

R-02-20

Förstudie Tierp norra Kompletterande arbeten 2001

Hans Isaksson
GeoVista AB

Torbjörn Bergman, Johan Daniels, Rune Johansson
Lena Persson, Michael Stephens
Sveriges Geologiska Undersökning

April 2002

Svensk Kärnbränslehantering AB

Swedish Nuclear Fuel
and Waste Management Co
Box 5864

SE-102 40 Stockholm Sweden

Tel 08-459 84 00
+46 8 459 84 00

Fax 08-661 57 19
+46 8 661 57 19



ISSN 1402-3091

SKB Rapport R-02-20

Förstudie Tierp norra

Kompletterande arbeten 2001

Hans Isaksson
GeoVista AB

Torbjörn Bergman, Johan Daniels, Rune Johansson
Lena Persson, Michael Stephens
Sveriges Geologiska Undersökning

April 2002

Denna rapport har gjorts på uppdrag av SKB. Slutsatser och framförda åsikter i rapporten är författarnas egna och behöver nödvändigtvis inte sammanfalla med SKB:s.

En pdf-version av rapporten kan laddas ner från www.skb.se

Förord

Det arbete som redovisas i denna rapport har utförts av en grupp geovetare vid GeoVista AB och Sveriges geologiska undersökning (SGU) varvid ansvaret huvudsakligen har fördelats på följande sätt:

Geofysisk tolkning och
tyngdkraftsmodellering

Hans Isaksson

Bearbetning och tolkning
av VLF-data

Johan Daniels
Lena Persson

Berggrundsgeologi, inklusive
strukturgeologi

Torbjörn Bergman
Michael Stephens

Sammanställning

Rune Johansson

Sammanfattning

SKB har redovisat tre områden som prioriterats inför kommande platsundersökningar. Ett av kandidatområdena ligger inom Hedesundamassivet i Tierps kommun och benämns Tierp norra. Under 2001 har kompletterande arbeten utförts i syfte att förtydliga det geovetenskapliga underlaget inför platsundersökningarna.

En preliminär geofysisk tolkning har gjorts för att studera utbredningen av en hornbländerik, granit till kvartsmonzonitisk bergart i Hedesundamassivets centrala del och en porfyrisk, granitisk bergart i dess randzon samt gränsen mot omgivande meta-granitoid. I första hand har flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata nyttjats.

Vidare har VLF-data (elektromagnetiska data) bearbetats med ny teknik för att ytterligare studera eventuella förekomster av regionala sprickzoner inom området och slutligen har tyngdkraftsmodellering utförts för att studera några alternativa geologiska modeller med utgångspunkt från tidigare redovisade resultat.

De kompletterande arbeten som gjorts har givit följande resultat:

- Baserat på flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata har Hedesundamassivets avgränsning tolkats mer i detalj, vilket resulterat i ett förslag till modifiering av den berggrundsgeologiska kartan. Vidare har gränsen mellan granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit definierats.
- Tolkningen av VLF-data stöder den tolkning av sprickzoner som presenterats i tidigare utredningar och inga ytterligare zoner har framkommit. Området bedöms vara homogent och genomkorsas endast av ett fåtal tolkade regionala sprickzoner.
- Enligt tyngdkraftsmodelleringen är mäktigheten av den granitiska till kvartsmonzonitiska bergarten i de centrala delarna av området Tierp norra större än 2 km, i vissa delar nästan 6 km. Mot nordost avtar dock mäktigheten och Hedesundamassivets randzon består där av porfyrisk granit, även om granit till kvartsmonzonit kan förekomma mot djupet.

Eftersom det nu presenterade arbetet baseras på samma underlag som tidigare utredningar, även om VLF-data bearbetats med ny teknik, är det inte möjligt att ytterligare avgränsa områden som är mer lämpliga eller eventuellt olämpliga för ett djupförvar. Därtill krävs de mycket omfattande undersökningar, inklusive borrhning, som utgör själva platsundersökningen.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund och syfte	9
2	Geofysisk tolkning	11
2.1	Tolkning av flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata	11
2.2	Bearbetning och tolkning av VLF-data	14
2.3	Tyngdkraftsmodellering	18
3	Resultat	23
	Referenser	25

1 Bakgrund och syfte

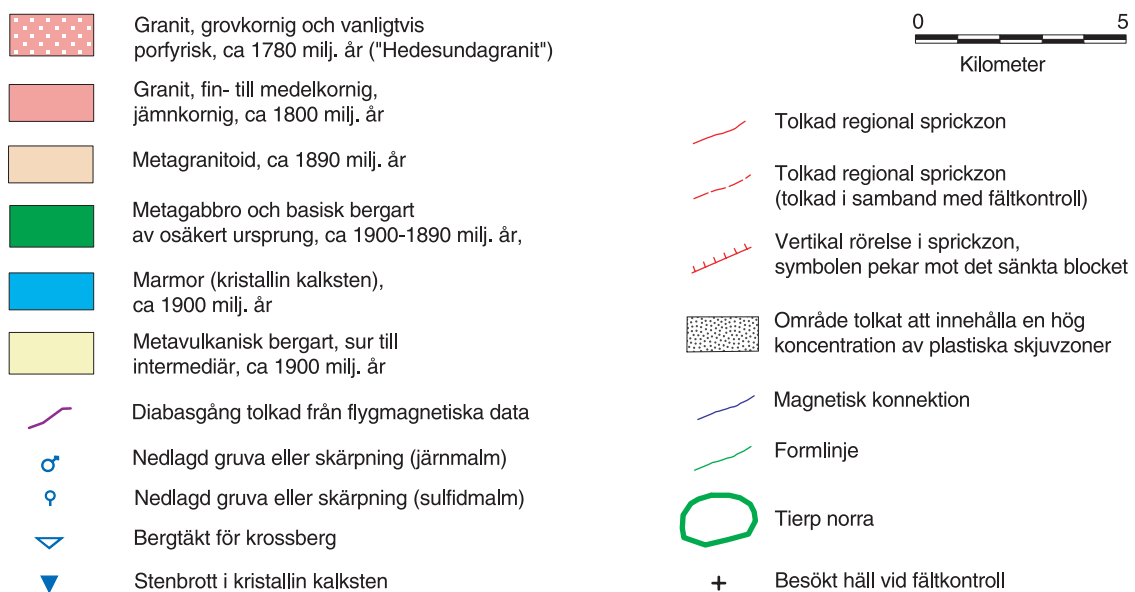
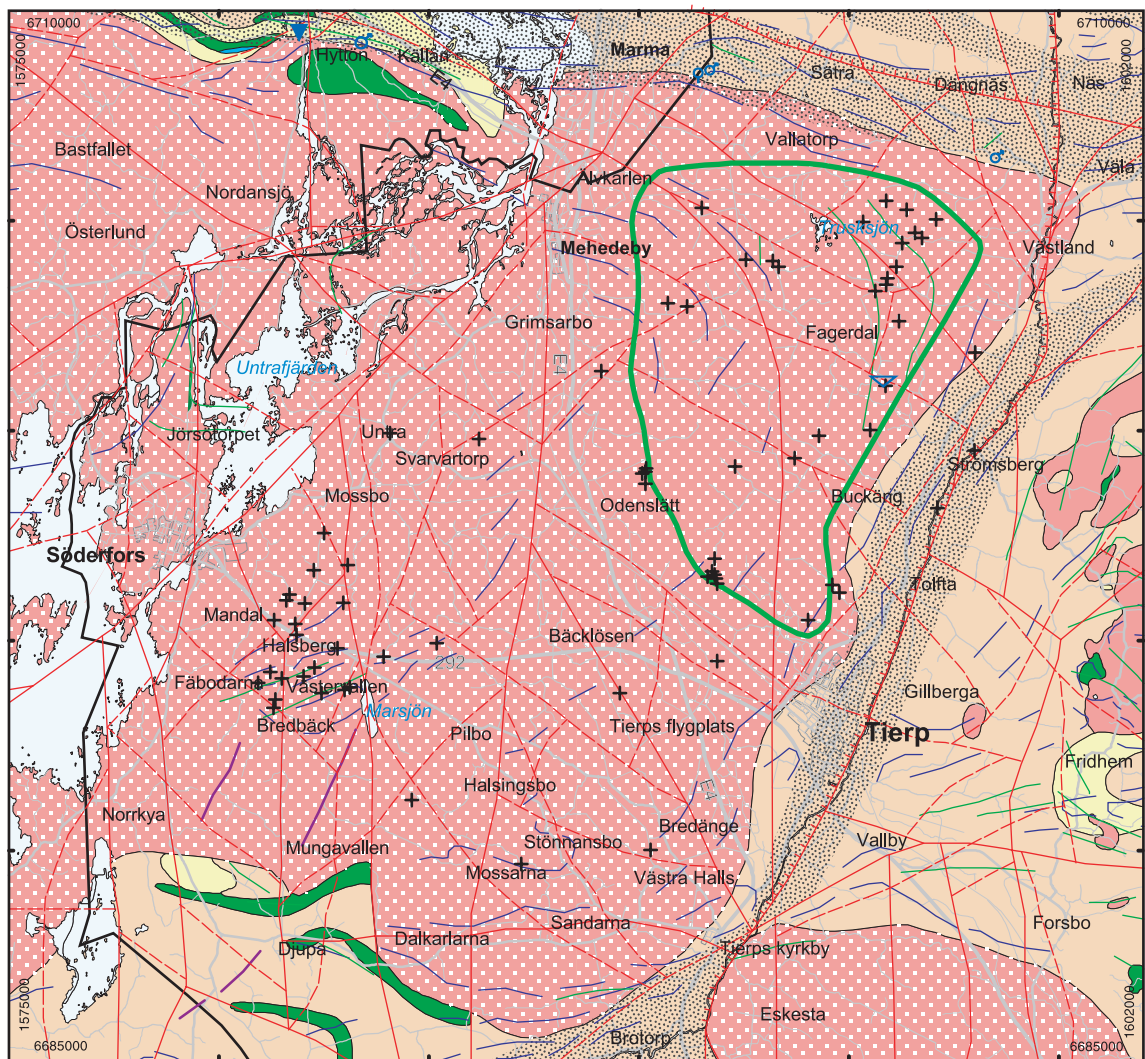
I december 2000 redovisade SKB i rapporten "Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet" /SKB, 2000/ tre områden som prioriterats inför kommande platsundersökningar. Ett av de aktuella kandidatområdena ligger inom Hedesundamassivet i Tierps kommun och benämns Tierp norra (figur 1-1).

