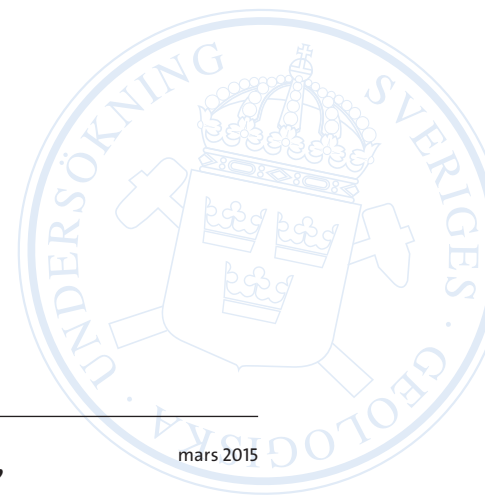


BARENTSPROJEKTET 2014

Audiomagnetotelluriska (AMT) mätningar i Kiruna- och Lannavara- området, preliminära resultat

Mehrdad Bastani, Ildikó Antal Lundin, Alexandross Savvaidis,
Jochen Kamm & Shunguo Wang



SGU-rapport 2015:10



SGU

Sveriges geologiska undersökning
Geological Survey of Sweden

Omslagsbild: AMT-station A15 norr om Svappavaara.
Extrageofysiker Alexandros Savvaidis kontrollerar
signalen. Foto: Mehrdad Bastani.

Sveriges geologiska undersökning
Box 670, 751 28 Uppsala
tel: 018-17 90 00
fax: 018-17 92 10
e-post: sgu@sgu.se
www.sgu.se

INNEHÅLL

Abstract	5
Sammanfattning	6
Mätutförande	7
Exempel på AMT-data	7
Preliminära resultat från 2D-modellering av AMT-data	8
Område A	10
Område B	13
Återstående arbetete	15
Slutsatser	16
Referenser	16

ABSTRACT

The main goal of the Barents project is to provide modern information about the bedrock in northernmost Sweden, thus supporting the mining and exploration industry in the region.

During the summer of 2014, SGU carried out magnetotelluric (MT) measurements at two areas in northern Norrbotten with the aim to model the variation of electrical resistivity of the upper crustal structure. The resistivity model will later be used together with the models from gravity and magnetic field data for a combined interpretation of the most important geological features. This will lead to a more accurate model of bedrock contacts, deep-seated mineralised zones as well as deformation zones. The first area (A) is located north-east of the city of Kiruna and most of the MT stations are located along a reflection seismic profile measured by SGU in the summer of 2012 (Juhojuntti et al. 2013). In the second area (B), the measured profile is nearly 12 km long with nine stations located close to Lannavaara village.

According to Juhojuntti et al. (2014) the upper crust around Kiruna is largely composed of various supracrustal units dominated by metabasalts, felsic metavolcanic rocks and clastic meta-sedimentary rocks. These rocks rest on an Archean metagranitoid complex. All of these units have been intruded by plutonic rocks, and to variable degrees folded, sheared and metamorphosed, during the Svecokarelian orogeny.

We used three sets of MTU2000 instruments that have been developed at Uppsala University. The collected MT signals cover a wide frequency band from 10^{-2} to 300 Hz. The recording at each station takes 24 h and the higher frequency signal is recorded overnight to gain a better data quality. Hereafter, the higher frequency (night recording) data are called audio magnetotelluric (AMT) data. In area A we have collected data at a total number of 30 MT stations, and in collaboration with Oulo University we received data from six stations measured during summer of 2012 (see Cherevatova et al. 2014a, 2014b).

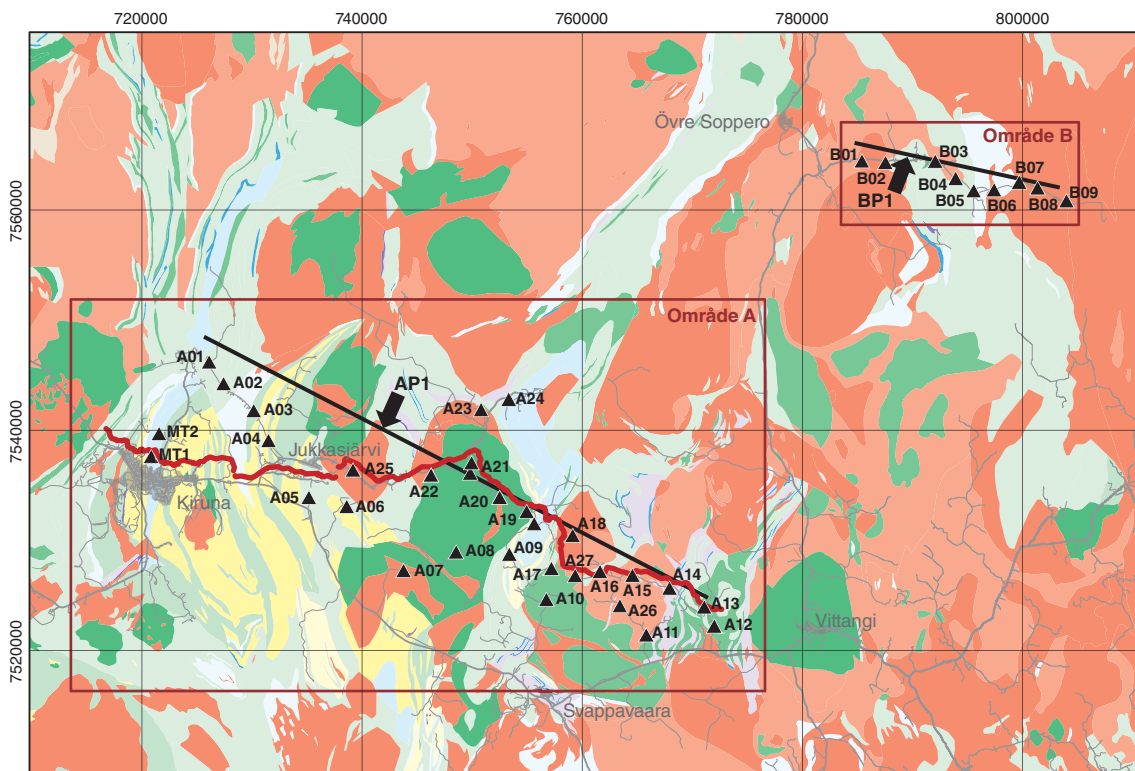
The preliminary 2D modelling of the AMT data along two selected directions (one in area A and one in B) images the variation of the electrical resistivity down to a depth of 30 km. The profile in area A is ca 52 km long and starts 1.5 km east of Kurravaara village and ends at 8.5 km west of Vittangi community. There are three distinct highly resistive structures that most probably represent crystalline rocks such as granitic and gabbroic intrusions and volcanic units. The resistive features at some places continue down to a depth of about 20 km. Along the same profile, low resistivity zones appear at the location of the metasedimentary rocks (greywackes). According to the bedrock geology map, these rocks host low resistive graphitic schist beds. The 2D resistivity model along the selected profile in area B shows a highly conductive feature (~ 1 ohmm) that reaches depths greater than 5 km. The preliminary model shows that this anomaly can be caused by either the graphite layer within the metasedimentary rocks that cross the profile or highly conductive sulphide mineralised zones that are found in other parts of the area. SGU has recently organised and funded AGG (Airborne gravity gradient) and airborne VTEM (Versatile time domain electromagnetic) measurements. The VTEM data will be presented in a separate report. An integrated modelling of the VTEM and AGG data together with magnetic and MT data may reveal more details about this zone.

