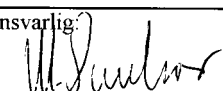


| | | | | |
|--|----------------------------|---|--|--|
| Rapport nr.: 2003.007 | | ISSN 0800-3416 | Gradering: Åpen | |
| Tittel: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging på Krokskogen, Hole og Ringerike kommuner, Buskerud | | | | |
| Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan Steinar Rønning | | Oppdragsgiver: Statens Vegvesen "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler" | | |
| Fylke: Buskerud | | Kommune: Hole og Ringerike | | |
| Kartblad (M=1:250.000) Oslo | | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1815 II Oppkuven | | |
| Forekomstens navn og koordinater: Småvann 32V 580000 6654000 Gaupskardvegen - sør 32V 578000 6661200 Gaupskardvegen - nord 32V 577650 6662700 Laulivegen 32 V 578450 6664650 | | Sidetall: 39 Pris: Kartbilag: 6 | | |
| Feltarbeid utført: September 2002 og juni 2003 | Rapportdato: 16.12.2003 | Prosjektnr.: 2827.02 | Ansvarlig:  | |
| Sammendrag: <p>På Krokskogen er det, som en del av prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", foretatt geofysiske målinger på bakken og i en brønn som ble boret i regi av prosjektet. Utgangspunktet for undersøkelsene var tidligere utførte geofysiske målinger fra helikopter. Disse viste anomalier ved elektromagnetiske målinger som ikke umiddelbart kunne forklares med kjente strukturer i området. For å finne en forklaring til disse anomaliene ble det foretatt VLF-, 2D resistivitets- og IP-målinger på bakken. I brønnen som ble boret på grunnlag av bakkemålingene, ble det foretatt optisk inspeksjon og logging av flere geofysiske parametere.</p> <p>Resistivitetsmålinger over en elektromagnetisk anomali ved Småvann/Byvann viser redusert resistivitet, med det reises tvil om at denne anomalien kan forklare utslagene ved helikopter EM-målingene. Det er også påvist visse uoverensstemmelser mellom resistivitet målt på bakken og i borehull i dette området. Anisotrop ledningsevne kan være en mulig årsak til avviket. Brønnen gav relativt bra med vann, men strømnings målinger viser at dette i hovedsak kommer fra en sprekk på ca 10 meters dyp.</p> <p>VLF-anomalier (Very Low Frequency) påvist ved de samme helikoptermålingene, faller sammen med utgående av en porøs sandstein-breksje-konglomerat som opptrer mellom de forskjellige rombeoppyrlavaene på Krokskogen. Disse horisontene gir også respons ved VLF-målinger på bakken og ved 2D resistivitetsmålinger. Tilsvarende anomalier i områder hvor bergarten ikke er kartlagt indikerer at den kan opptre mer frekvent enn hittil kartlagt.</p> | | | | |
| Emneord: Geofysikk | Elektrisk måling | Elektromagnetisk måling | | |
| Optisk televiwer | Temperaturmåling | Ledningsevne | | |
| Naturlig radioaktivitet | | Fagrapport | | |

INNHOOLD

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INNLEDNING | 5 |
| 2. | BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER..... | 5 |
| 3. | MÅLEMETODER OG UTFØRELSE..... | 5 |
| 3.1 | Bakkegeofysikk..... | 6 |
| 3.1.1 | 2D Resistivitet og induisert polarisasjon (IP)..... | 6 |
| 3.1.2 | VLF-EM..... | 7 |
| 3.2 | Borehullslogging..... | 7 |
| 3.2.1 | Optisk televiewer..... | 7 |
| 3.2.2 | Temperatur, ledningsevne og naturlig gamma..... | 7 |
| 3.2.3 | Berggrunnens resistivitet..... | 8 |
| 3.2.4 | Strømningsmåling..... | 8 |
| 3.2.5 | Avviksmåling..... | 8 |
| 4. | RESULTATER | 9 |
| 4.1 | 2D Resistivitet, induisert polarisasjon (IP) og VLF..... | 9 |
| 4.1.1 | Småvann..... | 9 |
| 4.1.2 | Gaupskardvegen - sør..... | 10 |
| 4.1.3 | Lauvivegen..... | 10 |
| 4.1.4 | Gaupskardvegen – nord..... | 11 |
| 4.2 | Borehullslogging..... | 18 |
| 4.2.1 | Optisk televiewer..... | 18 |
| 4.2.2 | Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling..... | 21 |
| 4.2.3 | Resistivitet..... | 22 |
| 4.2.4 | Strømningsmåling med pumping..... | 23 |
| 4.2.5 | Borehullsforløp..... | 25 |
| 5. | DISKUSJON..... | 27 |
| 6. | KONKLUSJON..... | 30 |
| 7. | REFERANSER..... | 31 |

FIGURER

- Figur 1: Modellert resistivitet og IP, Profil 1 Småvann.
- Figur 2: Modellert resistivitet, Profil 2 Gaupskardvegen sør.
- Figur 3: Modellert resistivitet og IP, Profil 3 Lauvivegen.
- Figur 4: Modellert resistivitet og IP, Profil 4 Gaupskardvegen nord.
- Figur 5: VLF profil 2 og 3.
- Figur 6: VLF profil 4, 5 og 6.
- Figur 7: Borehull Småvann. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker.
- Figur 8: Borehull Småvann. OPTV-bilde av åpen sprekk mellom 10.6 og 11.2 m.
- Figur 9: Borehull Småvann. Frekvenshistogram over indikerte sprekker.
- Figur 10: Borehull Småvann. Temperatur, elektrisk ledningsevne og total gammastråling.
- Figur 11: Borehull Småvann. Fjellresistivitet.
- Figur 12: Borehull Småvann. Utpumpet vannmengde ved strømningsmålinger.
- Figur 13: Borehull Småvann. Stasjonær strømningsmåling ved sprekk 10.5-11m øverst) og kontinuerlig strømningsmåling opp og ned med netto strømning (nederst).

- Figur 14: Borehull Småvann. Borehullsforløp, vertikalsnitt i hullretning (øverst) og horisontalsnitt (nederst).
- Figur 15: VLF-data målt fra helikopter (A), VLF-data på bakken (B) og resistivitet på bakken (C), profil3 Laulivegen.

DATABILAG

- Databilag 1: Koordinater for målte profiler og borehull.

TEKSTBILAG

- Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for optisk televiewer (OPTV).
- Tekstbilag 2: Metodebeskrivelse for temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammalogg.
- Tekstbilag 3: Metodebeskrivelse for strømningsmåling i borehull.

KARTBILAG

- Kartbilag 2003.007-01: Oversiktskart Krokskogen 1 : 50 000
- Kartbilag 2003.007-02: Resistivitet og VLF Tolkingskart Småvann 1 : 5 000
- Kartbilag 2003.007-03: Resistivitet og VLF Tolkingskart Gaupskardvegen - sør 1 : 5 000
- Kartbilag 2003.007-04: Resistivitet og VLF Tolkingskart Laulivegen 1 : 5 000
- Kartbilag 2003.007-05: Resistivitet og VLF Tolkingskart Gaupskardvegen - nord 1 : 5 000
- Kartbilag 2003.007-06: Utsnitt berggrunnskart Oppkuven med geofysisk tolking 1 : 50 000

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU utført geofysiske målinger innenfor fire områder på Krokskogen i Hole og Ringerike kommuner. Hensikten med undersøkelsene var uttesting av nye teknikker i forbindelse med forundersøkelser av tunneler. De anvendte teknikker som ble benyttet var måling av 2D resistivitet, induert polarisasjon (IP) og VLF-EM (Very Low Frequency ElectroMagnetic). I tillegg ble det boret en brønn, og denne ble inspisert med optisk televiewer, og vannets temperatur og ledningsevne, naturlig gammastråling og resistivitet ble logget.

Bakkegeofysikken ble utført av Einar Dalsegg fra NGU i september 2002 og juni 2003, mens inspeksjon av brønnen ble foretatt av Harald Elvebakk fra NGU i november 2002.

Beliggenheten av de undersøkte områdene framgår av kartbilag -01.

2. BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Det er tidligere foretatt geologiske og geofysiske undersøkelser på Krokskogen, dette som et ledd i forundersøkelser for jernbanetunnel fra Sandvika mot Hønefoss.

I 1997 utførte NGU geofysiske målinger fra helikopter. Det undersøkte området dekket 180 km² og omfattet innsamling av radiometriske, magnetiske og elektromagnetiske data. (Beard & Rønning 1997).

På bakgrunn av disse målingene ble det I 1997 laget et tolkningskart over de geofysiske linamentene, i tillegg til geologiske undersøkelser over området Sandvika - Hønefoss. (Beard m. fl. 1997). Tolkningen av VLF-data indikerte soner som var lite sannsynlig ut fra geologiske kartlegging i området (se kartbilag -01). I tillegg ble det påvist en elektrisk ledende sone ved Småvann uten at det tidligere var kartlagt noen svakhetsone her. I 1998 ble noen av anomaliene som framkom ved målingene i 1997 fulgt opp med geofysiske målinger på bakken. Hensikten var om mulig å påvise anomaliårsaken til de undersøkte anomaliene (Beard & Elvebakk 1999). Omfanget av disse undersøkelsene var ikke tilstrekkelig til å finne årsaken til de påviste anomalier. Som et ledd i "Tunnelprosjektet", ble det derfor foreslått nye målinger på bakken, og det ble satt av penger til ett borehull.

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De målingene som ble foretatt på bakken var måling av 2D resistivitet kombinert med induert polarisasjon (IP) og VLF-EM (Very Low Frequency ElectroMagnetic). Brønnen som ble boret ved Småvann (Bh 3), ble målt med følgende metoder: optisk televiewer (OPTV), temperatur-, ledningsevne-, naturlig gammalogg og resistivitetsmåling (fjellresistivitet). I tillegg måles borhullsforløp (avvik) langs hele hullet. Til slutt ble brønnen prøvepumpet samtidig som vertikal vannstrømning ble målt.

3.1 Bakkegeofysikk

3.1.1 2D Resistivitet og induisert polarisasjon (IP).

Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høyskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler som styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det benyttet fire kabler på 200 meter hver. Ved bruk av alle fire kabler oppnås en dybderekkevidde på ca 130 meter, men det krever en minimum profillengde på 800 meter. Ved bruk av fire kabler er elektrodeavstanden 10 meter for de to sentrale kablene og 20 meter for de to ytterste (målinger med størst dybderekkevidde). Hele systemet kan flyttes langs profilet slik at utstrekningen av et profil er ubegrenset. Størst oppløsning oppnås i de øverste 50 – 60 meterne. Ved målingene ble elektrodekonfigurasjonen Wenner benyttet.

I tillegg til måling av resistivitet ble det også målt induisert polarisasjon (IP) på 3 av profilene. Dette gjøres samtidig med resistivitetsmålingene og krever ikke noe spesielt måleopplegg. Det eneste er at IP-målingene har en nedre anbefalt grense for strømstyrke på 50 mA, noe som i tørre partier av profilet krever flere elektroder. I tillegg økes måletiden noe. Grunnen til at det ble gjort IP-målinger var for å se om metoden kunne bidra til å karakterisere eventuelle svakhetssoner. Det er kjent at enkelte leirmineraler gir IP-effekt, og varierende IP-effekt over sonene ville da kunne indikere varierende innhold av leire.

Profilene ble stukket samtidig med målingene og er merket med trestikker med angitte koordinater for hver 25 meter. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (se databilag 1).

Strømstyrke og datakvalitet

Ved Byvann var stømstyrken for mesteparten av målingene fra 20 til 100 mA, mens den for de tre andre områdene var fra 50 til 200 mA. Datakvaliteten var meget god for alle de tre undersøkte områdene.

Inversjon.

Ved alle resistivitetsmålinger måles en tilsynelatende resistivitet. Denne representerer et veid middel av alle resistiviteter som er innenfor målingens influensområde. For å finne den spesifikke resistivitet i ulike deler av undergrunnen må data inverteres. Dette utføres ved at bakken deles opp i blokker som tilordnes en bestemt resistivitetsverdi. Denne blir så justert i flere trinn (iterasjoner) inntil responsen fra den teoretiske modellen blir mest mulig lik de målte data.

Resistivitetsmålingene ble invertert ved bruk av dataprogrammet RES2DINV (Loke 2001). Det ble gjort forsøk med forskjellige inversjonsmetoder (Least Square og Robust) og det ble eksperimentert med forskjellige inversjonsparametre, dempningsfaktorer og forskjellige filtre. Dette ga ikke noen endringer i hovedtrekkene i de inverterte profilene, men mindre avvik i detaljer.

3.1.2 VLF-EM

VLF-EM (Very Low Frequency) er en elektromagnetisk metode som bl.a. gir anomalier på økt elektrisk ledningsevne som skyldes mineraliseringer eller større vanninnhold i oppsprukket fjell. Metoden er derfor velegnet for påvisning av større svakhetssoner i fjell.

Metoden benytter feltet fra fjerntliggende radiosendere, hvor frekvensen ligger i intervallet 15 til 30 kHz. Uten ledende soner er magnetfeltet horisontalt. I ledende soner indueres sekundære strømmer, og det totale elektromagnetiske feltet vil ikke lenger være horisontalt. Ved å måle feltets fall (dipvinkel, reellkomponent R_e), og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom det primære og det sekundære feltet (imaginærkomponenten I_m), kan elektrisk ledende soner påvises.

Målingene ble utført med NGUs egenproduserte mottaker og den engelske senderen GYD (19 kHz) ble benyttet. Valg av senderstasjon ble bestemt av dens beliggenhet i forhold til antatt sprekkeretning, og av mottaksforholdene. Ved Småvann ble ikke profil 1 målt på grunn av at en kraftlinje krysset profilet i det mest interessante området. I stedet ble det målt ett profil (profil 5) nord for profil 1, og ett profil (profil 6) sør for vannet. Ved Gaupskardvegen nord krysset også en kraftlinje profilet og profil 4 ble derfor ikke målt så langt som ønskelig. Målepunktavstanden langs profilene var 12.5 meter.

3.2 Borehullslogging

På grunnlag av 2D resistivitetsmålingene ble det boret en brønn ved Småvann på 120 meter (Ø 140 mm) med retning 240° og med fall 30° fra lodd. Brønnen ble boret mot en lavresistivitetssone som faller sammen en EM-helikopteranomali.

3.2.1 Optisk televiewer

Metodebeskrivelse for optisk televiewer er lagt ved i tekstbilag 1. Med optisk televiewer filmes hele borehullsveggen. Fra bildeleggen kartlegges alle sprekker og geologiske strukturer. Strøketretning og fallvinkel til sprekkeplan beregnes og det utarbeides statistikk på alle indikerte sprekker i form av stereoplott og sprekkehistogrammer (sprekkefrekvens). I vannfylte hull kreves klart vann med godt sikt for å få tolkbare bilder. Sonden senkes med en maksimal hastighet 1 meter pr. minutt, og for hver millimeter gjøres en registrering. Det kan samples 360 eller 720 punkter sirkelen rundt, og i vanlige fjellbrønner gir dette en pikselstørrelse på ca. 1mm x 1 mm.

3.2.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gamma

Metodebeskrivelse er lagt ved i tekstbilag 2. Vannets temperatur og elektriske ledningsevne blir logget kontinuerlig langs den vannfylte delen av borehullene. Tydelige endringer i disse parametere kan indikere vanninnstrømming i borehullet. Gammalogg (naturlig totalstråling) avspeiler geologien og den mineralske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak kalium, uran og thorium som gir gammastråling. Mest vanlig er kalium som finnes i feltspat.

Bergartsgrenser kan ofte bestemmes ut fra en slik logg. Målehastighet er 3 m/min og målepunktavstand er 1 cm.

3.2.3 Berggrunnens resistivitet

Berggrunnens resistivitet kartlegges med en sonde som sender strøm ut i bergarten mens spenningen måles mellom to elektroder. Ut fra verdiene på strømstyrke og spenning kan en beregne den tilsynelatende elektriske motstanden til fjellet. Det måles med to forskjellige konfigurasjoner, Short Normal (SN) og Long Normal (LN) der avstanden mellom strøm og spenningselektrode er henholdsvis 16" og 64". Med SN kartlegges resistiviteten i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, mens LN måler noe lengre ut fra borehullet. I tillegg måles SPR (Single Point Resistivity). Dette er en punktmåling der det måles hvor mye strøm det går ut fra strømelektroden, og er et mål for overgangsmotstanden ved strømelektroden. Målingen forgår kontinuerlig med en hastighet på 5 m/min og målepunktavstand er 1 cm.

Høy resistivitet i bergartene (fra ca 5000 ohmm og høyere) indikerer vanligvis massivt og lite oppsprukket fjell. Lavmotstandssoner (under 5000 ohmm og ned i noen hundre ohmm) kan indikere oppsprukket, porøst fjell med høyt vanninnhold. Leirminerale, kisminerale og eventuelt grafitt vil også gi lave verdier.

3.2.4 Strømningsmåling

Metodebeskrivelse for strømningsmåling er vist i tekstbilag 3. Ved å gjøre strømningsmåling sammen med pumping kan en lokalisere vannførende sprekker samt kvantifisere vannstrømmen fra disse sprekke. Pumpemengden bør tilpasses brønnens kapasitet. Ved kontinuerlig måling brukes en hastighet på 5 m/min og målepunktavstand 1 cm.

3.2.5 Avviksmåling

Avviksmåling utføres sammen med OPTV måling. I OPTV sonden finnes magnetometre og akselerometre som kontinuerlig bestemmer retning og fallvinkel til borehullet. Data fra disse målingen brukes også til å bestemme retning og fall til indikerte sprekker. Foringsrør av jern og magnetittholdige bergarter vil være feilkilder under avviksmålingen. Borehullsforløpet presenteres som horisontal- og vertikalprojeksjoner. Målehastighet er 1 m/min og målepunktavstand er 1 m. Nøyaktigheten i målingene er oppgitt til å være +/- 2.5° i retning og +/- 0.25° på fallet.

4. RESULTATER

Lokalisering av målte profiler og brønn framgår av kartbilagene -01 til -06. I det følgende blir måleresultatene kommentert.

