

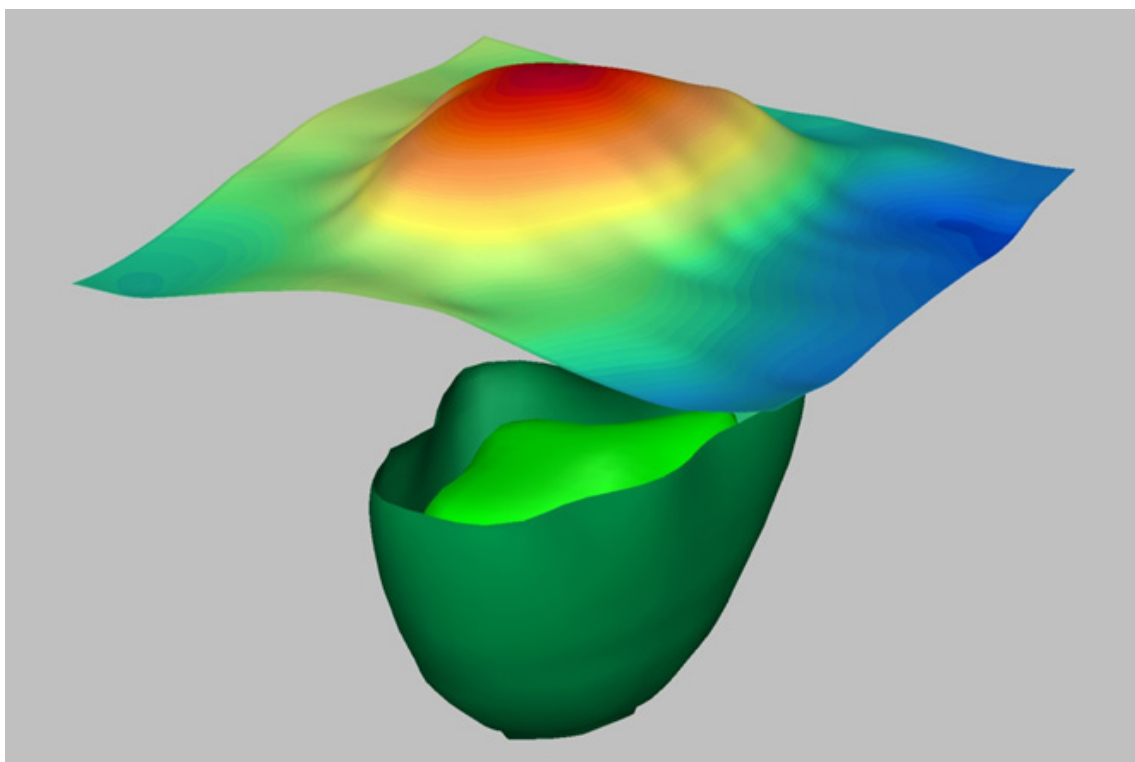


# 3D-modell av Gunnarsträskgabbbron

Ildikó Antal Lundin, Martiya Sadeghi  
& Mehrdad Bastani

september 2013

SGU-rapport 2013:16



**SGU**

Sveriges geologiska undersökning  
Geological Survey of Sweden

Sveriges geologiska undersökning  
Box 670, 751 28 Uppsala  
tel: 018-179000  
fax: 018-179210  
e-post: [sgu@sgu.se](mailto:sgu@sgu.se)  
[www.sgu.se](http://www.sgu.se)

## INNEHÅLL

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>4</b>
<b>Gunnarsträskgabbbron</b> .....	<b>5</b>
<b>Områdets berggrund</b> .....	<b>5</b>
<b>Geofysiska data</b> .....	<b>6</b>
<b>Petrofysisk analys</b> .....	<b>7</b>
<b>Modellering av magnet- och tyngdkraftsdata</b> .....	<b>10</b>
Forward-modell av magnet- och tyngdkraftsfältet .....	10
3D-inversion .....	10
Inversionsmodell av tyngdkraftsfältet .....	12
Inversionsmodell av magnetfältet .....	14
<b>Geofysisk modell över Gunnarsträskgabbbron med omgivning</b> .....	<b>16</b>
<b>Slutsatser</b> .....	<b>17</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>18</b>
<b>Termer</b> .....	<b>19</b>

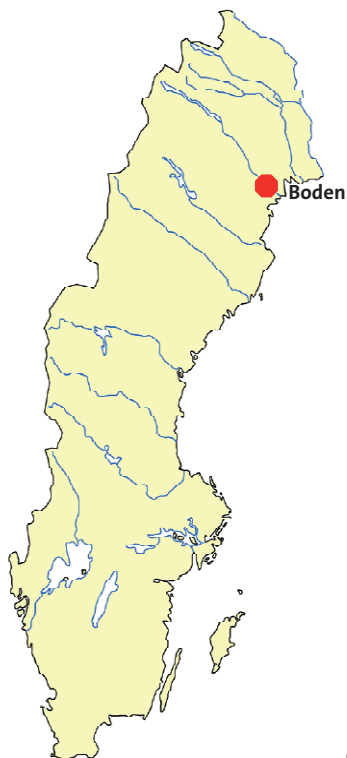
## SAMMANFATTNING

Utredningen ”Strategi för införande av 3D-4D inom delar av SGUs verksamhet” 2010 har under 2011 resulterat i att två konkreta projekt har startats inom avdelningen Mineralresurser, med syftet att i möjligaste mån visualisera berggrunden i tre dimensioner. De två projekten är 3D modellering av Gunnarsträskgabbron och Falunprojektet. Denna rapport är en redovisning av det geofysiska arbetet inom projektet ”Basiska intrusioner i Norrbotten, 3D” och rör den tredimensionella modelleringen av Gunnarsträskgabbron i Norrbotten, ca 30 km nordnordost om Boden (fig. 1). Gabbron har tidigare varit föremål för PGE-prospektering (Filén 1987, 1990).

Den senaste tidens utveckling inom bearbetning av geofysiska data och datorkraft har lett till att 3D-modellering och tolkning spelar en viktig roll inom mineralprospektering och geologisk kartering (Li & Oldenburg 1996, 1998, Malehmir m.fl. 2009). Olika geofysiska metoder kan användas för att bestämma geometrin och de fysikaliska egenskaperna hos olika geologiska strukturer.

Sammanställning av existerande geofysisk information, såsom magnetfält, tyngdkraftsfält och petrofysiska data gjordes våren 2011. Befintlig berggrundsgeologisk information togs fram och kompletterande tyngdkraftsmätningar utfördes sommaren 2011 över gabbron i syfte att föräta tyngdkraftsinformationen inför geofysisk modellering (Aaro m.fl. 2012). Mätningarna utfördes inom projektet ”Tyngdkraftsmätningar 2009–2012”. Berggrundskartering över området gjordes sommaren 2011 och en preliminär berggrundskarta har tagits fram.

Geofysisk modellering av gabbron utfördes under hösten och vårvintern 2011–2012. Programmet Encom Model Vision användes för både forward- och inversmodellering. Vi etablerade ett samarbete med Uppsala universitet för att förbättra tolkningsmetodiken och kunna



Figur 1. Undersökningsområdet nära Boden.

integrera olika dataset i inversmodelleringen. Förutom själva gabbbron, modellerades även andra magnetiska anomalier i omgivningen.

## **GUNNARSTRÄSKGABBRON**

Gunnarsträskgabbbron har studerats tidigare i samband med PGE-prospekteringen av Filén åren 1987 och 1990. Filéns studier från 1987 visar att gabbbron är en lagrad basisk intrusion. Gunnarsträskgabbrons petrofysiska egenskaper, liksom magnet- och tyngdkraftsfältet som gabbbron ger upphov till, analyserades av Arkko (1986) och Lundmark (1992). Tolkning av magnet- och tyngdkraftsfält längs en profillinje gjordes av Arkko (1986).

## **OMRÅDETS BERGGRUND**

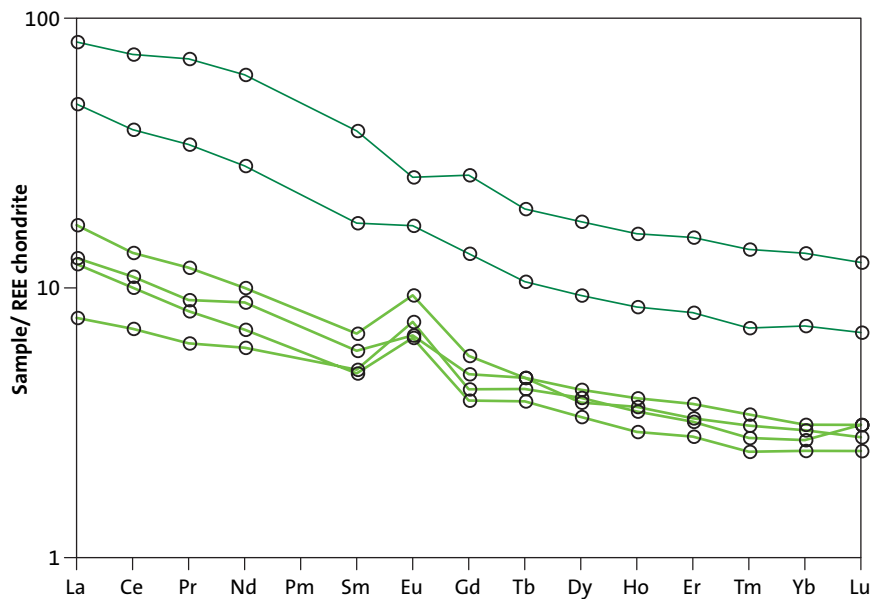
Berggrunden i området består främst av paleoproterozoiska djupbergarter samt av olika bergarter med sedimentärt eller vulkaniskt ursprung. Områdets geologi beskrevs bl.a. av Mellqvist (1999) och Kathol m.fl. (2012).