SAMMANFATTNING

Målet med Barentsprojektet är att ta fram ny, modern berggrundsgeologisk, geofysisk och geo-kemisk information i de nordligaste delarna av Sverige för att därigenom stödja gruv- och pro-spekteringsindustrin i regionen.

Under sommaren 2014 har SGU utfört magnetotelluriska (MT) mätningar i två områden, A och B, som ligger i norra Norrbotten och där berggrundgeologiska undersökningar pågår inom nyckelområdena Kiruna-Jukkasjärvi och Nunasvaara (fig. 1). Det främsta syftet med MT-mätningarna har varit att bättre förstå den övre jordskorpans struktur i de utvalda områdena genom att t.ex. modellera variationen av den elektriska resistiviteten på djupet. Resistivitetsmodellen kommer senare att användas tillsammans med modeller från tyngdkraftsdata och magnetfältsdata för en kombinerad tolkning av de viktigaste geologiska enheterna inom undersökningsområdet. Detta kan leda till en mer exakt modell av berggrundsensheternas utbredning på djupet, kontakter, eventuella djupt liggande mineraliserade zoner samt deformationszoners utbredning. Mätområde A börjar nordost om Kiruna och de flesta MT-stationer ligger längs den reflexionsseismiska profilen som mättes av SGU under sommaren 2012 (Juhojuntti m.fl. 2013). I område B är den uppmätta profilen nästan 12 km lång med sammanlagt nio mätstationer nära Lannavaara. En sammanfattning av Kirunaområdets berggrund finns i Juhojuntti m.fl. (2014).

Enligt Juhojuntti m.fl. (2014) består den övre skorpan runt Kiruna till stor del av olika suprakrustala enheter som domineras av metabasalter, sura metavulkaniter och klastiska meta-sedimentära bergarter. Dessa bergarter vilar på arkeiska metagranitoider och har intruderats av



Figur 1. Regional berggrundsgeologisk karta över mätområdet (Bergman m.fl. 2000). Rhyolitiska till dacitiska metavulkaniter är markerade i gult, olika typer av granitiska bergarter i rött till brunt, gabbroider–dioritoder med klar grön färg, metavulkaniter med huvudsakligen basisk sammansättning visas med ljusgröna nyanser (exempelvis vid profilens östra ände) och metasedimentära bergarter med ljusblå nyanser. Den röda linjen visar den seismiska profilens sträckning. Svarta trianglar markerar lägen av MT-stationer. De svarta linjerna markerade med AP1 och BP1 indikerar projektionsytor för 2D-modellering av AMT-data i område A respektive i område B.

yngre djupbergarter och, i varierande grad, veckats, skjuvats och metamorfoserats under den svekokarelska orogensen.

I område A har vi samlat in data från sammanlagt 30 MT-stationer och som en följd av tidigare samarbete med Oulo Universitet har vi fått data från ytterligare sex stationer som mättes 2012 (se Cherevatova m.fl. 2014a, 2014b). I den här rapporten presenterar vi resultaten från en 2D-modellering av erhållna data och i ett senare skede kommer data att modelleras i 3D i samarbete med Uppsala universitet. Resultaten ska sedan jämföras med resultat från den reflexionsseismiska profilen. I område B, har MT-data samlats in från nio stationer och resultaten kommer främst att presenteras som en resistivitetsmodell i 2D längs en profil. Inom ramen för Barentsprojektet har SGU år 2013 finansierat luftburna tyngdkraftsmätningar (AGG) och luftburna tidsdomän elektromagnetiska mätningar (VTEM). Mätområdet för flygmätningar sammanfaller delvis med MT-profilen vilket ger en unik möjlighet till integrerad modellering och tolkning av de olika datamängderna.

Preliminär 2D-modellering av AMT-data längs två valda profiler (AP1 och BP1) visar variationen i elektrisk resistivitet ned till ett djup av 30 km. Profilen i område A är ca 52 km lång och startar 1,5 km öster om Kurravaara by och slutar 8,5 km väster om Vittangi (markerad som AP1 i figur 1). Det finns tre distinkta högresistiva strukturer som sannolikt motsvarar kristallina bergarter, t.ex. granit- eller gabbrointrusioner, och vulkaniska enheter. På vissa ställen fortsätter de mer resistiva enheterna ner till ett djup av ca 20 km. Längs samma profil uppträder lågresistiva zoner i områden där metasedimentära bergarter finns på berggrundskartan. Grafitkiffrar som har låg resistivitet förekommer också bland de sedimentära bergarterna. Den tvådimensionella resistivitetsmodellen längs den valda profilen i område B (BP1 i figur 1) visar ett område med mycket låg resistivitet (ungefär 1 ohmm) som fortsätter ner till ett djup större än 5 km. Den preliminära modellen visar att denna anomali antingen orsakas av grafitkiffrar inom de metasedimentära bergarterna som korsar profilen eller av högkonduktiva sulfidmineraliserade zoner som förekommer i andra delar av området. En integrerad modellering av VTEM- och AGG-data tillsammans med magnetfält och MT-data skulle kunna avslöja mer detaljer om denna zon.

MÄTUTFÖRANDE

Vi använde tre instrument av typen MTU2000 vilka har utvecklats vid Uppsala universitet för MT-mätningar. Fältarbetet tog två tiodagarsperioder och vi samlade in MT-signaler från 40 stationer. Mehrdad Bastani tillsammans med extrageofysiker Alexandros Savvaidis (från ITSAK, Grekland), Jochen Kamm (postdoktor Uppsala universitet), Shunguo Wang (doktorand, Uppsala universitet) och Dennis Kulke (examensarbetare, Berlin universitet och extrageofysiker från LKAB) deltog i fältarbetet. Generellt uppmäts det elektriska fältet (två horisontella komponenter) och magnetfältet (tre komponenter) samtidigt och sedan beräknas den elektriska resistiviteten vid olika frekvenser (fig. 2). De insamlade MT-signalerna täcker ett brett frekvensband från 10^{-2} upp till 300 Hz. Inspelningen vid varje station tar 24 timmar och signalen i det högre frekvensbandet registreras över natten för att få en bättre datakvalitet. Signalen från de högre frekvenserna kallas för audiomagnetotellurik (AMT).