I samband med tidigare utredningar inom ramen för förstudien /Bergman m fl, 1999, 2000/ har bland annat konstaterats att befintliga geologiska kartor behöver revideras med avseende på Hedesundamassivets avgränsning. Vidare har konstaterats att Hedesundamassivet, som på de äldre kartorna betecknats "Hedesundagranit", är mer varierande till sin sammansättning än vad som framgår av dessa kartor.

Inom det nu aktuella området består berggrunden i Hedesundamassivet huvudsakligen av en bergart som är rik på hornblände och har en granitisk till kvartsmonzonitisk sammansättning /Ekström, 2001/. I massivets randzon finns en porfyrisk bergart med granitisk sammansättning. Hedesundamassivet omges av äldre metagranitoider (omvandlade granitoider).

Under 2001 har kompletterande arbeten utförts i syfte att förtydliga det geovetenskapliga underlaget inför de kommande platsundersökningarna. Arbetena har omfattat:

- Tolkning av flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata.
- Bearbetning och tolkning av VLF-data.
- Tyngdkraftsmodellering.



Figur 1-1. Berggrundskarta över västra delen av Tierps kommun, modifierad efter /Bergman m fl, 2000/. Kandidatområdet Tierp norra visas med grön linje.

2 Geofysisk tolkning

Baserat på modern geofysisk information har en preliminär geofysisk tolkning gjorts för att avgränsa granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit inom Hedesundamassivet samt för att modifiera gränsen till omgivande metagranitoid. I första hand har flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata nyttjats.

Vidare har befintliga VLF-data (elektromagnetiska data) bearbetats med ny teknik, dels för att studera tidigare tolkade regionala sprickzoner inom området, dels för att eventuellt påvisa ytterligare zoner. Tekniken var inte tillgänglig när tidigare utredningar genomfördes.

Slutligen har tyngdkraftsmodellering utförts för att studera några alternativa geologiska modeller med utgångspunkt från tidigare redovisade resultat /Bergman m fl, 2000/.

2.1 Tolkning av flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata

Flygmagnetiska data

Flygmagnetiska data har nyttjats så att gränser har lagts mellan områden med följande karaktäristik:

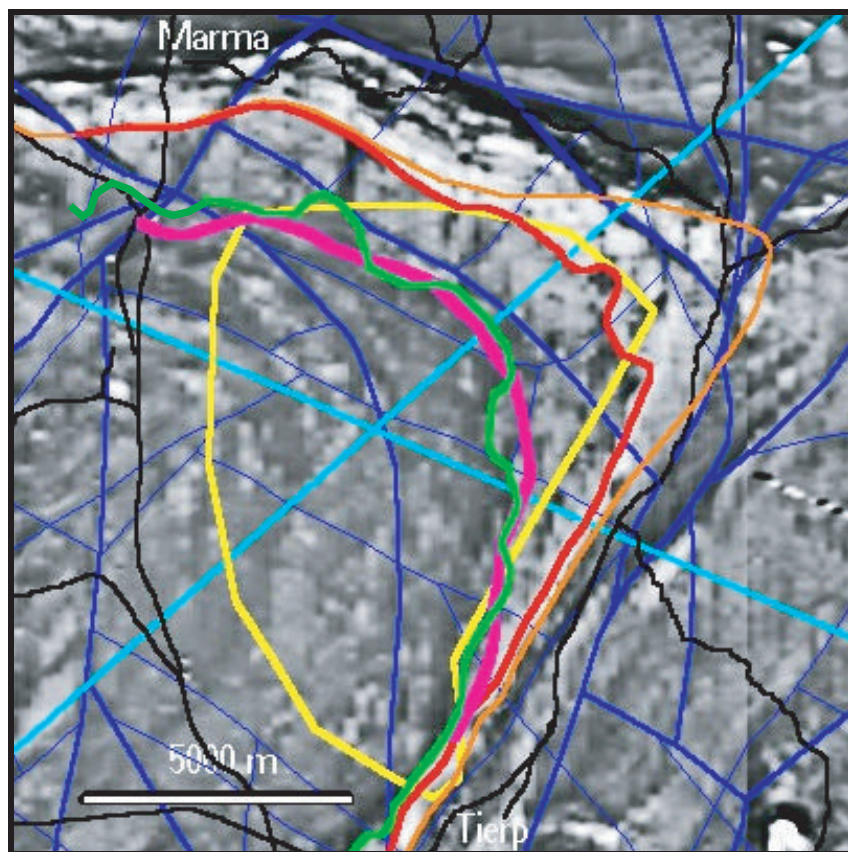
Låg till måttlig, svagt regelbunden magnetisering	Granit till kvartsmonzonit Inom den östra delen av Hedesundamassivet
Hög, oregelbunden magnetisering	Porfyrisk granit i Hedesundamassivets östra randzon
Mycket hög magnetisering, bandat uppträdande	Metagranitoid utanför Hedesundamassivets randzon

I figur 2-1 redovisas vertikaldervatan av det magnetiska totalfältet och tolkade gränser.

