


| | | | |
|--|----------------------------|---|--|
| Rapport nr.: 2003.067 | | ISSN 0800-3416 | Gradering: Åpen |
| Tittel: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, E-39, Skaun kommune, Sør-Trøndelag | | | |
| Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk, Jan Steinar Rønning, Eirik Mauring og Jan Fredrik Tønnesen | | Oppdragsgiver: Statens Vegvesen "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler" | |
| Fylke: Sør-Trøndelag | | Kommune: Skaun | |
| Kartblad (M=1:250.000) Trondheim | | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1521 I Orkanger | |
| Forekomstens navn og koordinater: Storsandtunnelen 32V 548000 7023300 Viggjatunnelen 32V 551500 7021800 Mannsfjelltunnelen 32V 557000 7021500 Brekka 32V 560000 7021500 | | Sidetall: 80 Pris: 546.- Kartbilag: 5 | |
| Feltarbeid utført: Mai – September 2003 | Rapportdato: 29.01.2004 | Prosjektnr.: 2827.02 | Ansvarlig:  |
| <p>Sammendrag:</p> <p>I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" har NGU utført geofysiske målinger over tre tunneler langs nye E39 fra Øysand til Orkanger i Skaun kommune. Hensikten med undersøkelsen var uttesting av nye teknikker i forbindelse med forundersøkelser for anlegg i fjell. De anvendte teknikkene var 2D resistivitet, 2D induert polarisasjon, VLF-EM, magnetometri og refraksjonsseismikk. Tre brønner boret i regi av prosjektet er fulgt opp med optisk inspeksjon, geofysisk logging og prøvepumping kombinert med strømningsmåling. I tillegg er 3 eldre brønner ved Brekka i Buvika undersøkt.</p> <p>Resistivitetmålingene har bekreftet geologisk kartlagte svakhetssoner, og i tillegg indikert noen nye soner. Det konkluderes derfor med at metoden egner seg godt for påvisning av svakhetssoner under gjeldende geologiske forhold. Sammenlignet med refraksjonsseismikk og VLF gir metoden mer informasjon om sonene, men undersøkelsene så langt indikerer at metodens evne til å påvise sonens fall er sterkt begrenset. Om metoden kan karakterisere sonene i form av å forutsi problemer ved driving av tunnelene, vil bli fulgt opp gjennom et Dr.gradsstudium.</p> <p>Indusert polarisasjon (IP) viser store variasjoner langs de enkelte profilene, men disse ser ikke ut til å være knyttet til de påviste sonene med lav resistivitet. Heller ikke ved denne undersøkelsen kan en si at metoden kan bidra til karakterisering av svakhetssoner. Undersøkelsen viser at IP kan være viktig for påvisning av eventuelle sulfidmineraliseringer.</p> <p>Magnetiske målinger har ikke bidratt til påvisning av svakhetssoner noe som trolig skyldes manglende magnetittinnhold i frisk bergart.</p> <p>Målinger i brønnene avdekker store avvik fra planlagt boreforløp, og i flere tilfeller ser det ut til at borehullene ikke når frem til de sonene som skulle undersøkes. Ved fremtidige brønnboringer anbefales derfor å benytte styring ved boreoperasjonen.</p> <p>Optisk inspeksjon har som vanlig gitt informasjon om sprekkers strøk, fall og frekvens. I tillegg har metoden dokumentert hvordan boringene har en tendens til å stille seg loddrett på lagdelingen. Det er ikke indikert åpne sprekker som kan bidra til store vannlekkasjer i de aktuelle borehullene verken ved den optiske inspeksjonen eller ved den øvrige loggingen av brønnene. Prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling bekrefter dette, og ingen av de undersøkte brønnene gir vannmengder over 500 l/time.</p> | | | |
| Emneord: Geofysikk | Elektrisk måling | Elektromagnetisk måling | |
| Magnetometri | Optisk viewer | Refraksjonsseismikk | |
| Ledningsevne | Naturlig radioaktivitet | Fagrapport | |

INNHold

| | | |
|-------|---|----|
| 1. | INNLEDNING | 6 |
| 2. | TIDLIGERE UNDERSØKELSER | 6 |
| 3. | MÅLEMETODER OG UTFØRELSE | 6 |
| 3.1 | Bakkegeofysikk..... | 7 |
| 3.1.1 | 2D Resistivitet og indusert polarisasjon (IP)..... | 7 |
| 3.2 | VLf-EM og magnetometri | 8 |
| 3.3 | Refraksjonsseismikk | 8 |
| 3.4 | Borehullslogging..... | 9 |
| 3.4.1 | Optisk televiewer..... | 9 |
| 3.4.2 | Temperatur, ledningsevne og naturlig gamma | 9 |
| 3.4.3 | Berggrunnens resistivitet..... | 9 |
| 3.4.4 | Strømningsmåling | 10 |
| 3.4.5 | Avviksmåling | 10 |
| 3.4.6 | Indusert polarisasjon IP..... | 10 |
| 4. | RESULTATER..... | 10 |
| 4.1 | 2D Resistivitet og indusert polarisasjon (IP) | 11 |
| 4.1.1 | Storsandtunnelen | 11 |
| 4.1.2 | Viggjattunnelen | 12 |
| 4.1.3 | Mannsfjelltunnelen..... | 12 |
| 4.2 | VLf-EM og magnetometri | 18 |
| 4.3 | Refraksjonsseismikk | 21 |
| 4.3.1 | Storsandtunnelen | 21 |
| 4.3.2 | Viggjattunnelen | 21 |
| 4.3.3 | Mannsfjelltunnelen..... | 21 |
| 4.4 | Optisk televiewer | 26 |
| 4.4.1 | Bh1, Storsandtunnelen | 26 |
| 4.4.2 | Bh 2, Viggjattunnelen..... | 28 |
| 4.4.3 | Bh 3, Mannsfjelltunnelen | 28 |
| 4.4.4 | Bh B1, Bh B2 og Bh B5 Brekka | 28 |
| 4.5 | Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg | 34 |
| 4.5.1 | Bh 1, Storsandtunnelen | 34 |
| 4.5.2 | Bh 2, Viggjattunnelen..... | 35 |
| 4.5.3 | Bh 3, Mannsfjelltunnelen | 36 |
| 4.5.4 | Bh B1, Bh B2 og Bh B5, Brekka | 37 |
| 4.6 | Resistivitet og IP | 39 |
| 4.6.1 | Bh 1, Storsandtunnelen | 39 |
| 4.6.2 | Bh 2, Viggjattunnelen..... | 41 |
| 4.6.3 | Bh 3, Mannsfjelltunnelen | 43 |
| 4.6.4 | Bh B1, Bh B2, Bh B5 Brekka | 45 |
| 4.7 | Strømningsmåling og pumping..... | 48 |
| 4.7.1 | Bh 1, Storsandtunnelen | 49 |
| 4.7.2 | Bh 2, Viggjattunnelen..... | 51 |
| 4.7.3 | Bh B1, Brekka..... | 53 |
| 4.8 | Borehullsforløp | 55 |
| 4.8.1 | Borehullsavvik og lagdeling..... | 57 |
| 5. | DISKUSJON | 59 |
| 5.1 | Borehullsavvik..... | 59 |
| 5.2 | Resistivitet | 59 |
| 5.3 | Indusert polarisasjon | 60 |
| 5.4 | Borehullslogging..... | 61 |
| 6. | KONKLUSJON..... | 67 |
| 7. | REFERANSER..... | 68 |

FIGURER

- Figur 1: Storsandtunnelen. Modellert resistivitet og IP, Profil 1.
Figur 2: Viggjatunnelen. Modellert resistivitet og IP, Profil 2.
Figur 3: Mannsfjelltunnelen. Modellert resistivitet og IP, Profil 3.
Figur 4: Mannsfjelltunnelen. Modellert resistivitet og IP, Profil 4.
Figur 5: Storsandtunnelen. VLF og magnetisk totalfelt, Profil 1.
Figur 6: Viggjatunnelen. VLF og magnetisk totalfelt, Profil 2.
Figur 7: Storsandtunnelen. Tolkning av refraksjonsseismikk profil S1.
Figur 8: Viggjatunnelen. Tolkning av refraksjonsseismikk profil S2.
Figur 9: Mannsfjelltunnelen. Tolkning av refraksjonsseismikk profil S3.
Figur 10: Bh 1, Storsandtunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 11: Bh 1, Storsandtunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 12: Bh 2, Viggjatunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 13: Bh 2, Viggjatunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 14: Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 15: Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 16: Bh B1, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 17: Bh B2, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 18: Bh B5, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 19: Bh B1, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 20: Bh B2, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 21: Bh B5, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 22: Bh 1, Storsandtunnelen. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 23: Bh 2, Viggjatunnelen. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 24: Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 25: Bh B1, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 26: Bh B2, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 27: Bh B5, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 28: Bh 1, Storsandtunnelen. Resistivitet i fjell og IP.
Figur 29: Bh 1, Storsandtunnelen. Optisk bildelogg fra 79 – 83 m, 124 – 128 m og 129 – 133 m.
Figur 30: Bh 2, Viggjatunnelen. Resistivitet i fjell og IP.
Figur 31: Bh 2, Viggjatunnelen, indikerte uregelmessige vertikale sprekker. Foliaasjonssprekk ved 13m
Figur 32: Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Resistivitet i fjell og IP.
Figur 33: Bh B1, Brekka (venstre) og Bh B2 Brekka (høyre). Resistivitet i fjell.
Figur 34: Bh B1 Brekka. Optv. logg av utvalgte deler av borehullet som viser foliasjonssprekker (venstre), lagdelt bergart (midten) og parti med noe dårlig fjell (høyre).
Figur 35: Bh B2, Brekka. Bildelogg fra skifrig fjell med foliasjonssprekker. 39 – 42 m og 50 – 53 m.
Figur 36: Bh B5, Brekka. Resistivitet i fjell.
Figur 37: Pumpedata for Bh 1, Storsandtunnelen. Pumpemengde og vannstand.
Figur 38: Strømningsmåling Bh 1, Storsandtunnelen. Logging ned og opp (til venstre), netto strømming (rpm) til høyre
Figur 39: Pumpedata Bh 2, Viggjatunnelen. Pumpemengde og vannstand. Logging opp
Figur 40: Pumpedata Bh 2, Viggjatunnelen. Pumpemengde og vannstand. Logging ned.
Figur 41: Strømningsmåling Bh 2, Viggjatunnelen. Logging ned og opp (til venstre), netto strømming (rpm) til høyre.
Figur 42: Pumpedata Bh B1, Brekka. Pumpemengde og vannstand. Logging ned.
Figur 43: Strømningsmåling Bh B1, Brekka. Logging ned og opp (til venstre), netto strømming (rpm) til høyre.
Figur 44: Borehullsforløp Bh1 Storsandtunnelen (venstre) og Bh 2 Viggjatunnelen (høyre).
Figur 45: Borehullsforløp Bh 3 Mannsfjelltunnelen (venstre) og Bh B1 Brekka (høyre).
Figur 46: Borehullsforløp Bh B2 Brekka (venstre) og Bh B5 Brekka (høyre)
Figur 47: Vertikalsnitt av Bh1, Bh 2, Bh 3, Bh B1 og Bh B2 med bergartenes fallvinkel inntegnet.
Figur 48: Bh 1, Storsandtunnelen. Sammenstilling av alle logger.
Figur 49: Bh 2, Viggjatunnelen. Sammenstilling av alle logger.
Figur 50: Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Sammenstilling av alle logger.
Figur 51: Bh B1, Brekka. Sammenstilling av alle logger.
Figur 52: Bh B2, Brekka. Sammenstilling av alle logger.

DATABILAG

Databilag 1: Koordinater for målte profiler og borehull.

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for optisk televierer.

Tekstbilag 2: Metodebeskrivelse for temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma-logg.

Tekstbilag 3: Metodebeskrivelse for strømningsmåling i borehull.

Tekstbilag 4: Metodebeskrivelse for refraksjonsseismikk.

KARTBILAG

Kartbilag 2003.067-01: Oversiktskart E-39 1 : 50 000

Kartbilag 2003.067-02: Oversiktskart/Geofysisk tolkningskart Storsandtunnelen 1 : 5 000

Kartbilag 2003.067-03: Oversiktskart/Geofysisk tolkningskart Viggjatunnelen 1 : 5 000

Kartbilag 2003.067-04: Oversiktskart/Geofysisk tolkningskart Mannsfjelltunnelen 1 : 5 000

Kartbilag 2003.067-05: Oversiktskart Brekka 1 : 5 000

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU utført geofysiske målinger over tre tunneler langs nye E-39 fra Øysand til Orkanger. Hensikten med undersøkelsen var uttesting av nye teknikker i forbindelse med forundersøkelser for tunneler. De undersøkelsene som ble foretatt var måling av 2D resistivitet og industert polarisasjon (IP) langs fire profiler over tre av seks tunneler på strekningen Øysand – Orkanger (se kartbilag –01). På to av profilene (profil 1 og 2) ble det magnetiske totalfeltet målt og i tillegg VLF. På bakgrunn av resistivitets-målingene ble det boret tre brønner. Disse i tillegg til tre eldre brønner ble målt med følgende metoder; optisk televiwer (OPTV) , temperatur-, vannets ledningsevne-, naturlig gammalogg og resistivitet (fjellresistivitet). I tillegg ble borehullsforløpet (avviket) langs hele hullet målt. Tre av brønnene ble prøvepumpet samtidig som vertikal vannstrømning ble målt. Alle de tre nye brønnene ble også målt med industert polarisasjon (IP) for å se om den lave resistiviteten kan skyldes sulfidmineraliseringer. Til slutt ble tre av lavresistivitetssonene på profilene 1, 2 og 3 testet med korte refraksjonsseismiske profiler.

2D resistivitet, VLF og de magnetiske målingene ble utført av Einar Dalsegg, inspeksjon av brønnene ble foretatt av Harald Elvebakk og de seismiske målingene ble utført av Jan Fredrik Tønnesen. Målingene ble utført i flere omganger i perioden mai til september 2003.

Beliggenheten av de undersøkte områdene framgår av kartbilagene -01 til -05.

2. TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Vegteknisk avdeling ved Vegdirektoratet har utført geologisk og ingeniørgeologisk overflatekartlegging langs tunneltraseene. (Lynneberg og Hagelia 2000). Rapporten bygger på tidligere utført geologiske undersøkelser av Kummeneje (1986) og NOTEBY AS (1987).

I Brekka ved Buvika er det tidligere boret fem brønner og i alle borehullene ble det utført vanntapsmåling (Statens vegvesen 2002).

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

I det følgende gis en kort beskrivelse av målemetodene og utførelsen.

3.1 Bakkegeofysikk

3.1.1 2D Resistivitet og induert polarisasjon (IP).

Datainnsamling.

Måledata ble innsamlet med et kabelsystem utviklet ved den tekniske høgskolen i Lund (LUND-systemet, Dahlin 1993). Systemet består av en releboks (Electrode Selector ES464) og to eller fire multi-elektrode kabler. Måleprosessen 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 elektrode-konfigurasjonen Wenner benyttet.

I tillegg til måling av resistivitet ble det også målt induert polarisasjon (IP) på alle fire 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 øker 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 20 meter. Profilenes beliggenhet er innmålt med GPS (se databilag 1) .

Strømstyrke og datakvalitet

For alle tre områdene var strømstyrken for mesteparten av målingene fra 100 til 200 mA. Datakvaliteten var meget god og bare et fåtall måledata måtte fjernes før inversjon.

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.

3.2 VLF-EM og magnetometri

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 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 induseres sekundære strømmer, og det totale elektromagnetiske feltet vil ikke lenger være horisontalt. Ved å måle feltets fall (dipvinkel, reellkomponent Re), og en størrelse som er avhengig av faseforskyvningen mellom det primære og det sekundære feltet (imaginærkomponenten Im), kan elektrisk ledende soner påvises.

Målingene ble utført med NGUs egenproduserte mottaker og den engelske senderen GBZ (19.6 kHz) ble benyttet. Valg av senderstasjon ble bestemt av dens beliggenhet i forhold til antatt sprekeretning, og av mottaksforholdene. Målepunktavstanden var 20 meter, med 10 meter over anomaliene.

Måling av jordens totale magnetfelt gir i hovedsak opplysninger om berggrunnens magnetittinnhold. Svakhetssoner i fjell kan komme frem ved at bergartens opprinnelige innhold av magnetitt oksyderes til det mindre magnetiske mineralet hematitt (Henkel & Guzman 1977), noe som gir utslag i redusert magnetfelt over sonen. I tillegg kan metoden påvise ganger som kan ha annen magnetisering enn omgivelsene.

Målingene ble utført med et protonmagnetometer av typen Scintrex ENVI-MAG med en målenøyaktighet på ± 0.1 nT. De daglige variasjonene i magnetfeltet ble kontrollert med en basestasjon med samme type instrument. De daglige variasjonene var ubetydelige, og det var ikke nødvendig å korrigere måledata. Målesonden var plassert 2.5 meter over bakken og målepunkt-avstanden langs profilene var 10 meter.

3.3 Refraksjonsseismikk

En generell beskrivelse av refraksjonsseismiske målinger er vist i tekstbilag 4. Som registreringsinstrument ble det benyttet en ABEM Terraloc MK6 med 24 kanaler. I hvert profil er det benyttet to målekabler med 12 geofoner langs hver kabel. Geofonavstanden langs kablene var gjennomgående 5 meter, men ble innkortet til det halve i hver ende av kabelutleggene for å få bedre kontroll på seismisk hastighet overflatenært. Skuddpunkt ble plassert 2,5 m fra hver endegeofon på kablene samt ved midtpunkt på kablene slik at skuddpunktavstanden langs profilene gjennomgående ble 27,5 m. Måleopplegget gir en lengde på 110 m for hvert profil. Det ble også plassert skuddpunkt i større avstand fra kabelendene for å få sikrere måledekning av fjellrefraktoren langs hele profilet. For energisering ble det brukt dynamitt med elektriske momenttenner.

Målingene omfatter 3 refraksjonsseismiske profiler (S1, S2 og S4) og er målt over 3 indikerte lavresistivitetssoner i 2D-resistivitetsprofilene P1, P2 og P4.

3.4 Borehullslogging

På grunnlag av 2D resistivitetsmålingene ble det boret 3 brønner (Bh 1, Bh 2 og Bh 3) på indikerte svakhetssoner over Storsandtunnelen, Viggjatunnelen og Mannsfjelltunnelen. Det er gjort borehullslogging i alle disse brønnene. I tillegg ble 3 brønner (Bh B1, Bh B2 og Bh B5) fra tidligere undersøkelser i Brekka undersøkt. Under gis en beskrivelse av de forskjellige loggemetodene. Tabell 1 viser data for de undersøkte brønnene.

Tabell 1. Data for undersøkte brønner.

| Borehull | Lengde [m] | Fall [° fra H] | Retning [° fra N] |
|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------------------|
| Bh 1 | 140 | 73 | N216 |
| Bh 2 | 120 | 68 | N185 |
| Bh 3 | 90 | 70 | N153 |
| Bh B1 | 80 | 55 | N133 |
| Bh B2 | 70 | 90 | - |
| Bh B5 | 60 | 45 | N117 |

3.4.1 Optisk televiewer

Metodebeskrivelse for optisk televiewer er lagt ved i tekstbilag 1. Med optisk televiewer filmes hele borehullsveggen. Fra bildelogg kartlegges alle sprekker og geologiske strukturer. Strøkretning 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 god 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.

3.4.2 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 vanninnstrømning i borehullet. Gammalogg (naturlig totalstråling) avspeiler geologien og den mineralske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak elementene 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.

3.4.3 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 resistivitet i 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. Leirmineraler, kismineraler og eventuelt grafitt vil også gi lave verdier.

3.4.4 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.

3.4.5 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.

3.4.6 Indusert polarisasjon IP

For å sjekke om de lave verdiene fra resistivitetsmålingene skyldes sulfidmineraliseringer ble det utført målinger av indusert polarisasjon (IP) i de tre nye borehullene. Målingene ble utført med ABEM SAS-Log 300 og ABEM Terrameter SAS 4000. Målekonfigurasjonen var Pol/Pol Short Normal som har en elektrodeavstand i borehullet på 16". Målepunktavstanden var 1 meter. Fjernelektrodene var plassert ca. 100 m fra borehullet.

4. RESULTATER

Lokalisering av målte profiler og borehull framgår av kartbilagene -02 til -04. I det følgende blir måleresultatene kommentert.

4.1 2D Resistivitet og induisert polarisasjon (IP)

De viste seksjonene (figur 1 til 4) er produsert med Standard Inversjon og vertikal-/horisontalfilter 2 (favorisering av vertikale sprekker). Det er tatt hensyn til topografien under inversjonen, noe som avspeiles i varierende dybderekkevidde. De tolkede resistivitetsdata er vist i kartbilagene -02 til -04. Her er også de kartlagte geologiske svakhetssonene lagt inn. Disse er hentet fra ingeniørgeologiske oversiktskart utarbeidet i forbindelse med vegprosjektet (Lynneberg og Hagelia 2000).

4.1.1 Storsandtunnelen

De inverterte resistivitet- og IP-data for dette området (profil 1) er vist i figur 1. Kartbilag -02 viser de tolkede resistivitetsdata, med skille på om de påviste partier med lav resistivitet går ned i tunnelnivå eller ikke.

Som figur 1 viser, ligger det generelle resistivitetsnivået langs profilet i området 2000 til 8 000 ohmm. Et bredt område fra koordinat 330 til 830 har resistiviteter fra 500 til 2000 ohmm i tillegg til at det er indikert flere markerte soner med enda lavere resistivitet. Tunneltraseen går her dypere enn dybderekkevidden for profilet, men en antar at de påviste lavresistivitetssonene i tillegg til det brede lavresistivitetsområdet kan gå ned i tunnelnivået. På flankene av resistivitetsmodellen avtar dybderekkevidden, og indikerte soner blir mer usikre. Det betyr at selv om de to sonene ved koordinatene 160 og 250 er angitt som dagnære, kan de ha dyptgående ned til tunnelnivå.

De mest markerte sonene på resistivitetsmodellen er sonene ved koordinatene 830, 1180 og 1760. Med unntak av sonen ved 1180 ligger de to andre i to markerte søkk i topografien, og kartbilag-02 viser at disse i tillegg til de fleste andre sonene faller sammen med kartlagte svakhetssoner.

For å kartlegge en av svakhetssonene nærmere ble det påsatt et borehull (Bh 1) på sonen ved koordinat 1760. Resistivitetmålingene i borehullet viser noe høyere generell resistivitet i sonen enn ved bakkemålingene. Selv om det er noe avvik i resistivitetsnivået, har borehullsmålingene bekreftet bakkemålingene ved at det er påvist flere soner med resistivitet ned mot 100 ohmm. Måleresultatene fra borehullsmålingene er nærmere beskrevet i avsnitt 4.6.1.

Som kartbilag -02 viser ligger det markerte lavresistivitetsområdet fra koordinat 330 til 830 mellom to kartlagte svakhetssoner. I følge det bergrunnsgeologiske kartet (Wolf m. fl. 1975) består berggrunnen her av biotittskifer, til dels med kvartsmobilisater. Selv om berggrunnen er beskrevet som en enhet kan det ikke utelukkes at den her har en annen sammensetning som gir et generelt lavere resistivitetsnivå. Det kan også være at berggrunnen i dette området er mer oppsprukket, noe som vil være av betydning for tunneldrivingen.

De inverterte IP-data er vist nederst i figur 1. Som figuren viser er det store forskjeller i IP-nivået langs profilet, men det er lite samsvar mellom variasjoner i IP-nivået og de påviste svakhetssonene. De fleste sonene ligger i områder med forhøyet IP-effekt, men det kan ikke påvises noen sammenheng mellom IP- og resistivitets-soner.

4.1.2 Viggjatunnelen

De inverterte resistivitet- og IP-data for dette området (profil 2) er vist i figur 2, mens de tolkede resistivitetsdata er vist i kartbilag -03.

Den generelle resistiviteten ser også her ut til å ligge i området 2000 til 8 000 ohmm. Dette stemmer bra med at berggrunnen her tilhører samme enhet som ved profil 1. Ellers viser figur 2 at det er flere markerte soner med lavere resistivitet. De mest markerte sonene er de ved koordinatene 600, 970, 1170, 1340 og 1650. I tillegg indikeres to områder med generelt lavere resistivitet. Det ene er fra koordinat 320 til 600 hvor det i tunnelnivå indikeres at berggrunnen har resistivitet fra 700 til 2000 ohmm, med sonen på koordinat 600 (<100 ohmm) som østlige begrensning. Sonen ved koordinat 600 representerer mest trolig en svakhetszone, mens den generelle lave resistiviteten i resten av dette området kan skyldes en annen bergartstype og/eller generell større oppsprekking/porøsitet. Området med lav resistivitet kan også være forårsaket av sulfider. Det andre området med markert lavere resistivitet er like over tunnelnivå fra koordinat 1350 til 1540. Som kartbilag -03 viser, kommer profilet her skrått inn mot en kartlagt svakhetszone, og det er grunn til å anta at den lave resistiviteten kan være kanteffekter fra denne sonen.

Et område med grunn lav resistivitet fra koordinat 140 til 340 skyldes trolig myr i overflaten.

De mest markerte lavresistivitetssonene faller alle sammen med tidligere kartlagte svakhetssoner, med unntak av sonene ved koordinat 1170 og 1340. Resistivitetmålingene indikerer her markerte soner med resistivitet ned mot 200 ohmm. Selv om sonene ikke er påvist ved den geologiske kartleggingen, er det ut fra målingene grunn til å anta at anomaliårsaken er svakhetssoner.

Det ble også valgt å sette på et borehull på dette profilet, og det ble boret på den markerte sonen på koordinat 970 (Bh 2). Borehullsmålingene viser meget varierende men lav resistivitet (1000 - 5000 ohmm) i de 50 øverste meterne, for så å bli stabil høy (ca. 11 000 ohmm) fra 50 til 120 meter. Dette stemmer bra med bakkemålingene, men det viser at borehullet er satt på for nært sonen da det tydeligvis går ut av sonen på 50 meters dyp. For nærmere beskrivelse av borehullsmålingene henvises til avsnitt 4.6.2.

IP-målingene (nederst på fig.2) viser at de mest markerte lavresistivitetssonene gir høy IP-effekt med unntak av sonen ved koordinat 600. Variasjonen i IP-effekt er ikke så markert som variasjonene i resistivitet, og det er usikkert om variasjonene i IP-effekten direkte er knyttet til svakhetssonene. Ut fra dette er det ikke forsøkt å bruke IP-data til karakterisering av de påviste svakhetssonene.

4.1.3 Mannsfjelltunnelen

De inverterte resistivitet- og IP-data for dette området (profilene 3 og 4) er vist i figurene 3 og 4, mens de tolkede resistivitetsdata er vist i kartbilag -04. Grunnen til at det her er målt to profiler var at profil 3 ble målt over den opprinnelige tunneltraseen. Da denne senere ble flyttet ble det nødvendig å måle et nytt profil (profil 4).

Profilene 3 og 4 viser samme trekk. I det følgende kommenteres profil 4 siden dette ligger nærmest tunnelen. Som figur 4 viser indikerer måledata både dagnære og dyptgående

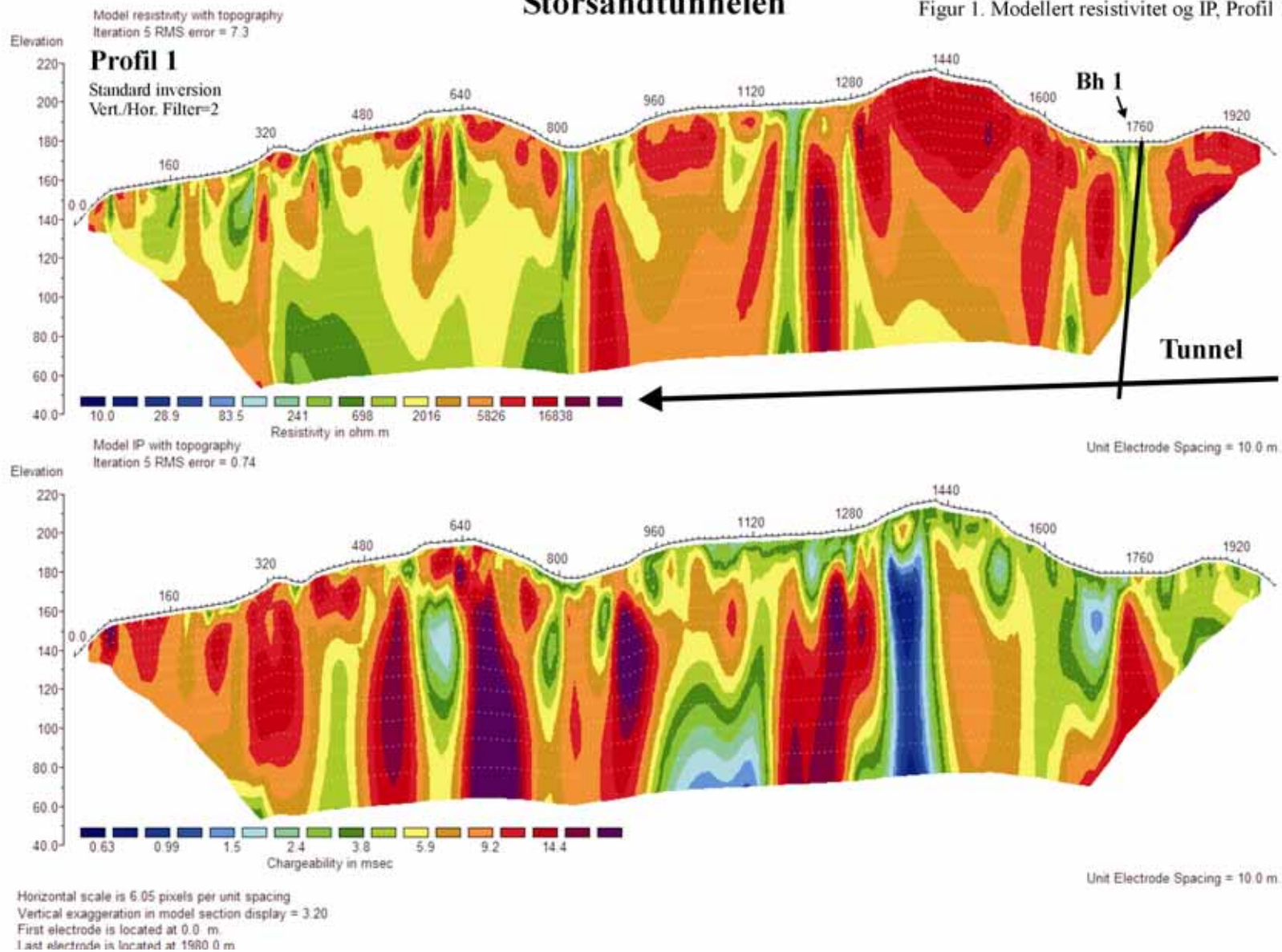
lavresistivetsområder. De dagnære faller sammen med dyrka mark, og skyldes generelt lavere resistivitet i løsmasser men trolig også gjødsling som gir lavere resistivitet. I tunnelnivå viser måledata høy resistivitet (>3000 ohmm) på flankene, mens et parti fra koordinat 270 til 550 har vesentlig lavere resistivitet.

