

NGU Rapport 2007.060

Vurdering av helikoptergeofysikk over
Nussirforekomsten, Kvalsund kommune i
Finnmark.

Rapport nr.: 2007.060		ISSN 0800-3416	Gradering: Konfidensiell til 26. sept. 2009	
Tittel: Vurdering av helikoptergeofysikk over Nussirforekomsten, Kvalsund kommune i Finnmark.				
Forfatter: Jan S. Rønning, Einar Dalsegg og Peter Walker			Oppdragsgiver: Nussir as	
Fylke: Finnmark		Kommune: Kvalsund		
Kartblad (M=1:250.000) Hammerfest		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1935 I Repparfjorden		
Forekomstens navn og koordinater: Nussir, 390500 - 7818100 UTM sone 35		Sidetall: 17	Pris: kr 100,-	
Feltarbeid utført: 17. - 21. 09.2007		Rapportdato: 25.09.2007	Prosjektnr.: 320600	Ansvarlig: <i>Are Konevinsen</i>
<p>Sammendrag:</p> <p>På oppdrag fra Nussir as har Norges geologiske undersøkelse (NGU) vurdert nytten av helikoptermålinger ved kartlegging av Nussir-forekomsten i Kvalsund kommune, Finnmark. Mineraliseringen består i hovedsak av disseminert kobberkis og bornitt i dolomitt. Eldre elektromagnetiske (EM) målinger fra helikopter har ikke vist respons på mineraliseringen. For å kartlegge hvilke responser en kan forvente med et moderne EM-system, er det målt resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og induert polarisasjon i felt. Ut fra disse data er det foretatt en modellering av hvilke responser som kan forventes ved forskjellige helikoptermålinger.</p> <p>Målinger i felt viser at Nussir-forekomsten har en klar men liten kontrast i ledningsevne mot sideberget. Modelleringer viser at de beste delene av forekomsten kan detekteres med helikoptermålinger med coplanar spolekonfigurasjon og en frekvens på 34 kHz som er den høyeste frekvens på NGUs helikoptersystem. Store variasjoner i målehøyde styrt av steil topografi kan gjøre at responsen i ugunstige tilfeller svekkes til under støynivå. På de lavere frekvensene vil forekomsten ikke gi respons over støynivå med mindre ledningsevne eller mektighet tar seg opp betydelig. Mineraliseringen ser heller ikke ut til å gi målbare responser ved EM helikoptermålinger i tidsdomenet.</p> <p>Bakkemålingene viser klare kontraster i IP-effekt, og dette er kanskje den metode som best kan kartlegge mineraliseringen. Metoden er imidlertid ressurskrevende, og på grunn av mineraliseringens mektighet bør en ikke benytte større elektrodeavstand enn 2 meter. Dette betyr en maksimal dybderekkevidde på 30 meter.</p> <p>Ut fra resultatene i denne undersøkelsen synes helikoptermålinger med høy frekvens være den beste metode for å gi et kontinuerlig bilde av mineraliseringen, men NGU vil presisere at responsen på den mest følsomme målekanal så vidt kommer over deteksjonsnivå ved standard målehøyde. Svakere ledere enn 4 meter med resistivitet 100 ohmm vil trolig ikke kunne gi respons over støynivå.</p>				
Emneord: Malm	Kobber		Geofysikk	
Helikoptermåling	Bakkemåling		Elektrisk måling	
Elektromagnetisk måling			Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. FELTUNDERSØKELSER.	4
2.1 Utførelse, datakvalitet og inversjon.	4
2.2 Resultater feltundersøkelser.	5
3. MODELLBEREGNINGER	11
3.1 Modelleringsvektøy og parametre.....	11
3.2 Resultater fra modelleringene.	11
4. DISKUSJON OG KONKLUSJON.....	13
5. REFERANSER	13

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Koordinater for bakkemålte profiler.

Tekstbilag 2: Beskrivelse av NGUs helikoptermålinger.

KARTBILAG

Kartbilag 2007.060-01: Oversiktskart med målte profiler og mineraliseringens utbredelse.

1. INNLEDNING

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har i lengre tid vært i dialog med AS Nussir angående helikoptermålinger over Nussirforekomsten i Kvalsund kommune i Finnmark. Området er tidligere kartlagt med helikoptermålinger i 1977, hvor bl.a. et EM-system med en frekvens (1000 Hz) av typen SANDER med ble benyttet (Håbrekke 1977). Disse målingene gav ikke respons på nevnte forekomst, og det ble derfor reist tvil om det var noen hensikt med nye EM-målinger fra helikopter. Nussirforekomsten består av disseminert kobberkis og bornitt i en dolomitt, en mineraliseringstype som vanligvis ikke gir store responser på elektrisk ledningsevne.

I et notat til oppdragsgiver datert 6.juni 2006 ble det redegjort for kvaliteten på de gamle helikoptermålingene. Det ble her anbefalt å måle ledningsevne på kjerneprøver fra forekomsten før en eventuelt satte i gang med kostbare helikoptermålinger. I et møte med oppdragsgiver på NGU fredag 7. september 2007 ble det imidlertid besluttet å teste forekomsten både med hensyn til elektrisk ledningsevne og IP-effekt (Indusert Polarisasjon) ute i felt.

I uke 38/2007 ble det utført målinger langs 5 korte profiler i felt. Målingene ble utført av Einar Dalsegg fra NGU med assistanse fra Kjell Nilsen. På grunnlag av feltmålingene har Peter Walker (Geophysical Algorithms, Canada) utført modellberegninger for å se hvilke responser en kan forvente ved helikoptermålinger. Denne rapporten meddeler resultatene fra disse undersøkelsene og anbefalinger til videre arbeid.

2. FELTUNDERSØKELSER.

Ved feltmålingene ble metodene 2D resistivitet og IP (Indusert Polarisasjon) benyttet. Nedenfor blir utførelse, datakvalitet, inversjon og resultater kort beskrevet.