Tyngdkraftsdata

Tyngdkraftsdata ger ytterligare underlag för avgränsningen av enheterna inom Hedesundamassivet.

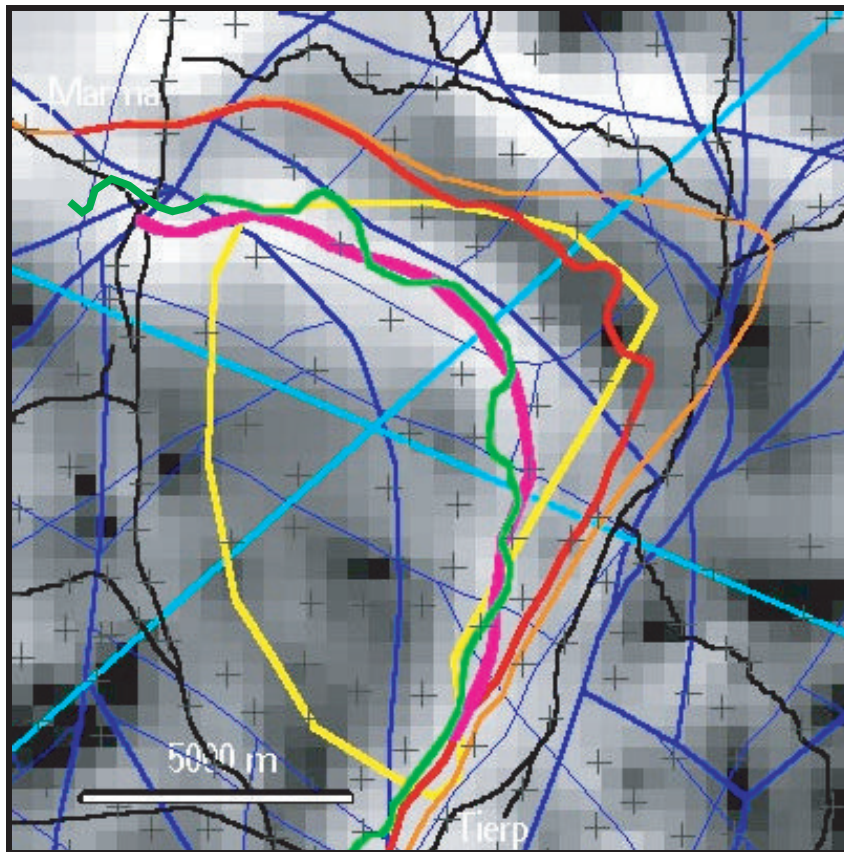
En beräkning av den maximala horisontalgradienten möjliggör en grov uppskattning av gränsen mellan den tyngre, hornbländerika granit till kvartsmonzoniten och den lättare, porfyrisk graniten. Kontakten mellan dessa bägge bergarter inom Hedesundamassivet har tolkats utifrån den höga gradient, vilken framträder i figur 2-2. Av figuren framgår också att den magnetiskt tolkade kontakten sammanfaller väl med den som tolkats från tyngdkraftsdata. Den senare är dock mindre detaljerad beroende på att mätstationerna för tyngdkraften är relativt glest fördelade.



Figur 2-1. Vertikalderivata av magnetiska totalfältet. Högre magnetisering ger ljusare gråton.

Flygmagnetiska data har nyttjats för att tolka kontakten mellan Hedesundamassivet och omgivande metagranitoid (röd linje) samt mellan den granitiska till kvartsmonzonitiska bergarten respektive den porfyriska graniten inom Hedesundamassivet (grön linje).

Tidigare avgränsning av Hedesundamassivet anges med orange linje. Lila linje anger den tyngdkraftsgradient som indikerar gränsen mellan granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit, se även figur 2-2. Tolkade tyngdkraftsprofiler i ljusblått. Kandidatområdet Tierp norra avgränsas med en gul linje. Tolkade sprickzoner /Bergman m fl, 2000/ i blått. Större vägar i svart.



Figur 2-2. Maximal horisontalgradient av tyngdkraften. Kraftigare gradient ger ljusare gråton.

Tyngdkraftsgradienten (lila linje) indikerar kontakten mellan granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit inom Hedesundamassivet. Den magnetiskt tolkade kontakten (grön linje) sammanfaller väl med gravimetriska. Den senare är dock mindre detaljerad beroende på att mätstationerna för tyngdkraften är relativt glest fördelade (svarta +).

Magnetiskt tolkad kontakt mellan Hedesundamassivet och omgivande metagranitoid anges med röd linje. Tidigare avgränsning av Hedesundamassivet anges med orange linje. Kandidatområdet Tierp norra avgränsas med en gul linje. Tolkade sprickzoner /Bergman m fl, 2000/ i blått. Större vägar i svart.

2.2 Bearbetning och tolkning av VLF-data

Traditionell VLF-metodik har en stor potential när det gäller att studera spröd tektonik men användbarheten begränsas av att responsen är rikttningsberoende, vilket innebär att endast sprickzoner med en gynnsam strykriktning i förhållande till sändaren kan detekteras. Dessutom har det även saknats effektiva bearbetnings- och tolkningsmetoder. I förstudien har därför tolkningen av sprickzoner i första hand baserats på flygmagnetiska data och höjddata. VLF-data har huvudsakligen använts som kompletterande information.