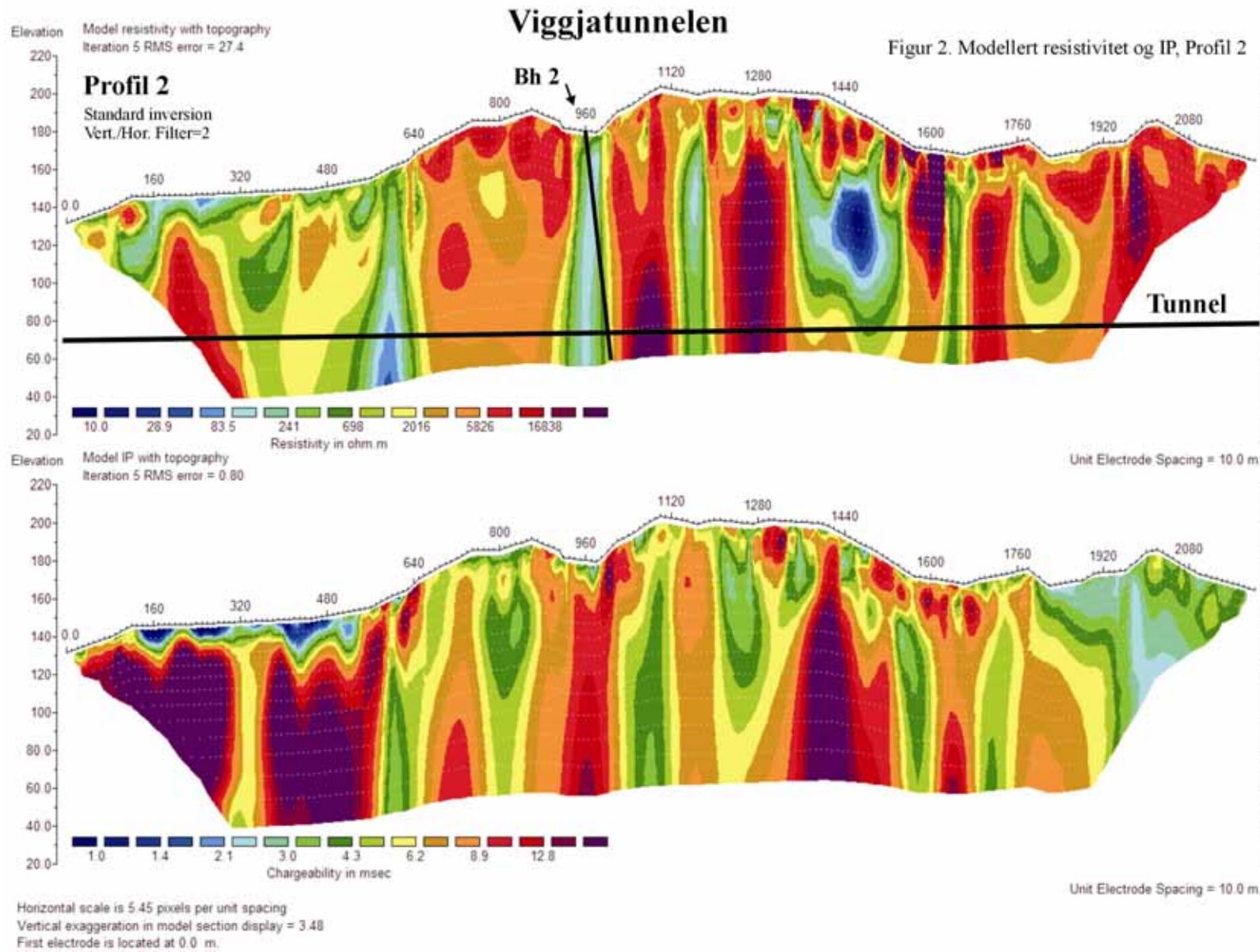
Den laveste resistiviteten (< 100 ohmm) kommer fram som en markert sone på profil 4 ved koordinat 540. Sonen faller ikke sammen med noen av de kartlagte svakhetssonene i området, og for å se om en kunne finne årsaken til sonen ble det valgt å sette på et borehull (Bh 3). Resistiviteten i borehullet viste en generell resistivitet på ca 10 000 ohmm, med en sone med lavere resistivitet fra 45 til 60 meter (se avsnitt 4.6.3).

IP-målingene (nederst på profilene 3 og 4) viser store variasjoner i IP-nivået langs profilene. De grunne områdene med meget lav IP, faller i likhet med resistivitets-målingene sammen med dyrka mark. Det kan se ut som om mektigheten er noe overdrevet ved IP-målingene. Heller ikke på dette profilet ser det ut til at det er noe samsvar mellom variasjonene i resistivitet og IP-effekt som kan bidra til karakterisering av svakhetssonene.

Storsandtunnelen

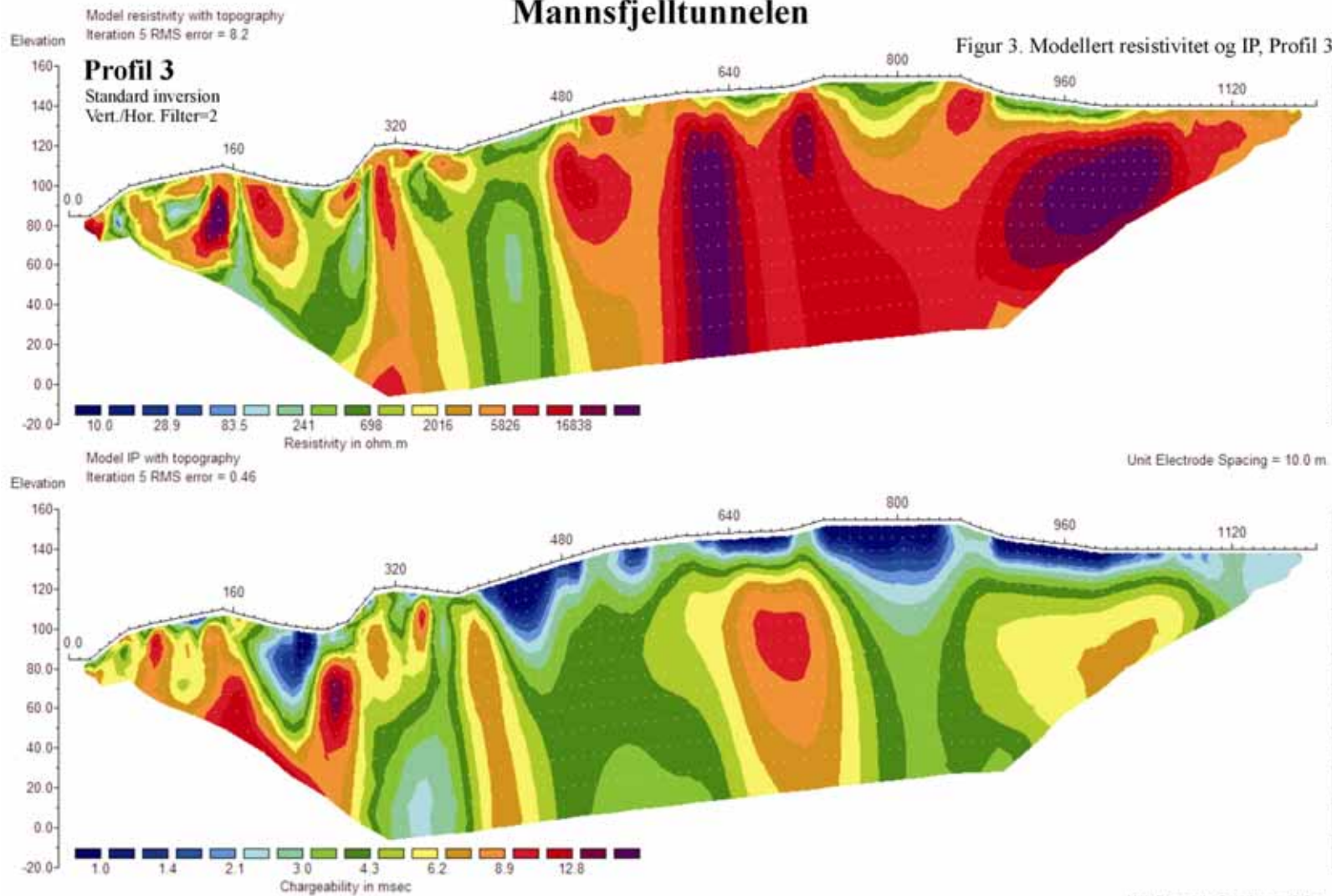
Figur 1. Modellert resistivitet og IP, Profil 1



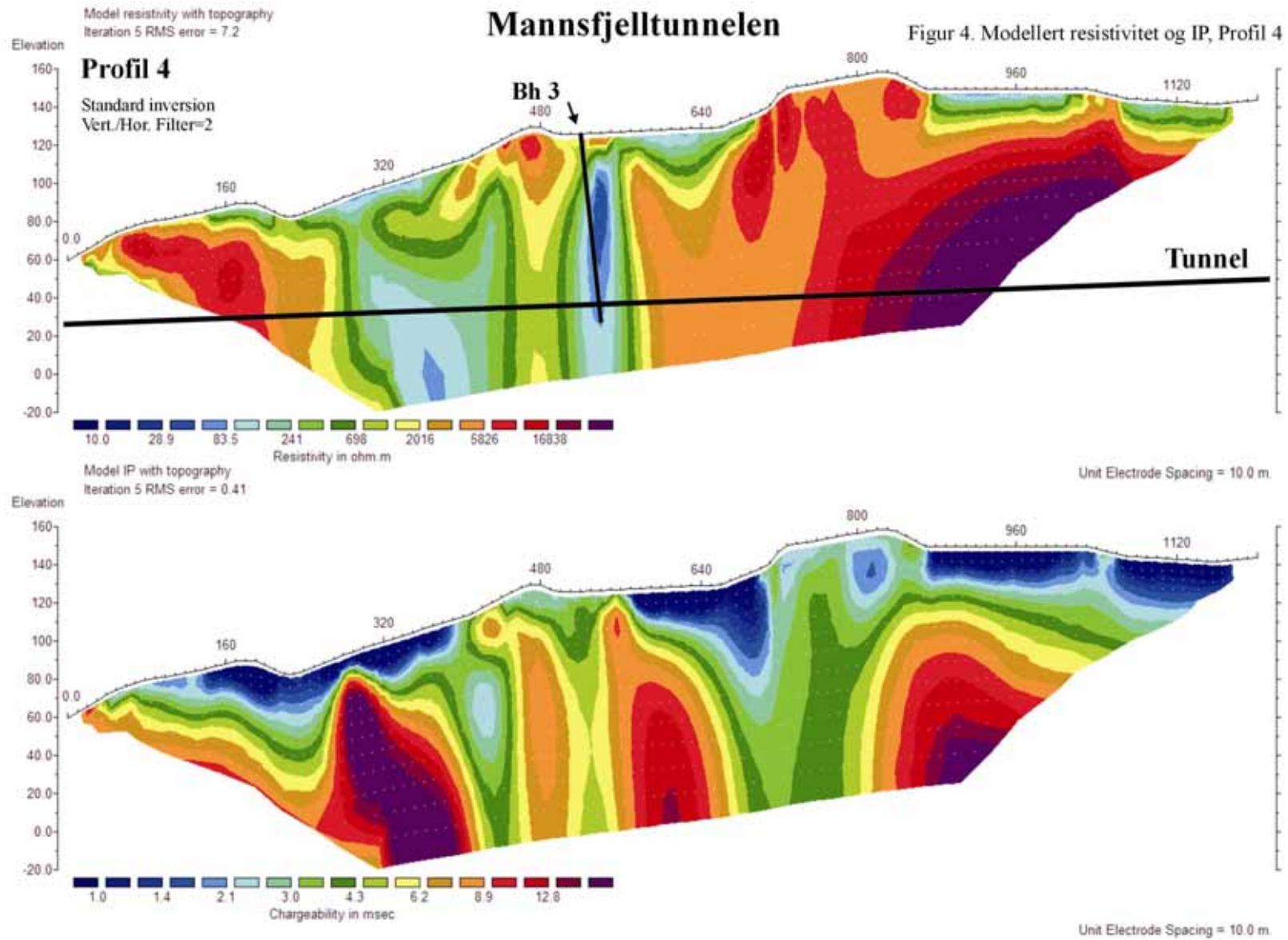


Mannsfjelltunnelen

Figur 3. Modellert resistivitet og IP, Profil 3



Horizontal scale is 9.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.90
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1200.0 m.



4.2 VLF-EM og magnetometri

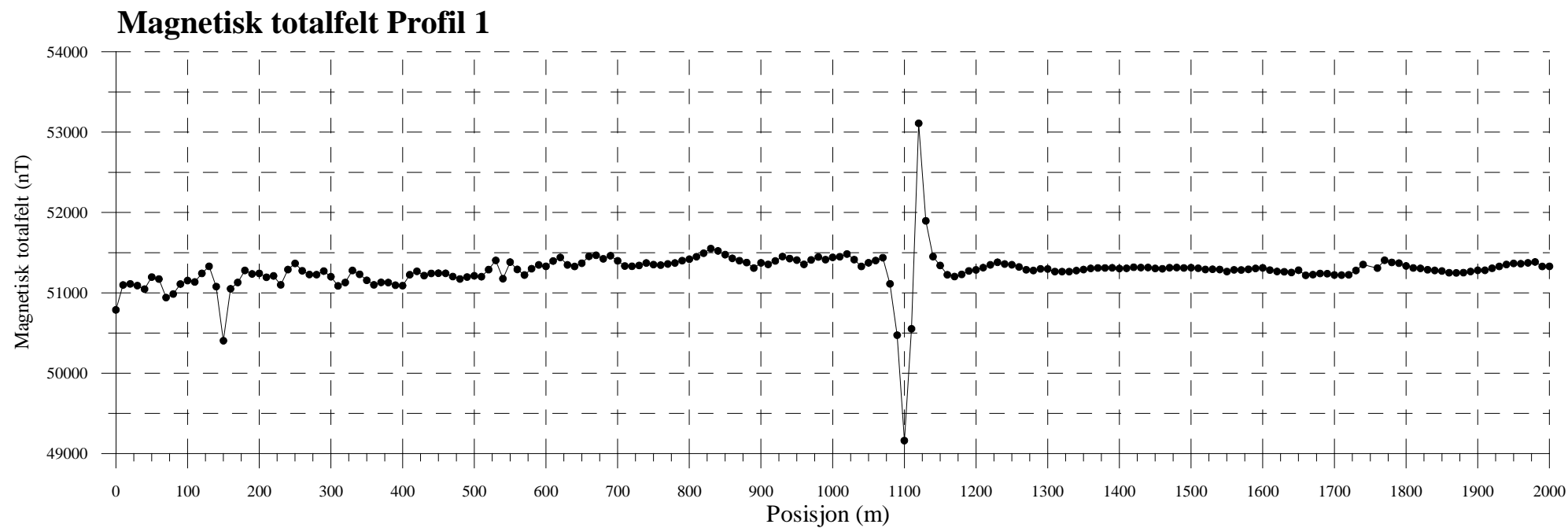
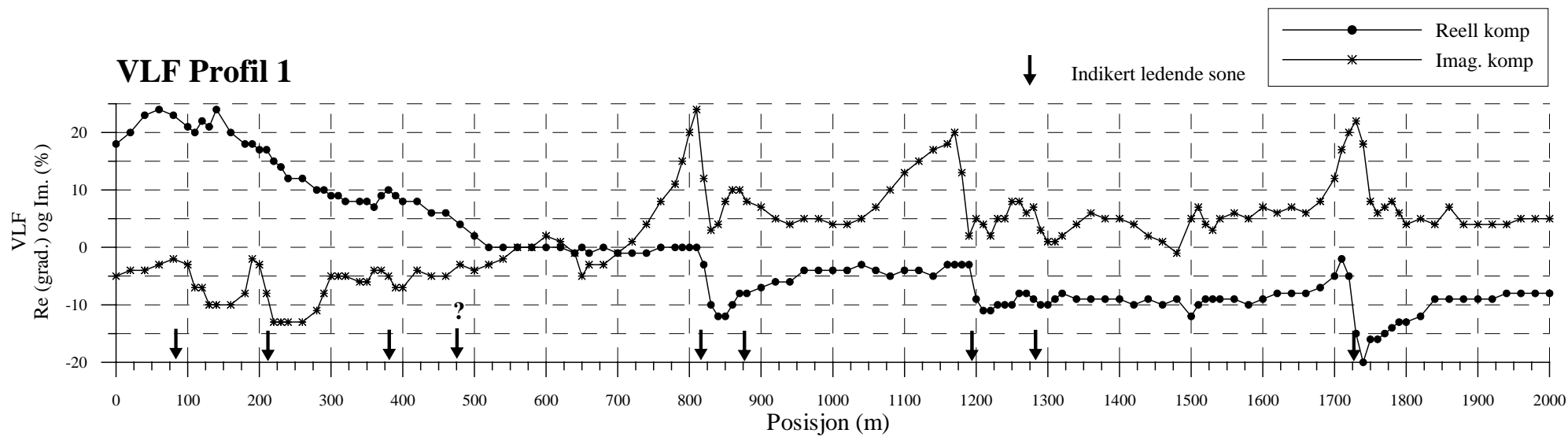
Det ble målt VLF-EM og magnetisk totalfelt langs profilene 1 og 2 over Storsand- og Viggjatunnelen.

Profil 1 over Storsandtunnelen (figur 5) viser at det ble påvist flere svake og moderate VLF-anomalier. Anomalistyrken på de fleste anomaliene er av en slik størrelse en kan forvente over sprekkesoner, og som kartbilag –02 viser faller de fleste sammen med tidligere geologisk kartlagte svakhetssoner.

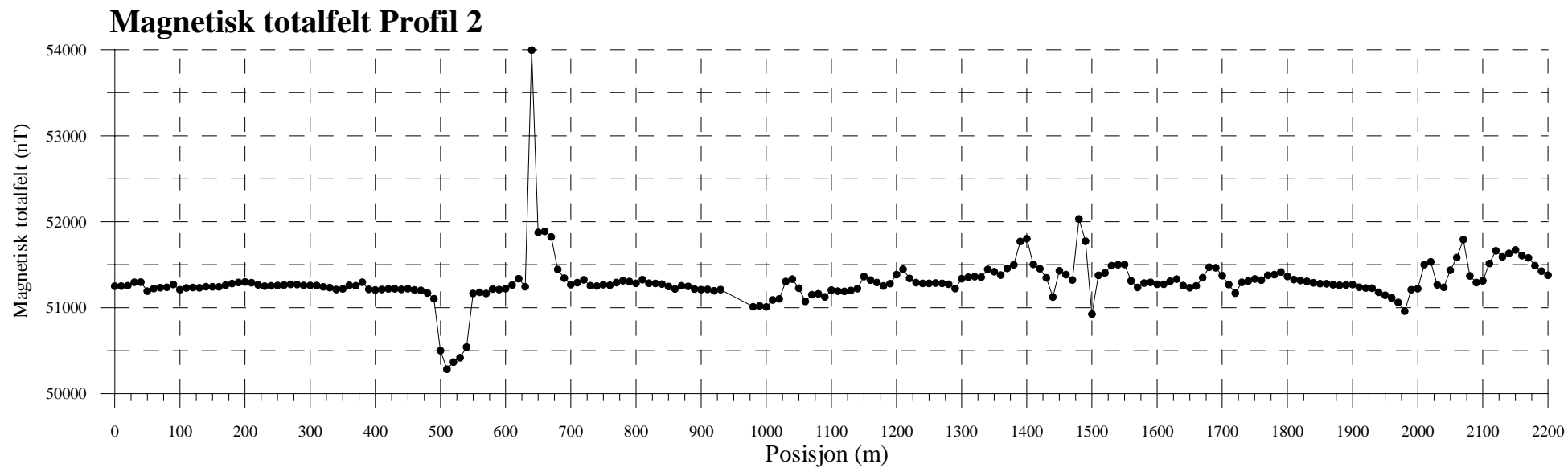
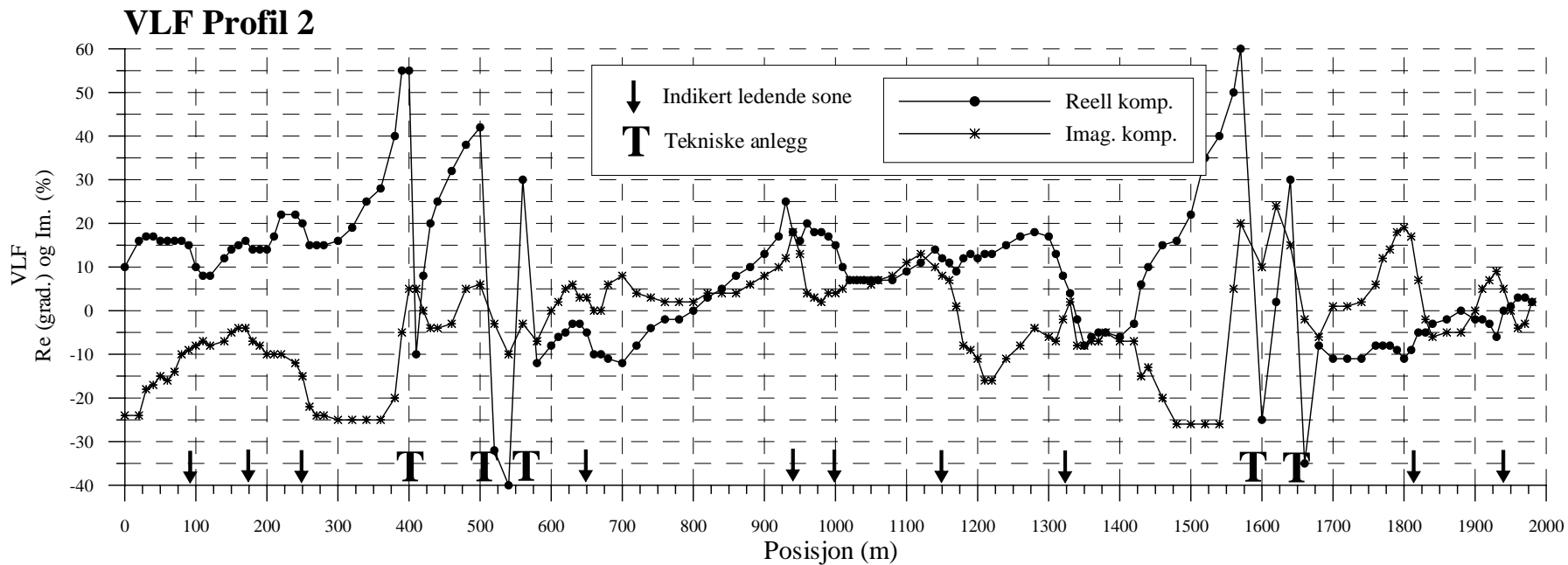
Målinger av det magnetiske totalfeltet (figur 5) viser at feltet stort sett varierer rundt 51300 nT langs profilet, med en markert anomali ved koordinat 1110. Denne faller ikke sammen med noen VLF-anomali, og ser ikke ut til å være knyttet til noen svakhetszone.

Profil 2 over Viggjatunnelen (figur 6) viser også her flere VLF-anomalier hvor anomaliårsaken trolig er svakhetssoner. Måledata er på dette profilet sterkt påvirket av tekniske anlegg (kraftlinjer). Dette gjelder spesielt ved de geologisk kartlagte svakhetssonene ved 550 og 1600. Som kartbilag –03 viser, har sonen som ble undersøkt med boring ved koordinat 960 gitt VLF-anomali. Her er det en dobbeltsone ved koordinatene 930 og 1000, og trolig representerer disse anomaliene kantene på svakhetssonen. VLF-anomaliene ved 1150 og 1325 faller sammen med lavresistivitetssoner. Det er grunn til å anta at anomaliårsaken er svakhetssoner selv om den geologiske kartleggingen ikke indikerer noen svakhetssoner her.

Målingene av det magnetiske totalfeltet (figur 5) viser også her et normalfelt på ca 51300 nT. Det ble påvist en lavmagnetisk sone ved koordinat 520, og som kartbilag –03 viser ser dette ut til å falle sammen med en svakhetszone. I tillegg er det påvist noen soner hvor anomaliårsaken trolig er soner med varierende grad av økt magnetittinnhold.



Figur 5. VLF og magnetisk totalfelt profil 1.



Figur 6. VLF og magnetisk totalfelt profil 2.

4.3 Refraksjonsseismikk

4.3.1 Storsandtunnelen

Profil S1 er målt i V-Ø-retning og med midtpunkt ved pos. 1745 m i profil 1. Profilplassering er vist i kartbilag –02, mens tolkningen av det refraksjonsseismiske opptaket er vist i figur 7.

Det er indikert 2 hastighetslag langs profilet. Det øverste har seismiske hastigheter i området 480-770 m/s og representerer løsmasser av antatt noe variabel sammensetning, men for det meste tørre og løst lagrete avsetninger. Laget under representerer fjell. Dyp til fjelloverflaten avtar fra ca. 2 m ved starten av profilet (posisjon 1690) til ca. 0,5 m ved enden av profilet (posisjon 1800).

Seismisk hastighet i fjell ligger stort sett i området 5150-5400 m/s, bortsett fra mellom posisjon 1730 og 1740 m i profilet der hastigheten er ca. 3500 m/s. Det regnes at fjellet er en del oppsprukket i denne sonen.

4.3.2 Viggjatunnelen

Profil S2 er målt i VNV-ØSØ-retning og med midtpunkt nær posisjon 960 m i profil 2. Profilplassering er vist i kartbilag –03, mens tolkningen av refraksjonsseismiske data er vist i figur 8.

Det er i utgangspunktet indikert 2 hastighetslag langs profilet. Det øverste har seismisk hastighet i området 290-370 m/s og representerer tørre og løst lagrete avsetninger, stedvis også antropogent (tilført/påfylt) materiale. Laget under representerer fjell. Dyp til fjell er beregnet å variere fra 0,5 til 4,5 m med en smal og markant fordypning mellom posisjon 955 og 965 (4,5 m dyp) og mellom posisjon 995 og 1000 (3,5 m dyp). Det er mulig og sannsynlig at det nede i fordypningene i fjellgrunnen ligger løsmasser med høyere seismisk hastighet enn den som er benyttet i dybdetolkningen, og fordypningene kan derfor være større og mer markante enn beregnet.

I fjellgrunnen er seismisk hastighet høyest langs de første (vestligste) 50 m av profilet (4200-5000 m/s), mens hastigheten langs resten av profilet ligger på rundt 3500 m/s. Fjellet regnes å være en del oppsprukket langs denne delen av profilet.

