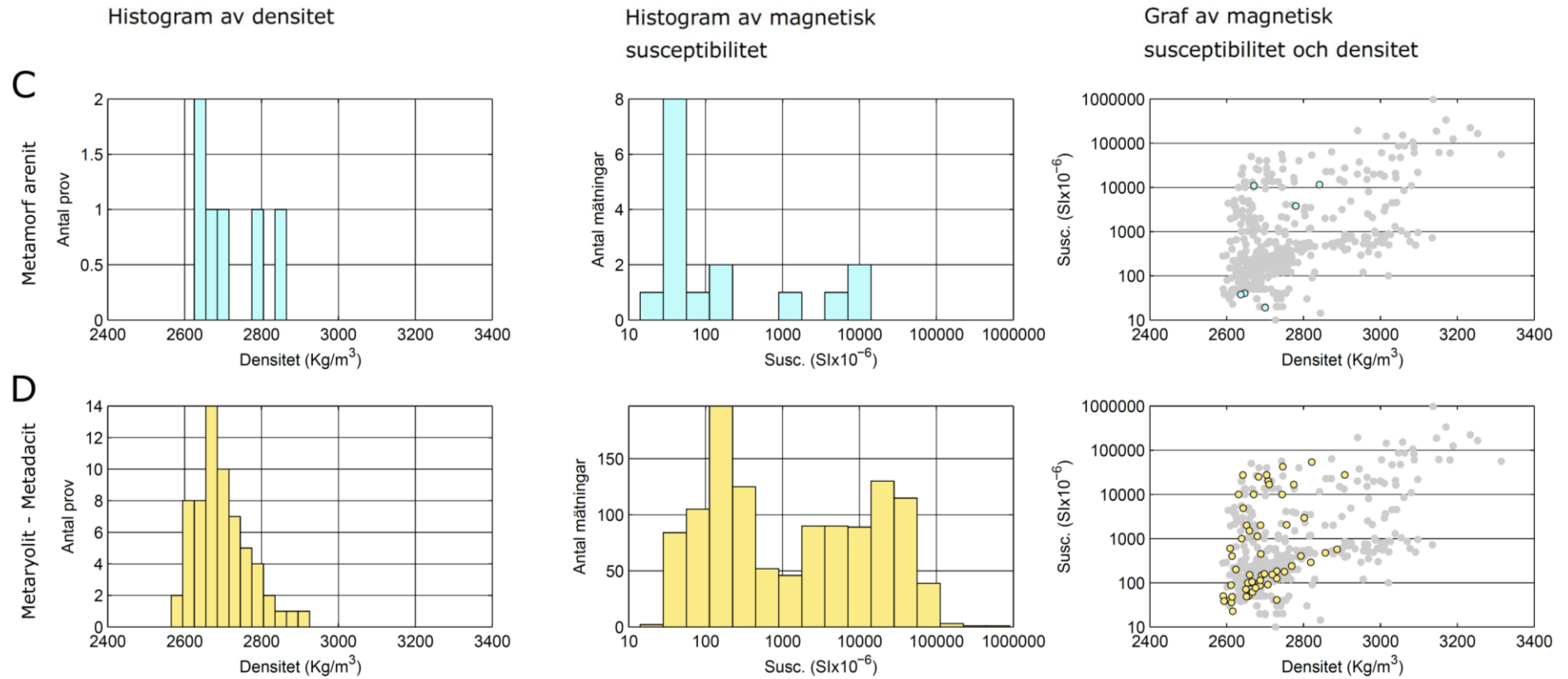
Summary of the statistical information from the petrophysical data in this study. All rocks except diabase (dolerite) are metamorphic.

Bergart	Densitet (kg/m ³)			Magnetisk susceptibilitet (SI × 10 ⁻⁶)				Q-värde			
	Antal prov	Medel-värde	Std avv	Antal mätningar	Min	Max	Median	Antal prov	Min	Max	Median
Karbonatstenmarmor	9	2845	163	73	14	150 000	600	8	0,18	5,64	1,32
Vacka	11	2739	86	124	50	50 000	400	10	0,99	10,1	4,54
Arenit	6	2713	81	16	19	11 500	50	5	0,23	14,5	0,30
Dacit-ryolit	63	2698	72	1169	2	600 000	1000	54	0,02	42,5	0,94
Granit	269	2701	55	8094	1	127 000	200	167	0,03	10,5	0,31
Granodiorit-tonalit	108	2730	50	3181	10	607 000	300	66	0,04	6,75	0,29
Diorit-gabbro	77	3000	99	2857	1	1 000 000	600	73	0,05	333	0,62
Diabas	11	2892	71	196	110	61 600	4900	10	0,23	5,29	0,93
Järnmineralisering	9	3293	366	18	63 000	4 330 000	368 000	9	0,29	4,08	1,71



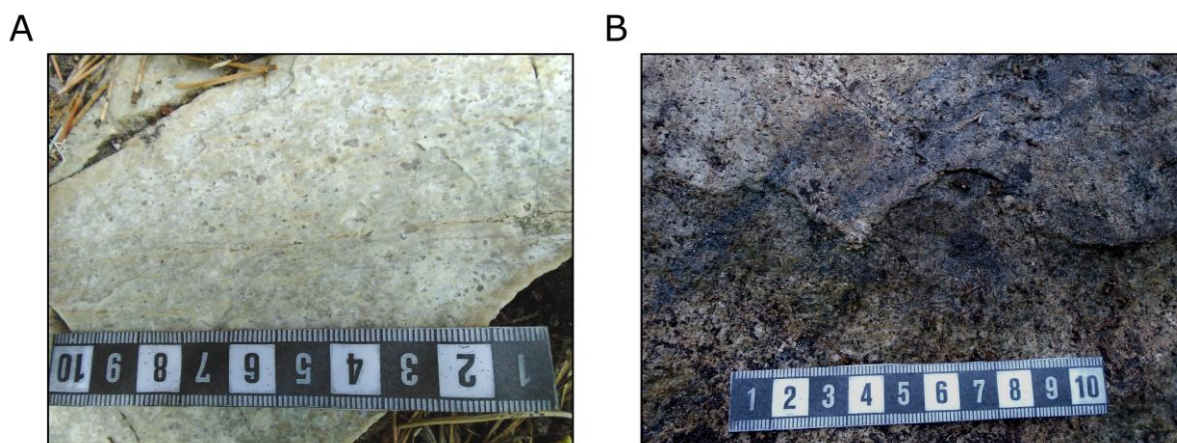
Figur 18. Statistisk information för densitet och magnetisk susceptibilitet för metavulkaniter och metasedimentära bergarter. Graferna till vänster visar histogram av densitet (mätta på petrofysikprov). Graferna i mitten visar histogram av magnetisk susceptibilitet (mätta både på prov och hällar). Graferna till höger visar densitet och magnetisk susceptibilitet tillsammans (mätta på petrofysikprov). Till höger visas samtliga data i databasen som grå punkter, medan data för den specifika bergarten visas som färgkodade punkter. **A.** Data för metamorf karbonatsten. **B.** Data för metamorf vacka. **C.** Data för metaarenit. **D.** Data för metaryolit – metadacit.

Statistical analysis of density and magnetic susceptibility data from meta-sedimentary and metavolcanic strata. The left hand and central graphs show histograms of density and magnetic susceptibility data, respectively. The right-hand diagram shows a cross plot of density and magnetic susceptibility. A. Meta-carbonate rocks. B. Metagreywacke. C. Meta-arenite. D. Meta-rhyolite – metadacite.



Figur 18. Fortsättning.

Continuation.



Figur 19. Exempel på metaryolit med väldigt olika magnetisk susceptibilitet. **A.** Ljus med låg magnetisk susceptibilitet, 6644398/585430. **B.** Mörkare med mycket högre susceptibilitet, troligtvis innehåller den band med magnetit, 6648793/588660.

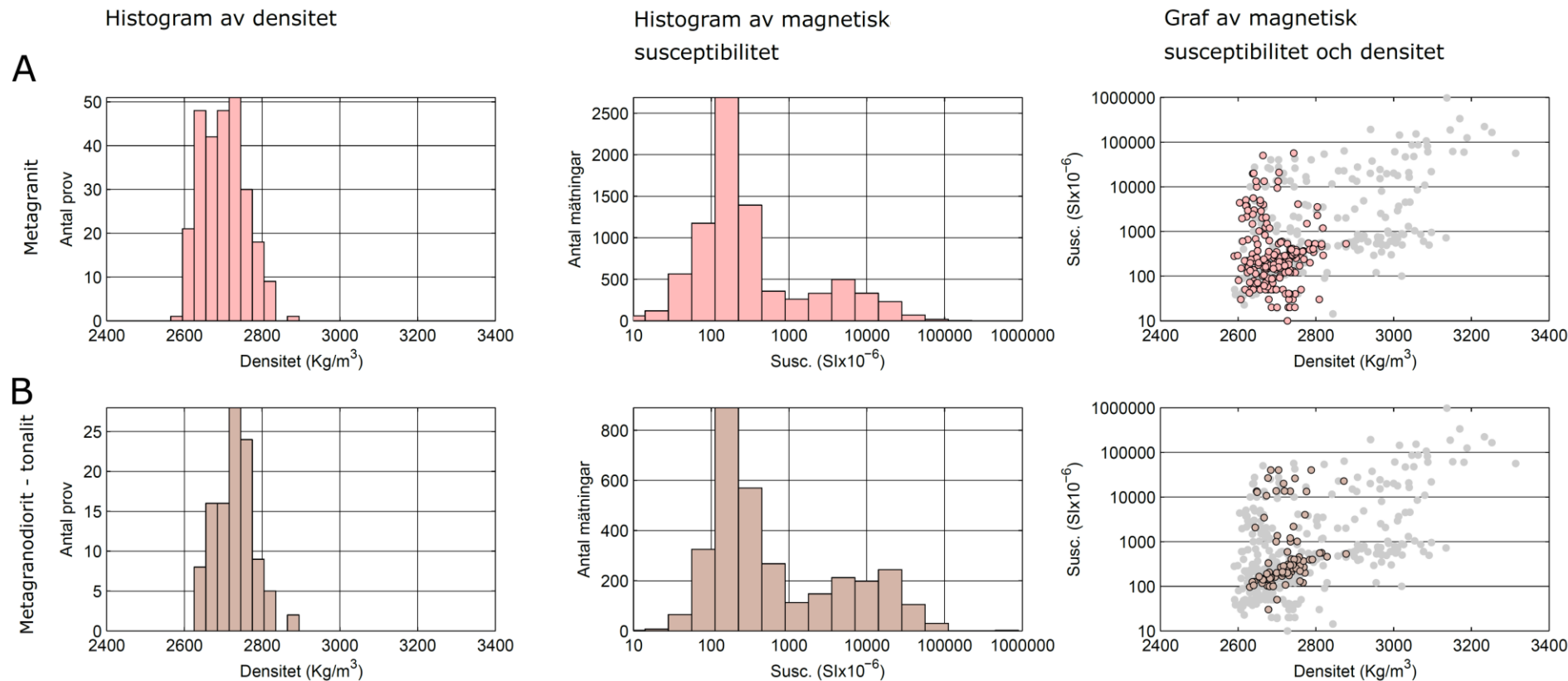
*Example photos of metarhyolites with very different magnetic susceptibility values. **A.** Light coloured with low magnetic susceptibility. **B.** Darker coloured with bands of darker minerals (possibly magnetite).*

Figur 20 visar statistik för intrusiva sura och basiska bergarter. Densitet och magnetisk susceptibilitet är likartad i granit och granodiorit-tonalit. Den största skillnaden är att granodiorit-tonalit har högre genomsnittlig densitet ($2\,730\text{ kg/m}^3$) än granit ($2\,701\text{ kg/m}^3$). Även här är fördelningen av magnetiska susceptibilitetsvärden bimodal. Ett första och största maximum ligger på ungefär $200\text{ SI} \times 10^{-6}$, och paramagnetiska mineral har störst betydelse för de här bergarternas magnetiska egenskaper. Ett mindre maximum som ligger på ungefär $10\,000\text{ SI} \times 10^{-6}$, vilket betyder att det kan finnas en del magnetiska mineral.

Diorit-gabbro har en genomsnittlig densitet på $3\,000\text{ kg/m}^3$. Histogrammen för magnetisk susceptibilitet visar ett maximum på ungefär $600\text{ SI} \times 10^{-6}$, vilket reflekterar att de här bergarterna oftast är rika på paramagnetiska mineral. Dessutom finns det ett stort antal värden som är mycket högre, vilket betyder att de ofta innehåller magnetiska mineral också.

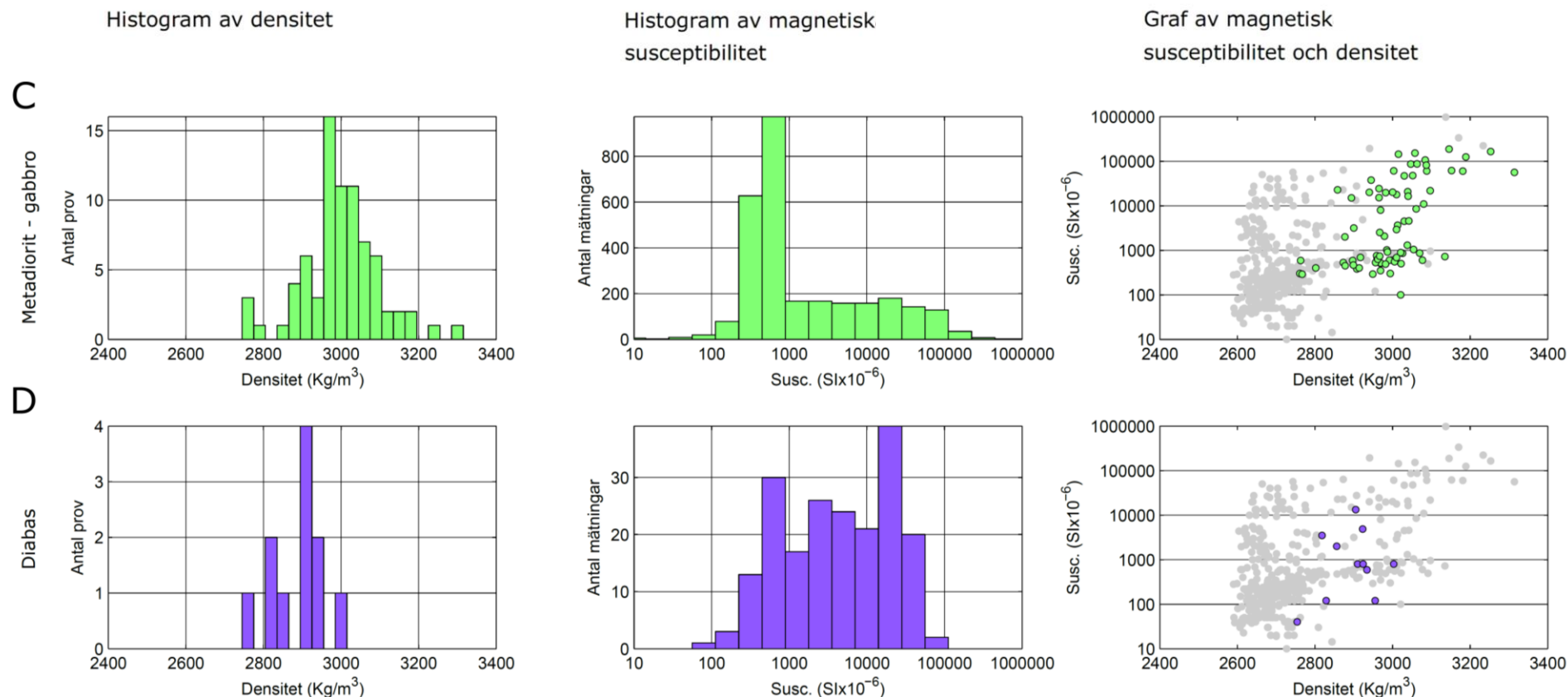
Diabas har också ganska hög genomsnittlig densitet och magnetisk susceptibilitet på $2\,892\text{ kg/m}^3$ respektive $4\,900\text{ SI} \times 10^{-6}$.

Statistik för järnoxidmineralisering visas i figur 21. Här kan man se att både densitet och magnetisk susceptibilitet är mycket hög, med genomsnittsvärden på $3\,293\text{ kg/m}^3$ respektive $368\,000\text{ SI} \times 10^{-6}$. Det är tydligt att magnetiska mineral dominerar över paramagnetiska i dessa bergarter.



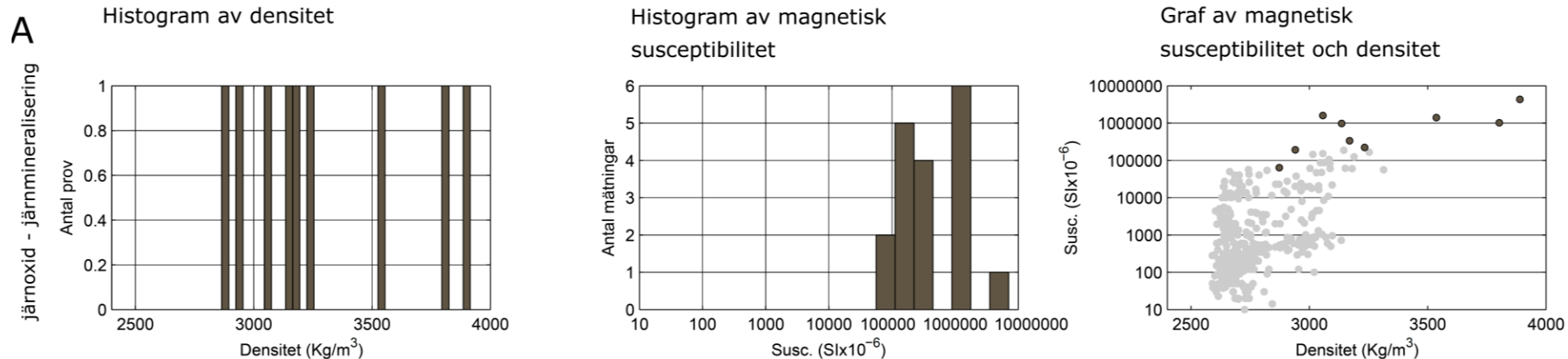
Figur 20. Statistisk information för densitet och magnetisk susceptibilitet för intrusiva bergarter. Graferna till vänster visar histogram av densitet (mätta på petrofysikprov). Graferna i mitten visar histogram av magnetisk susceptibilitet (mätta på prov och hällar). Graferna till höger visar både densitet och magnetisk susceptibilitet (mätta på petrofysikprov). Till höger visas samtliga data i databasen som grå punkter, data från den specifika bergarten som färgkodade punkter. **A.** Data för metagranit. **B.** Data för metagranodiorit-tonalit. **C.** Data för metadiorit-gabbro. **D.** Data för diabas.

*Statistical analysis of density and magnetic susceptibility data from metasedimentary and metavolcanic strata. The left hand and central graphs show histograms of density and magnetic susceptibility data, respectively. The right-hand diagram shows a cross plot of density and magnetic susceptibility. **A.** Metagranite. **B.** Metagranodiorite-tonalite. **C.** Metadiorite-gabbro. **D.** Diabase (dolerite).*



Figur 20. Fortsättning.

Continuation.



Figur 21. Statistisk information för densitet och magnetisk susceptibilitet för järnoxidmineraliseringar. Grafen till vänster visar histogram av densiteter (mätta på petrofysikprov). Grafen i mitten visar histogram av magnetisk susceptibilitet (mätta på prov och hållar). Grafen till höger visar både densitet och magnetisk susceptibilitet (mätta på petrofysikprov). Till höger visas samtliga data i databasen som grå punkter, data för den specifika bergarten visas som färgkodade punkter.

Statistical analysis of density and magnetic susceptibility data from iron oxide mineralisations. The left hand and central graphs show histograms of density and magnetic susceptibility data, respectively. The right-hand diagram shows a cross plot of density and magnetic susceptibility.

Tyngdkraft och flygburen geofysik

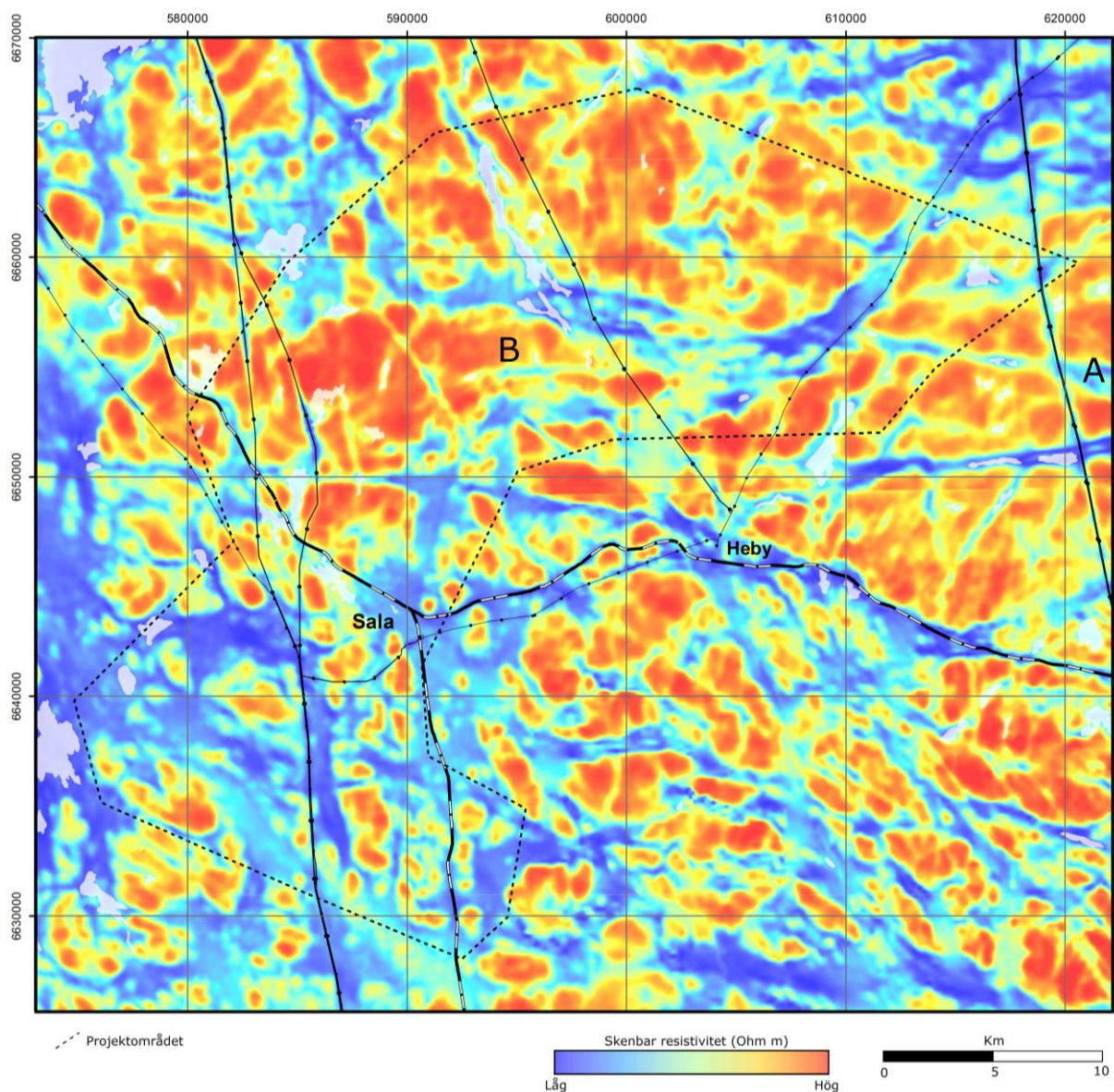
För att skapa geofysiska kartor bearbetades och kombinerades data från de olika flyggeofysiska mätningar som täcker hela projektområdet. Nya flygdata, insamlade under sommaren 2016, var tillgängliga för den västra delen av projektområdet. De insamlades på en höjd av 60 m över markytan, längs flyglinjer med linjeseparationen 200 m, och med en linjeriktning av ungefär 135 grader. Under 2016 mättes magnetfält, naturlig gammastrålning och elektrisk ledningsförmåga (två VLF-sändare). I nordöstra delen av området samlades flygdata in under sommaren 1998 på en höjd av 60 m över markytan, längs flyglinjer med linjeseparationen 200 m, och i nord-sydlig riktning. I sydöstra delen av området samlades flygdata in under sommaren 1993 på en höjd av 30 m över markytan, längs flyglinjer med linjeseparationen 200 m, och i väst-östlig riktning. Under 1993 och 1998 mättes magnetfält, naturlig gammastrålning och elektrisk ledningsförmåga (två VLF-sändare). Efter avslutad bearbetning gjordes en allmän tolkning av området utifrån det geofysiska underlaget.

Figur 2 visar en karta med det magnetiska residualfältet, vilket skapas genom subtraktion av det regionala magnetfältet. Det är tydligt att de flesta anomalier orsakas av de metasedimentära bergarterna, metaryolit, metadacit, metagabbro och diabas. Det centrala felsiska metavulkanitstråket som sträcker sig från söder om Sala till norr om Heby har ett ganska konsekvent anomalimönster som följer formen av den här strukturen (se vid A i fig. 2). Dessutom visar observationer från hållar att anomalimönstret följer huvudriktningen av lagring eller foliation hos de felsiska metavulkaniterna. Det finns också ett komplext anomalimönster associerat med de metasedimentära bergarterna sydöst om Sala och med den metagabbro och felsiska metavulkanit som finns nordväst om Sala, i kanten av projektområdet (se vid B–C i fig. 2). På kartan kan man också se en tydlig ändring från de mer lågmagnetiska bergarterna i söder till de mer högmagnetiska i norr. Den här ändringen sker över Hagaskjuvzonen (Jansson 2020), som har en strykning av ungefär 100 grader (se vid och norr om D i fig. 2). Norr om den här strukturen finns stora och tydliga anomalier, associerade med de basiska bergarter som har karterats nära Banmossen (se vid E i fig. 2).

I det centrala felsiska metavulkanitstråket (se vid A i fig. 2) överensstämmer de största anomalierna oftast med en känd mineralisering. Till exempel är den mycket stora anomalin precis sydväst om A i figur 2 associerad med en bandad järnformation (BIF) observerad längs den geologiska profilen 11 (fig. 12). Det finns också många linjära strukturer på kartan med en nordväst-sydöstlig strykning, mest tydliga öster om Sala, vilka karterats som diabasgångar.