2.1 Utførelse, datakvalitet og inversjon.

Resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og indusert polarisasjon (IP-effekt) ble målt med det såkalte Lunds systemet (Dahlin 1993). Fire kabler, hver med 20 elektrodeuttak ble lagt ut på bakken og elektroder av stål ble koblet inn. For å få best mulig oppløsning over forekomsten ble kabler med elektrodeavstand 2 meter benyttet. Hele kabelutlegget blir med dette 160 meter, noe som gir en maksimal dybderekkevidde på ca. 30 meter. Ved målingene ble det benyttet en kombinasjon av gradient og Schlumberger elektrodekonfigurasjon som vil gi det beste bilde av mineraliseringen.

Ved selve målingene ble ABEM SAS Terrameter 4000 og bryterboks ABEM ES10-64 benyttet. Strømforløp, målesekvens og beregninger for disse målingene er beskrevet i måleinstrumentets manual (ABEM 2004). Alternerende strømpulser av 2 sekund ble sendt i bakken gjennom elektroder. Tilsynelatende resistivitet ble beregnet ut fra målt spenning på slutten av strømpulsene mens IP-signalet ble målt i et tidsvindu 20 til 40 ms etter strømbrydd.

Kombinasjonen av gode jordingsforhold og relativt høy resistivitet i bakken gav meget god datakvalitet.

For å kunne gjøre IP-målinger burde en ideelt sett benyttet ikke-polariserbare elektroder. Siden dette systemet skifter på å benytte en elektrode for strømutsendelse og potensialmåling er dette ikke mulig. Undersøkelser gjort i Sverige (Leroux & Dahlin 2003) viser at det er mulig å oppnå gode IP-data ved bruk av elektroder av stål.

Målte data, både resistivitet og IP, representerer tilsynelatende data. For å finne de sanne verdiene av disse parametrene må måldata inverteres. Dette er gjort med programsystemet Res2Dinv (Loke2003). Ved inversjonen er det benyttet standard inversjonsprosedyre og det er ikke gjort forsøk på å favorisere vertikale strukturer (Vertikal/horisontalfilter er satt til 1).

2.2 Resultater feltundersøkelser.

Lokaliseringen av de målte profilene fremgår av kartbilag –01 og tekstbilag 1. Inverterte data for resistivitet og IP-effekt for de målte profilene fremgår av figurene 1 til 5. Profil 1, 2, 3 og 4 er målt vinkelrett på mineraliseringen, mens profil 5 er målt langs. Ved EM-målinger fra helikopter vil ledningsevnen langs strøket styre responsen, og det var derfor viktig å se om mineraliseringen har samme ledningsevne langs og på tvers av sonen.

De fire profilene som ble målt på tvers av forekomsten gir alle en relativt klar anomali på resistivitet (det inverse av elektrisk ledningsevne). Resistiviteten i mineraliseringen ligger jevnt over lavere enn 200 ohmm, og stedvis ned mot 50 ohmm. Anomaliene har en tendens til utvide seg mot dypet, noe som er en kunstig effekt styrt av metodens oppløsningsevne. Mektigheten synes å være begrenset til ca 4 meter og med et klart steilt fall mot nord. Resistiviteten i sideberget ligger fra ca. 1000 til over 10000 ohmm. Ut fra dette er kontrasten i resistivitet (elektrisk ledningsevne) i størrelsesorden 1:10. Langs profil 2 indikeres to ledende soner.

IP-data viser en meget klar kontrast mellom mineralisering og sideberg. I sideberget ligger oppladbarheten (chargeability) jevnt over lavere enn 2 ms, mens den i mineraliseringen ligger klart over dette. Målingene viser at IP-effekten varierer mer fra profil til profil enn hva resistiviteten gjør. Størst IP-effekt finner en langs profil 3. Om dette avspeiler kobbergehalten i mineraliseringen er umulig å si uten å ha tilgang på analysedata.

Felles for både resistivitet og IP-data er at det indikeres klart et steilt fall mot nord, noe som er i samsvar med resultater fra boringer.

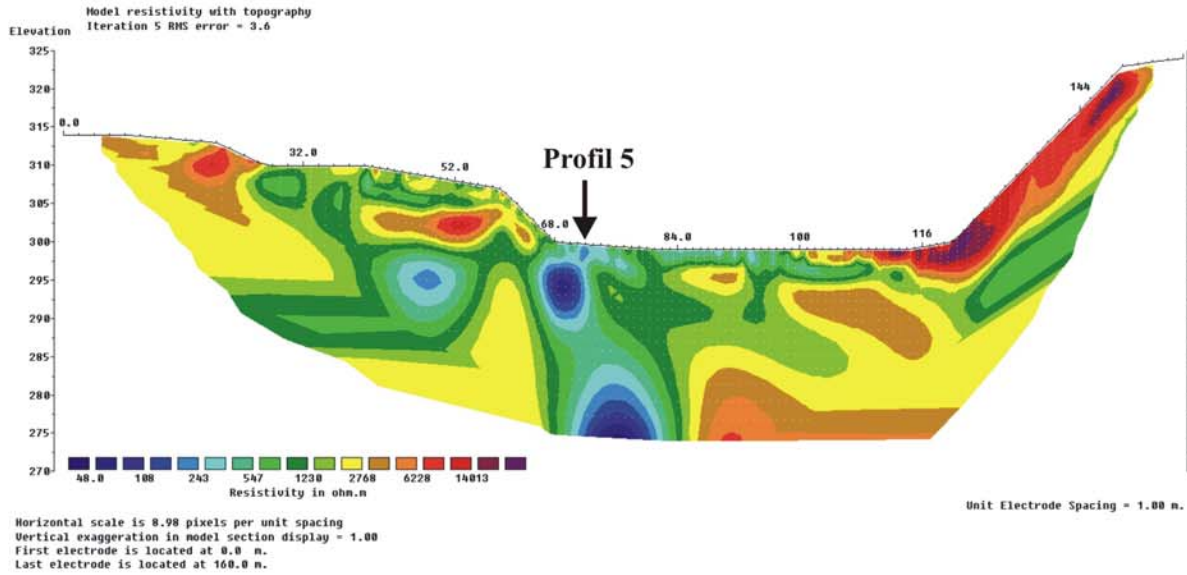
Resistivitetsdata langs mineraliseringen (profil 5, figur 5) gir ikke så klart bilde av mineraliseringen. Sonen synes å undulere mot dypet, noe som avspeiler variasjoner i avstanden til mineraliseringen. Resistiviteten i sonen ligger også her ned mot 100 ohmm, mens sideberget ligger i området 1000 ohmm og oppover. Kontrasten i resistivitet (elektrisk ledningsevne) er også her ca 1:10. Det kan imidlertid se ut som om mineraliseringen kan variere noe langs strøket. Dette kommer spesielt godt frem på IP-data.