4.1 2D Resistivitet, induisert polarisasjon (IP) og VLF

De viste resistivitets-seksjonene (figur 1 til 4) er produsert med Standard Inversjon og et vertikal/horisontalfilter på 1 (figur 1) og 0.5 (figur 2 – 4). Det er tatt hensyn til topografien under inversjonen, noe som avspeiles i varierende dybderekkevidde.

Ved målingene i 2002 var det lite samsvar mellom bakkemålingene og de påviste VLF anomaliene fra helikoptermålingene i områdene Gaupskardvegen og Lauvlivegen. Retolking av helikoptermålingene ved profilene 2, 3 og 4 viste en noe annen beliggenhet av anomaliene, og profil 3 og 4 ble forlenget ved målingene i 2003. Beliggenheten av de retolkede anomaliene framgår av kartbilag -01.

4.1.1 Småvann

Profil 1 krysser her den sentrale delen av en flere kilometer lang og forholdsvis svak nord/syd gående EM-anomali påvist ved helikoptermålingene (Beard & Rønning 1997). De inverterte resistivitet- og IP-data for profilet er vist i figur 1. Kartbilag -02 viser de tolkede resistivitetsdata, med skille på om de påviste partier med lav resistivitet er dagnære eller om de er dyptgående.

Som figur 1 viser ligger det generelle resistivetsnivået langs profilet i området 15 000 til 50 000 ohmmeter. Det berggrunneologiske kartet (Larsen m. fl. 2001) viser at berggrunnen her består av gang og dypbergarten syenittporfyr. Målingene indikerer videre at en inne i syenittporfyren har soner og områder med resistiviteter i området 4 500 til 15 000 ohm m. En sone med lavere resistivitet ved koordinat 430 faller sammen med EM-anomalien, og det er grunn til å anta samme anomaliårsak. Resistiviteten er ikke spesielt lav (ca. 6000 ohmm.) og skyldes neppe en større oppsprekking, og heller ikke elektronisk ledende mineraler.

For å undersøke hva årsaken til den lave resistiviteten skyldes ble det satt på et borehull (Bh. 3) som skulle skjære sonen på ca. 80 meters dyp. Resistivitetsmålingene i borehullet viser tilnærmet samme verdier som ved bakkemålingene (se avsnitt 4.2.3) sentralt i sonen, men avviker i starten og slutten av borehullet.

Målingene viser ellers en sone med dyptgående lav resistivitet (ca. 6000 ohmm.) ved koordinat 300, og anomaliårsaken er trolig også her en sprekkesone. På begge flanker av profilet er det påvist grunne horisontale partier med lavere resistivitet. Hva dette skyldes er usikkert, men en mulighet er overflateforvitring og/eller tynde lagpakker av bedre ledende lavabergarter.

Samtidig med måling av resistivitet ble det også målt IP, og de inverterte IP-data er vist nederst i figur 1. Det er en svak tendens til at områder med lavere resistivitet også viser lavere IP-effekt. Dette viser at ledende mineraler ikke er årsak til lavere resistivitet, men at det skyldes

større porøsitet/økt elektrisk ledningsevne i porevann. Ut over dette bidrar ikke induisert polarisasjon til karakterisering av svakhetssoner.

VLF-målingene på profilene 5 og 6 er vist i figur 6, og profilenes beliggenhet er vist i kartbilag –02. Som figur 6 viser ble det ikke påvist anomalier på noen av profilene. Profil 5 er nok målt for kort (kraftlinje) til å kunne bekrefte helikopteranomaliene. Det er heller ikke noen anomalier i forlengelsen av den dyptgående lavresistivitetssonen ved koordinat 300 på profil 5.

4.1.2 Gaupskardvegen - sør

Profil 2 krysser her en flere kilometer lang VLF-anomali fra helikoptermålingene (kartbilag –01). De inverterte resistivitetsdata for profilet er vist i figur 2 og VLF-målingene er vist i figur 5. De tolkede data er vist på kartbilagene -03 og -06.

Som figur 2 viser ligger det generelle resistivetsnivået i de sentrale delene av profilet i området 10 000 – 20 000 ohmmeter. Berggrunnen her er kartlagt til å bestå av to nivåer av rombeporfyrlava . På begge flankene er det tydelig lavere resistivitet. Selv om dybdeangivelsen er usikker på flankene av profilene på grunn av manglende data mot dypet, ser den lave resistiviteten ut til å være grunn i nord (høyeste koordinat), mens den i sør (laveste koordinat) kan fortsette mot dypet.

En grunn sone med forholdsvis lav resistivitet ved koordinat 440 faller delvis sammen med helikopteranomaliene. Det er noe usikkert om denne grunnne sonen er årsaken til helikopteranomaliene, men VLF-målingene på bakken (figur 5) viser også svake anomalier i dette området. Ved Lauvivegen (4.1.3) og Gaupskardvegen (4.1.4) er anomaliårsaken til helikopteranomaliene tolket til å skyldes et bedre ledende sandstenkonglomerat mellom lavstrømmene. Anomaliene på 380 og 450 kan representere kantene på en tilsvarende sone selv om konglomeratet ut det berggrunnsgeologiske kartet ikke har utgående langs dette profilet. Det er heller ikke kartlagt noen sprekkesoner med samme retning som helikopteranomaliene, slik at det her også er mest trolig at det er det bedre ledende sandstenkonglomeratet som er anomaliårsaken.

4.1.3 Lauvivegen

Profil 3 krysser her den nordligste delen av et større tredelt VLF-anomalidrag fra helikoptermålingene (kartbilag –01). De inverterte resistivitet- og IP-data for profilet er vist i figur 3. VLF-målingene er vist i figur 5, og de tolkede data er vist i kartbilagene -04 og -06.

Som figur 3 viser, er det store variasjoner i resistiviteten langs profilet. Berggrunnen her er kartlagt til å bestå av flere nivåer av rombeporfyrlava med et sandstenkonglomerat mellom lavstrømmene (Larsen og flere. 2001). Et konglomeratnivå faller sammen med den påviste lavresistiviteten ved ca. koordinat 200, mens det andre faller sammen med den dyptgående lavresistiviteten ved koordinat 760. Som kartbilag –04 viser samsvarer det sistnevnte lavresistivetsområdet med VLF-anomaliene fra helikoptermålingene, og dette indikerer at det mest sannsynlig er det bedre ledende konglomeratet som er anomaliårsaken til helikopteranomaliene. Helikopteranomaliene bekreftes ved en svak VLF-anomali ved bakkemålingene (figur 5).

Det er også målt IP på dette profilet som er vist nederst på figur 3. Som figuren viser ligger IP-nivået langs profilet på 4 til 5 msek, med to til tre soner med lavere IP-effekt. To av disse laveeffektsonene faller sammen med de to påvist lavresistivitetssonene. Konglomeratet ved koordinat 760 som har gitt grunnlaget for helikopteranomalien gir lav IP, noe som indikerer at den økte ledningsevnen ikke skyldes innslag av sulfider men større porøsitet/oppsprekking.

4.1.4 Gaupskardvegen – nord

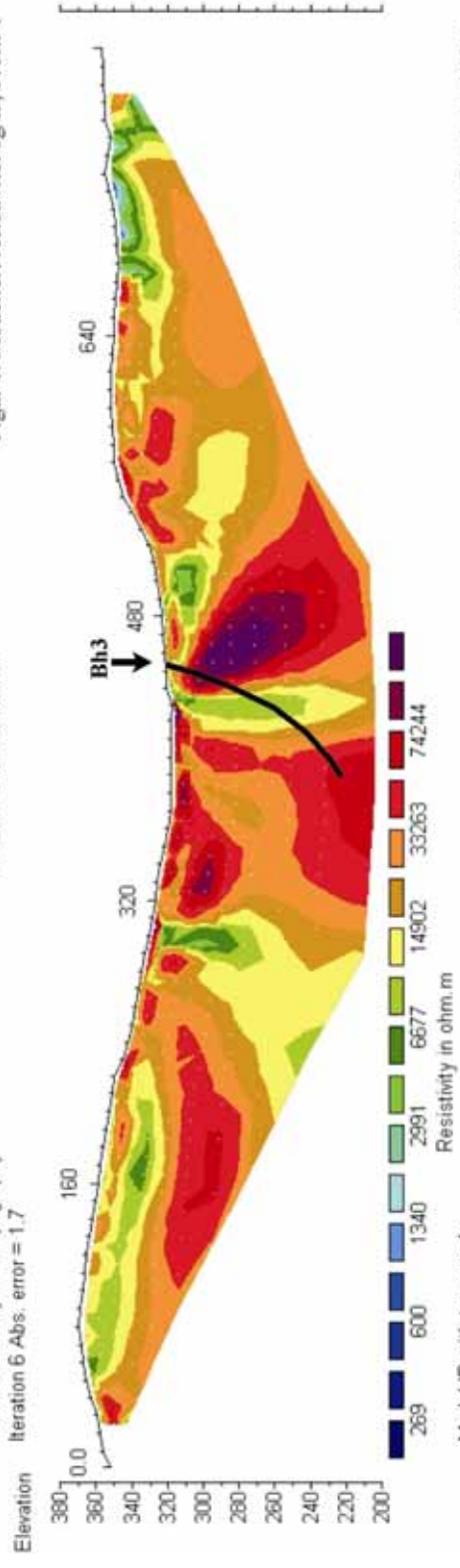
Bakkemålingene (profil 4) går mellom to parallelle VLF-anomalier fra helikoptermålingene (se kartbilag -01). De inverterte resistivitet- og IP-data for profilet er vist i figur 4. VLF-målingene er vist i figur 6, og de tolkede data er vist i kartbilagene -05 og -06.

Berggrunnen langs profil 4 består av de samme nivåene av rombeporfyrlava som ved Laulivegen (profil 3) med mellomliggende sandstenkonglomerat. Figur 4 viser her et mer ensartet resistivitetsbilde enn for profil 3, og de dypere deler av profilet ligger i området 3 000 til 10 000 ohmm. De øvre deler av profilet viser en vesentlig lavere resistivitet og helikopteranomalien faller delvis sammen med utgående av en lavresistivitetssone ved koordinat 770. Det er grunn til å anta at det også på dette profilet er sandstenkonglomeratet som har gitt helikopteranomalien, og i følge berggrunnskartet har konglomeratet utgående like øst for Gaupskardvegen i dette området.

Figur 1. Modellert resistivitet og IP, Profil 1

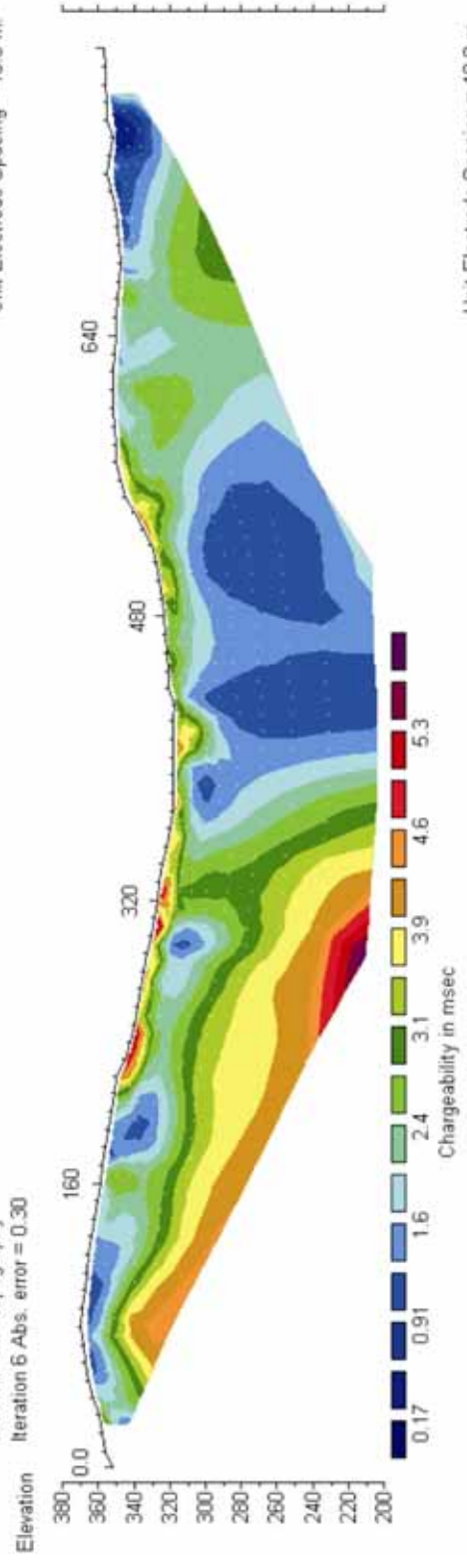
Profil 1 Småvann

Model resistivity with topography
Iteration 6 Abs. error = 1.7



Unit Electrode Spacing = 10.0 m.

Model IP with topography
Iteration 6 Abs. error = 0.30

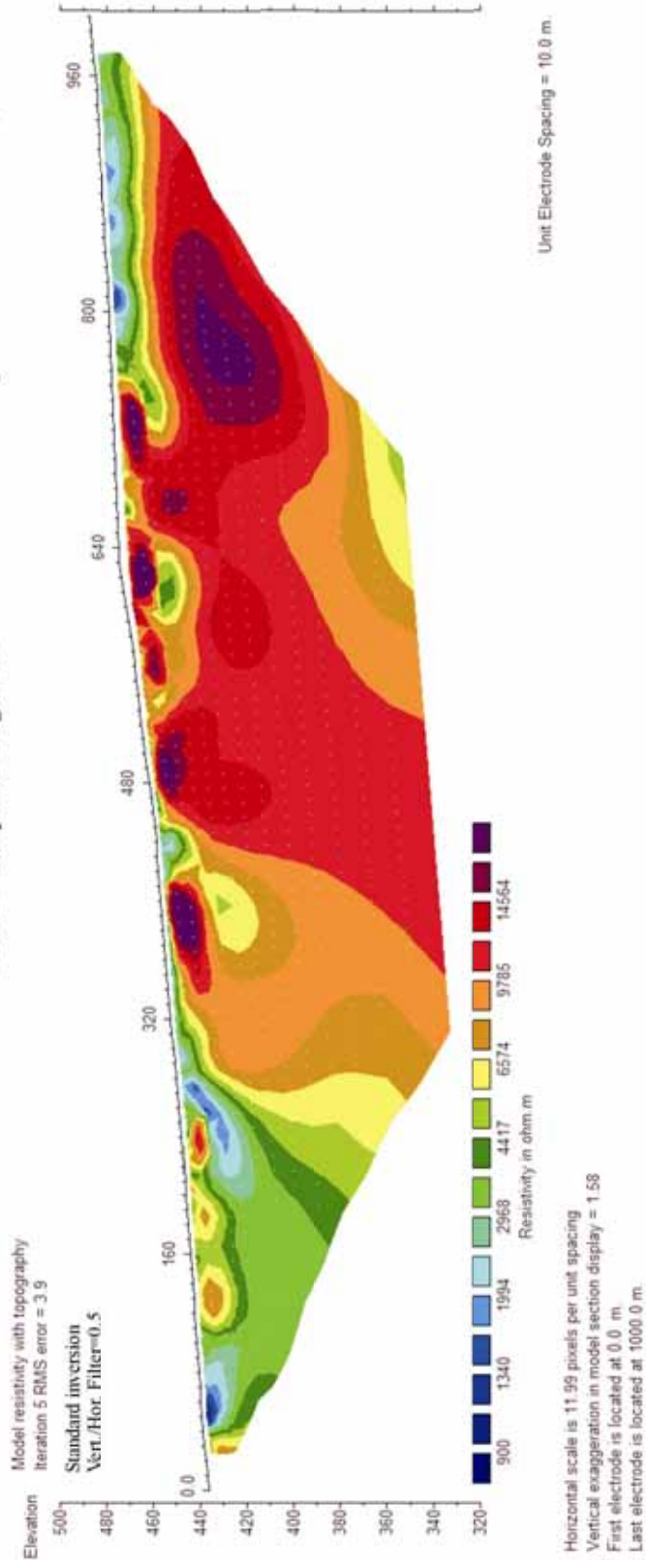


Unit Electrode Spacing = 10.0 m.