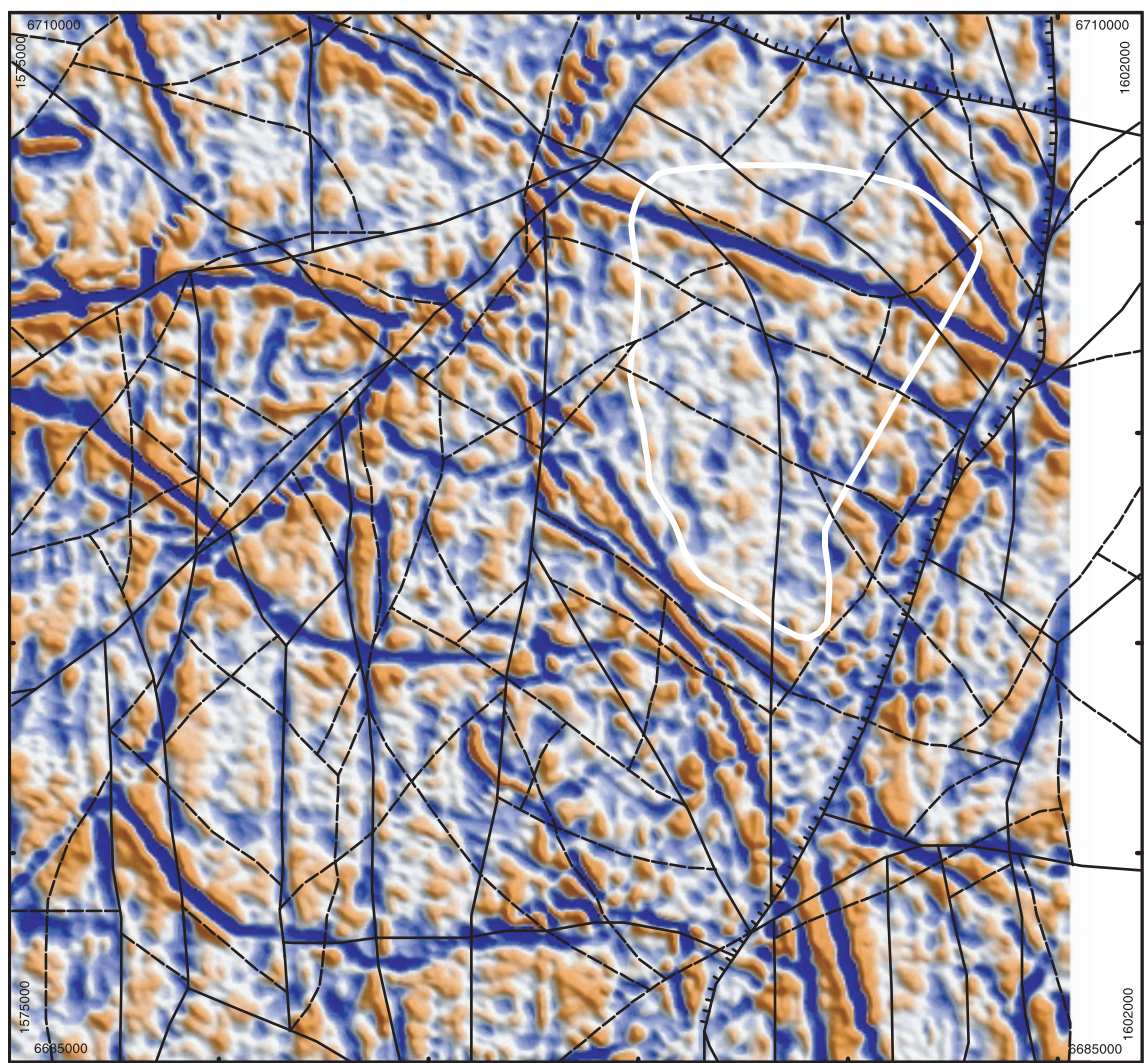
Numera uppmäts VLF-fältet från två sändare (tvåvägs VLF). Genom att använda två sändare där skillnaden i riktningen är minst 20 grader kan en rikttningsberoende respons beräknas, den sk Peaker responsen /Pedersen, 1994/. På senare tid har även olika metoder utvecklats för kvantitativ tolkning av VLF-data, dels en metod för beräkning av markens skenbara resistivitet /Becken, 2000/, dels en metod för två-dimensionell inversion av VLF-data längs utvalda flyglinjer /Siripunvaraporn och Egbert, 2000/. Metoderna håller för närvarande på att implementeras och testas vid SGU /Persson m fl, 2001/.

Eftersom tvåvägs VLF-data finns från det aktuella området har beräkning av peaker VLF gjorts. Därutöver har beräkning gjorts av markens skenbara resistivitet och slutligen har, längs ett antal profiler, inversion av data genomförts för att studera berggrundens resistivitet mot djupet.

Sprickzoner

Kartan i figur 2-3, peaker VLF (imaginär), visar ett stort antal långsträckta negativa (blå) anomalier. Flera av de kraftigaste anomalierna är förorsakade av kraftledning men dessa är vanligen enkla att identifiera. Övriga negativa anomalier indikerar sannolikt sprickzoner. I figuren redovisas också tidigare tolkade sprickzoner, huvudsakligen tolkade utifrån flygmagnetiska data och höjddata. Samstämmigheten mellan VLF-data och de tidigare tolkningarna är mycket god och några ytterligare regionala sprickzoner har inte framkommit. I några fall kan dock vissa modifieringar och kompletteringar av tolkningen vara motiverade men då måste dessa baseras inte enbart på VLF-data utan på en sammanvägning av all befintlig information.

I norra delen av kandidatområdet Tierp norra, som markerats på kartan (figur 2-3), uppträder en kraftig anomali i riktning VNV-OSO som orsakas av en kraftledning. Ytterligare en sådan anomali stryker i NV-SO-lig riktning just förbi det nordostligaste hörnet av området, men det finns också några anomalier vilka tolkas som orsakade av sprickzoner. Liksom inom hela det område som visas i figur 2-3, är även inom Tierp norra samstämmigheten med tidigare tolkningar god.



0 5
Kilometer

Fig 2-3. *Peaker VLF (imaginär). Lågresistiva zoner framträder med blå färg och orsakas i några fall av kraftledningarna men tolkas annars som orsakade av sprickzoner.*

Kandidatområdet Tierp norra visas med vit begränsningslinje. Tidigare tolkade sprickzoner i svart från /Bergman m fl, 2000/.

Skenbar resistivitet

Figur 2-4 visar en karta över skenbar resistivitet samt resultaten av utförd inversion längs fem profiler, P1–P5. Som framgår av kartan ligger kandidatområdet Tierp norra inom ett relativt sett högresistivt område (gult till rött på kartan). De ovan diskuterade sprickzonerna framkommer här som lågresistiva (blå) anomalier.

Söder om Tierp norra finns stora lågresistiva områden som orsakas av en välledande övertäckning i form av sand, grus, lera och silt. Inom sådana områden, liksom inom våtmarker, avspeglar kartan i första hand övertäckningens egenskaper och inte den underliggande berggrundens resistivitet. Några mindre områden med liknande egenskaper finns också inom Tierp norra.

Inversion

Med hjälp av inverteringsprogrammet Rebocc /Siripunvaraporn och Egbert, 2000/ har berggrundens resistivitet mot djupet studerats. Därigenom är det möjligt att skilja mellan lågresistiva områden orsakade av ett ledande övertäcke (till exempel lera) och lågresistiva zoner orsakade av sprickzoner i berggrunden med ett större djupgående. Inversionsprofilerna (figur 2-4) indikerar en homogen berggrund med få större sprickzoner. I den norra delen av P1–P4 framträder den tidigare nämnda kraftledningen tydligt. Ett fåtal andra ytliga anomalier tolkas som orsakade av välledande övertäckning. Profilen P5 ligger utanför Tierp norra och övertvåras där en sprickzon, vilken framträder som en tydlig struktur med markant djupgående. Inom Tierp norra finns tre anomalier av denna typ, en på P3 och två på P4. Anomalin strax söder om koordinat 4 000 på P3 och vid koordinat 5 000 på P4 sammanfaller med en tidigare tolkad sprickzon. Även den sydliga anomalin på P4 kan kopplas till en tidigare tolkad sprickzon.

Resultat

Tolkningen av VLF-data stöder den tolkning av sprickzoner som presenterats i tidigare utredningar inom ramen för förstudien av Tierps kommun. Kandidatområdet Tierp norra framstår som homogent och genomkorsas endast av ett fåtal tolkade regionala sprickzoner. Några ytterligare zoner, jämfört med tidigare tolkningar, har inte framkommit.