EXEMPEL PÅ AMT-DATA

För processering av data har vi använt det program som Smirnov (2003) har utvecklat. Den naturliga elektromagnetiska signalen registrerades under 24 timmar på oftast tre stationer samtidigt. Data samlades med två olika frekvenser, nämligen 20 Hz och 1000 Hz. Mätningar med den högre frekvensen genomfördes mellan kl. 00:00 och 02:00 på natten för att få ett bättre förhållande mellan signal och brus. Vi har använt en robust teknik, den s.k. Remote Reference-tekniken för att bearbeta AMT data. Med denna metodik filtreras de delar av data bort som



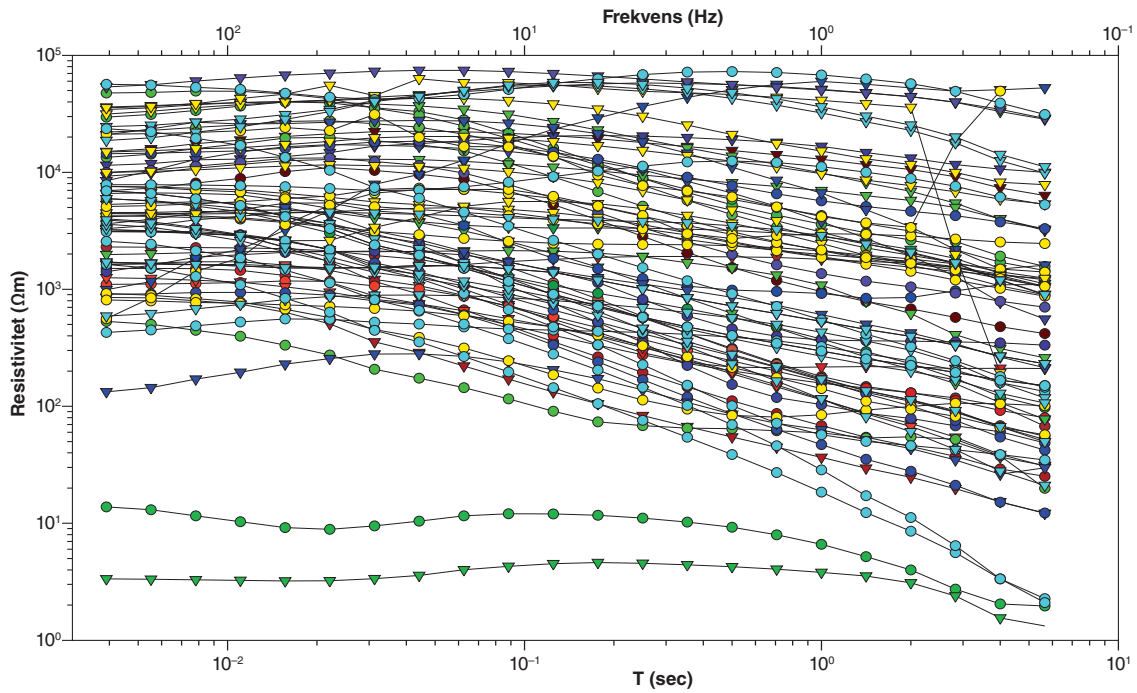
Figur 2. Fotografier från fältarbetet. **A.** Inställning av instrument. **B–C.** Extrageofysiker som har varit inblandade i fältarbetet. **D.** Magnetiska sensorer. **E.** Elektriska sensorer för MT mätningar. Foto: Mehrdad Bastani.

påverkas av lokala elektromagnetiska störningar. Normalt presenteras rådata i form av en variation i elektrisk resistivitet kontra frekvens eller period. I figur 3 visar vi de bearbetade data i AMT-frekvensbandet (2–250 Hz) samt de högsta frekvenserna i MT-bandet (0,2–2 Hz) för alla stationer utom MT1 och MT2 som ligger närmare Kiruna. Generellt är datakvaliteten mycket bra och stabil. För stationer som ligger närmast Kiruna är kvaliteten sämre och där ökar elektromagnetiska störningar markant. I figur 4 visas bearbetade data från stationerna MT1 & MT2. De större datafelen i det lägre frekvensområdet kan orsakas av närliggande störningskällor.

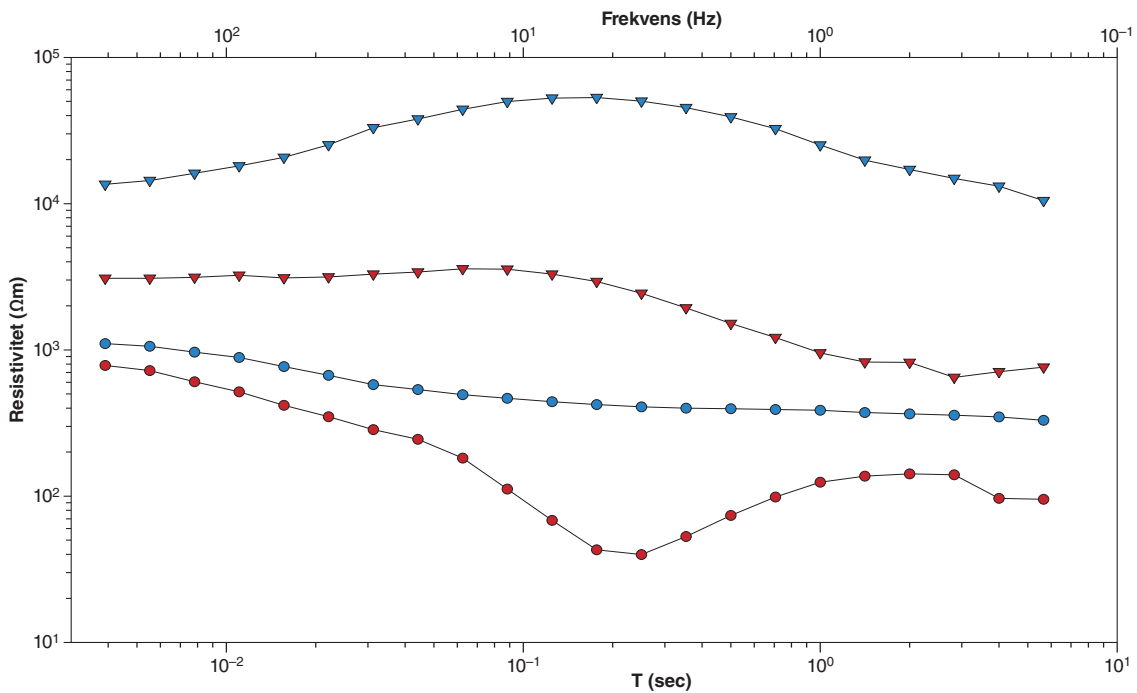
PRELIMINÄRA RESULTAT FRÅN 2D-MODELLERING AV AMT-DATA

Vi har uppmätt AMT-signalen inom två områden, nämligen A och B (se figur 1). I område A användes 30 stationer och i området B mättes på 9 stationer. Lägena för AMT-stationerna i område A är utvalda för att kunna genomföra 2D- och 3D-modellering och för att vara så nära som möjligt till den tidigare mätta reflexionsseismiska profilen för att kunna använda resultaten från dessa data i våra modelleringar. För den preliminära 2D-modelleringen i område A har vi valt en profillinje AP1 och använt AMT-data från de 19 mest närliggande AMT-stationerna. Profilen är ca 52 km lång och sträcker sig mellan station A01 i väst och station A12 i öst.