De äldsta bergarterna inom området är av sedimentära och vulkaniska ursprung. Vulkaniterna utgörs huvudsakligen av plagioklasporfyriska basalter till andesiter samt en del subvulkaniter med liknande sammansättning. Subvulkaniska bergarter dominerar i nordvästra delen av området. De sedimentära bergarterna består huvudsakligen av gråvackor och areniter som är starkt migmatiserade på många ställen och kan tillhöra Råneågruppen. Råneågruppen består av partiellt migmatiserade gråvackor samt peliter vilka i huvudsak är metamorfa och deformerade. Tidigsvekokarelska intrusiva bergarter är relativt vanliga i stora delar av området och har en ålder på ca 1,91–1,86 miljarder år. De intrusiva bergarterna består av kalkalkalina granodioriter till kvartsdioriter och alkalirika, grå till rödgrå, lokalt gnejsiga eller ögonförande graniter, kvartsmonzoniter till monzoniter tillhörande pertitmonzonitsviten (PMS). De är ca 1,89–1,86 miljarder år gamla. De förstnämnda bergarterna är relativt rika på mörka mineral och är enklavförande till skillnad från bergarterna tillhörande PMS.

Sen- till postsvekokarelska, 1,83–1,75 miljarder år gamla intrusiva bergarter finns i området och de hör till Linasviten och Edeforssviten. Linasviten består av röda till gråröda pegmatitgraniter och lokalt finkorniga aplitgraniter vilka ger ett subvulkaniskt intryck. Edeforssviten utgörs vanligen av massformiga, medel till grovkorniga graniter till syeniter. Mafiska led i Edeforssviten är vanliga och uppträder som fint medelkorniga till medel- och grovkorniga dioriter och gabbror. Gabbrointrusionen i Notträskområdet i de centrala delarna av kartområdet 25L Boden har daterats till 1,79 miljarder år (Kathol m.fl. 2011).

Ett flertal deformationsfaser och metamorfos har påverkat berggrunden i norra Sverige (Hölttä m.fl. 2007). Metamorfosens intensitet i norra Sverige varierar från grönskifferfacies till granulitfacies, men inom området varierar den från grönskifferfacies till amfibolitfacies. Två stora, duktila skjuvzoner uppträder i området, en med nordnordostlig (Karesuando–Arjeplog-deformationszonen) och en med nordnordvästlig riktning (Nautanen-deformationszonen). Enligt våra fältobservationer är den nordnordvästligt strykande skjuvzonen yngre än Linasviten.

Gabbrointrusionen som är föremålet för 3D-modelleringen ligger vid sjön Gunnarsdjupträsk. Under berggrundskarteringen har sex stuffer från Gunnarsträskgabbbron samt från andra gabbroider och dioriter i området söder om själva gabbbron tagits för litogekemisk



Figur 2. REE-distribution över Gunnarsträskgabbbron och andra gabbroider och dioriter i omgivningen. Ljusgrön = Gunnarsträskgabbbron, mörkgrönt = andra gabbroider och dioriter.

analys. Preliminära resultat från tolkningen av litogeokemi visar att bergarternas sammansättning varierar från gabbroider till dioriter baserat på Middlemost (1985). Fördelningen av spårelement och sällsynta jordartsmetaller (REE) i de mafiska bergarterna visar tydliga skillnader mellan själva gabbrointrusionen och andra mafiska led i området (fig. 2). Isotopanalys av Sm-Nd-systemet visar en tydlig skillnad mellan Gunnarsträskgabbbron och Nottträskgabbbron (Sadeghi m.fl., opublicerat). Denna skillnad tillsammans med litogeokemiska observationer pekar på att Gunnarsträskgabbbron inte kan tillhöra Edeforssviten. Det finns även skillnader i tektonisk miljö mellan Gunnarsträskgabbbron och andra mafiska led i området.

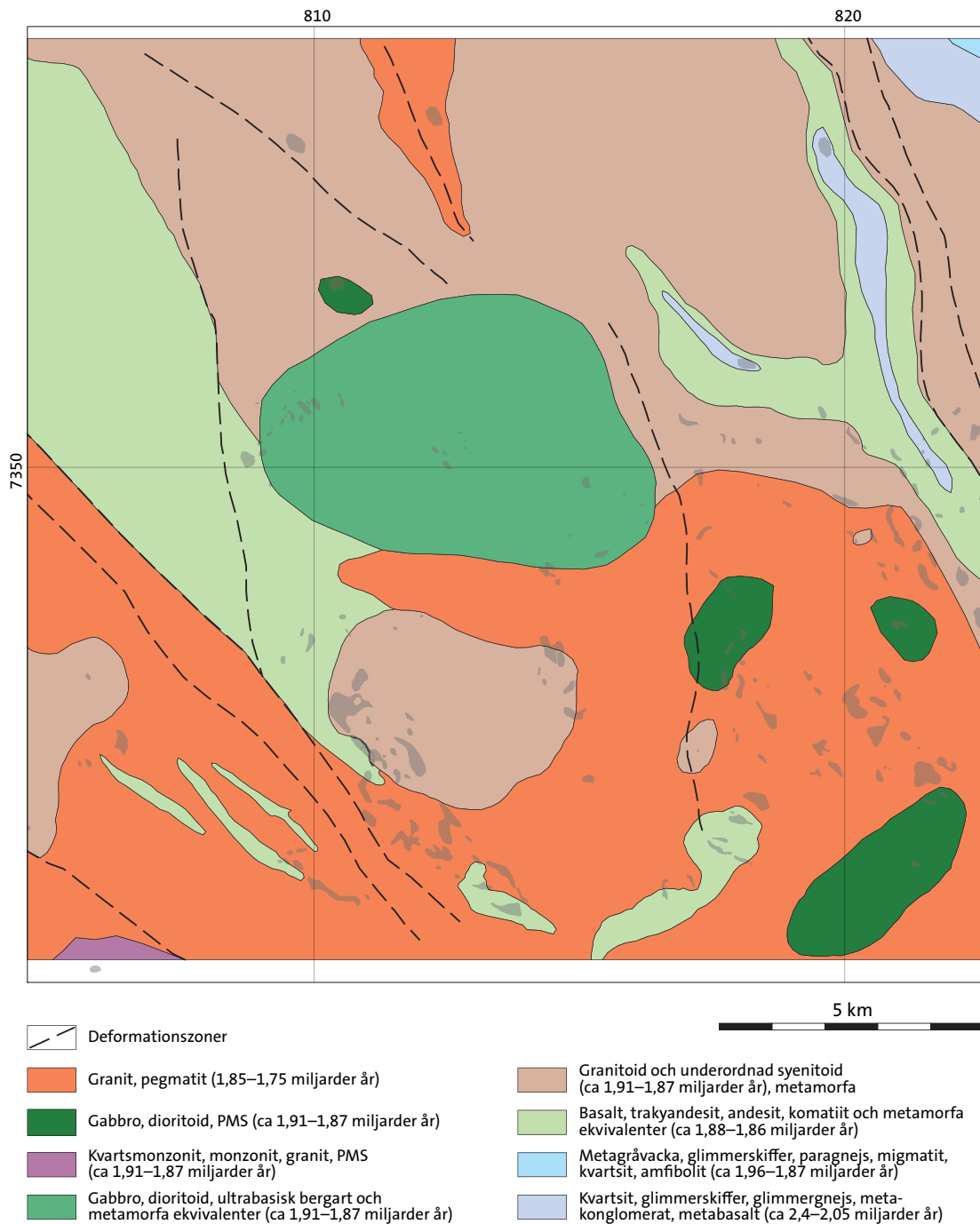
Preliminär tolkning av data från Gunnarsträskgabbbron baserad på pågående karteringsprojekt antyder att gabbbron tillhör Haparandasviten och att andra gabbroider och dioriter i området tillhör Pertitmonzonitsviten. En preliminär berggrundskarta har tagits fram och visas i figur 3.

## GEOFYSISKA DATA

Magnetfältet över området mättes av SGU från flygplan i flera omgångar, först mellan 1969 och 1970 från ca 30 m höjd, sedan 2009–2010 från ca 60 m höjd. Båda gångerna mättes i öst–västlig riktning och med 200 m linjeavstånd.