Horizontal scale is 11.79 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.98
First electrode is located at 0.0 m

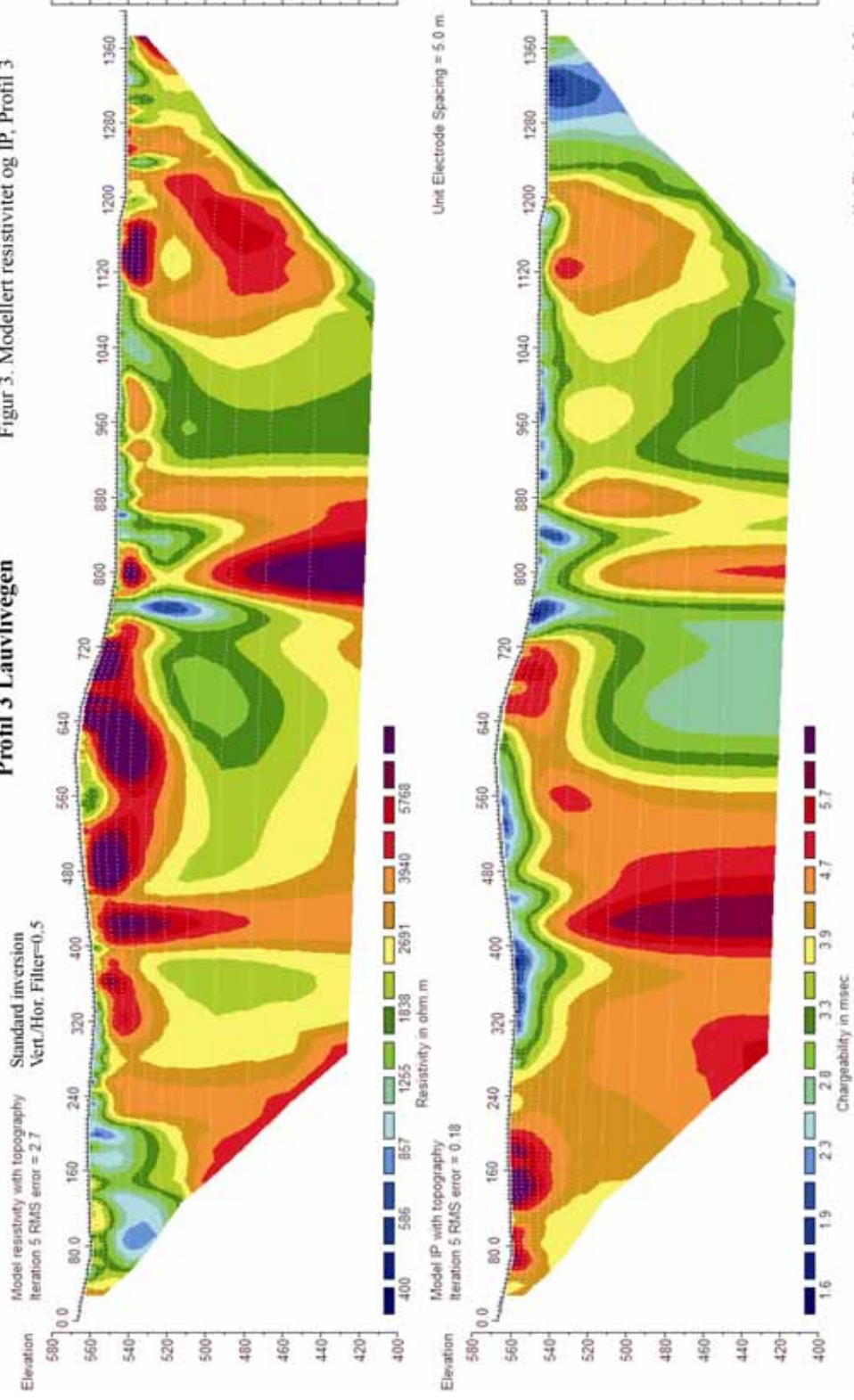
Profil 2 Gaupskardvegen sør

Figur 2. Modellert resistivitet, Profil 2



Profil 3 Lauvlivegen

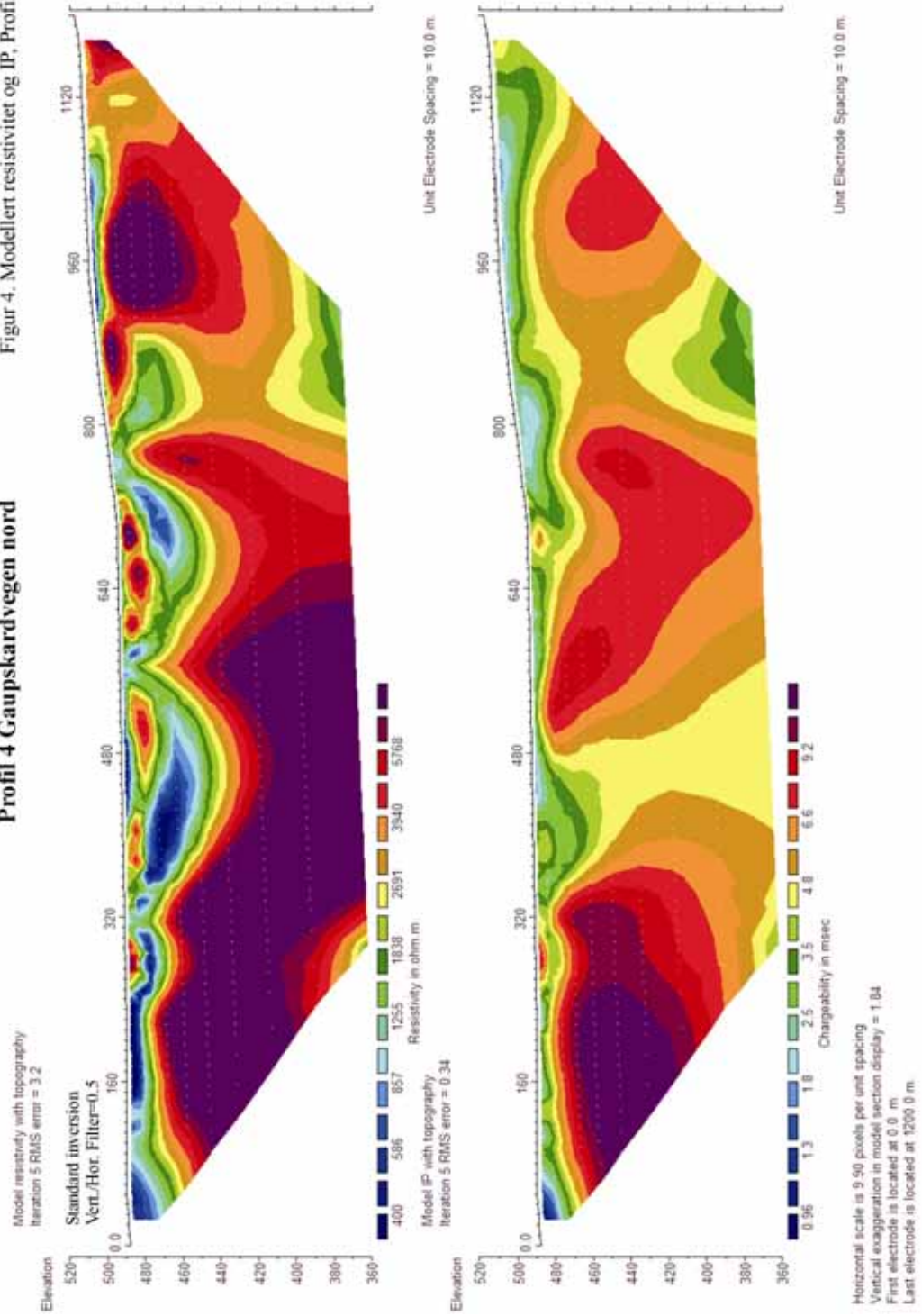
Figur 3. Modellert resistivitet og IP, Profil 3

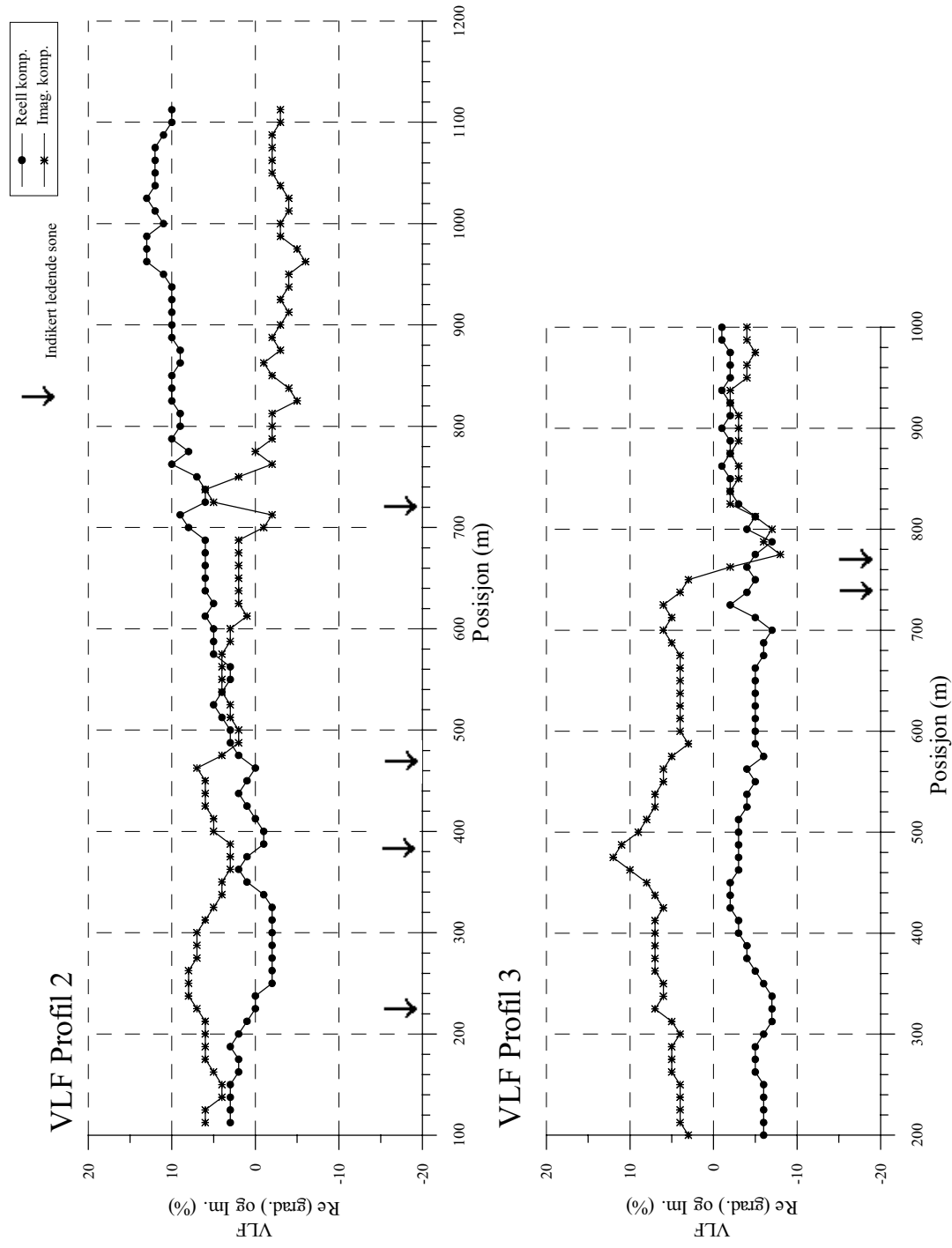


Horizontal scale is 4.28 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 2.05
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1400.0 m

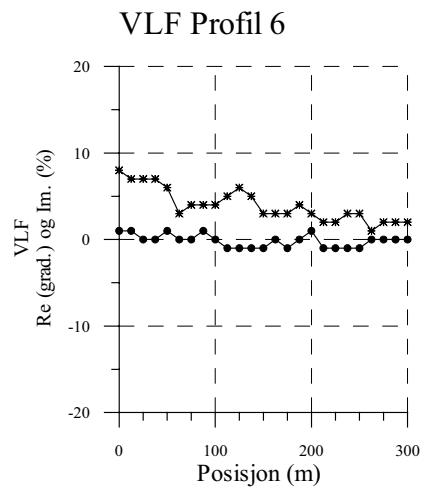
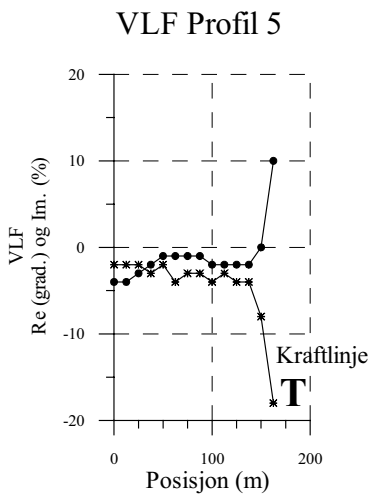
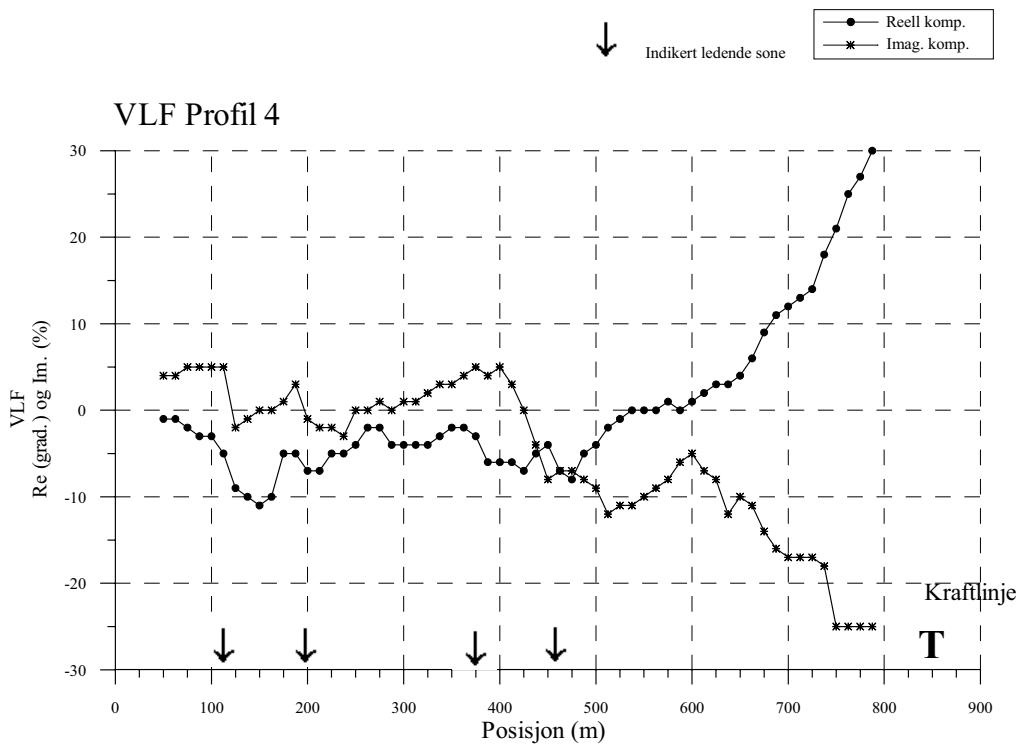
Profil 4 Gaupskardvegen nord

Figur 4. Modellert resistivitet og IP, Profil 4





Figur 5. VLF profil 2 og 3



Figur 6. VLF profil 4, 5 og 6.

4.2 Borehullslogging

Brønnen som ble boret ved Småvann er logget med optisk televiewer, temperatur - vannets ledningsevne – naturlig gammastråling, og resistivitet.

4.2.1 Optisk televiewer

Logging med optisk televiewer i brønnen ved Småvann måtte gjøres om igjen da sikten i vannet var for dårlig ved logging høsten 2002. Siste logging ble utført 20.02.03.

Resultatene fra inspeksjon med optisk televiewer i borehullet er presentert som stereogram av sprekkeorienteringer, frekvenshistogram og bildelogg fra utvalgte deler av borehullet (figurene 7, 8 og 9).

Bildelogg (hele hullets lengde) kan skaffes på CD ved NGU(CD 2003.007).

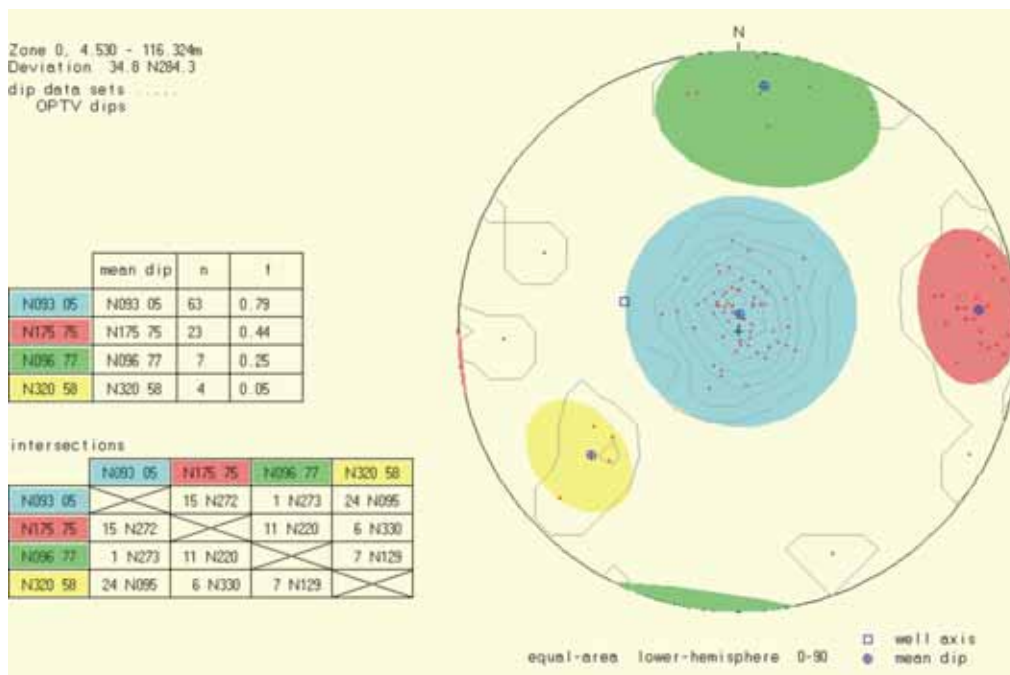
Data fra den optiske loggingen er prosessert med programvare fra Robertson Geologging (Robertson Geologging 2000), for detaljer se tekstbilag 1. Digitalisering av observerte sprekker er gjort fra det utbrettede bildet av borehullsveggen. Etter at alle hendelser er digitalisert og plottet i et stereografisk nett, er utvalgte sprekkegrupperinger (hovedretninger) markert med hver sin farge (sirkel) i stereogrammet. Disse fargene og grupperinger går igjen i frekvenshistogrammene.

Sprekkeanalyse. Stereografisk projeksjon med definerte grupper.