I område B har data från alla 9 AMT-stationer längs en 18 km lång profil använts för 2D-modelleringen. I figur 4 och 5 visar vi läget av profilerna (AP1 i område A och BP1 i område B) tillsammans med magnetfältsdata och bougueranomalidata.

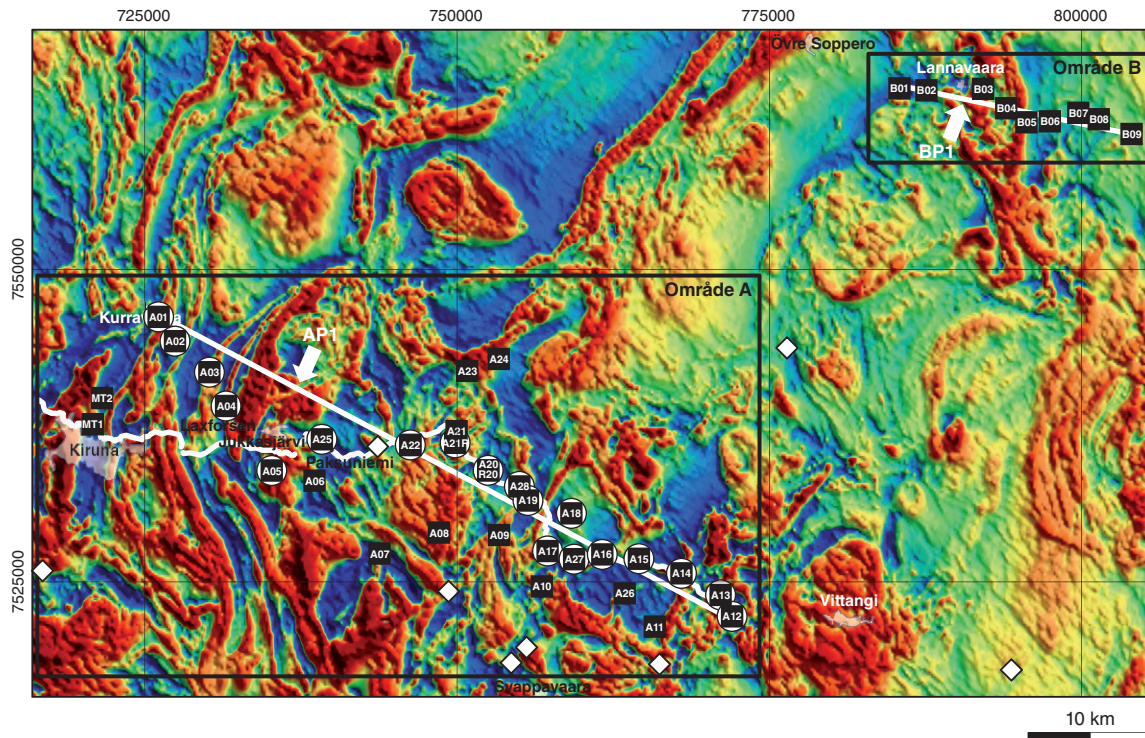


Figur 3. Bearbetade AMT- & MT-data från årets mätningar, utom stationerna MT1 och MT2.



Figur 4. Bearbetade AMT- & MT-data från stationerna MT1 och MT2. Stora datafel på lägre frekvenser tyder på att data kan vara påverkade av närliggande brusällor. Stationen MT1 ligger nära Kiruna och har sämre datakvalitet.

Vi har använt programmet REBOCC (Siripounvaraporn & Egbert 2000) för att utföra 2D-modelleringen av AMT-data längs profilerna AP1 och BP1. I programmet finns flera valmöjligheter för modellering (inversion) och olika parametrar kan justeras för att få den bästa anpassningen till data.



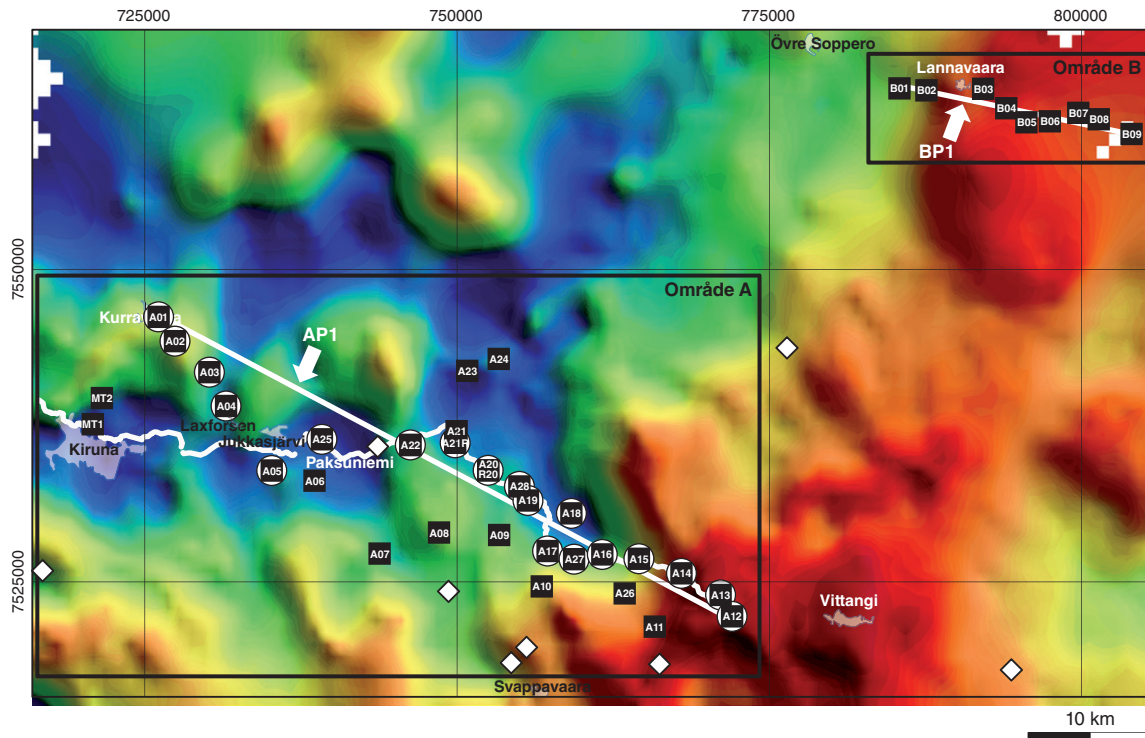
Figur 5. Lägen för AMT-stationer och de utvalda profilerna i område A (AP1) och område B (BP1). Den vita linjen (AP1) i område A markerar profilen för 2D-modelleringen. Svarta kvadrater inuti vita runda symboler markerar utvalda AMT-stationer för modelleringen. Den vita linjen i område B markerar läget för profil BP1. Vita diamanter visar lägen av de MT-stationer som mätts av Oulo universitet och som är tillgängliga för att använda i en 3D-modellering. Bakgrundskartan visar variationen av magnetfältsanomalin.