Lengst nede i resistivitetsprofilene har data en tendens til å dra seg utover i horisontal retning. Dette er kunstige effekter som ikke må tillegges vekt ved det videre arbeid.

Nussir

Profil 1 Resistivitet

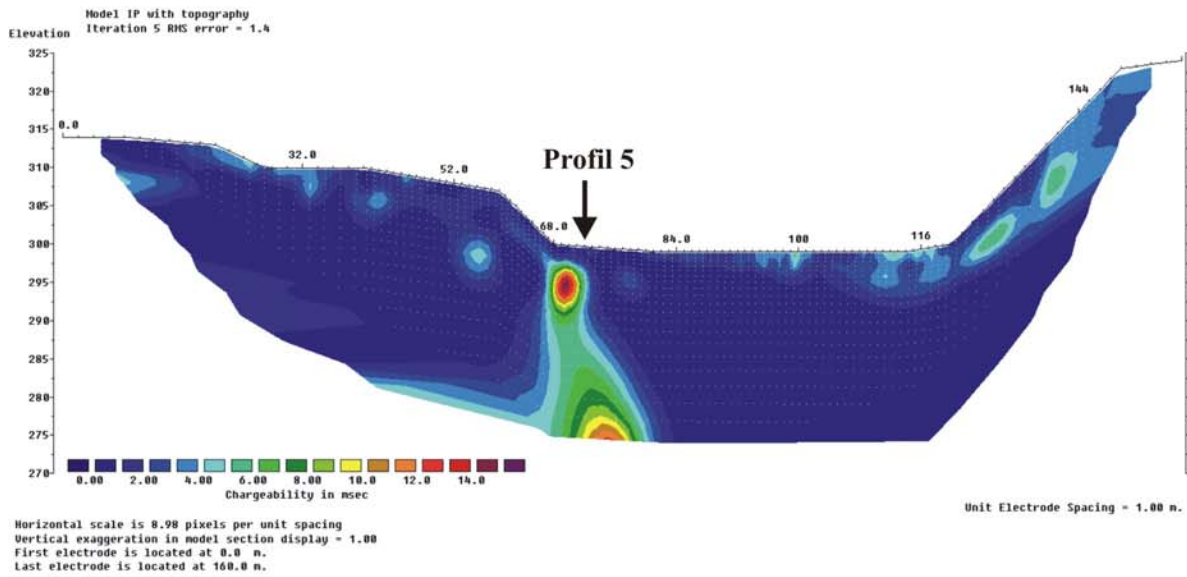
Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Nussir

Profil 1 IP

Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1

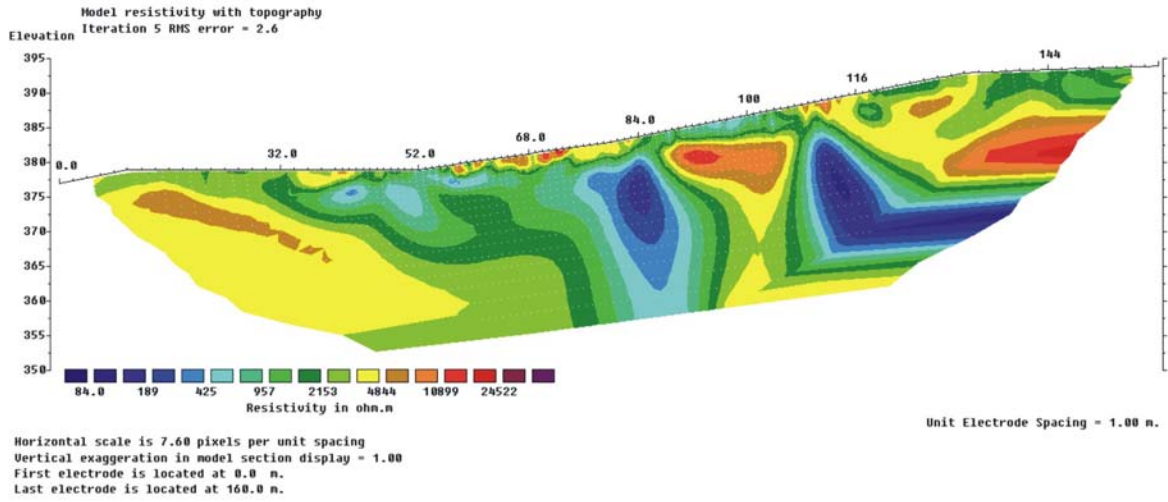


Figur 1: Invertert resistivitet (inverte av elektrisk ledningsevne) og IP-effekt (Indusert Polarisasjon) langs profil 1. Pilen angir lokalisering av profil 5.

Nussir

Profil 2 Resistivitet

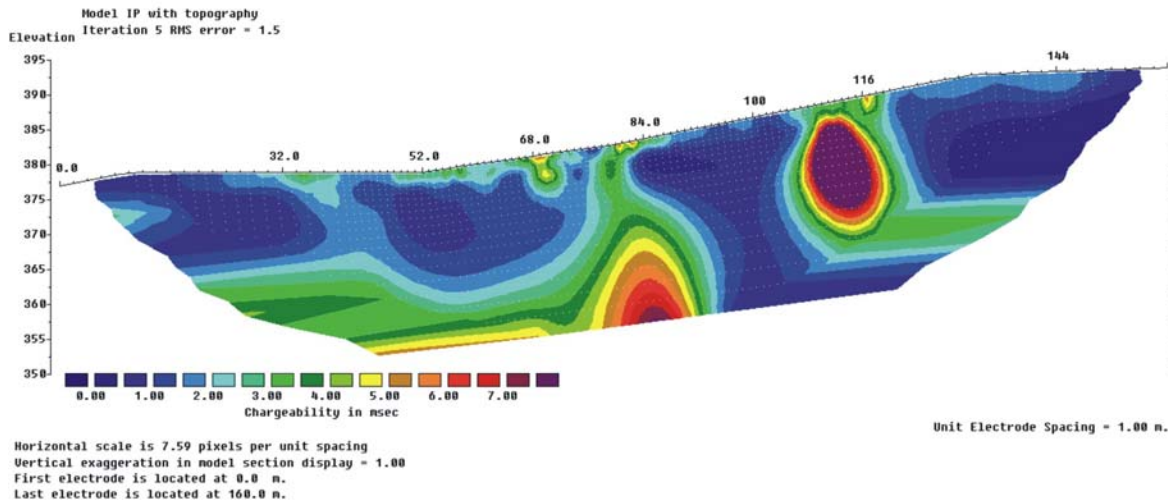
Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Nussir