Figur 22 visar markens skenbara resistivitet beräknad från VLF-mätningar från två sändare. Elektriskt ledande zoner syns som områden med låg resistivitet. Ett antal av de här anomalierna orsakas av infrastruktur, och storskaliga kraftledningar och järnvägar är därför markerade på kartan. Det finns dock en del anomalier som är relaterade till, huvudsakligen, spröd deformation i berggrunden. Hagaskjuvzonen som separerar högmagnetiska bergarter i norr från lågmagnetiska i söder (vid D i fig. 2) är också tydlig på resistivitetskartan som en linjär lågresistivetsstruktur (vid A i fig. 22). I vissa fall kan man se små anomalier som har samma riktning som foliationen eller lagringen i de felsiska metavulkaniska bergarterna. Till exempel finns precis under B i figur 22 en linjär lågresistivetsanomali med samma riktning som foliationen i området. Den korrelerar med en känd mineralisering (både sulfid och järnoxid). I detta fall är det möjligt att mineraliseringen till en viss grad syns i data.

En karta över tyngdkraftsfältet efter subtraktion av det regionala fältet visas i figur 23. Insättskartan visar också punkttätheten för data, som under projektet har förbättrats mycket. Det finns flera tydliga, starkt positiva anomalier som korrelerar med basiska enheter på berggrundskartan, på grund av deras relativt höga densitet. Det finns också en tydligt negativ anomali som korrelerar

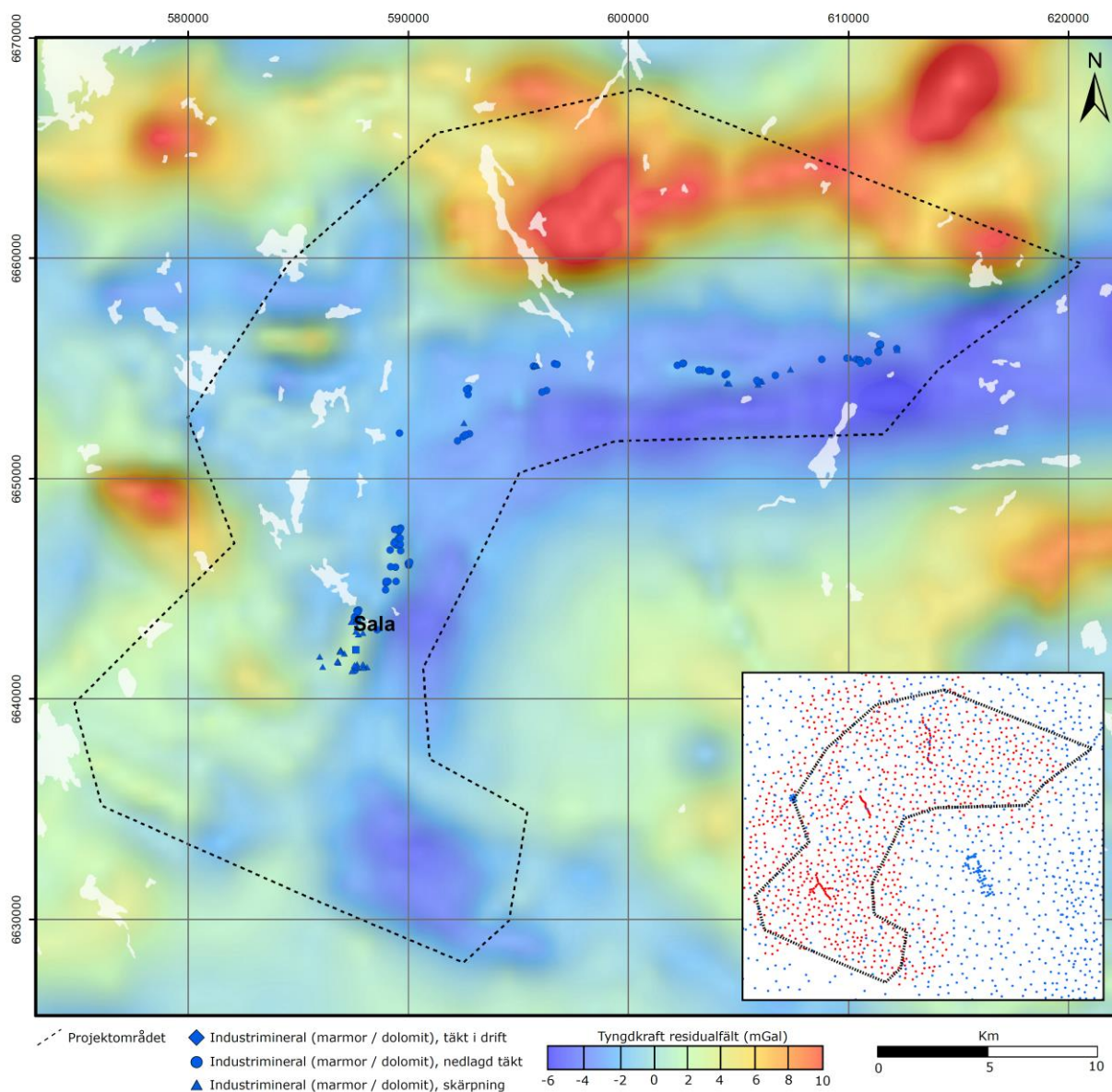


Figur 22. Karta över markens skenbara resistivitet i projektområdet baserad på flygburna VLF-mätningar från två sändare. Järnvägar och storskaliga kraftledningar är markerade som svart-vita respektive svarta linjer.

Apparent resistivity map over the study area derived from airborne dual transmitter VLF measurements. Railways and major powerlines are marked as dashed black/white and black lines, respectively.

med det centrala felsiska metavulkanitstråket, men också med den intrusiva bergart som finns söder och öster om det. Detta tolkas som ett ganska djupt gående stråk av felsisk metavulkanit och metagranit. Mitt i den här negativa anomalin finns en subtil positiv anomali som följer formen av det felsiska metavulkanitstråket. Den korrelerar bra med platser där marmor finns eller har brutits. Därför är det mest troligt att den här mindre positiva anomalin orsakas av närvaron av metamorf karbonatsten som har en ganska hög densitet relativt de omgivande felsiska bergarterna.

Hagaskjuvzonen, tolkad på både kartan över magnetfältsanomalierna och resistivitetskartan (vid D i fig. 2 respektive A i fig. 22), syns också på kartan som baseras på tyngdkraftsdata. Norr om den här strukturen är tyngdkraftsanomalin mer positiv än söder om.



Figur 23. Karta över tyngdkraftens residualfält. Blå symboler visar var karbonatsten har upptäckts eller brutits inom projektområdet. Kartan i nedre högra hörnet visar tyngdkraftsdatapunkter. Röda punkter är nya mätningar insamlade under detta projekt, blå punkter visar mätningar som fanns i databasen innan projektbörjan.

A map of the residual Bouguer anomaly for the study area. The blue symbols denote locations where marble / dolomite has been discovered or quarried within the study area. The map in the lower right-hand corner shows the data used to generate the map. Red points were collected during the project while blue dots were available before the project started.

Geofysiska markmätningar i Delboområdet

Inom projektet har det gjorts markgeofysiska mätningar i ett område utanför Delbo, nordost om Sala (fig. 24). I närheten av Delbo finns ett flertal nedlagda gruvhål och skärpningar som heter Lovisebergs gruvor. Det har brutits järn- och sulfidmalm från förekomster i karbonatsten och omgivande felsiska metavulkaniter. Främst utvanns koppar och järn, men även volfram, silver, guld och vismut (SGU:s mineralresursdatabas). Det enda magnetiska mineral som är dokumenterat är magnetit, men det är möjligt att även magnetkis kan finnas.

Tidigare och pågående undersökningar i Sala–Jugansboområdet har visat att det finns en ganska konsekvent, om än komplex, stratigrafi i ytbergarterna. Som diskuterats ovan, finns det också ett tydligt och konsekvent magnetiskt mönster enligt den flygmagnetiska kartan (fig. 2) som verkar följa den tolkade riktningen av lagring eller foliation i de här bergarterna.

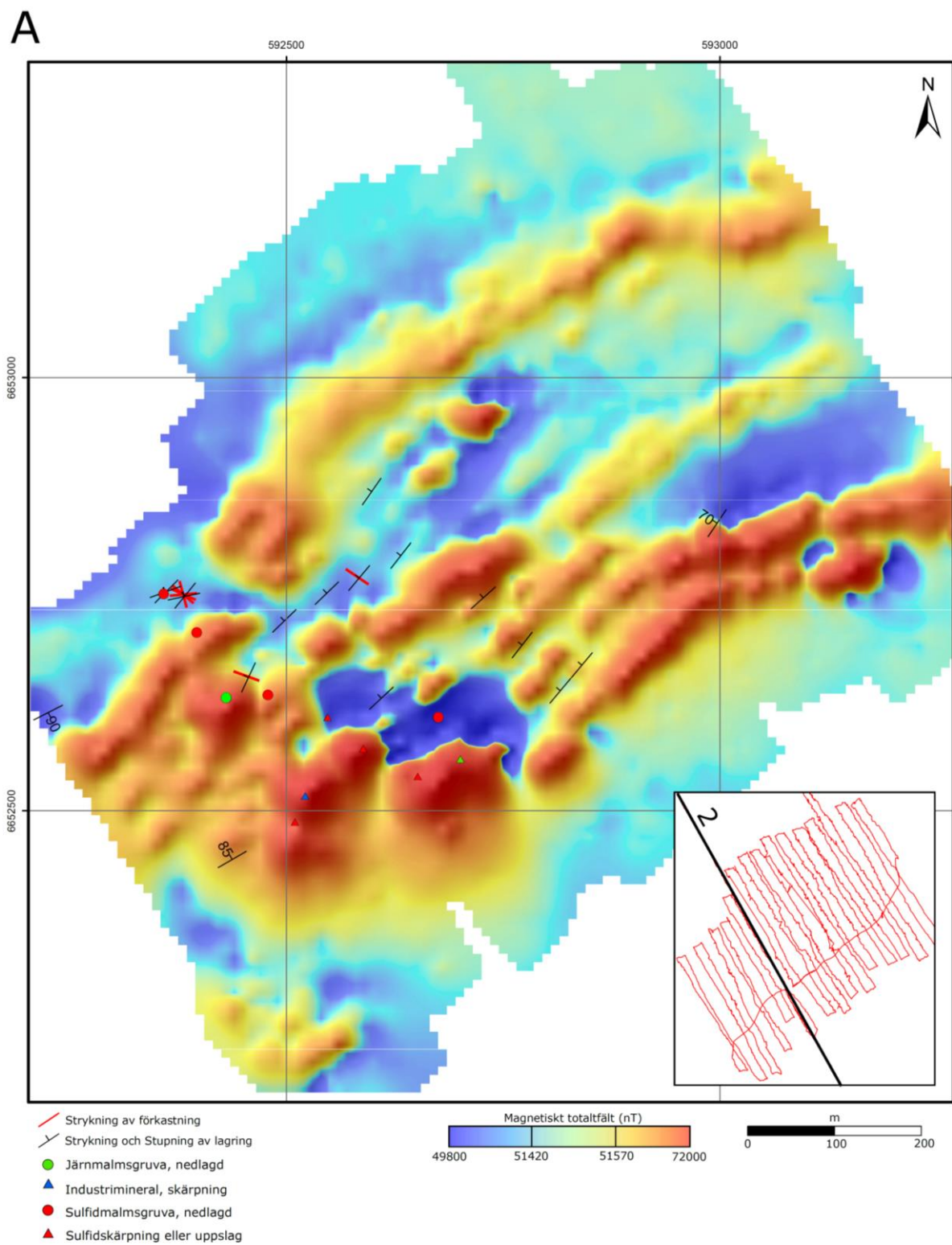
Syftet med markmätningen var primärt att undersöka förhållandet mellan lagringen i de felsiska metavulkaniterna och deras magnetiska egenskaper. Ett sekundärt syfte var att undersöka ett känt gruvområde för att förstå relationen mellan mineralisering och magnetfältdata.

Markmagnetiska data samlades in längs ungefär 30 profiler med en strykning av ungefär 145 grader och en längd mellan 600 och 800 m. Avståndet mellan profilerna var ungefär 30 m. Data samlades in med en GEM GSMV-19 magnetometer, mätningarna registrerades varje sekund längs profilerna. Mätresultaten korrigerades för daglig drift med basstationsdata från Fiby, norr om Uppsala. Efter korrigering interpolerades data för att skapa en karta av det totala magnetiska fältet (fig. 24a).

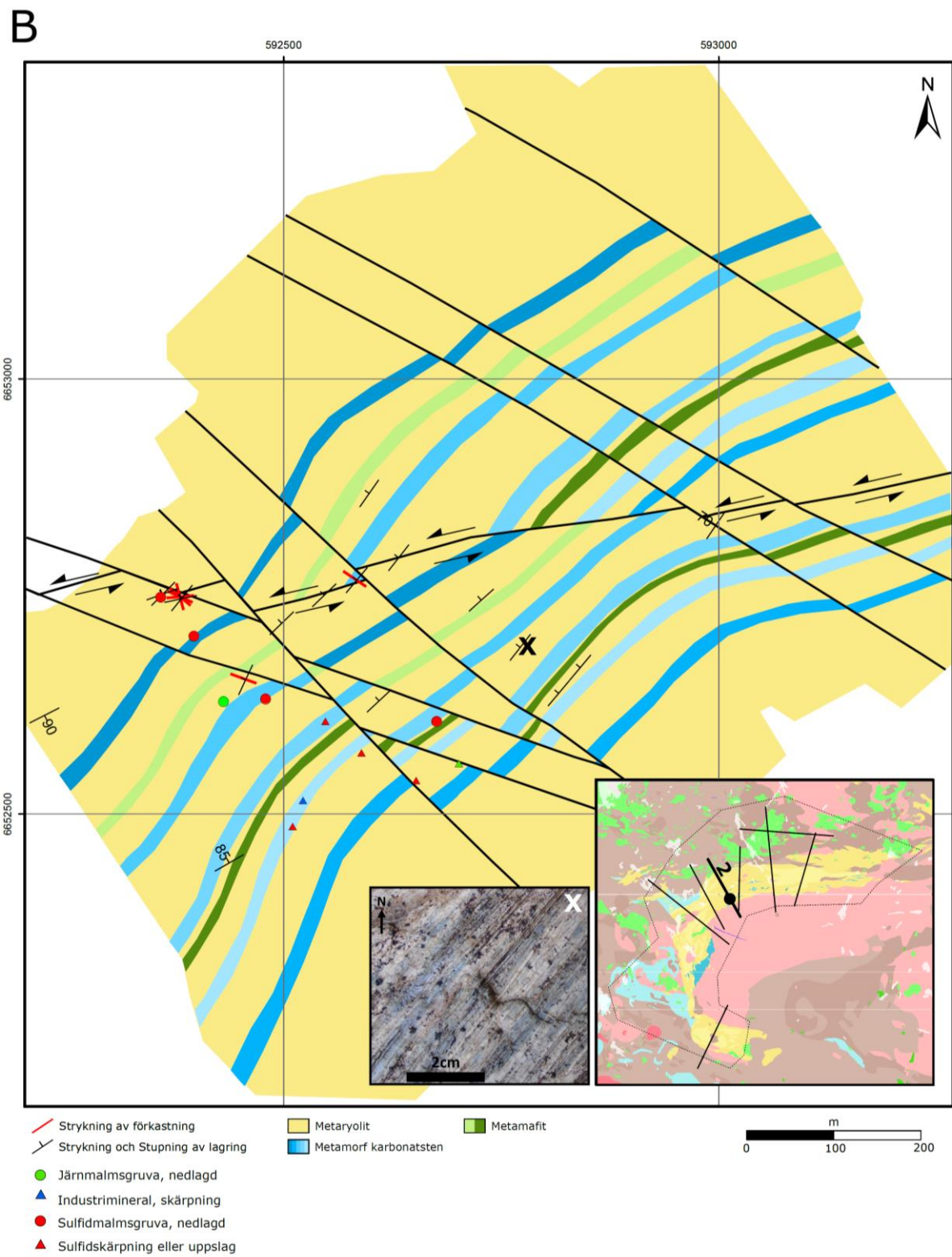
Även geofysiska och geologiska observationer gjordes på hållar i området. På vissa ställen finns en tydlig lagring i metavulkanoklastit med skikt av karbonatsten (se geologiska profilen 11, fig. 11a och b). På lämpliga hållar mättes orienteringen på lagring och eventuella befintliga deformationszoner. Strykning och stupning av dessa visas på kartan i figur 24. Det är tydligt att orienteringen av anomalierna stämmer bra med den hos lagringen. Därför är det rimligt att i det här fallet använda anomalimönstret för att tolka geometrin av lagringen i de felsiska metavulkaniterna.

► **Figur 24 A och B.** Kartor som visar markmätta magnetiska data och en geologisk tolkning av dessa i Delboområdet. Mätområdet ligger längs geologiska profilen 11 och geofysiska profilen 2. Strykning och stupning för lagring och förkastningar från hällobservationer visas samt läget för nedlagda gruvhål och dagbrott. **A.** Karta av det magnetiska totalfältet. Kartan i nedre högra hörnet visar lägen för mätningarna som en röd linje. **B.** Tolkningen av berggrunden från magnetiska mätningar och hällobservationer. De olika blå och gröna nyanserna på kartan indikerar olika nivåer i den tolkade stratigrafin för karbonatsten respektive metamafit. Kartan i nedre högra hörnet visar mätområdets läge som en svart prick. Fotot i kartans nedre del visar en håll markerad med X på kartan. Lagringen i bergarten är tydlig.

*Map which shows ground magnetic measurements and associated geological interpretation of the Delbo area. The area of investigation lies along geological profile 11 and geophysical profile 2. The strike and dip of bedding and faults observed from outcrops are marked on the map, as well as the location of abandoned mines. **A.** Map of the total magnetic field. The inset map in the lower right-hand corner shows the locations of the magnetic measurements used to generate the map. **B.** Geological interpretation of the magnetic and outcrop observation data. The different shades of blue and green indicate different positions in the interpreted stratigraphy for the carbonate and mafic rocks, respectively. The inset map in the lower right-hand corner shows the location of the measurements as a black dot. The photograph in the lower part of the map shows an outcrop, marked as an X on the map. The bedding in the rock is evident on the image.*



Figur 24A.



Figur 24B.

Figur 24b visar en tolkning av berggrunden utifrån de geologiska observationerna och det magnetiska mönstret. Anomalierna är inte kontinuerliga över mätområdet. Diskontinuiteter som tolkats som spröd deformation visas på kartan med svarta linjer (fig. 24b). Tolkningen är att det finns en större väst–östlig sinistral förkastning (se rörelsepilar i fig. 24b) och flera mindre förkastningar med nordväst–sydöstlig strykning. Den stämmer till en del med observationer av spröd deformation i hållar. Ett antal karbonatstenslager har tolkats i området och de visualiseras med blå färg i figur 24b. Tolkningen baseras på hållobservationer och beskrivningar av sidoberget i SGU:s mineralresursdatabas. Fler observationspunkter gör att tolkningen av karbonatsten är säkrare i de södra delarna. Två basiska lager är också tolkade baserat på hållobservationer (t.ex. fig. 11b). Karbonatsten och basiska lager antas vara parallella med lagringen. Vi antar att de magnetiska anomalierna orsakas av lager av karbonatsten (eller av sekvenser av vulkanoklastit plus karbonatsten) som har blivit delvis mineraliserade och därför innehåller högre halter av magnetiska mineral. Det kan också vara så att de basiska lagren ger magnetiska anomalier. Baserat på beskrivningar av sidoberget i SGU:s mineralresursdatabas och på hållobservationer förmodas de nedlagda gruvorna ligga i karbonatstenslager, men också i andra bergarter, t.ex. felsisk metavulkanit. Deras lägen är längs en ungefärlig nordväst–sydöstlig linje parallellt med flera tolkade deformationszoner. Det är därför möjligt att de är associerade med de senare och alltså strukturellt kontrollerade. Det är dock viktigt att betona att det här området onekligen är komplext och att tolkningen är en av flera som skulle kunna göras med föreliggande data.

Sammanfattningsvis, baserat på det här området, är det rimligt att tolka lagringen i den felsiska metavulkanitsekvensen utifrån magnetiska mätningar. Det framstår också som att den kända mineraliseringen korrelerar med tolkade deformationszoner.

Profilmodellering

Under projektet har åtta geofysiska profiler tolkats och modellerats (se läge i fig. 16). De gjordes för att undersöka den storskaliga strukturen i projektområdet och för att ge stöd åt tolkningen av den geologiska profilkarteringen. Modelleringsprofilerna ligger om möjligt längs de geologiska profilerna.

De data som är modellerade är från mark- och flygmagnetiska mätningar samt tyngdkraftsmätningar. Markmagnetiska data insamlades som beskrivits för Delboområdet ovan. Mätningarna korrigerades för daglig drift med minst två mätningar gjorda på en basstation längs profilerna. Tyngdkraftsdata (inklusive de från nya punkter mätta under 2018) och flygmagnetiska data är från SGU:s databas.

Följande punkter beskriver modelleringsarbetet:

1. Markmagnetiska mätningar, samt geofysiska observationer och strukturella mätningar från hållar projicerades på modelleringsprofilerna.
2. Markmagnetiska mätningar interpolerades för att få datapunkter med regelbundet avstånd. Mätningar filterades också för att ta bort brus.
3. Data extraherades från interpolerade flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata längs modelleringsprofilerna.
4. Data importerades till Potent-mjukvaran och de storskaliga densitetsstrukturerna längs profilerna modellerades för hand.
5. Densitetsmodeller från Potent-programmet importerades till Matlab och en egenutvecklad kod användes för att bygga mer detaljerade densitets- och magnetiska susceptibilitetsmodeller med hänsyn till karterade bergarter och strukturella mätningar.
6. Detaljerade susceptibilitetsmodeller importerades till Potent för att invertera både flyg- och markgeofysiska data.

7. Densitetsmodellen justerades för att inkludera småskaliga strukturer från susceptibilitetsmodellen.
8. Modellerna kontrollerades mot data från hålobservationer och petrofysiska prov längs profilen samt mot generell information från den statistiska analysen av petrofysiska data (dvs. det kontrollerades om modellen hade samma fördelning av egenskaper som observerats från petrofysiken).

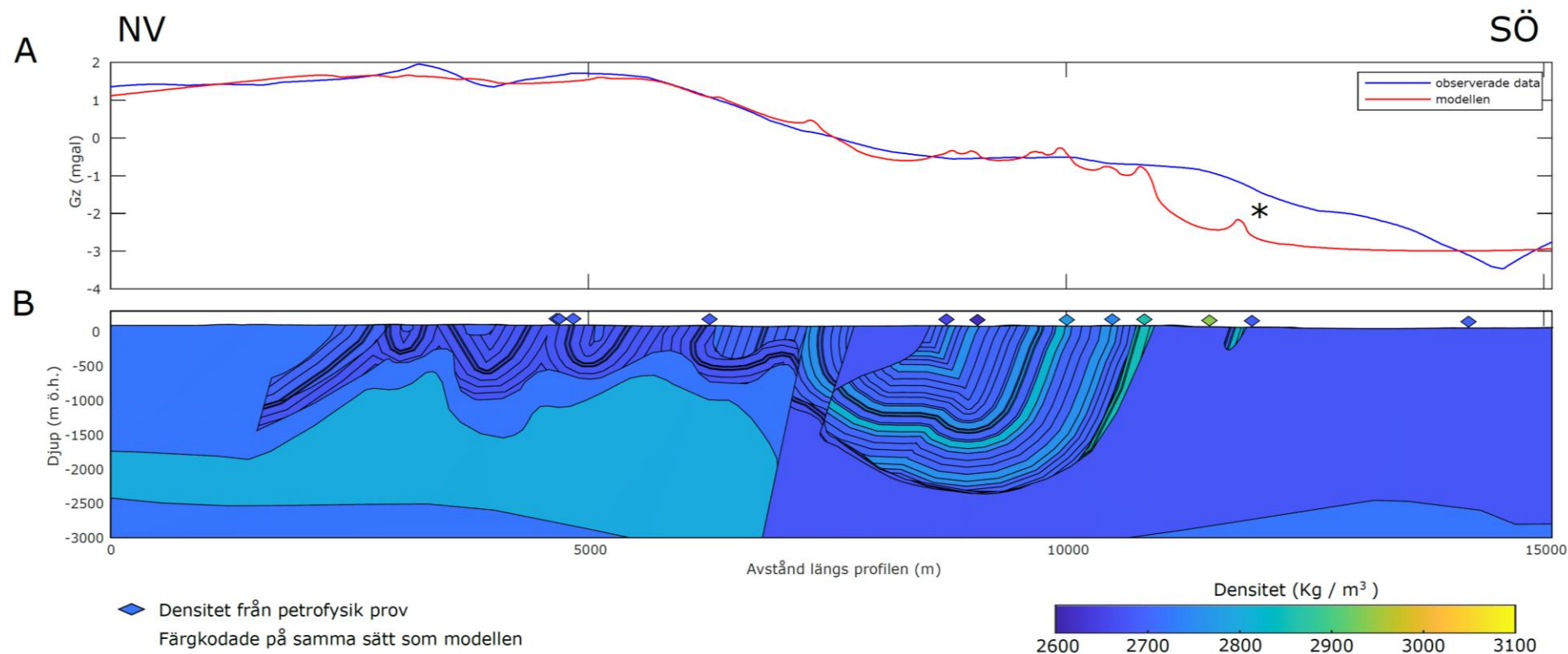
Modelleringen gjordes i två dimensioner (2D), därför antas i beräkningarna i alla modeller att den geologiska strukturen på profilen fortsätter 6 km i båda riktningar, vinkelrätt mot profilerna. Det är viktigt att betona att modellerna baserade på magnetiska och tyngdkraftsdata inte är entydiga, dvs. det finns fler möjliga modeller som kan matcha data. Även om de modeller som presenteras i denna studie har en bra matchning mot observerade data är de bara en av flera möjliga tolkningar. Det är också viktigt att notera att data bara finns tillgängliga från markytan (eller ibland bara från flyghöjden), och därför ökar osäkerheten i modellerna med djupet. Enligt den petrofysiska analysen är den remanenta magnetiseringen låg i de flesta bergarterna i projektområdet. Därför antas att den remanenta magnetiseringen är underordnad den inducerade i samtliga bergarter och är därför inte inkluderad i modellerna.

Modellerna för geofysisk profil, som motsvarar geologiska profilerna 7 och 9 och till en del profilerna 6 och 8, visas i figur 25. I figuren visas anpassningen mellan modellerad respons och observerade data från både flyg- och markmagnetiska mätningar samt från tyngdkraftsmätningar. Dessutom finns färgkodade densitets- och magnetiska susceptibilitetsmodeller. Mätningarna av densitet och magnetisk susceptibilitet på petrofysikprov och från hållar visas också längs profilerna.

Figur 26 visar samma geofysiska modell som den i figur 25, men färgkodad med tolkade bergarter istället för geofysiska egenskaper.