Område A

Den tvådimensionella resistivitetsmodellen från inversion av AMT-data längs profil AP1 (fig. 7) uppvisar en mycket stor variation i de beräknade resistiviteter (10–100 000 ohmm). Stationernas läge har projicerats på profillinjen AP1 och avstånden mellan stationerna i modellen skiljer sig från den som visas på magnetfältsanomalikartan (fig. 5), bougueranomalikartan (fig. 6) och berggrundskartan (fig. 1). Modellen kan användas för att urskilja och klassificera olika geologiska enheter och strukturer, och för att ge en uppfattning av deras geometri. Man bör notera att de horisontella och vertikala skalorna inte är lika utan förhåller sig som 1:3 i modellen. Detta måste beaktas vid analys av geometrin av olika strukturer i modellen.

Modellen beskrivs här från nordväst mot sydost. Vid intervallet mellan stationerna A01 och A03 (se fig. 7) uppträder en nästan 5 km bred brantstående zon med låg resistivitet (resistivitet lägre än 1000 ohmm). Zonens sydöstra gräns (vid station A03) sammanfaller med kontakten mellan de kvartsfältspatrika sedimentära bergarterna (sandsten, gråvacka m.m.) och de sura vulkaniska bergarterna (ryolit, dacit, etc.) som visas på den regionala berggrundskartan (fig. 7). En mer konduktiv struktur finns i samma zon (mellan stationerna A01 och A03) på ca 1,5 km djup och den stupar mot nordväst. Enligt uppgifter ur SGUs mineralresursdatabas har sulfidmineraliseringar påträffats på Kallosalmi (2 km söder om station A02) och Kaperasjärvi (3 km sydväst om station A03).

En mycket resistiv zon (mellan 10 000 och 100 000 ohmm) finns mellan stationerna A03 och A05. Detta område har karterats som ultrabasiska och sura vulkaniska bergarter (fig. 7) och

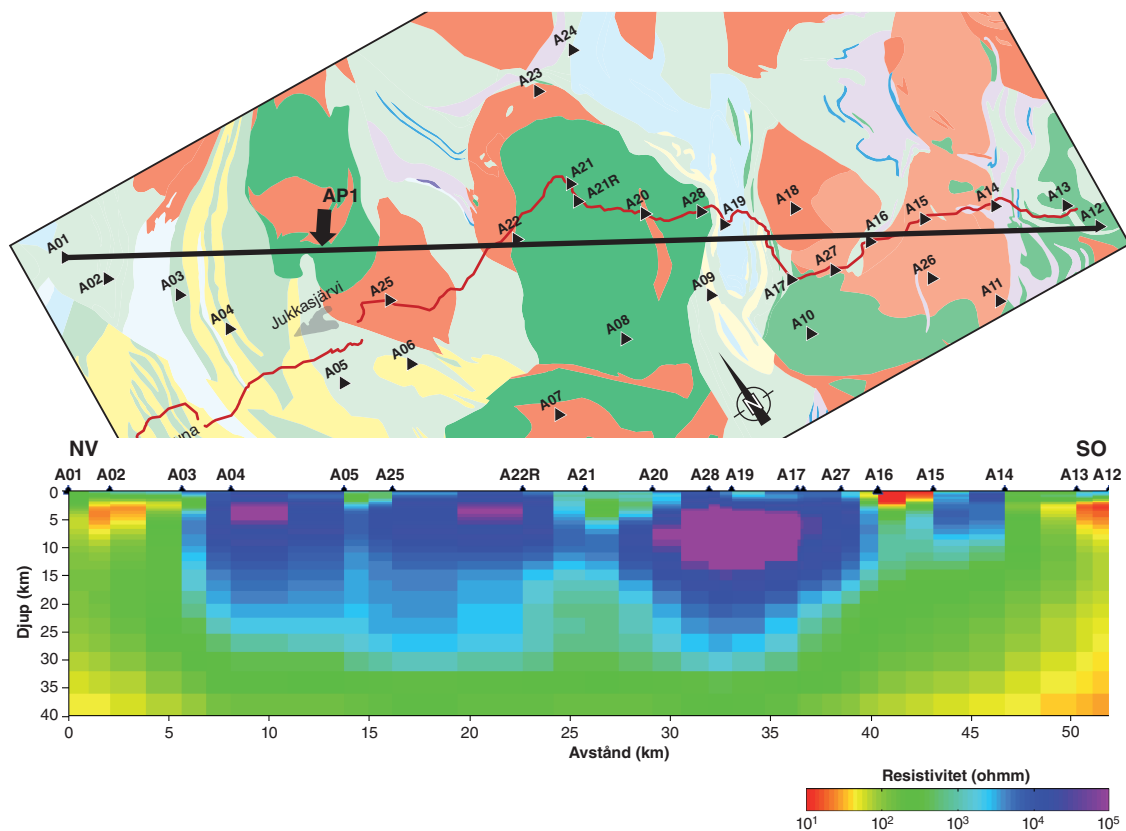


Figur 6. Lägen för AMT-stationer och de utvalda profilerna i område A (AP1) och område B (BP1). Bakgrundskartan visar variationen i bougueranomalin. Övriga symboler som i figur 5.

dessa är sannolikt mycket resistiva. Modellen visar att denna zon kan sträcka sig till ett djup som är större än 10 km. Mellan stationerna A05 och A25 följer en zon med lägre resistivitet än de omgivande delarna. Detta lågresistiva område korrelerar väl med det lågmagnetiska område som kan ses på magnetfältskartan, och här har också en nordvästligt strykande, spröd deformationszon markerats på berggrundskartan (tolkningen är baserad på SGUs flygburna magnetfältsdata).

Intervallet mellan stationerna A25, A22R och A21 domineras av en zon med betydligt högre resistivitet (upp till 100 000 ohmm) som har ett djupgående av ca 15 km. På berggrundskartan (fig. 1) motsvarar denna zon ett område med ultrabasiska vulkaniter samt granitiska och basiska intrusiva bergarter (t.ex. gabbro). Det bör nämnas att på berggrundskartan finns en 30 km lång, spröd deformationszon markerad vilken tolkades utifrån en linjär, lågmagnetisk anomali som ligger i närheten av station A22R. Den lågmagnetiska zonen, som troligen har en låg resistivitet, syns inte i resistivetsmodellen. Anledningen kan vara det långa avståndet mellan stationerna och att modellen därför har en lägre upplösning här. Vi har fått tillgång till MT-data som samlats in av Oulo universitet från några stationer. En av stationerna ligger mellan A25 och A22R (fig. 5 och 6) och senare kommer vi att inkludera denna station i 2D- och 3D-modelleringen för att se om den tillför nya detaljer om deformationszonen i resistivetsmodellen.