Gunnarsträskgabbbron ger upphov till en cirkulär, positiv magnetisk anomali på ca  $7,5 \times 5$  km (fig. 4A). Den magnetiska anomalikartan visar tydligt en koncentrisk bandning som tolkas vara lagring. Anomalin är i storleksordningen max 4 000 nT. Regionala tyngdkraftsmätningar över området utfördes under åren 1970, 1975 och 1980. Kompletterande mätningar utfördes 2011 av Aaro m.fl. i syfte att få bättre upplösning i tyngdkraftsdata. Totalt har 197 punkter mätts längs farbara vägar. Bougueranomaliens storlek är ca 13 mGal och utbredningen efter de kompletterade mätningarna visar en mycket god överensstämmelse med den magnetiska anomalins utbredning (fig. 4B).

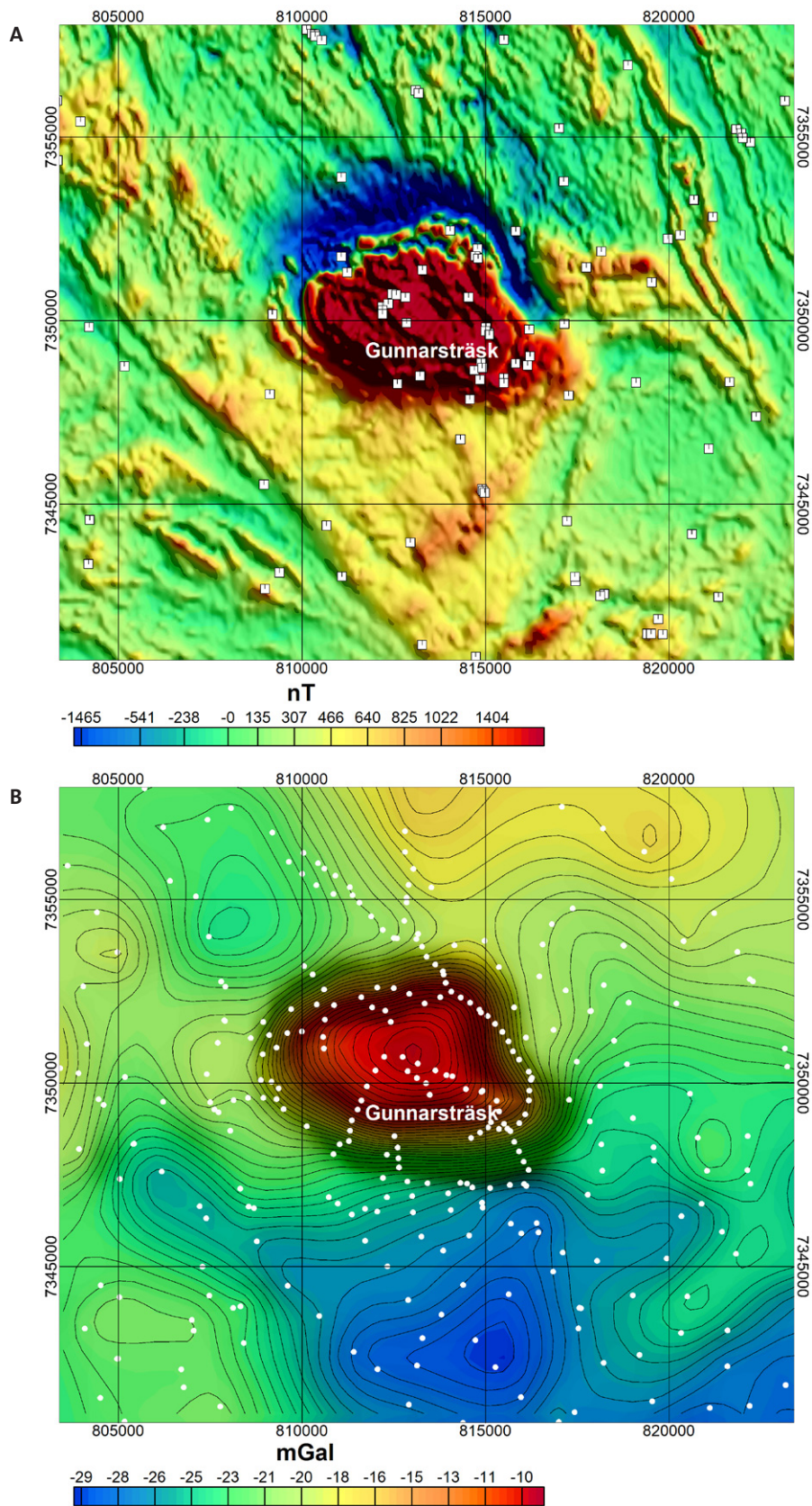
De omgivande bergarterna har mestadels sur eller intermediär sammansättning och vissa uppvisar låga eller måttliga magnetiseringsnivåer (fig. 4A).



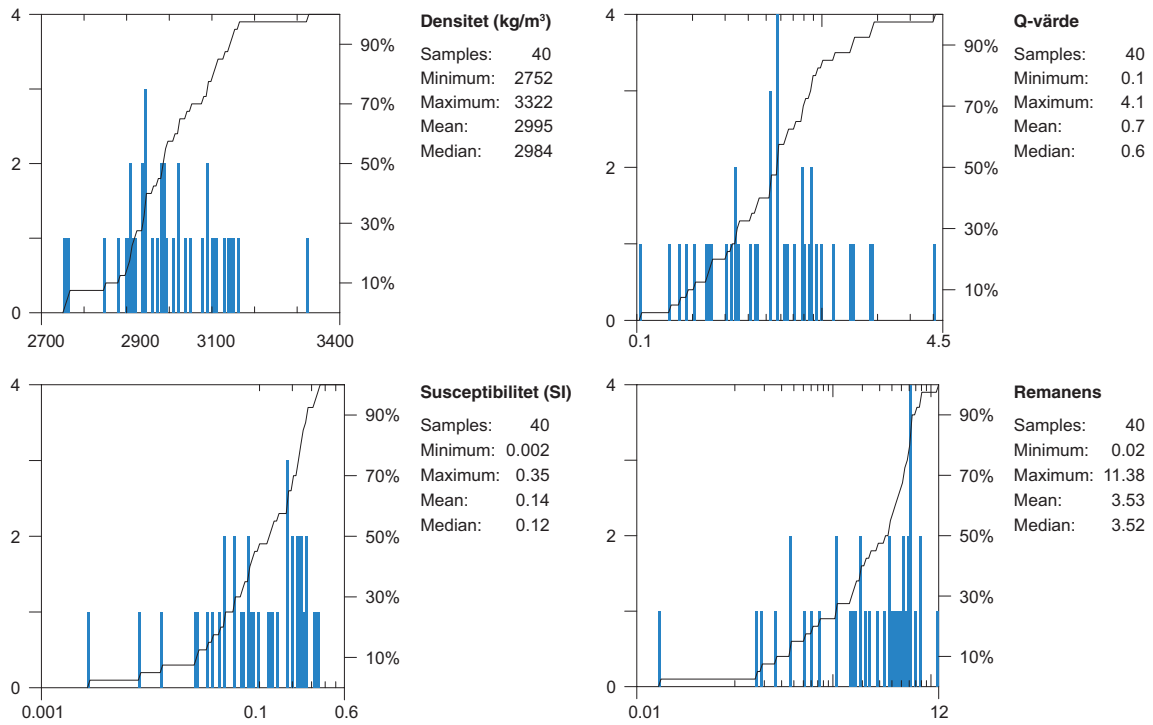
Figur 3. Berggrundskarta över undersökningsområdet.

## PETROFYSISK ANALYS

Petrofysisk analys gjordes av Arkko (1986). Sedan tidigare finns det 40 orienterade parameterprover tagna från gabbbron och analysresultaten är lagrade i SGUs petrofysiska databas. I figur 5 visas sammanställning av gabbrons petrofysiska egenskaper såsom densitet, susceptibilitet, Q-värde (kvoten mellan remanens och inducerad magnetisering) och remanensens intensitet. I tabell 1 visas de omgivande bergarternas fysikaliska egenskaper. I figur 6 visas remanensens riktning som Arkko rapporterade 1986.