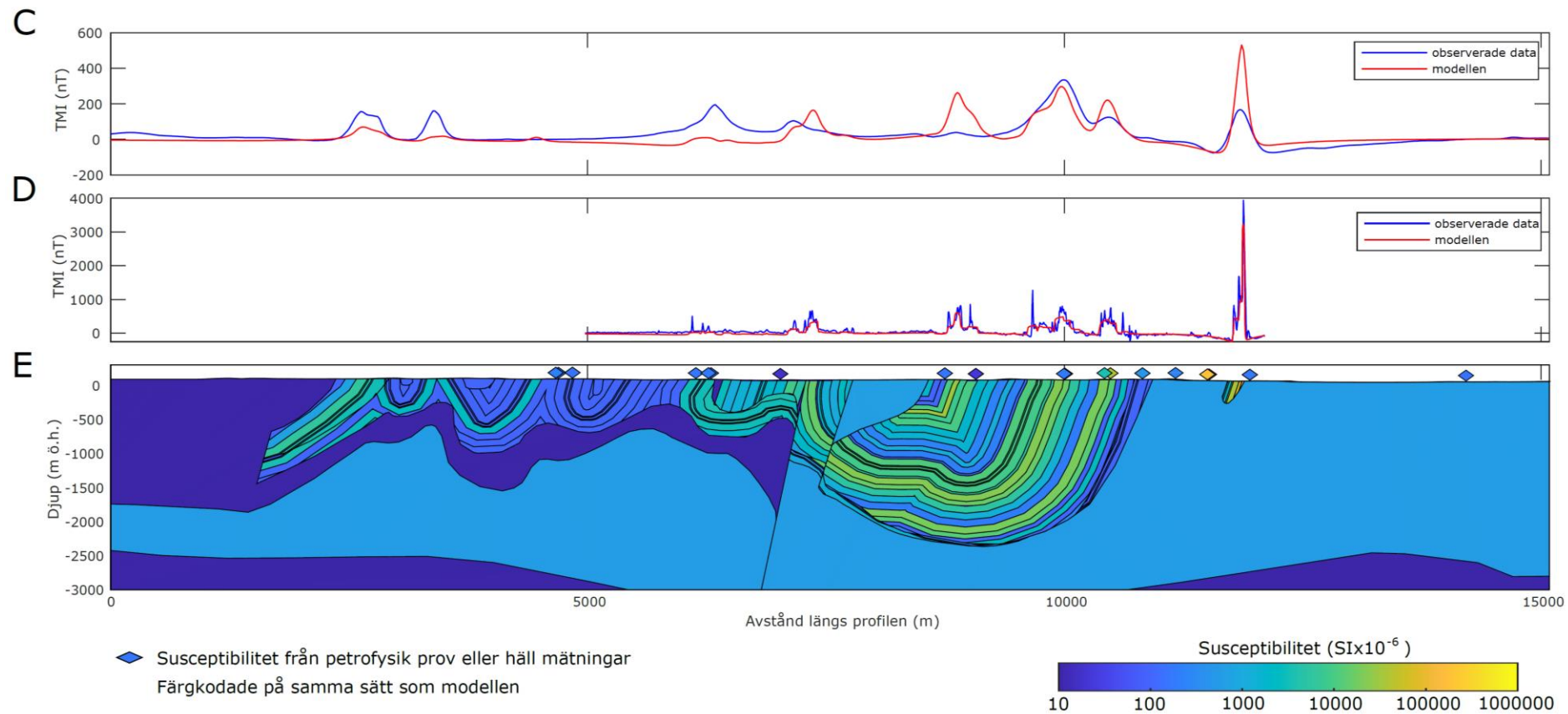
Den övergripande trenden i tyngdkraftsdata är en minskning från positiva värden i nordväst till negativa värden i sydöst. Mot sydöst ligger profilen i den ganska storskaliga, negativa tyngdkraftsanomali vilken syns i figur 23. Det tolkas här som ett område med ganska djupgående felsisk metavulkanit och metagranit, båda med låg genomsnittlig densitet. I nordväst tolkas den ökade tyngdkraftsanomalin bero på en övergång till metagranodiorit och en del kroppar med basiska bergarter, som ligger under de metasedimentära bergarterna. Den här övergången framgår också av berggrundskartan (fig. 1) där det på de västra och norra sidorna av det centrala felsiska metavulkanitstråket finns markerat mycket basiska bergarter. Omvänt finns nästan inga basiska bergarter på de östra och södra sidorna. Övergången tolkas vara ganska abrupt, där den nordvästra sidan är upphöjd relativt den sydöstra via flera deformationszoner. Tolkningen är i linje med geologiska observationer som visar att de felsiska bergarterna sydöst om de metasedimentära bergarterna innehåller zoner med en högre grad av deformation (se beskrivningen av geologiska profiler 7, 8 och 9). Även de metasedimentära bergarterna har mer deformerade zoner.

En mindre positiv anomali som framgår av tyngdkraftsdata finns mellan 9 000 och 13 000 m längs profilen. Den tolkas bero på förekomster av karbonatsten och basiska bergarter bland de felsiska bergarterna. Observera att den här modellen inte matchar observerade data längs den sydöstra delen av profilen (markerad med en stjärna). I det här fallet tolkas det som att anomalin beror på en stor mängd karbonatsten söder om profilen, norr om Sala (fig. 16). På grund av att modelleringen är 2D är det inte möjligt att matcha både den här delen av anomalin och berggrundskartan (som visar att det är metagranit i den här delen längs profilen).



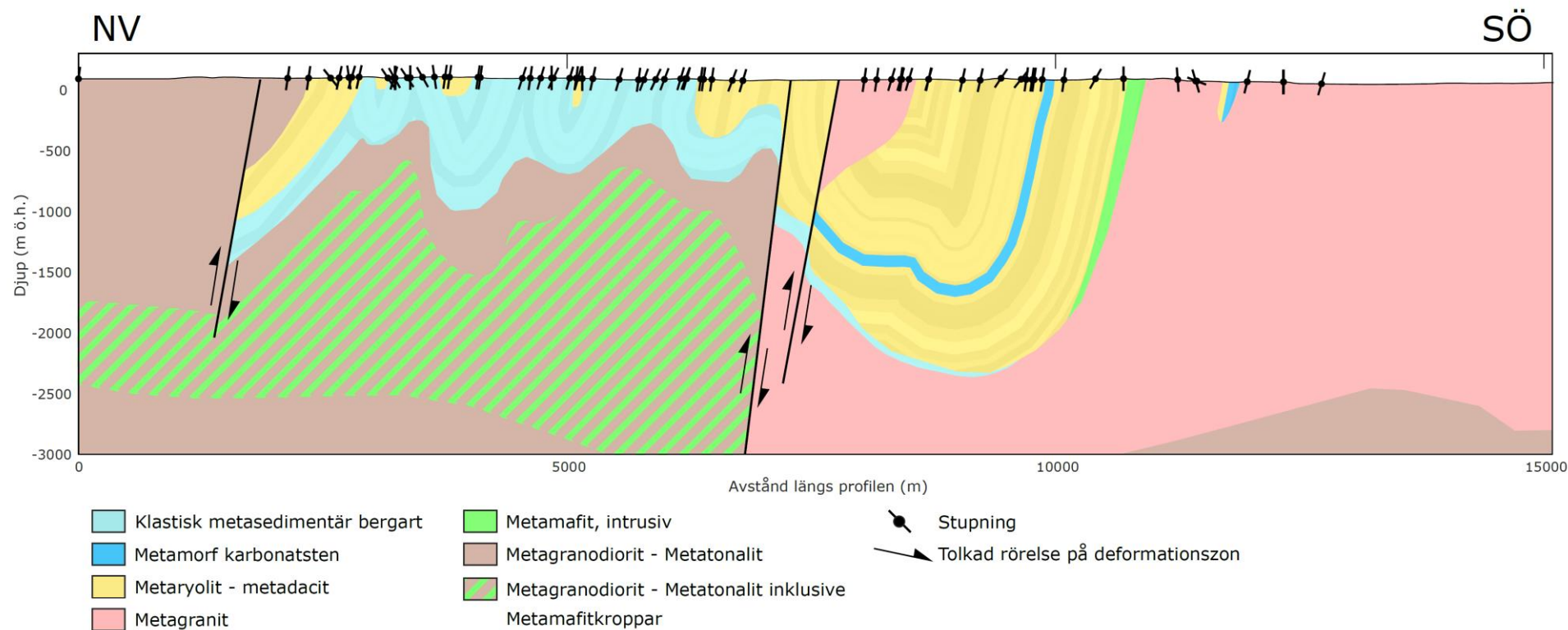
Figur 25. Modeller för geofysisk profil 1. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärdena från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärdena från petrofysikprov och hållmätningar.

*Models for geophysics profile 1. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



Figur 25. Fortsättning.

Continuation.



Figur 26. Modell för geofysisk profil 1, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobobservationer visas på profilen.
Model for geophysical profile 1, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.

I den magnetiska susceptibilitetsmodellen är de högsta värdena associerade med en liten kropp av felsiska metavulkaniter som ligger i metagranit längs södra delen av profilen. Anomalin tolkas bero på en zon med karbonatsten som är delvis mineraliserad. Data från SGU:s mineralresursdatabas visar att det finns både järn- och sulfidmineraliseringar här. Mellan 8 000 och 11 000 m längs profilen finns ett ganska brett stråk av felsiska metavulkaniter som innehåller tre zoner med högre magnetisk susceptibilitet. De är tolkade att bero på delvis mineraliserad ryolit (eventuellt med magnetit) eller mineraliserade lager av karbonatsten (till exempel den sydligaste zonen, ungefär 10 500 m längs profilen; fig. 19b). Det är viktigt att notera att några av anomalierna kan bero på en diabasgång som kan finnas vid ungefär 9 500 m längs profilen. I den norra delen av profilen finns ytterligare en zon i den felsiska metavulkaniten med högre susceptibilitet, tolkad som en järnmineralisering. De metasedimentära bergarterna längs den södra delen av profilen har, mestadels, ganska låg magnetisk susceptibilitet, men det finns några zoner med högre värden, sannolikt beroende på magnetkis. Under modelleringen har matchningen mellan modellerade data och markmätningarna prioriterats. Därför är överensstämmelsen med flygdata inte alltid lika bra. Diskrepansen tolkas bero på 2D-antagandet i modellerna. Till exempel stämmer den modellerade anomalin vid 12 000 m längs profil 1 bra med markmätningarna men är för hög när man jämför med flygmätningarna. Antagligen beror det på att zonen med hög magnetisk susceptibilitet inte fortsätter lika långt vinkelrätt mot profilen som har modellerats.

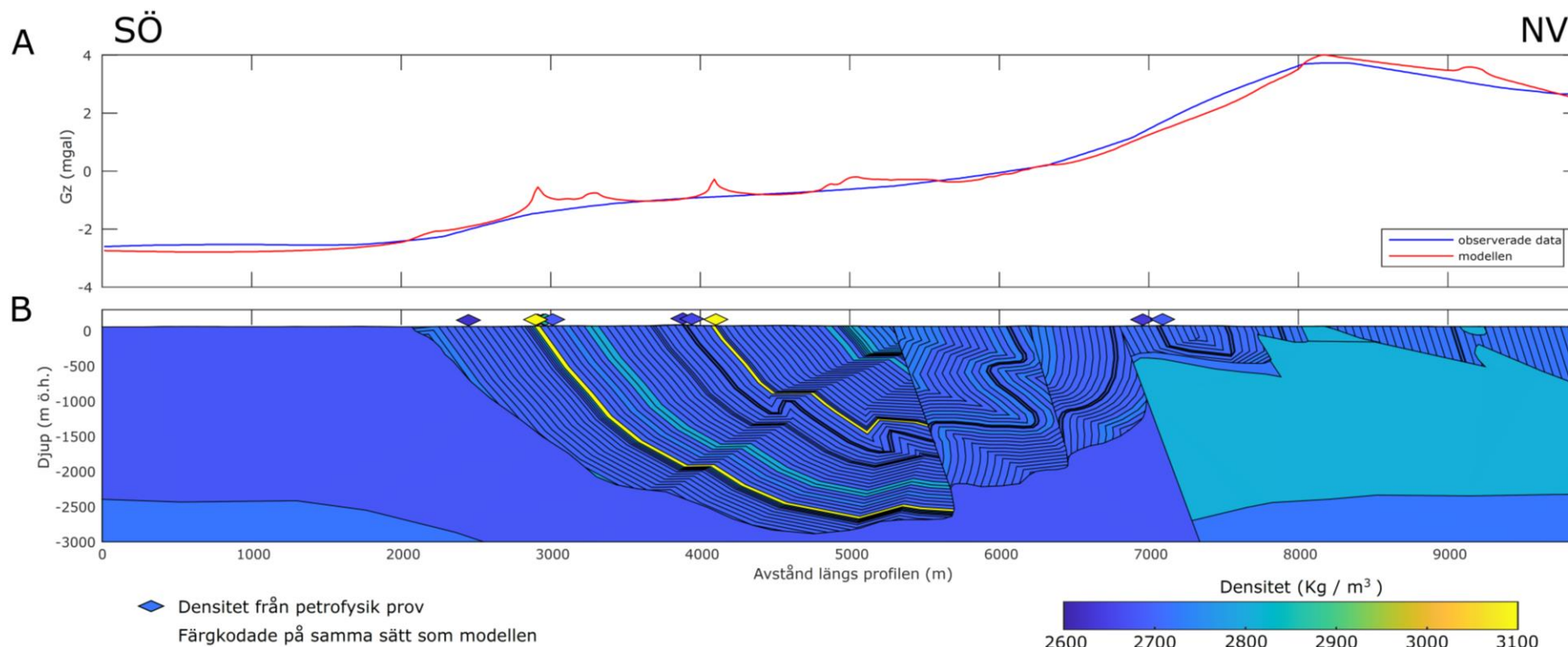
När det gäller strukturer, tolkas de felsiska metavulkaniterna längs den södra halvan av profilen utgöra en del av ett synklinalveck, vilket överensstämmer med de geologiska observationerna. Vecket begränsas delvis vid zonen med högre deformation. Längs norra delen av profilen tolkas de metasedimentära bergarterna att utgöra en bred antiklinalstruktur med många parasitveck.

Modeller för geofysisk profil 2 motsvarar geologisk profil 11 och visas i figur 27. Figur 28 visar samma modell färgkodad med bergarter. Som i profil 1, finns det en tydlig trend i tyngdkraftsdata från positiva värden i nordväst till negativa värden i sydöst. Här tolkas det bero på en övergång från en djupgående sektion av metagranit och felsiska metavulkaniter i sydöst till metagranodiorit och basiska bergarter i nordväst. Ett antal petrofysikprov visar att det finns bergarter, specifikt järnmineralisering och karbonatsten, med relativt hög densitet som förekommer bland de felsiska metavulkaniterna. En mindre, positiv anomali mellan 2 000 och 5 000 m längs profilen tolkas bero på närvaron av de här bergarterna.

Det finns två stora anomalier i markmagnetiska data inom det felsiska metavulkanitområdet. De är modellerade som tunna lager med en magnetisk susceptibilitet mellan 100 000 och 1 000 000 $\text{SI} \times 10^{-6}$. Den södra anomalin korrelerar med Lovisebergs gruvor, i närheten av Delbo (fig. 24), och den norra med Springargruvan (kallad Lungdalsgruvorna i beskrivningen av geologisk profil 11), därför tolkas de bero på mineraliseringarna här.

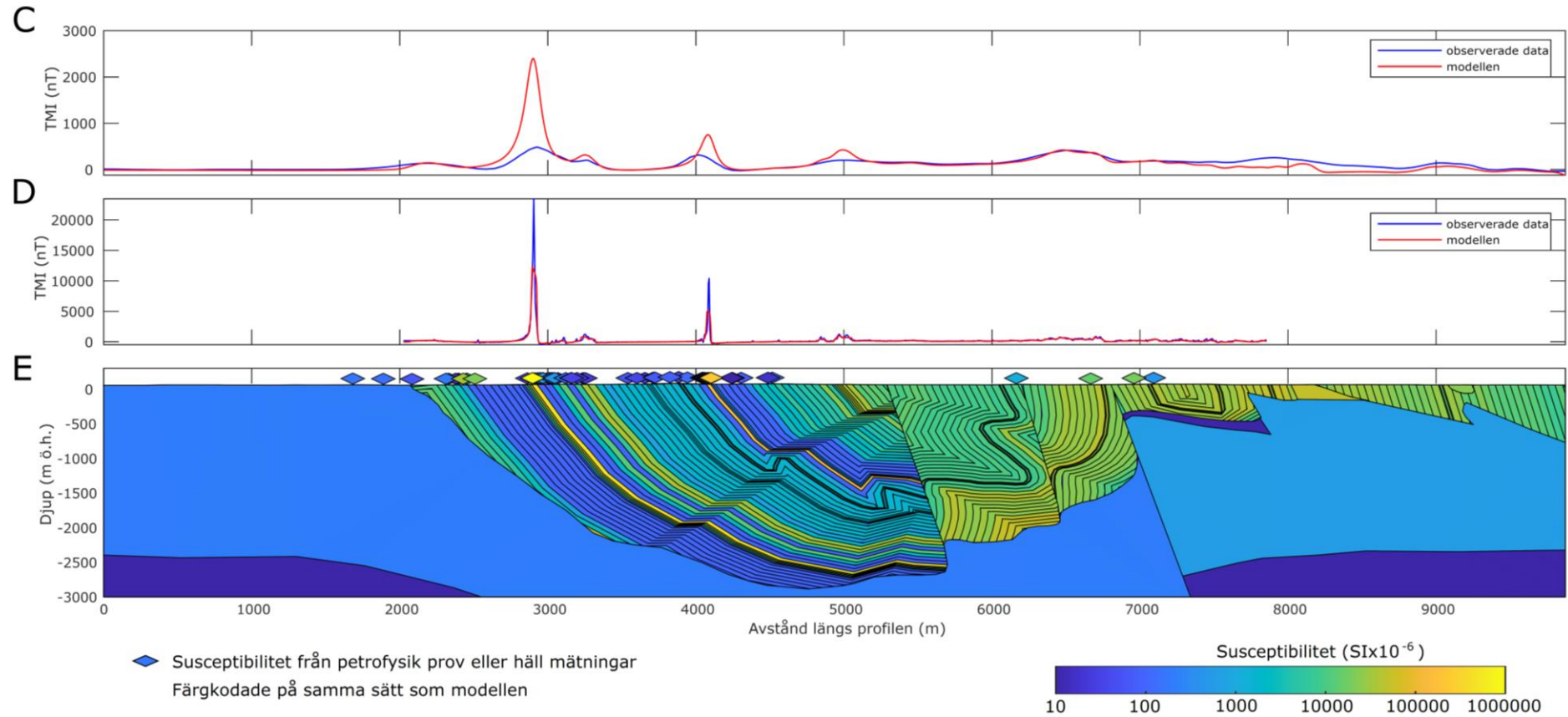
I den södra delen av det felsiska metavulkanitområdet är den genomsnittliga magnetiska susceptibiliteten ganska låg, med en gradvis ökning mot nordväst. Detta tolkas som en övergång till bergarter med högre metamorf grad som har högre halter av paramagnetiska och magnetiska mineral.

De felsiska metavulkaniterna har modellerats som en stor synklinal. Längs den södra delen av profilen är strukturen ganska ostörd. Längre mot nordväst har flera deformationszoner, som gradvist upphöjt sektionen, tolkats in. Ökningen mot nordväst av metamorf grad och magnetisk susceptibilitet anses bero på de här reversa rörelserna. Upplyftning av metagranodiorit och basiska bergarter i nordväst, som ger den starka tyngdkraftstrenden, tolkas också att bero på detta. I ett ytsnitt har rörelsen längs de här zonerna dessutom en dextral komponent. Jämfört med tolkningen i profil 1 ser det ut som att den stora antiklinalen med metasedimentära bergarter där har försvunnit i detta område på grund av upphöjning och erosion.



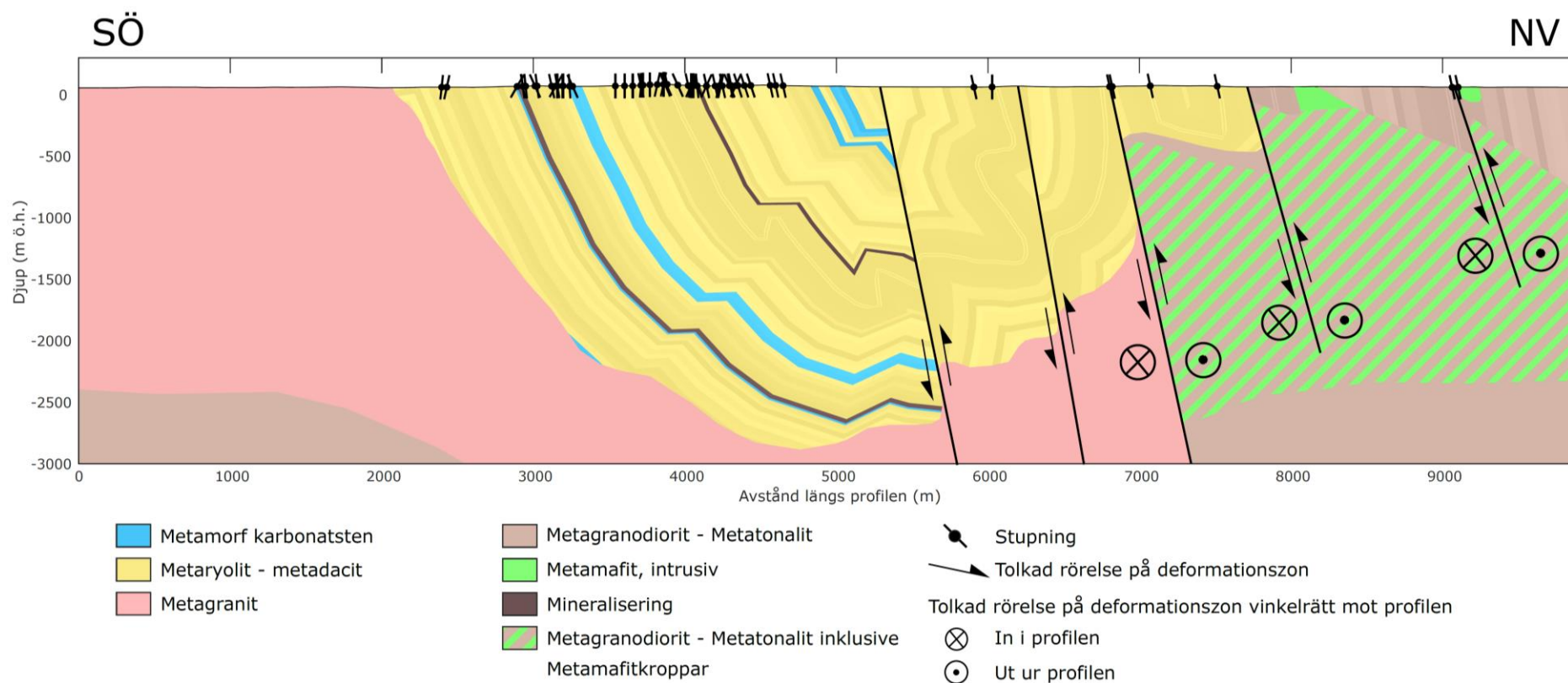
Figur 27. Modeller för geofysisk profil 2. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hällmätningar.

*Models for geophysics profile 2. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



Figur 27. Fortsättning.

Continuation.



Figur 28. Modell för geofysisk profil 2, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen.
 Model for geophysical profile 2, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.

Modellerna och motsvarande geologiska sektion för geofysisk profil 3 visas i figurerna 29 respektive 30. De motsvarar geologisk profil 14. En stor gradient i tyngdkraftsdata finns också längs denna profil och har modellerats som en övergång från metagranit och felsisk metavulkanit till metagranodiorit-metatonalit och basiska bergarter. Även här tolkas övergången att sammanfalla med en serie deformationszoner (fig. 30), bland andra Hagaskjuvzonen (Jansson 2020). En mindre positiv tyngdkraftsanomali, som finns mellan 1 000 och 4 000 m längs profilen, är modellerad att bero på förekomsten av metamorf karbonatsten i den felsiska metavulkanitsekvensen.

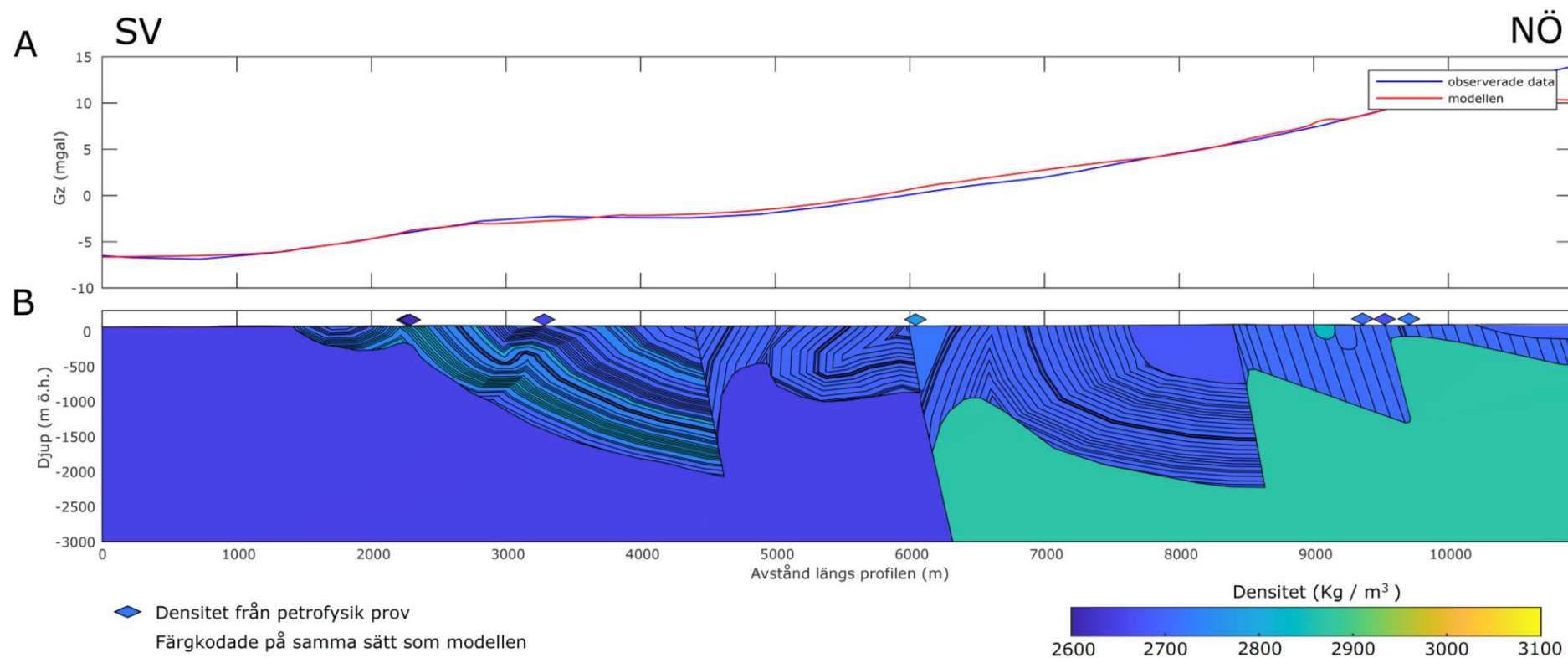
Mellan 1 000 och 4 500 m längs profilen är den genomsnittliga magnetiska susceptibiliteten i de felsiska metavulkaniterna ganska låg. Det finns flera relativt skarpa anomalier i det här området och de tolkas bero på mineraliseringar i lager med karbonatsten. Från 4 500 till 8 000 m längs profilen har bergarterna en högre genomsnittlig susceptibilitet. Det tolkas här bero på felsiska metavulkaniter med högre halter av magnetiska mineral.