Ett 2–3 km brett område med resistivitet mindre än 1000 ohmm uppträder i modellen mellan stationerna A21 och A20 och det sammanfaller med en svag magnetfältsanomali (fig. 5). På berggrundskartan motsvaras detta av ett område som har karterats som en gabbrointrusion. Basiska bergarter kan ha en stark remanent magnetisering och uppträder i kartbilden som svaga eller negativa anomalier. För att kontrollera gabbrons utbredning som den är representerad på berggrundskartan använde vi bougueranomalikartan (fig. 6). En gabbro har normalt en betydligt högre densitet (ca 3 g/cm³) än omgivande bergarter och ger upphov till tydliga

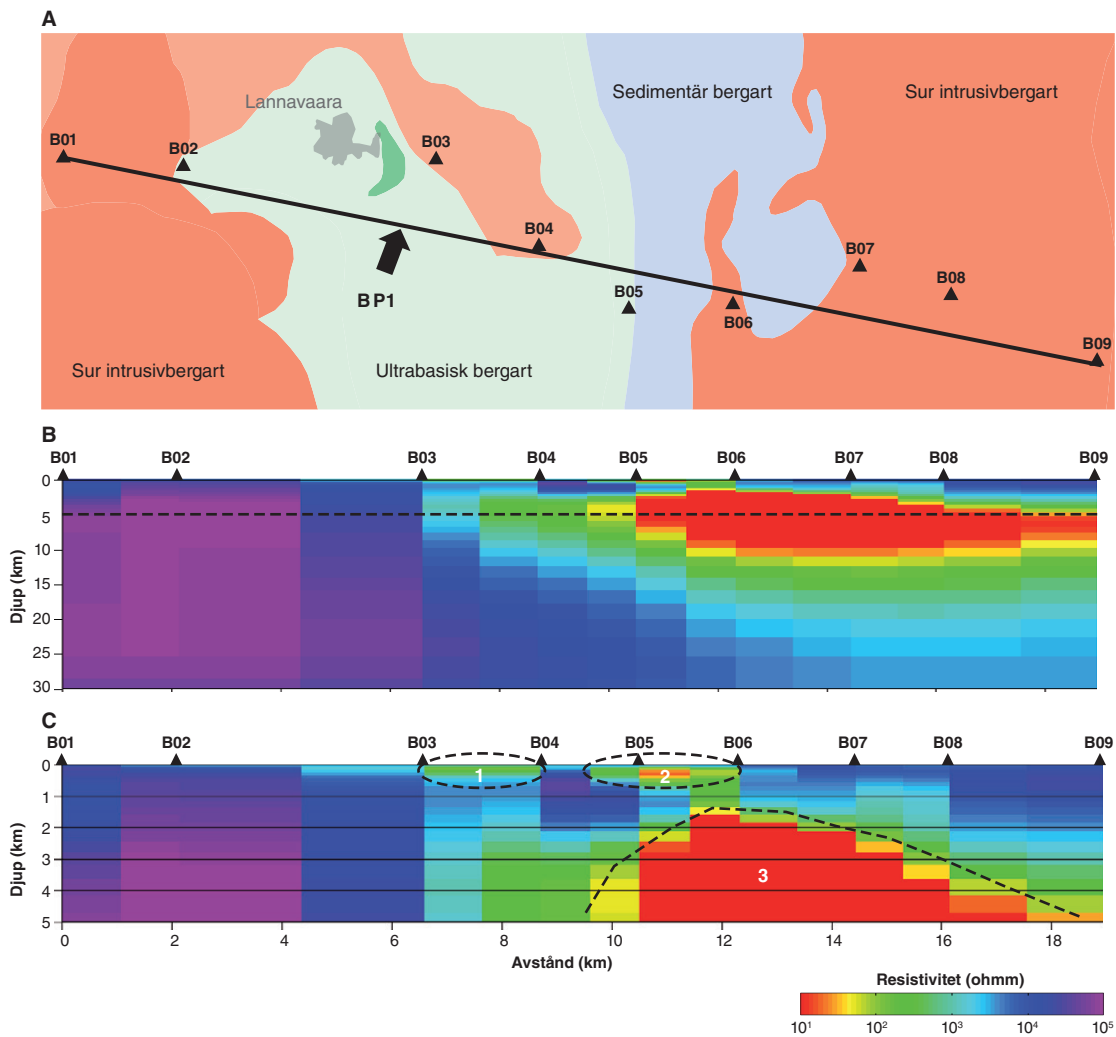


Figur 7. Resistivetsmodell från 2D-inversion av AMT-data i område A längs profil AP1 (se figur 1 för exakt läge). Flera distinkta hög- och lågresistiva zoner uppträder i modellen. De resistiva zonerna sträcker sig ner till ett djup större än 10 km.

positiva anomalier på bougueranomali-kartan. Det område som är markerat som gabbro på berggrundskartan ger upphov till en ganska måttlig anomali, i norra delen till och med som ett tyngdkraftsunderskott på bougueranomali-kartan i figur 6. Detta faktum indikerar starkt att det antagande som gjorts tidigare om gabbrons utbredning och som den är markerad på berggrundskartan är felaktigt.

Av resistivetsmodellen framgår att en mycket stor och mycket resistiv zon med en brant stupning mot nordväst finns vid den sydöstra delen av station A20. Denna zon utgörs troligen av de intrusiva bergarterna som förekommer inom området. Zonen sträcker sig till ett djup av mer än 15 km. En zon med mycket låg resistivitet (ca 10 ohmm) finns i området mellan stationerna A16 och A15 och det fortsätter ned till ett par hundra meter. I området nordost om station A16 finns glimmerrika sedimentära bergarter (skiffer, siltsten etc.) och i SGUs mineralresursdatabas finns uppgifter om förekomst av järnmineraliseringar. Förekomst av t.ex. magnetkis och eller grafit i de sedimentära bergarterna och järnmineralisering eller möjliga sulfidmineraliseringar kan förklara det lågresistiva området här.

I den sydöstra delen av modellen uppträder ett mycket lågresistivt område mellan stationerna A14 och A12. I området finns flera förekomster av grafitmineraliseringar (t.ex. ORED15680, ORED15693 och ORED00412 i SGUs mineralresursdatabas) vilka skulle kunna orsaka den lågresistiva zonen i modellen. Ett lågresistivt område (<50 ohmm) som uppträder i slutet av profilen på ett djup av ca 2 km skulle kunna orsakas av t.ex. en grafitmineralisering som ligger på detta djup (för mer detaljerad information se Lynch & Jönberger 2013).



Figur 8. A. Läget av AMT-profilen (BP1) i område B. Den svarta linjen markerad med en svart pil och "BP1" visar profilen för 2D-modelleringen. B. Tvådimensionell resistivitetsmodell från inversion. C. Resistivitetsmodellens övre del, ner till 5000 m.

Område B

En tvådimensionell resistivitetsmodell från inversionen av AMT-data längs profil BP1 visas i figur 8b. Modellen har ett djupgående av 30 000 m och visar att det finns en mycket stor variation i den beräknade resistiviteten (10–100 000 ohmm). För att underlätta jämförelsen mellan resistivitetsmodellen och den befintliga geologiska informationen visas berggrundskartan med läget av profilen som vi har projicerat stationerna på i figur 8A. I figur 8C presenteras modellen för de översta fem kilometrarna för det ska vara lättare att se detaljer av de strukturer som ligger närmare ytan.