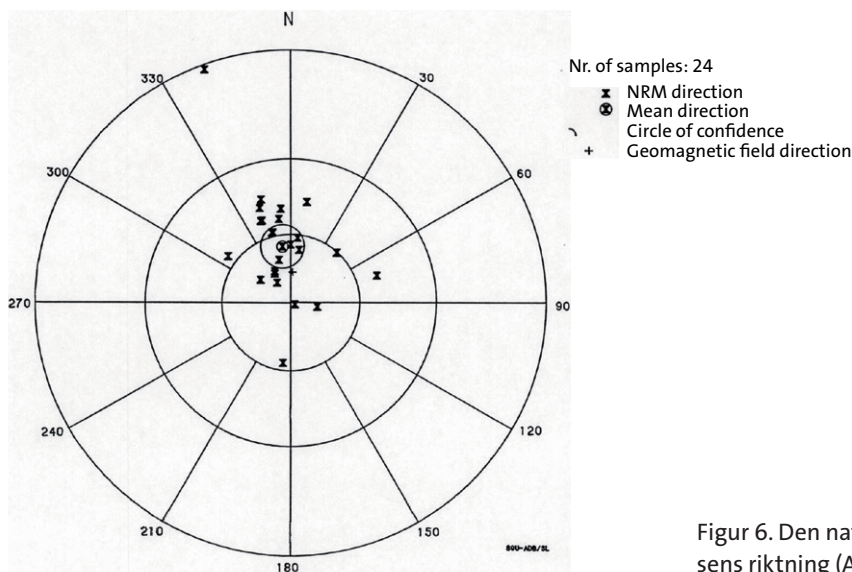
Figur 4. **A.** Magnetisk anomalikarta över Gunnarsträskgabbron. Vita symboler visar läget för petrofysiska prov. **B.** Bougeranomaly karta över Gunnarsträskgabbron. Vita punkter visar mätlokalerna.



Figur 5. Gunnarsträskgabbrons petrofysiska egenskaper.

Tabell 1. De omgivande bergarternas petrofysiska egenskaper.

	nr	Densitet (kg/m <sup>3</sup> )		Susceptibilitet (SI)		Q-värde		Remanens (A/m)	
		medel	median	medel	median	medel	median	medel	median
Omgivande bergarter	64	2727	2705	0,01	0,007	0,6	0,2	0,1	0,04



Figur 6. Den naturliga remanensens riktning (Arkko 1986).

## MODELLERING AV MAGNET- OCH TYNGDKRAFTSDATA

Forward-modellering av gabbrointrusioner i norra Sverige har tidigare utförts av bl.a. Henkel (1981) och olika modelleringstekniker diskuterades bl.a. av Ponce m.fl. (2003). Vid modellering av magnet- och tyngdkraftsfältet har programvaran Encom ModelVision, UBC grav3D och UBC mag3D använts.

### Forward-modell av magnet- och tyngdkraftsfältet

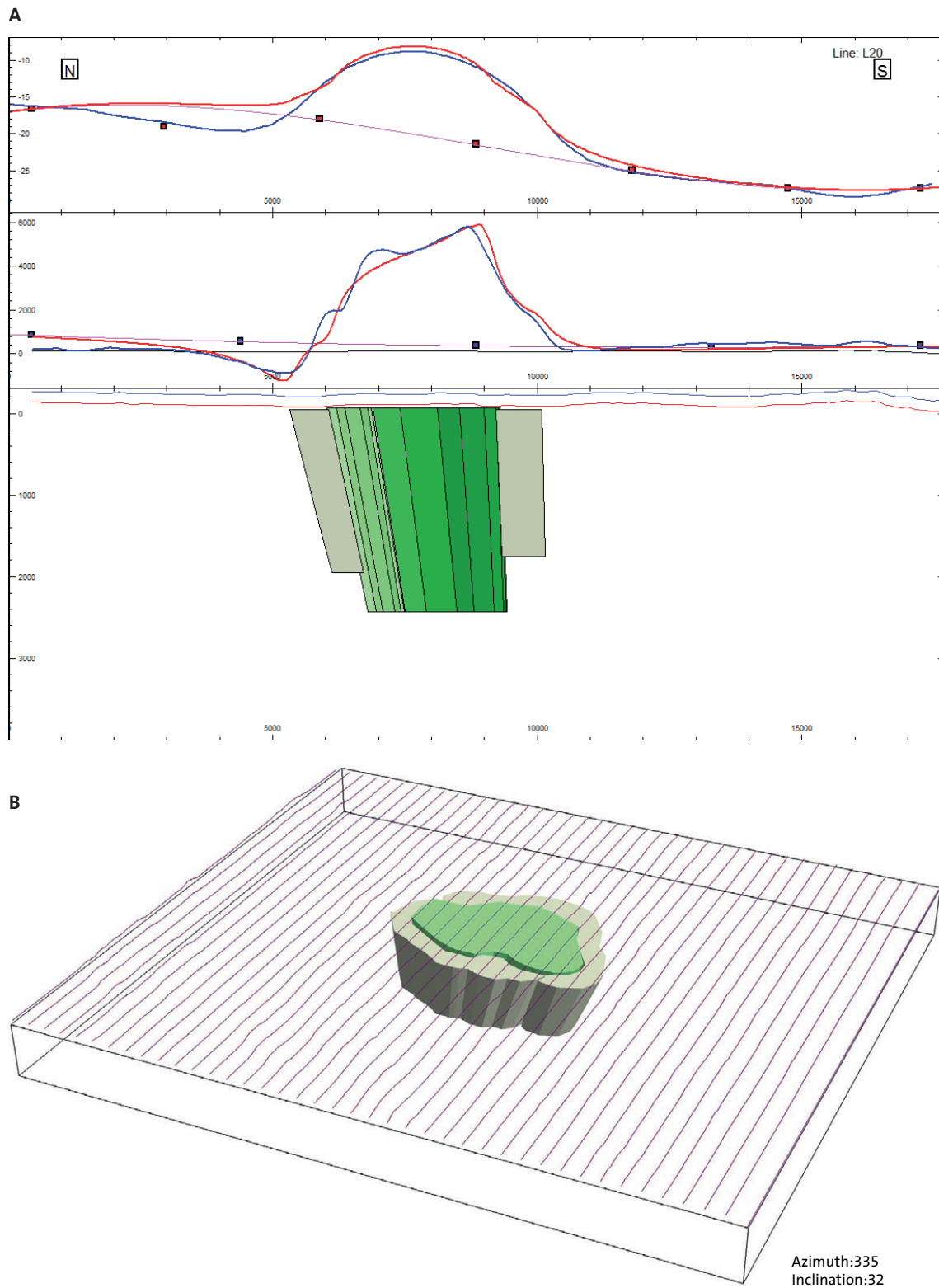
Vid forward-modellering skapar man först modellen manuellt. Modellen kan bestå av flera olika kroppar som efterliknar geologiska strukturer (t.ex. en sfär) och de får välbestämda petrofysiska egenskaper (t.ex. magnetisk susceptibilitet). Modellen ger upphov till ett magnet- och tyngdkraftsfält som kallas modellrespons. I nästa steg försöker man anpassa modellresponsen till det uppmätta magnet- och tyngdkraftsfältet genom att ändra geometrin och egenskaperna manuellt. Den här processen innebär en beräkning av potentialfältsanomalier till en förväntad geologisk modell. Det är ofta ett tidskrävande arbete att få en bra anpassning av modellen till det uppmätta fältet. Ett bulkvärde anges för susceptibilitet och densitet för varje kropp. Remanensens styrka och riktning kan också inkorporeras i modellberäkningen.

En mycket värdefull parameter är att gabbrointrusionen är blottad, dvs. ligger på ytan. Vid modelleringen kan både magnet- och tyngdkraftsfältet anpassas samtidigt. Magnetfältet polreducerades och ”upward continuation”-filter till 100 m användes före modelleringen för att ta bort de högfrekventa variationerna. Tyngdkraftsfältets residual beräknades före modellering. Nedan redovisas en av modellerna längs en nord-sydlig profil (fig. 7). Densitetsvärdet som användes är  $2993 \text{ kg/m}^3$ , susceptibiliteten  $0,3 \text{ SI-enheter}$  och  $Q$ -värdet  $1$  för den gröna, innersta kroppen. Den grågröna yttre ringen har  $2800 \text{ kg/m}^3$  i densitet,  $0,12 \text{ SI-enheter}$  i susceptibilitet och  $3 \text{ A/m}$  i remanens. Riktningen av remanensens deklination är  $D=350^\circ$  och inklinations  $I=60^\circ$ . Den omgivande densiteten sattes till  $2730 \text{ kg/m}^3$  och susceptibiliteten till  $0,07 \text{ SI-enheter}$ . Det erhållna maximumet för djupet av gabbron varierar mellan  $2000$  och  $2800 \text{ m}$ . Modelleringen gjordes längs profillinjer med  $500 \text{ m}$  linjeavstånd och  $100 \text{ m}$  punktavstånd.