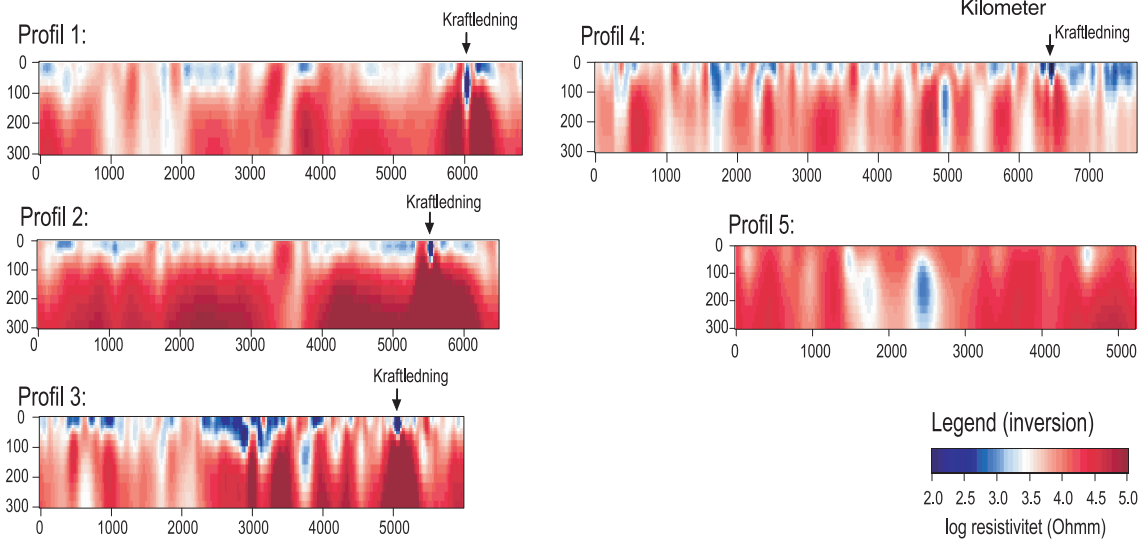
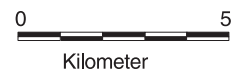
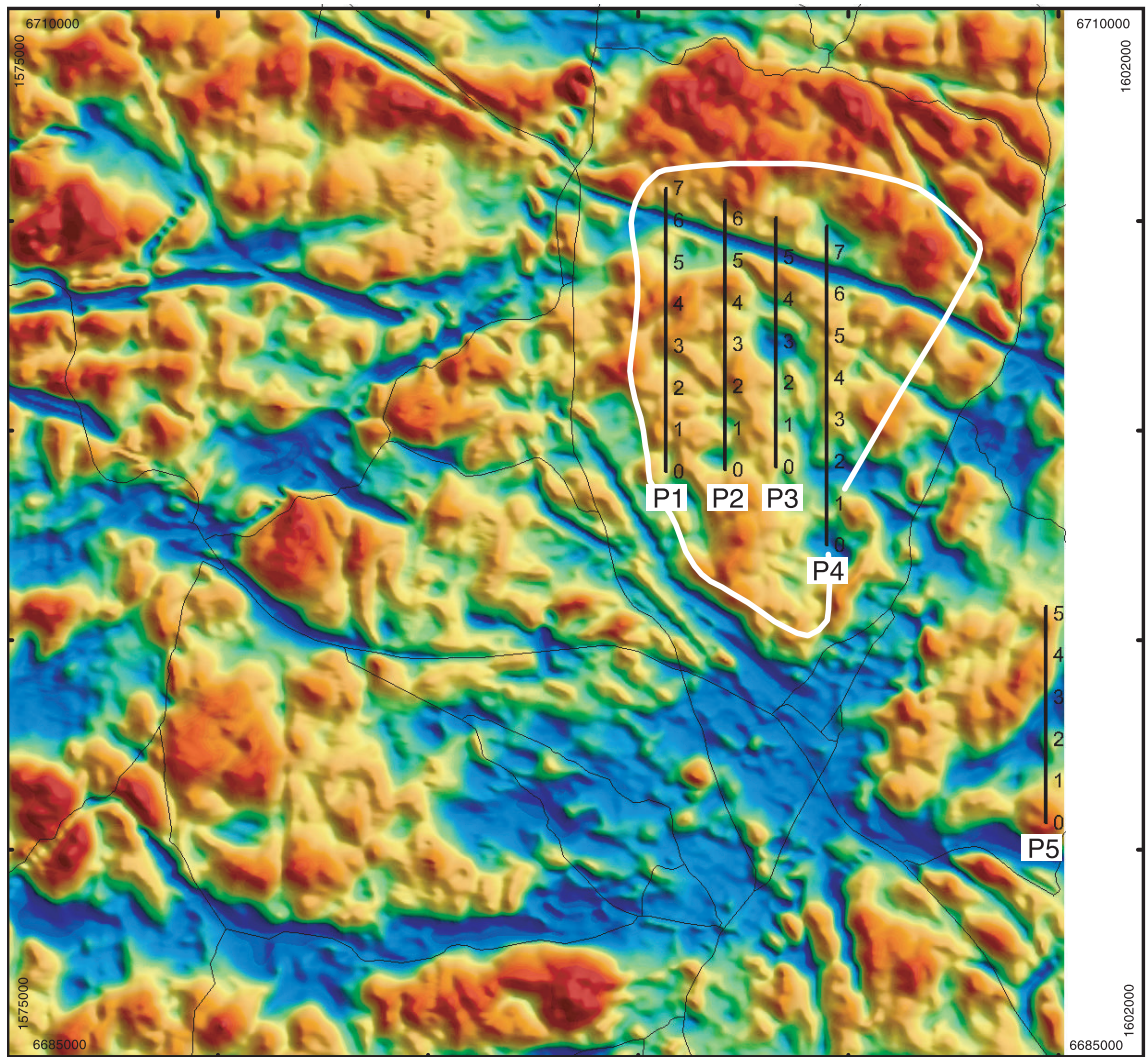
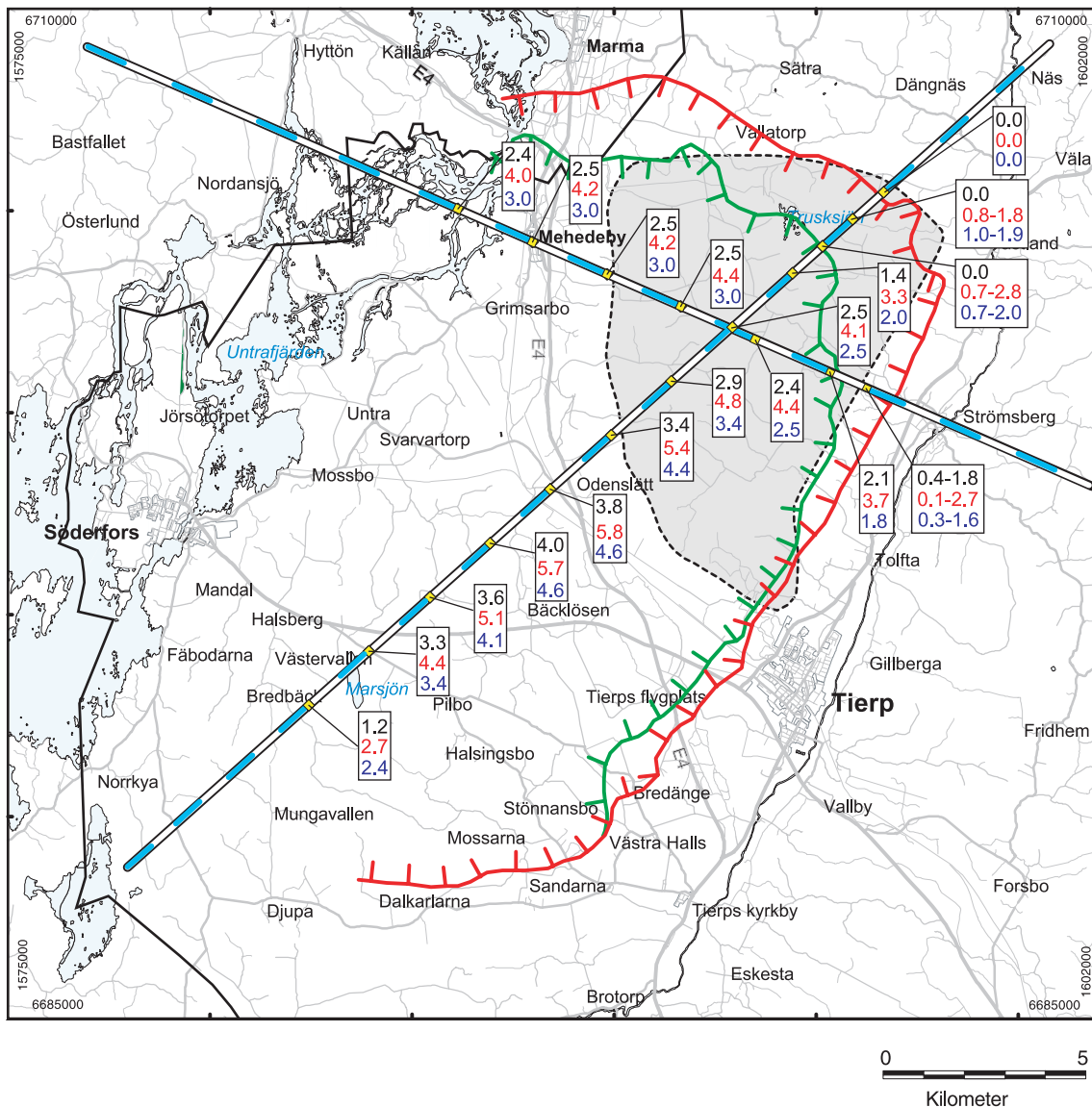