I denna modell är bergarterna klassificerade som felsisk metavulkanit, som på berggrundskartan, men det är möjligt att de borde klassificeras som ortognejs istället (se beskrivningen av geologisk profil 14). Längs norra delen av profilen är det tydligt att det finns ganska mycket variation i zonen karterad som metagranodiorit-metatonalit. Därför är det troligt att den här bergarten har, till en viss del, zoner eller band som innehåller varierande halter av magnetiska mineral vilka ger upphov till detta anomalimönster.

Den synklinal som modellerats längs de geofysiska profilerna 1 och 2 verkar bara delvis vara kvar mellan 1 000 och 4 500 m längs den geofysiska profilen 3. Vid ungefär 4 500 m korsar profilen Hagaskjuvzonen (Jansson 2020) som tydligt framgår i flyggeofysiska data (se t.ex. vid A i fig. 22). Skjuvzonen tolkas vara en kombinerad dextral och revers deformationszon. Därför har en serie av deformationszoner som korrelerar med tolkade lineament i den magnetiska kartan (fig. 2) lagts in i modellen. Deformationszonerna lyfter upp bergarterna i norr och har dextral rörelse i horisontalsnittet (vilket stämmer med observationer längs geologisk profil 14).

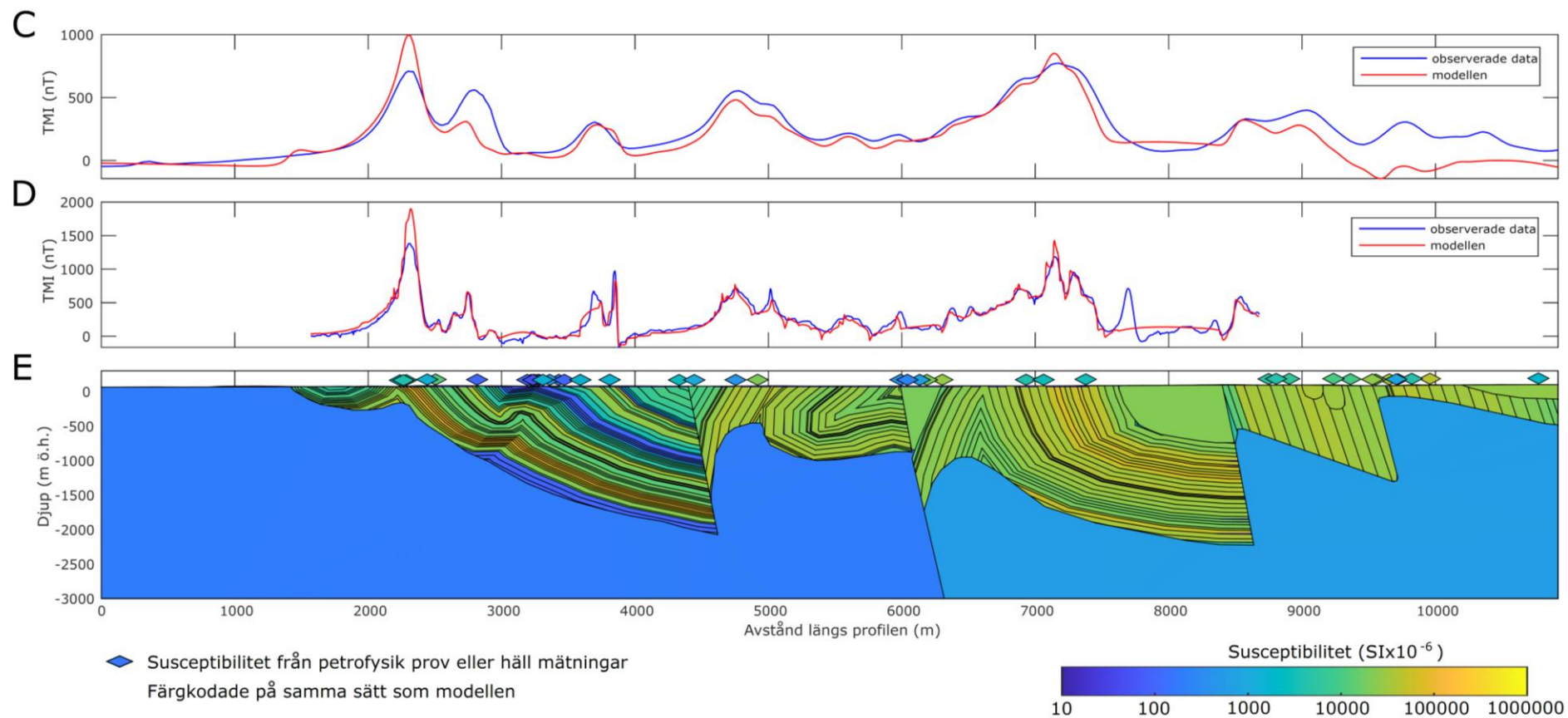
2D-modeller längs de geofysiska profilerna 4 och 5 finns i bilaga 1 (fig. B1–B4). De liknar modellen för geofysisk profil 2 och motsvarar till en viss del de geologiska profilerna 10 respektive 12. Längs båda profilerna har de felsiska metavulkaniterna modellerats som ett stort veck som är påverkat av förkastningar mot norr och nordväst. Metagranodiorit och basiska bergarter antas bli mer ytnära mot norr och nordväst.

Längs profil 4 finns mellan 3 000 och 6 000 m en ganska tydlig tyngdkraftsanomali i det felsiska metavulkanitområdet. Den här anomalin har tolkats, tillsammans med flera starka magnetiska anomalier, att bero på förekomster av mineraliseringar och karbonatsten. Längs profil 5 ser man inte någon tydlig positiv tyngdkraftsanomali i den felsiska metavulkaniten. Det tolkas som att det finns mindre karbonatsten här. Flera starkt magnetiska anomalier tolkas bero på järnoxid-mineraliseringar längs norra delen av profil 5. Figur B4A visar ett foto taget i närheten av den nordligaste magnetiska anomalin längs profil 5. Här finns mörka mineral (eventuellt magnetit) i sprickor i metaryolit. Ett petrofysikprov från denna håll har ett mycket högt magnetiskt susceptibilitetsvärde på ungefär $1\,591\,000 \text{ SI} \times 10^{-6}$.



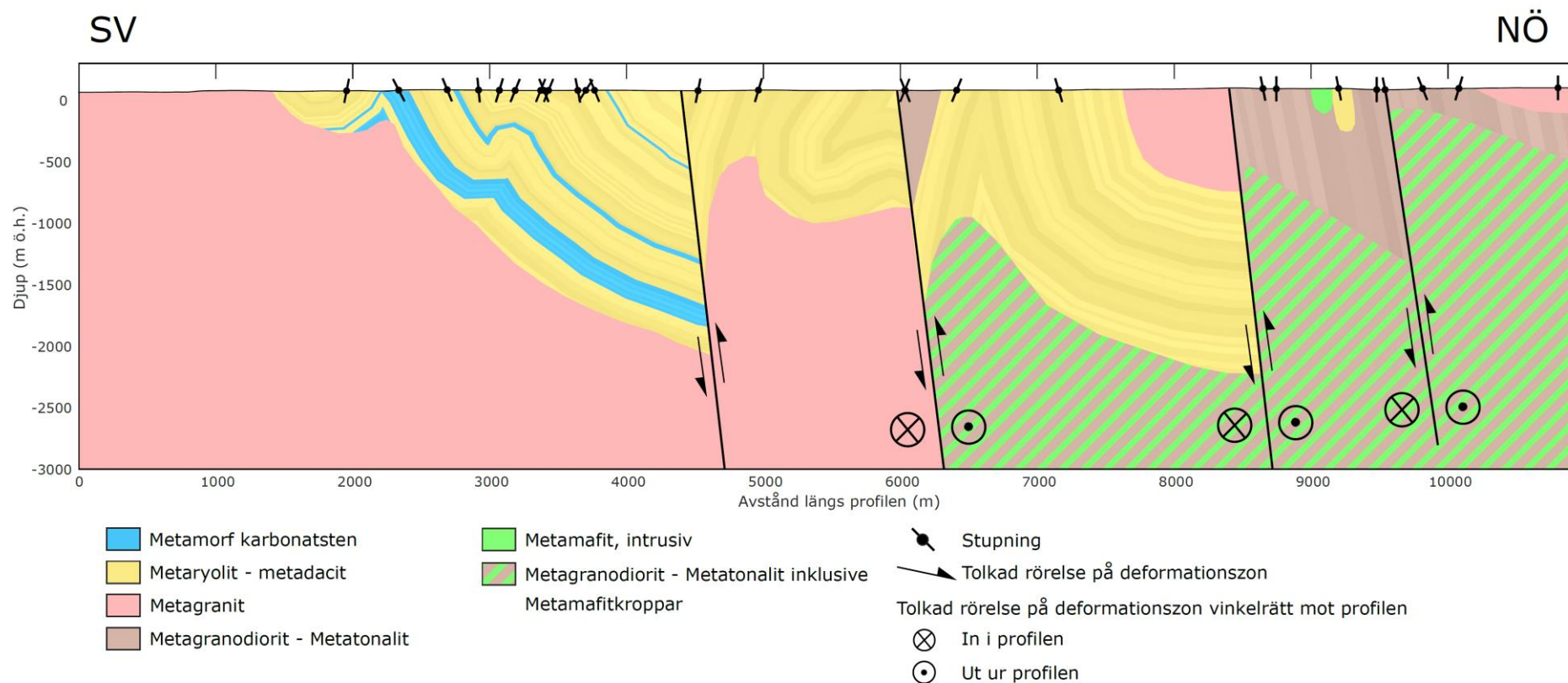
Figur 29. Modeller för geofysisk profil 3. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hällmätningar.

*Models for geophysics profile 3. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



Figur 29. Fortsättning.

Continuation.



Figur 30. Modell för geofysisk profil 3, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen.
 Model for geophysical profile 3, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.

Figur 31 visar modellen av geofysisk profil 6 färgkodad med bergarter. Dess geofysiska egenskaper visas i figur B5. Tyngdkraftsresponsen karakteriseras av en stor negativ anomali i mitten av profilen. Det tolkas bero på djupt liggande felsiska metavulkaniter och metagranit. Vid flankerna av profilen tolkas metagranodiorit-metatonalit och basiska bergarter vara ytnära. Huvudsakligen är bergarterna inte särskilt magnetiserade längs profilen, men det finns tre tydliga anomalier som indikerar bergarter med högre susceptibilitet (fig. B5). Den södra anomalin är tolkad som en diabasgång med ungefärlig nord-sydlig strykning. Observera att densitetsvärdena i modellen inte är representativa för diabas. Eftersom gången är ganska smal påverkas inte tyngdkraftsfältet särskilt mycket. Anomalin mellan ungefär 6 800 och 7 200 m längs profilen modelleras som förekomster av metaandesitlager i den felsiska metavulkanitsekvensen (fig. 4f).

Figur 32 visar densitets- och magnetiska susceptibilitetsmodeller för geofysisk profil 7. En färgkodad modell med bergarter visas i figur 33. Som i de geofysiska profilerna 1–5 finns längs den här profilen en storskalig trend i tyngdkraftsdata med negativa värden i söder och positiva värden i norr. Här tolkas det som en övergång från metagranit och felsisk metavulkanit i söder till metagranodiorit-metatonalit och basiska bergarter i norr. Ingen karbonatsten har modellerats på grund av frånvaron av någon märkbar positiv anomali inom det felsiska metavulkanitområdet.

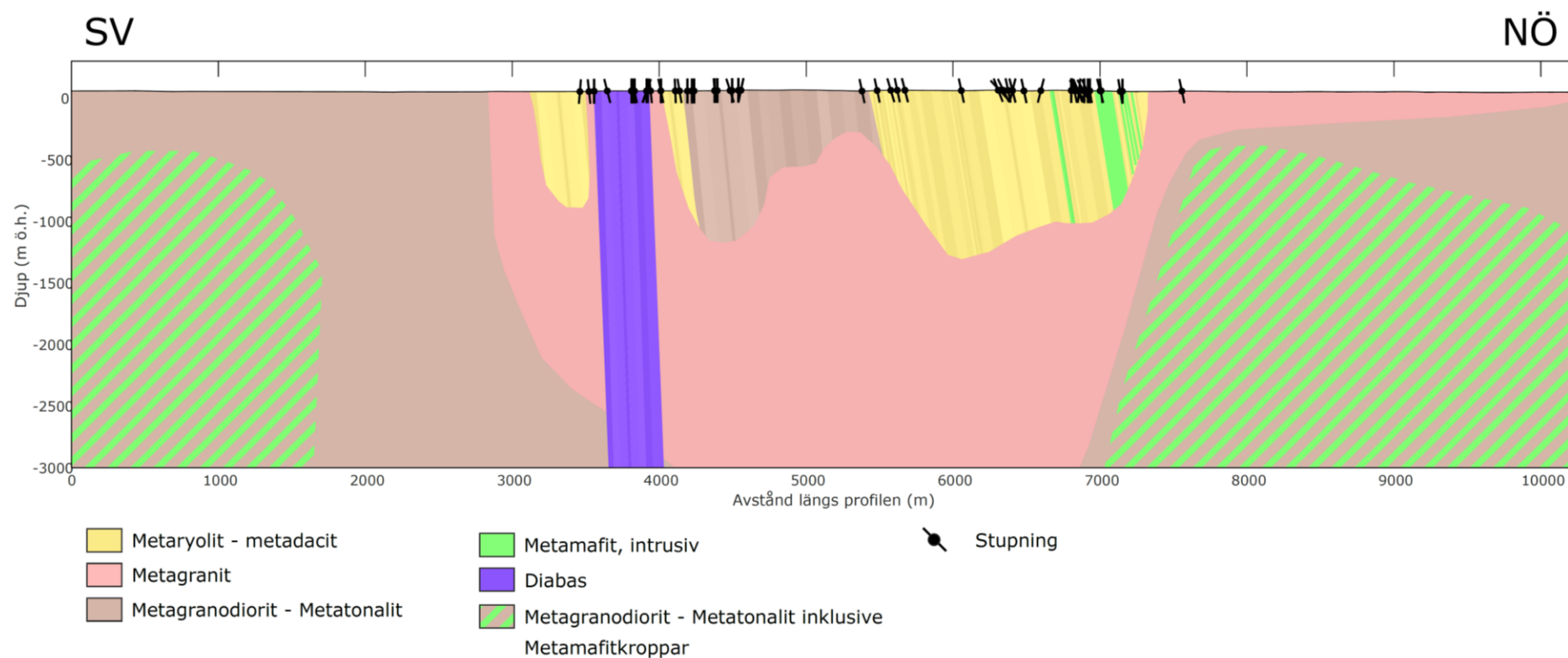
Markmagnetiska mätningar finns bara från den norra delen av profil 7. De visar en bred positiv anomali vid ungefär 9 000 m. Den tolkas bero på förekomster av basiska bergarter med höga halter av paramagnetiska och magnetiska mineral, eventuellt magnetit.

Vid ungefär 11 000 m längs profilen finns en symmetri i det markmagnetiska anomalimönstret. Med hänsyn till det magnetiska mönstret i flygdata och geologiska observationer av strykning och stupning bör centrum av den här symmetrin utgöra mitten av en stor synklinal (fig. 2e och 32d). Tolkningen är att veckaxeln har en strykning på ungefär 45 grader. Hagaskjuvzonen (Jansson 2020), som tydligt framgår i flygmagnetiska data (fig. 2), korsar profilen vid ungefär 7 500 m. Bergarter med högre densitet har lyfts upp på den norra sidan av den här zonen. Som för den geofysiska profilen 3 är tolkningen att den synklinalstrukturen i den felsiska metavulkaniten avslutas vid den här zonen. Ett parasitveck har med hjälp av hällobservationer av strykning och stupning tolkats in i den felsiska sekvensen (fig. 33). Observera att det inte finns markgeofysiska data för den södra delen av profilen och att det därför finns en högre grad av osäkerhet i modelleringen för den här delen.

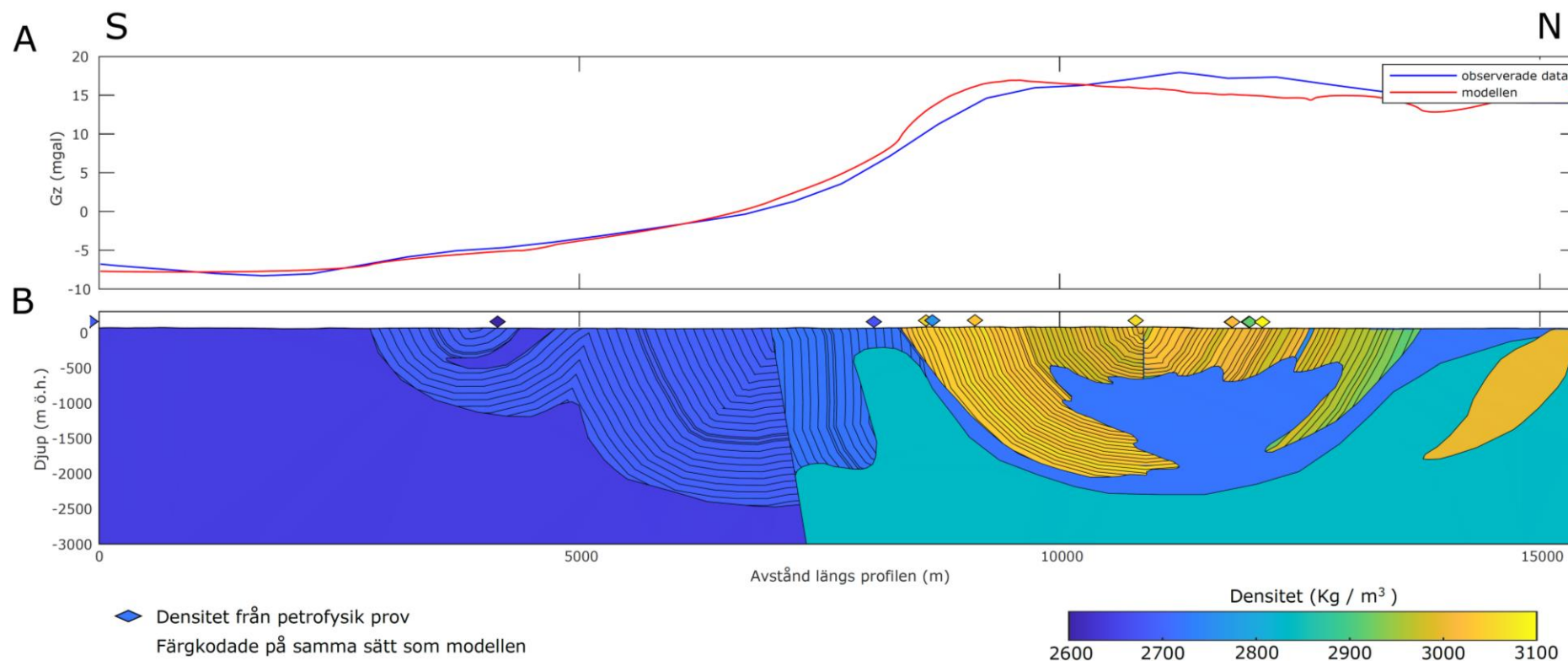
2D-modellen längs geofysisk profil 8 visas i figurerna B6 och B7. Den motsvarar geologisk profil 15. Tyngdkraftsdata karakteriseras av en stor positiv anomali, som tolkas bero på basiska bergarter med hög densitet. Anomalin är högst på den västra sidan av profilen och därför antas att det finns mer basiska bergarter i detta område.

Mark- och flygmagnetiska mätningar visar ett ganska komplext mönster som tolkas reflektera zoner som domineras av basiska bergarter (högre susceptibilitet) eller metagranodiorit-metatonalit (lägre susceptibilitet). Det magnetiska mönstret beror också på variationer i halt av magnetiska och paramagnetiska mineral i de basiska bergarterna.

Den här profilen korsar också den stora veckstruktur som har tolkats längs profil 7. Tolkningen är att veckaxeln stupar mot nordöst. Därmed antas också att de basiska kropparna, generellt sett, stupar mot nordöst. Det är viktigt att notera att tolkningarna längs profilerna 7 och 8 är begränsade av att modelleringen bara är tvådimensionell. Dessutom är de inte optimalt orienterade för att karakterisera den här strukturen.

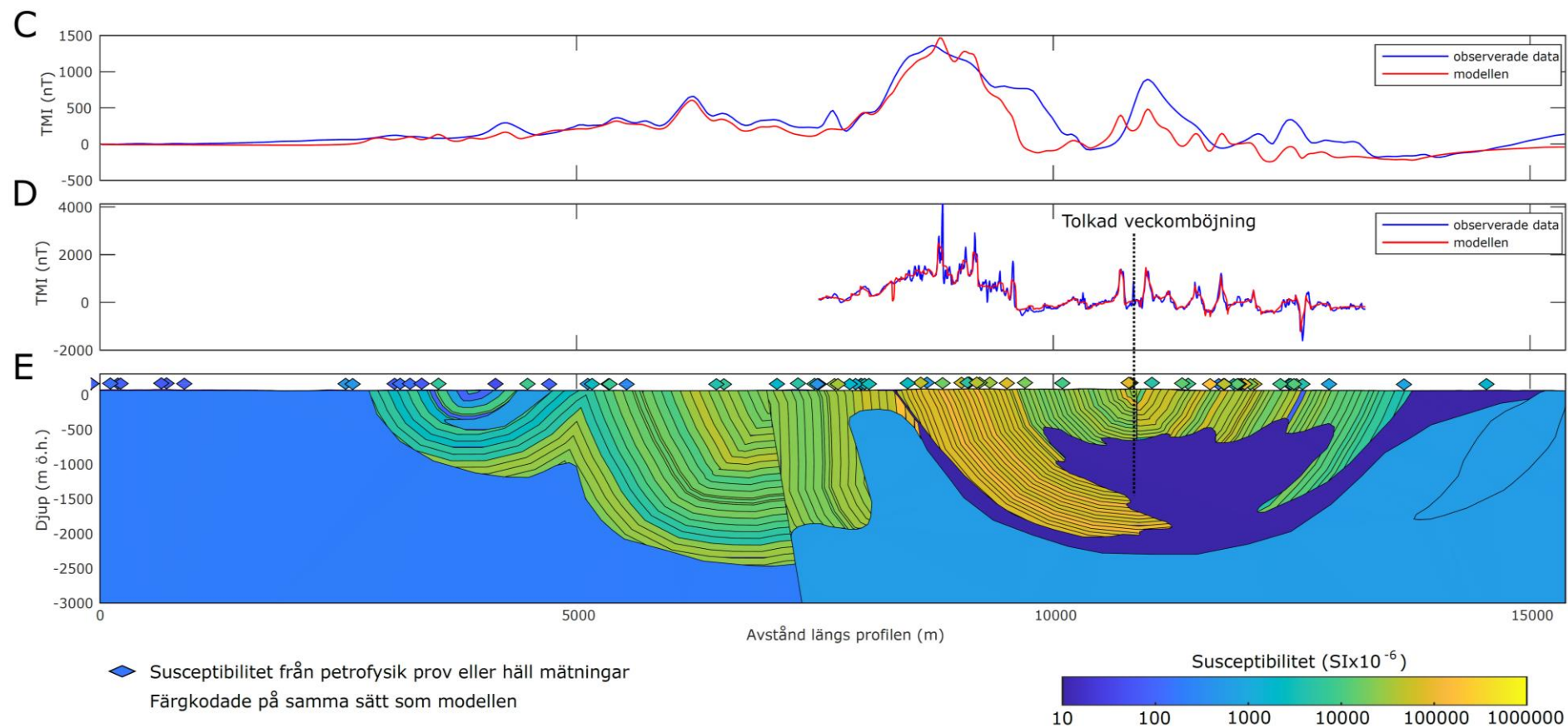


Figur 31. Modell för geofysisk profil 6, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen.
Model for geophysical profile 6, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.



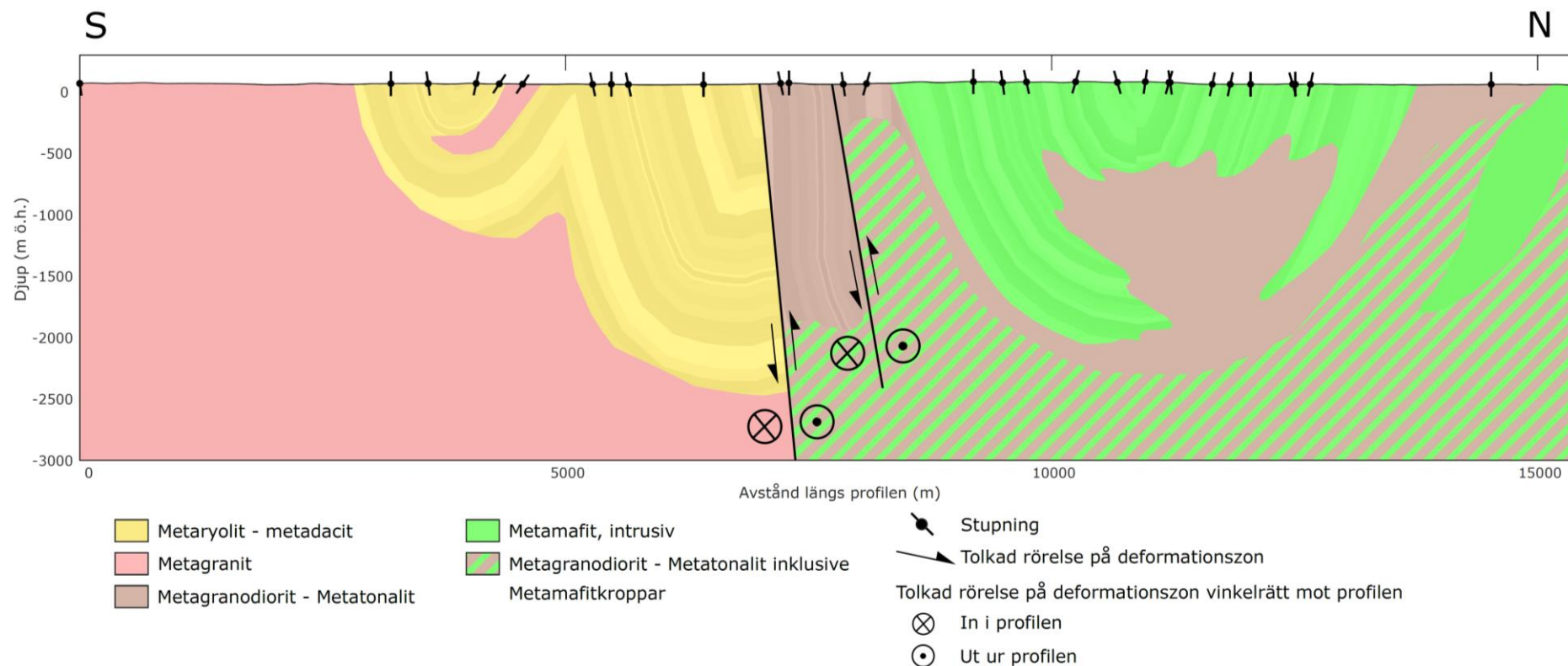
Figur 32. Modeller för geofysisk profil 7. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. Det tolkade läget för veckomböjningen visas. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hållmätningar.