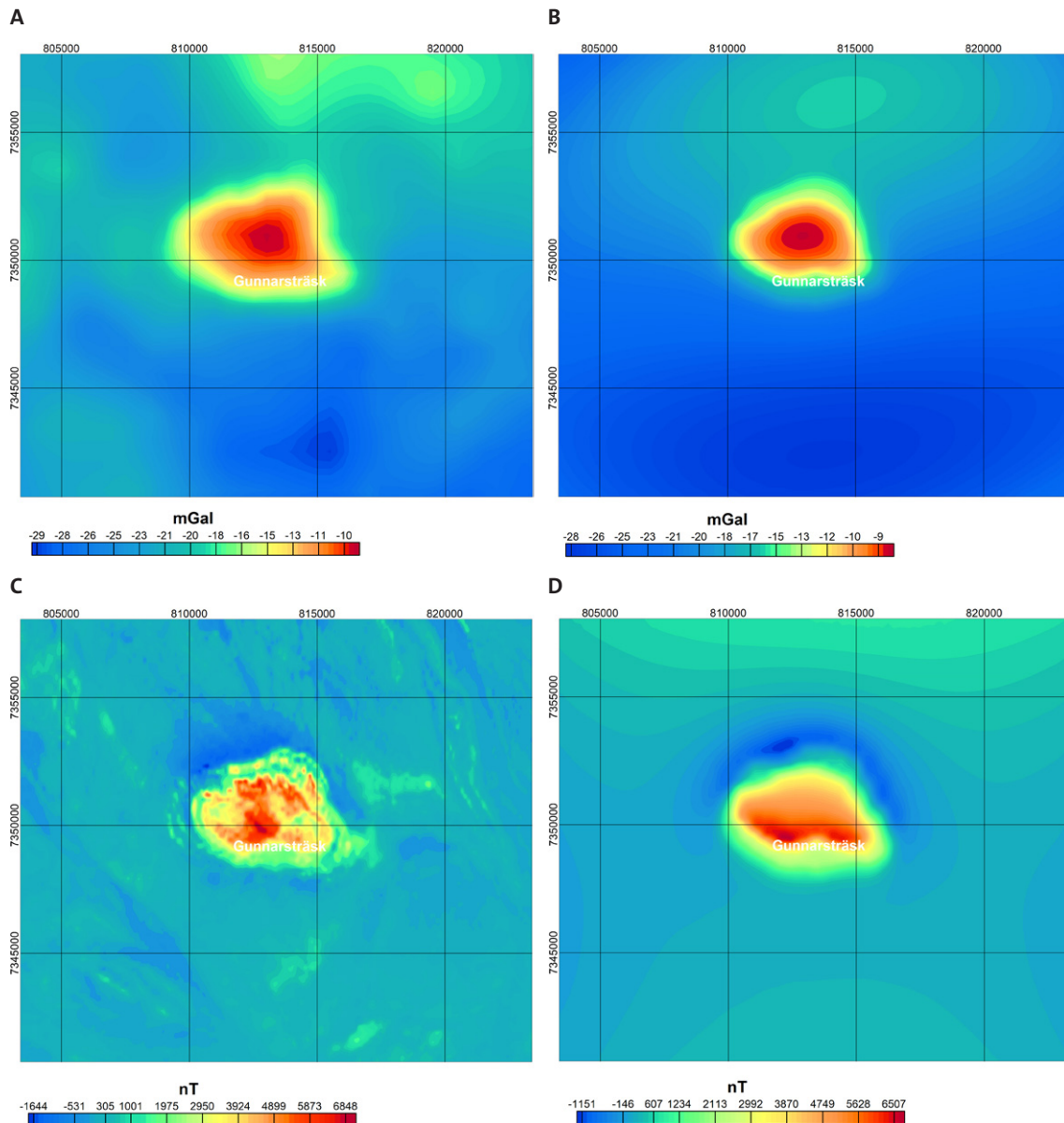
En jämförelse mellan modellresponsen (modellen ger upphov till ett magnet- och tyngdkraftsfält) och de uppmätta tyngdkrafts- och magnetanomalierna visas i figur 8. Tyngdkrafts- och magnetfältsanomalierna orsakade av modellens höga densitet och susceptibilitet överensstämmer bra med de uppmätta anomalierna.

### 3D-inversion

Vid en 3D-inversion delas modellen upp i tredimensionella celler som erhåller ett startvärde för en fysikalisk egenskap (t.ex. densitet). Genom ett automatiskt och iterativt matematiskt flöde ändras cellernas egenskaper tills en anpassning mellan modellens respons och det uppmätta fältet nås. Det sker utan hänsyn till de geologiska förhållandena. Man kan alltid använda en forward-modell som en startmodell till inversionen. Forward-modellen kan tas fram både från en geologisk tolkning eller från ett resultat av forward-modellering, som t.ex. i figur 7.



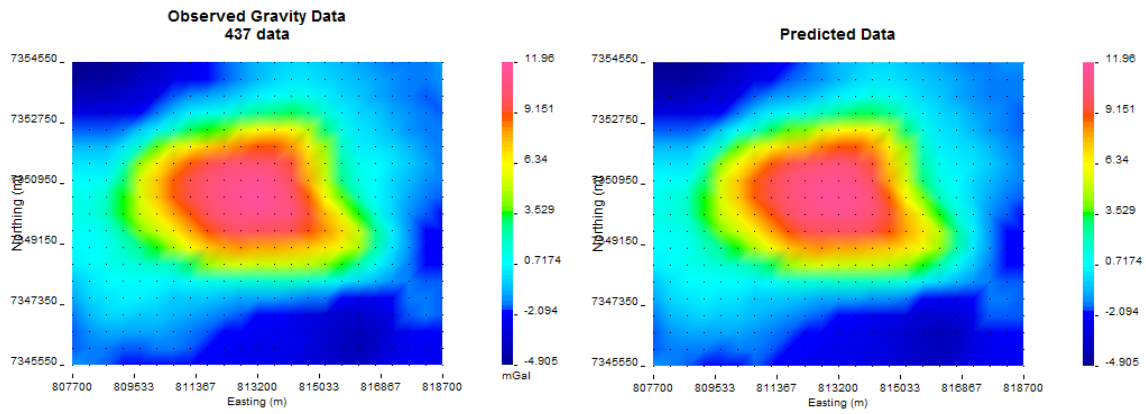
Figur 7. Forward-modell av tyngdkraft och magnetfältet. **A.** Modellen visas i skärning längs en linje. Tyngdkraftsfältet överst och magnetfältet underst. Uppmätt anomali med blå, beräknad anomali med röd färg. **B.** Modellen i 3D-perspektiv med alla linjer inkluderade i modelleringen.



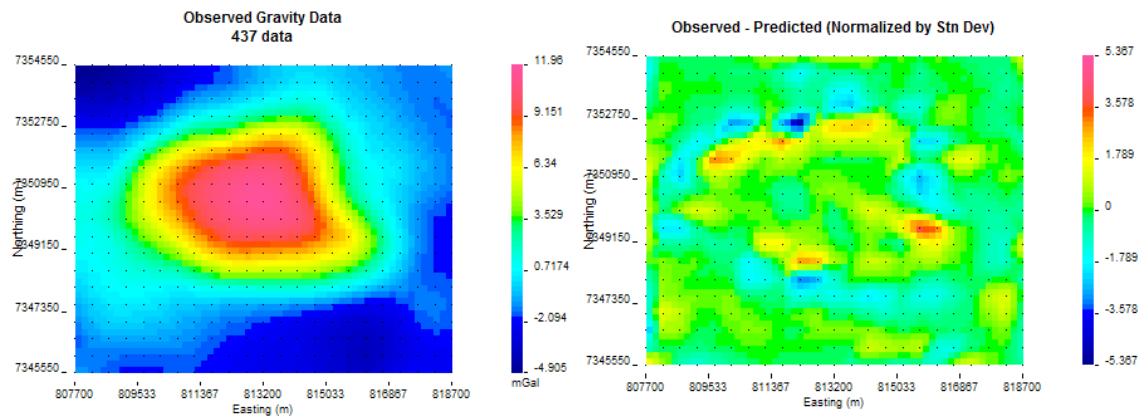
Figur 8. **A.** Uppmätt tyngdkraftsfält. **B.** Beräknat tyngdkraftsfält från forward-modellen. **C.** Uppmätt magnetfält, polreducerat. **D.** Beräknat magnetfält.