Profil 2 IP

Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1

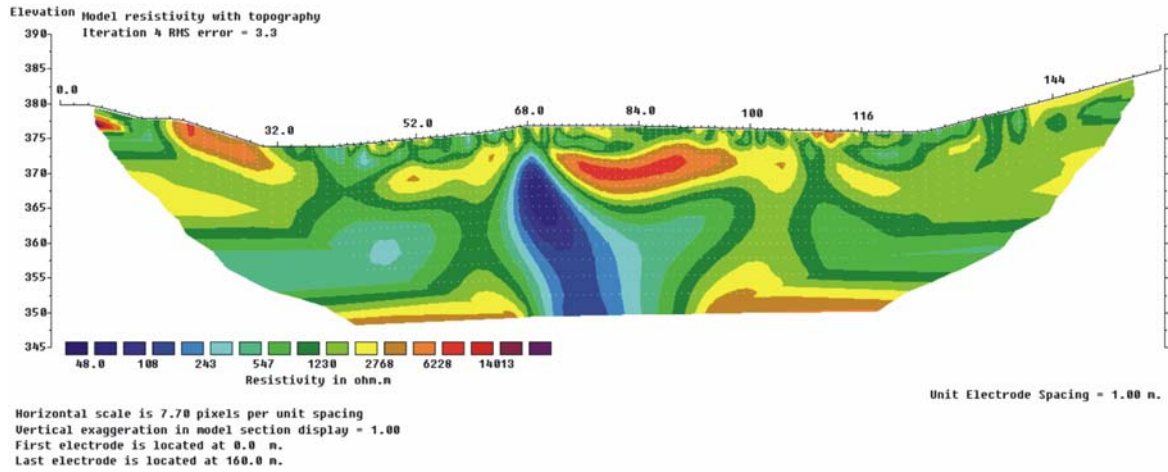


Figur 2: Invertert resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og IP-effekt (Indusert Polarisasjon) langs profil 2.

Nussir

Profil 3 Resistivitet

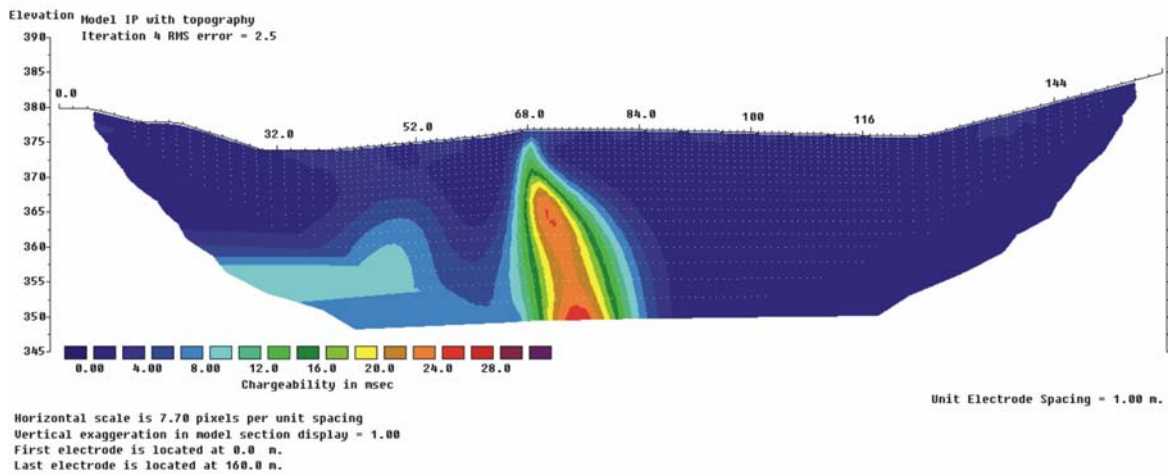
Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Nussir

Profil 3 IP

Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1

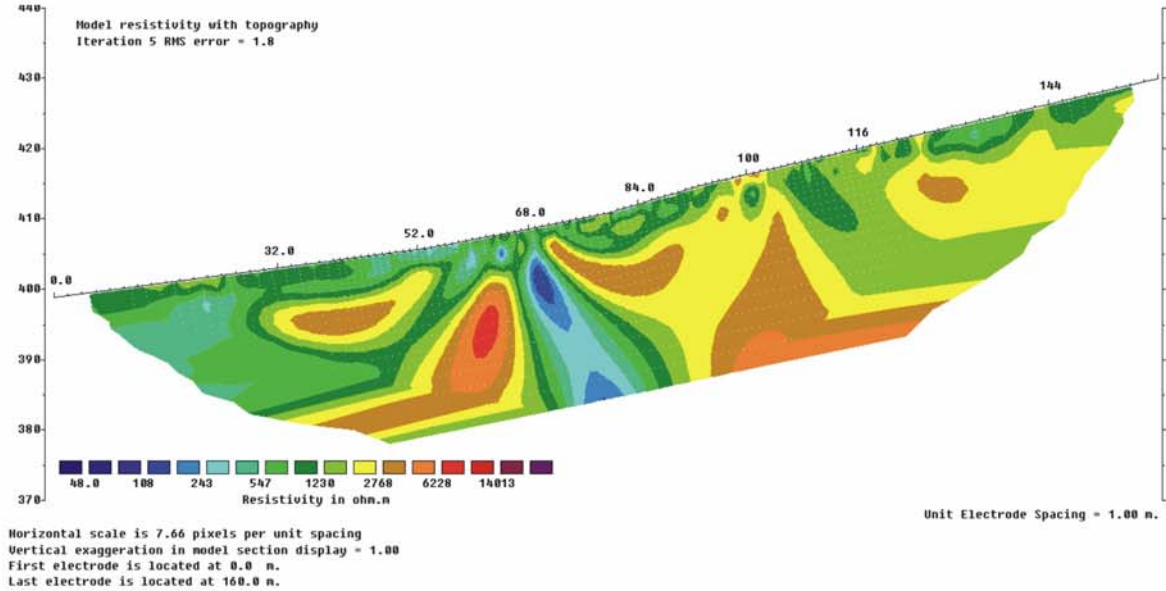


Figur 3: Invertert resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og IP-effekt (Indusert Polarisasjon) langs profil 3.