Models for geophysics profile 7. See figure 16 for profile position. A. Gravity data, both observed and calculated from model. B. Density model as well as density values from petrophysical samples. C. Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. D. Ground magnetic data, both observed and calculated from model. The interpreted center of the fold is shown. E. Susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.



Figur 32. Fortsättning.

Continuation.



Figur 33. Modell för geofysisk profil 7, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen.
 Model for geophysical profile 7, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.

Sammanfattning av geofysikobservationer och modelleringsarbete

Under projektet har befintliga och nyinsamlade geofysiska data analyserats och tolkats för Sala–Jugansboområdet.

Baserat på detaljerade markmagnetiska mätningar och hålobservationer utanför Delbo är det rimligt att anta att man kan använda magnetiska data för att tolka huvudriktningen i lagringen i det felsiska metavulkanitstråk som ligger mitt i projektområdet. Det magnetiska mönstret antas bero på variation i halter av magnetiska mineral (troligtvis magnetit). Dessutom bidrar också mineralisering av metamorf karbonatsten till mönstret. Eftersom de kända mineraliseringarna i området korrelerar rumsligt med tolkade deformationszoner, antar vi att de är strukturellt kontrollerade.

Modelleringen visar att det är rimligt att tolka det felsiska metavulkanitområdet som en bred synklinal. Dessutom kan man tolka det metasedimentära området nordväst om Sala som en bred antiklinal med många parasitveck. Mot norr avslutas vecket mot en deformationszon längs vilken från början djupare belägna bergarter med högre densitet har lyfts upp. De geologiska observationerna stöder till en stor del de geofysiska modellerna.

En mindre, positiv tyngdkraftsanomali som följer strukturen av det felsiska metavulkanitstråket korrelerar med förekomster av marmor eller dolomit. Därför tolkas att den här anomalin beror på närvaron av metamorf karbonatsten inom den felsiska metavulkanitsekvensen. Den här studien visar alltså att man kan använda tyngdkraftsdata för att kartlägga karbonatstensförekomster i det här området. Troligtvis kan mer detaljer om de här kropparnas utbredning fås med hjälp av tätare tyngdkraftsmätningar.

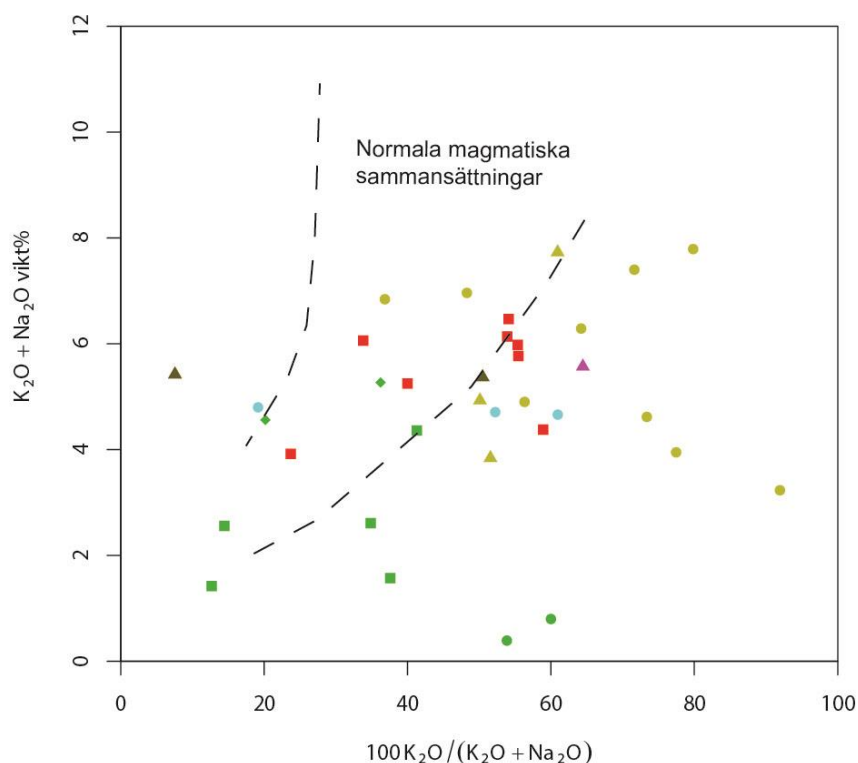
Både mark- och flygmagnetiska mätningar stöder tolkningen att området med basiska bergarter nära Banmossen kan karakteriseras som en stor veckstruktur.

LITOGEOKEMI

Trettiofem prover har analyserats avseende kemisk sammansättning. Resultaten visas i bilagorna 2 och 3.

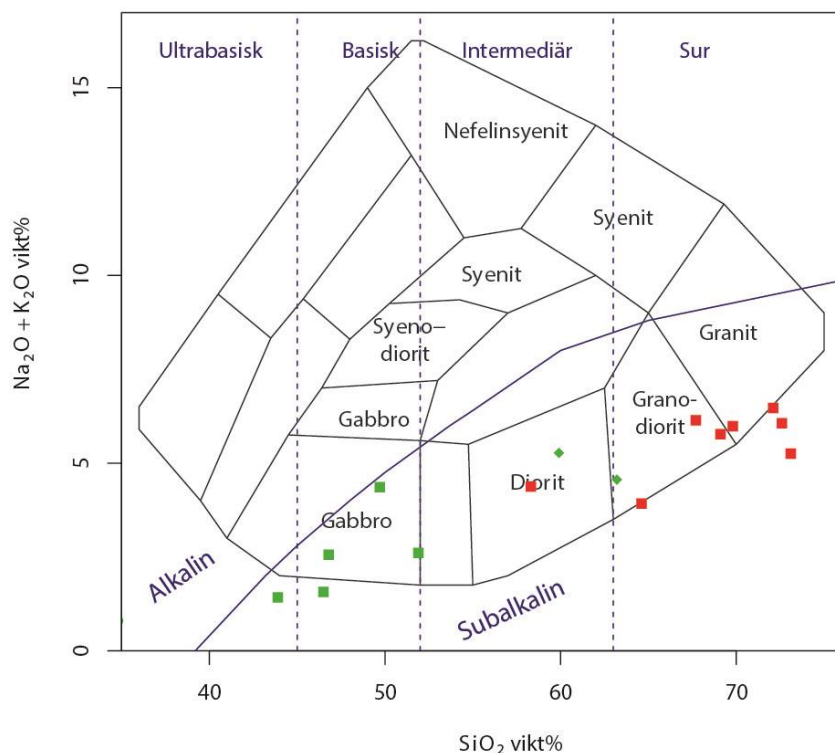
Bergarternas alkalirelationer enligt Hughes (1973) visas i figur 34, tydligen är K-anrikning vanlig i de flesta litologierna. Två prover av mineraliserad mafit har låga totalhalter av alkaliement, sannolikt på grund av utspädning genom tillförsel av andra element. För jämförelse har även sammansättningen hos områdets metasedimentära bergarter inkluderats i diagrammet; de har alkalirelationer som liknar de hos omgivande vulkaniter.

Områdets GDG-bergarter visar en subalkalin trend från gabbro till granit i figur 35 (Cox m.fl. 1979). De felsiska leden är peraluminösa och kalkalkalina enligt plottar (inte visade) efter Shand (1943) respektive Myashiro (1974) medan de mafiska enligt samma plottar är metaluminösa och tholeiitiska. De senare är även tholeiitiska i en AFM-plott enligt Irvine & Baragar (1971; inte visat) men deras Al_2O_3 -halter (>16 vikt%) tyder på kalkalkalin affinitet enligt Wilson (1989). Enligt Frosts m.fl. (2001) modifierade *alkali lime-index* är GDG-bergarterna kalkalkalina till kalkiga (inte visat).



Figur 34. Bergarternas alkalihalt och -relationer och normala magmatiska sammansättningar enligt Hughes (1973). Gul och mörk symbol är metavulkanit, triangel och rund prick avser olika Zr/Hf-kvoter (se texten), blå prick är metasedimentär bergart, röd fyrkant är felsisk GDG-bergart, grön fyrkant är mafisk GDG-bergart, grön rund prick är mineraliserad mafisk GDG-bergart, grön romb är intermediär och mafisk inneslutning i mafisk GDG-bergart, lila triangel är skarn i Banmossen.

Plot after Hughes (1973). Yellow and dark symbols denote metavolcanic rock, triangle and dot represent different Zr/Hf ratios, respectively (see text), blue dot denotes metasedimentary rock, red square denotes felsic GDG rock, green square denotes mafic GDG rock, green dot denotes mineralised mafic GDG rock, green diamond denotes intermediate and mafic xenolith in mafic GDG rock, purple triangle denotes Banmossen skarn.



Figur 35. Total alkali- mot kiselhalt, TAS, enligt Cox m.fl. (1979) för områdets GDG-bergarter. Symboler som i figur 34. TAS plot for the GDG-type rocks. Symbols as in Figure 34.

De mafiska GDG-bergarterna visar en typisk magmatisk båge-karaktär i figur 36a (VAB *volcanic arc basalt*; Pearce 1983). En rät, streckad linje längs de element som torde vara mest immobiliserade i vattenlösning visar att det finns en förhöjning av halterna för Ce, K, Rb, Ba och Th. Tolkningen (Pearce 1983) är att Ce anrikas genom en smältfas och övriga hydrotermalt i subduktionsmiljön.

De felsiska GDG-bergarterna visar också *volcanic arc*-karaktär enligt Pearce et al. (1984; fig. 36b) och liknande anrikning av element.

GDG-bergarternas kondritnormaliserade (Boynton 1984) REE-mönster visas i figurerna 36c och d. De mafiska bergarterna (fig. 36c) har enstaka prov med svagt positiv Eu-anomali, vilket beror på att de är fältspatporfyriska. Totalhalterna REE är något lägre än genomsnittet för motsvarande bergarter i Bergslagen i stort (Stephens & Jansson 2020), sannolikt på grund av att våra prov representerar i genomsnitt mer basiska sammansättningar, varav samtliga utom inneslutningarna har en SiO₂-halt under 52 vikt% (se fig. 34 och bilaga 2). Ett prov med ytterligare lägre REE-halter är starkt mineraliserat.

De felsiska GDG-bergarterna har liknande REE-mönster som de mafiska (fig. 36d) men med något högre totalhalter. De felsiska GDG-bergarternas öbågekaraktär framhävs även i figur 37 (Pearce et al. 1984).

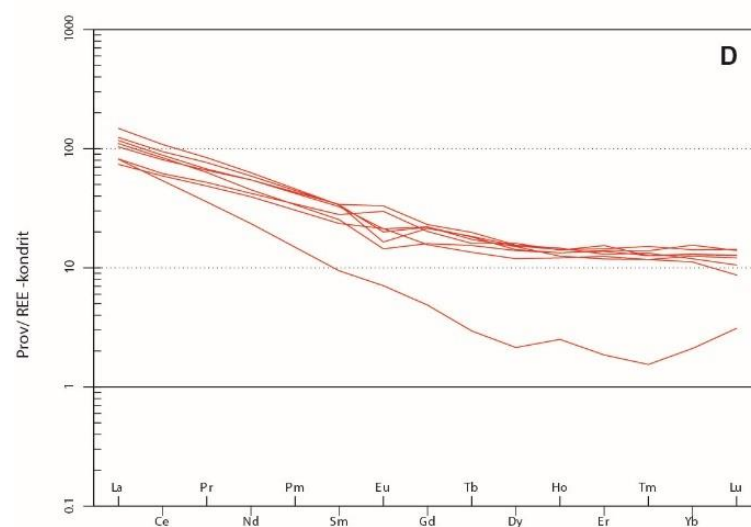
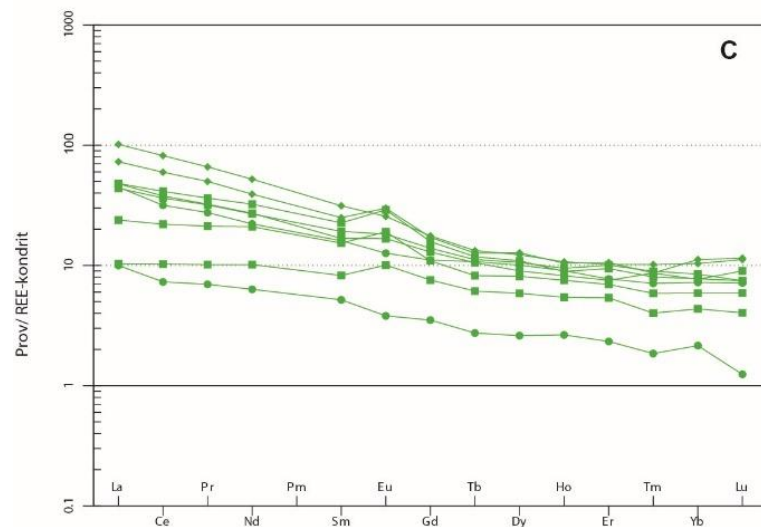
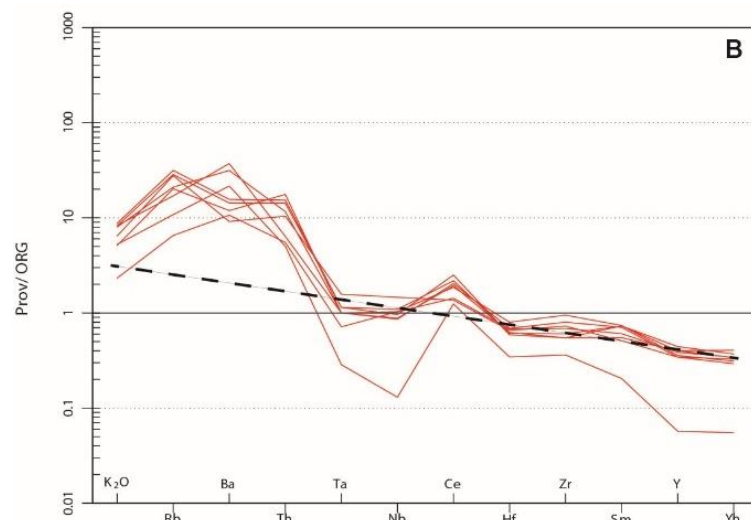
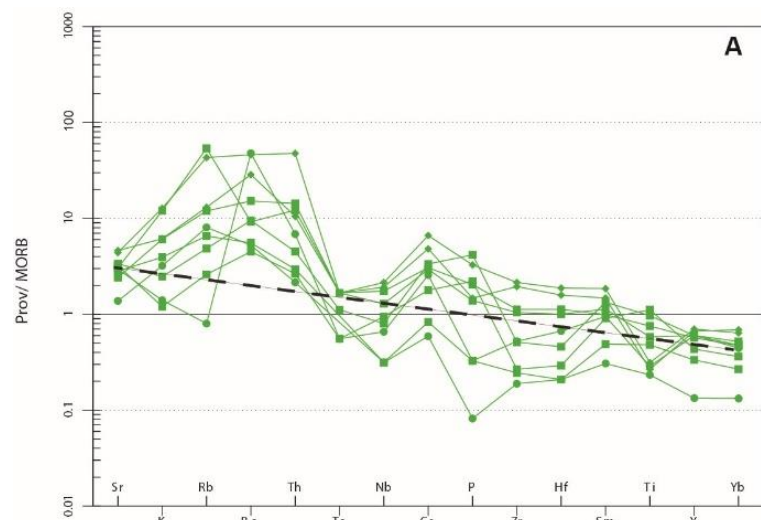
Områdets metavulkaniter har sammansättningar från andesit till ryolit och har liksom intrusiv-bergarterna en subalkalin karaktär (fig. 38a; efter Winchester & Floyd 1977). I plotten i figur 38b (MacLean & Barrett 1993) sprider de från kalkalkalin till övergående mot tholeitisk karaktär. I en multielementplott enligt Pearce m.fl. (1984; fig. 39a) visar ytbergarterna liksom de felsiska djupbergarterna (fig. 36b) en *volcanic arc*-karaktär. En skillnad är att metavulkaniterna i allmänhet har lägre Ba-halter än motsvarande djupbergarter. Orsaken kan vara att de smältor som bildat vulkaniterna stod i kontakt eller jämvikt med en biotitrik restit eller att biotit fraktionerats.

Metavulkaniternas kondritnormaliserade REE-mönster (Boynton 1984; fig. 39b) liknar de för motsvarande djupbergarter; möjligen finns en större tendens till att ha negativ Eu-anomali.

I figur 40a visas Zr/Hf-kvot mot SiO₂. Zirkonium och hafnium har lika kemiska egenskaper, eftersom Zr- och Hf-joner har samma laddning och nästan samma storlek, och de är sannolikt ungefär lika immobiliserade vid eventuell hydrotermal omvandling. Som framgår av figuren innebär dock fraktionering en förändring av kvoten. Eftersom kisel kan vara mobilt i hydrotermala sammanhang får dock den exakta trenden betraktas med försiktighet. Ökningen i Zr/Hf-kvot vid högre SiO₂-halt som de mafiska proverna möjligen visar kan bero på fraktionering av pyroxen (David et al. 2000), medan sänkningen av densamma över cirka 65 % SiO₂ beror på zirkonfraktionering (Lowery Claiborne et al. 2006). Observera dock att samma Zr/Hf-trend för de felsiska leden kan ha bildats genom uppsmältning av en zirkonförande protolit.

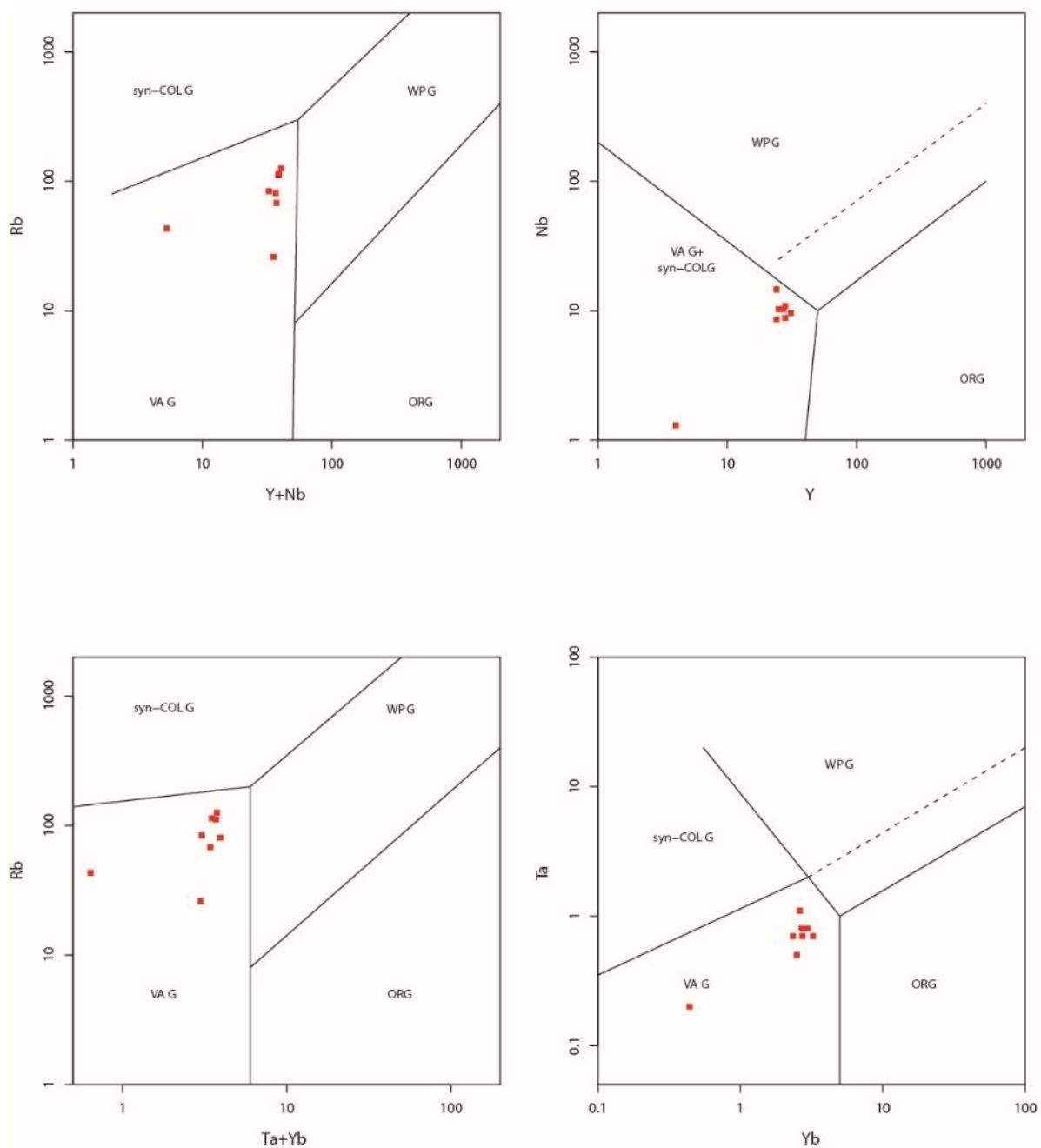
I figur 40b visas sammansättningen hos områdets samtliga bergarter i ett Zr-Hf-diagram. Metavulkaniter från området söder om det nu undersökta (Ripa m.fl. 2002), Falun (Ripa m.fl. 2018) och Norberg (Ripa m.fl. 2020) visar i de flesta fall väl korrelerade trender för Zr/Hf-kvoter som ligger mellan de grå streckade linjerna och som korsar origo i figur 40b. I det nu undersökta området är det bara proverna från mafiska GDG-bergarter som visar en distinkt trend genom origo, övriga plottar längs trender som har ett visst Y-intercept. Det kan tolkas som att metavulkaniterna plottar längs två trender, den ena markerad med runda prickar och den andra med trianglar i figuren. Områdets felsiska GDG-bergarter förefaller ha en trend ungefär som vissa av vulkaniterna fast med lägre Hf-halter. Ett prov av en GDG-granitoid (SPN180260B) ser ut att snarast ligga längs mafittrenden och representerar en blandbergart med komplicerad relation till omgivande mafiter. De två prover av inneslutningar i mafiska GDG-bergarter som har analyserats plottar utanför någon av trenderna för övriga bergarter.

En mer ingående analys av bergarternas kemiska egenskaper är under arbete av Nils Jansson.

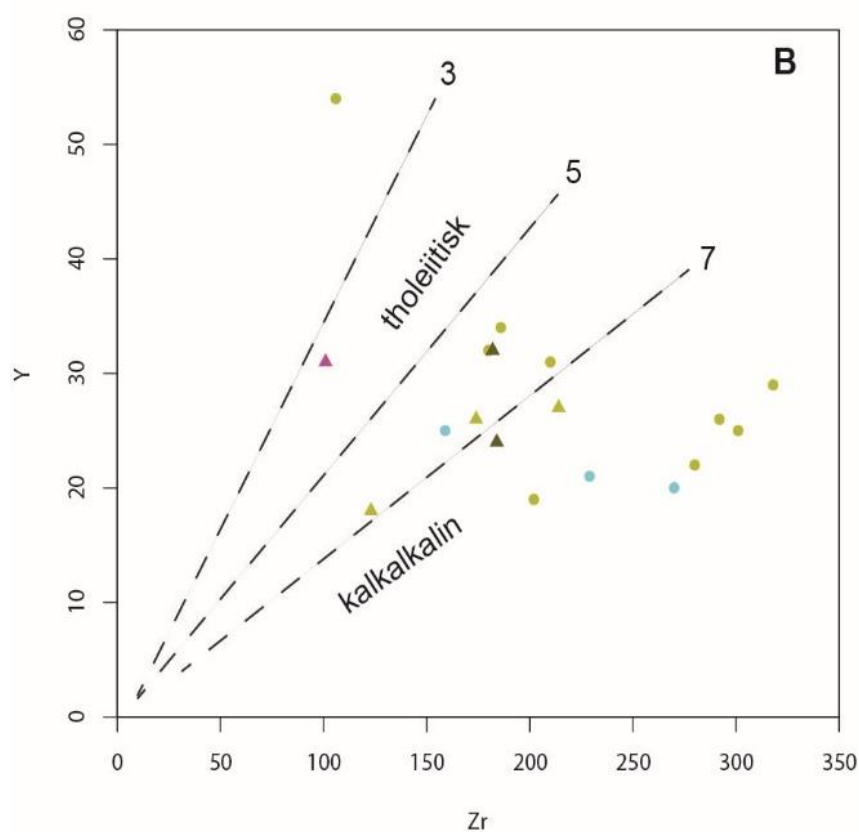
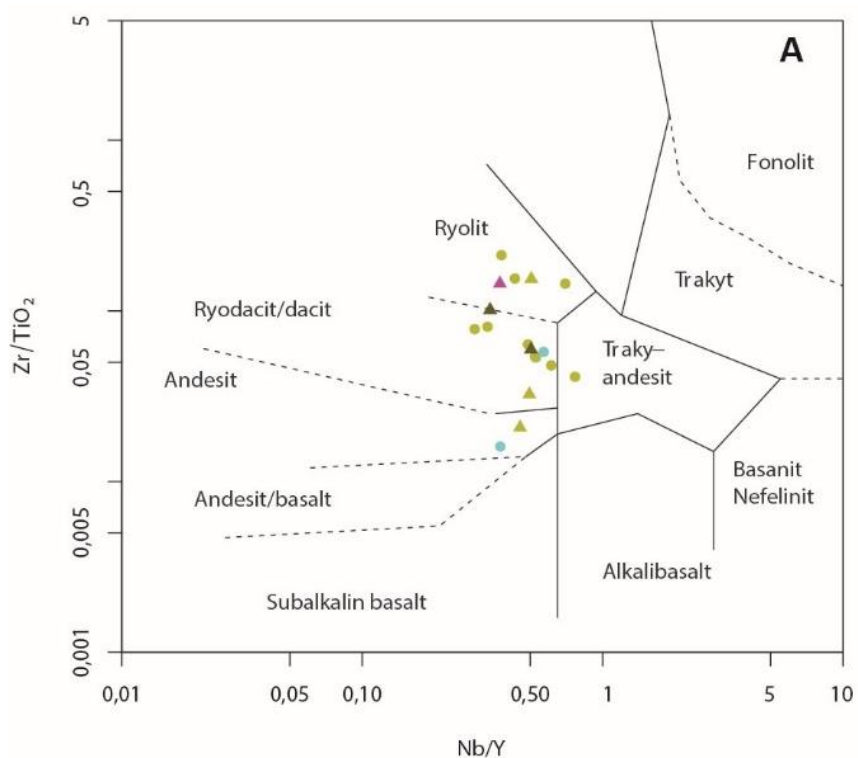


Figur 36. Diverse multi-elementplottar för GDG-bergarterna. Symboler som i figur 34. **A.** Plott för tektonisk miljö hos mafiska bergarter enligt Pearce (1983). Den streckade linjen visar trenden för de element som är mest immobila i vattenlösning, ORG betyder *ocean ridge granite*. **B.** Motsvarande plott som i A men för felsiska bergarter (Pearce m.fl. 1984). **C.** Kondrit-normaliserad (Boynton 1984) REE-plott för områdets mafiska bergarter. **D.** Kondrit-normaliserad (Boynton 1984) REE-plott för områdets felsiska bergarter.