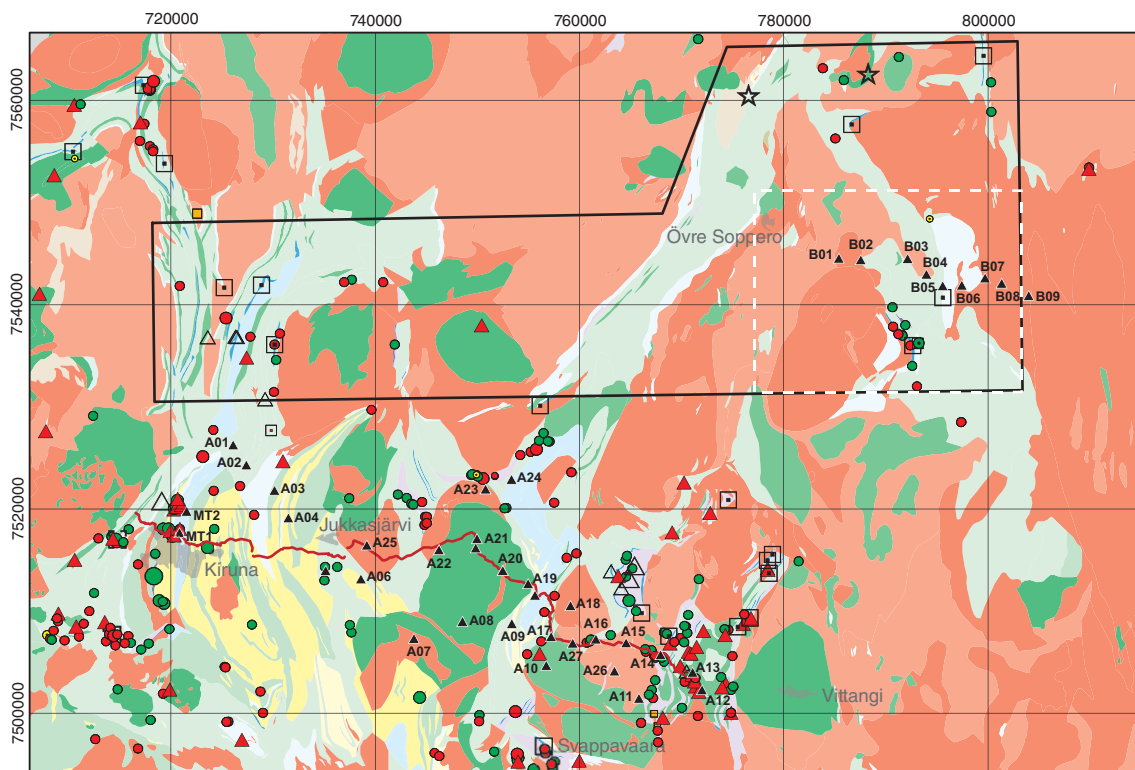
I modellen finns två mycket distinkta zoner, en med extremt hög resistivitet (mer än 10 000 ohmm mellan stationerna B01 & B03) och en med extremt låg resistivitet (mindre än 20 ohmm mellan stationerna B05 & B08). Den högresistiva zonen, som fortsätter ner till ganska stora djup (mer än 25 km), motsvarar troligen den sura intrusivbergart (1,83–1,75 miljoner år gammal granit) som markerats i den västra delen av berggrundskartan. Kontakten mellan graniten och en högmagnetisk ultrabasisk bergart kan inte urskiljas i resistivitetsmodellen. Detta kan

bero på att båda bergarterna har höga resistiviteter och att avståndet mellan stationerna B02 och B03 är för stort för att upptäcka kontakten.

Mellan stationerna B03 och B04 uppträder en mer konduktiv struktur som har ett djup av ca 500 m (resistivitet 100–1000 ohmm, område 1 i fig. 8C). En mer resistiv zon mellan område 1 och 2 i figur 8C har formen av en antiklinal. Denna zon når ner till ca 1,5 km djup. Strax öster om station B05 finns två mycket distinkta lågresistiva zoner, en grundare och en djupare som kan orsakas av konduktiva mineraliseringar. Zon 2 i figur 8C har en resistivitet på 30–300 ohmm och den sammanfaller enligt berggrundskartan med förekomster av sedimentära bergarter (1,96–1,86 miljoner år gammal metaarenit till kvartsit). Det är svårt att uppskatta hur djupt zonen når.

Ett mycket stort område med extremt låg resistivitet (mindre än 10 ohmm) uppträder på stort djup, från ca 1 500 m (zon nummer 3 i figur 8C), och den stupar ca 45 grader mot öster. Djupet till den övre gränsen är relativt välbestämt. För att bekräfta att det verkligen finns en djupt liggande struktur har vi kontrollerat datakvaliteten på stationerna B06 till B09 och data är av utmärkt kvalitet (små dataosäkerheter). Den högresistiva zon som ligger ovanför det lågresistiva området (zon 3) motsvarar antagligen den sura intrusivbergarten som finns på ytan och som blir tjockare mot öster. Orsaken till den extrema låga resistiviteten kan vara antingen de sulfidmineraliseringar (t.ex. kopparkis, pyrit) som har hittats sydväst om profilen nära Huornaisenvuoma eller innehåll av grafit i den sedimentära bergarten.

SGU har genomfört en rad geofysiska och geologiska undersökningar inom ramen för Barentsprojektet. Den svarta ramen i figur 9 visar läget av det område där VTEM AGG-mätningar har genomförts. VTEM-mätningarna utfördes av ett kanadensiskt bolag, Geotech Ltd, och



Figur 9. Berggrundskarta över undersökningsområdet. AMT-stationernas lägen visas som svarta trianglar och den seismiska profilen med röd linje. Undersökningsområdet för VTEM och AGG visas som en svart polygon. Området för vilket AMT-modellen och de uppmätta VTEM-data har jämförts visas med vit ruta.