4.3.3 Mannsfjelltunnelen

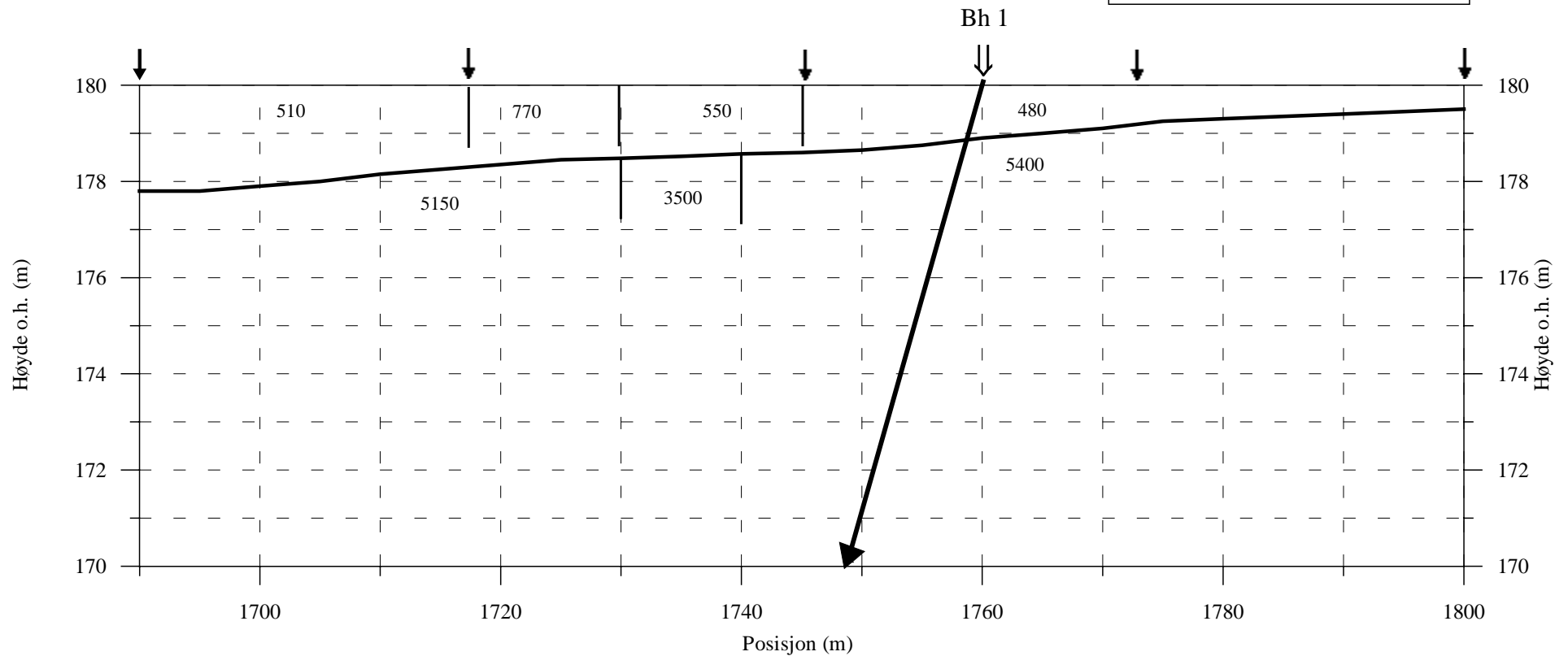
Profil S3 er målt i NV-SØ-retning og med midtpunkt nær posisjon 540 m i profil 4. Profilplassering er vist i kartbilag –04, mens tolkningen av refraksjonsseismiske data er vist i figur 9.

Langs deler av profilet er det indikert 3 hastighetslag. Det øverste laget har seismisk hastighet i området 250-480 m/s og representerer tørre løsmasseavsetninger. Underliggende løsmasselag med seismisk hastighet ca. 1150 m/s er registrert i sørlige del (koordinat 570 – 600) og ved nordenden (koordinat 490 – 500). Hastigheten er forholdsvis dårlig bestemt, men kan representere leire eller umettet morene. Påviste resistivitetsverdier (100 – 300 ohmm) indikerer at dette kan være morene. Langs resten av profilet (koordinat 500 – 570) kan ikke dette laget erkjennes fra måledata, men kan her opptre i blindsoner. Tolket dyp til fjell er størst mot sørøstenden med 9 m og muligens vel 4 m ved nordvestenden, mens fjelloverflaten ligger 0,5-3 m dypt i området i mellom.

Seismisk hastighet i fjell er stort sett i området 5000-5750 m/s, men det opptrer en lavhastighetszone på 3500 m/s mellom posisjon 535 og 545 m i profilet. Dette er trolig en svakhetszone med oppsprukket fjell og faller sammen med den markerte lavresistivitetssonen ved 2D-målingene. Den høyeste hastighetsverdien opptrer langs sørøstre halvdel av profilet og kan indikere massive (basiske?) bergarter der.

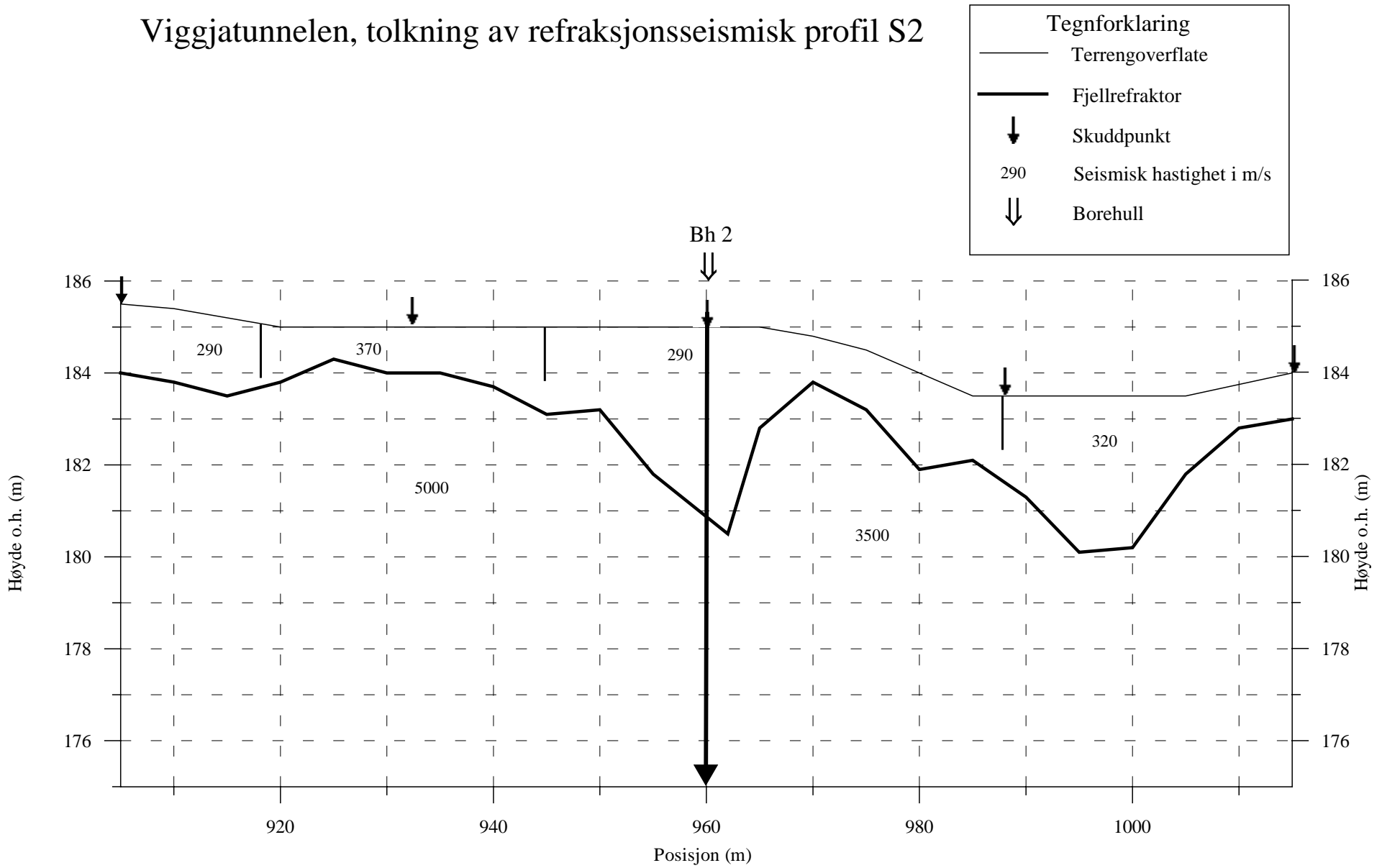
Storsandtunnelen, tolkning av refraksjonsseismisk profil S1

| Tegnforklaring | |
|----------------|--------------------------|
| — | Terrengoverflate |
| — | Fjellrefraktor |
| ↓ | Skuddpunkt |
| 290 | Seismisk hastighet i m/s |
| ⇓ | Borehull |



Figur 7. Storsandtunnelen, tolkning av refraksjonsseismisk profil S1

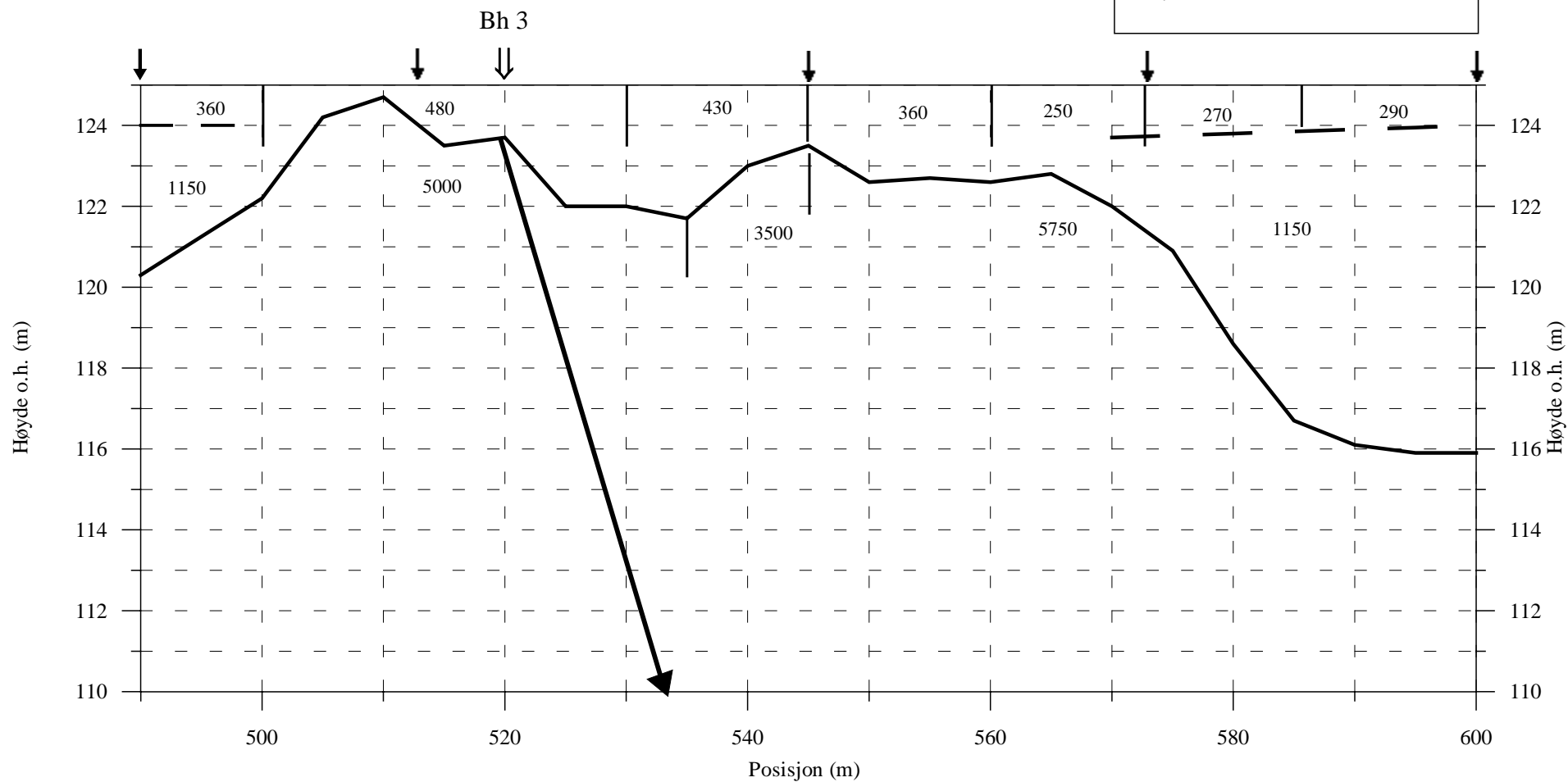
Viggjatunnelen, tolkning av refraksjonsseismisk profil S2



Figur 8. Viggjatunnelen, tolkning av seismisk profil S2.

Mannsfjelltunnelen, tolkning av refraksjonsseismisk profil S3

| Tegnforklaring | |
|----------------|--------------------------|
| | Terrengoverflate |
| | Fjellrefraktor |
| | Skuddpunkt |
| 290 | Seismisk hastighet i m/s |
| | Borehull |



Figur 9. Mannsfjelltunnelen, tolkning av seismisk profil S3.

4.4 Optisk televiewer

Resultatene fra inspeksjon med optisk televiewer i de undersøkte borehullene er presentert som stereogram av sprekkeorienteringer, frekvenshistogram og bildelogg fra utvalgte deler av borehullene.

Bildelogg (hele hullets lengde) kan skaffes på CD ved NGU (CD 2003.067-01 og -02).

Loggen viser borehullsveggen brettet ut og orientert fra nord til nord. Det er benyttet en oppløsning på 720 pixler, dvs. hele sirkelen rundt borehullet er delt inn i 720 deler. Dette gir en pixelstørrelse på ca 1 x 1 mm. Sprekker og geologiske bånd som skjærer borehullet i en vinkel større enn null vil vises som en sinuskurve.

Data fra de optiske loggene er prosessert med programvare fra Robertson Geologging (Robertson Geologging 2000), for detaljer se tekstbilag 1. Opptaksforholdene var gode, dvs. god sikt i vannet. 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. I tillegg presenteres bildelogger av utvalgte deler av borehullet som er representative for de bergarter og strukturer som er tilstede. Eksempler på tolket logg vises også.

4.4.1 Bh1, Storsandtunnelen

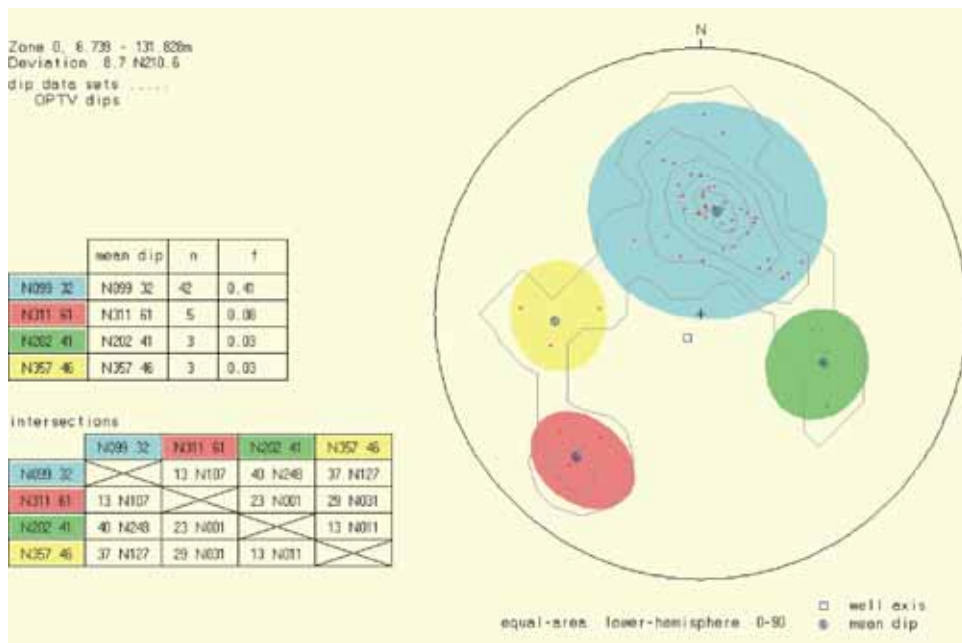
Figur 10 viser stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker i Bh 1, Storsandtunnelen. Sprekkegrupper er definert med fargede sirkler, og øverste tabell på figuren viser gjennomsnittlig strøk og fallvinkel for hver gruppe. Tabellen viser også antall sprekker og gjennomsnittlig sprekkefrekvens for hver gruppe. Nederste tabell viser fallretning og fallvinkel for skjæringslinjen (intersection) mellom middelplanene til to og to definerte grupper.

Den dominerende sprekkeretningen i Bh 1 er N099 32 (32 er fallvinkel). 79 % av alle registrerte sprekker tilhører denne gruppen. Dette har sammenheng med at disse sprekke er typiske foliasjonssprekker, dvs. strøk og fall faller sammen med bergartens foliasjon. I mange tilfeller kan det være vanskelig å avgjøre om observasjonen skal defineres som en sprekk. Bergarten har tydelig lagdeling og det er ikke observert noen åpne sprekker.

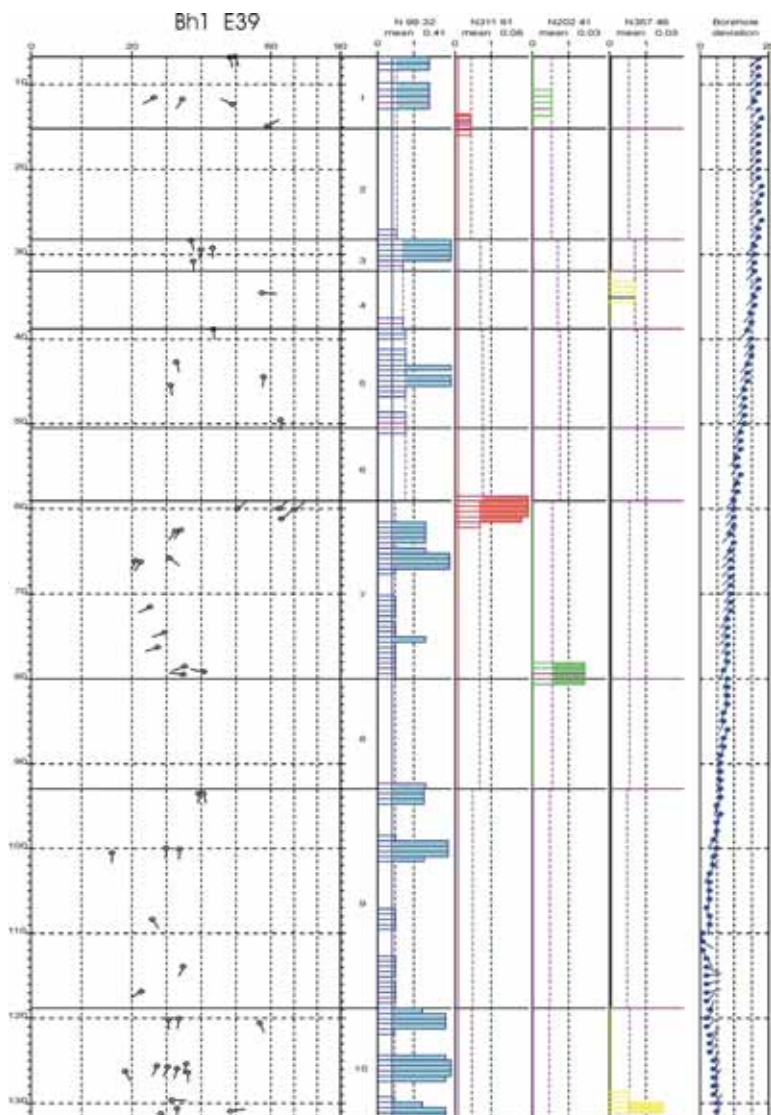
Sprekkefrekvensen er presentert som frekvenshistogrammer langs et borehull. Det beregnes en gjennomsnittsfrekvens for hele hullet (antall sprekker pr. meter) og en gjennomsnittsfrekvens for definerte soner av et borehull. Sonene defineres vanligvis der en har en viss ansamling av sprekker. Sonen kan også defineres i et bestemt dyp der en vet at f.eks. en tunnel er planlagt.

Figur 11 viser frekvenshistogrammer for Bh 1, Storsandtunnelen. Frekvenshistogrammene (rød, blå, grønn og gul) viser beregnet sprekkefrekvens i definerte soner, 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.

Borehullet er lite oppsprukket, og oppsprekningen ser ikke ut til å være tilknyttet noen bestemt del av hullet. Enkelte av de definerte sonene, sone 6 og 10, har likevel større sprekkefrekvens enn de øvrige med ca 2 sprekker/meter som maksimumsfrekvens innen en sone.



Figur 10. Bh 1, Storsandtunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.



Figur 11. Bh 1, Storsandtunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.

4.4.2 Bh 2, Viggjatunnelen

Figur 12 viser stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker i Bh 2, Viggjatunnelen indikert med OPTV. Den dominerende gjennomsnittlige sprekkeretningen er N071 20. Også i dette borehullet er det hovedsakelig foliasjonssprekker som utgjør hovedandelen av antall indikerte sprekker. Gjennomsnittlig fallvinkel er 20°. I tillegg til denne gruppen indikeres et mindre antall steile sprekker (65 – 71°) med forskjellige retninger. Det ble ikke observert åpne sprekker.

Figur 13 viser frekvenshistogram av indikerte sprekker i Bh 2. Borehullet er forholdsvis lite oppsprukket. Flest sprekker mellom 10 og 40 m (sone 1, 2 og 3) og sone 6 og 7 (62 – 85 m) med sprekkefrekvenser på ca 2 sprekker/meter. De øverste 50 m av Bh 2 krysser trolig en svakhetszone, og oppsprekningen kan ha sammenheng med denne.

4.4.3 Bh 3, Mannsfjelltunnelen

Figur 14 viser stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker i Bh 3, Mannsfjelltunnelen indikert med OPTV. Foliasjonssprekker med gjennomsnittlig retning N074 25 er den dominerende sprekkeretningen. En gruppe steiltstående sprekker indikeres også. Ingen åpne sprekker er observert i hullet. Ut fra inspeksjonen synes hullet tett.

Figur 15 viser frekvenshistogram over indikerte sprekker i Bh 3. Hullet er moderat og jevnt oppsprukket, foliasjonssprekker med slakt fall. Økt sprekkefrekvens observeres ved 51-53 m (ca 2 sprekker/meter). En ansamling av steile sprekker opptrer mellom 14 og 23 m med en maks frekvens på ca 2 sprekker/meter

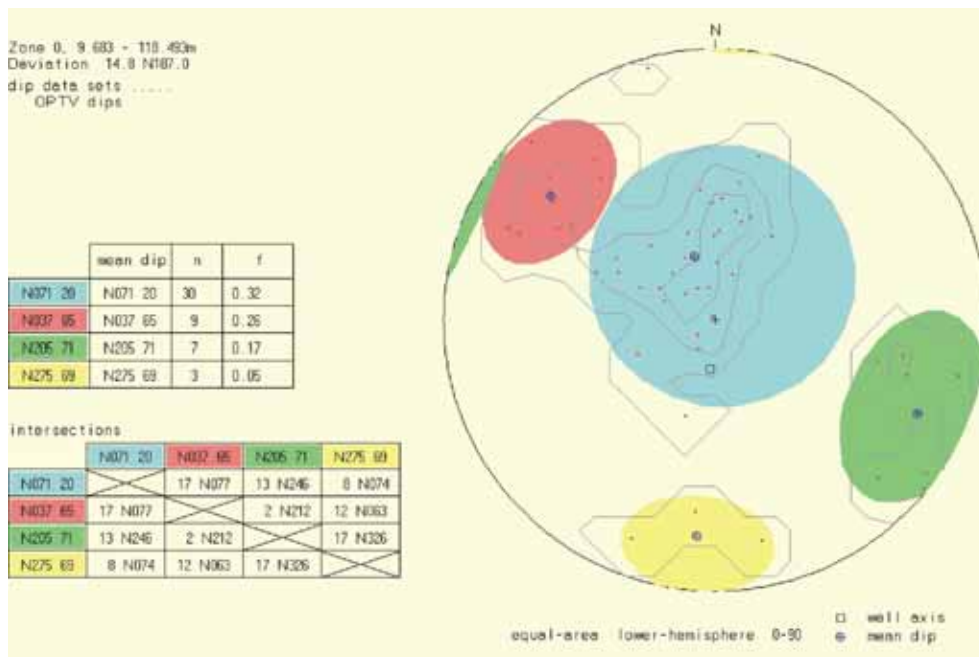
4.4.4 Bh B1, Bh B2 og Bh B5 Brekka

Figur 16 og 17, viser stereografisk projeksjon og frekvenshistogram av indikerte sprekker i Bh B1, Brekka. Figur 18 og 19 viser tilsvarende for Bh B2, Brekka og figur 20 og 21 for Bh B5, Brekka. I alle tre hull opptrer foliasjonssprekker dvs. sprekker som opptrer parallelt lagdelingens strøk og fall. Bergarten, grønnstein, er tydelig skifrig i dette området. Sprekkeretningen (strøketretningen) er NNV, se tabeller på figur 16, 18 og 20. Gjennomsnittlig fallvinkel er liten i alle hull, 7 – 27°. Det ble ikke observert åpne sprekker i noen av hullene.

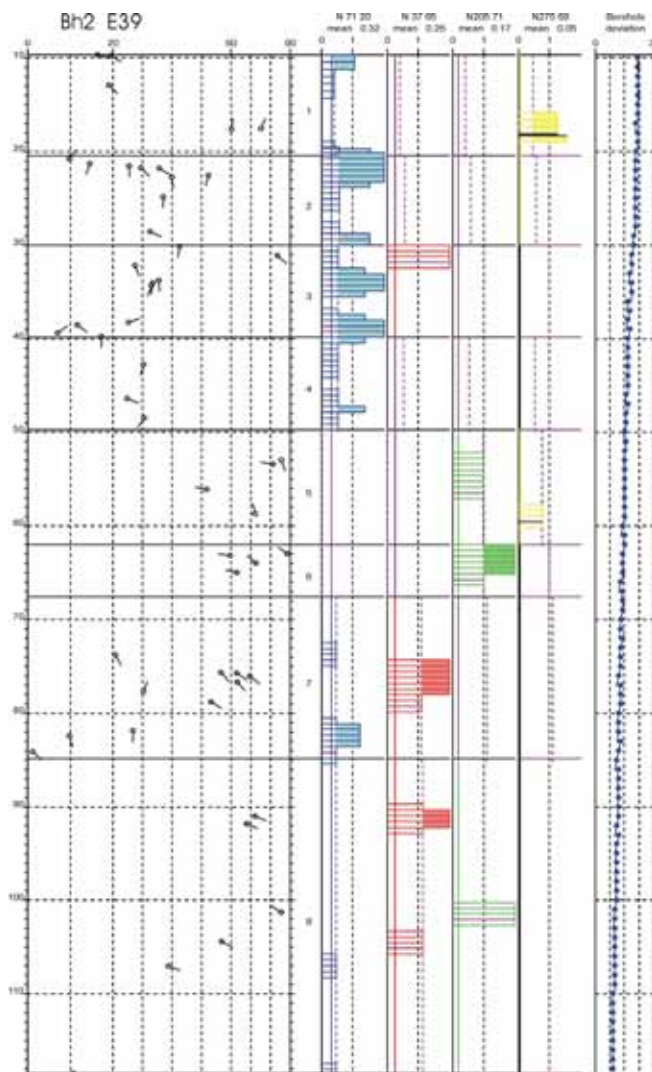
Bh B1, figur 17, har størst oppsprekking i de øverste 30 m med en sprekkefrekvens stedvis på 4 sprekker/meter. Videre er det økt oppsprekking mellom 50 og 57 m og under 62 m. Det er en tendens til steilere fall på sprekkenes mot bunnen av hullet.

Bh B2, figur 19, er tildels sterkt oppsprukket mellom 31 og 53 m med en sprekkefrekvens på ca 3 sprekker/meter i hele dette området. Over 30 m er hullet moderat oppsprukket, mens det under er lite oppsprukket. Det er hovedsakelig sprekker med slakt fall (< 20°). I bunnen av hullet opptrer noen steile sprekker.

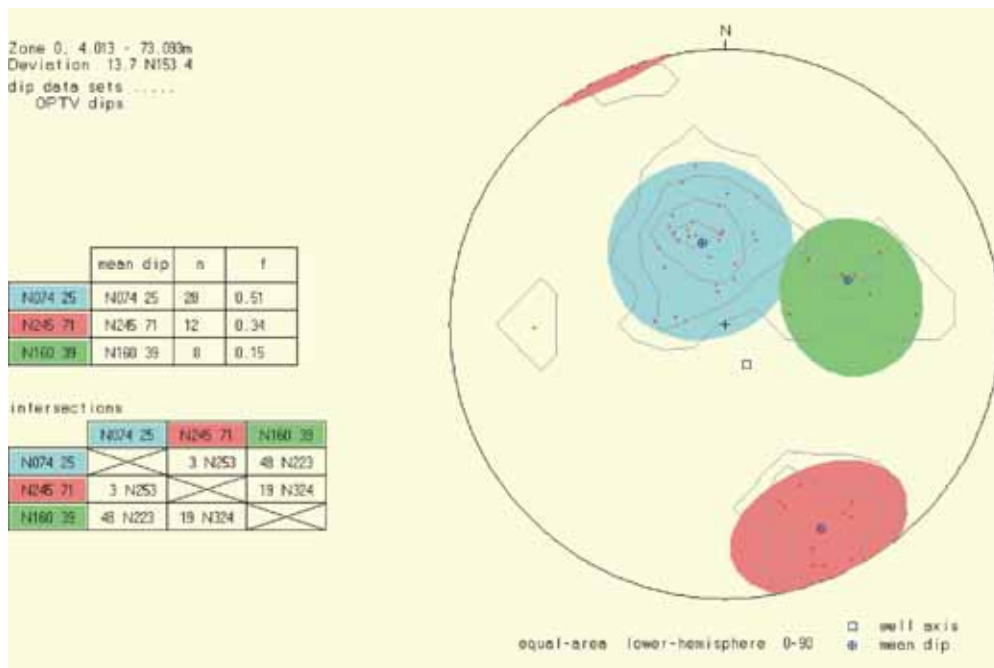
Bh B5, figur 21, er lite oppsprukket. Sprekkefrekvensen er størst mellom 32 - 34 m, 39 - 44 m, og 48 - 51 m med en frekvens opp mot 2 sprekker/meter.