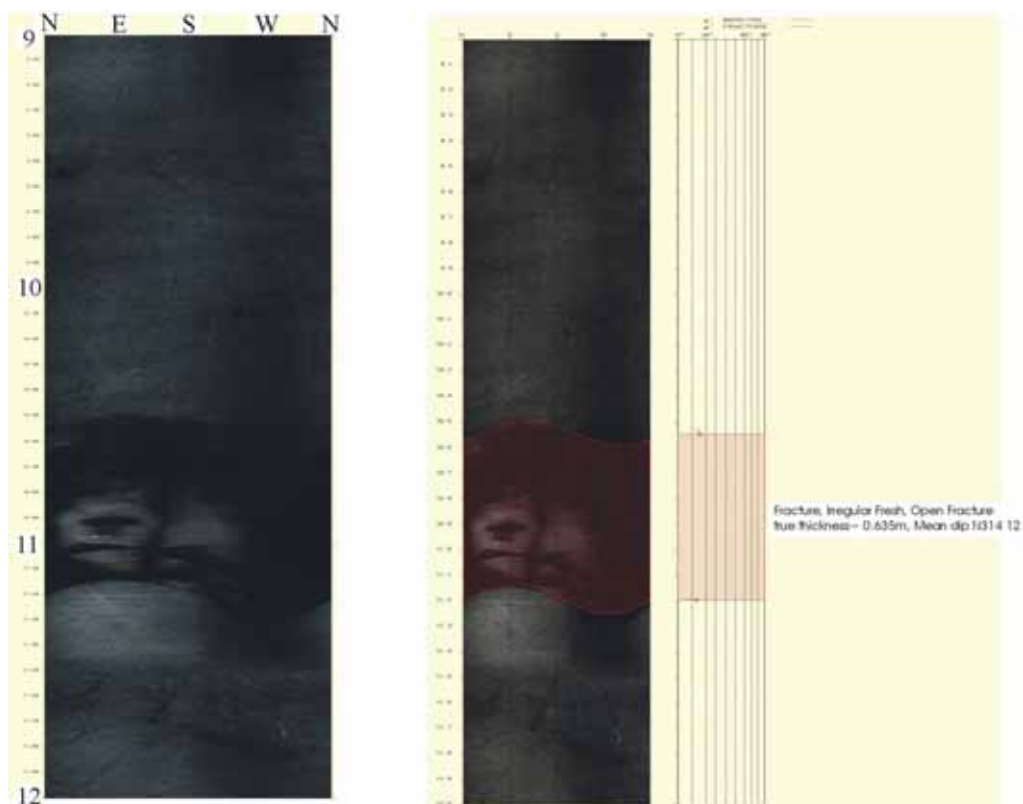
Figur 7 viser stereogram hvor alle indikerte sprekker er plottet. En tydelig hovedsprekkeretning skiller seg ut, N093 05, dvs sprekker med et nært horisontalt fall. Retningen er noe tvilsom ettersom det er umulig å definere en klar retning på horisontale sprekker. Retningen kan "bikke" i alle retninger ved liten vinkel fra horisontalen noe en ser på frekvenshistogrammet, figur 9. En annen sprekkegruppe som skiller seg ut er N175 75, dvs. steile NS-gående sprekker.

Sprekkeanalyse. Frekvenshistogrammer for definerte soner.

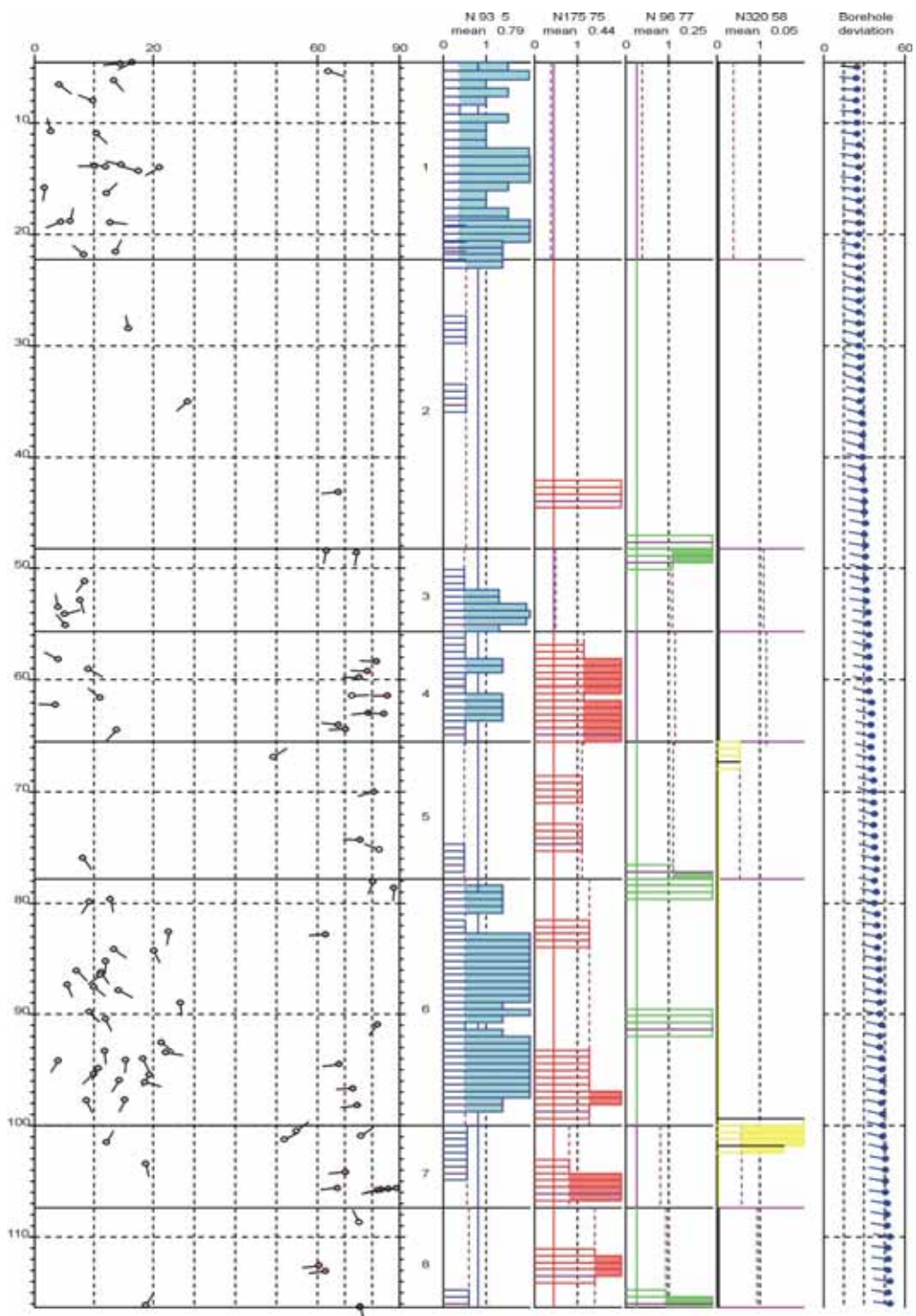
En tydelig åpen sprekk ble observert på 10. 5 m dyp i borehullet, se figur 8 som viser et bilde av denne sprekken. Denne ble undersøkt særskilt med hensyn til vanninnstrømning, se senere. Figur 9 viser frekvenshistogram over alle indikerte sprekker. Borehullet, som går i syenittporfyr, er moderat oppsprukket. Bergarten er relativt finkornet og ser massiv ut mellom sprekken. Bortsett fra den åpne sprekken er de øvrige indikerte sprekken tynne, noen med mineralisering. Sprekkefrekvensen er størst mellom 5 – 20 m, 52 – 65 m og 82 – 98 m. 2D resistivetsmålinger, se figur 1, viser en sone med noe lavere elektrisk motstand mellom 0 og 10 m og mellom 50 og 100 m dyp. OPTV-målingene viser størst oppsprekking i de samme områdene.



Figur 7. Borehull Småvann. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker.



Figur 8. Borehull Småvann. OPTV-bilde av åpen sprekk mellom 10.6 og 11.2 m.



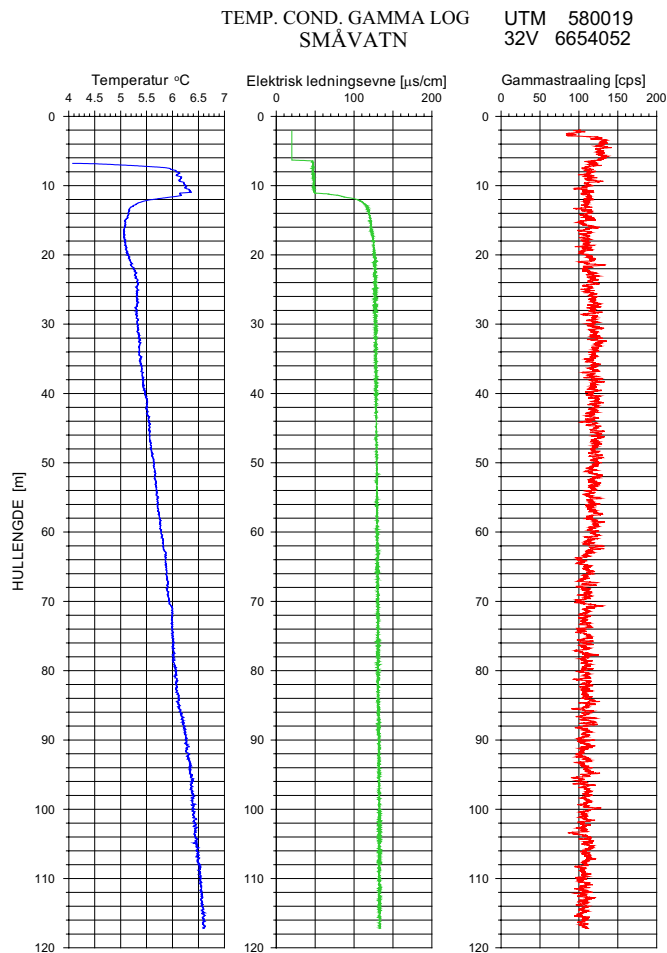
Figur 9. Borehull Småvann. Frekvenshistogram over indikerte sprekker.

4.2.2 Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling

Figur 10 viser logg av vannets temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling i bergarten. Tekstbilag 2 viser metodebeskrivelse. Endringer i temperatur og ledningsevne kan indikere vanninnstrømning i hullet. Grunnvannspeilet var på 6.4 m.

Loggen viser en tydelig endring i både temperatur og ledningsevne ved ca 10.5 m. Temperaturen går kraftig ned (fra 6.3 til 5.1 °C) mens ledningsevnen øker. Det var ved samme dyp den åpne sprekken ble observert på den optiske loggen. Det er derfor grunn til å tro at dette er en vannførende sprekke. Videre nedover hullet øker temperaturen jevnt med en gradient på 1.92 °C/100 m vertikalt dyp. Gradienten er omregnet til vertikalt dyp da hullet er boret med 65 ° fall, og hullet flater noe ut mot dypet, se senere om borehullsavvik. En gradient på 1.92 °C/100 m er over gjennomsnittet i norske bergarter der NGU har logget temperatur. Under den åpne sprekken er ledningsevnen konstant i hele hullet og det er ingen indikasjoner på vannførende sprekker.

Gammastrålingen er konstant langs hele hullet, 100 – 130 cps (counts per second). Dette tyder på samme bergart i hele hullet noe den optiske loggen også viser. Nivået på gammastrålingen tyder på noe innhold av kalifeltspat (radioaktivt element K^{40}).

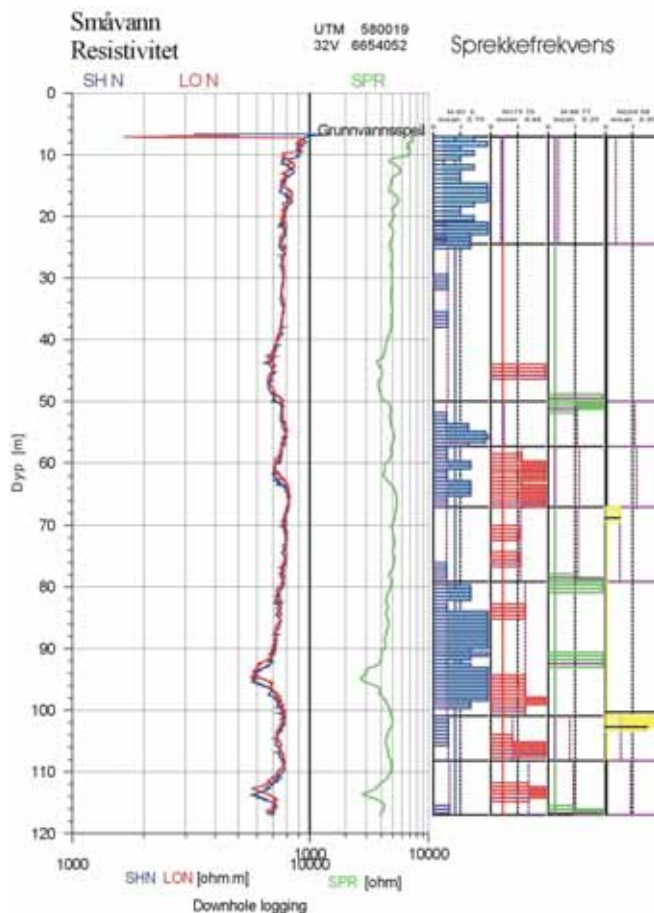


Figur 10. Borehull Småvann.
Temperatur, elektrisk ledningsevne
og total gammastråling

4.2.3 Resistivitet

Figur 11 viser fjellresistiviteten i borehullet ved Småvann sammen med frekvenshistogram. Resistiviteten er generelt høy, 7000 – 9000 ohm m, langs hele borehullet. Dette tyder på massiv bergart. Det er ikke registrert lavmotstandssoner som kan indikere intens oppsprekking, vannførende soner eller leirholdige sprekkesoner. Svak nedgang i den tilsynelatende motstand kan relateres til partier med forhøyet oppsprekking som ved 62 m, 95 m og 114 m, se figur 11. Ingen av disse sprekkenes er åpne og det er ingen indikasjon på vanninnstrømming. Den åpne sprekken ved 10.5 – 11 m indikeres som en svak nedgang i motstanden.

Ser en nærmere på resistiviteten i forhold til sprekkefrekvensen er det en tydelig sammenheng mellom nedgang i resistiviteten og høy sprekkefrekvens av steile sprekker. Dette vises tydelig ved 60 – 64 m, 93 – 96 m, 102 – 106 m og 112 – 115 m. Gjennomsnittlig fall for disse sprekkenes er 75°. En mulig årsak til at disse sprekkenes (og ikke de horisontale) gir nedgang i resistiviteten er forholdet mellom sprekkenes retning og strømretningen. De steile sprekkenes er "mer parallelle" hullbanen enn de tilnærmet horisontale sprekkenes, selv med utflatingen av hullet i nedre del. Det kan ut fra dette se ut som om det er en viss grad av anisotrop resistivitet.

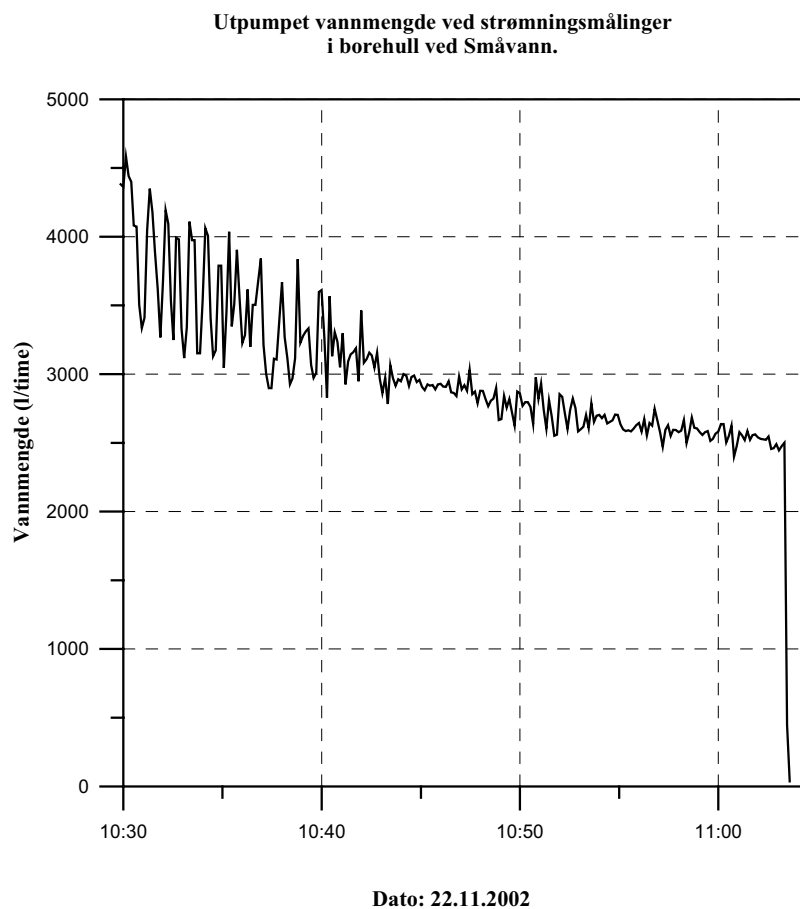


Figur 11. Borehull Småvann. Fjellresistivitet og sprekkefrekvens.

4.2.4 Strømningsmåling med pumping

Metodebeskrivelse for strømningsmåling er vist i tekstbilag 3. Strømningsmålingene ble utført på to måter. For å undersøke om den åpne sprekken ved 10.5 m var vannførende ble det utført stasjonær strømningsmåling over og under sprekken. Med vannstand i borehullet på 6.4 m ble pumpe plassert på 8 m og strømningsmåleren på 10 m, like over sprekken. Mens pumping pågikk, pumperate 2.1 m³/time, ble turtallet på strømningsmåleren registrert i ca 20 sekunder. Deretter ble strømningsmåleren senket til 13 m og ny måling ble foretatt. En måtte undersøke sprekken på denne måten da pumpe måtte senkes dypere for å utføre kontinuerlig strømningslogg. Med bare to meters vanddyb over pumpe ville vannivået raskt senkes ned til vanninntaket på pumpe med "slurpepumping" som resultat.