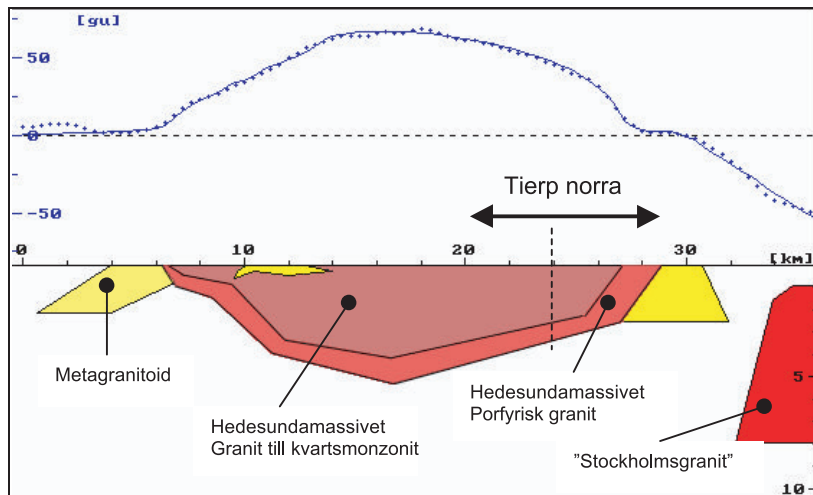
Fig 2-4. Skenbar resistivitet samt resultat av inversion längs fem profiler (P1–P5). Lågresistiva zoner och områden framträder med blå färg och högresistiva områden med gul till röd färg. Kandidatområdet Tierp norra visas med vit begränsningslinje.

2.3 Tyngdkraftsmodellering

Tyngdkraftsmodellering har utförts för att undersöka utfallet av några alternativa geologiska modeller. Arbetet har utgått från de resultat som tidigare redovisats i /Bergman m fl, 2000/. I denna rapport redovisades modellering längs en profil som löper över Hedesundamassivet i riktning SV-NO. Samma data har nu modellerats med två alternativa modeller. Modellering har också gjorts i en profil nära vinkelrätt (VNV-OSO) mot tidigare profil. Profilernas lägen framgår av figur 2-5 och resultatet av modelleringarna visas i figur 2-6 och 2-7.



Figur 2-5. Lägen av profiler längs vilka tyngdkraftsmodellering gjorts samt mäktigheten av bergarten med granit till kvartsmonzonitisk sammansättning längs de bägge profilerna. Svarta siffror representerar modell a (figur 2-6 a, 2-7 a), röda siffror modell b (figur 2-6 b, 2-7 b) och blå siffror modell c (figur 2-6 c, 2-7 c). Figuren visar också Hedesundamassivets tolkade avgränsning mot nordost (röd linje), gränsen mellan granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit (grön linje) samt kandidatområdet Tierp norra.

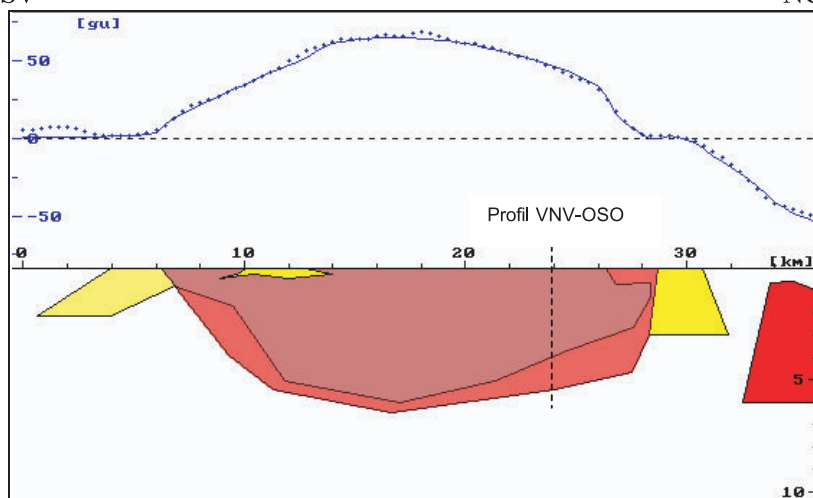


a) Modell tidigare presenterad i Bergman m fl (2000). Kännetecknas av en skålform där den underliggande porfyrisk graniten har samma densitet som bakgrunden (vita områden).

Granit till kvartsmonzonit:	2750 kg/m ³
Porfyrisk granit:	2690 kg/m ³
Metagranitoid:	2690-2710 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2690 kg/m ³

SV

NO

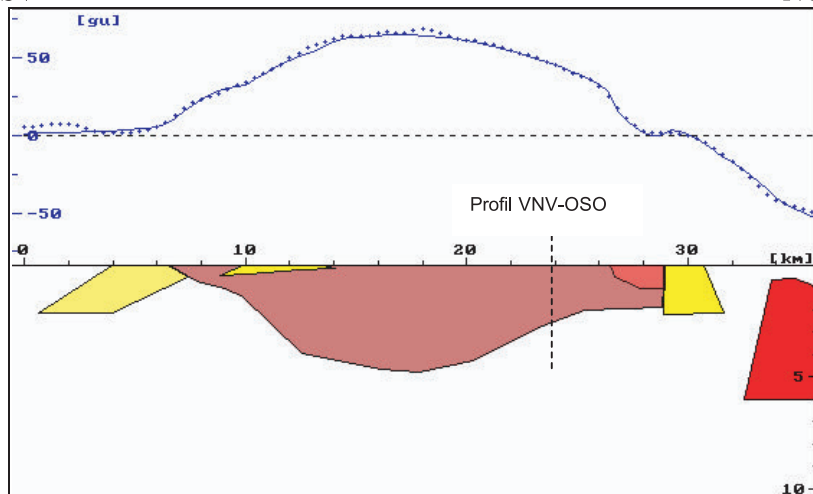


b) Modell där den underliggande granitens densitet har anpassats till de lokala förhållandena i området öster om Uppsalaåsen. Dess lägre densitet innebär att granit till kvartsmonzonitens tjocklek måste ökas för att samma tyngdkraftsanomali skall erhållas.