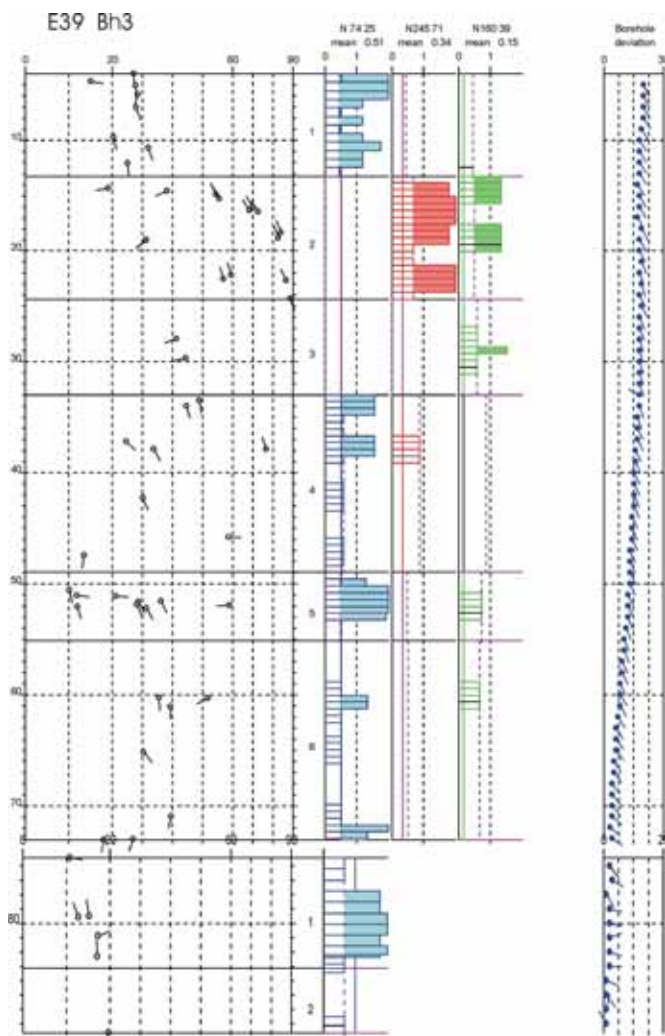
Figur 12. Bh 2, Viggjatunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.



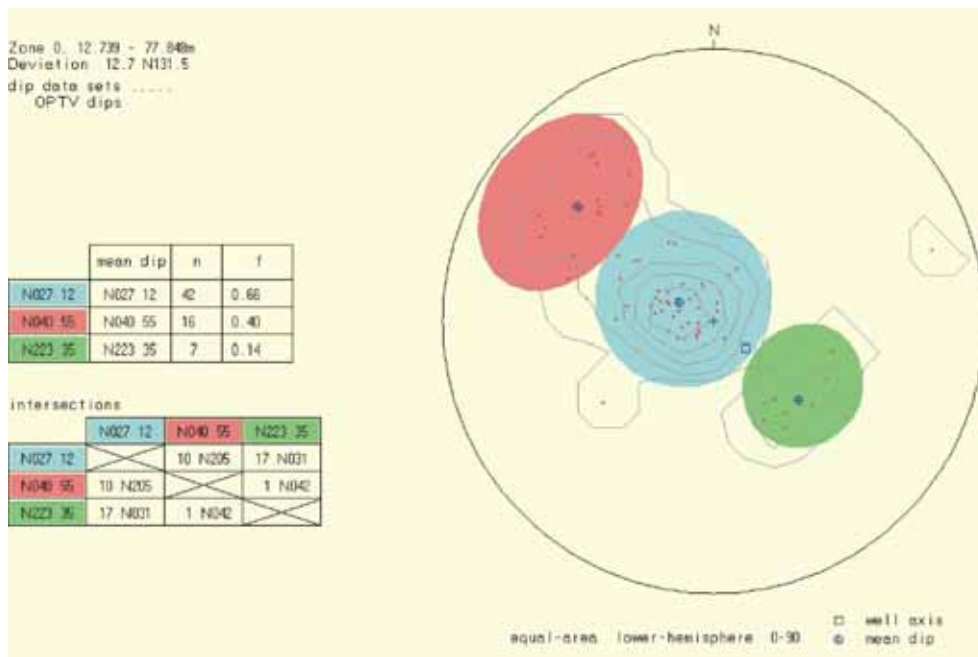
Figur 13. Bh 2, Viggjatunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



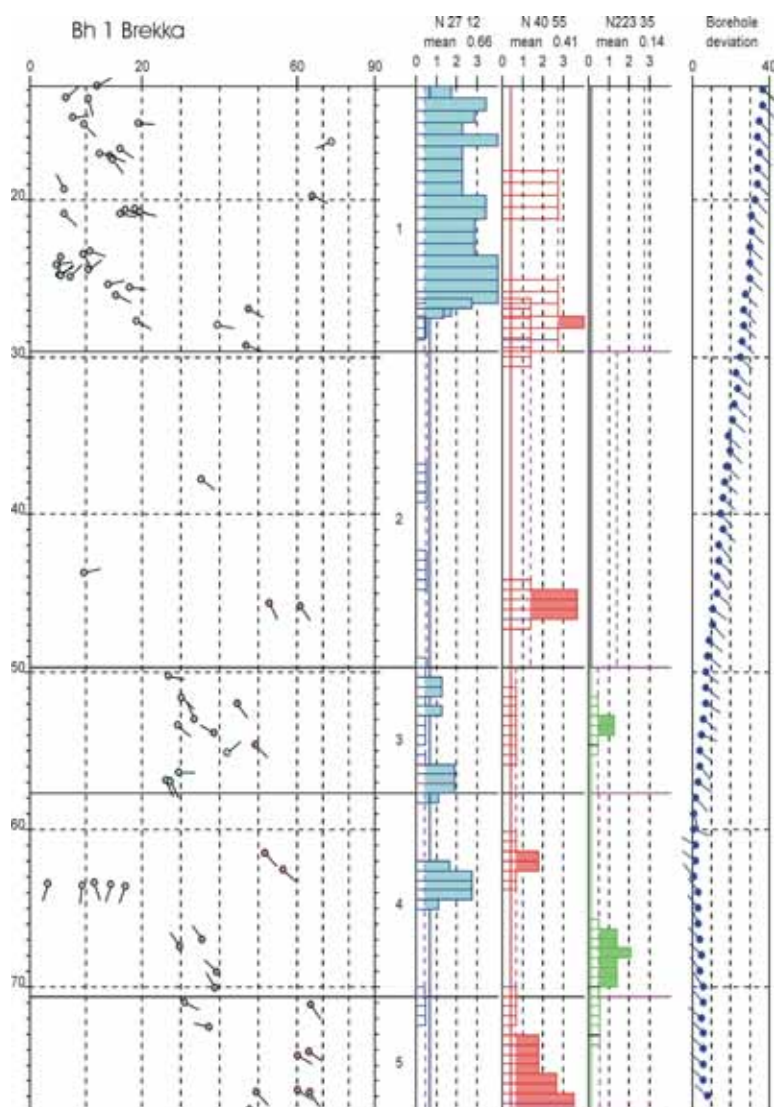
Figur 14. Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.



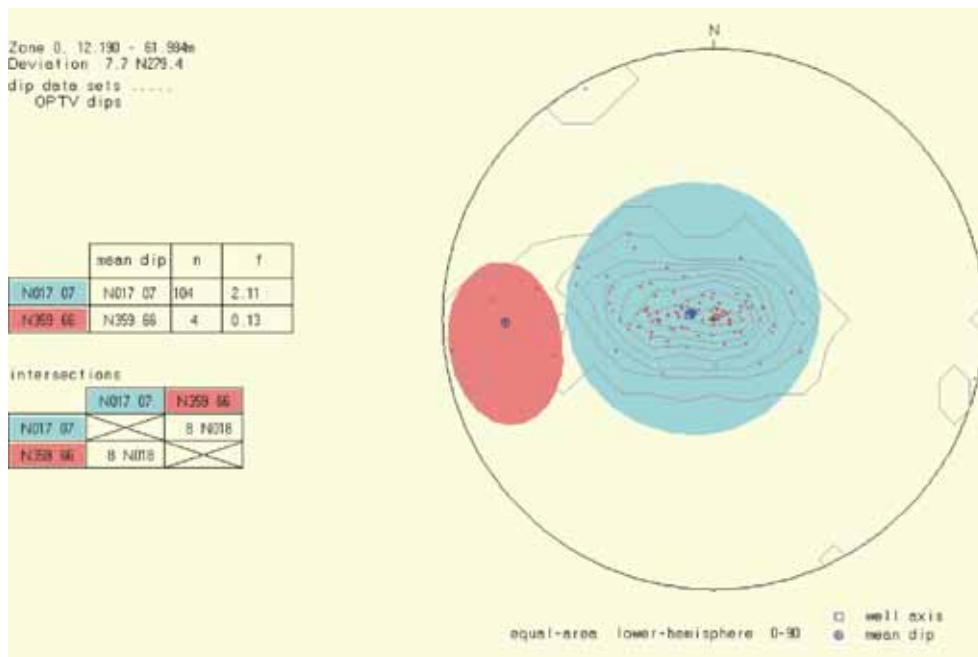
Figur 15. Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



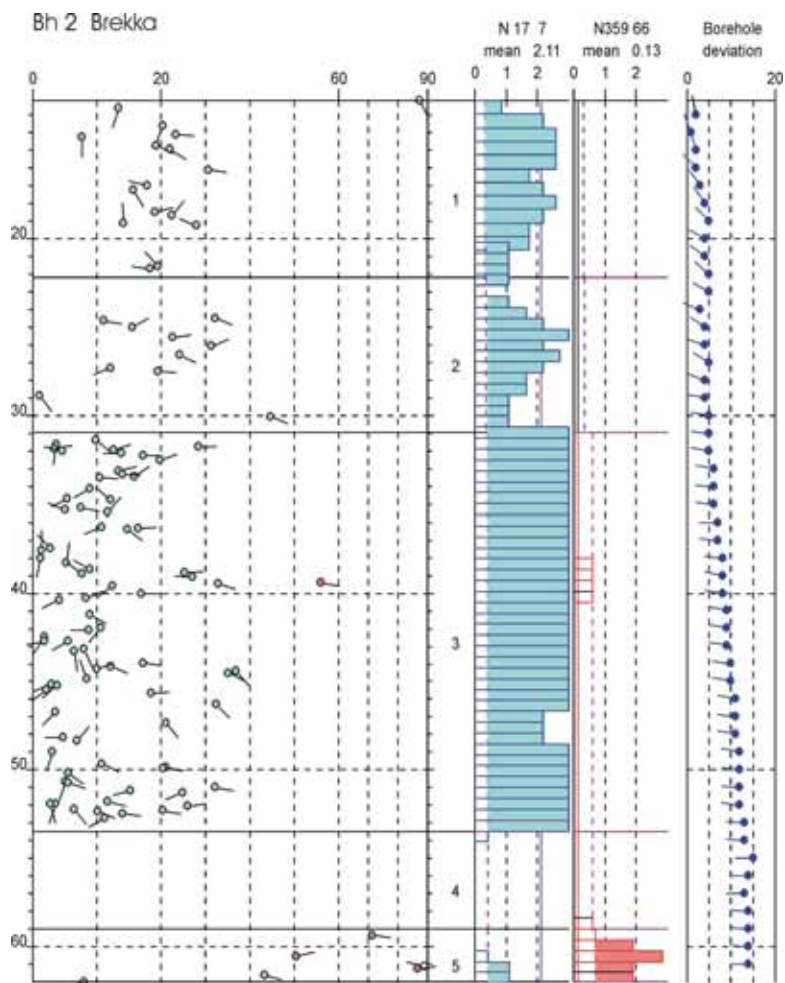
Figur 16. Bh B1, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.



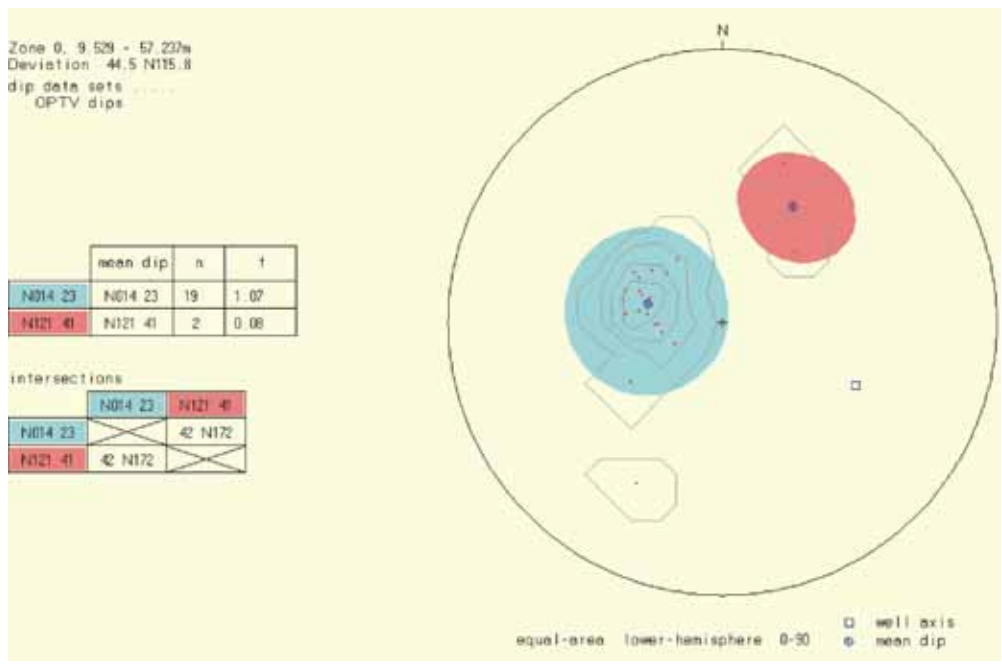
Figur 17. Bh B1, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



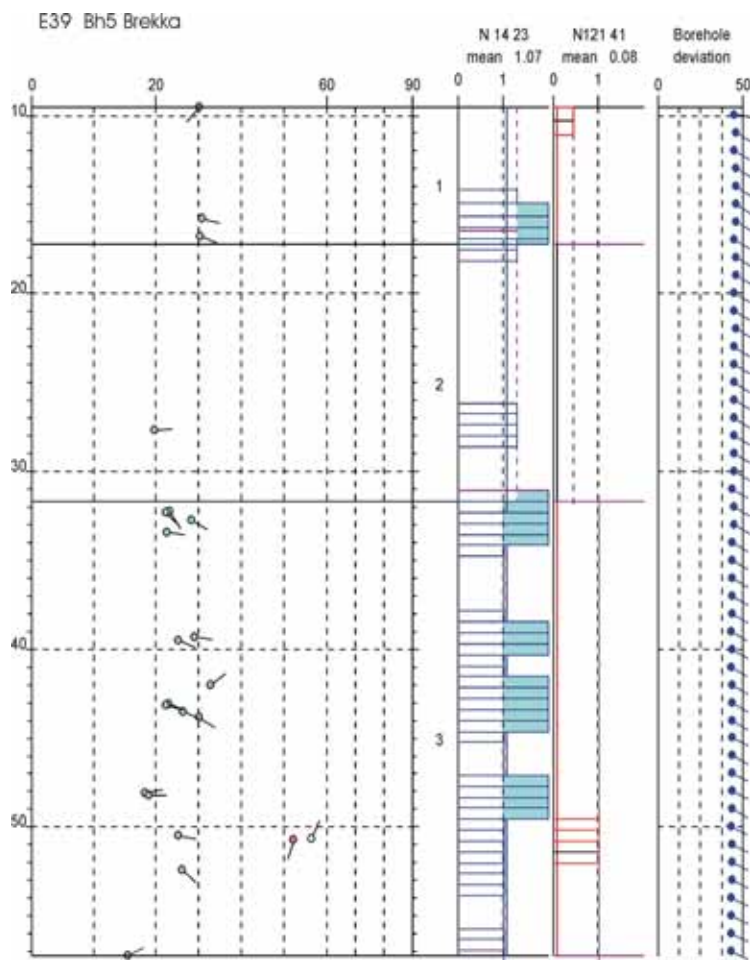
Figur 18. Bh B2, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.



Figur 19. Bh B2, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



Figur 20. Bh B5, Brekka. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.

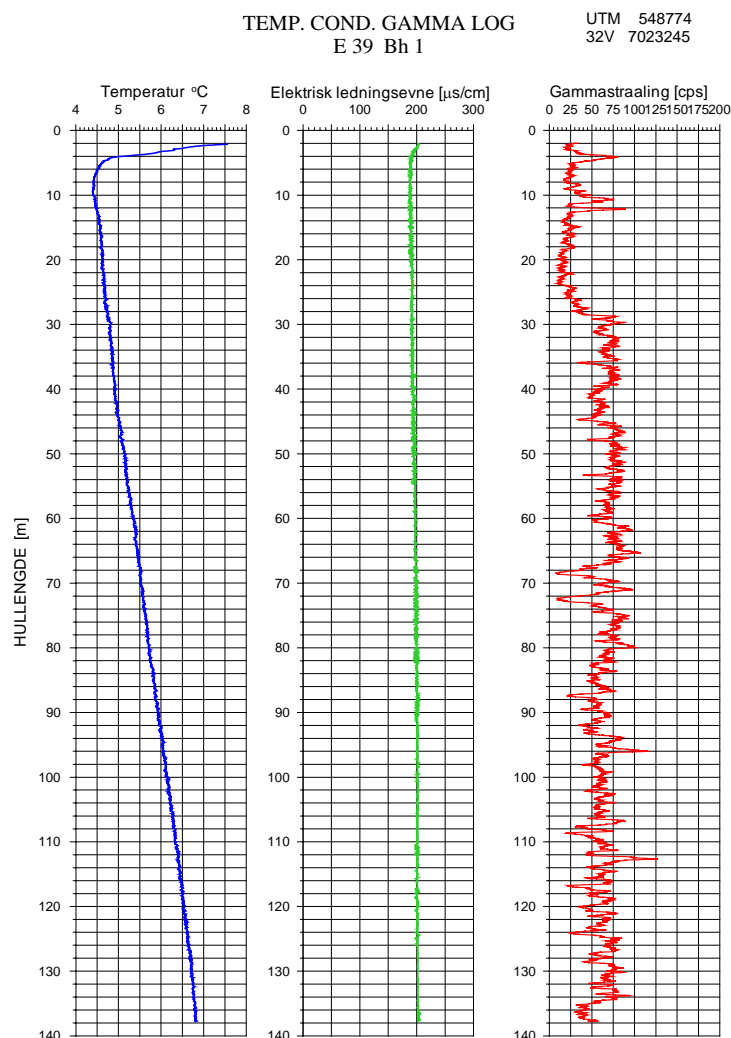


Figur 21. Bh B5, Brekka. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.

4.5 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg

Temperatur, vannets ledningsevne og naturlig gammalogg er presentert som borehullslogger av kontinuerlige målinger langs hele borehullet. Endringer i temperatur og ledningsevne kan tyde på oppsprekking og vanninnstrømning. Der det er observert slike endringer har en studert OPTV loggen for å se om det finnes sprekker i dette området.

4.5.1 Bh 1, Storsandtunnelen



Figur 22. Bh 1, Storsandtunnelen. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

Figur 22 viser temperatur-, ledningsevne- og gammalogg for Bh 1, Storsandtunnelen. Temperaturen viser ingen endring som kan tyde på vanninnstrømning og oppsprekking. Temperaturgradienten mot dypet er $1.93\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dette er over normalt. Temperaturen i bunnen av hullet ($6.8\text{ }^{\circ}\text{C}$) er imidlertid ikke høyere enn normalt.

Vannets elektriske ledningsevne viser heller ingen endringer som kan indikere vannførende sprekker.

Gammaloggene viser vanligvis ingenting om oppsprekking. Ned til 29 m er gammastrålingen lav, ca 25 cps. Fra 29 m øker den merkbart til et nivå på ca 75 cps. Dette skyldes geologien og trolig et økt innhold av radioaktivt kalium (K^{40}) som finnes i kalifeltspat. Tydelige reduksjoner i gammastrålingen, som ved 69 og 72 m, kan på den optiske loggen finnes igjen som lyse bånd. Dette kan være kvarts eller kalkstein hvor K^{40} mangler. Tilsvarende økning, som ved 112m, vises

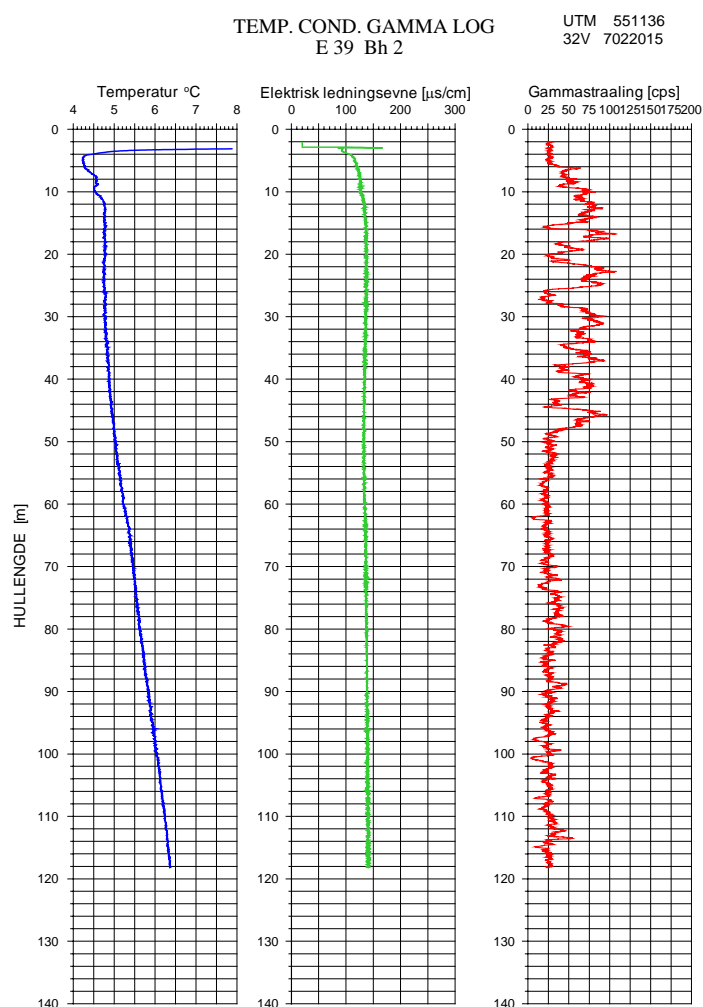
også som et lyst bånd på den optiske loggen. Her er årsaken trolig et bånd av kalifeltspat med økt innhold av K^{40} .

4.5.2 Bh 2, Viggjatunnelen

Figur 23 viser temperatur-, vannets ledningsevne- og gammalogg for Bh 2, Viggjatunnelen. Temperaturkurven viser en uregelmessighet ved 9 – 10 m. Den optiske loggen viser ingen åpne sprekker som kan tyde på vanninnstrømning i dette området. Det er satt ned foringsrør til 9 m. Det er en mulighet for at det i overgangen mellom rør og fjell kan komme inn vann med en annen temperatur. Økningen i vanntemperatur fra ca 10 m gjør at den naturlige gradienten ikke kommer inn før ved ca 40 m. Gradienten er $2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ noe som er forholdsvis høyt.

Også vannets elektriske ledningsevne får en liten endring ved ca 10 m og kan ha samme årsak som omtalt ovenfor.

Gammaloggen er litt interessant. De øverste 50 m viser et varierende høyt nivå. Fra 50 m er strålingen på et tydelig lavere nivå og er ikke så variabel. Både frekvenshistogram (økt oppsprekking) og resistivitet (lavere og varierende motstand, se senere) viser at området over 50 m har forskjellige egenskaper i forhold til området under 50 m. Den mest trolige forklaringen på dette er at hullet skjærer ut av svakhetssonen det er boret mot ved ca 50 m dyp.

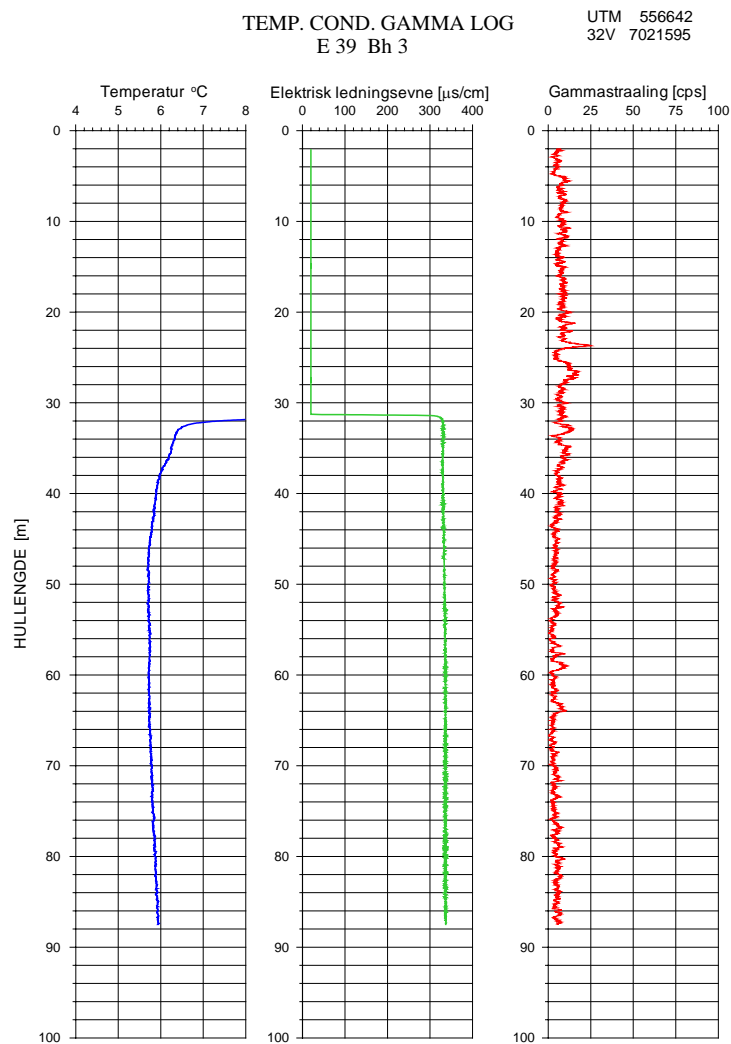


*Figur 23. Bh 2, Viggjatunnelen.
Temperatur, elektrisk ledningsevne
og naturlig gammastråling*

4.5.3 Bh 3, Mannsfjelltunnelen

Bh 3 ble logget to ganger. Ved første logging, 2.07.03, var vannivået i borehullet på 74 m noe som førte til at en begrenset del av hullet kunne logges. Ved andre logging var vannet steget til 31 m. Vanntilsiget i hullet var trolig svært lite, hvilket tyder på et tett hull. Figur 24 viser temperatur-, vannets ledningsevne- og gammalogg for Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Ingen endringer i temperatur og ledningsevne tyder på vannførende sprekker i hullet. Den optiske loggen viser heller ingen åpne sprekker.

Gammaloggen er konstant svært lav, 5 – 10 cps, i hele hullet. Bergarten er en skifrig grønnstein med en del kvartsbånd/linser med lite innhold av kalifeltspat.



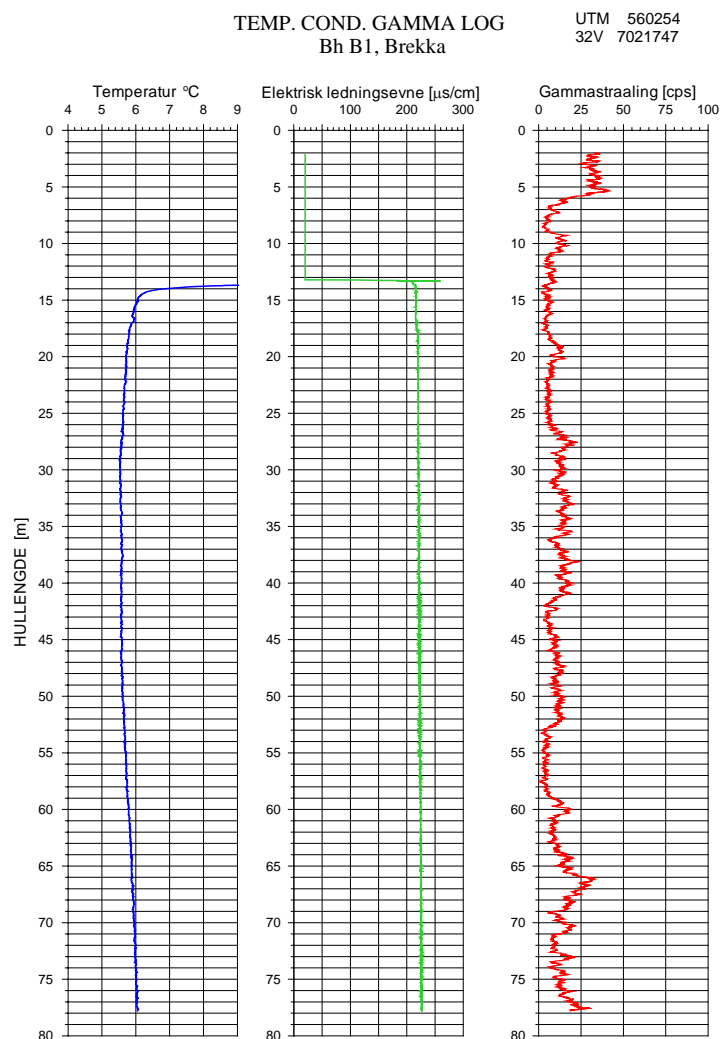
Figur 24. Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling

4.5.4 Bh B1, Bh B2 og Bh B5, Brekka

Figur 25, 26 og 27 viser temperatur-, vannets ledningsevne- og gammalogg for borehullene boret i Brekka. Temperatur- og ledningsevnelogg for Bh B1, figur 25, viser ingen endringer som kan tyde på vannførende sprekker. Vannspeilet var på 13 m, og det er synkende temperatur ned til ca 30 m. Fra ca 45 m stiger temperaturen med en gradient på 1.6 °C/100 m. Gammaloggen ligger på et lavt nivå (5 – 15 cps, grønnstein). Et noe høyere nivå (39 cps) ned til 5.5 m kan ikke vurderes fra optisk logg da det ligger inne i foringsrøret.