Nussir

Profil 4 Resistivitet

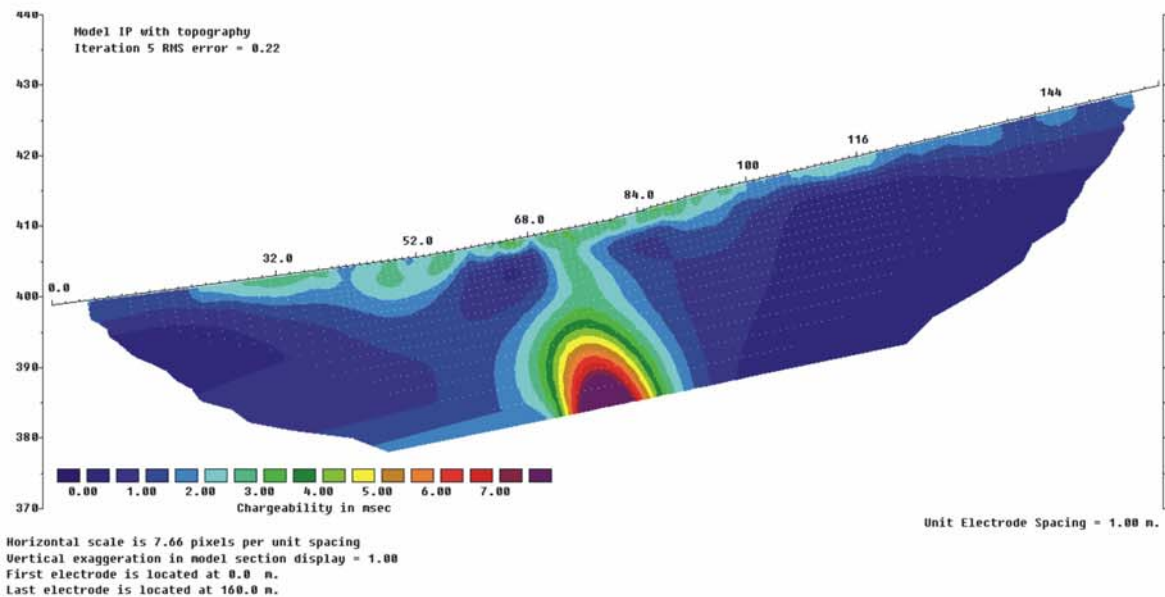
Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Nussir

Profil 4 IP

Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1

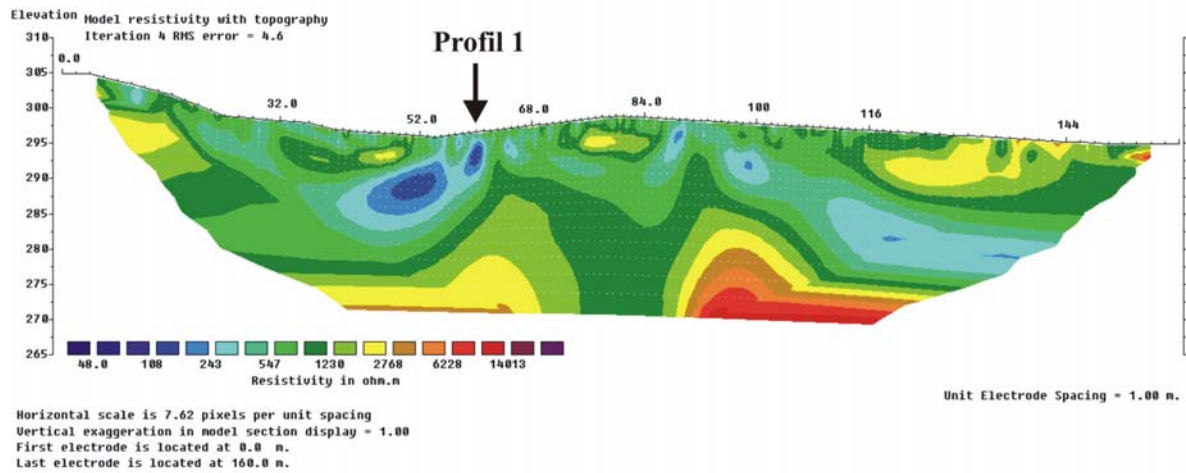


Figur 4: Invertert resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og IP-effekt (Indusert Polarisation) langs profil 4.

Nussir

Profil 5 Resistivitet

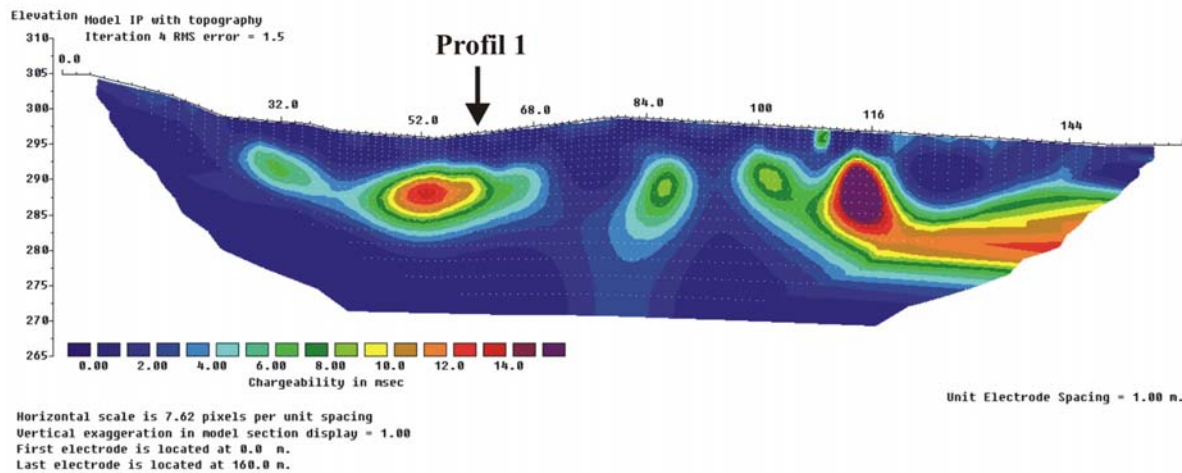
Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Nussir