Granit till kvartsmonzonit:	2750 kg/m ³
Porfyrisk granit:	2665 kg/m ³
Metagranitoid:	2700 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2700 kg/m ³

SV

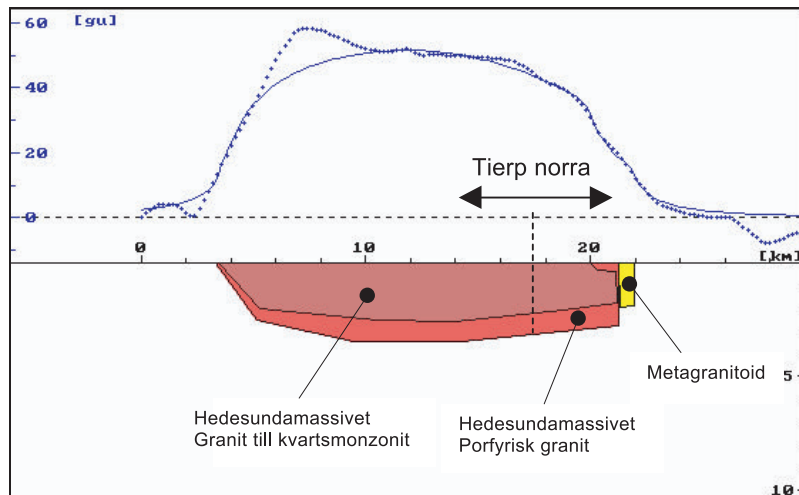
NO



c) Modell där graniten inte underlagrar granit till kvartsmonzoniten, utan i stället antas utgöra en i nu, i huvudsak, borteroderad ytlig fas av Hedessundamassivet.

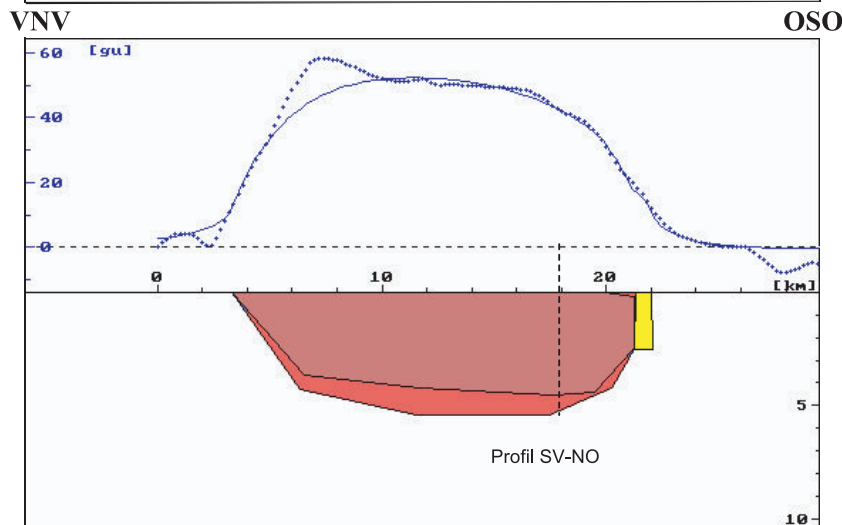
Monzonit:	2750 kg/m ³
Granit:	2665 kg/m ³
Metagranitoid:	2700 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2700 kg/m ³

Figur 2-6. Tre alternativa tyngdkraftsmodeller i en profil SV-NO, över Hedessundamassivet. Skärningspunkten med profilen VNV-OSO, figur 2-7, ligger vid längdkoordinat 24 km. Y-axeln redovisar en residualanomali av tyngdkraften i gu (gravity units). Punkterna redovisar den uppmätta tyngdkraften och den heldragna linjen den anomali som skulle erhållas från kropparna i modellen.



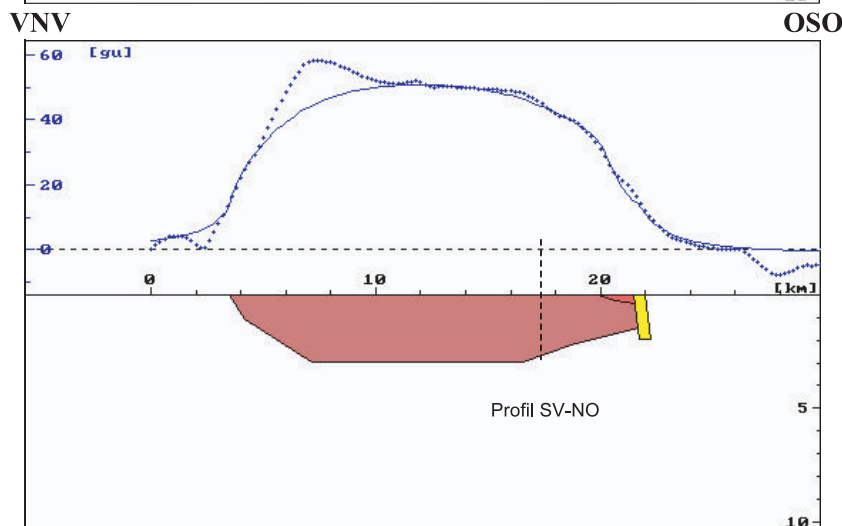
a) Modell tidigare presenterad i Bergman m (2000). Kännetecknas av en skålform där den liggande porfyrisk graniten har samma densitet som bakgrunden (vita områden).

Granit till kvartsmonzonit:	2750 kg/m ³
Porfyrisk granit:	2690 kg/m ³
Metagranitoid:	2690-2710 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2690 kg/m ³



b) Modell där den underliggande granitens densitet har anpassats till de lokala förhållandena i området öster om Uppsalaåsen. Dess lägre densitet innebär att granit till kvartsmonzonitens tjocklek måste ökas för att samma tyngdkraftsanomali skall erhållas.

Granit till kvartsmonzonit:	2750 kg/m ³
Porfyrisk granit:	2665 kg/m ³
Metagranitoid:	2700 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2700 kg/m ³



c) Modell där graniten inte underlagrar granit till kvartsmonzoniten, utan i stället antas utgöra en i nu, i huvudsak, borteroderad yttlig fas av Hedesundamassivet.

Monzonit:	2750 kg/m ³
Granit:	2665 kg/m ³
Metagranitoid:	2700 kg/m ³
Stockholmsgranit:	2650 kg/m ³
Bakgrund:	2700 kg/m ³

Figur 2-7. Tre alternativa tyngdkraftsmodeller i en profil VNV-OSO, över Hedesundamassivet. Skärningspunkten med profilen SV-NO, figur 2-6, ligger vid längdkoordinat 17,4 km. Y-axeln redovisar en residualanomali av tyngdkraften i gu (gravity units). Punkterna redovisar den uppmätta tyngdkraften och den heldragna linjen den anomali som skulle erhållas från kropparna i modellen.

Arbetet har i huvudsak inriktats på att modellera mäktigheten av Hedesundamassivets hornbländerika, granit till kvartsmonzonitiska bergartsled som har en tydligt avvikande densitet mot omgivningen. Notera att ett lokalt tyngdkraftsmaximum vid längdkoordinat cirka 6 km i den VNV-OSO-liga profilen (figur 2-7) inte har modellerats. Anomalin antas vara orsakad av en mindre gabbrokropp söder om Hyttön i Älvkarleby kommun och påverkar inte förhållandena inom kandidatområdet Tierp norra.

Ursprungsmodell

Modellen i /Bergman m fl, 2000/ kännetecknas av en skålform där den underliggande, porfyriska graniten antagits ha samma densitet som bakgrunden, se figur 2-6 a. Detta innebär att tjockleken på graniten inte påverkar tyngdkraftsanomalin från modellen. I modellen är granitens tjocklek konstant och har uppskattats utifrån observationer i ytan samt andra geofysiska data. Inom Tierp norra uppskattas mäktigheten av den granit till kvartsmonzonitiska bergarten till 3,4 km i SV (längdkoordinat 20 km), 1,4 km vid längdkoordinat 26 km för att sedan snabbt avta till 0 km vid längdkoordinat 27 km, se figur 2-6 a.