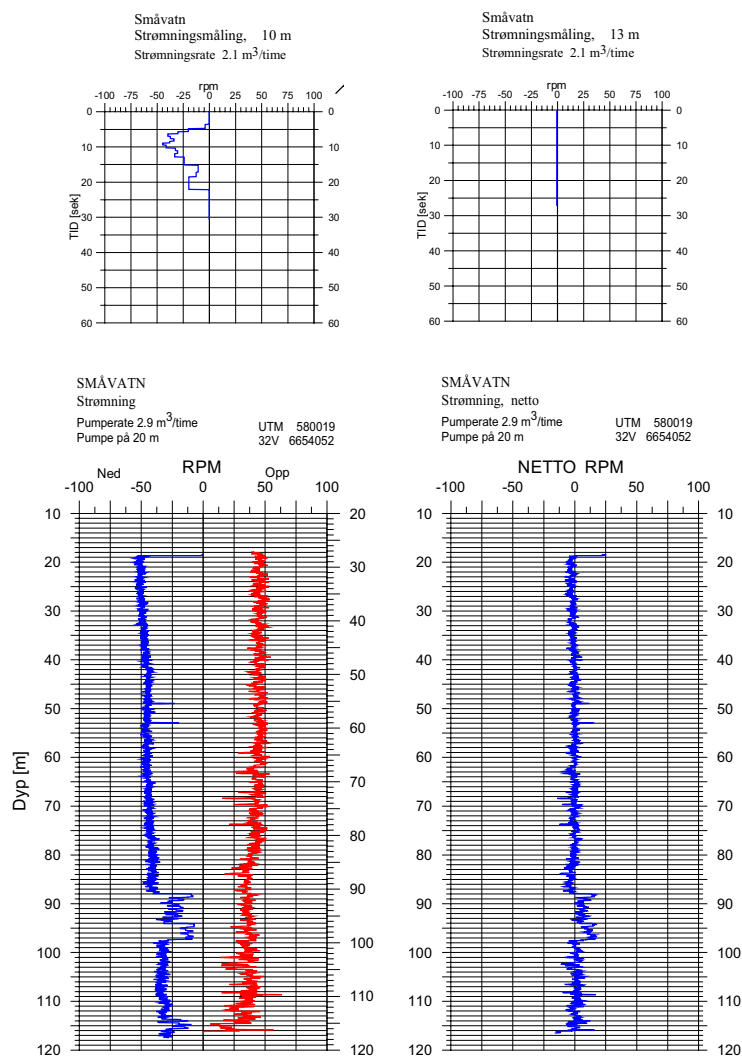
Kontinuerlig logg ble utført med pumpe på 15 m dyp. Utpumpet vannmengde er vist i figur 12. Pumperaten avtar fra ca 4000 m³/time til ca 2500 m³/time og er hele tiden ustabil. Strømningsmåleren ble senket med en hastighet på 5 m/min. Med måleren ved 78 m dyp, begynte pumpe å ta inn luft da vannivået var senket ned til pumpe. Dette er ikke ideelt da konstant pumperate bør tilstrebes og tilpasses brønnens kapasitet.



Figur 12. Borehull Småvann. Utpumpet vannmengde ved strømningsmålinger.

Figur 13 viser resultatene av strømningsmålingene. Øverst vises resultatet fra de stasjonære målingene ved sprekkesonen på 10.5 – 11 m. Når pumpa startes øker turtallet raskt til 30 – 40 rpm med strømningsmåleren på 10 m. Det varierende turtallet skyldes trolig turbulens både i nærheten av pumpa og ved sprekken. Det som er viktig her er at sterk strømning er påvist oppover i hullet like over sprekken. Med strømningsmåleren på 13 m, 2 m under sprekken, registreres ingen strømning. Dette tyder på at vann strømmer inn i hullet fra denne sprekken og strømmer oppover hullet, og at ingen strømning registreres fra dypere sprekker.

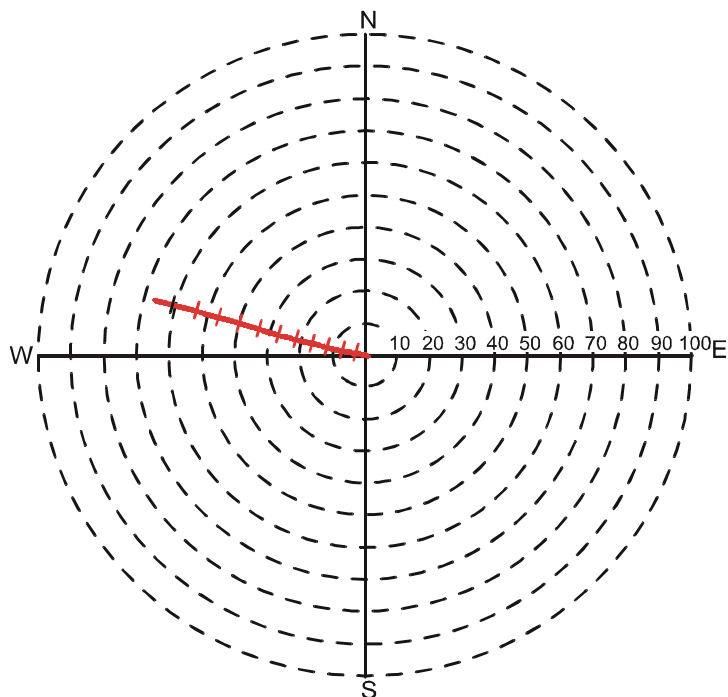
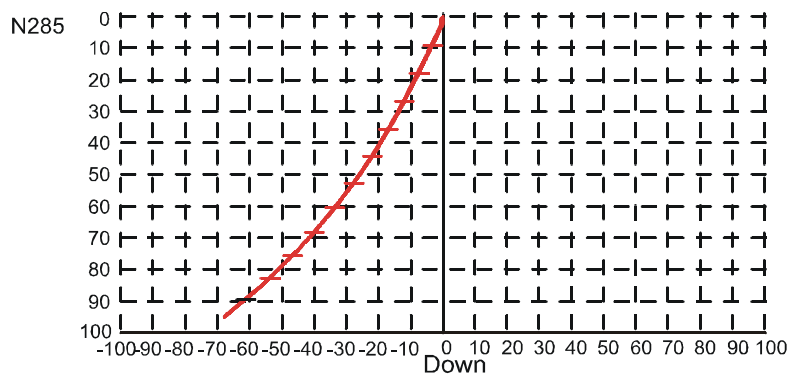
Kontinuerlig strømningsmåling er vist nederst på figur 13. Her vises omdreiningstall ved måling med konstant hastighet opp og ned samt netto turtall. Det er mye støy på målingene, spesielt oppover og nederst i hullet. Det er lite trolig at dette skyldes strømning i hullet. Bortsett fra åpenbare forstyrrelser mellom 88 og 98 m, avtar turtallet (rpm) nedover ved logging nedover. Teoretisk kan dette indikere en gradvis minkende oppadrettet strømning når registrert turtall øverst i hullet tilsvarer sondens hastighet pluss eventuell oppadrettet strømning. Fra start logging ved 20 m ligger turtallet på ca 50 rpm. Dette tilsvarer hastigheten til sonden når den senkes med 5 m/min (uten noe strømningsbidrag fra sprekker). For at turtallet skal minke nedover hullet (som det gjør) må det være en strømning som virker mot turtallet som skyldes hastigheten til sonden (logging nedover tilsvarer "strømning" oppover). For å få et slikt forløp må det derfor være en økende strømning nedover. Dette er lite sannsynlig. Logging oppover gir tilsvarende forløp. Det er noe som reduserer turtallet i nedre deler av hullet. Ved start logging oppover var det store problemer med å få propellen på strømningsmåleren til å starte. En måtte kjøre sonden opp og ned for å få den i gang. Dette skyldes ganske sikkert store mengder slam (sandpartikler) i bunn av borehullet. Det var null sikt ved logging optisk i den nedre halvpart av hullet. Propellen er veldig følsom, så det skal ikke mye skitt i hullet før det påvirker dens rotasjonshastighet. Kurven for netto rpm viser tilnærmet 0 bortsett fra støyen ved 88 – 98 m. Ut fra de betraktninger som er gjort ovenfor er det ingen ting som tyder på vanninnstrømning i hullet under sprekken ved 10.5 – 11 m.



Figur 13. Borehull Småvann. Stasjonær strømningsmåling ved sprekk 10.5 –11 m (øverst) og kontinuerlig strømningsmåling opp og ned med netto strømning (nederst).

4.2.5 Borehullsforløp

Avviksmåling blir gjort kontinuerlig med OPTV-sonden. Figur 14 viser borehullsforløp, vertikal- og horisontalprojeksjon. Hullet flater noe ut i den nedre halvdel og avviket i bunn er ca 20 m fra planlagt forløp. Det er ingen store avvik i retning ut over planlagt forløp. Utgangsretning var N290, mens målt retning i bunnen av hullet er N285.



Figur 14. Borehull Småvann. Borehullsforløp, vertikalsnitt i hullretning (øverst) og horisontalsnitt (nederst).

5. DISKUSJON

I det følgende blir resultatene fra oppfølging av helikopter EM-anomali ved Småvann og helikopter VLF-anomalier nord på Krokskogen diskutert.

5.1 Helikopter EM-anomali ved Småvann

Oppfølgingen av elektromagnetisk anomali kartlagt fra helikopter ved Småvann gav et meget beskjedent utslag på resistivitetsmålingene på bakken. Generelt var resistiviteten større enn 15000 ohmm, men i enkelte soner kunne en kartlegge verdier ned mot 5000 ohmm. To vertikale soner tolkes som sprekkesoner, og den østligste av disse er sammenfallende med EM-anomalien fra helikoptermålingene. Det betviles imidlertid sterkt at denne svake anomalien ved bakkemålingene kan forklare en anomali ved helikopter EM-målinger. En kan ut fra dette ikke utelukke at vannene i området kan være årsak til de påviste EM-anomaliene kartlagt fra helikopter. For å få en mer tilfredstillende forklaring burde det vært utført modellberegninger.

Resistivitetsmålingene i brønnen som ble boret mot den ene av de to mulige sprekkesonene viste verdier i området 7000 – 9000 ohmm, noe som bare delvis bekrefter nivået fra bakkemålingene. Avviket er størst mellom 20 og 40 meter nede i borehullet og fra 80 meter og ned til bunnen. Det kan tenkes flere årsaker til dette: målefeil, anisotropi og svakheter ved inversjonsrutinene.

I de sentrale delene av profilet var betingelsene for resistivitetsmålinger relativt gode . En fikk ut mye strøm, og med det store antall enkeltmålinger metoden benytter seg av, er det lite sannsynlig at en skal ha systematiske målefeil som forklarer uoverensstemmelsene.

Steile sprekker påvist med optisk televiewer viser en viss redusert resistivitet (figur 11), men de mer horisontale sprekkenes synes ikke å påvirke. Anisotropi kunne vært en årsak, men ut fra borehullets forløp og sprekkenes opptreden ser ikke dette ut til å forklare uoverensstemmelsen.

Generelt relativ høye resistivetsverdier kan fort gi store utslag ved inverteringen av måledata. I de grunneste partiene (20 til 40 meter), skvises et område med høy resistivitet mellom to soner med lavere resistivitet. Det kan tenkes at uheldig geometri kan bidra til spesielt høye verdier ved inversjonen. I de dypeste partier av profilet er alltid inversjonen mer usikker.

Indusert polarisasjon målt langs det samme profilet viser lave verdier som i hovedsak faller sammen med områder med lav resistivitet.

Som i mange andre sammenhenger, ble VLF-målinger på bakken også her forhindret av sterke effekter fra lokale kraftlinjer.

5.2 Helikopter VLF-anomalier nord på Krokskogen

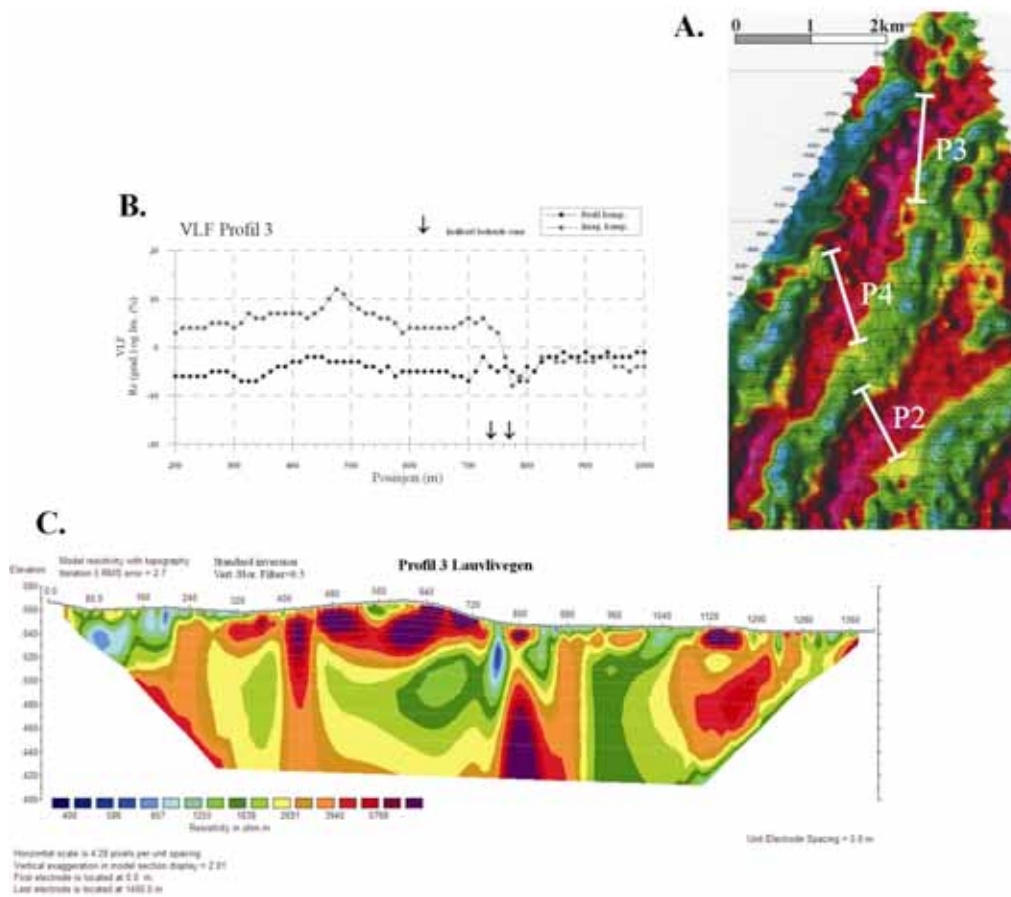
Lengst nord på Krokskogen var flere VLF-anomalier kartlagt ved helikoptermålinger utgangspunkt for oppfølginger på bakken. Disse anomaliene hadde en annen retning enn de kjente forkastningene og svakhetssonene en kjente til i området. Det var derfor metodisk av stor betydning å få bekreftet disse anomaliene og samtidig prøve å finne årsaken.

Resistivitetmålinger på bakken langs profil 3 (Lauvlivegen) kunne påvise 2 soner med lav resistivitet som faller sammen med bergart kartlagt som breksje-konglomerat-sandstein som ligger mellom de ulike rombeporfyr lavaene i området (Larsen m. fl. 2001). I følge Larsen (personlig meddelelse) kan denne overgangsbergarten være meget porøs, og derved ha lav resistivitet. Bergarten tolkes til å være årsak for VLF-anomaliene. Anomaliens uvanlige forløp skyldes at bergartene ligger relativt horisontalt, og at denne spesielle bergartens utgående følger terrenget. Langs de to andre profilene som ble målt (Gaupskardvegen Nord og Sør) er tilsvarende bergarter ikke angitt på det geologiske kartet, men påviste anomalier faller ofte sammen med overganger fra en rombeporfyr til en annen. En antar derfor at tilsvarende overgangssone med den porøse bergarten finnes, uten at den nødvendigvis er blottet. Ut fra dette synes det klart at de VLF-anomaliene som en på forhånd var skeptisk til, er reelle, og at de er forårsaket av en meget porøs bergart mellom de forskjellige rombeporfyr lagene.

Den benyttede konfigurasjon ved disse målingene (Wenner) er ikke den mest gunstige med hensyn på kartlegging av soners fall (Dahlin & Bing 2001). Den sydligste sonen ved ca. koordinat 220 langs profil 3 (Lauvlivegen) indikerer likevel et slakt fall mot sør som forventet. Med litt godvilje kan en si at også sonen ved ca. koordinat 760 indikerer et fall mot sør. Tilsvarende kan sies om de to påviste sonene ved ca. koordinatene 280 og 450 langs profil 2 (Gaupskardvegen sør). Langs Gaupskardvegen Nord ser det ut for at den aktuelle bergarten ligger mer eller mindre horisontalt langs store deler av profilet, noe som ikke er usannsynlig ut fra bergartsforløpet i det aktuelle området.

Heller ikke i dette området har indusert polarisasjon bidratt til karakterisering og større forståelse for soners opptreden.

De porøse horisontene viste ikke noen spesielt markerte effekter ved VLF-målinger på bakken. Ofte er det imaginærdelen som gir de sterkeste utslagene. Årsaken til dette er at kontrasten i elektrisk ledningsevne (resistivitet) er lav, og ikke minst at sonene ligger nær horisontalt. Det kan synes som om måleteknikken som benyttes ved helikoptermålingene er mer følsom for den aktuelle geometri.



Figur 15. VLF-data målt fra helikopter (A), VLF-data på bakken (B) og resistivitet på bakken (C), profil3.

6. KONKLUSJON

Det er foretatt oppfølgende undersøkelser på geofysiske anomalier påvist ved tidligere helikoptermålinger. Resistivitetsmålinger over en elektromagnetisk anomali ved Byvann viser redusert resistivitet, med det reises tvil om at denne anomalien kan forklare utslagene ved helikopter EM-målingene. Det er også påvist visse uoverensstemmelser mellom resistivitet målt på bakken og i borehull i dette området. Anisotrop ledningsevne kan være en mulig årsak til avviket.

VLF-anomalier (Very Low Frequency) påvist ved de samme helikoptermålingene faller sammen med utgående av en porøs sandstein-breksje-konglomerat som opptrer mellom de forskjellige rombeporfyrlavaene på Krokskogen. Disse horisontene gir også respons ved VLF-målinger på bakken og ved 2D resistivitetsmålinger. Tilsvarende anomalier i områder hvor bergarten ikke er kartlagt indikerer at den kan opptre mer frekvent enn hittil kartlagt.

7. REFERANSER

ABEM 1999: ABEM Terrameter SAS 4000/SAS 1000. Instruction Manual. ABEM Printed Matter 93101. ABEM, Sverige.