Profil 5 IP

Gradient
Standard inversjon
Vert/Hor. Filter = 1



Figur 5: Invertert resistivitet (inverse av elektrisk ledningsevne) og IP-effekt (Indusert Polarisation) langs profil 5 (langs mineraliseringen).

3. MODELLBEREGNINGER

Med utgangspunkt i resultatene oppnådd ved målingene i felt, er det foretatt modellering av hvilke responser en kan forvente ved elektromagnetiske målinger fra helikopter. NGUs målesystem er kort beskrevet i tekstbilag 1 (frekvenser og spolekonfigurasjoner).

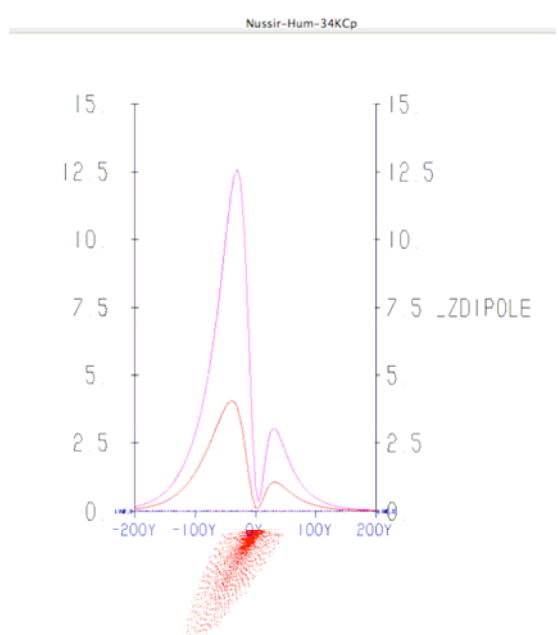
3.1 Modelleringsverktøy og parametere.

Modelleringene er utført av Peter Walker, Geophysical Algorithms i Canada. Hans egenutviklede programsystem Multiloop III ble benyttet (Lamontagne Geophysics 2006).

Modellen besto av en uendelig lang plate som faller 60 grader mot nord og som har utgående i dagen. Resistiviteten i sideberg ble målt til 1000 ohmm eller høyere, og dette kan derfor betraktes som en perfekt høymotstands bergart. Resistiviteten i mineraliseringen ble målt lavere enn 200 ohmm, og sporadisk ned mot 50 ohmm. Mektigheten så ut til å ligge i størrelsesorden 4 meter. Ut fra dette ble resistansen (Resitivitet/tykkelse) i malmlaten satt til 12 ohm. Det er foretatt modellberegning for tre av spolekonfigurasjonene NGUs system har og i tillegg for mest følsomme kanal på et kommersielt EM-system i tidsdomenet (Geotech VTEM). Sondehøyden ble satt til 30 meter som vanligvis benyttes denne type målinger.

3.2 Resultater fra modelleringene.

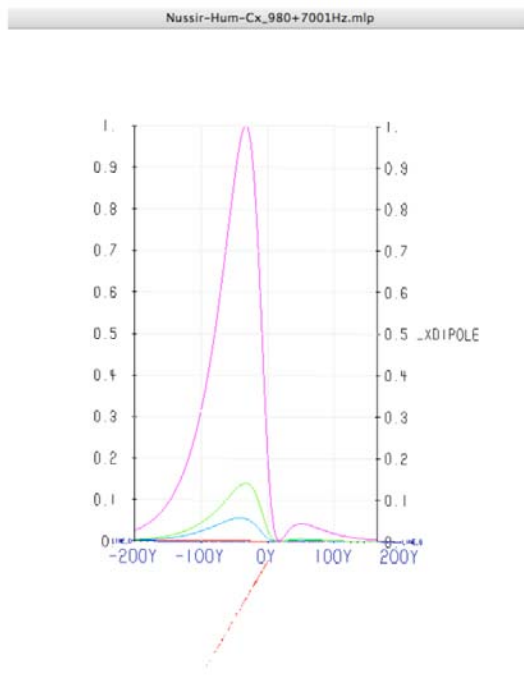
Figur 6 viser resultater for "Coplanar" konfigurasjon (felles spoleplan) med frekvens 34kHz. Dette representerer NGUs høyeste frekvens, og derved den mest følsomme for svake ledere. Resultatene viser at en kan oppnå en respons opp mot 12 ppm på imaginærkurven og ca 4 på reellkurven. Støynivå for denne frekvensen ligger i områder 2 ppm. Det er derfor mulig å påvise denne type mineralisering ved helikoptermålinger, men NGU vil presisere at dette er marginalt. Etter det vi foreløpig vet om mineraliseringen representerer modellen de beste partier av sonen. Resultatet forutsetter at det er mulig å fly 30 meter over bakken.



Figur 6: Modellering av respons for helikopter EM, frekvens 34kHz "coplanar" (realdel i rødt, imaginærdel i lilla).