Temperatur- og ledningsevnelogg for Bh B1, figur 26, viser små endringer på temperaturen mellom 12 og 16 m. Vannspeilet ligger på 10.3 m, og foringsrøret går ned til 12 m. Enkelte sprekker kan observeres på den optiske loggen i dette området, men ingen ser ut til å være åpne. Ledningsevnen øker fra 11.7 m, like over nedre ende av foringsrør. Gammaloggen har en økning mellom 4 og 8 m inne i foringsrøret, ellers er nivået lavt som for grønnstein.

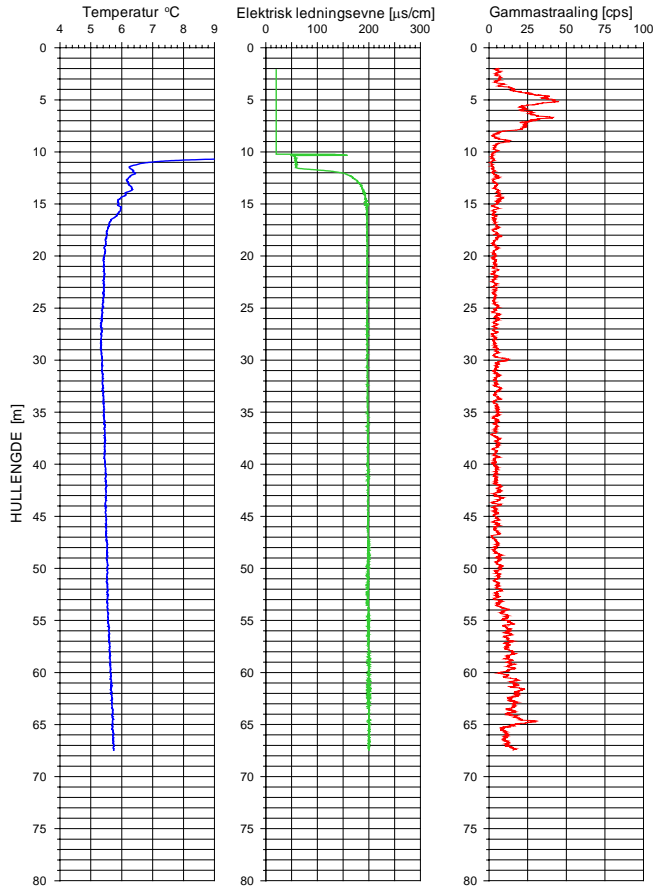
I Bh B5 sto vannspeilet på 42 m (45° fall) og bare de nederste 15 – 16 m kunne logges med temperatur og ledningsevne, se figur 27. Ingen endringer tyder på vannførende sprekker. Gammaloggen er lav og konstant i hele hullet bortsett fra en svak økning fra ca 40 m.



Figur 25. Bh B1, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

TEMP. COND. GAMMA LOG
Bh B2, Brekka

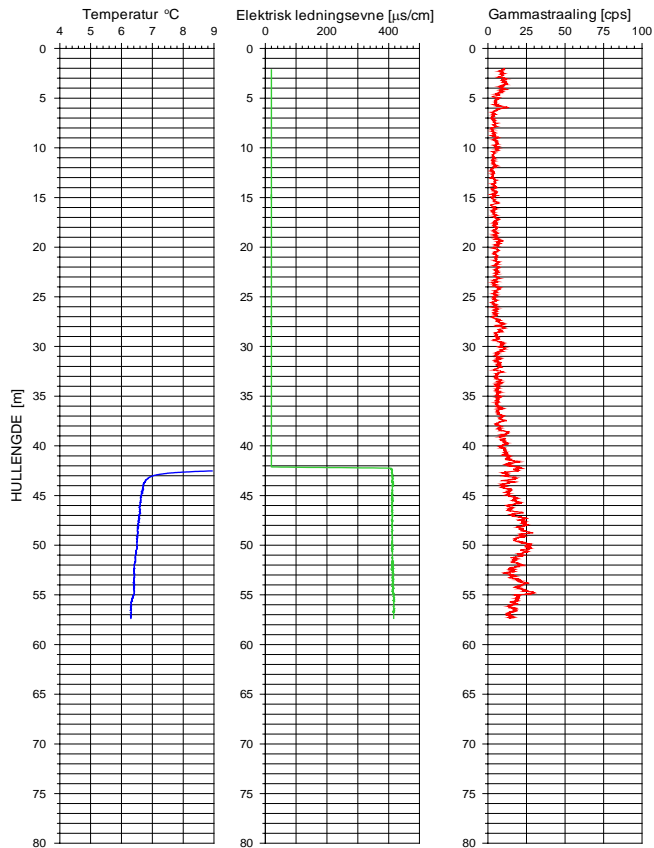
UTM 560269
32V 7021560



Figur 26. Bh B2, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling

TEMP. COND. GAMMA LOG
Bh B5, Brekka

UTM 560077
32V 7021556

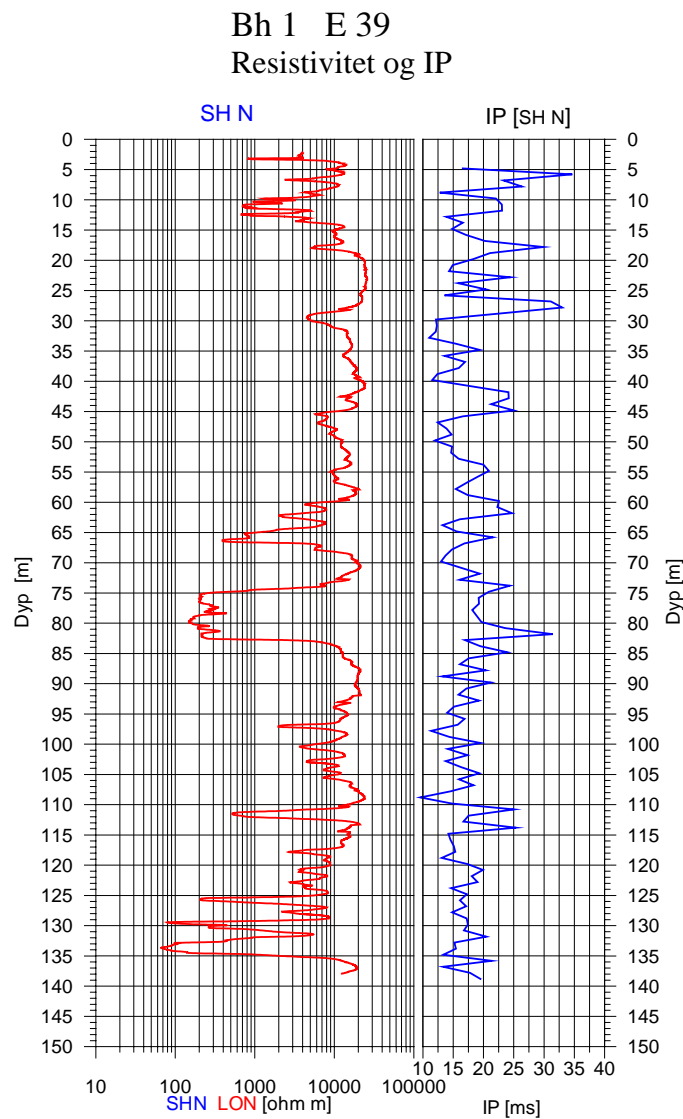


Figur 27. Bh B5, Brekka. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

4.6 Resistivitet og IP

Resistiviteten i fjell ble målt i alle hull. Det ble målt med Short Normal elektrodekonfigurasjon. Resistivitetmålinger kan bare gjøres i vannfylte hull, slik at for Bh B5 har en data fra 42 m og nedover. I Bh 1, 2 og 3 ble det også målt IP (Indusert Polarisasjon). Hensikten var å se om lavmotstandssoner kunne indikeres med IP for dermed å avgjøre om det var ledende mineraler (sulfider) som ble indikert.

4.6.1 Bh 1, Storsandtunnelen



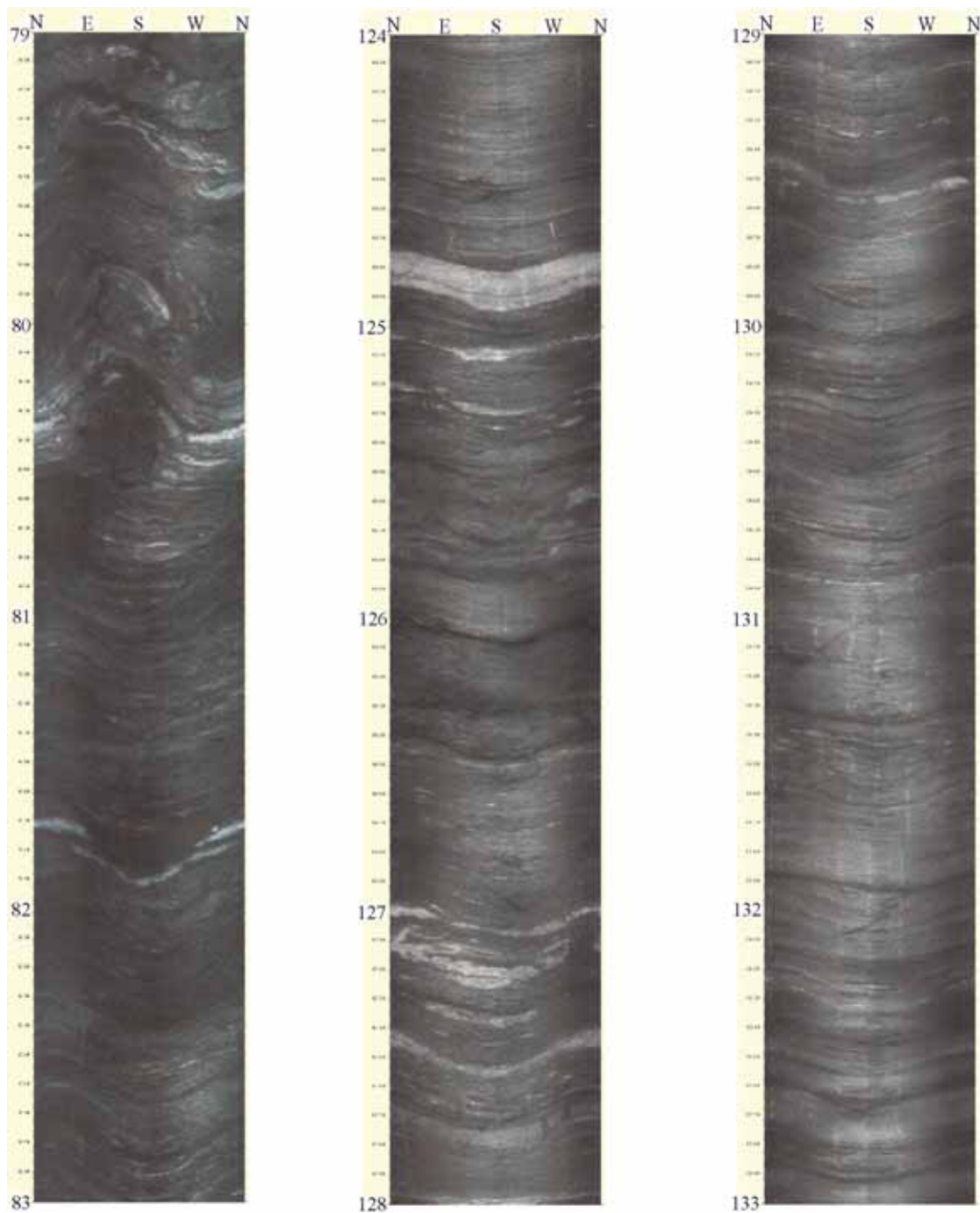
Figur 28. Bh 1, Storsandtunnelen. Resistivitet i fjell og IP.

Figur 28 viser resistivitet i fjell og IP for Bh 1, Storsandtunnelen. Flere lavmotstandssoner indikeres, men den generelle resistiviteten i bergarten er høy 10000 – 20000 ohmm. Noen av de

indikerte lavmotstandssonene kan delvis relateres til IP anomalier og kan dermed skyldes sulfidmineralisering. Dette ser en eksempler på ved 10-12 m, 18 m, delvis 28-29 m, 60-62 m, 66 m. En tydelig IP-anomali ved 82 m faller innenfor en bred lavmotstandssone. En må imidlertid være klar over at IP-anomalier fra sulfid impregnasjoner ikke behøver å gi lave motstandsverdier. Det generelle bakgrunnsnivået (10 – 15 ms) for IP målingene i Bh 1 er høyt i forhold til f.eks. Bh 2 hvor det ligger på 5 – 6 ms (se senere). Dette kan tyde på mer sulfidmineralisering i Bh 1. Leirmineraler i sprekkesoner kan også gi IP-effekt, men det er ingenting som tyder på dette ut fra den optiske loggen.

Den tydeligste lavmotstandssonen indikeres ved 74 –83 m med motstandsverdier ned mot 150 – 200 ohmm. Ved 126, 130 og 134 m indikeres soner med verdier ned mot 70 – 80 ohmm. Dette synes meget lavt, og en kan ikke se bort fra at elektrisk ledende mineraler bidrar til de lave verdiene. Figur 29 viser optisk bildelogg fra tre deler av hullet, 79 – 83 m, 124 – 128 m og 129 – 133 m. Ut fra den optiske loggen er det ikke indikert sterkt oppsprukket fjell mellom 74 og 83 m. Forhøyet IP i deler av sonen kan tyde på kismineralisering, men kan trolig ikke forklare hele den brede lavmotstandssonen. Mot bunnen av hullet kan en sprekeansamling ved 125 – 126 m forklare en lavmotstandssone ved 125.5 m. Fra 129 m er det også en økning i sprekefrekvensen, og den optiske loggen viser tydelig mer skifrig og oppsprukket fjell mellom 129 og 133 m.

Ingen av de andre loggene (temperatur, ledningsevne) tyder på vanninnstrømning fra disse sonene. Pumpetesting og strømningsmåling (se senere) ga heller ingen indikasjon på vanninnstrømning fra enkeltsprekker eller soner.



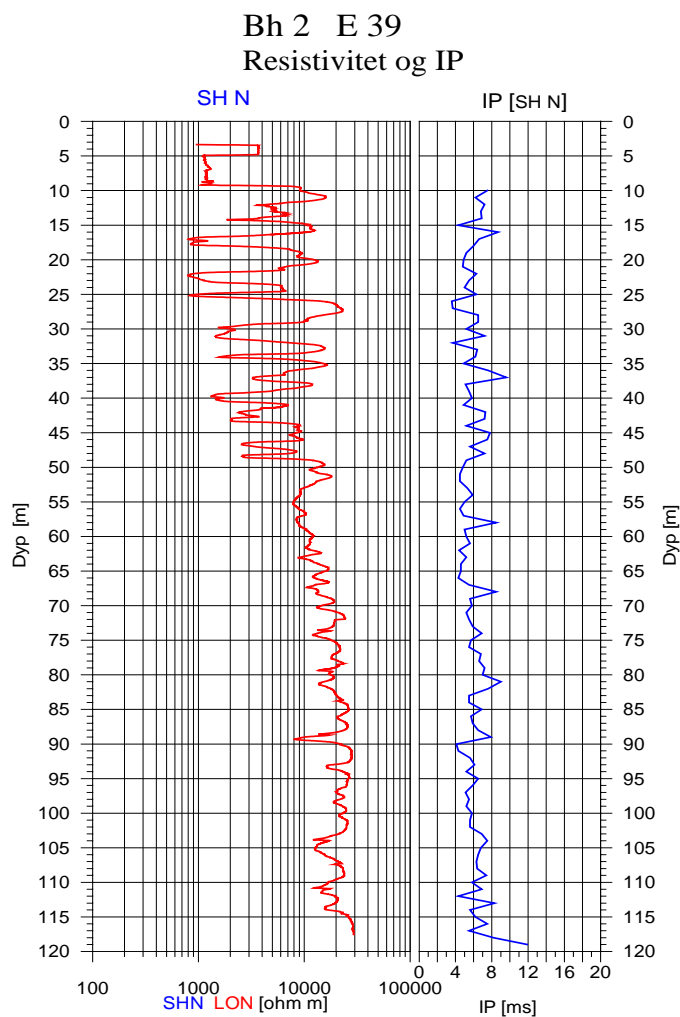
Figur 29. Bh 1 Storsandtunnelen. Optisk bildelogg fra 79 – 83 m, 124 – 128 m og 129 – 133 m.

4.6.2 Bh 2, Viggjatunnelen

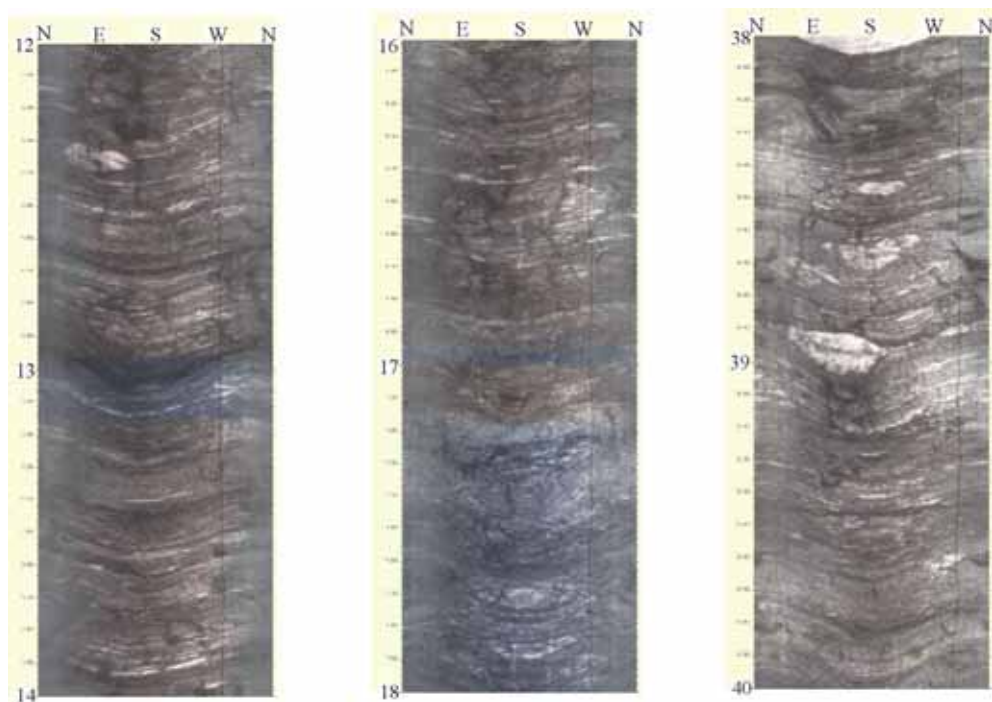
Figur 30 viser resistivitet i fjell og IP for Bh 2, Viggjatunnelen. Som nevnt tidligere (kap. 1.4.2.) har området ned til 50 m svært varierende motstandverdier som samsvarer med forhøyet gammastråling og økt sprekkefrekvens. Hullet er boret mot en svakhetssone indikert ved 2D resistivitetmålinger. Hullet starter trolig i sonen og går ut av den ved ca 50 m. Resistivitetmålingene viser verdier i enkeltsoner ned mot 800 ohmm. Flere av disse sonene korrelerer med økt sprekkefrekvens. I tillegg synes lav motstand å ha sammenheng med små

vertikale sprekker (små sprekker på tvers av foliasjonen). Figur 31 viser bilder fra optv loggen hvor slike sprekker vises. Disse sprekke lar seg ikke digitalisere og kommer derfor ikke med på frekvenshistogrammene. Det samme kan for øvrig sies om andre uregelmessige sprekker som ikke fremkommer som sinusform. Det er derfor viktig å studere OPTV-loggen sammen med frekvenshistogrammene.

Under 50 m er resistiviteten stabilt høy og indikerer god fjellkvalitet. IP målingene viser bare små variasjoner og nivået på IP verdiene ligger på et mye lavere nivå enn i Bh 1, Storsandtunnelen. Det er ingen klare korrelasjoner mellom høy IP og lav motstand.



*Figur 30. Bh 2, Viggjatunnelen.
Resistivitet i fjell og IP.*



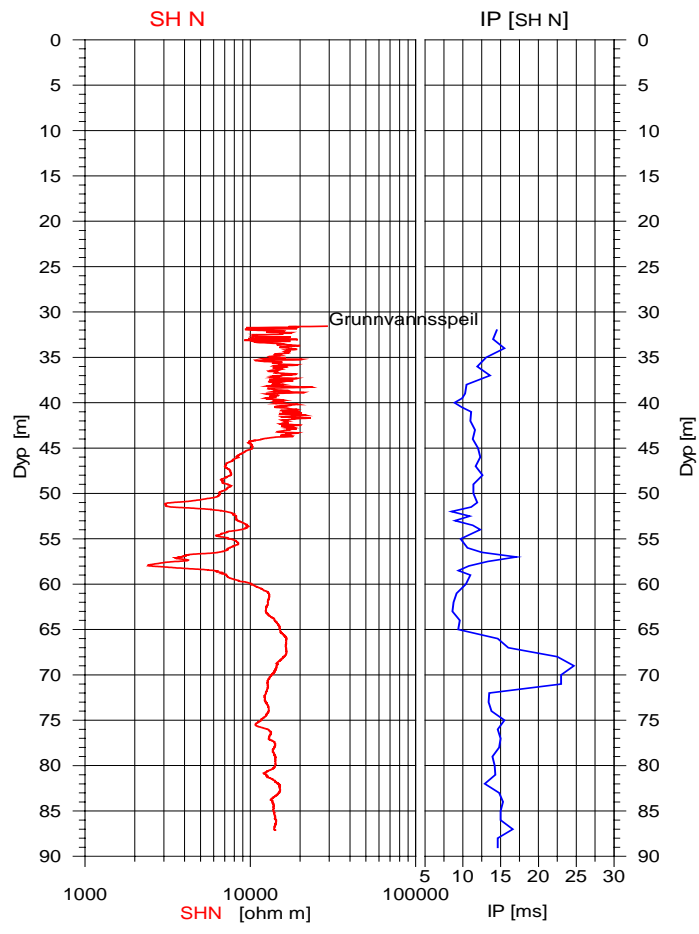
Figur 31. Bh 2 Viggjatunnelen, indikerte uregelmessige vertikale sprekker. Foliasjonssprekk ved 13m.

4.6.3 Bh 3, Mannsfjelltunnelen

Figur 32 viser resistivitet i fjell og IP for Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Grunnvannsspeilet lå på 31 m dyp ved måling, så data for resistivitet og IP eksisterer bare fra dette dypet og nedover. Det generelle nivået for resistiviteten ligger på ca 15000 ohmm hvilket indikerer massivt, lite oppsprukket fjell. Fra 44 til 60 m indikeres et parti med betydelig lavere motstand, helt ned til 2-3000 ohmm. Hullet er boret på skrå mot en indikert lavmotstandssone (2D resistivitet). Dypet til sonen, ca 45 m, stemmer bra med 2D målingene. Avviksmålingene viser at borehullet fra ca 40 m blir steilere og er nesten loddrett i bunnen. Det kan reises tvil om borehullet i det hele tatt skjærer gjennom sonen når en ser på avviket i bunnen. Det er mulig at den noe lavere motstanden mellom 44 og 60 m skyldes at hullet berører sonen før det dreier bort fra sonen igjen. 2D målingene indikerer en loddrett sone, men dette behøver ikke være riktig da metodens oppløsning er for dårlig til å gi korrekt fall på skrå soner. Målingene i borehullet viser forøvrig langt høyere verdier enn bakkemålingene. Borehullsmålingene kartlegger resistiviteten i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, mens 2D målingene kartlegger et mye større volum. Dette kan være en årsak til denne nivåforskjellen. Anisotropi (forskjellig resistivitet i forskjellige retninger) i en lagdelt bergart som dette kan også være en årsak.

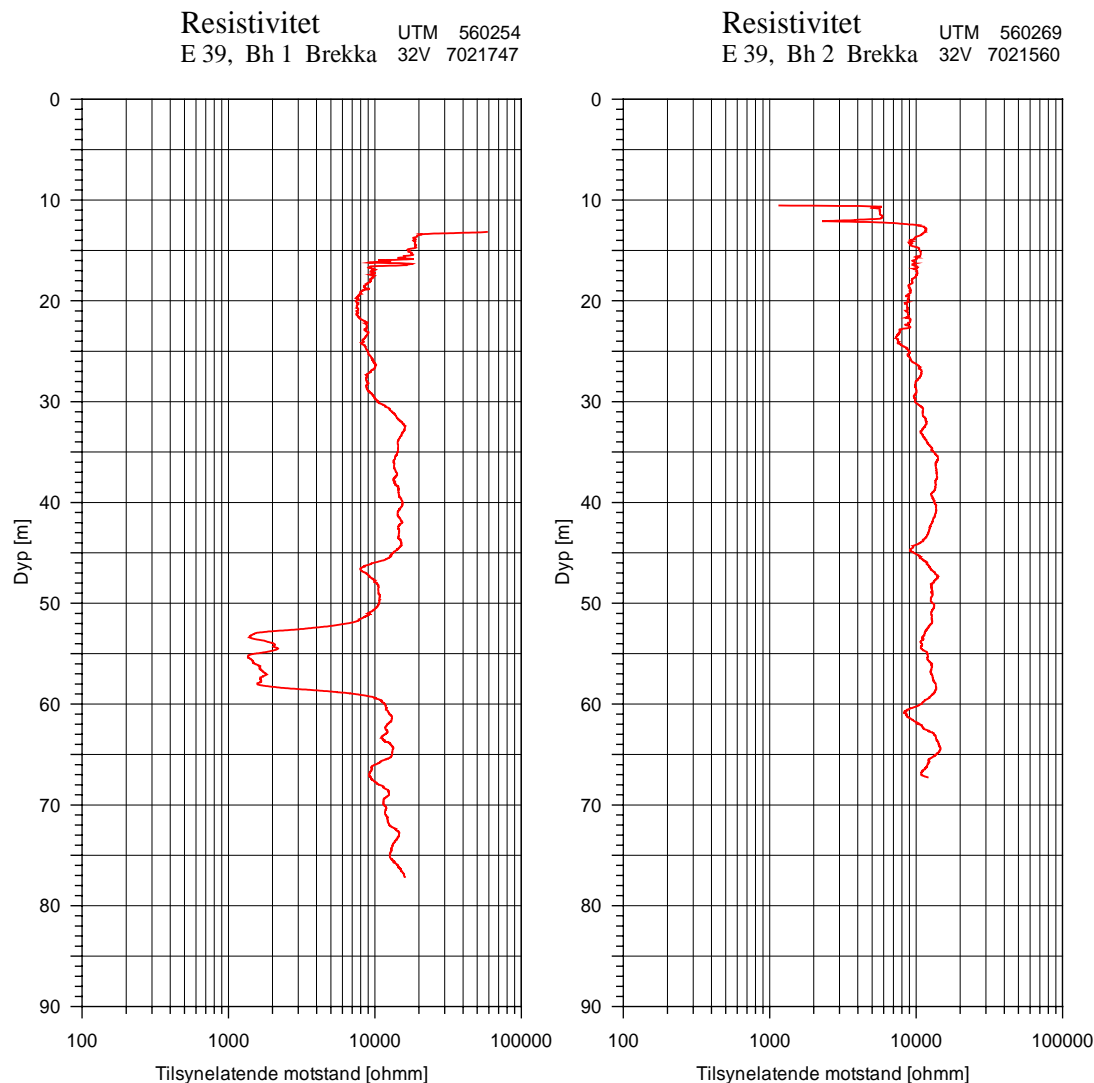
En økning i sprekkefrekvensen ved 50 – 53 m korrelerer bra med lav motstand. IP målingene viser en kraftig IP anomali ved 65 – 72 m uten resistivitetsanomali i det samme området. Det er derfor mest trolig at IP anomalien skyldes impregnasjon av sulfidmineraler. En svakere IP anomali ved 57 m faller sammen med en lavmotstandssone. Det generelle lave IP nivået forøvrig tyder på at den indikerte brede lavmotstandssonen, 44 – 60 m, ikke skyldes sulfidmineralisering.

Bh 3 E 39
Resistivitet og IP



Figur 32. Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Resistivitet i fjell og IP.

4.6.4 Bh B1, Bh B2, Bh B5 Brekka



Figur 33. Bh B1 Brekka (venstre) og Bh B2 Brekka (høyre). Resistivitet i fjell.