Samma modell har anpassats till tyngdkraftsanomalin i en VNV-OSO-lig profil, se figur 2-7 a. Resultaten här indikerar att bergarten med granitisk till kvartsmonzonitisk sammansättning är relativt jämntjock i denna riktning, med en mäktighet omkring 2,5 km. Längst i OSO, från längdkoordinat 20 km, antas den porfyriska graniten överlagra granit till kvartsmonzoniten. Kontakten mot metagranitoiden, vid längdkoordinat cirka 21 km, uppskattas vara brant.

Ursprungsmodell med ändrade densiteter

Medeldensiteten för den porfyriska graniten inom hela Hedesundamassivet beräknades i tidigare arbeten till 2 690 kg/m³. Den utförda provtagningen visar dock på att det, med avseende på densitet, förekommer åtminstone två olika populationer. En population av graniten utgörs av fyra prover i området Tierp norra, vilka uppvisar en genomsnittlig densitet på 2 665 kg/m³. Denna densitet har därför använts i en alternativ modell. I och med att den underliggande granitens densitet då minskar krävs att mäktigheten av bergarten med granit till kvartsmonzonitisk sammansättning ökar om modellen skall ge upphov till samma tyngdkraftsanomali, se figur 2-6 b. Mäktigheten uppskattas till 5,4 km i SV (längdkoordinat 20 km) för att successivt avta till 3,3 km vid längdkoordinat 26 km. För att erhålla en bra anpassning i denna modell antas granit till kvartsmonzoniten underlagra den porfyriska graniten från längdkoordinat 26,5 km.

När modellen anpassas till tyngdkraftsanomalin i den VNV-OSO-liga profilen, se figur 2-7 b, indikeras att granit till kvartsmonzoniten är relativt jämntjock i denna riktning, med en mäktighet omkring 4,2 km. Längst i OSO, från längdkoordinat 20 km, antas en relativt tunn porfyrisk granit överlagra granit till kvartsmonzoniten, vilken mot djupet fortfarande har en betydande mäktighet.

Modell utan underlagrande porfyrisk granit

Denna modell utgår ifrån att den porfyriska graniten inte underlagrar granit till kvartsmonzoniten, utan antas i stället utgöra en, i huvudsak, borteroderad ytlig fas av Hedesundamassivet, se figur 2-6 c. Samma densiteter har använts som i föregående modell. Modelleringen har gjorts för att studera hur en alternativ tolkning av berg-

arternas uppträdande mot djupet påverkar förutsättningarna för ett djupförvar. Det föreligger för närvarande ingen information som gör den ena eller andra modellen mera sannolik.

Granit till kvartsmonzonitens mäktighet uppskattas till 4,4 km i SV (längdkoordinat 20 km) och den avtar successivt till 2,0 km vid längdkoordinat 26 km. Också i denna modell antas granit till kvartsmonzoniten underlagra den porfyrisk graniten från längdkoordinat 26,5 km (från ca 1–2 km djup), se figur 2-6 c.

När modellen anpassas till tyngdkraftanomalin i den VNV-OSO-liga profilen, se figur 2-7 c, indikeras även här att granit till kvartsmonzoniten är relativt jämntjock i denna riktning, med en mäktighet omkring 3,0 km fram till längdkoordinat 17 km. Därefter avtar dock djupet successivt till ca 1,5 km vid 21 km. Från längdkoordinat 20 km, antas bergarten överlagras av en tunn, porfyrisk granit.

Mäktigheten av den hornbländerika granit till kvartsmonzoniten – sammanfattande resultat

Resultaten av de olika modelleringarna har sammanställts i figur 2-5. Figuren redovisar mäktigheten (djupgåendet) av granit till kvartsmonzoniten längs de bågiga profilerna.

Oavsett vilken av de olika modellerna (figur 2-6 och 2-7) som beaktas, är granit till kvartsmonzonitens tolkade mäktighet i de centrala delarna av kandidatområdet Tierp norra större än 2 km och uppgår i vissa delar till nästan 6 km. Ett djupförvar, som planeras ligga på cirka 500 m djup, skulle därmed med god marginal omges av minst 500 m av denna bergart i alla riktningar. Mot nordost avtar dock mäktigheten och Hedesundamassivets randzon består där av porfyrisk granit, även om granit till kvartsmonzonit kan förekomma mot djupet.

En modellering av denna typ, baserad på ett relativt glest nät av tyngdkraftsmätningar och på ett fåtal densitetsbestämningar, är alltid behäftad med en viss osäkerhet och då särskilt i de perifera delarna. Utifrån befintlig information kan dock konstateras att den hornbländeförande granit till kvartsmonzoniten i Hedesundamassivets centrala delar sannolikt har ett stort djupgående. Noteras kan också att i /Bergman m fl, 2000/ presenterades en känslighetsanalys där ett minimidjup på ca 1 km erhöles i det aktuella området om extrema densitetsvärden antogs.

3 Resultat

De kompletterande arbeten som gjorts har givit följande resultat:

- Baserat på flygmagnetiska data och tyngdkraftsdata har Hedesundamassivets avgränsning tolkats mer i detalj, vilket resulterat i ett förslag till modifiering av den berggrundsgeologiska kartan. Vidare har gränsen mellan hornbländerik granit till kvartsmonzonit och porfyrisk granit definierats.
- Tolkningen av VLF-data stöder den tolkning av sprickzoner som presenterats i tidigare utredningar och inga ytterligare zoner har framkommit. Området bedöms vara homogent och genomkorsas endast av ett fåtal tolkade regionala sprickzoner.
- Enligt tyngdkraftsmodelleringen är granit till kvartsmonzonitens mäktighet i de centrala delarna av kandidatområdet Tierp norra större än 2 km, i vissa delar nästan 6 km. Mot nordost avtar dock mäktigheten och Hedesundamassivets randzon består där av porfyrisk granit, även om granit till kvartsmonzonit kan förekomma mot djupet.

Slutligen bör påpekas att, även om VLF-data bearbetats med ny teknik, baseras det nu presenterade arbetet på samma underlag som tidigare utredningar. Det är därför inte möjligt att ytterligare avgränsa områden som är mer lämpliga eller eventuellt olämpliga för ett djupförvar. Därtill krävs de mycket omfattande undersökningar, inklusive borrhning, som utgör själva platsundersökningen.

Referenser

- Becken M, 2000.** Interpretation of Magnetic Transfer Functions from Airborne Tensor-VLF Measurements. Diploma Thesis. Technical University of Berlin.
- Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Lindén A, Lindroos H, Rudmark L, Stephens M, 1999.** Förstudie Tierp. Jordarter, bergarter och deformationszoner, 1–119. SKB R-99-53, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Bergman T, Isaksson H, Johansson R, Stephens M, Wahlroos J-E, 2000.** Förstudie av Tierps kommun och Älvkarleby kommun. Fältkontroll av berggrunden inom potentiellt gynnsamma områden samt tyngdkraftsmodellering, 1–56. SKB R-00-47, Svensk Kärnbränslehantering AB.
- Ekström M, 2001.** Bergartsbestämning och mineralogisk beskrivning av fem prover. SGAB Analytica Rapport X0100156.
- Pedersen L B, Qian W, Dynesius L, Zhang P, 1994.** An airborne tensor VLF system. From concept to realization. *Geophysical Prospecting*, 42, 863–883.
- Persson L, Daniels J, Kero L, Hagthorpe P, Byström S, 2001.** Utveckling av tolkningsmetoder för VLF-data. Sveriges geologiska undersökning (under arbete).
- Siripunvaraporn W, Egbert G, 2000.** An efficient data-subspace inversion method for 2-D magnetotelluric data. *Geophysics*, 65, 791–803.
- SKB, 2000.** Samlad redovisning av metod, platsval och program inför platsundersökningsskedet, 1–257. Svensk Kärnbränslehantering AB.