Multi-element plots for the GDG-type rocks of the area. Symbols as in Figure 34. A. Tectonic setting for the mafic rocks. The hatched line shows the trend of those elements least mobile in aqueous solution. B. As in A but for the felsic rocks. C. Chondrite-normalised REE plots for the mafic rocks. D. As in C but for the felsic rocks

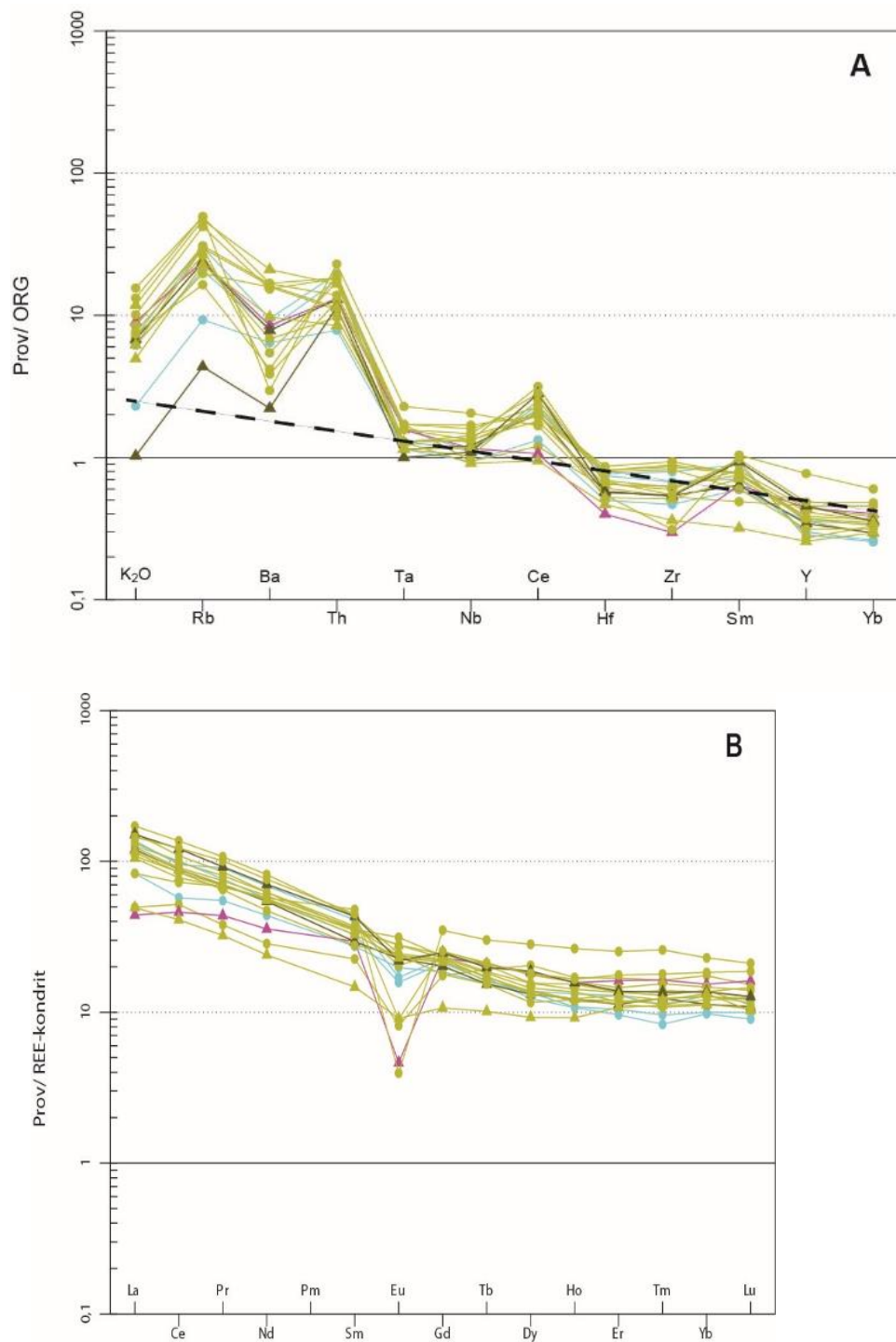


Figur 37. Tektonisk miljö/*tectonic setting* för områdets GDG-granitoider enligt Pearce m.fl. (1984) VAG är *volcanic arc granite*, WPG är *within plate granite*, ORG är *ocean ridge granite*, COLG är *collision granite*.



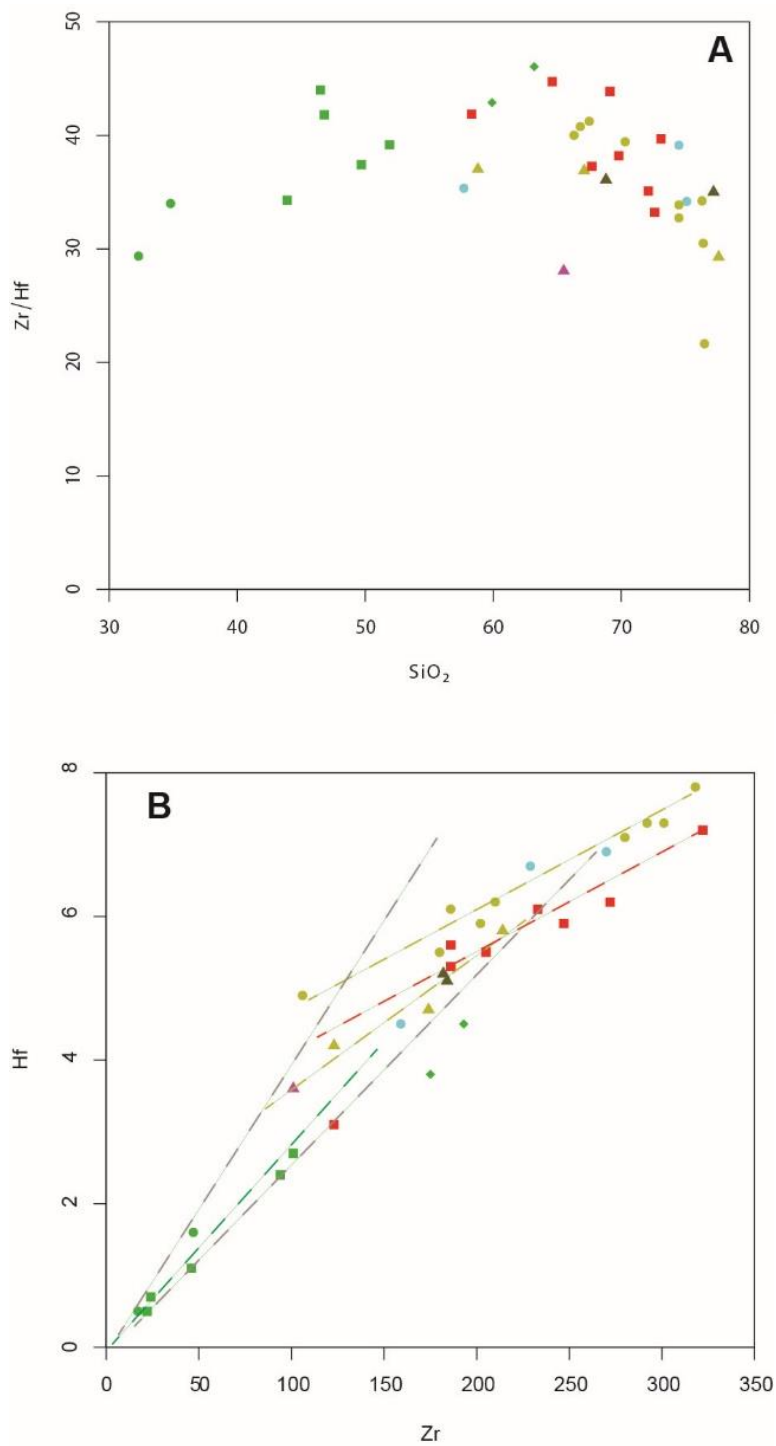
Figur 38. Områdets ytbergarter. Symboler som i figur 34. **A.** Diskrimineringsdiagram alkalin/subalkalin enligt Winchester & Floyd (1977). **B.** Diagram för tholeiitisk eller kalkalkalin karaktär enligt MacLean & Barrett (1993). De streckade linjerna avser Zr/Y-kvoter på 3, 5 respektive 7.

The supracrustal rocks of the area. Symbols as in Figure 34.



Figur 39. Multielementplottar för områdets ytbergarter. Symboler som i figur 34. **A.** Plott enligt Pearce m.fl. (1984). Den streckade linjen visar trenden för de element som är mest immobila i vattenlösning. **B.** Kondritnormaliserade värden (Boynton1984).

The hatched line shows the trend of those elements least mobile in aqueous solution. Symbols as in Figure 34.



Figur 40. Zr-Hf-relationer för samtliga prover. Symboler som i figur 34. **A.** Zr/Hf-kvot mot SiO₂. **B.** Zr/Hf-kvoter. Motsvarande trender för metavulkaniter i några andra delar av Bergslagen ligger mellan de grå streckade linjerna genom origo.

Zr-Hf relations for all samples. Symbols as in Figure 34. Trends of Zr/Hf ratios for all the analysed rocks of the area. Hatched grey lines through unity mark range of similar trends of metavolcanic rocks in other parts of Bergslagen.

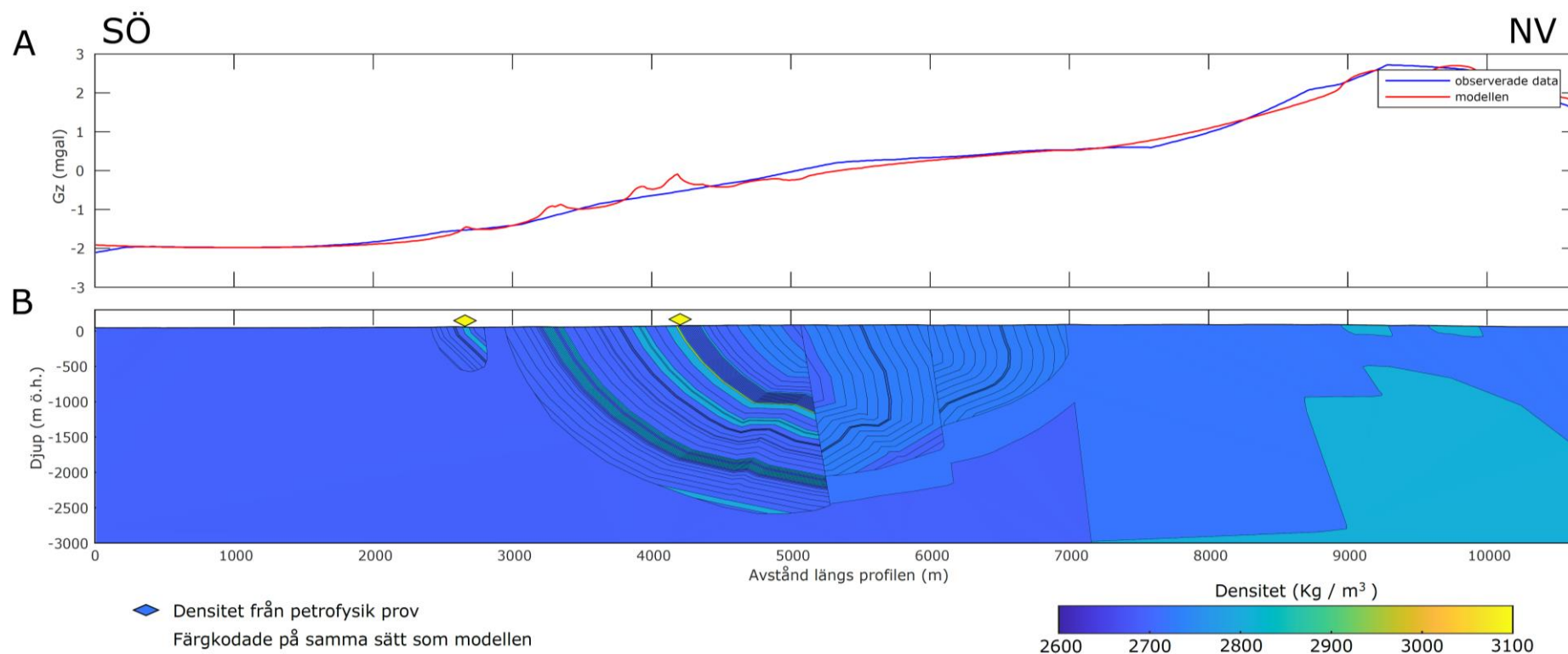
REFERENSER

- Boynton, W.V., 1984: Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. I P. Henderson (red.): *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, 63–114.
- Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J., 1979: *The Interpretation of Igneous Rocks*. George Allen & Unwin, London, 450 s.
- David, K., Schiano, P. & Allegre, C.J., 2000: Assessment of the Zr/Hf fractionation in oceanic basalts and continental materials during petrogenetic processes. *Earth and Planetary Science Letters* 178, 285–301.
- Delin, H. (red.), 2001: Regional berggrundsgeologisk undersökning: Sammanfattning av pågående undersökningar 2000. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 105, 27 s.
- Delin, H. & Söderman, J., 2005: Berggrundskartan 12H Söderfors SV, skala 1:50 000. *Sveriges geologiska undersökning K* 38.
- Erdmann, E., 1865: Några ord till upplysning om bladet Lindsbro. *Sveriges geologiska undersökning Aa* 14, 67 s.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. & Frost, C.D., 2001: A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology* 42, 2033–2048.
- Gumaelius, O., 1868: Några ord till upplysning om bladet Sala. *Sveriges geologiska undersökning Aa* 26, 127 s.
- Hellström, F., Bergman, T., Berggren, R. & Hildebrand, L., 2021a: Malmer, industriella mineral och bergarter i Heby kommun, Uppsala län. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 148, 87 s.
- Hellström, F., Bergman, T., Hildebrand, L. & Berggren, R., 2021b: Malmer, industriella mineral och bergarter i Sala kommun, Västmanlands län. *Sveriges geologiska undersökning Rapporter och meddelanden* 149, 183 s.
- Hughes, C.J., 1973: Spilites, keratophyres and the igneous spectrum. *Geological Magazine* 6, 513–527.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971: A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences* 8, 523–548.
- Jansson, N.F., 2020: Hagaskjuvzonen, Haga Shear Zone, id 4845. SGU, Geologiska Namn i Sverige databas. sgudb-genas.
- Kugelberg, O.F., 1862: Några ord till upplysning om bladet Skultuna. *Sveriges geologiska undersökning Aa* 3, 32 s.
- Lowery Claiborne, L., Miller, C.F., Walker, B.A., Wooden, J.L., Mazdab, F.K. & Bea, F., 2006: Tracking magmatic processes through Zr/Hf ratios in rocks and Hf and Ti zoning in zircons: An example from the Spirit Mountain batholith, Nevada. *Mineralogical Magazine* 70, 517–543.
- MacLean, W.H. & Barrett, T.J., 1993: Lithogeochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48, 109–133.
- Myashiro, A., 1974: Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science* 274, 321–355.
- Pearce, J.A., 1983: Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. I C.J. Hawkesworth & M.J. Norry (red.): *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva Publishing Ltd., Nantwich, 230–271.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G., 1984: Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Persson, L., 1997: Berggrundskartan 12G Avesta SO. *Sveriges geologiska undersökning Af* 189.

- Ripa, M., Kübler, L., Persson, L. & Göransson, M., 2002: Beskrivning till berggrundskartan och bergkvalitetskartan 11G Västerås NO. *Sveriges geologiska undersökning Af 217*, 70 s.
- Ripa, M., Carlsson, M., Luth, S., Nysten, P. & Thörnelöf, M., 2018: Beskrivning till berggrundskartan i projekt Falun, gruvnära kartering. *Sveriges geologiska undersökning K 622*, 58 s.
- Ripa, M., Jönberger, J. & Larsson, D., 2020: Profilkartering av berggrunden i Fagersta-Avestaområdet. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2020:12*, 39 s.
- Sandegren, R. & Asklund, B., 1946: Beskrivning till kartbladet Möklinta. *Sveriges geologiska undersökning Aa 186*, 101 s.
- Shand, S.J., 1943: *The Eruptive Rocks*. John Wiley, New York, 444 s.
- Stephens, M.B. & Jansson, N.F., 2020: Paleoproterozoic (1.9–1.8 Ga) syn-orogenic magmatism, sedimentation and mineralization in the Bergslagen lithotectonic unit, Svecokarelian orogen. I M.B. Stephens och J. Bergman Weihed (red.): Sweden: Lithotectonic Framework, Tectonic Evolution and Mineral Resources. *Geological Society, London, Memoirs 50*, 155–206.
- Stephens, M.B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C.-H., Persson, P.-O. & Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges geologiska undersökning Ba 58*, 259 s.
- Wilson, M., 1989: *Igneous Petrogenesis*. Unwin Hyman, London, 466 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.

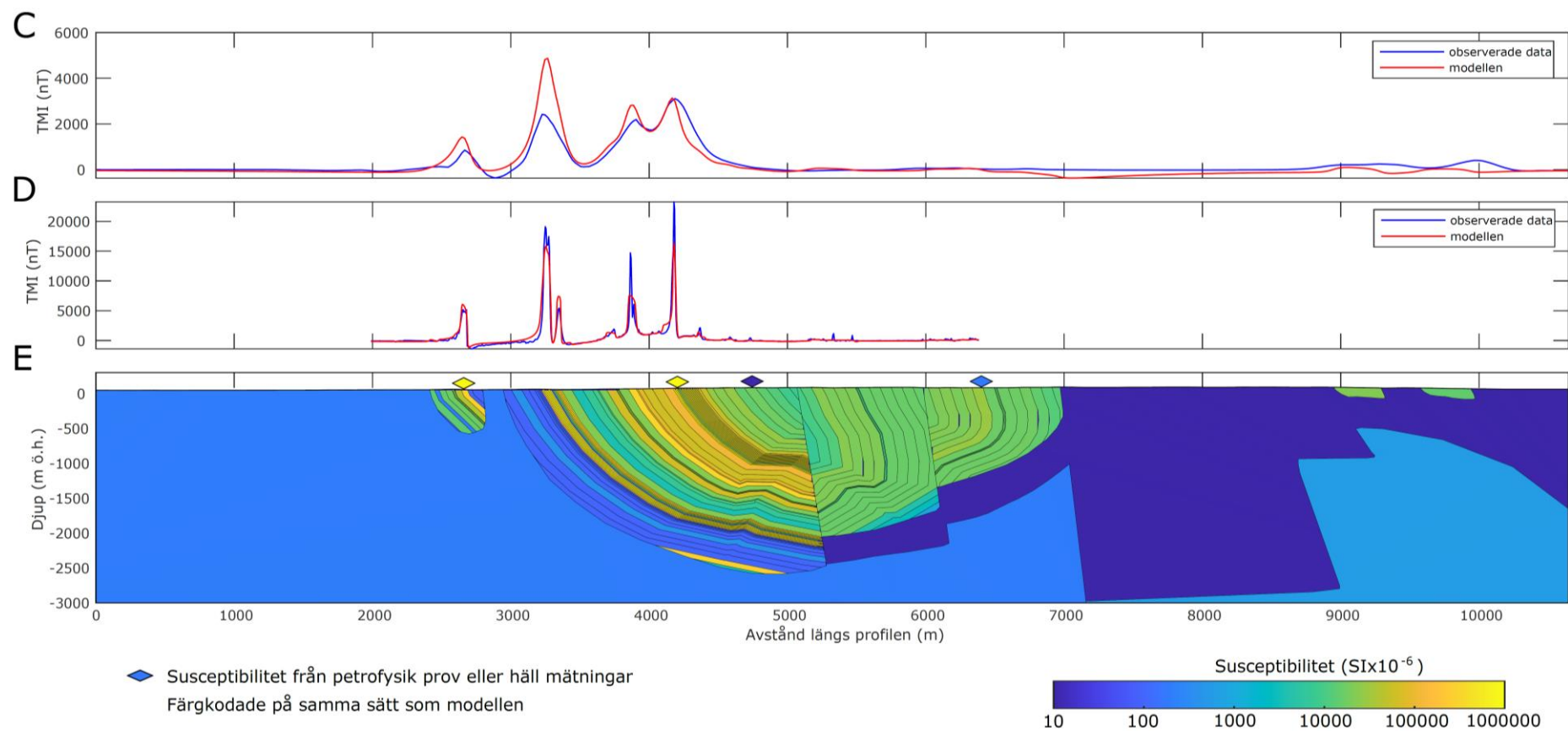
BILAGA 1. GEOFYSISKA PROFILMODELLER

I denna bilaga finns ytterligare bilder av geofysisk profilmodellering.



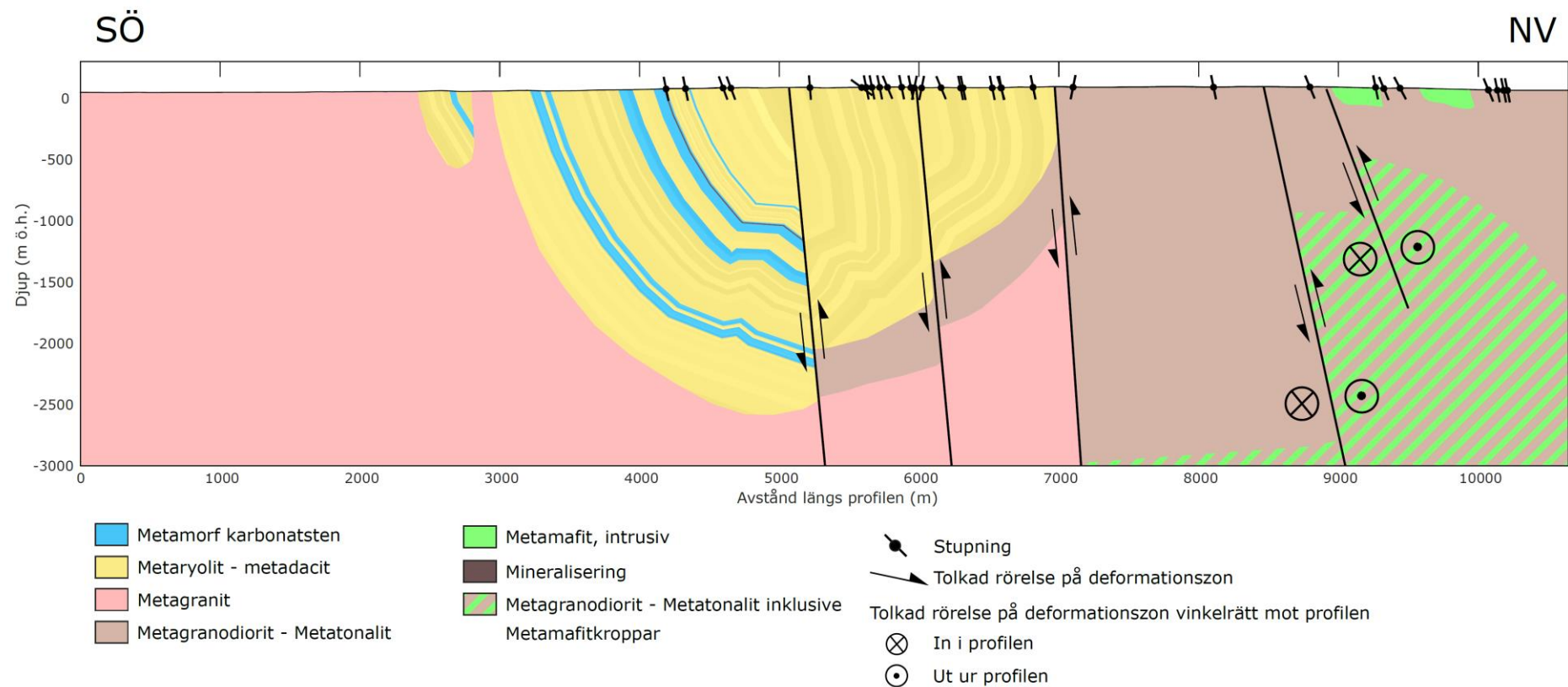
Figur B1. Modeller för geofysisk profil 4. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hällmätningar.

*Models for geophysics profile 4. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



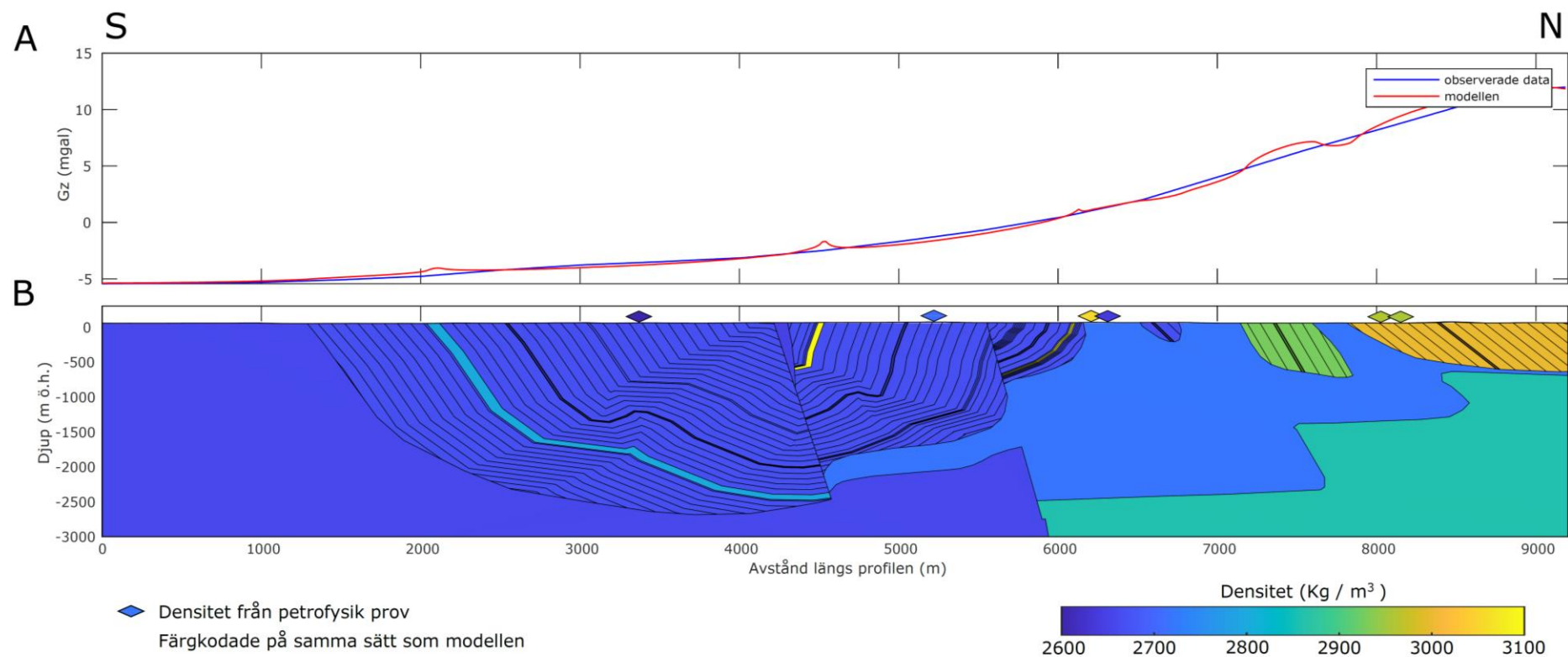
Figur B1. Fortsättning.