Beard, L.P. and Rønning, S. 1997: Data acquisition and processing report – helicopter survey, Krokskogen. NGU Report 97.134

Beard, L.P., Lutro, O., Nordgulen, Ø., Rønning, J.S. og Siedlecka, A.: Geologiske og geofysiske undersøkelser for Jernbaneverket på Ringerike og Krokskogen. NGU Rapport 97.153

Beard, L.P. and Elvebakk, H.: Geophysical investigations Krokskogen, Oppkuven and Gran 1998. NGU Report 99.027.

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.

Dahlin, T. & Bing, Z. 2001: A Numerical Comparison of 2D Resistivity Imaging with Eight Electrode Arrays. Proceedings, 7th EEGS Meeting in Birmingham 2001, p. 92-93.

Larsen, B.T., Nilsen, O., Sæther, E. og Lutro, O. 2001: Berggrunnskart Oppkuven 1815 II, M 1: 50. 000, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse.

Loke, M.H. 2001: RES2INV ver. 3.4. Geoelectrical Imaging 2D & 3D. Instruction manual. www.geoelectrical.com.

Koordinater for målte profiler og borehull.

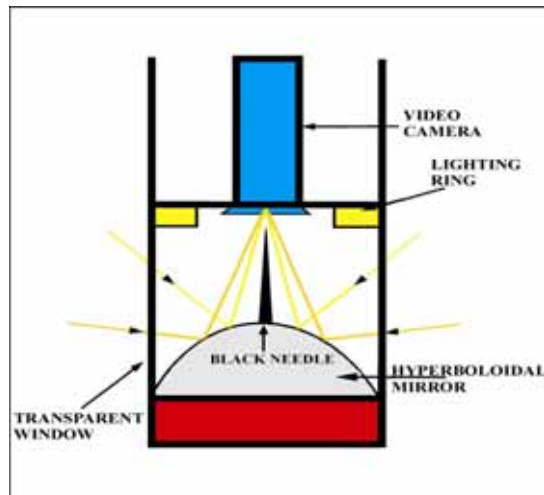
| Profil | Posisjon (m) | UTM-nord | UTM-øst | Nøyaktighet |
|----------|--------------|----------|---------|-------------|
| Profil 1 | 0 | 6653934 | 579597 | +/- 5 m |
| " | 100 | 6653967 | 579692 | " |
| " | 200 | 6653995 | 579785 | " |
| " | 300 | 6654020 | 579879 | " |
| " | 400 | 6654047 | 579966 | " |
| " | 500 | 6654146 | 580030 | " |
| " | 600 | 6654167 | 580103 | " |
| " | 700 | 6654199 | 580191 | " |
| " | 800 | 6654252 | 580267 | " |
| Profil 2 | 0 | 6660855 | 578329 | " |
| " | 200 | 6660993 | 578200 | " |
| " | 400 | 6661166 | 578138 | " |
| " | 600 | 6661318 | 578015 | " |
| " | 800 | 6661487 | 577932 | " |
| " | 1000 | 6661666 | 577865 | " |
| Profil 3 | 0 | 6664366 | 578544 | " |
| " | 200 | 6664550 | 578468 | " |
| " | 400 | 6664726 | 578476 | " |
| " | 600 | 6664910 | 578500 | " |
| " | 800 | 6665097 | 578509 | " |
| | 1400 | 6665668 | 578586 | " |
| Profil 4 | 0 | 6662453 | 577798 | " |
| " | 200 | 6662651 | 577769 | " |
| " | 400 | 6662828 | 577721 | " |
| " | 600 | 6663019 | 577651 | " |
| " | 800 | 6663196 | 577575 | " |
| " | 1200 | 6663506 | 577381 | " |
| Profil 5 | 0 | 6654253 | 579849 | " |
| " | 100 | 6654240 | 579949 | " |
| " | 160 | 6654239 | 580006 | " |
| Profil 6 | 0 | 6652971 | 579922 | " |
| " | 100 | 6652969 | 580018 | " |
| " | 200 | 6652972 | 580131 | " |
| " | 300 | 6552943 | 580227 | " |
| Bh 3 | | 6654052 | 580019 | " |

METODEBESKRIVELSE OPTISK TELEVIEWER (OPTV)

Optisk televiewer kan benyttes til inspeksjon av grunnvannsbrønner, grunnvarmebrønner, forundersøkelser for fjellanlegg (tunneler, fjellrom), og er i mange tilfeller bedre enn tradisjonell kjerneboring da en får orienterte sprekker og strukturer. I det følgende blir måleprinsipp for optisk televiewer beskrevet. Analyse av data blir illustrert ved eksempler fra borehull.

Måleprinsipp og utførelse.

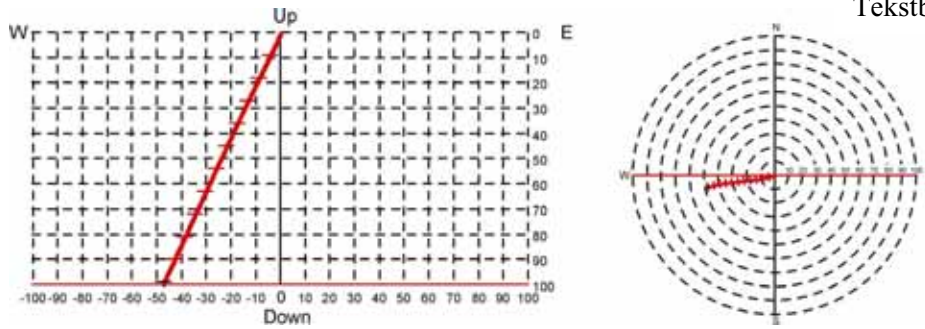
Optisk televiewer er et instrument som brukes ved inspeksjon av borehull med en diameter fra 70 – 160 mm. Instrumentet består av et digitalt kamera som filmer mot et hyperbolsk speil, se prinsippskisse figur 1. Kameraet "ser" vinkelrett en større del av borehullsveggen, men bare en sirkel med høyde 1 mm registreres. Sonden senkes med en maksimal hastighet 1 meter pr minutt ned i borehullet, og for hver millimeter gjøres en registrering. Det kan samples 360 eller 720 punkter sirkelen rundt, og i vanlige fjellbrønner gir dette en pikselstørrelse på ca. 1mm x 1 mm. Med en slik oppløsning kan metoden påvise sprekker med tykkelse ned mot 0,5 mm. Metoden kan benyttes i tørre og vannfylte hull, men krever selvsagt relativt klart vann.



Figur 1: Prinsippskisse av optisk televiewer.

Sonden har innbygget et trekomponent magnetometer, og dette sammen med tre akselerometre sørger for å orientere bildet (opptaket) uansett sonden og borehullets forløp. På grunnlag av det orienterte bildet av borehullsveggen kan strøk, fall og sann tykkelse av kryssende strukturer beregnes.

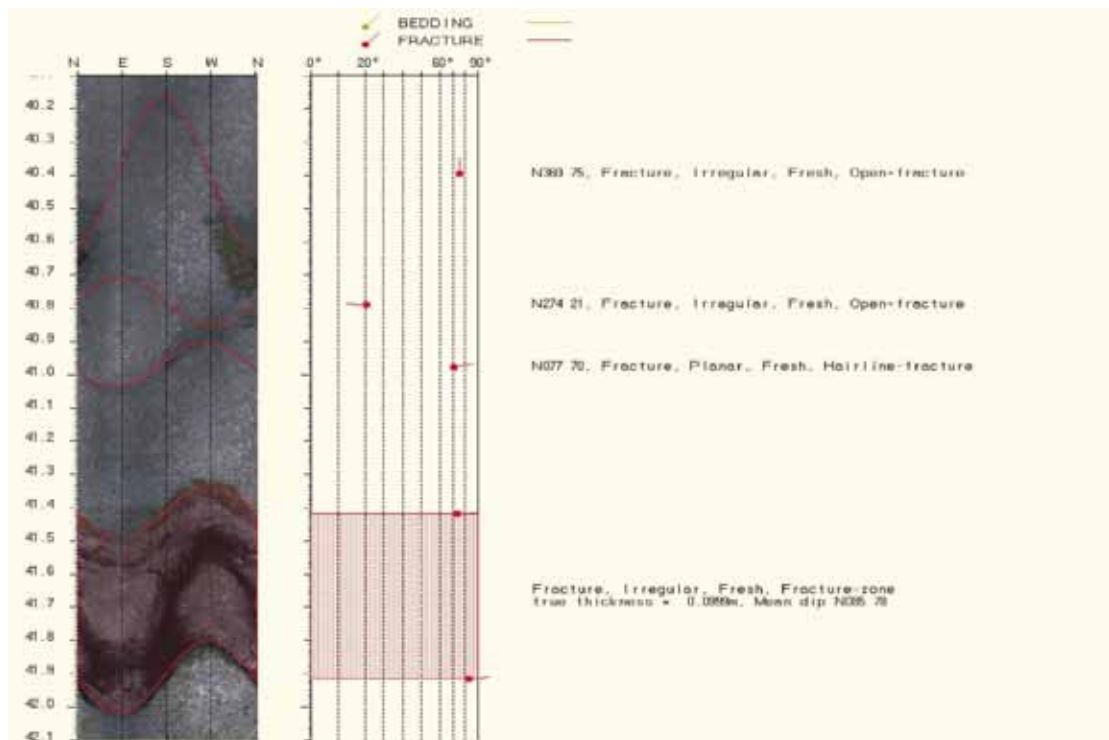
Med data fra denne instrumenteringen kan også borehullets forløp (avvik) beregnes (Figur 2). Borehullsvinkel kan måles i området 0 – 180° med en nøyaktighet på +/- 0.25°. Retningen kan måles fra 0 til 360° med en nøyaktighet på +/- 2.5°. Avviket måles kontinuerlig langs hele borehullet. Data kan plottes ut grafisk og i tabellform. Vertikalsnitt (tre retninger), horisontalprojeksjon og 3D-plott kan plottes ut. I tillegg til at det er viktig å vite hvor hullet går, må en vite fall og retning på hullet for å bestemme strøketretning og fallvinkel til sprekken som observeres.



Figur 2: Eksempel på borehullsforløp, vertikalprosjeksjon øst-vest (venstre) og horisontalprosjeksjon (høyre).

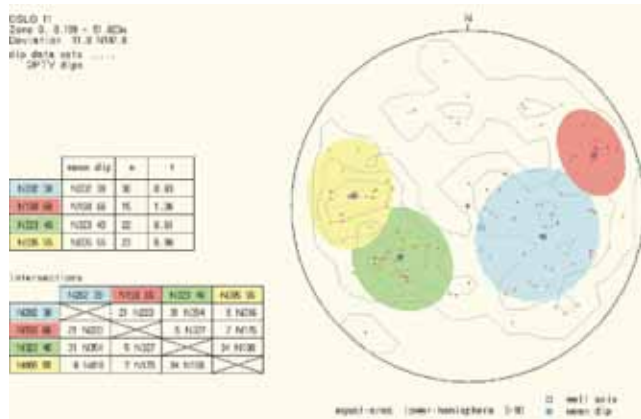
Analyse av data.

Ved analyse brettes det orienterte digitale bildet ut (se figur 3). Plane sprekker vil da indikeres som en sinusformet kurve. Steile sprekker vil indikeres med store amplituder ved loddrette hull. Dersom borehullet skjærer sprekken vinkelrett, vil disse vises som rette linjer. Siden bildet er orientert, kan sprekkenes retning og fall beregnes ved å tilpasse (digitalisere) en sinuskurve til hver av dem. Har sprekken en viss utbredelse, kan både topp og bunn digitaliseres, og derved kan den sanne tykkelsen beregnes. Analyseprogrammet inneholder en menystyrt beskrivelse av de enkelte hendelser. Tilsvarende analyse kan gjøres for primære geologiske strukturer (ganger, lagdeling).



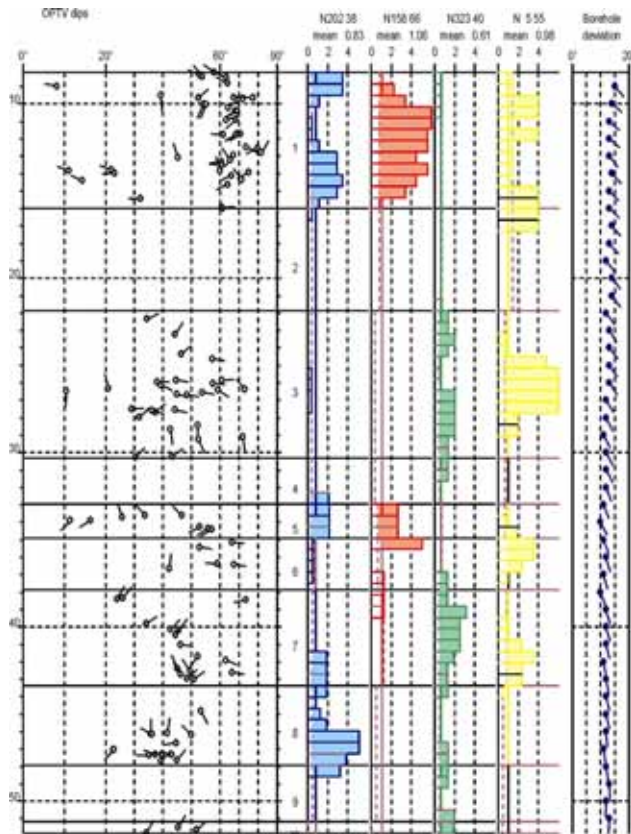
Figur 3: Eksempel på opptak og analyse. Enkelstående sprekker er tilordnet sinusfunksjon og fallretning og vinkel beregnet. Pilhodet angir individuelle sprekkers fall mens halen viser fallretning (nord opp). Ved større åpne sprekker er topp og bunn digitalisert og sann åpning på sprekkenes er beregnet (nederst på bildet – fracture zone).

Når alle hendelser er digitalisert, kan en utføre sprekk- og strukturanalyse. Etter å ha plottet polen (normalvektoren) til alle digitaliserte sprekker i et stereogram (figur 4), kan forskjellige sprekkegrupper defineres. Disse får tildelt en farge, og sprekkegruppens middelverdi for strøk og fall beregnes. Det kan også gjøres analyse på skjæringslinjer mellom midlere sprekkplan.



Figur 4. Eksempel på analyse av sprekker i stereogram. I øverste tabell er midlere sprekkeretning og fallvinkel for hver sprekkegruppe beregnet, og antall sprekker og sprekkefrekvens for hele hullet beregnet for hver av gruppene. Nederste tabell viser retning og fall på skjæringslinjer mellom de midlere sprekkplanene.

Neste steg er å plote alle digitaliserte hendelser, nå med tilordnet gruppefarge, som funksjon av dyp. De forskjellige sprekkemønstrene tilordnes histogrammer, og på grunnlag av disse kan hullet deles inn i soner som hver er karakterisert med spesielle sprekkemønstre. Sprekkefrekvens for alle definerte grupper kan deretter beregnes innenfor hver sone i borehullet. Tilsvarende analyser kan også gjøres for bergartsganger og eventuelt bergartsgrenser. I tillegg til grafisk presentasjon kan alle data listes i tabellform.



Figur 5. Sprekkelogg for tolket borehull. Til venstre vises de individuelle sprekke som pilplott. Pilhodene angir individuelle sprekkes fall, mens halen viser fallretning (nord opp). Histogrammene viser hvor i borehullet de forskjellige sprekkemønstrene opptrer (sprekkefrekvens). Høyre kolonne viser borehullsforløp med fall og retning. Heltrukne horisontale linjer angir grenser mellom definerte soner.

Figur 5 viser frekvenshistogrammer for et borehull som er undersøkt med optisk televiwer. Frekvenshistogrammene (rød, blå, grønn og gul) viser beregnet sprekkefrekvens i definerte soner av hullet, og viser dermed detaljert hvordan oppsprekningen er i hullet. Alle sprekker er angitt i "pilplott" der pilens hode angir fallet, mens halen angir fallretning. Nord er opp på arket. Hvert pilhode er fylt med den gruppefarge tilsvarende sprekk tilhører. Piler uten farge er sprekker utenfor noen av de definerte gruppene.

Strøk og fall til et plan er entydig bestemt i et stereografisk plott (her plottet som plan- normalens skjæringspunkt, pol, med nedre kuleskall, lower hemisphere). Planets strøk er en horisontal linje i planet, mens fallet er vinkelen mellom planet og horisontalen målt 90° på strøket.

Planets fallretning der strøkretningen er den samme (f.eks. N180 og N0), bestemmes av retningen til planets normal, og vil være normalens retning pluss 180° . Planets strøkretning er fallretning minus 90 grader. Dermed er også strøkretningen entydig bestemt. Strøkretning beregnes som vinkel fra nord. Hvis for eksempel strøkretning og fall er N180 45, er strøkretningen 180° fra nord (NS) og fallet er 45° mot vest (fallretning N270), mens N0 45 faller mot øst (fallretning N90).

METODEBESKRIVELSE

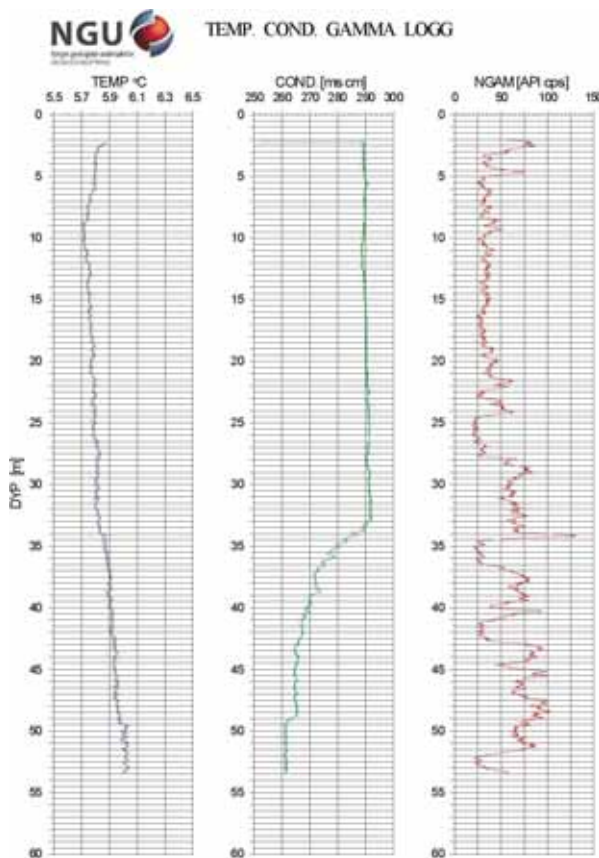
LOGGING TEMPERATUR, ELEKTRISK LEDNINGSEVNE, NATURLIG GAMMA.