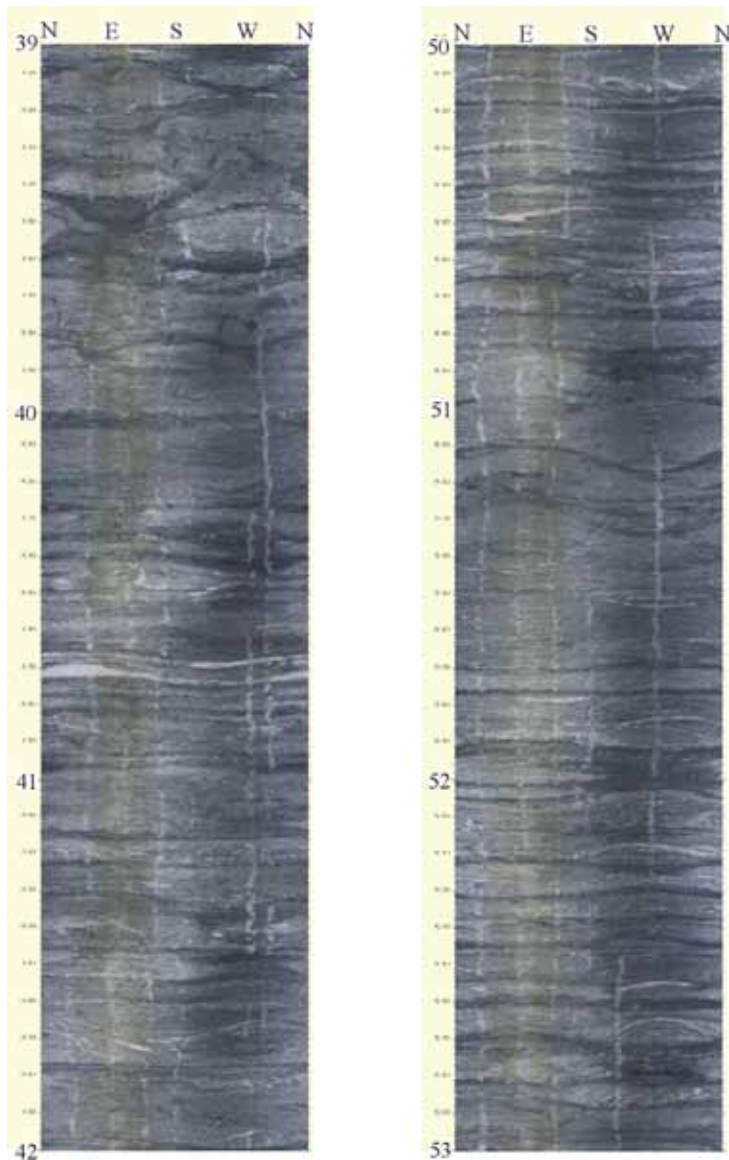
Figur 33 viser resistivitet i fjell for Bh B1 og Bh B2 Brekka. Den generelle motstanden i Bh B1 ligger på 10000 – 12000 ohmm. Fra 17 – 30 m er motstanden tydelig lavere, 7500 – 9000 ohmm. Frekvenshistogrammet viser størst sprekkefrekvens i dette området. Det indikeres en meget tydelig lavmotstandssone ved 52 – 59 m med motstandsverdier ned mot 1400 ohmm. Den optiske loggen viser noe økt oppsprekking i dette området, en tydelig sprekke ved 55 m kan gi nedgang i motstanden.

Figur 34 viser bildelogg fra utvalgte deler av Bh B1 og sprekken med noe dårlig fjell ved 55 m vises tydelig. Bergarten er sterkt skifrig og preges av mange foliasjonssprekker, spesielt fra 19 – 24 meter. Som en kontrast er det også vist logg fra 30 – 35 m som tydelig viser en lagdelt bergart, men med få sprekker.



Figur 34. Bh B1, Brekka. OPTV logg av utvalgte deler av borehullet som viser foliasjonssprekker (venstre), lagdelt bergart (midten) og parti med noe dårlig fjell (høyre).

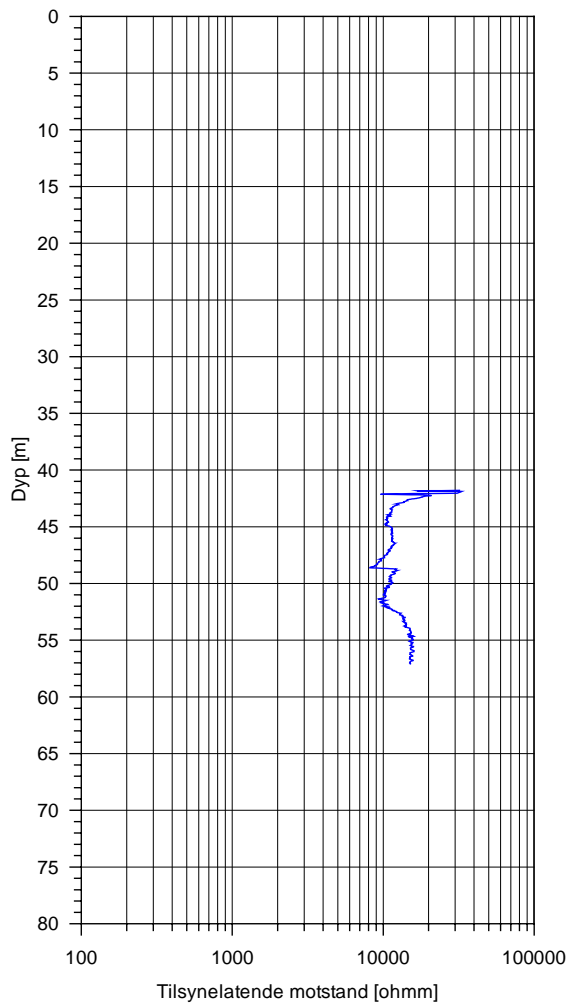
I Bh B2, Brekka, figur 33, ligger motstanden på 8000 – 14000 ohmm. Ingen tydelig lavmotstandssoner indikeres selv om det er en viss variasjon langs hullet. Hullet har mange foliasjonssprekker (sterkt skifrig). Spesielt mellom 30 og 53 m er det observert mange slike. Det ble nevnt innledningsvis at det kan være vanskelig å skille mellom sprekker og skifrihet. I dette hullet har det vært spesielt vanskelig, og det må påpekes at den høye sprekkfrekvensen mellom 30 og 53 m kan være noe for høy. Imidlertid ser fjellet sterkt skifrig ut i dette området uten at det er noe som tyder på vannførende sprekker. Dette ser en også av resistivitetsmålingene som ikke viser spesielt lav motstand i dette området. Om sterk skifrig bergart uten vannførende sprekker har betydning for fjellets stabilitet diskuteres ikke her. Figur 35 viser bildelogg fra sterkt skifrig fjell i Bh B2, Brekka.



Figur 35. Bh B2 Brekka. Bildelogg fra skifrig fjell med foliasjonssprekker. 39 – 42 m og 50 – 53 m.

Figur 36 viser resistivitet i Bh B5 Brekka av den del av hullet som kunne logges (vannfylt del). Motstanden ligger mellom 10000 og 15000 ohmm og ingen klare lavmotstandssoner indikeres. Bergarten var sterkt skifrig også i dette hullet. Mye skitt (borekaks) i den tørre del av hullet raste ned i vannet og ga dårlig sikt med dertil uklare optv opptak.

Resistivitet UTM 560077
E 39, Bh 5 Brekka 32V 7021556



Figur 36. Bh B5 Brekka. Resistivitet i fjell.

4.7 Strømningsmåling og pumping

Strømningsmåling med pumping ble utført i tre brønner, Bh 1, Bh 2 og Bh B1, Brekka. Strømningsmålingen ble utført som kontinuerlig måling ned og opp med en loggehastighet på 5 m/min. Pumpa ble da plassert noen meter under vannspeilet. Pumperaten bør tilstrebtes å være lik brønnens kapasitet for å unngå avsenkning av vannspeilet. Dette kan være vanskelig med brønner som gir lite vann. Under pumping blir utpumpet vannmengde (l/time) og vannivået i hullet målt slik at en har en viss kontroll med hva brønnen har gitt under pumpeperioden. Strømningsmålingen vil kunne lokalisere vanninnstrømninger i hullet mens pumping foregår. Hvis en vet brønnens kapasitet kan en angi strømningsmengde fra hver enkelt vannførende sone (sprekk), se tekstbilag 3.

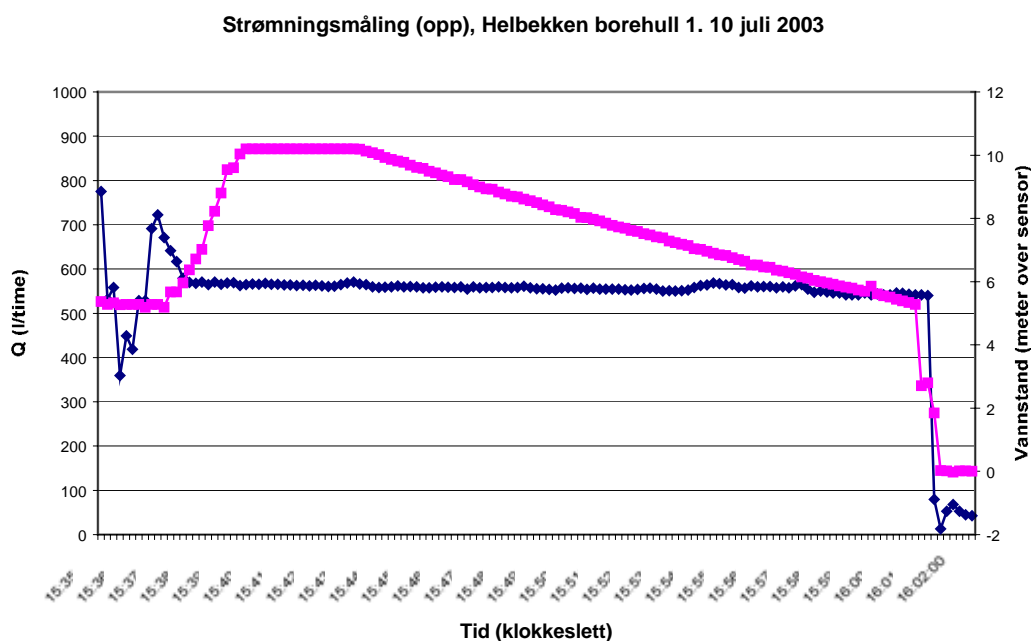
Borehullene i Brekka var tidligere undersøkt med vanntapsmålinger av Statens Vegvesen (Statens vegvesen 2002). Disse målingene konkluderte med at det er lite åpne sprekker i de hullene som er boret, og vanntapet er lite. Kun Bh B1 hadde et lite vanntap, 1.6 l/min.

Jordforsk har gjort hydrogeologiske undersøkelser over tunneltraseen ved Brekka og vurdert vannbalansen ved tunneldrivingen ut fra antatte innlekkasjer i tunnelen. For store lekkasjer kan føre til senket grunnvannsstand og medføre setninger i løsmassene over tunnelen (Snilsberg 2000).

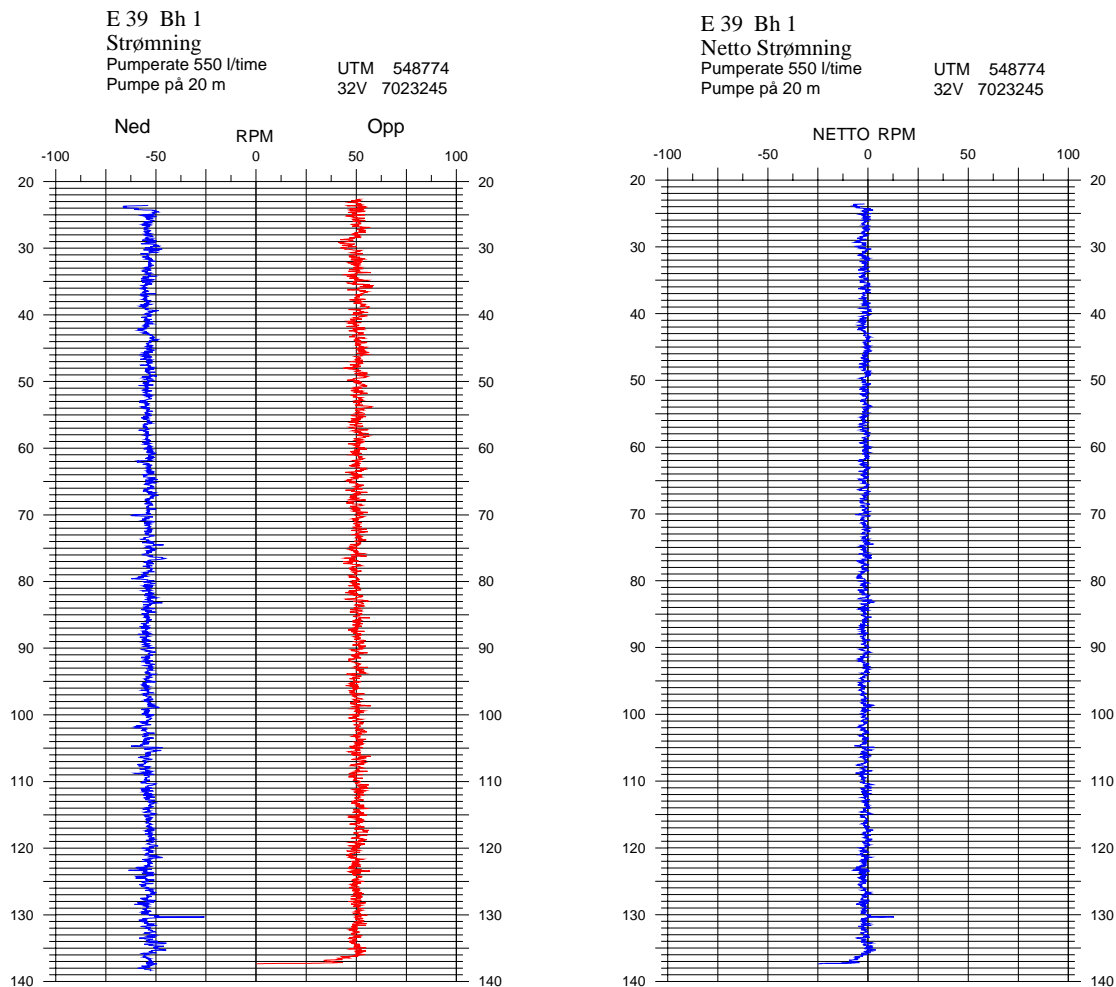
4.7.1 Bh 1, Storsandtunnelen

I Bh 1, Storsandtunnelen var vannspeilet før pumping på 1.5 m. Det var ingen indikasjoner på vanninnstrømning i hullet fra tidligere utført logging. Brønnens kapasitet var forventet liten og pumperaten måtte settes til et minimum for ikke å senke vannspeilet for mye. Liten pumpe rate vil gi liten strømning fra eventuelle soner i fjellet. Målesonden er veldig følsom, men erfaring har vist at data er beheftet med noe støy. Svært små innstrømninger kan dermed ikke bli oppdaget, men da støyen er regelmessig kan en se endringer i nivået til sondens turtall målt i runder pr. minutt (rpm).

Pumpa ble plassert på 20 m og det ble pumpet med en konstant rate. Figur 37 viser pumpemengde og vannstand i Bh 1 under strømningsmåling oppover i borehullet. Pumperaten ligger på ca 560 l/time, mens vannivået synker med ca 5 m. Ut fra dette kunne en regnet ut en teoretisk kapasitet når en vet volumet av utpumpet mengde og volumet av avsenket vannivå. Dette vil imidlertid ikke bli riktig kapasitet da det er pumpet for kort tid. Kurven for vannivå vil etter hvert flate ut. Det som er klart er at kapasiteten ligger noe under 560 l/time (400 – 500 l/time, som er vanlig for en fjellbrønn i grønnstein/amfibolitt). Hensikten med strømningsmålingen var først og fremst å kartlegge om vannførende soner var tilstede i brønnen.



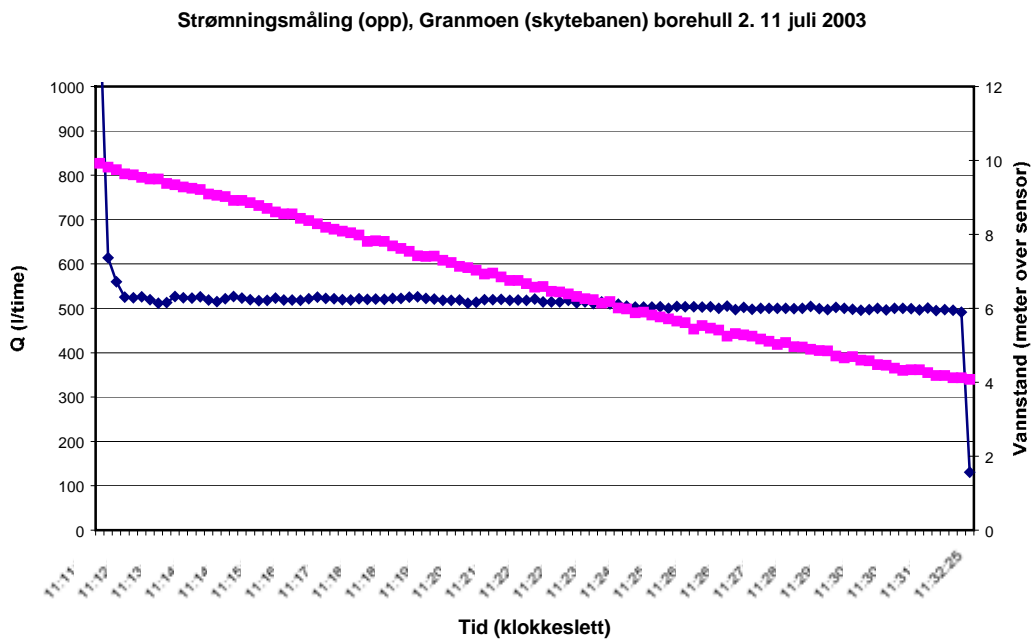
Figur 37. Pumpedata for Bh 1, Storsandtunnelen. Pumpemengde (blå) og vannstand (rød).



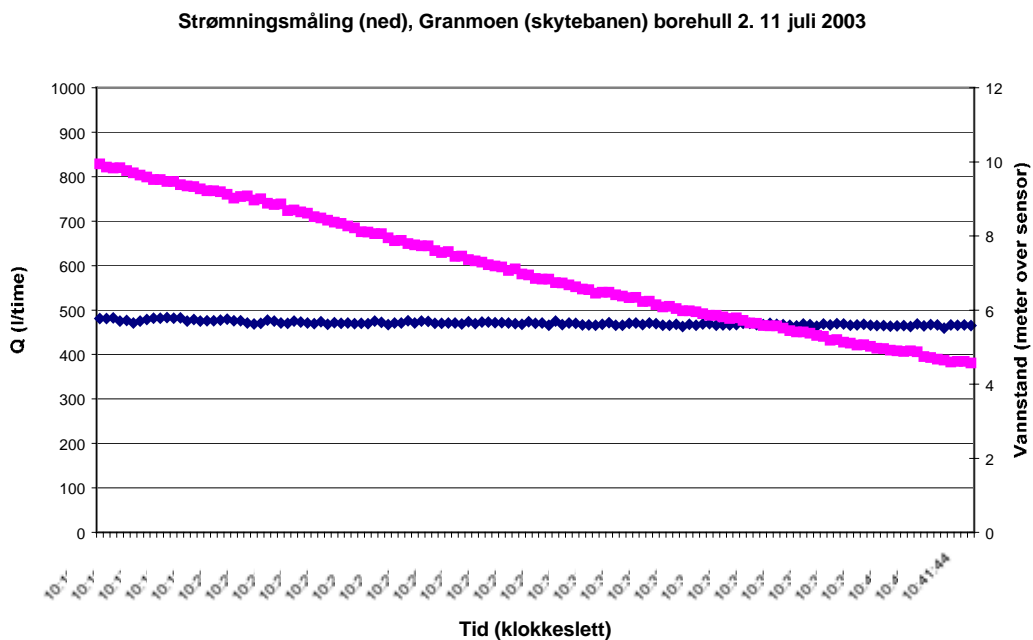
Figur 38. Strømningsmåling Bh 1, Storsandtunnelen. Logging ned og opp (til venstre), netto strømning (rpm) til høyre.

Figur 38 viser resultatene fra strømningsmålingene i Bh 1, Storsandtunnelen. Turtallet (rpm) er konstant langs hele hullet. Ingen endringer i turtallet tyder på at det ikke finnes markerte enkeltsoner (sprekker) med vanninnstrømning. Turtallet på måleren er litt større (3 – 4 rpm) nedover i forhold til logging oppover. Ved jevnt tilsig av vann langs hele hullet ville en forventet en svak, gradvis nedgang i turtallet nedover hullet. Dette skjer ikke og oppover er turtallet også på et konstant nivå. Et utslag ved 130 m nedover er støy. En svak uregelmessighet ved ca 30 m (opp og ned) er trolig ikke reell strømning da nivået på turtallet er det samme over og under 30 m. Ujevnheter i borehullsveggen kan føre til små endringer i rotasjonshastighet. Netto rpm (bidraget fra sondens hastighet fratrukket) er konstant (tilnærmet 0) langs hele hullet. Konklusjonen blir at det ikke er påvist vannførende soner (sprekker) i borehullet.

4.7.2 Bh 2, Viggjatunnelen



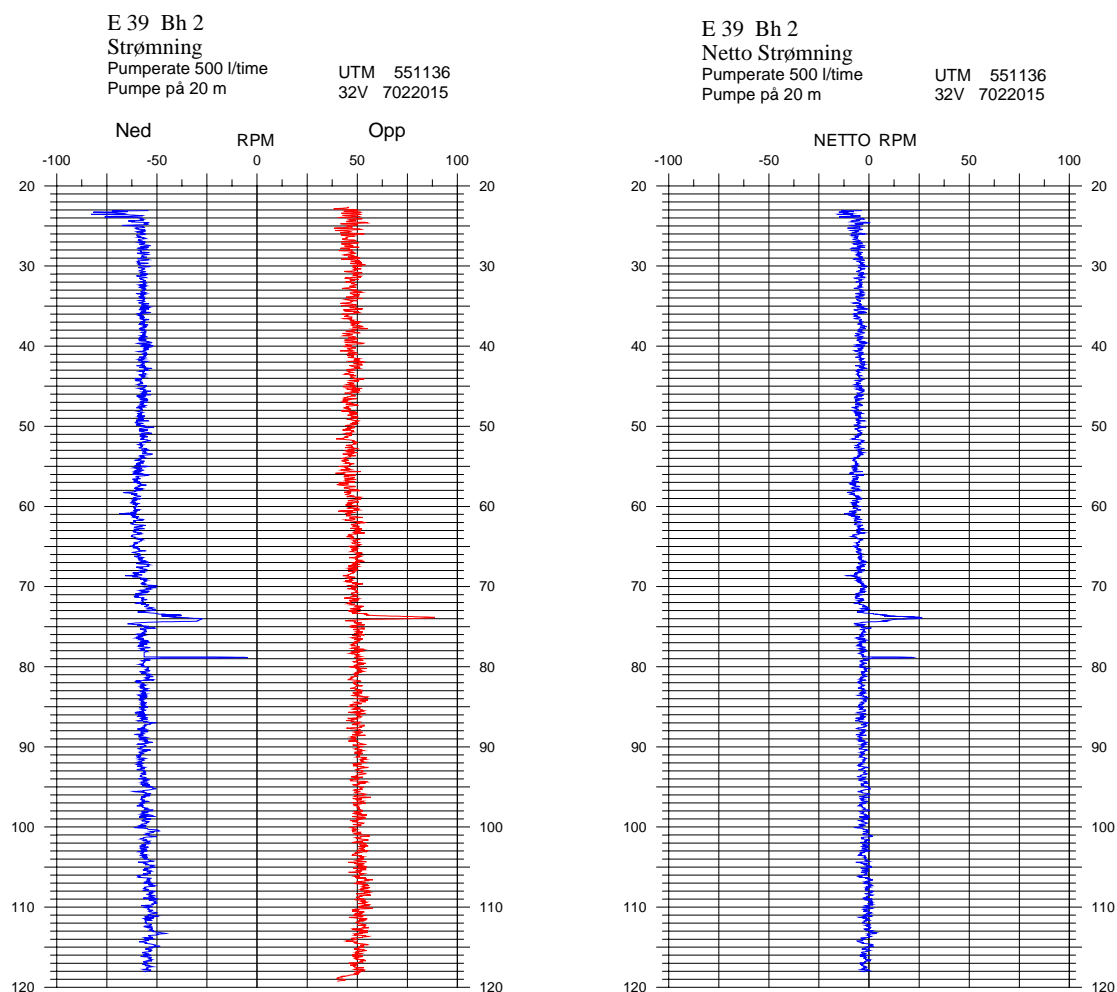
Figur 39. Pumpedata Bh 2, Viggjatunnelen. Pumpemengde (blå) og vannstand (rød). Logging opp.



Figur 40. Pumpedata Bh 2, Viggjatunnelen. Pumpemengde (blå) og vannstand (rød). Logging ned.

Figur 39 og 40 viser pumpedata fra Bh 2, Viggjatunnelen. Det er tatt med data fra både logging ned og logging opp som viser tilnærmet like forhold. Pumpemengden er ca 500 l/time og vannivået har sunket ca 5 m i løpet av pumpeperioden. Vannivået synker lineært de første 15 minuttene. Deretter begynner kurven å flate ut, og brønnens kapasitet kan anslås til 400 – 500 l/time.

Figur 41 viser resultatene fra strømningsmålingene i Bh 2, Viggjatunnelen. Grunnvannspeilet var på ca 2 m. Pumpa ble plassert på 20 m dyp og det ble gjort kontinuerlig strømningsmåling med loggehastighet 5 m/min. Resultatene viser ingen tydelige endringer i netto rotasjonshastighet som kan indikere vannførende soner (sprekker). Et tydelig utslag ved 74 m dyp skyldes neppe innstrømning i hullet. En svak nedgang i rpm (ned) fra ca 60 m til bunnen av hullet kan tyde på at mesteparten av vannet kommer fra området under 60 m. Dette kan også observeres på netto rotasjonstill hvor det er tilnærmet null strømning fra bunnen av hullet opp til ca 100 m. Fra 100 m indikeres en svak strømning oppover som øker ytterligere fra ca 70 m. Fra ca 60 m er strømmingen konstant. Netto rotasjon over 60 m er ca 5 rpm. Dette tilsvarer en strømningshastighet på 0.5 m/min (50 rpm ~ 5 m/min). I et hull med diameter 14 cm (1 m = 15.4 liter) tilsvarer dette en strømningsmengde på 7.7 l/min eller 462 l/time, hvilket stemmer godt med utpumpet vannmengde.

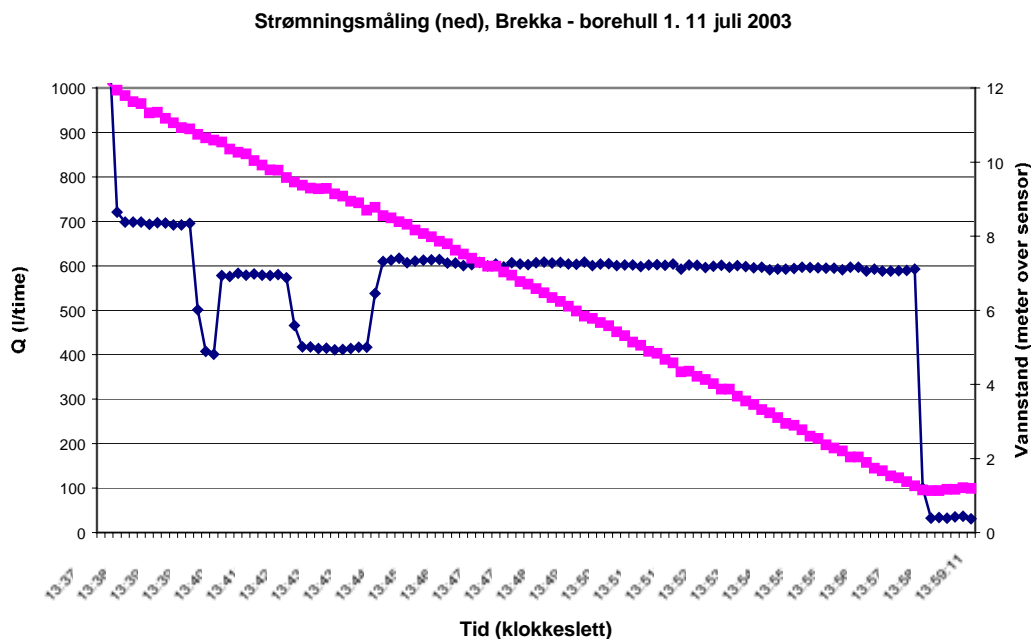


Figur 41. Strømningsmåling Bh 2, Viggjatunnelen. Logging ned og opp (til venstre), netto strømning (rpm) til høyre.

4.7.3 Bh B1, Brekka

Figur 42 viser pumpedata for Bh B1, Brekka. Pumperaten ble etter en tid stabilisert på ca 600 l/time. Vannspeilet var på 14 m og pumpe ble plassert på 30 m dyp. Strømningsmåling ble fortatt i perioden med konstant pumpe rate. Vannspeilet ble kraftig senket under pumpingen, og ved logging oppover begynte pumpe å ta inn luft (slurpepumping). Vannspeilet ble senket omtrent dobbelt så mye som i Bh 1 og Bh 2, og brønnens kapasitet synes å være betydelig mindre enn 600 l/time.