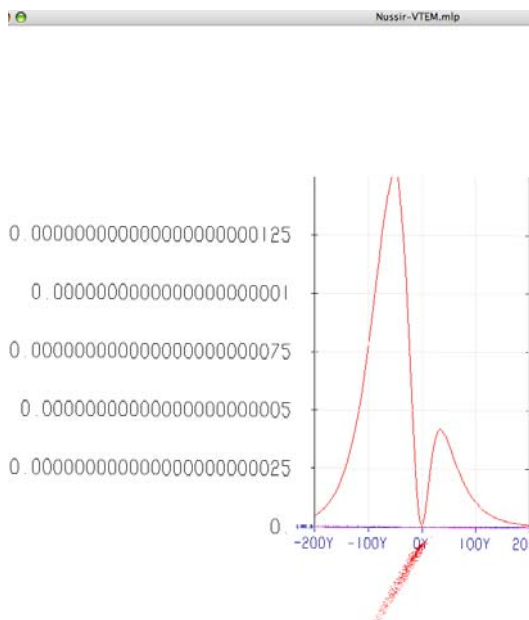
Figur 7 viser hvilke responser en kan forvente ved "coaxial" konfigurasjon (felles spoleakse) med frekvensene 980 og 7001 Hz. Responseren på imaginærdelen er på 1 ppm for 7001 Hz, mens alle de andre datasettene (realdel 7001Hz og Realdel og Imaginærdel for 980 Hz) er betydelig mindre. Støynivået for disse frekvensene er i området 1 – 2 ppm, noe som tilsier at disse frekvensene IKKE kan påvise den aktuelle mineraliseringen. Dette forklarer da også manglende respons ved NGUs helikoptermålinger fra 1977 hvor frekvensen var 1000 Hz.

Modellering for "coplanar" konfigurasjon 6600 og 880 Hz er ikke foretatt siden disse frekvensene vil gi enda lavere respons.



Figur 7: Modellering av respons for helikopter EM, frekvens 7001 og 980 Hz "coaxial" (Re 7001 i blått, Im 7001 i lilla, Re 980 i rødt, Im 980 i grønt).

Modellering av mest følsomme kanal på et kommersielt EM-system i tidsdomenet (Geotech VTEM) er vist i figur 8. Pulsfrekvensen er her satt til 30 Hz. Responseren er klart under deteksjonsgrensen, og mineraliseringen lar seg ikke detektere med denne type målinger. Årsaken til dette er dels den lave pulsfrekvens og dels at målingene ikke kommer tidlig nok etter strømbrudd.



Figur 8: Modellering av respons for helikopter EM i tidsdomenet, mest følsomme kanal i Geotech VTEM-systemet (enhet: nT/s).

4. DISKUSJON OG KONKLUSJON

Målinger i felt viser at Nussir-forekomsten har en klar men liten kontrast i ledningsevne mot sideberget. Modelleringer viser at de beste delene av forekomsten kan detekteres med helikoptermålinger med coplanar spolekonfigurasjon og en frekvens på 34 kHz som er den høyeste frekvens på NGUs helikoptersystem. Store variasjoner i målehøyde styrt av steil topografi kan gjøre at responsen i ugunstige tilfeller svekkes til under støynivå. På de lavere frekvensene vil forekomsten ikke gi respons over støynivå med mindre ledningsevne eller mektighet tar seg opp betydelig. Mineraliseringen ser heller ikke ut til å gi målbare responser ved EM helikoptermålinger i tidsdomenet.

Bakkemålingene viser klare kontraster i IP-effekt, og dette er kanskje den metode som best kan kartlegge mineraliseringen. Metoden er imidlertid ressurskrevende, og på grunn av mineraliseringens mektighet bør en ikke benytte større elektrodeavstand enn 2 meter. Dette betyr en maksimal dybderekkevidde på 30 meter.

Ut fra resultatene i denne undersøkelsen synes helikoptermålinger med høy frekvens være den beste metode for å gi et kontinuerlig bilde av mineraliseringen, men NGU vil presisere at responsen på den mest følsomme målekanal så vidt kommer over deteksjonsnivå ved standard målehøyde. Svakere ledere enn 4 meter med resistivitet 100 ohmm vil trolig ikke kunne gi respons over støynivå.

5. REFERANSER

ABEM 2004: Terrameter SAS 4000 Instruction Manual. ABEM Printed matter No 93109.

Dahlin, T. 1993: On the Automation of 2D Resistivity Surveying for Engineering and Environmental Applications. Dr. Thesis, Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University. ISBN 91-628-1032-4.

Håbrekke, H. 1977: Magnetiske, elektromagnetiske og radiometriske målinger fra helikopter over Komagfjordvinduet, Alta og Kvalsund, Finnmark. NGU Rapport 1593. Bind I, II og III.

Lamontagne Geophysics 2006: Description of MultiLoop III programme system.
<http://geophysics.kos.net/~mlp3/index.html>

Leroux, V. & Dahlin, T. 2003: Site conditions requiring extra precautions for induced polarisation measurements. Proceedings, 9th European meeting of Environmental and Engineering Geophysics. Prague August 31 – September 4, 2003

Loke, M.H. 2003: Res2Dinv versjon 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual, www.geoelectrical.com.

Tekstbilag 1: Koordinater for bakkemålte profiler.

P1-0	35W	395313	7819560
P1-160	35W	395267	7819699
P2-0	35W	390592	7817975
P2-160	35W	390656	7818115
P3-0	35W	390496	7818067
P3-160	35W	390562	7818170
P4-0	35W	391289	7818051
P4-160	35W	391268	7818210
P5-0	35W	395237	7819610
P5-160	35W	395390	7819628

Tekstbilag 2: Beskrivelse av NGUs helikoptermålinger.



**GEOLOGICAL SURVEY
OF NORWAY**

**HELICOPTER BORNE
GEOPHYSICS**

The Geological survey of Norway (NGU) has carried out airborne geophysical surveys since 1958. After covering mainland Norway and parts of the continental shelf with fixed wing magnetic measurements, a program for high resolution helicopter-borne geophysics was started in the early seventies. The present instrument package includes magnetic, electromagnetic and radiometric measurements. In normal situations the radiometric sensor is mounted underneath the helicopter, while the magnetic sensor is placed inside the EM bird suspended 30 metres beneath the helicopter. Nominal flying height is 60 metres above the ground and the speed is usually 100 km/h (approx. 30 m/sec.). Instrumentation and survey design are adjusted to suit client requirements.

During the last 10 years NGU has carried out highresolution surveys for mineral exploration, bedrock mapping and environmental studies both in Norway and in neighbouring countries.

NGU is the central national institute for knowledge of the bedrock mineral resources, superficial deposits and groundwater of mainland Norway. Outside the oil industry, NGU is the largest environment for geology and geophysics in Norway.