Continuation.



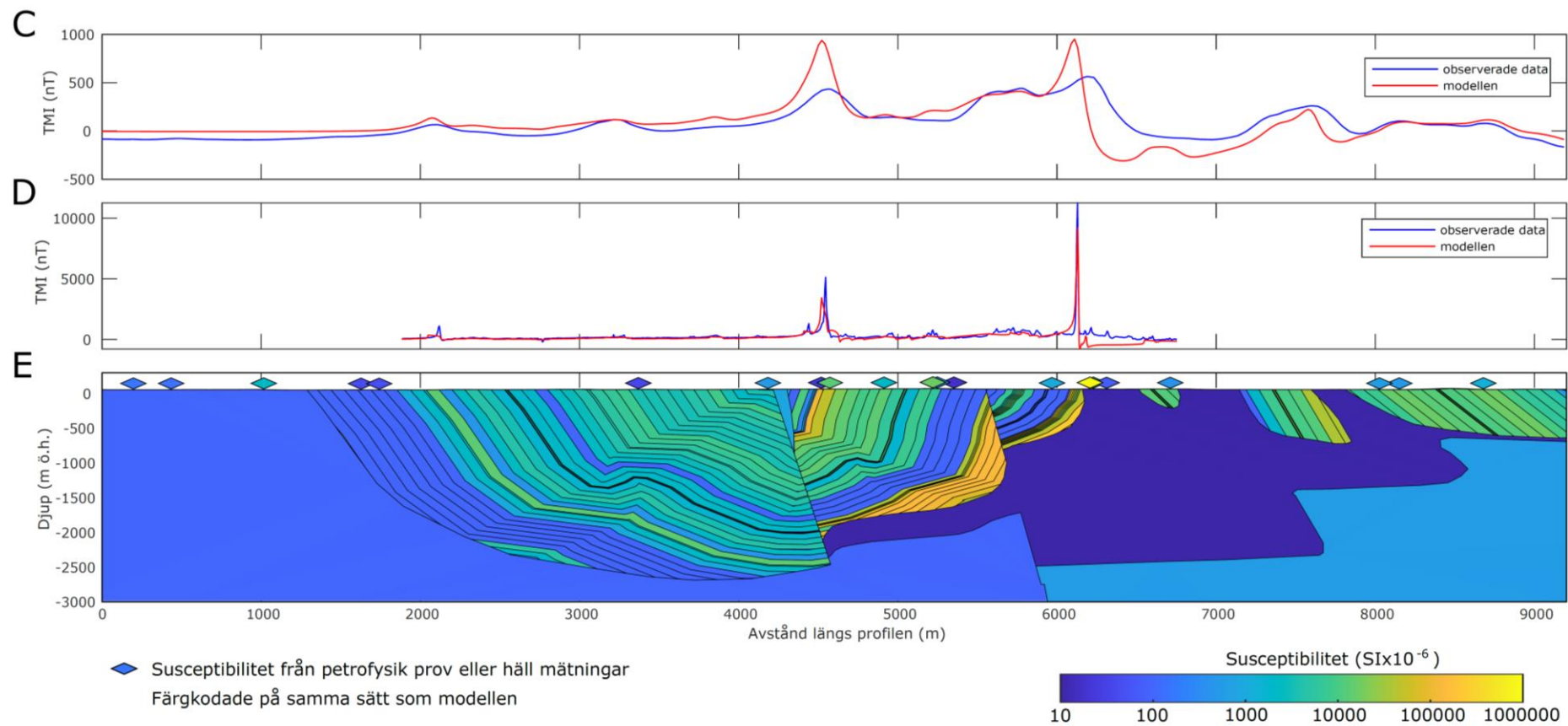
Figur B2. Modell för geofysisk profil 4, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobobservationer visas på profilen.

Model for geophysical profile 4, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation / bedding from outcrop observations is shown on the profile.



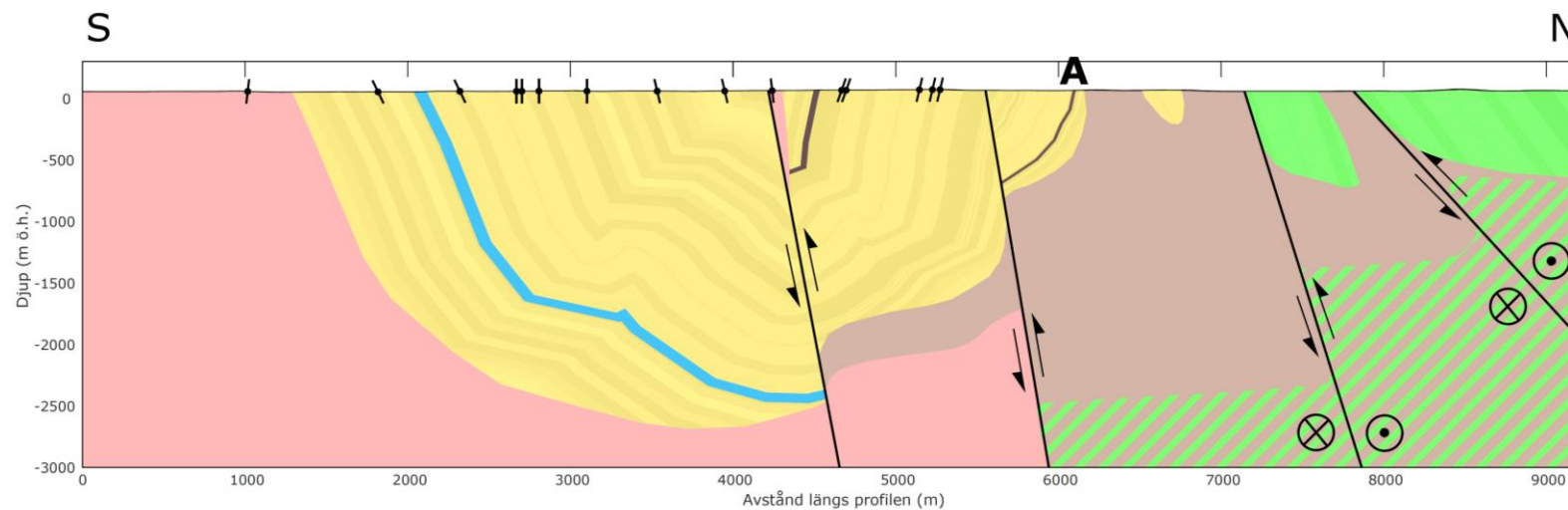
Figur B3. Modeller för geofysisk profil 5. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hållmätningar.

*Models for geophysics profile 5. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



Figur B3. Fortsättning.

Continuation.

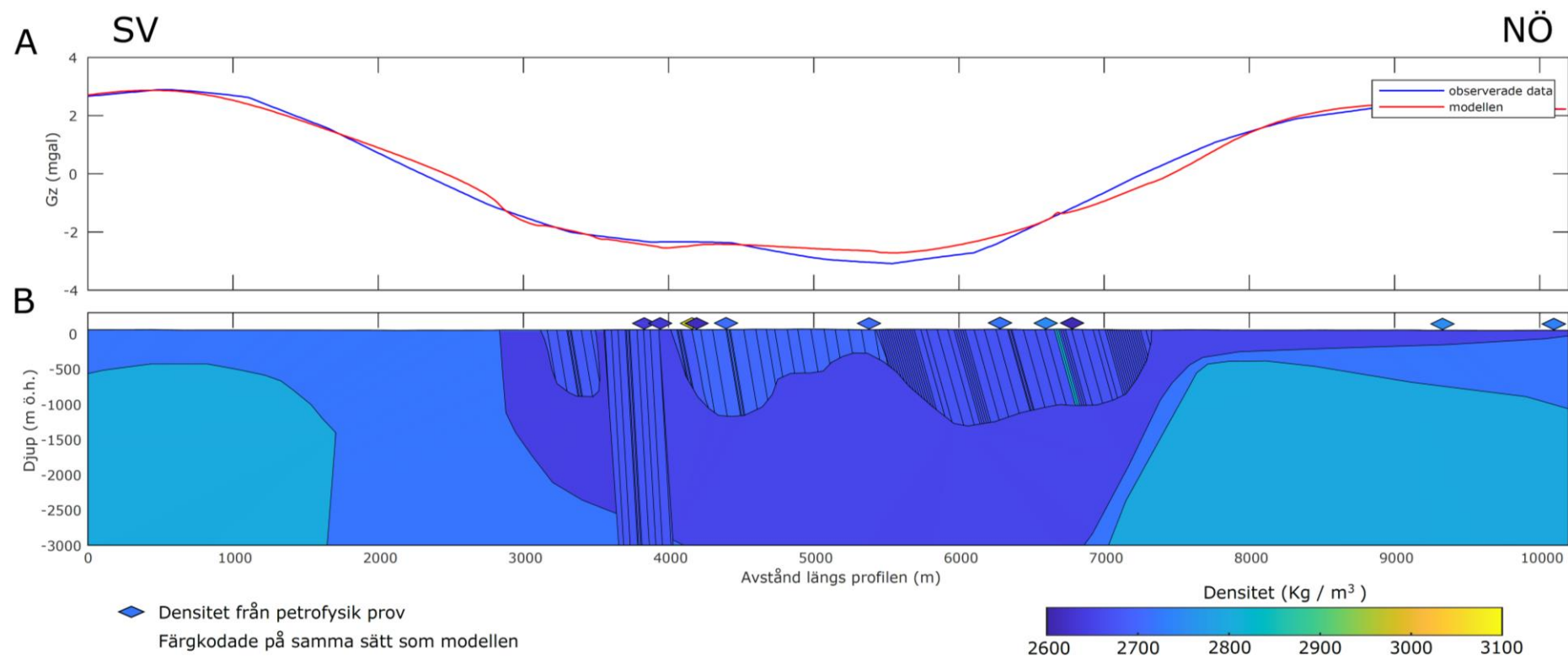


- Metamorf karbonatsten
- Metaryolit - metadacit
- Metagranit
- Metagranodiorit - Metatonalit
- Metamafit, intrusiv
- Mineralisering
- Metagranodiorit - Metatonalit inklusive Metamafitkroppar
- Stupning
- Tolkad rörelse på deformationszon
- Tolkad rörelse på deformationszon vinkelrätt mot profilen
- In i profilen
- Ut ur profilen



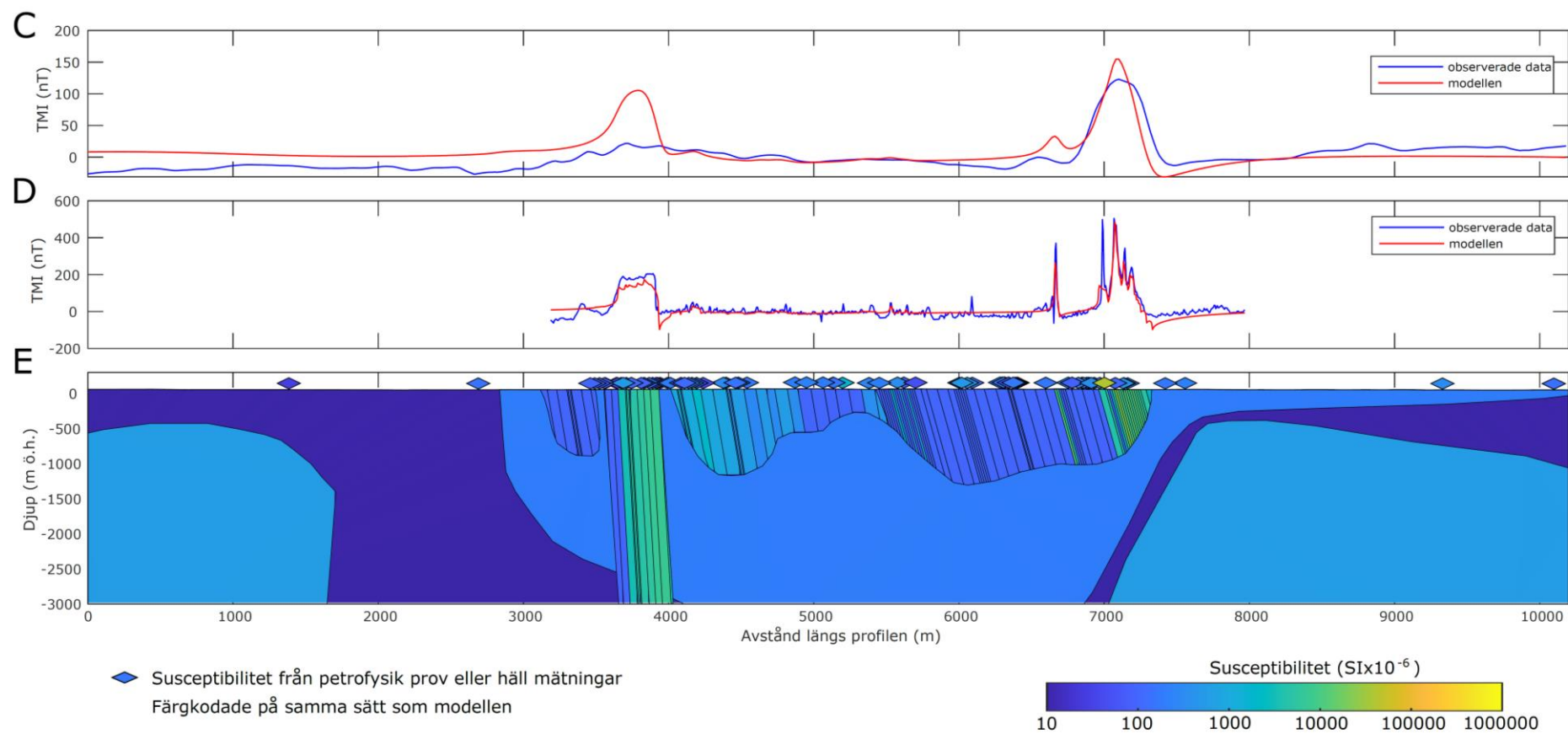
Figur B4. Modell för geofysisk profil 5, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen. **A.** Foto av mineralisering, eventuellt järnoxid (magnetit), som finns vid A längs profilen.

*Model for geophysical profile 5, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile. **A.** Photograph showing mineralisation (iron oxide) found at the location marked with an A along the profile.*



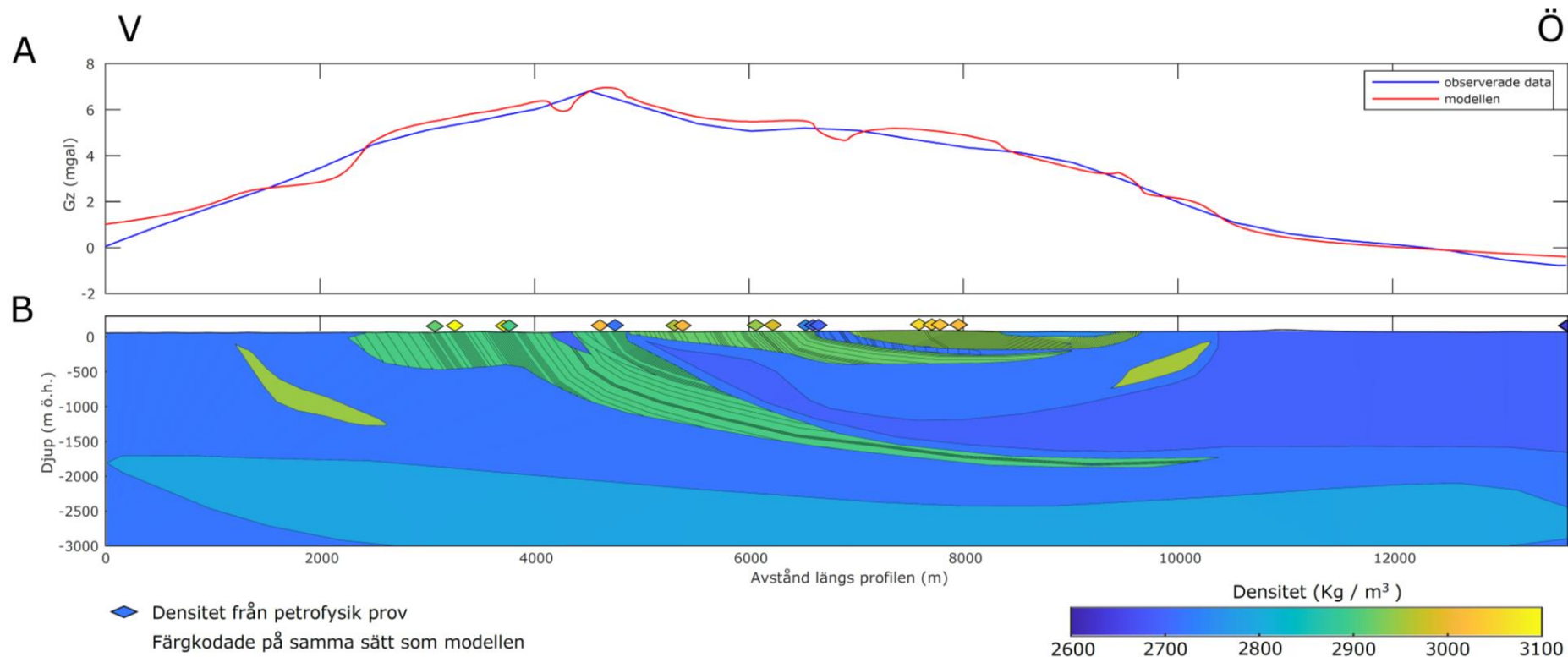
Figur B5. Modeller för geofysisk profil 6. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hållmätningar.

*Models for geophysics profile 6. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



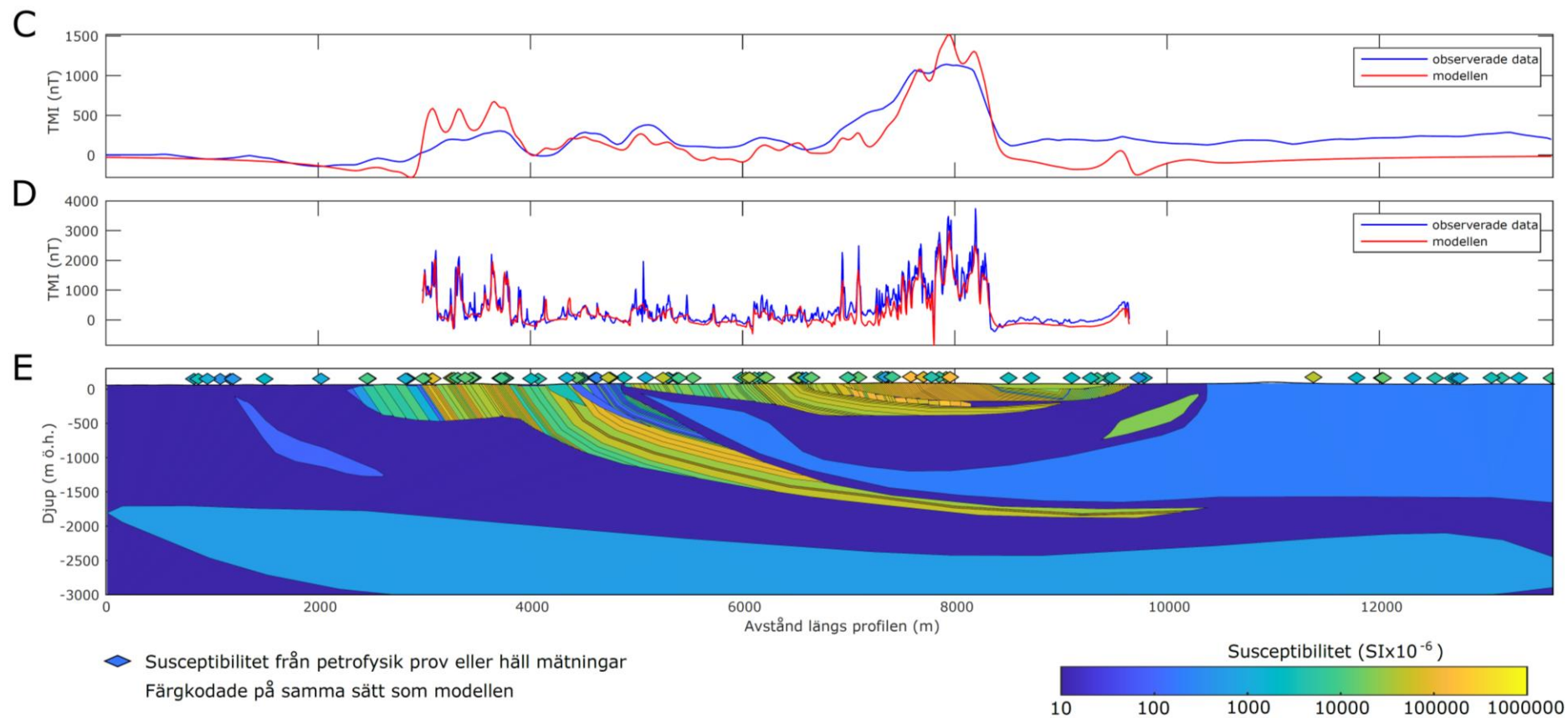
Figur B5. Fortsättning.

Continuation.



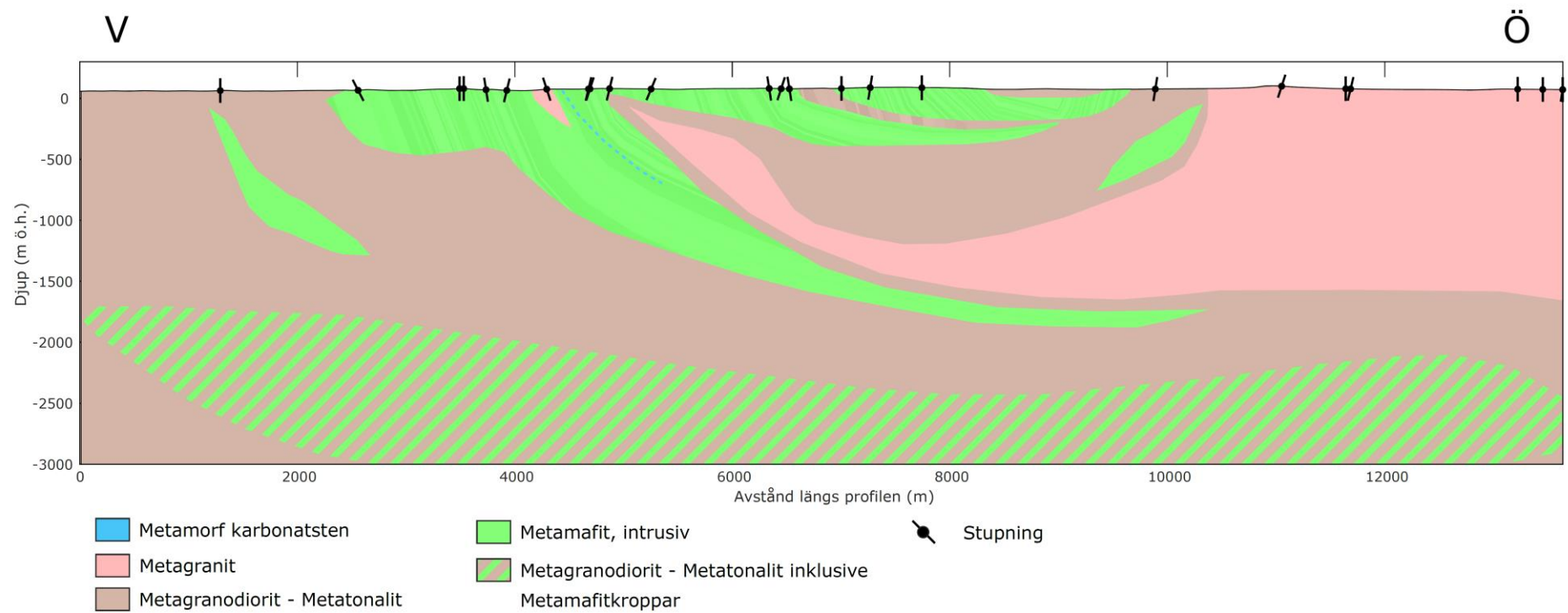
Figur B6. Modeller för geofysisk profil 8. Se figur 16 för geografiskt läge. **A.** Tyngdkraftsdata, både observerade och beräknade från modellen. **B.** Densitetsmodell och densitetsvärden från petrofysikprov. **C.** Flygmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **D.** Markmagnetiska data, både observerade och beräknade från modellen. **E.** Magnetisk susceptibilitetsmodell och susceptibilitetsvärden från petrofysikprov och hållmätningar.

*Models for geophysics profile 8. See figure 16 for profile position. **A.** Gravity data, both observed and calculated from model. **B.** Density model as well as density values from petrophysical samples. **C.** Airborne magnetic data, both observed and calculated from model. **D.** Ground magnetic data, both observed and calculated from model. **E.** Magnetic susceptibility model, as well as susceptibility values from petrophysical samples and outcrop measurements.*



Figur B6. Fortsättning.

Continuation.



Figur B7. Modell för geofysisk profil 8, färgkodad med tolkade bergarter. Stupningen av foliation eller lagring från hällobservationer visas på profilen.
Model for geophysical profile 8, colour-coded by interpreted rock type. The dip of foliation or bedding from outcrop observations is shown on the profile.

BILAGA 2. BERGARTSKEMISKA DATA

Tabell B1. Inom projektet provtagna bergarters kemiska sammansättning (utvalda data, för fullständiga data se SGU:s litogeokemiska databas). Oxider som viktprocent, spårelement som ppm.