Figur 43 viser resultatene fra strømningsmålingen. Data ser ut til å være beheftet med noe mer støy (særlig nedover) enn i de andre brønnene. Dette skyldes trolig at brønnen er betydelig slakere (55 °). Sonden glir ikke like lett nedover og små variasjoner i hastigheten vil påvirke turtallet til propellen. Ingen vannførende sprekker indikeres, og netto rpm viser tilnærmet null strømming. Helt tørr er ikke brønnen, men tilsiget er for lite til at det genererer sterk nok strømming oppover i borehullet til at den kan registreres.



Figur 42. Pumpedata Bh B1, Brekka. Pumpemengde (blå) og vannstand (rød). Logging ned.

E 39 Bh 1, Brekka

Strømning

Pumperate 600 l/time

Pumpe på 30 m

UTM 560254

32V 7021747

E 39 Bh , Brekka

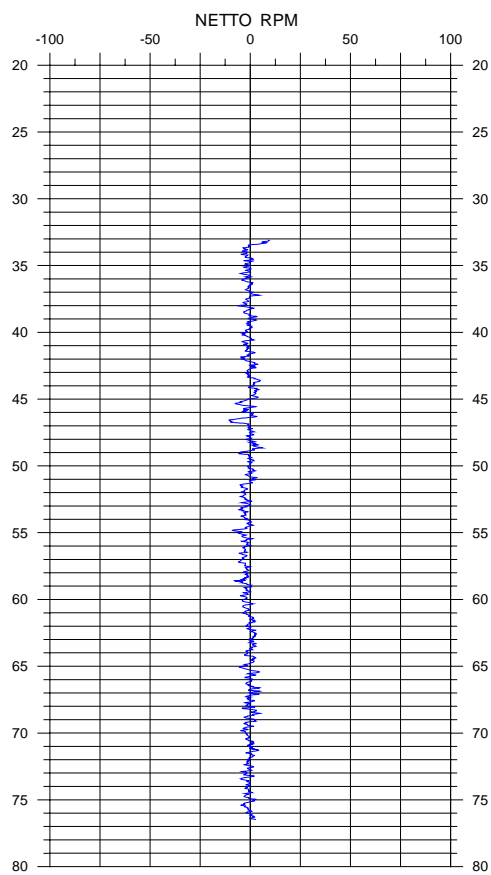
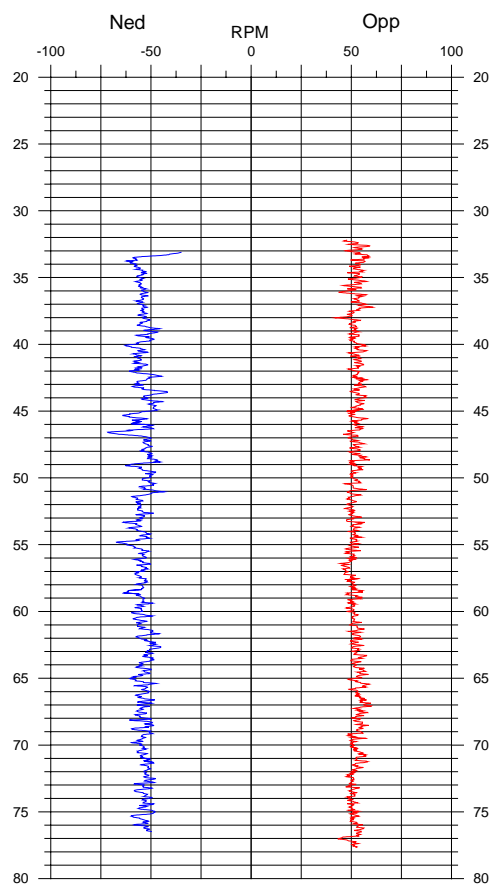
Netto Strømning

Pumperate 600 l/time

Pumpe på 30 m

UTM 560254

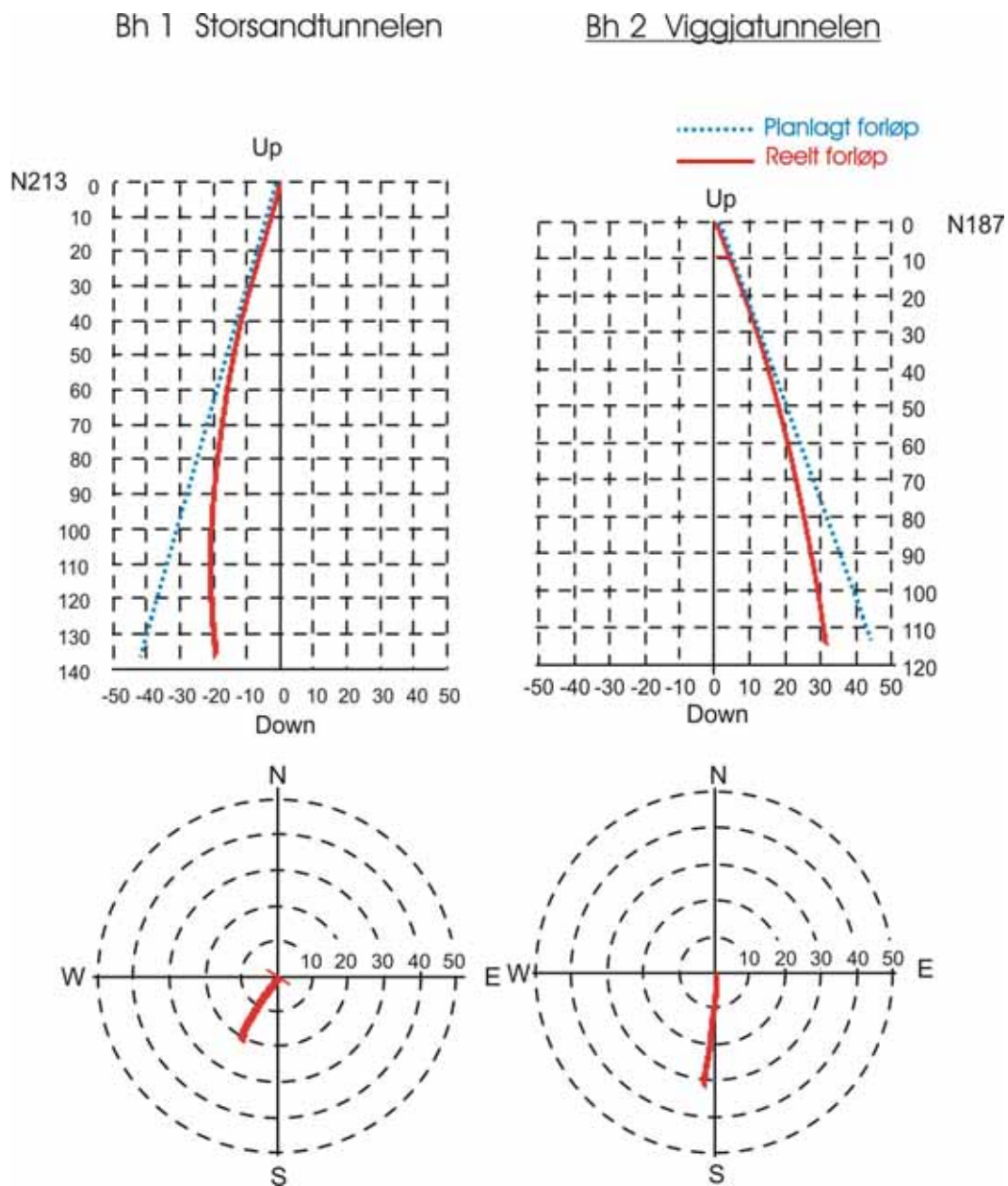
32V 7021747



Figur 43. Strømningmåling Bh B1, Brekka. Logging ned og opp (til venstre), netto strømning (rpm) til høyre.

4.8 Borehullsforløp

Borehullsforløpet blir bestemt ved OPTV målingene. Vertikal- og horisontalprojeksjon av borehullet beregnes og plottes ut. I forhold til planlagt forløp kan avviket beregnes.



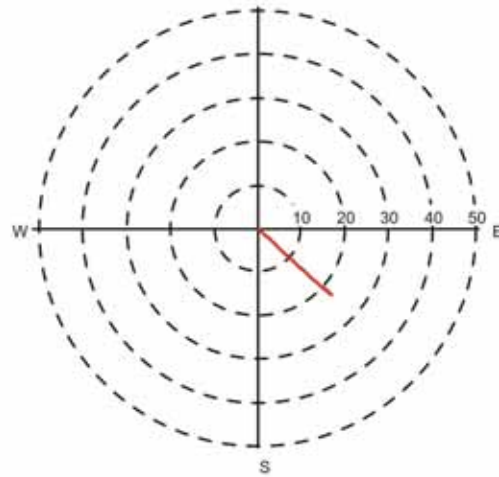
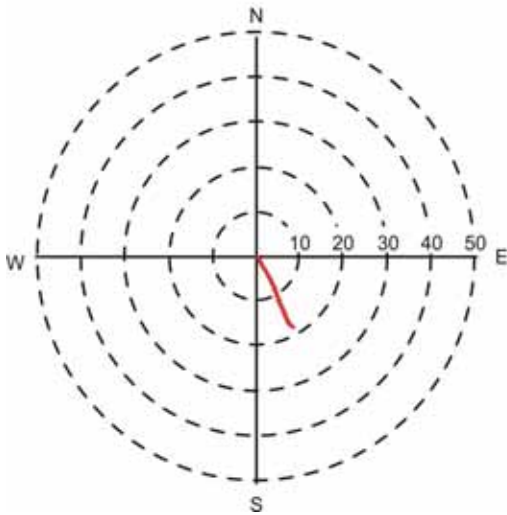
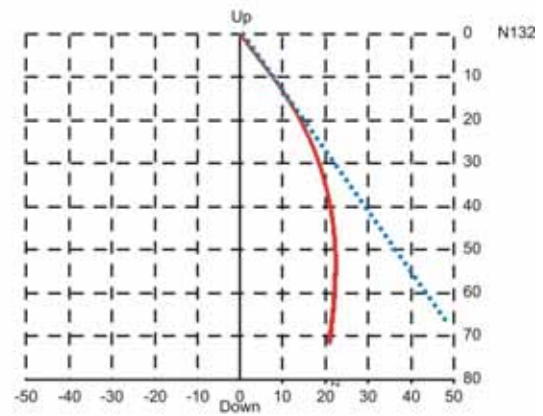
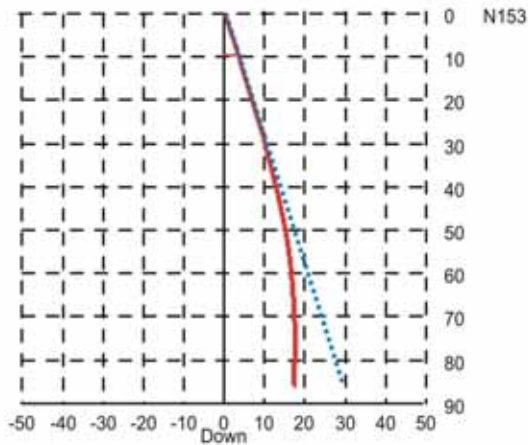
Figur 44. Borehullsforløp Bh1 Storsandtunnelen (venstre) og Bh 2 Viggjatunnelen (høyre).

Figur 44 viser planlagt og reelt borehullsforløp til Bh 1 Storsandtunnelen og Bh 2 Viggjatunnelen. Typisk for begge hull er at de blir steilere mot bunnen. Dette skyldes bergartens lagdelig og fallvinkel (se senere). Avviket i bunn er ca 20 m for Bh 1 og ca 14 m for Bh 2. Det er lite avvik i retning.

Bh 3 Mannsfjelltunnelen

Bh B1 Brekka

..... Planlagt forløp
 — Reelt forløp

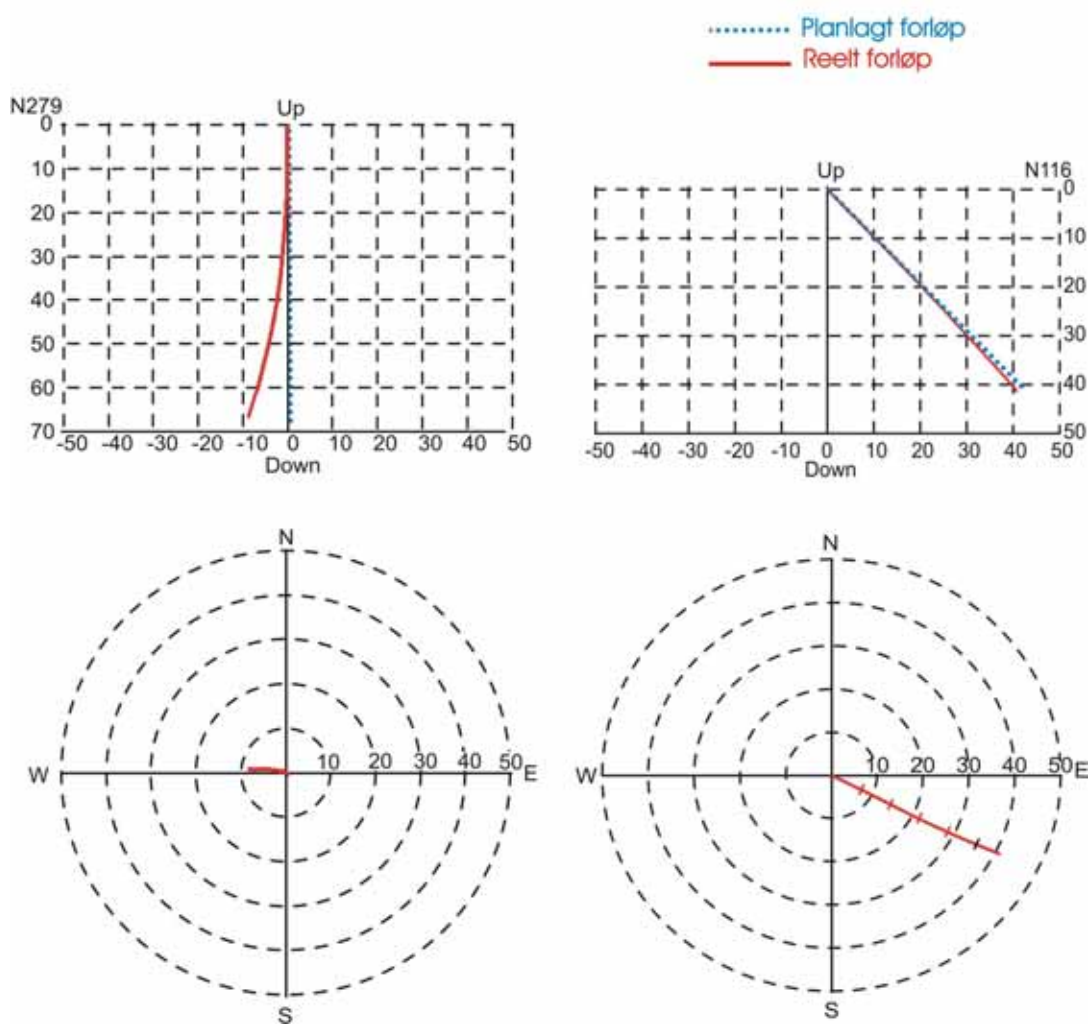


Figur 45. Borehullsforløp Bh 3 Mannsfjelltunnelen (venstre) og Bh B1 Brekka (høyre).

Figur 45 viser borehullsforløp for Bh 3 Mannsfjelltunnelen og Bh B1 Brekka. Begge hullene blir steilere mot bunnen, Bh B1 faller til og med i motsatt retning helt i bunnen. Avviket fra planlagt forløp i bunnen er ca 12 m i Bh 3 og nesten 30 m i Bh B1. Det er lite avvik i retning.

Bh B2 Brekka

Bh B5 Brekka

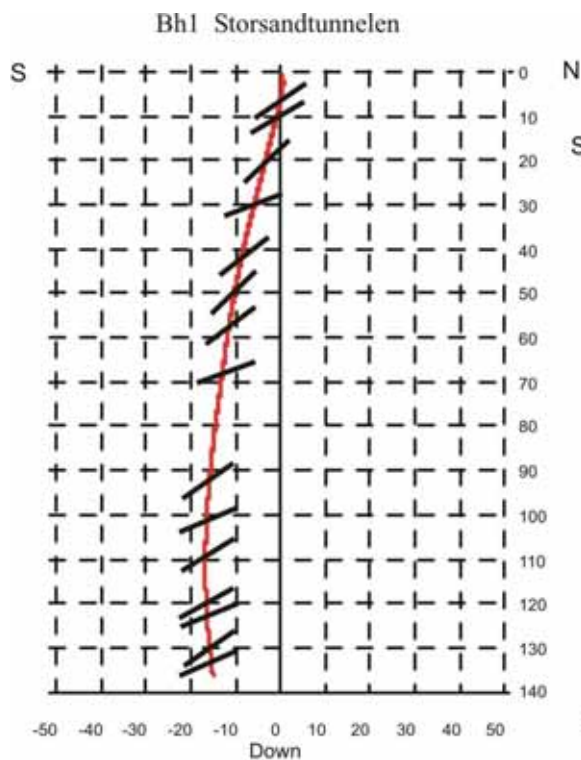


Figur 46. Borehullsforløp Bh B2 Brekka (venstre) og Bh B5 Brekka (høyre).

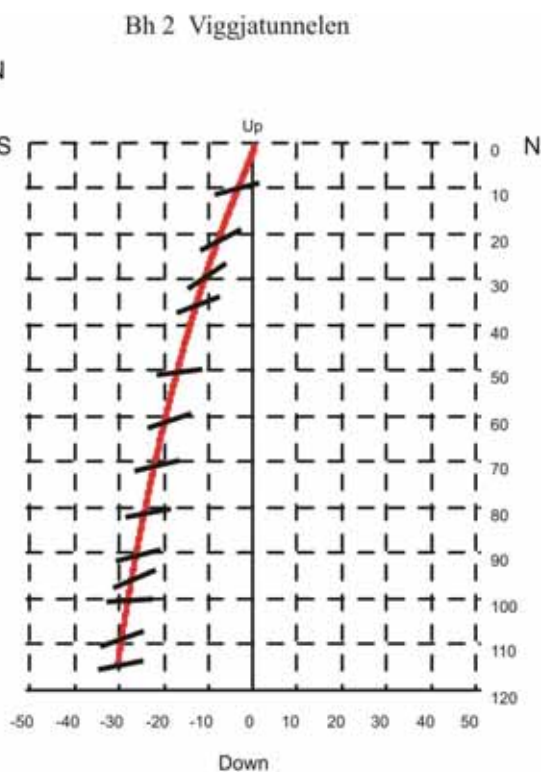
Figur 46 viser borehullsforløp for Bh B2 og Bh B5 Brekka. Loddhullet Bh B2 har et avvik på 10 m i bunnen. Bh B5 har svært lite avvik og følger nesten planlagt forløp.

4.8.1 Borehullsavvik og lagdeling

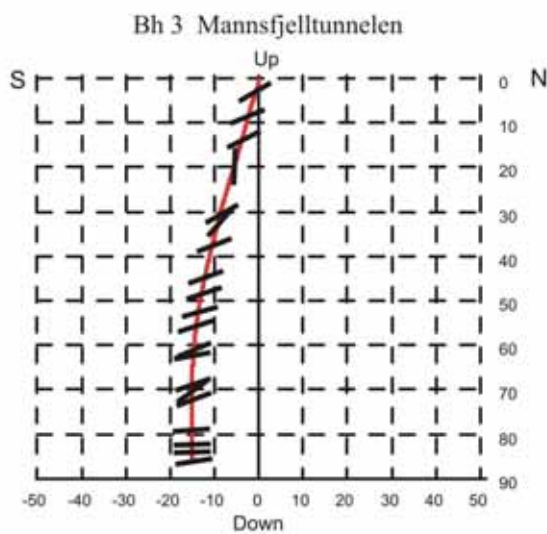
I fem borehull fra E-39 traseen er borehullsavviket undersøkt nærmere i forhold til bergartenes foliasjon og hvordan borehullet er satt på i forhold til foliasjonen. I alle hull, unntatt Bh B5 Brekka, er det avvik fra planlagt borehullsforløp. På figur 47 er vertikalprojeksjonen av hullene vist med inntegnet fallvinkel til bergarten



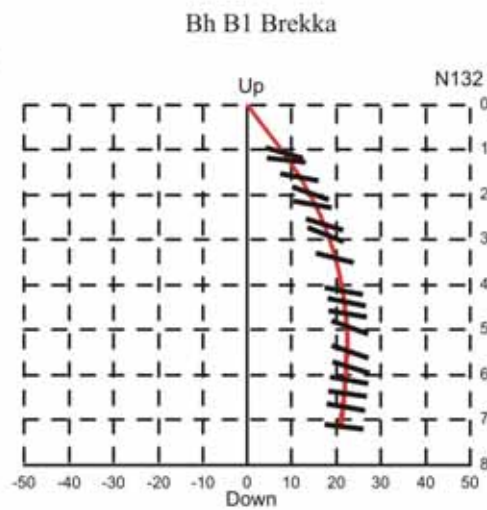
Bh 1. Vertikalprosjeksjon N - S med lagdelingens fallvinkel. Gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel er N 89 32.



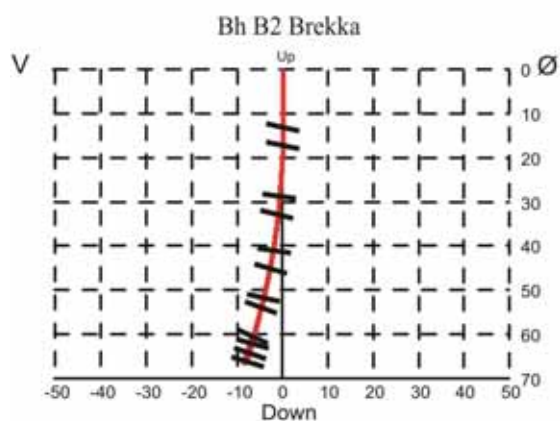
Bh 2. Vertikalprosjeksjon N - S med lagdelingens fallvinkel. Gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel er N 72 13.



Bh 3. Vertikalprosjeksjon N-S med lagdelingens fallvinkel. Gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel er N 80 19.



Bh B1 Brekka. Vertikalprosjeksjon i hullretning N132. Gjennomsnittlig strøk og fall N026 11.



Bh B2 Brekka.. Gjennomsnittlig strøk/fall N018 15

Figur 47. Vertikalsnitt av Bh1, Bh 2, Bh 3, Bh B1 Brekka og Bh B2 Brekka med bergartenes fallvinkel inntegnet.

Ved hjelp av prosesseringsprogrammet til Optisk televiewer er bergartenes lagdeling beregnet med jevne mellomrom langs hele hullengden. I alle hull er det en klar tendens til at hullene stiller seg inn loddrett på lagdelingen. I Bh B2 Brekka (loddhull) faller bergarten mot borehullet. Bh 1, Bh 2, Bh 3 og Bh B1Brekka er alle satt ut med et fall på 20 – 25° fra vertikalen. Bergartene faller i samme retning som borehullets fall, men med en noe større vinkel. Når borehullene tilstreber seg en vinkel loddrett lagdelingen, fører dette til at hullet "retter seg opp" og blir tilnærmet loddrett i bunnen.

At borehull vil stille seg inn vinkelrett bergartenes lagdeling er kjent tidligere. Med de nye målingene med optisk televiewer er en i stand til å verifisere dette meget tydelig. I områder der en er kjent med skifrige bergarter må en derfor regne med noe avvik, og på best mulig måte ta hensyn til dette under boringen.

5. DISKUSJON

I det følgende blir borehullsavviket og resultatene fra resistivitetsmålingene, IP-målingene og målingene i borehullene diskutert.

5.1 Borehullsavvik.

Resistivetsdata målt fra bakken stemmer ikke helt med det en finner i borehullene. Dette gjelder spesielt borehull 3 over Mannsfjelltunnelen. Avviksmålingen av dette hullet viser at boringen bøyer av, og hullet når ikke så langt mot sørøst som planlagt. Borehullet starter ved koordinat 520 og strekker seg horisontalt 18 meter mot øst (figur 45). Både resistiviteten (figur 4) og seismikken (figur 9) indikerer svakhetssonen er sentrert rundt koordinat 540 og at sonen kan være ca 10 meter bred. Dersom sonen faller slakt mot sørøst, har ikke dette borehullet kommet inn i den sonen som skulle undersøkes. Det er derfor uklart om målingene i borehullet gir informasjon om selve sonen. Sammenstilling av borehullenes planlagte og reelle forløp (figurene 44 og 45) viser at de fleste hullene avviker fra plan og at dette kan være betydelig (ca 30 meter horisontalt for Bh B1 i Brekka). Avviksmålingene og analyse av bergartenes fall (figur 47) viser at alle borehullene tenderer til å skjære lagdelingen loddrett. Ved fremtidige brønnboringer anbefales derfor å benytte styring ved boreoperasjonen.

5.2 Resistivitet

Resistivetsmålingene langs de fire profilene som ble målt gir respons på de aller fleste sonene som er indikert ved den innledende ingeniørgeologiske kartleggingen. Et fåtall kartlagte soner gir ikke respons, spesielt over Mannsfjelltunnelen (kartbilag –04). Ut fra terrengformasjonene vurderes disse soneangivelsene å være usikre. Over Viggjatunnelen er det to geologisk kartlagte soner som svakt indikeres ved resistivetsmålingene (ca koordinat 1570 og 1960, figur 2), men som ikke er angitt på tolkingskartet (kartbilag –03). Det gjenstår å se om dette er soner som vil ha innvirkning på tunneldrivingen. De øvrige geologisk kartlagte soner gir klare responser, hvorav en synes å være noe forskjøvet (koordinat 600, kartbilag –03). Langs dette profilet har resistiviteten indikert 3 soner som ikke har kommet med ved den geologiske kartleggingen (ca koordinatene 370, 1170 og 1340, kartbilag –03). Over Storsandtunnelen har resistiviteten indikert

alle de geologisk kartlagte sonene, og i tillegg indikert et parti med lavere resistivitet. Ut fra dette kan en konkludere med at resistiviteten egner seg godt til påvisning av svakhetssoner under de gitte geologiske betingelser. Om metoden kan bidra til karakterisering av sonene og derved si noe om problemer ved tunneldrivingen, må vurderes når alle data fra tunnelarbeidene foreligger.

En sammenligning av de forskjellige metodene som ble benyttet viser godt samsvar. De tre refraksjonsseismiske profilene bekrefter resistivitetsanomaliene og sannsynliggjøre tilstedeværelse av svakhetssoner. Det er også et godt samsvar mellom resistivitet og VLF (kartbilagene –02 og –03). Ved 10 soner er det direkte sammenfall. Resistivitet indikerer 4 soner som ikke angis ved VLF, og ved 3 av disse tilfellene er VLF-data skjermet av effekten fra kraftlinjer (figur 6). Flere VLF-anomalier synes å være knyttet til overflatenære områder med lav resistivitet (myrområder). Som ved refraksjonsseismikk kan resistivitet indikere sonenes bredde, men i tillegg gi informasjon om rekkevidde mot dypet. VLF kan påvise soner, men sier i praksis ikke noe om bredde, fall og dybderekkevidde. Resistivitet har tidligere vist at metoden kan bidra til beskrivelse av vann- og stabilitetsproblemer (Lunnertunnelen, Rønning 2003).

Magnetiske målinger har ikke bidratt til påvisning av svakhetssoner. Magnetfeltet er meget stabilt langs de to målte profilene og dette indikerer lavt magnetittinnhold. Mulighetene for påvisning av vannførende svakhetssoner ved omvandling av magnetitt til mindre magnetiske mineral faller da bort.

Ved avslutningen av denne rapporten var Viggjatunnelen nesten drevet ferdig (ca 300 m gjenstår i området profilkoordinat 1450 – 1750). Erfaringene fra tunneldrivingen tilsier langt mer komplisert tektonikk enn hva en var klar over på forhånd. Både i området 1150 – 1300 og 1850 – 2100 (ca. profilkoordinater) er det påtruffet skyvesoner som faller 40 – 60 ° mot sør (Stefanussen, personlig meddelelse). Disse skyvesonene kan være de samme som har gitt indikasjoner på resistiviteten ved profilkoordinatene 960 og 1650. Dersom dette er riktig, er evnen resistivitetsmåling har til å kartlegge sonenes fall sterkt begrenset. De tektoniske forholdene i området vil bli studert nærmere i et Dr.gradsstudium som er under oppstartning (Guri Venvik NGU).

5.3 Indusert polarisasjon

Det er tidligere hevdet at indusert polarisasjon, IP, kan bidra til å skille leirfylte sprekkesoner fra rene vannfylte soner (Pedersen og Veslegaard 1985). Det var derfor av interesse å teste denne metoden også ved dette prosjektet og det ble målt IP på samtlige profiler.

På samtlige profil viser målingene store variasjoner i IP-effekten, uten at det kan påvises noe bestemt sammenheng mellom resistivitet og IP. De fleste steder der det er påvist soner med lav resistivitet viser IP-målingene et ulikt mønster og i liten grad så markerte soner som resistivitetsmålingene. Noen soner gir lav resistivitet og høy IP, mens det andre steder er motsatt. Dette samsvarer med det som tidligere er erfart i prosjektet ved Asker - Jong (Dalsegg m. fl. 2003) og Lunner (Rønning og Dalsegg 2001). Ut fra dette er erfaringene så langt at IP-målinger ikke gir noe bidrag til karakterisering av sprekkesoner.

5.4 Borehullslogging

I figurene 48, 49, 50, 51 og 52 er alle logger for de undersøkte brønnene sammenstilt. Generelt kan sies at det ikke er indikert svakhetssoner av alvorlig karakter verken med hensyn til stabilitet eller vanninnstrømning. Tidligere utførte vanntapsmålinger i brønnene ved Brekka viste kun lite vanntap i en brønn.