### ***Inversionsmodell av tyngdkraftsfältet***

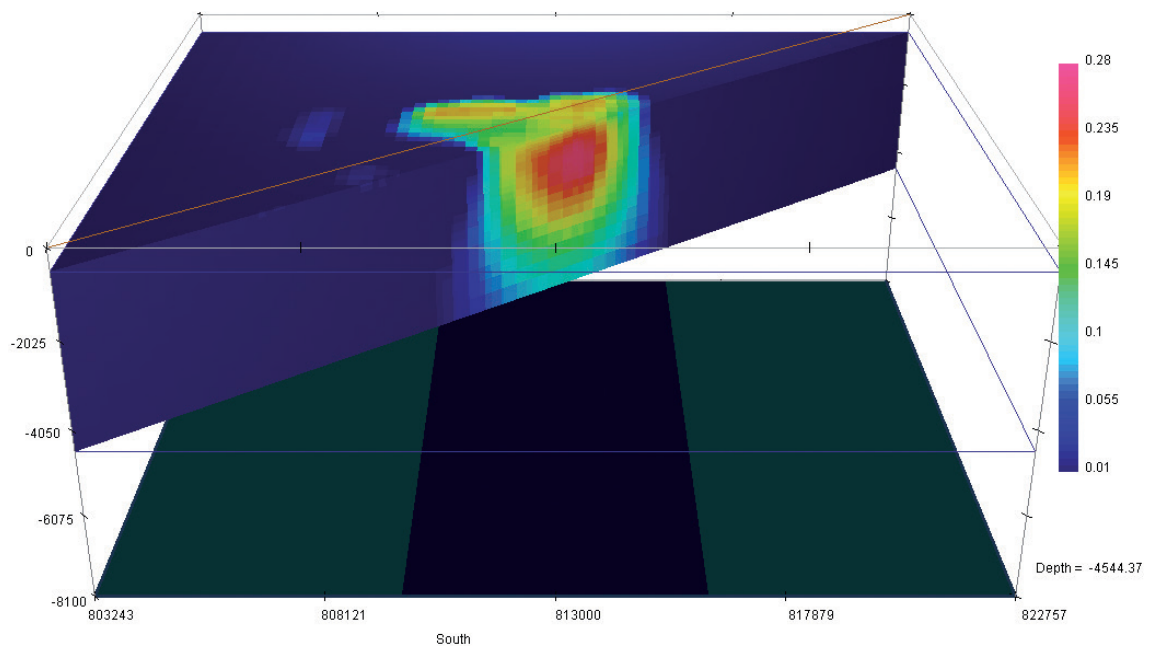
För inversion av tyngdkraftsfältet har UBCs programvara Grav3D använts. Modellen delades upp i celler, där varje cell fick sig tilldelat ett densitetsvärde. Den slutliga densitetsmodellen skapas genom att minimera en s.k. *objektive function*-modell som passar uppmätta data. *Depth weighting* tillämpas för att få bättre djupinformation (Li & Oldenburg 1998). Ett spann av densitetsvärden anges, vilka sedan styr modellen. I vårt fall har vi använt uppmätta densitetsvärden mellan 2 857 och 3 100 kg/m<sup>3</sup>. I figur 9 visas modellresponsen från den slutliga inversionsiterationen i jämförelse med uppmätta data och i figur 10 visas skillnaden mellan uppmätta data och responsen i den förutspådda modellen. Vi har erhållit en mycket bra dataanpassning. De erhållna resultaten av inversionen visas i figur 11 som en tredimensionell ”densitetskontrastmodell”. Figur 12 visar gabbrons form.



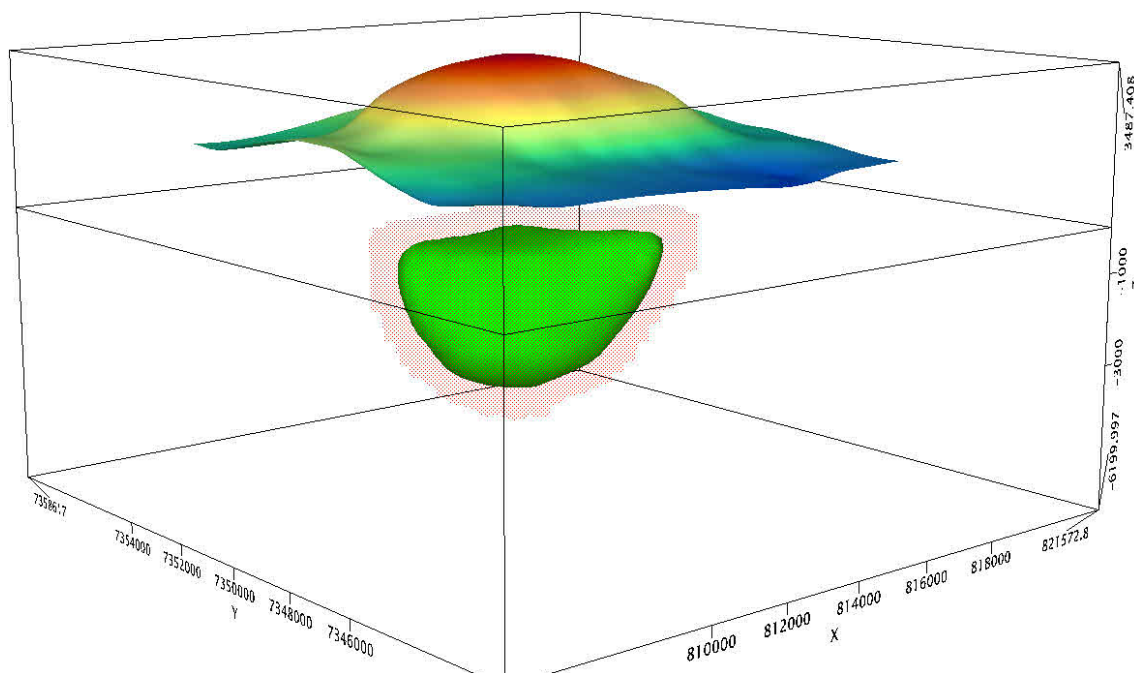
Figur 9. Uppmätt tyngdkraftsfält till vänster och modellresponsen till höger.



Figur 10. Skillnaden mellan det uppmätta tyngdkraftsfältet och den slutliga modellresponsen, vilken är normaliserad mot standardavvikelsen.



Figur 11. Inversionsmodell av tyngdkraftsfältet.



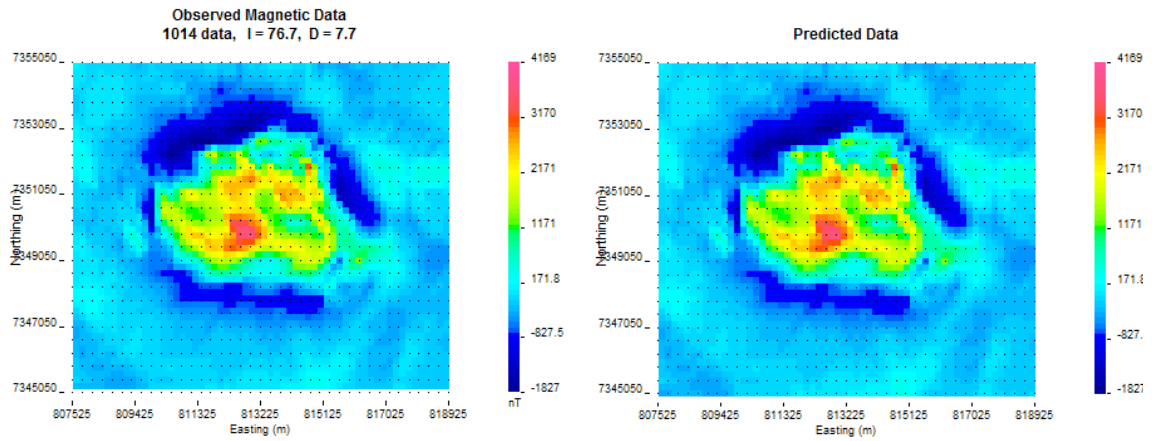
Figur 12. Gunnarsträskgabbrons form enligt inversionsmodellen. Det uppmätta fältet visas överst.

Den erhållna densitetsmodellen visar en densitetskontrast till omgivningen som är mellan  $0,01$  och  $0,28 \text{ g/m}^3$  (fig. 11). Cellerna med en densitetskontrast på ca  $0,2$  (röda fältet i modellen) och högre värden, vilka kan tolkas som motsvarande gabbrons högsta densitet, visar på ett ungefärligt djup på ca  $2\,600 \text{ m}$  och hela modellen har ett djup på ca  $4\,000 \text{ m}$ . Vi har sämre upplösning på ytan p.g.a. *depth weighting* som måste användas för att nå bättre djupinformation (Li & Oldenburg 1998).

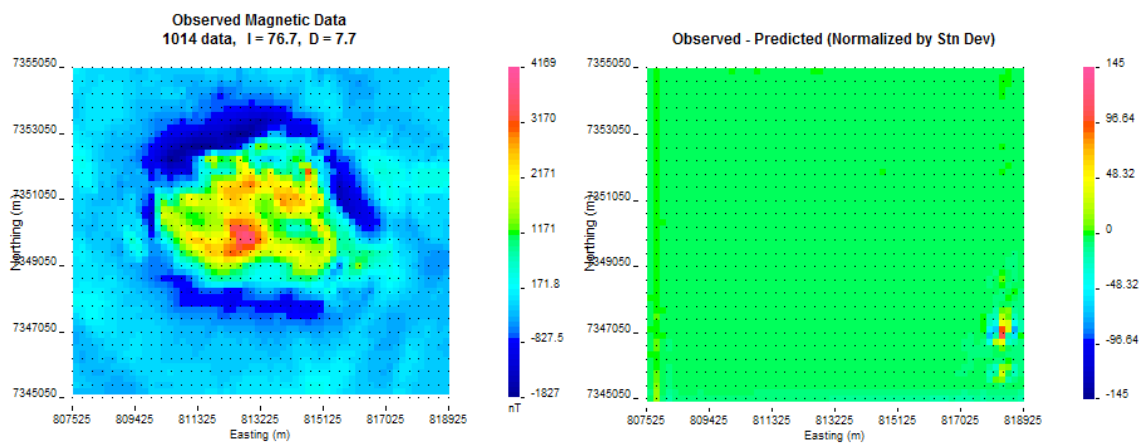
### ***Inversionsmodell av magnetfältet***

För inversion av magnetfältet har UBCs programvara Mag3D använts. Inversionen av magnetfältet går till på liknande sätt som beskrevs för tyngdkraftsfältet. Resultatet av inversionen kan bli en susceptibilitetsmodell eller dess logaritm. Algoritmen tar inte hänsyn till remanent magnetisering utan antar att anomalierna är orsakade enbart av inducerad magnetisering. I figur 13 visas uppmätta data och förutspådda modellerade data och i figur 14 visas skillnaden mellan dem. En riktigt bra anpassning kan observeras mellan den slutliga modellresponsen och uppmätta magnetfältsdata.