Prov	CMR180082A	CMR180093A	CMR180096A	SPN190065A	CMR180095A	CMR180097A
Bergart	Metagråvacka	Metagråvacka	Metagråvacka	Metaandesit	Metaryolit	Metaryolit
N-koord	6652420	6652512	6652092	6634245	6651689	6650404
O-koord	587041	583748	583855	590624	583838	588006
SiO ₂	57,7	74,5	75	58,8	74,5	76,5
TiO ₂	0,99	0,47	0,43	0,84	0,23	0,05
Al ₂ O ₃	15,7	12,75	12,55	16,35	13,6	11,75
Fe ₂ O ₃	9,72	3,46	3,24	8,79	1,89	1,23
CaO	4,68	0,7	0,68	5,07	0,44	0,39
MgO	5,52	0,86	0,74	2,33	0,28	0,66
MnO	0,13	0,01	0,02	0,14	0,03	0,02
Na ₂ O	3,88	1,82	2,25	2,46	1,57	2,1
K ₂ O	0,92	2,84	2,46	2,47	6,22	5,3
P ₂ O ₅	0,1	0,14	0,12	0,19	0,09	
LOI	0,48	1,6	1,49	1,21	1,16	1,15
Total	99,89	99,21	99,04	98,77	100,12	99,17
Ag	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
As	0,4	16	13,3	0,3	1,1	0,3
Au	0,002					
Be	0,1	0,26	0,19	0,22	0,27	1,39
Bi	0,21	0,23	0,25	0,05	0,17	0,12
Ba	321	474	402	809	839	147,5
Cd	0,03	0,04	0,02	0,01	0,06	
Co	10,8	4,8	2,5	17	1,2	0,2
Cr	61	19	18	34	4	7
Cs	5,28	7,71	2,34	14,05	4,06	1,03
Cu		2,2	3	19,4	3,3	0,9
Ga	18,1	15,6	14,6	22,2	19,8	18,1
Ge	0,15	0,14	0,12	0,25	0,06	0,13
Hf	4,5	6,9	6,7	4,7	5,5	4,9
Hg	0,005	0,008	0,006		0,011	
In	0,021	0,011	0,014	0,024	0,015	0,009
Li	14,2	21,3	15,5	17,7	18,5	3,7
Mo	0,45	1,22	1,28	0,21	0,31	0,49
Nb	9,4	11,4	11	11,8	9,4	20,5
Ni	11,3	14,6	11,6	13,8	1,4	0,3
Pb	2,2	5,6	6,4	3,5	7,4	2,9
Rb	37,2	120,5	82,5	118,5	196	198,5
S			0,01	0,05		
Sb		0,06	0,14	0,14	0,07	0,16
Sc	30	8	7	21	6	6
Se				0,5		0,3
Sn	0,3	0,7	0,5	5,2	1,4	0,4
Sr	297	80,9	95,3	226	97,9	13,6
Ta	0,8	0,9	1,1	0,8	1,2	1,6
Te	0,01	0,02	0,01		0,01	
Th	6,28	15,7	14	9,07	14,6	18,35
Tl	0,23	0,33	0,05	0,72	0,11	0,02
U	2,71	4,12	4,06	3,05	6,25	4,92
V	189	47	34	134	9	
W	0,17	0,28	0,15	0,91	0,51	0,21
Y	25	19,9	20,6	25,6	31,6	54,4
Zn	137	51	37	160	31	21
Zr	159	270	229	174	180	106

Tabell B1. Fortsättning.

Prov	CMR190107A	CMR190111A	CMR190115A	CMR190117A	CMR190120A	CMR190133A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit
N-koord	6651383	6649327	6651520	6650930	6652707	6648269
O-koord	587145	588607	583811	584163	588920	585886
SiO ₂	66,8	67,5	67,1	74,5	70,3	76,3
TiO ₂	0,5	0,56	0,66	0,26	0,68	0,14
Al ₂ O ₃	15,85	15,4	14,05	13,7	13,25	12,15
Fe ₂ O ₃	5,77	4,73	6,44	3,05	3,53	2,05
CaO	2,43	2,19	4,03	1,6	2,33	1,69
MgO	2,64	2,24	1,4	0,57	0,58	1,55
MnO	0,06	0,04	0,09	0,05	0,04	0,03
Na ₂ O	2,14	4,32	1,86	2,25	3,6	0,89
K ₂ O	2,76	2,52	1,98	4,04	3,36	3,06
P ₂ O ₅	0,13	0,15	0,17	0,06	0,08	0,03
LOI	2,31	0,89	0,67	1,13	0,49	1,42
Total	101,43	100,64	98,52	101,31	98,32	99,34
Ag	0,01	0,01	0,02		0,01	0,26
As	0,2	0,8	0,2	0,5	2,9	0,3
Au	0,001	0,001	0,003			0,182
Be	0,49	0,2	0,56	0,38	0,11	0,34
Bi	0,02	0,04	0,11	0,08	0,05	1,49
Ba	341	791	487	764	832	272
Cd	0,01	0,01	0,09	0,02	0,01	0,01
Co	10,1	7,9	7,1	2,6	4,3	1,4
Cr	7	7	14	5	13	4
Cs	1,31	2,64	10,3	3,21	2,2	4,74
Cu	2,3	0,6	6,6	0,3	1,2	320
Ga	24,7	21,5	23,1	20,4	21,3	16,9
Ge	0,12	0,17	0,24	0,14	0,11	0,13
Hf	7,8	7,3	5,8	6,2	7	5,9
Hg					0,008	
In	0,011	0,011	0,056	0,007	0,01	0,016
Li	7,4	6	49	3,6	1,7	4,7
Mo	0,28	0,2	0,29	0,31	0,8	0,7
Nb	14,2	13,1	13,4	10,3	16,9	13,3
Ni	2,1	1,9	3,5	0,8	3,9	4,1
Pb	2,4	2,6	3,6	3	2,2	4,8
Rb	94	78,5	90,6	168	123,5	105,5
S	0,01		0,01			0,01
Sb	0,07	0,74	0,06		0,42	0,23
Sc	16	14	20	6	7	6
Se		0,2	0,2	0,3		1,1
Sn	0,6	0,7	1,7	0,3	0,9	0,5
Sr	113	221	215	159	204	69,4
Ta	0,9	0,9	0,9	0,8	1,2	1
Te	0,01	0,01	0,01			0,13
Th	7,74	8,75	6,77	14,55	11,1	13,75
Tl	0,04	0,27	0,45	0,04	0,14	0,17
U	2,63	3	2,55	4,01	2,78	4,08
V	36	59	30	23	61	13
W	0,26	0,12	0,33	0,27	0,16	0,15
Y	29	24,8	27	31,2	22,2	18,7
Zn	46	33	97	26	36	12
Zr	318	301	214	210	280	202

Tabell B1. Fortsättning.

Prov	SPN190135A	SPN190029A	CMR190114A	CMR190132A	CMR190138A	SPN180203A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit, koherent	Felsisk metavulkanit	Metavulkanit, mylonit	Skarn, Banmossen
N-koord	6653741	6631650	6649260	6648281	6651983	6662580
O-koord	592098	589885	589115	586853	589800	598477
SiO ₂	76,4	77,6	68,8	66,3	77,2	65,5
TiO ₂	0,12	0,08	0,31	0,61	0,18	0,07
Al ₂ O ₃	12,5	13	14,5	15,4	11,6	10,8
Fe ₂ O ₃	0,6	1,6	3,75	5,22	1,78	1,45
CaO	0,06	0,93	1,98	5,6	0,71	16,4
MgO	4,19	0,12	1,69	1,39	1,35	1,07
MnO	0,01	0,04	0,07	0,17	0,04	0,08
Na ₂ O	0,26	3,02	2,66	1,23	5,01	1,98
K ₂ O	2,97	4,71	2,71	3,39	0,41	3,59
P ₂ O ₅	0,02	0,03	0,08	0,16	0,03	
LOI	2,94	0,58	1,42	1,14	1,02	0,65
Total	100,1	101,84	98,02	100,64	99,35	101,64
Ag		0,01	0,01	0,01	0,03	
As	0,1	1,9	0,4	0,8	0,1	0,5
Au			0,001		0,002	
Be	0,4	0,23	0,26	0,68	0,47	0,76
Bi	0,02	0,07	0,04	0,12	0,01	0,06
Ba	209	1050	392	192,5	111	424
Cd		0,02		0,01		0,05
Co	0,2	0,3	2,6	6,2	1,3	0,6
Cr	3	4	3	8	11	3
Cs	0,88	3,41	2,41	7,16	0,24	0,4
Cu	0,7	6,3	0,5	3,9	1,5	3,7
Ga	21,8	18,8	20,3	25,3	12,3	12,4
Ge	0,08	0,08	0,13	0,15	0,18	0,07
Hf	6	4,2	5	7,3	5,2	3,6
Hg	0,005		0,007			
In		0,012	0,015	0,053	0,039	0,006
Li	2,4	3,6	5,8	11,7	3,6	0,3
Mo	0,12	5,25	1,16	1,14	0,74	1,77
Nb	14,7	9	12	15,9	10,9	11,6
Ni	0,2	0,2	0,7	5,2	2,2	6
Pb	2	5,4	2,8	4,2	2,7	3,4
Rb	65,5	187,5	94,6	119	17,4	96
S		0,02	0,01	0,01		0,01
Sb		0,1	0,22	0,88	0,08	0,18
Sc	9	8	7	13	7	5
Se			0,2	0,2		
Sn	0,2	1,2	0,3	0,4	2,3	1,2
Sr	7,9	171,5	85,5	69,6	78	99,3
Ta	1,1	0,9	0,8	1,2	0,7	1,1
Te	0,01	0,01		0,01		0,01
Th	15,4	13,25	10,35	10,05	9,15	10,5
Tl		0,1	0,24	0,31		
U	3,83	4,03	3,73	3,45	2,5	3
V	7	5	23	75	8	
W	0,13	2,46	0,1	0,07	0,15	0,17
Y	33,5	18,3	23,6	25,7	32,1	30,8
Zn	6	16	26	29	30	30
Zr	186	123	184	292	182	101

Tabell B1. Fortsättning.

Prov	SPN180254A	SPN180267A	SPN190111A	SPN180193A	SPN180280B	SPN180237A	SPN180239A
Bergart	Metagabbro	Metagabbro	Basisk bergart	Metagabbro, mineraliserad	Metagabbro, mineraliserad	Metadiorit- gabbro	Metatonalit- granodiorit
N-koord	6662402	6662418	6652670	6662752	6662678	6662599	6662595
O-koord	601570	601765	592631	597283	599076	600058	600524
SiO ₂	43,9	46,5	49,7	34,8	32,3	51,9	64,6
TiO ₂	1,67	0,72	1,13	0,35	0,43	0,87	0,85
Al ₂ O ₃	16,5	16,3	16,15	8,4	10,9	16,15	14,6
Fe ₂ O ₃	16,25	10,05	10,3	27,1	36,8	11,1	7,06
CaO	12,25	14,45	9,58	6,07	9,9	10,1	4,42
MgO	6,52	9,64	6	15,9	6,61	6,59	2,08
MnO	0,26	0,17	0,23	0,14	0,15	0,18	0,11
Na ₂ O	1,24	0,98	2,56	0,32	0,18	1,7	2,99
K ₂ O	0,18	0,59	1,8	0,48	0,21	0,91	0,93
P ₂ O ₅	0,27	0,04	0,25	0,01	0,04	0,17	0,23
LOI	0,82	1,58	1,83	5,35	3	1,14	1,65
Total	99,92	101,1	99,6	99,22	100,69	100,88	99,61
Ag	0,01	0,02	0,01	0,51	0,01	0,02	0,02
As	0,2	0,3	30	1	5,2	0,9	0,4
Au			0,001	0,009	0,002		0,002
Be	0,32	0,09	0,19		1,19	0,28	0,3
Bi	0,02	0,02	0,09	0,37	0,14	0,03	0,02
Ba	90,4	110,5	183,5	105	955	303	533
Cd	0,02	0,03	0,01	0,06	0,01	0,03	0,05
Co	22,7	15,4	19,9	413	61,8	19,4	9,3
Cr	6	53	33	394	21	7	7
Cs	0,41	0,9	3,42	0,58	0,19	0,83	0,95
Cu	27,1	53,5	33,5	1970	1,2	37	6,8
Ga	21,1	14,3	18,3	8,2	16,9	17,5	18,8
Ge	0,19	0,06	0,09	0,27	0,71	0,13	0,16
Hf	0,7	0,5	2,7	0,5	1,6	2,4	7,2
Hg			0,006	0,006		0,006	
In	0,011	0,006	0,008	0,009	0,014	0,009	0,026
Li	1,8	2,9	19,1	13,4	7,5	4	11
Mo	0,45	0,29	0,34	0,6	1,84	0,59	0,65
Nb	3,3	1,1	6,1	1	2,3	4,5	10,3
Ni	8,3	29,6	16,2	4550	19,5	19,3	3
Pb	0,9	0,9	4,1	1,1	1,2	2	2,2
Rb	5,2	13	107,5	16	1,6	23,9	26,1
S	0,23	0,16	0,09	5,7	1,02	0,16	0,03
Sb	0,06	0,07	0,31	0,05	1,12	0,1	
Sc	46	54	33	21	35	36	15
Se	0,2	0,4	0,6	13,7	0,8		
Sn			0,2		0,6	0,2	0,4
Sr	387	338	364	164,5	354	289	307
Ta	0,1		0,3		0,1	0,3	0,5
Te			0,04	0,49	0,03	0,02	
Th	0,53	0,59	2,44	0,43	1,37	2,86	4,41
Tl	0,02		0,1	0,26		0,08	0,05
U	0,2	0,29	0,83	0,19	1,77	1,1	1,38
V	419	301	229	125	149	285	65
W	0,08	0,17	0,35	0,06	0,41	0,25	0,21
Y	12,8	10	16,6	4,3	18,2	18	25
Zn	115	56	88	202	71	75	72
Zr	24	22	101	17	47	94	322

Tabell B1. Fortsättning.

Prov	SPN180256B	SPN180262A	SPN190085A	SPN190024A	SPN180242A	SPN190001A
Bergart	Metadiorit-gabbro	Metatonalit-granodiorit	Metatonalit	Metatonalit	Metagranodiorit	Metagranodiorit
N-koord	6662347	6662604	6641377	6632087	6662622	6631364
O-koord	601935	598742	578257	589775	600646	589904
SiO ₂	46,8	69	58,3	67,7	69,8	72
TiO ₂	1,45	0,6	1,11	0,51	0,49	0,33
Al ₂ O ₃	17,05	14	16,15	14,75	13,55	13,8
Fe ₂ O ₃	15,9	4,85	9,54	5,01	4,21	2,35
CaO	9,05	3,41	4,63	3,04	2,83	2,33
MgO	5,87	1,29	2,53	1,21	1,05	0,61
MnO	0,25	0,05	0,12	0,08	0,07	0,02
Na ₂ O	2,19	2,57	1,8	2,83	2,67	2,97
K ₂ O	0,37	3,2	2,58	3,31	3,31	3,5
P ₂ O ₅	0,51	0,14	0,3	0,15	0,12	0,08
LOI	0,32	0,74	1,09	1,61	1,1	0,63
Total	99,81	100,07	98,24	100,32	99,44	98,73
Ag	0,02	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01
As	0,4	0,3	4,5	0,6	0,2	1
Au			0,002			
Be	0,31	0,18	0,39	0,24	0,37	0,19
Bi	0,02	0,01	0,24	0,05	0,02	0,34
Ba	189,5	1575	457	715	1860	781
Cd	0,03	0,02	0,05	0,01		0,02
Co	18,7	7,5	14	6,6	4,9	2,3
Cr	17	8	42	14	5	8
Cs	0,43	1,19	8,29	2,49	0,56	6,77
Cu	22,8	11,3	17,9	3,4	2,5	2,8
Ga	22,3	15,7	21,7	20,3	17	18,6
Ge	0,18	0,15	0,2	0,21	0,19	0,18
Hf	1	6,2	5,9	5,5	6	5,3
Hg		0,005			0,007	
In	0,011	0,005	0,051	0,042	0,026	0,011
Li	2,1	11,9	38,6	8,6	5	15,1
Mo	0,48	0,54	1,49	1,08	1	0,78
Nb	2,8	8,6	14,6	10,9	10,3	9,6
Ni	8,2	2,9	15,7	3,3	2,4	2,2
Pb	0,9	3,2	4,8	4	3	3,9
Rb	9,7	84,1	111	114	68,1	126
S	0,18	0,03	0,1	0,02	0,01	
Sb	0,09				0,07	
Sc	33	10	23	16	11	9
Se	0,2		0,3	0,3	0,2	0,2
Sn		0,6	2	1,7	0,8	2
Sr	405	283	383	313	218	233
Ta	0,2	0,7	1	0,8	0,7	0,8
Te	0,01		0,01	0,01	0,01	0,01
Th	0,9	9,3	8,33	11,4	5,1	12,3
Tl	0,04	0,28	0,54	0,16	0,05	0,38
U	0,38	2,36	2,16	3,34	1,58	2,47
V	310	57	142	59	32	29
W	0,08	0,15	0,5	0,58	0,21	0,94
Y	17,7	23,8	23,5	27,2	26,9	31,1
Zn	130	34	122	45	42	24
Zr	46	272	247	205	233	186

Tabell B1. Fortsättning.

Prov	SPN190006A	SPN180260B	SPN180263A	SPN180261A
Bergart	Metagranodiorit	Metagranitoid	Mafisk inneslutning	Mafisk inneslutning
N-koord	6631171	6662591	6662605	6662609
O-koord	590049	598623	598726	598667
SiO ₂	72,6	73,1	59,9	63,2
TiO ₂	0,23	0,12	0,47	0,4
Al ₂ O ₃	13,85	14,7	17,75	16,65
Fe ₂ O ₃	2,18	1,82	8,64	7,65
CaO	2,1	3,51	5,49	4,88
MgO	0,44	0,5	1,5	0,92
MnO	0,06	0,01	0,17	0,21
Na ₂ O	4,01	3,15	3,36	3,64
K ₂ O	2,05	2	1,91	0,92
P ₂ O ₅	0,06	0,04	0,4	0,18
LOI	0,75	1,21	0,81	0,72
Total	98,42	100,33	100,55	99,49
Ag	0,01	0,05	0,01	0,01
As	1,4	0,5	0,3	0,3
Au			0,001	
Be	0,2	0,2	0,22	0,17
Bi	0,02	0,04	0,01	0,01
Ba	595	1080	923	571
Cd	0,01	0,07	0,03	0,04
Co	1,4	11,3	9,3	4,6
Cr	5	8	3	3
Cs	3,55	0,56	2,48	0,63
Cu	1,1	146,5	9	4,3
Ga	20,1	12,3	20,1	19,4
Ge	0,12	0,05	0,22	0,18
Hf	5,6	3	4,5	3,8
Hg			0,005	
In	0,018		0,024	0,053
Li	10,6	4,8	13,4	7,2
Mo	2,28	1,05	0,38	0,47
Nb	8,8	1,3	7,5	6,7
Ni	0,7	10,9	1,3	1,3
Pb	4,7	5,3	3,1	1,6
Rb	80,8	43,2	86,1	26,1
S		0,27	0,04	0,01
Sb		0,08		
Sc	8	1	5	9
Se		0,6	0,4	0,3
Sn	1		0,8	0,8
Sr	236	475	527	554
Ta	0,7	0,2	0,3	0,3
Te		0,01		0,01
Th	14,1	4,03	9,52	2,1
Tl	0,13	0,05	0,49	0,1
U	3,19	0,86	3,71	0,96
V	13	17	12	
W	0,42	0,14	0,16	0,09
Y	27,9	4	20,6	19,7
Zn	22	9	97	100
Zr	186	123	193	175

BILAGA 3. HALTER AV SÄLLSYNTA JORDARTSMETALLER

Tabell B2. Inom projektet provtagna bergarters halter (i ppm) av sällsynta jordartsmetaller (REE).

Prov	CMR180082A	CMR180093A	CMR180096A	SPN190065A	CMR180095A	CMR180097A
Bergart	Metagråvacka	Metagråvacka	Metagråvacka	Metaandesit	Metaryolit	Metaryolit
La	25,8	42,6	39,3	36,5	15,4	25,8
Ce	46,4	76,9	81,4	71,8	41,9	58,6
Pr	6,71	11,05	9,34	8,59	4,64	8,37
Nd	26,3	41,2	33,9	33,1	17,1	34,3
Sm	5,34	7,99	6,36	6,39	4,4	9,37
Eu	1,45	1,25	1,16	1,69	0,6	0,29
Gd	4,8	5,87	5,49	5,58	4,53	9,05
Tb	0,73	0,8	0,77	0,82	0,91	1,43
Dy	4,45	3,98	4,33	4,26	6,59	9,09
Ho	0,95	0,77	0,78	0,88	1,22	1,9
Er	2,71	2,02	2,2	2,72	3,54	5,31
Tm	0,36	0,27	0,31	0,39	0,53	0,84
Yb	2,7	2,04	2,09	2,78	3,65	4,8
Lu	0,37	0,29	0,32	0,33	0,49	0,68

Tabell B2. Fortsättning.

Prov	CMR190107A	CMR190111A	CMR190115A	CMR190117A	CMR190120A	CMR190133A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit
La	35,5	38,5	32,6	47,8	33,7	53,2
Ce	68,6	73,5	62,9	88,2	68,6	110,5
Pr	8,45	9,08	8,29	10,4	7,92	13,1
Nd	33,6	35,5	33,9	37,5	28,3	49
Sm	6,89	7,06	6,76	7,25	5,41	8,46
Eu	2,31	1,75	2,05	1,5	1,78	1,8
Gd	6,1	5,69	6,27	6,51	4,61	5,82
Tb	0,88	0,76	0,97	1,01	0,73	0,81
Dy	5	4,49	5,03	5,69	3,74	4,43
Ho	1,02	0,87	1,1	1,14	0,87	0,85
Er	2,84	2,36	2,85	3,06	2,51	2,41
Tm	0,45	0,35	0,42	0,5	0,37	0,4
Yb	2,86	2,33	2,93	3,07	2,52	2,64
Lu	0,47	0,35	0,36	0,45	0,4	0,4

Tabell B2. Fortsättning.

Prov	SPN190135A	SPN190029A	CMR190114A	CMR190132A	CMR190138A	SPN180203A
Bergart	Metaryolit	Metaryolit	Metaryolit, koherent	Felsisk metavulkanit	Metavulkanit, mylonit	Skarn, Banmossen
La	44,9	15,3	37,1	41,2	46,8	13,7
Ce	99	33,2	71,5	79,8	98	37,2
Pr	12,3	3,94	8,58	9,82	11,25	5,34
Nd	45,7	14,4	32,6	37,4	42,3	21,4
Sm	8,77	2,87	5,73	6,91	8,43	5,76
Eu	0,66	0,67	1,67	2,05	1,62	0,34
Gd	6,58	2,77	5,24	5,94	6,43	5,94
Tb	0,99	0,48	0,73	0,86	0,94	0,99
Dy	5,83	2,98	4,24	4,65	6,03	5,9
Ho	1,19	0,66	0,88	0,98	1,13	1,13
Er	3,71	2,26	2,38	2,46	2,9	3,4
Tm	0,58	0,36	0,4	0,4	0,44	0,53
Yb	3,84	2,37	2,36	2,66	2,85	3,21
Lu	0,6	0,34	0,35	0,39	0,41	0,52

Tabell B2. Fortsättning.

Prov	SPN180254A	SPN180267A	SPN190111A	SPN180193A	SPN180280B	SPN180237A
Bergart	Metagabbro	Metagabbro	Basisk bergart	Metagabbro, mineraliserad	Metagabbro, mineraliserad	Metadiorit- gabbro
La	7,4	3,2	14,8	3,1	13,9	13,6
Ce	17,8	8,3	30,6	5,9	25,6	29,4
Pr	2,59	1,24	3,94	0,85	3,36	3,89
Nd	12,6	6	16,3	3,8	13,3	16
Sm	2,99	1,61	3,27	1,01	3,13	3,74
Eu	1,4	0,74	1,23	0,28	0,93	1,34
Gd	2,83	1,96	3,35	0,91	2,87	3,6
Tb	0,39	0,29	0,5	0,13	0,51	0,53
Dy	2,62	1,89	2,9	0,84	3,24	3,41
Ho	0,54	0,39	0,59	0,19	0,65	0,68
Er	1,46	1,13	1,58	0,49	1,62	2,11
Tm	0,19	0,13	0,28	0,06	0,23	0,29
Yb	1,23	0,91	1,6	0,45	1,51	1,77
Lu	0,19	0,13	0,29	0,04	0,23	0,24

Tabell B2. Fortsättning.

Prov	SPN180239A	SPN180256B	SPN180262A	SPN190085A	SPN190024A	SPN180242A
Bergart	Metatonalit-granodiorit	Metadiorit-gabbro	Metatonalit-granodiorit	Metatonalit	Metatonalit	Metagranodiorit
La	32,1	14,9	36,3	22,9	38,5	25,4
Ce	65,2	33,4	71,2	47,7	76,3	49,9
Pr	8,03	4,43	8,23	5,93	9,33	6,36
Nd	32,8	19,4	32,8	23,7	35,4	25,3
Sm	6,64	4,41	6,35	4,59	6,57	5,45
Eu	2,43	2,13	1,56	1,57	1,47	2,19
Gd	5,97	4,09	5,72	4,05	5,68	5,23
Tb	0,94	0,56	0,82	0,64	0,86	0,76
Dy	4,99	3,52	4,85	3,84	4,57	5,17
Ho	1,05	0,64	0,9	0,87	0,96	1,01
Er	2,73	1,98	2,49	2,62	2,89	3,23
Tm	0,43	0,26	0,38	0,38	0,41	0,41
Yb	2,49	1,62	2,34	2,62	2,7	2,73
Lu	0,34	0,24	0,28	0,39	0,41	0,41

Tabell B2. Fortsättning.

Prov	SPN190001A	SPN190006A	SPN180260B	SPN180263A	SPN180261A	SPN190001A
Bergart	Metagranodiorit	Metagranodiorit	Metagranitoid	Mafisk inneslutning	Mafisk inneslutning	Metagranodiorit
La	45,9	34,2	25,3	31,5	22,6	45,9
Ce	87,6	67,7	43,5	66,2	48,2	87,6
Pr	10,25	7,71	4,36	8,06	6,1	10,25
Nd	37,7	27,1	14	31,3	23,5	37,7
Sm	6,56	4,94	1,84	6,11	4,87	6,56
Eu	1,21	1,06	0,52	1,88	2,2	1,21
Gd	5,55	4,14	1,26	4,56	4,44	5,55
Tb	0,87	0,73	0,14	0,63	0,6	0,87
Dy	4,92	4,49	0,69	3,95	4,1	4,92
Ho	1,02	0,96	0,18	0,77	0,75	1,02
Er	3,03	2,94	0,39	2,14	2,22	3,03
Tm	0,49	0,45	0,05	0,33	0,28	0,49
Yb	2,96	3,24	0,44	2,17	2,34	2,96
Lu	0,46	0,45	0,1	0,36	0,37	0,46