Måling av vanntemperatur, vannets elektriske ledningsevne og naturlig gamma i borehull kan gi opplysninger om fjellets oppsprekking og om vanninnstrømning i borehullet. I grunnvarme- sammenheng er det viktig å vite temperaturgradienten mot dypet for å bergene en brønns varme- potensial. Miljøvennlig grunnvarme benyttes stadig mer til oppvarming både i private og større offentlige bygninger. Gammastråling gir geologisk informasjon. Temperatur, ledningsevne og gammastråling logges med en og samme sonde med en loggehastighet på 3 m/min.

Temperatursensoren produserer en elektrisk strøm som er proporsjonal med temperaturen og kan måle temperaturer i området 0 – 70 °C. Ledningsevnen i vannet måles ved å måle strømmen i en vannfylt celle. Strømstyrken er avhengig av ledningsevnen og det kan måles i området 50 – 50,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Naturlig gammastråling måles i counts per second (cps), API standard. API er en felles internasjonal standard som sonden er kalibrert etter, slik at målinger med ulike typer og størrelser kan sammenlignes. Krystallen som brukes er NaI, 50 x 25 mm.

Forandring i vanntemperatur og elektrisk ledningsevne indikerer innstrømning av vann i hullet med andre egenskaper enn i brønnen forøvrig. Dette kan igjen tyde på åpne sprekker. Temperaturgradienten mot dypet har betydning for grunnvarmekapasiteten. Økt ledningsevne betyr økt ioneinnhold i vannet. Lavere ledningsevne kan tyde på innstrømning av overflatevann, da slikt vann vanligvis har noe lavere ioneinnhold enn vann som har oppholdt seg lenge i fjellet. Kravet til drikkevann er en ledningsevne mindre enn 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Figur 1 viser eksempel på logg.

Med gammalogg kartlegges den naturlige gammastrålingen (totalstråling) langs borehullet. Forandringer i gammastråling er knyttet til endringer i geologien og den mineralogiske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak elementene kalium, uran og thorium som gir gammastråling. Mest vanlig er kalium som finnes i feltspat. Feltspat (kalifeltspat) er et mineral som finnes i de vanligste bergartene. Sandstein, f. eks., har liten gammastråling (mye kvarts), mens noen granitter har sterkere stråling da de inneholder feltspat og i enkelte tilfeller uran og thorium. Alunskifer har høy stråling da den inneholder noe uran.



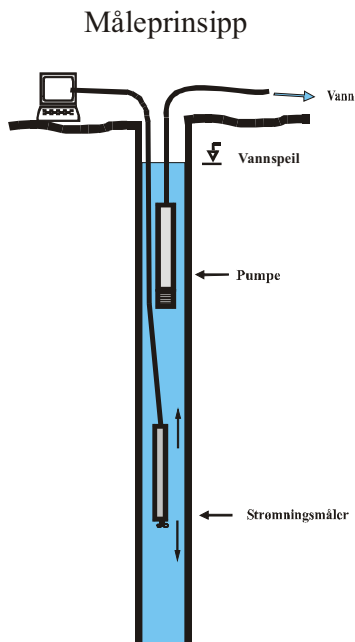
Figur 1. Temperatur-, ledningsevne- og gammalogg fra borehull. Litt høyere temperatur dagnært skyldes påvirkning fra overflatetemperaturen. En svak økning ved 33 m kan skyldes innstrømning av vann med høyere temperatur. En tydelig nedgang i den elektriske ledningsevnen ved samme dyp kan tyde på det samme. Mest sannsynlig er det overflatevann som strømmer inn gjennom en åpen sprekke. Gammalogg viser stor variasjon fra 20 m. Dette skyldes trolig varierende feltspatinnhold (kalium)

METODEBESKRIVELSE FOR STRØMNINGSMÅLING I BOREHULL

Strømningsmåling i borehull brukes til å kartlegge vertikal vannstrøm i borebrønner og variasjoner av denne vannstrømmen. Ut fra den kartlagte vannstrømmen kan en bestemme hvor i borehullet vann strømmer inn. Dette er viktige grunnlagsdata for forundersøkelser for tunneldrift, grunnvannsbrønner og grunnvarmebrønner.

Strømningsmåling må utføres samtidig med pumping. Det vil da trekkes vann fra eventuelle vannførende sprekker som gir en strømning oppover i brønnen. Strømningsmåleren måler hastigheten på denne vannstrømmen og består av en propell som roterer med en hastighet (rpm) som er proporsjonal med vannstrømmen. Sonden kan kalibreres slik at en kan kvantifisere strømmingen, noe som forutsetter at sonden står sentralt i hullet og at strømningsprofilen er kjent.

Målingene kan utføres statisk ved at sonden står i bestemte posisjoner hvor vannstrømmen måles f. eks. over og under en sprekke. Dynamiske målinger foretas ved at sonden senkes og heves i borehullet med konstant hastighet.

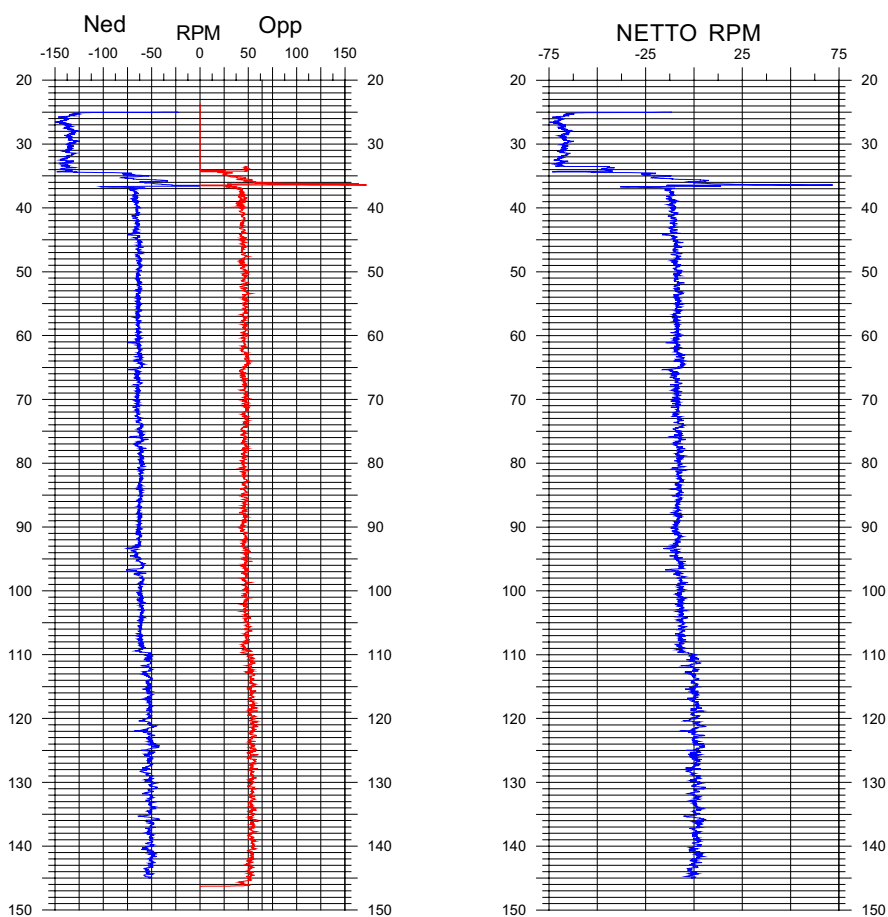


Figur 1. Måleprinsipp for strømningsmåling i borehull. Pumpen er plassert øverst i borehullet og pumper med en konstant vannmengde tilnærmet brønnens kapasitet. Strømningsmåleren kjøres opp og ned i borehullet. Den kan også stå i ro på bestemte dyp. I begge tilfeller registreres propellens turtall.

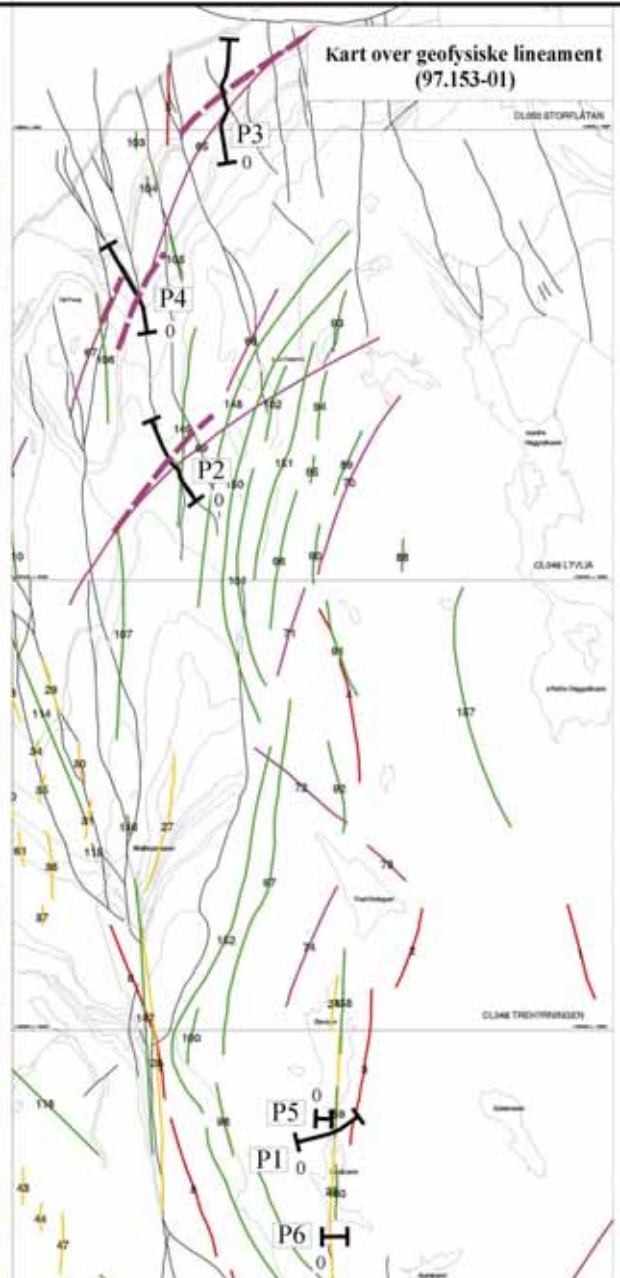
Ved å bearbeide data etter gitte prosedyrer kan et kontinuerlig strømningsprofil nedover borehullet beregnes. På grunn av at propellen har en viss oppstartsfriksjon, gir dynamiske målinger det beste resultatet. Målingene forutsetter selvsagt en viss strømning noe som oppnås enten ved at brønnen er artesisisk, eller ved at målingene kombineres med pumping av borehullet.

Resultatene presenteres som rpm-logg opp og ned langs hele hullet eller som punktvis rpm-logg (stasjonær måling). Ved å ta differansen mellom opp og ned fjernes bidraget fra sondens







hastighet, og en får netto rpm. Endringer i rpm betyr endringer i strømningshastigheten og dermed vanninnstrømning i borehullet. Ved stasjonær måling får en netto rpm direkte. Figur 2 viser eksempel på strømningslogg ned og opp samt netto strømning .



Figur 2. Eksempel på strømningslogg fra borehull, dynamisk måling. Registrert RPM ned og opp er vist til venstre, mens netto RPM er vist til høyre. Stor endring i RPM ved ca 36 m dyp betyr innstrømning av vann i borehullet. Mindre endring ved ca 110 m tyder på en mindre innstrømning ved dette dyp.



 Undersøkte områder

-  Målte profiler
-  Radiometrisk anomali
-  VLF anomali
-  Elektromagnetisk anomali
-  Magnetisk anomali
-  VLF anomali (retolket)

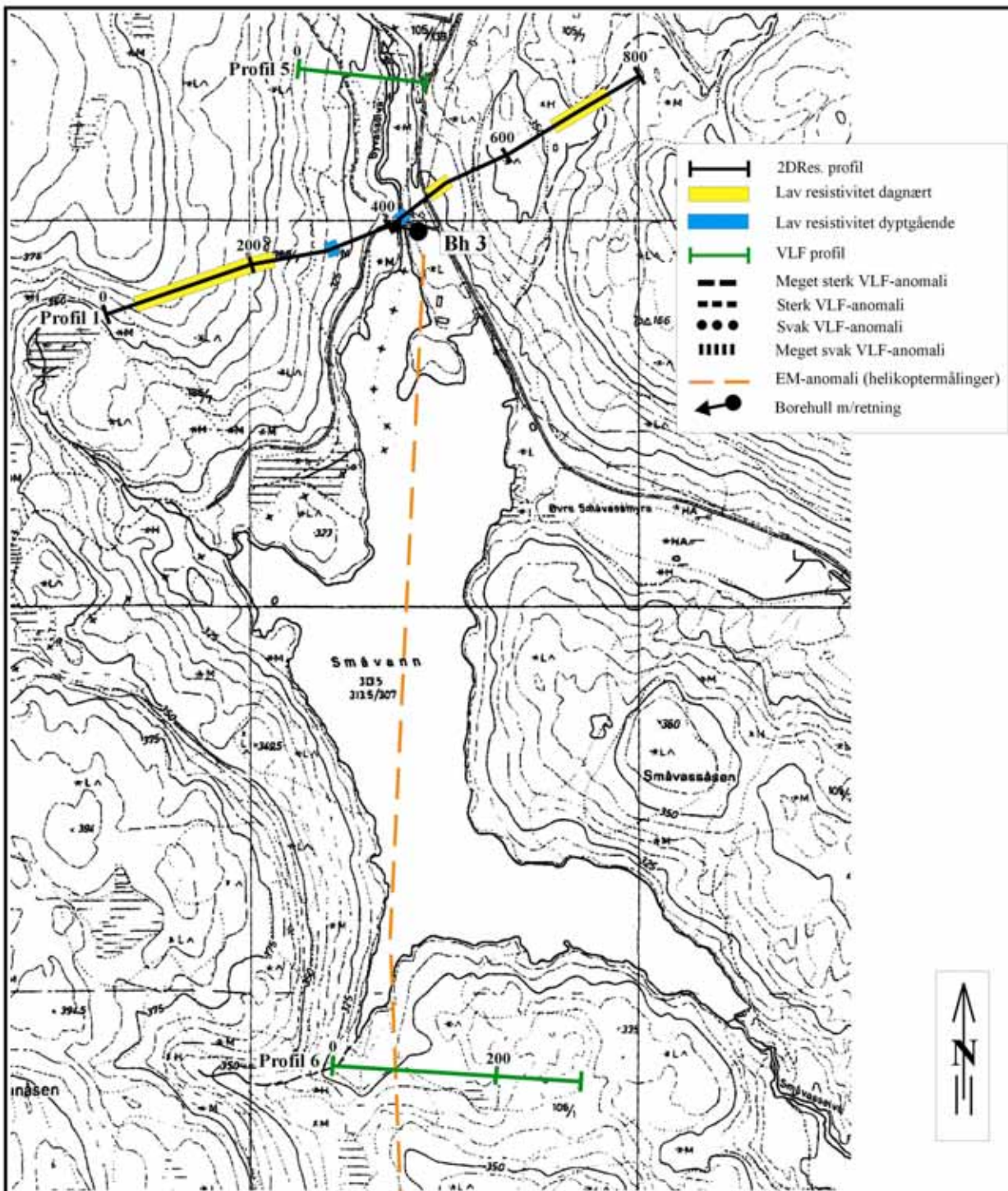


STATENS VEGVESEN
 OVERSIKTSKART
KROKSTOGEN
 RINGERIKE OG HOLE, BUSKERUD

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

| | | |
|-------------------------|-----------|----------|
| MÅLESTOKK 1 : 50 000 | MÅLT E.D. | Sept. 02 |
| | TEGN E.D. | Okt. 02 |
| | TRAC | |
| | KFR | |

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| KARTBILAG NR 2003.007-01 | KARTBLAD NR 1815-II |
|-----------------------------|------------------------|