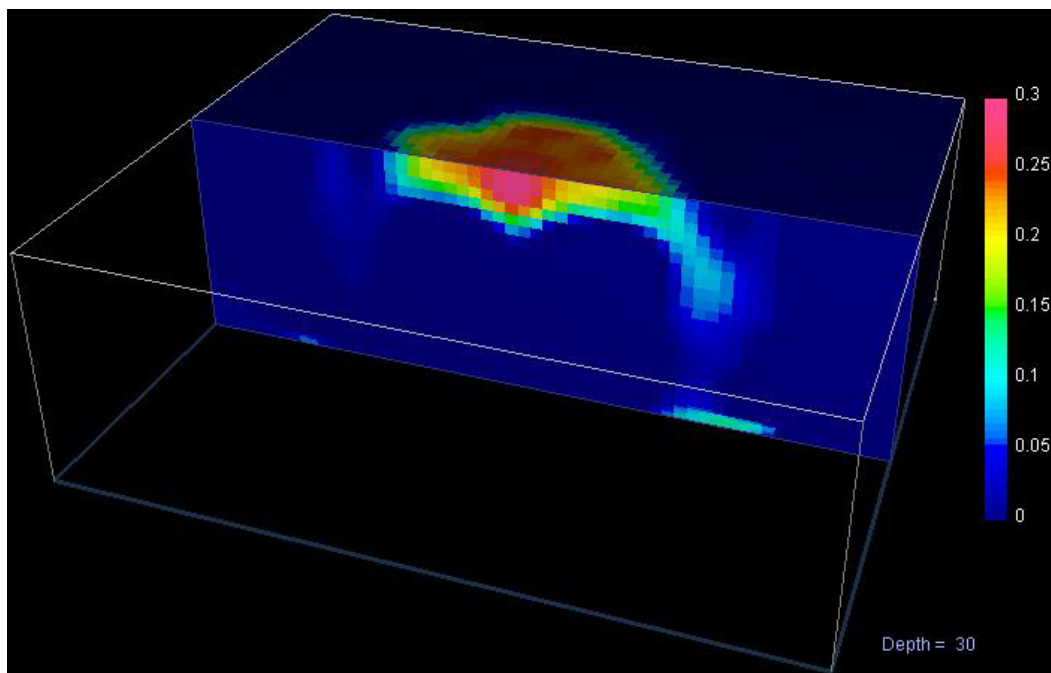
Den erhållna susceptibilitetsmodellen visas i figur 15. Susceptibilitetens värden kan styras under inversionen och sattes till mellan  $-0,001$  och  $0,6 \text{ SI}$ -enheter. Modellens erhållna susceptibilitet liknar de uppmätta susceptibilitetsvärdena (fig. 4) och en bra upplösning erhölls på ytan medan upplösningen på djupet är sämre (fig. 15). Det erhållna maximala djupet för susceptibilitetsmodellen är drygt  $1\,500 \text{ m}$ .



Figur 13. Uppmätt magnetfält överst och modellresponsen under.



Figur 14. Skillnaden mellan det uppmätta magnetfältet och modellresponsen.

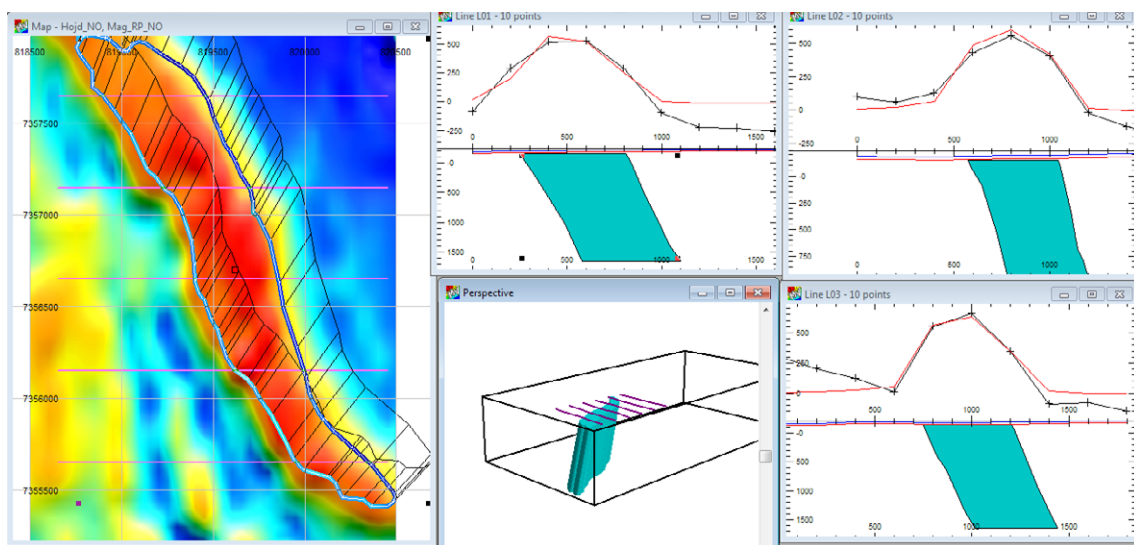


Figur 15. Inversionsmodell av Gunnarsträskgabbbron orsakad magnetfältsanomali. Modellen visar susceptibilitetsfördelningen.

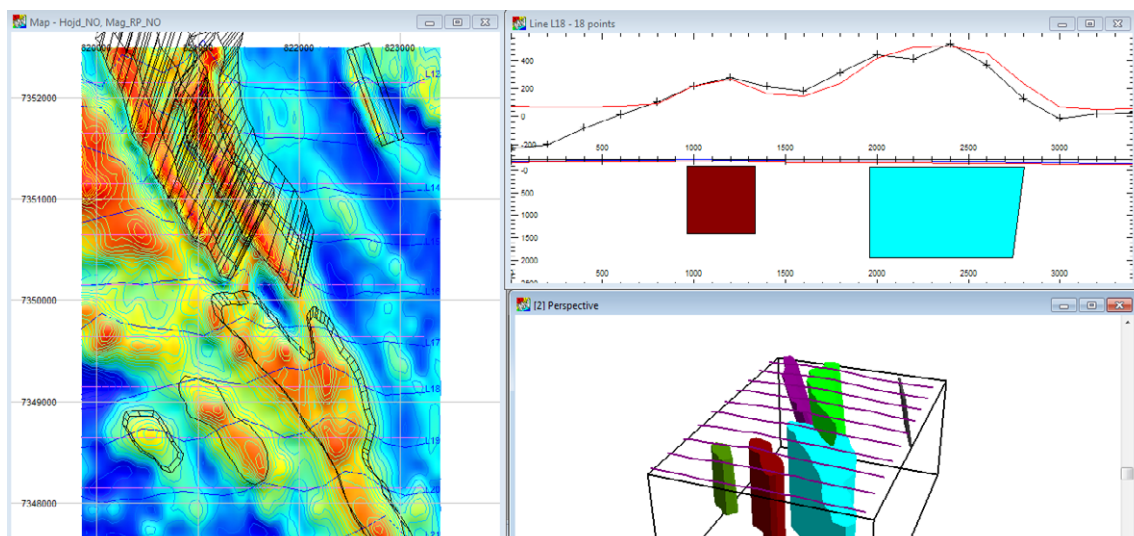
## GEOFYSISK MODELL ÖVER GUNNARSTRÄSKGABBRON MED OMGIVNING

Ett antal magnetiska anomalier i gabbrons omgivning har också modellerats med tredimensionell forward-modelleringssteknik. Magnetfältet har räknats upp till 100 m höjd före modellering. Profiler samlades med 500 m linjeavstånd och 100 m punktavstånd. Flera linjer kan modelleras samtidigt över mindre områden och de erhållna modellerna kan sättas ihop i en större geofysisk 3D-modell (fig. 16–17). Den geofysiska modellen kan i sin tur användas i arbetet med den geologiska modellen.

I modellerna nedan angavs susceptibilitetsvärden mellan 0,023 och 0,028 SI-enheter, vilka motsvarar värden uppmätta på vulkaniter i området.



Figur 16. Magnetisk anomali orsakad av vulkaniter till vänster i figuren, med modellen i horisontalplan. De utvalda profillinjerna visas med lila färg. En modell längs fyra linjer samt i 3D-perspektiv visas till höger.