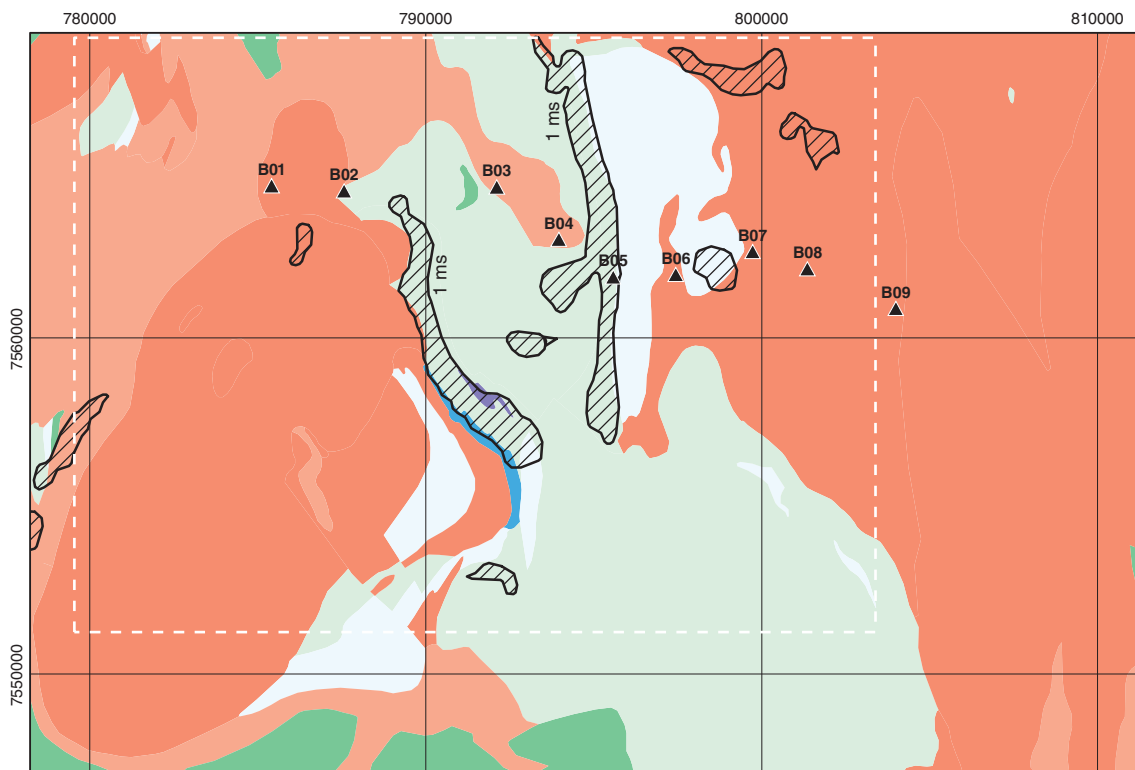
Bell Geospace Ltd. från USA mätte AGG-data med ett linjeavstånd på 500 m. Område B ligger inom mätområdena för VTEM och AGG och i den här rapporten visar vi korrelationen mellan de preliminära resultaten från AMT-modellen och insamlade VTEM-data (se rapport från Geotech 2013). I figur 10 visas ovanpå berggrundskartan områden där den beräknade avklingningskoefficienten (τ) har ett värde större än 1 ms (millisekund). Koefficienten är ett mått på hur stark den sekundära inducerade strömmen kan vara. Höga τ -värden motsvarar hög elektrisk ledningsförmåga och alltså låg resistivitet.

VTEM-data visar en nord-sydlig anomali med stark förhöjning av τ som antyder att det finns en struktur under marken med mycket låg resistivitet. Anomalin följer kontakten mellan den sedimentära bergarten och den ultrabasisiska vulkaniten (fig. 8A och 10). Vid station B05 visar resistivitetsmodellen från AMT-data två lågresistiva områden (1 & 2 i figur 8C) nära kontakten vilket stödjer VTEM-observationerna. En mer omfattande och integrerad modellering av de olika geofysiska data som finns från samma område kan ge mer detaljer om de underliggande bergarternas fysikaliska egenskaper och deras geometri.

ÅTERSTÅENDE ARBETETE

Vi kommer att genomföra bearbetning av data i det lägre frekvensbandet (MT-bandet) för att få en bättre kontroll på djupare stukturer och upplösa de nedre delarna av resistivitetsmodellen. Vi kommer också att genomföra två modellering av AMT- och MT-data längs olika riktningar och skapa en tredimensionell resistivitetsbild ur de tvådimensionella resistivitetsmodellerna.

Dessutom kommer en 3D-modellering av magnet- och tyngdkraftsfältet i område A och en samtolkning med reflexionsseismisk information att utföras. 2D- och 3D-modellering av MT-



Figur 10. Kartan över den beräknade avklingningskoefficienten (time constant) för VTEM. Värden högre än 1 ms visas med streckade konturer. I bakgrunden ligger den regionala berggrundskartan. Svarta trianglar visar lägena för AMT-stationerna.

data planeras i samarbete med Uppsala universitet och Oulo universitet. Slutligen planeras en 3D-modellering av flygburna magnetfältdata, AGG-data och VTEM-data för område B och en samtolkning med AMT-data.

SLUTSATSER

Den insamlade MT-informationen har mycket bra kvalitet och kan användas som ett bra verktyg för tolkning av berggrunden på djupet. Metoden har både en stor djupkänning och en stark känslighet för att identifiera lågresistiva zoner. Resultaten kan användas för att förbättra tolkning av tvådimensionella och tredimensionella modeller som tagits fram med hjälp av andra typer av data (t.ex. seismik och magnetfält). Man kan också analysera både horisontella och vertikala samband mellan olika geologiska enheter med hjälp av metoden.

En samtolkning av MT-modeller med reflexionsseismiska data, magnetfältdata och tyngdkraftsdata tillsammans med geologisk information och borrhålsdata är nödvändig för att få fram bra geologiska modeller på ytan och på djupet.

REFERENSER

- Bergman, S., Kübler, L. & Martinsson, O., 2000: Regional geological and geophysical maps of northern Norrbotten County: Bedrock map (east of the Caledonian orogen). *Sveriges geologiska undersökning Ba 56:1*.
- Cherevatova, M., Smirnov, M.Yu., Jones, A.G., Pedersen, L.B. & MaSca Working Group, 2014a: Magnetotelluric array data analysis from north-west Fennoscandia. *Tectonophysics* DOI: 10.1016/j.tecto.2014.12.023.
- Cherevatova, M., Smirnov, M.Yu., Korja, T., Pedersen, L.B., Ebbing, J., Gradmann, S., Becken M. & MaSca Working Group, 2014b: Electrical conductivity structure of north-west Fennoscandia from three-dimensional inversion of magnetotelluric data. *Under final revision in Tectonophysics*.
- Geotech Ltd, 2013: *Report on a helicopter-borne versatile time domain electromagnetic (VTEMplus) and horizontal magnetic gradiometer geophysical survey, Barents-Lainio TEM Kiruna, Sweden*. Project AB1374.
- Juhonjuntti, N., Olsson, S., Bergman, S. & Antal Lundin, I., 2014: Reflexionsseismiska mätningar vid Kiruna – preliminär tolkning. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2014:05*, 26 s.
- Lynch, E. & Jönberger, J., 2013: Summary report on the geological and geophysical characteristics of the Nunasvaara key area (29K Vittangi NO & SO). Kartering Barents 2013. *Sveriges geologiska undersökning SGU-rapport 2013:11*, 35 s.
- Siripunvaraporn, W. & Egbert, G., 2000: An efficient data-subspace inversion method for 2D magnetotelluric data. *Geophysics* 65, 791–803.
- Smirnov, M.Y., 2003: Magnetotelluric data processing with a robust statistical procedure having a high breakdown point. *Geophysical Journal International* 152, 1–7.