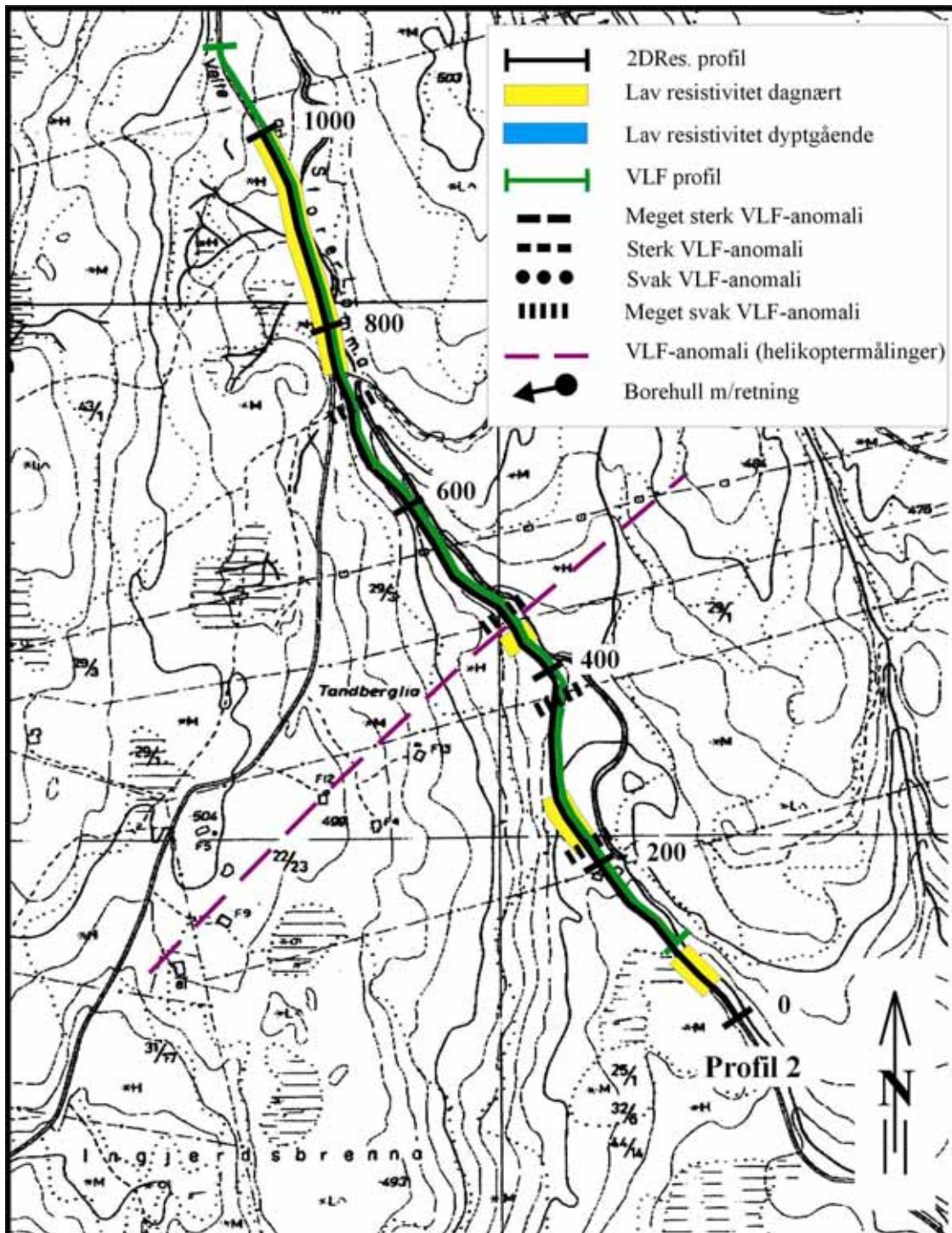


STATENS VEGVESEN
 RESISTIVITET OG VLF TOLKNINGSKART
SMÅVANN
 HOLE, BUSKERUD

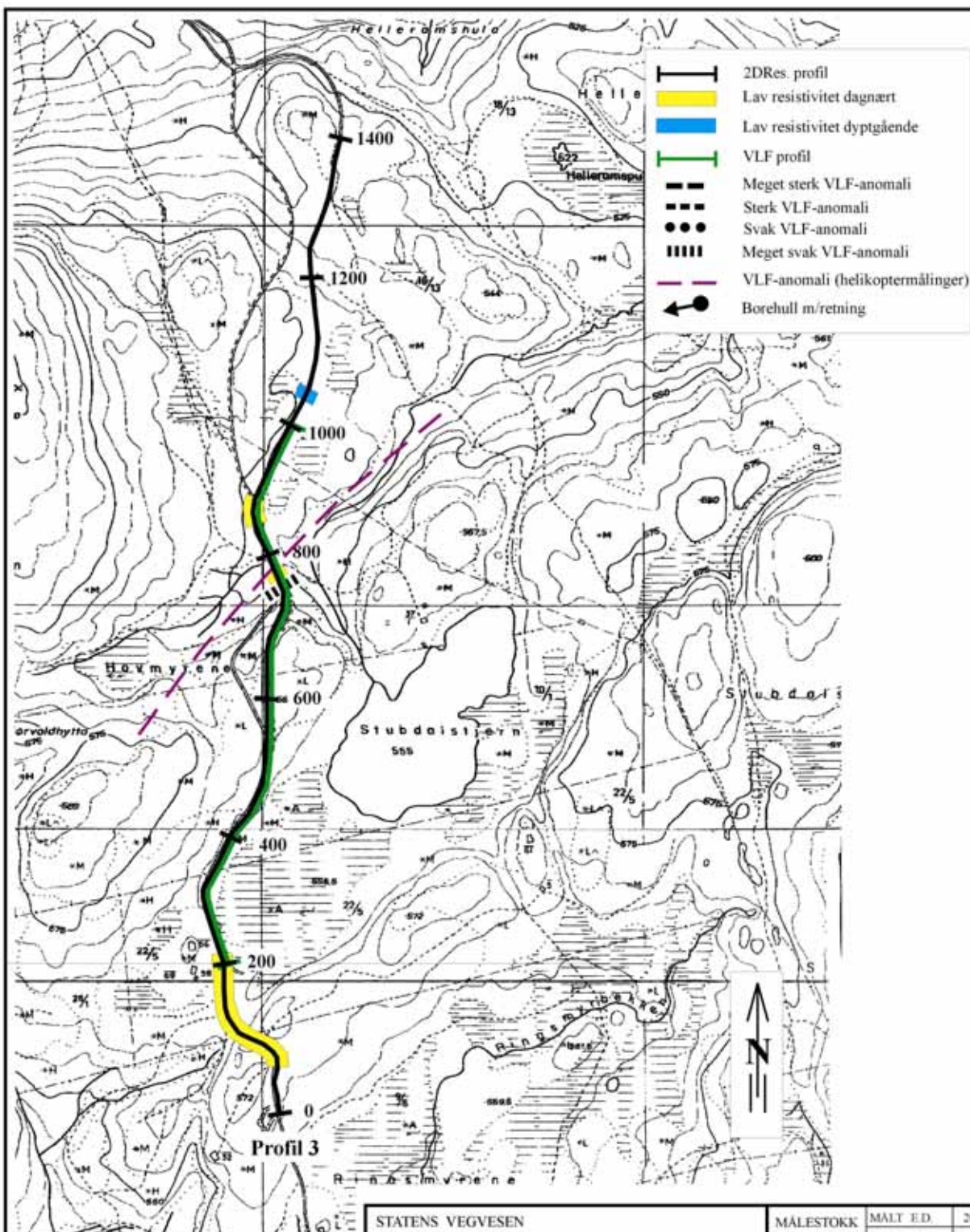
| | | |
|------------------------|-----------|----------|
| MÅLESTOKK 1 : 5 000 | MÅLT E.D. | Sept. 02 |
| | TEGN E.D. | Nov. 03 |
| | TRAC | |
| | KFR | |

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| KARTBILAG NR 2003.007-02 | KARTBLAD NR 1815-II |
|-----------------------------|------------------------|



| | | |
|---|-----------------------------|-------------------------|
| STATENS VEGVESEN RESISTIVITET OG VLF TOLKNINGSKART GAUPSKARDVEGEN SØR RINGERIKE, BUSKERUD | MÅLESTOKK 1:5 000 | MÅLT E.D. Sept. 2002 |
| | | TEGN E.D. Nov. 2003 |
| | | TRAC |
| | | KFR |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | KARTBILAG NR 2003.007-03 | KARTBLAD NR 1815 II |

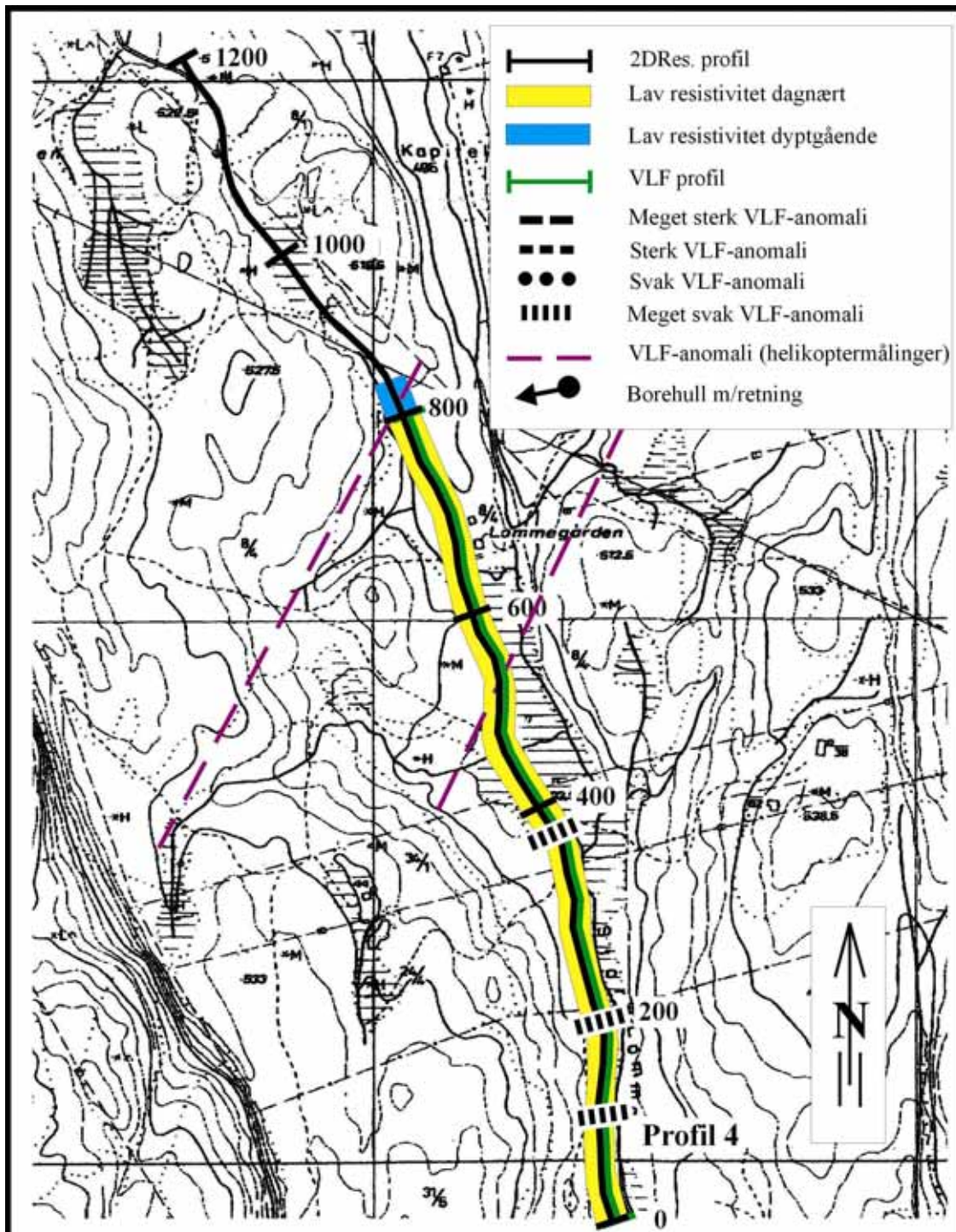


STATENS VEGVESEN
 RESISTIVITET OG VLF TOLKNINGSKART
LAUVLIVEGEN
 RINGERIKE, BUSKERUD

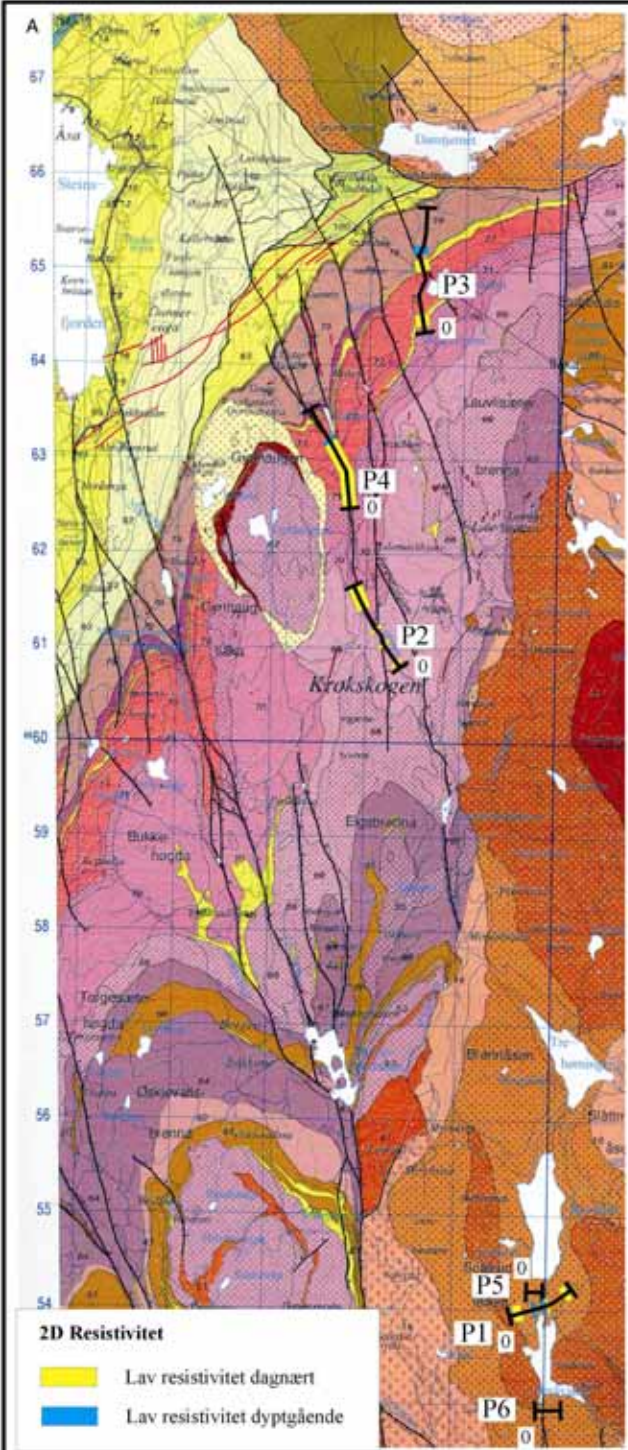
| | | |
|------------------------|-----------|-----------|
| MÅLESTOKK 1 : 5 000 | MALT E.D. | 2002-2003 |
| | TEGN E.D. | Nov. 2003 |
| | TRAC | |
| | KFR | |

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| KARTBILAG NR 2003.007-04 | KARTBLAD NR 1815-II |
|-----------------------------|------------------------|



| | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|-----------|
| STATENS VEGVESEN RESISTIVITET OG VLF TOLKNINGSKART GAUPSKARDVEGEN NORD RINGERIKE, BUSKERUD | MÅLESTOKK 1:5 000 | MÅLT E.D. | 2002-2003 |
| | | TEGN E.D. | nov. 2003 |
| | | TRAC | |
| | | KFR | |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | KARTBILAG NR 2003.007-05 | KARTBLAD NR 1815 II | |



GANG OG DYPBERGARTER FRA KARBON-, PERM- OG TRIASTIDEN

- 01 Gangbergart, type ikke angitt
- 02 Gangbergart, syenittilbasaltrombeporfy
- 03 Alkalgranitt, ekert
- 04 Bottgranitt
- 05 Kvart alkalittapsyenitt
- 06 Kvartsyenittporfy
- 07 Botttsyenitt (Grefsen-syenitt) møbels- og grovkorn
- 08 Botttsyenitt (Grefsen-syenitt) porfyrisk
- 09 Alkalittapsyenitt (nordmaritt)
- 10 Syenitt
- 11 Iruskrakjøpe
- 12 Alkalittapsgranittporfy
- 13 Syenittporfy
- 14 Titanitt botttsyenitt
- 15 Syenittporfy med ca 1.5 cm store fenokrystaller
- 16 Monzoniditt (ekert), trivkorn med sprøtt små fenokrystaller
- 17 Monzoniditt (ekert), møbelskorna, jevnkorna
- 18 Monzonitt II syenitt (ekert, kjeldalt)
- 19 Olivinditt (sjekedalt), grovkorn med opp til 5 cm store feldtspat
- 20 Gabbro (Olo-essert)
- 21 Gabbro, porfyrisk med karsutttåke fenokrystaller

Krokstoggruppen, karbon og perm

- 40 Brekke, konglomerat, sandstein og leirstein mellom lavastremmene
- 41 Basalt
- 42 Rombeporfyttava, RP 12
- 43 Rombeporfyttava, RP 12b
- 44 Rombeporfyttava, RP 12a
- 51 Basalt
- 52 Rombeporfyttava, RP 11, ikke inndelt
- 53 Rombeporfyttava, RP 11a
- 54 Rombeporfyttava, RP 11d
- 55 Rombeporfyttava, RP 11c
- 56 Rombeporfyttava, RP 11b
- 57 Rombeporfyttava, RP 11a
- Basalt (Dyrhaugbasalten)
- 59 Konglomerat (Mjartekonglomerat)
- 60 Rombeporfyttava, RP 10
- 61 Basalt B2, ikke inndelt i enkeltstrømmer
- 62 Rombeporfyttava, RP 9a og RP 9b
- 63 Rombeporfyttava, RP 9, ikke inndelt
- 64 Rombeporfyttava, RP 8b
- 65 Rombeporfyttava, RP 8a
- 66 Basalt
- 67 Rombeporfyttava, RP 8a
- 68 Rombeporfyttava, RP 7
- 69 Rombeporfyttava, RP 6
- 70 Rombeporfyttava, RP 5
- 71 Rombeporfyttava, RP 4
- 72 Rombeporfyttava, RP 3, ikke inndelt
- 73 Rombeporfyttava, RP 3b
- 74 Rombeporfyttava, RP 3a
- 75 Rombeporfyttava, RP 3a
- 76 Rombeporfyttava, RP 2, ikke inndelt
- 77 Rombeporfyttava, RP 2b
- 78 Rombeporfyttava, RP 2a
- 79 Rombeporfyttava, RP 1
- Basalt B 1

2D Resistivitet

Lav resistivitet dagnært
 Lav resistivitet dyptgående



STATENS VEGVESEN
 UTSNITT BERGGRUNNSKART OPPKUVEN
 MED GEOFYSISK TOLKING
KROKSTOGEN
 RINGERIKE OG HOLE, BUSKERUD

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

| | | |
|-----------------------------|-----------|---------|
| MÅLESTOKK 1 : 50 000 | MÅLT | |
| | TEGN E.D. | Nov. 03 |
| | TRAC | |
| | KFR. | |

| | |
|-----------------------------|------------------------|
| KARTBILAG NR 2003.007-06 | KARTBLAD NR 1815-II |
|-----------------------------|------------------------|