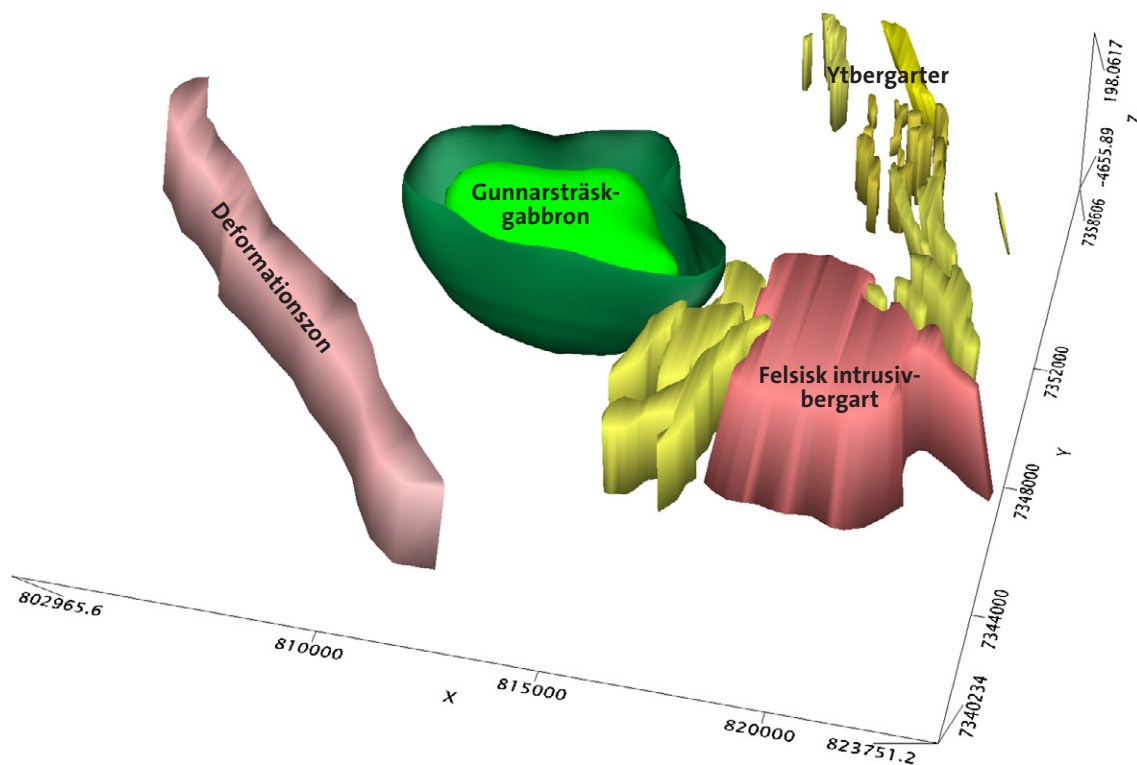
Figur 17. Magnetiska anomalier orsakade av ytbergarter med modellen i horisontalplan till vänster i figuren. Modellen i skärning över en linje och modellen i 3D-perspektiv visas till höger.

De erhållna geofysiska modellerna kan sättas ihop i en gemensam 3D-vy (fig. 18) över det undersökta området för att sedan användas i en geologisk 3D-modell. Modellen kan sedan användas i olika 3D-program som t.ex. Gocad och Encom PA.

## SLUTSATSER

Integrerade geologiska och geofysiska studier ökar förståelsen av berggrundsgeologin både på ytan och på djupet. Geofysiska data bidrar till att få ett bättre grepp över strukturer samt bergarternas utbredning på ytan och på djupet. Tolkningsteori och teknik av potentialfältsdata utvecklas hela tiden och nya kunskaper kan användas för att få bättre förståelse, kontroll och tolkning av geofysiska anomalier.

För att uppskatta djupet och formen av Gunnarsträskgabbbron har både forward-modellering och inversionsteknik använts. I båda fallen har vi använt befintlig petrofysisk information som finns i SGUs databas för att kunna begränsa antalet modeller och för att få en mer realistisk modell. Inversion av tyngdkraftsfältet och magnetfältet gjordes separat. Vi har erhållit bra resultat från de olika inversionerna, och de erhållna modellernas former är trovärdiga. Däremot lider potentialfältsmetoderna av avtagande upplösning med ökat djup. Därför behöver vi förbättra tolkningsmetoderna för att få bättre upplösning på djupet för att kunna avgränsa undersidan av anomaliorsaken. Arbete med att utveckla så kallad *joint inversion*-teknik, då både magnet- och tyngdkraftsfält inverteras och modelleras samtidigt, pågår vid Uppsala universitet (Kamm m.fl. 2013). Tillgång till borrhålsdata, dvs. geologiska och petrofysiska loggar, skulle ha stärkt och förfinat modellen ytterligare. Nästa steg i arbetet är att integrera de geofysiska modellerna med berggrundsgeologisk information i syfte att erhålla en tredimensionell modell av berggrunden.



Figur 18. Geofysisk 3D-modell över Gunnarsträskgabbbron med omgivning. Här visas den i Geosoft-miljö.

## REFERENSER

- Aaro, S., Johansson, P. & Jönberger, J., 2012: SGUs tyngdkraftsundersökningar – bakgrund, syfte och Gunnarsträskgabbbron. *Sveriges geologiska undersökning, SGU-rapport 2012:2*, 27 s.
- Arkko, V., 1986: The Nordkalott project – geophysical aspects of large mafic intrusions in northern Sweden. *Geological Survey of Sweden BRAP 86401*, 14–25.
- Filén, B., 1987: PGE-Prospektering 1986, Etapp II. *Sveriges geologiska AB, PRAP 87003*, 23–25.
- Filén, B., 1990: PGE-Prospektering i Sverige 1985–1990. *Sveriges geologiska AB PRAP 90026*, 25 s.
- Henkel, H., 1981: Stora gabbrointrusioner i norra Sverige, kompletterad version. *Sveriges geologiska undersökning BRAP 81408*, 65 s.
- Hölttä, P., Väisänen, M., Väänänen, J. & Manninen, T., 2007: Paleoproterozoic metamorphism and deformation in Central Finnish Lapland. *Geological Survey of Finland, Special Paper 44*, 7–56.
- Kamm, J., Antal Lundin, I., Bastani, M. & Sadeghi, M., 2013: Integrated 3D interpretation of geological, geophysical and petrophysical data – a case study from a gabbro intrusion in Boden, Sweden. *12th SGA Biennial meeting 2013-proceedings 1*, 81–85.
- Kathol, B., Sadeghi, M., Larsson, D., Luth, S., Nysten, P. & Triumpf, C.-A., 2012: Berggrundsgeologisk undersökning, Jäkkvik-Boden. Sammanfattning av pågående verksamhet 2012. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2012:21*, 44 s.
- Kathol, B., Sadeghi, M., Triumpf, C.-A. & Larsson, D., 2011: Berggrundsgeologisk undersökning, Jäkkvik-Boden. Sammanfattning av pågående verksamhet 2011. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2012:05*, 41 s.
- Li, Y. & Oldenburg, D.W., 1996: 3D inversion of magnetic data. *Geophysics 61*, 394–408.
- Li, Y. & Oldenburg, D.W., 1998: 3D inversion of gravity data. *Geophysics 63*, 109–119.
- Lundmark, L.-G., 1992: Den naturliga remanensens riktningar i jämförelse mellan lagrade och inte lagrade mafiska intrusioner. *Sveriges geologiska AB PRAP 92007*, 11 s.
- Malehmir, A., Thunehed, H. & Tryggvasson, A., 2009: The Paleoproterozoic Kristineberg mining area, northern Sweden: Results from integrated 3D geophysical and geologic modeling, and implications for targeting ore deposits. *Geophysics 74*, 9–22.
- Mellqvist, C., 1999: Sequential injections of mafic magma into a crystallizing magma chamber – a case study from the Luleå area, northern Sweden. *GFF 121*, 43–48.
- Middlemost, E.A.K., 1985: *Magmas and magmatic rocks*. London, Longman.
- Ponce, D.A., Hildebrand, T.G. & Jachens, R.C., 2003: Gravity and magnetic expression of the San Leandro gabbro with implications for the geometry and evolution of the Hay-

ward Fault zone, northern California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 93, 1–13.

## TERMER

**Objective function:** a function of parameters and possibly data that is maximized or minimized by choices of parameters. En funktion av parametrar och möjligen data som maximeras eller minimeras genom val av parametrar.

**Depth weighting:** a function utilised to counteract the Kernels' decay with depth in order to obtain better depth resolution of the gravity model. En funktion som används för att motverka Kernels avklingande med djupet för att erhålla en tyngdkraftsmodell med bättre upplösning på djupet.

**Joint inversion:** Simultaneous inversion of two or more types of independent measurements. Inversion som sker samtidigt av två eller flera olika geofysiska mätningar.

**Upward continuation filter:** calculation of the potential field at an elevation higher than that at which the field is known. Beräkning av potentialfältsdata till en högre höjd än fältet är känt eller mätt.