Leiv Eirikssons vei 39,
N-7491 Trondheim
Tlf.: +47 73904000
Fax.: + 47 73921620
WEB: www.ngu.no



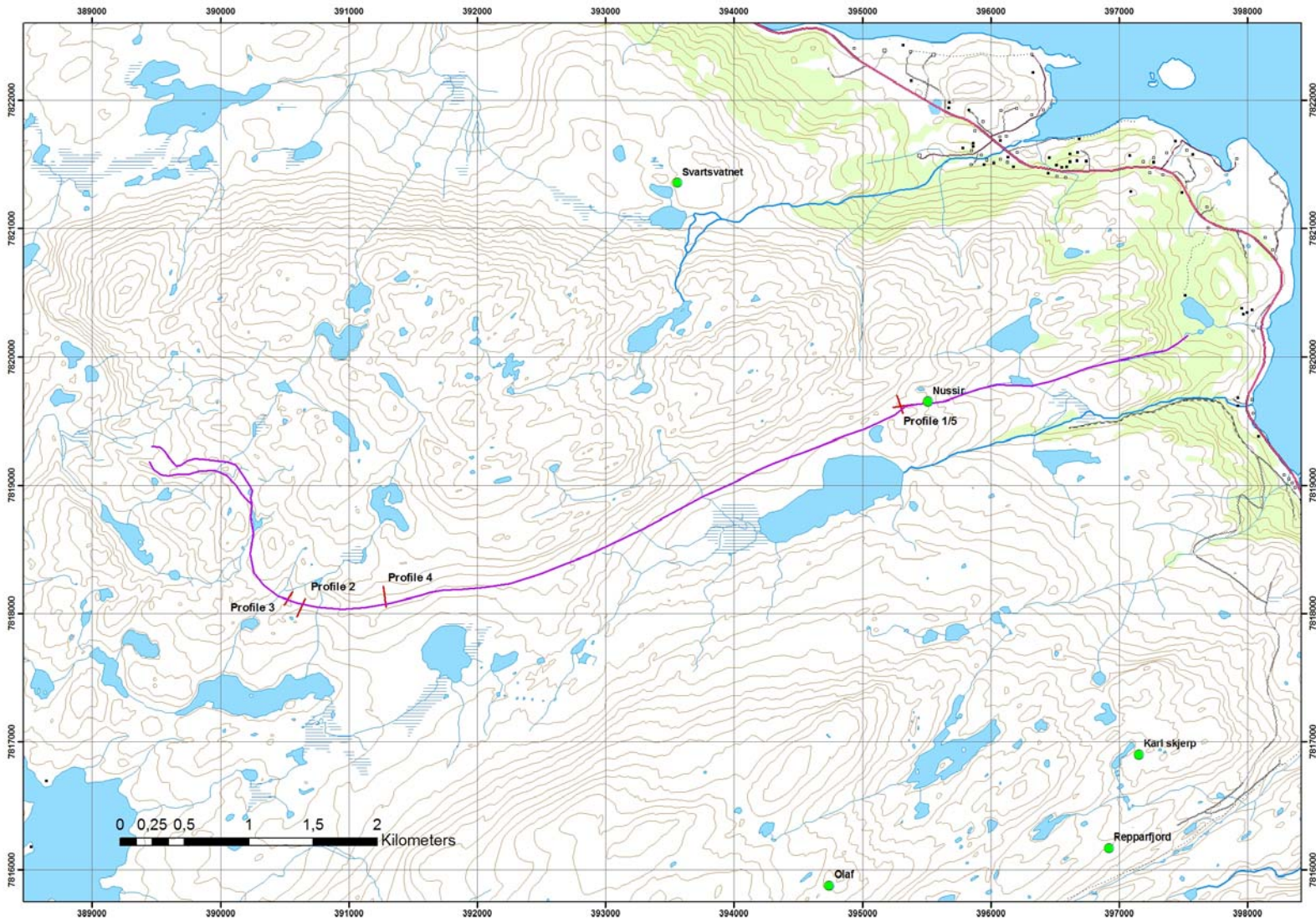
GEOPHYSICAL EQUIPMENT USED FROM HELICOPTER.

- Magnetic: Scintrex Cesium-magnetometer.
- Cs-2 sensor, Sensitivity 0.001 nT.
 - ENVI-mag base-station.
- Electromagnetic: Geotech Hummingbird, 5 frequencies.
Coil separation 6.0 metres, noise level 1–2 ppm.
- Coplanar 880 Hz
 - Coplanar 6606 Hz
 - Coplanar 34133 Hz
 - Coaxial 980 Hz
 - Coaxial 7001 Hz
- Radiometric: Exploranium GR 820.
- Crystal volume, 16 litres down looking
 - 4 litres upward looking
 - Spectrometer, 256 channels
- Navigation: GPS fixed to helicopter
- Accuracy: (+/- 5 m)
- Altimeter: Radar altimeter permanent in helicopter.
- Accuracy: 5% of measured height.
- Datalogger: Integrated part of Geotech EM-system.
- Processing software: Geosoft OASIS Montaj

Selected helicopter borne geophysical projects:

- | | | |
|-------------------------|-------------------------|------|
| • Røros Norway. | Crew (Noranda) | 1999 |
| • Østersund Sweden. | Jämtland Mineral | 2000 |
| • Østersund Sweden. | North Star Diamonds | 2001 |
| • Ringvassøy Norway | Crew | 2001 |
| • Forsmark Sweden | SKB | 2002 |
| • Oskarshamn Sweden | SKB | 2002 |
| • Espedalen Norway | Falconbridge/Sulfidmalm | 2003 |
| • Kvikne Norway | Falconbridge/Sulfidmalm | 2004 |
| • Espedalen Norway | Falconbridge/Sulfidmalm | 2004 |
| • Ertlien –Bamle Norway | Falconbridge/Sulfidmalm | 2005 |
| • Skjækerdalen, Norway | Falconbridge/Sulfidmalm | 2006 |

Contact person: Jan Steinar Rønning
Phone: +47 73904441
Mob.phone: +47 90861125
E-mail: jan.ronning@ngu.no



Kartbilag 2007.060-01: Oversiktskart med målte profiler (i rødt) og mineraliseringens utbredelse (i lilla).