Optisk televiewer gir som vanlig viktig opplysninger om sprekkers strøk, fall, frekvens og ellers geologisk informasjon som kan ha interesse (bergartsgrenser, bånd, ganger). Bergarten langs tunneltraseen er grønnstein/grønnskifer/biotittskifer, og spesielt grønnsteinen over Brekkatunnelen og Mannsfjelltunnelen er sterkt skifrig. De fleste sprekkeene som er observert og digitalisert er foliasjonssprekker, sprekker parallelt med skifriheten. I mange tilfeller har det vært vanskelig å skille mellom sprekker og skifrihet. Det kan derfor være en overrepresentasjon av "skifrihetssprekker" i alle hull. Hvordan skifriheten påvirker fjellets stabilitet er et tema som ikke blir diskutert her. Det er imidlertid ingen sammenheng mellom sterk skifrihet og vanngiverevne.

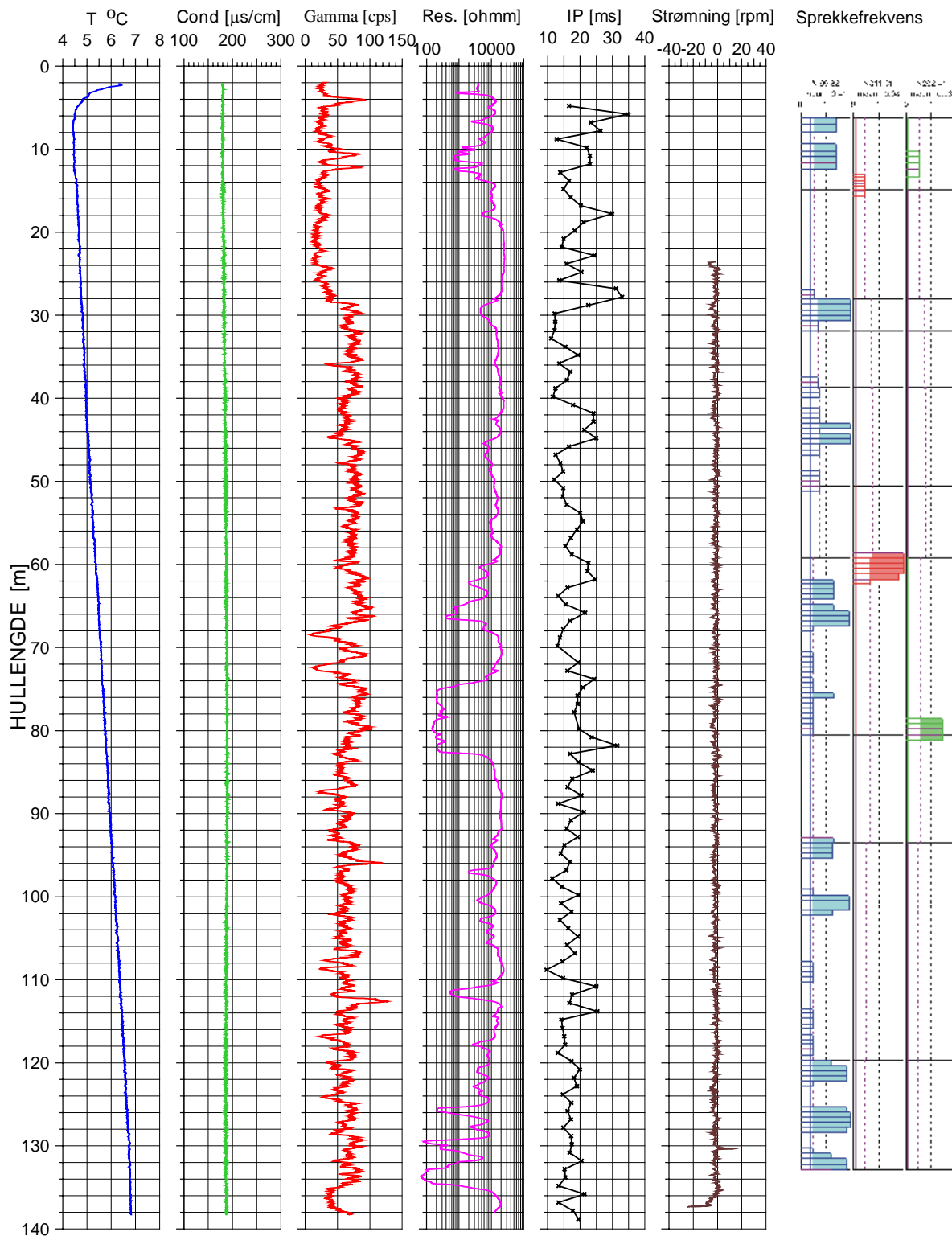
Vannets temperatur og elektriske ledningsevne indikerer ingen vannførende sprekker/soner i noen av hullene. Gammastrålingen avspeiler geologien. I Bh 1, Storsandtunnelen og Bh 2 Viggjatunnelen er bergarten en biotittskifer med tydelig høyere gammastråling enn i de andre hullene hvor bergarten er grønnstein/grønnskifer. I Bh 2 Viggjatunnelen er gammastrålingen tydelig høyere og varierer mer i de øverste 50 m. Dette skyldes trolig at de øverste 50 m av borehullet går gjennom en svakhetsone. Dette kan skyldes mer innhold av K^{40} som bl.a. kan opptre i leirmineraler. Resistivitetmålingene viser sterkt varierende verdier i det samme område og bekrefter svakhetssonen. Sprekkefrekvensen er også størst i det samme området. Resistivitetmålingene viser generelt høye motstandsverdier (> 10000 ohmm). Dette indikerer fjell med liten oppsprekking. Lokalt indikeres tydelige lavmotstandssoner som kan indikere svakhetssoner med eller uten vanninnstrømning. Noen av disse sonene korrelerer med forhøyet sprekefrekvens, for eksempel i Bh 1 Storsandtunnelen.

Sulfidmineralisering kan gi lav fjellresistivitet. Det ble derfor målt IP i tre av hullene. I Bh 1 Storsandtunnelen kan flere lavmotstandssoner korreleres til soner med noe høyere IP-verdier. I Bh 2 Viggjatunnelen er det ingen korrelasjon, mens i Bh 3 Mannsfjelltunnelen kan en sone delvis korreleres til høy IP. IP målingene viser imidlertid at det kan være sulfider tilstede i borehullene og det er derfor viktig å måle denne parameteren for å vurdere hva lave motstandsverdier skyldes.

Strømningsmåling med pumping ble utført i tre hull, Bh 1, Bh 2 og Bh B1. Det ble ikke indikert innstrømning fra vannførende sprekker i noen av hullene. Kapasiteten til brønnene ble anslått til under 500 l/time hvilket er normalt for fjellbrønner i de aktuelle bergartene.

Bh 1 Storsandtunnelen

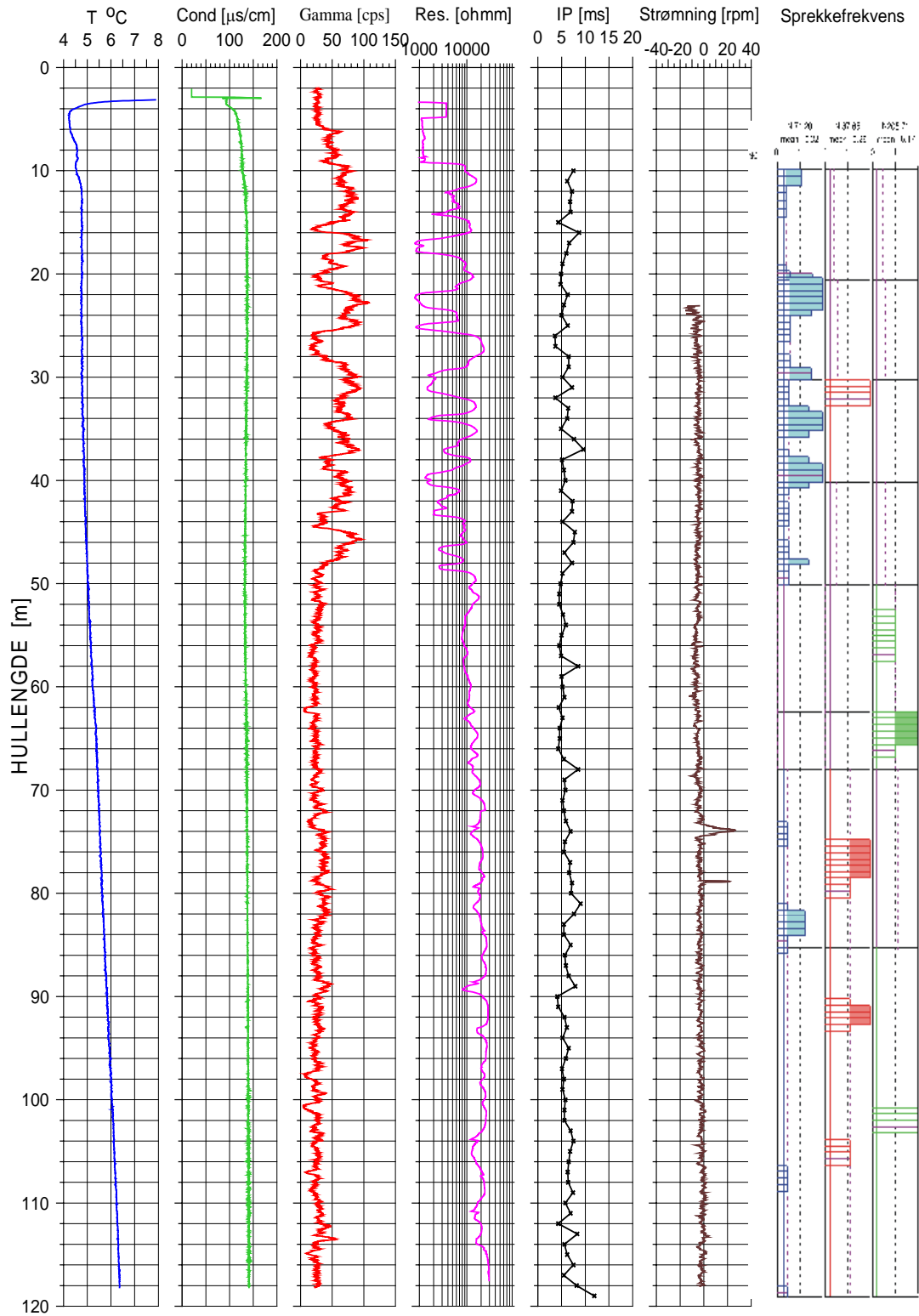
UTM 548774
32V 7023245



Figur 48. Bh 1, Storsandtunnelen. Sammenstilling av alle logger.

Bh 2 Viggjatunnelen

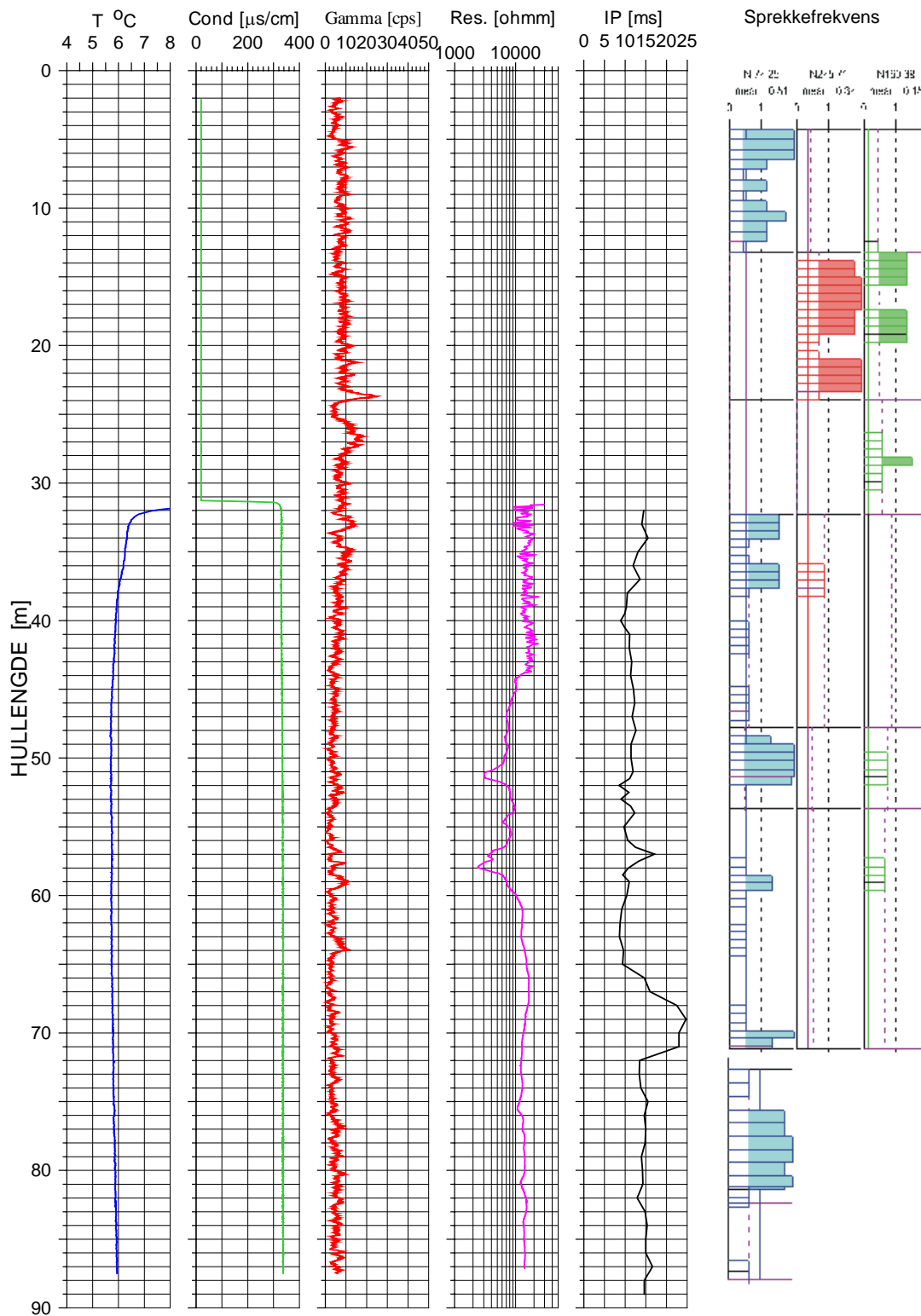
UTM 551136
32V 7022015



Figur 49. Bh 2, Viggjatunnelen. Sammenstilling av alle logger.

Bh 3 Mannsfjelltunnelen

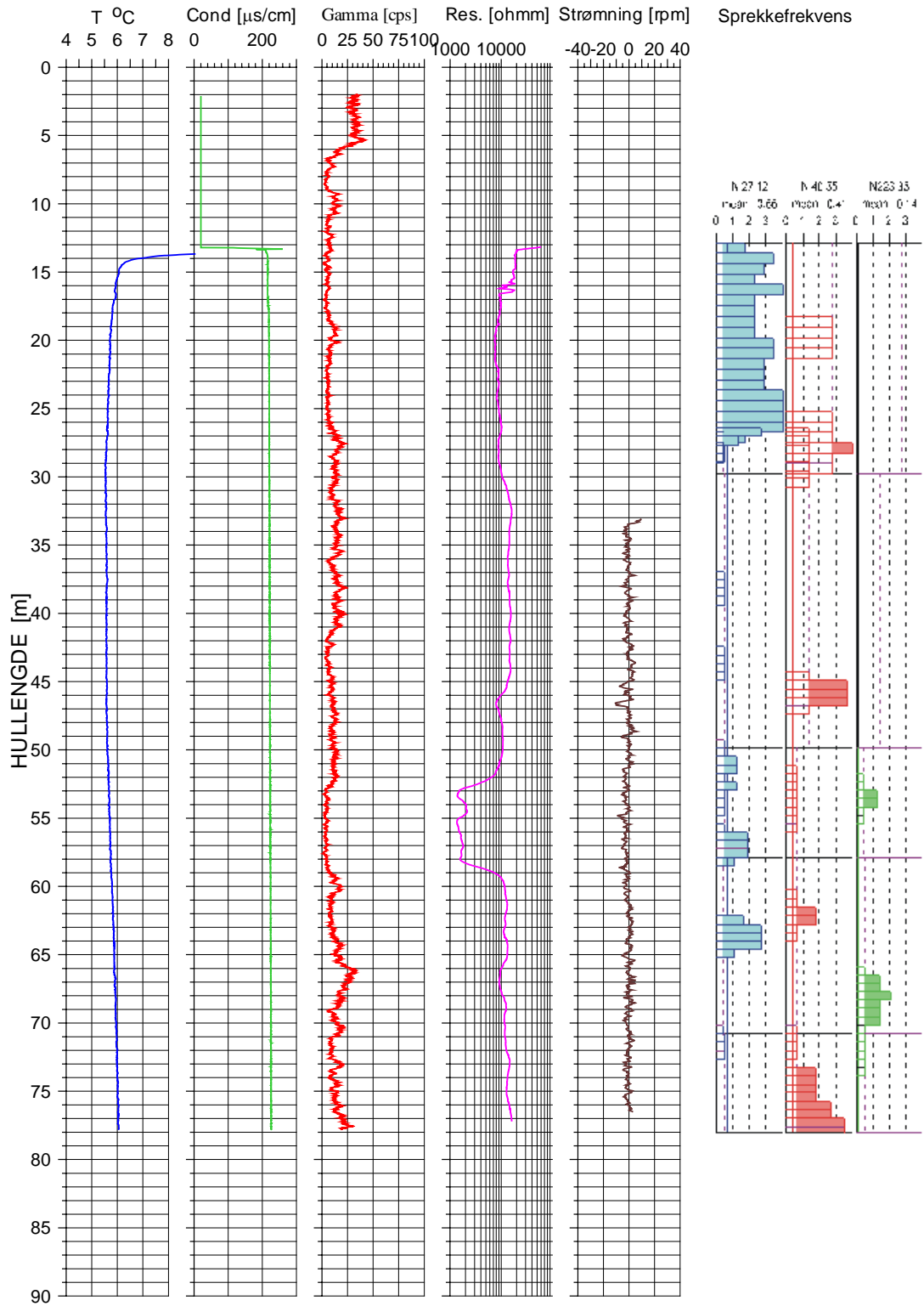
UTM 556642
32V 7021595



Figur 50. Bh 3, Mannsfjelltunnelen. Sammenstilling av alle logger.

Bh 1 Brekkatunnelen

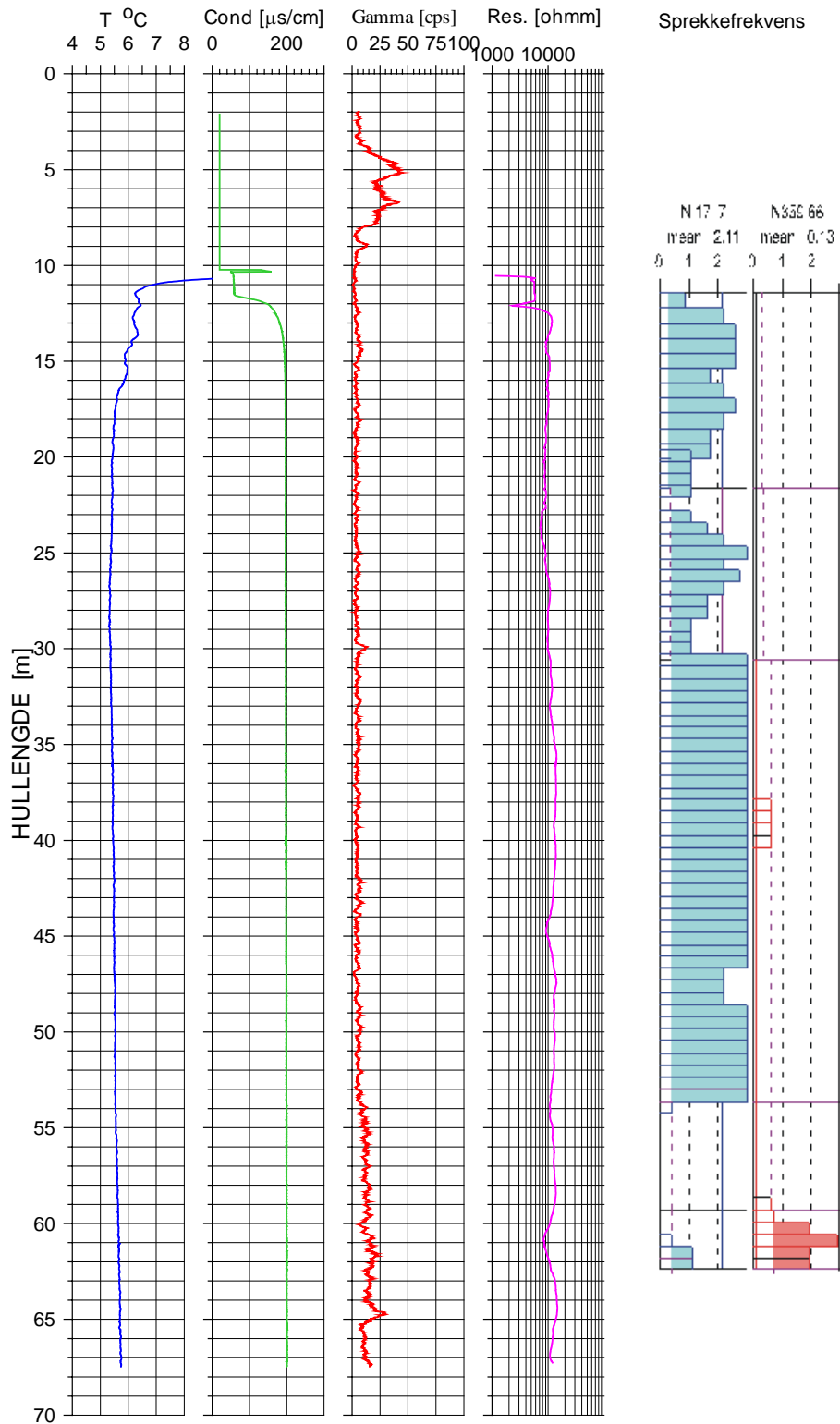
UTM 560254
32V 7021747



Figur 51. Bh B1, Brekka. Sammenstilling av alle logger.

Bh 2 Brekkatunnelen

UTM 560269
32V 7021560



Figur 52. Bh B2, Brekka. Sammenstilling av alle logger.

6. KONKLUSJON.

Det er foretatt geofysiske målinger langs 4 lengre profiler og boret 3 brønner over Storsandtunnelen, Viggjatunnelen og Mannsfjelltunnelen langs E 39, Øysand – Thamshavn. De anvendte metodene var 2D resistivitet, 2D induert polarisasjon, VLF-EM, magnetometri og refraksjonsseismikk. Brønnene er fulgt opp med optisk inspeksjon, geofysisk logging og prøvepumping kombinert med strømningsmåling. I tillegg er 3 eldre brønner ved Brekka i Buvika undersøkt.

Resistivitetsmålingene har bekreftet geologisk kartlagte svakhetssoner, og i tillegg indikert noen nye soner. Det konkluderes derfor med at metoden egner seg godt for påvising av svakhetssoner under gjeldende geologiske forhold. Sammenlignet med refraksjonsseismikk og VLF gir metoden mer informasjon om sonene, men undersøkelsene så langt indikerer at metodens evne til å påvise sonens fall er sterkt begrenset. Om metoden kan karakterisere sonene i form av å forutsi problemer ved driving av tunnelene, vil bli fulgt opp gjennom et Dr.gradsstudium.

Indusert polarisasjon (IP) viser store variasjoner langs de enkelte profilene, men disse ser ikke ut til å være knyttet til de påviste sonene med lav resistivitet. Heller ikke ved denne undersøkelsen kan en si at metoden kan bidra til karakterisering av svakhetssoner. Undersøkelsen viser at IP kan være viktig for påvising av eventuelle sulfidmineraliseringer.

Magnetiske målinger har ikke bidratt til påvising av svakhetssoner noe som trolig skyldes manglende magnetittinnhold i frisk bergart.

Målinger i brønnene avdekker store avvik fra planlagt boreforløp, og i flere tilfeller ser det ut til at borehullene ikke når frem til de sonene som skulle undersøkes. Ved fremtidige brønnboringer anbefales derfor å benytte styring ved boreoperasjonen.

Optisk inspeksjon har som vanlig gitt informasjon om sprekkers strøk, fall og frekvens. I tillegg har metoden dokumentert hvordan boringene har en tendens til å stille seg loddrett på lagdelingen. Det er ikke indikert åpne sprekker som kan bidra til store vannlekkasjer i de aktuelle borehullene verken ved den optiske inspeksjonen eller ved den øvrige loggingen av brønnene. Prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling bekrefter dette, og ingen av de undersøkte brønnene gir vannmengder over 500 l/time.

7. REFERANSER

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

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.

Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Rønning, J. S.: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, Jong – Asker, Asker og Bærum kommuner, Akershus. NGU Rapport 2003.006.

Henkel, H. & Guzman, M. 1977: Magnetic Features of Fracture Zones. *Geoexploration* 15, 173–181.

Kummeneje. 1986: Ny motorveg, Klett – Orkanger. Ingeniørgeologisk vurdering av tunneler. Oppdrag nr. o. 6105. 16. oktober 1986.

Lynneberg T.E. & Hagelia P. 2000: Ny E39 – Øysand – Thamshamn. Geologiske undersøkingar for seks tunneler. Statens vegvesen Oppdrag U204B Rapport nr.1.

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

NOTEBY AS 1987: Rv 65 Klett – Orkanger. Forprosjekt tunneler. Oppdragsnr. 37122, Rapport nr. 1. 31. juni 1987.

Pedersen O. Chr. & Veslegaard, G. 1985. Kombinerte geoelektriske målinger på svakhetssoner i fjell – statusrapport. Fjellspregningskonferansen 1985, IBSN 82-519-0698-9.

Robertson Geologging Ltd. 2000: Interpretation manual. RGLDIP Version 5.2 og 5.3.

Rønning, J.S.: Miljø- og samfunnstjenlige tunneler. Sluttrapport, delprosjekt A, Forundersøkelser. Statens vegvesen, Publikasjon nr. 102.

Rønning, J. S. og Dalsegg, E. 2001: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2001.090.

Snilsberg, P. 2000: Vurdering av vannbalanse ved tunneldriving E39 Brekka, Buvika i Sør-Trøndelag. Jordforsk rapport nr. 90/00.

Statens vegvesen, Sør-Trøndelag, 2002: Grunnundersøkelser E39 Brekka Boligfelt. Datarapport. Laborarieseksjonen oppdragsnr. Ud 547 C.

Wolf, F, C. M. fl. 1975: Berggrunnskart Trondheim 1 : 250 000. NGU-kartserie.

Koordinater for målte profiler og borehull (WGS-84 Sone 32).

| Profil | Posisjon (m) | UTM-nord | UTM-øst | Nøyaktighet |
|----------|--------------|----------|---------|-------------|
| Profil 1 | 130 | 7023221 | 547251 | +/- 5 m |
| ” | 200 | 7023228 | 547276 | ” |
| ” | 330 | 7023244 | 547400 | ” |
| ” | 400 | 7023228 | 547472 | ” |
| ” | 535 | 7023237 | 547597 | ” |
| ” | 620 | 7023244 | 547674 | ” |
| ” | 660 | 7023243 | 547720 | ” |
| ” | 820 | 7023210 | 547862 | ” |
| ” | 900 | 7023213 | 547940 | ” |
| ” | 1000 | 7023212 | 548035 | ” |
| ” | 1100 | 7023234 | 548133 | ” |
| ” | 1200 | 7023242 | 548234 | ” |
| ” | 1280 | 7023252 | 548312 | ” |
| ” | 1660 | 7023245 | 548688 | ” |
| ” | 1800 | 7023220 | 548821 | ” |
| ” | 1900 | 7023205 | 548914 | ” |
| ” | 2000 | 7023185 | 549012 | ” |
| Profil 2 | 0 | 7022432 | 550311 | ” |
| ” | 80 | 7022419 | 550389 | ” |
| ” | 200 | 7022364 | 550496 | ” |
| ” | 300 | 7022298 | 550570 | ” |
| ” | 400 | 7022227 | 550642 | ” |
| ” | 500 | 7022180 | 550729 | ” |
| ” | 610 | 7022139 | 550833 | ” |
| ” | 700 | 7022111 | 550905 | ” |
| ” | 800 | 7022071 | 550996 | ” |
| ” | 890 | 7022045 | 551085 | ” |
| ” | 1100 | 7021947 | 551254 | ” |
| ” | 1200 | 7021904 | 551332 | ” |
| ” | 1300 | 7021856 | 551428 | ” |
| ” | 1400 | 7021809 | 551511 | ” |
| ” | 1600 | 7021838 | 551690 | ” |
| ” | 1700 | 7021808 | 551782 | ” |
| ” | 1780 | 7021796 | 551861 | ” |
| ” | 1900 | 7021785 | 551965 | ” |
| ” | 2000 | 7021742 | 552063 | ” |
| ” | 2200 | 7021731 | 552257 | ” |
| Profil 3 | 0 | 7021889 | 556467 | ” |
| ” | 58 | 7021867 | 556495 | ” |
| ” | 200 | 7021767 | 556620 | ” |
| ” | 300 | 7021680 | 556668 | ” |
| ” | 400 | 7021623 | 556722 | ” |
| ” | 525 | 7021536 | 556809 | ” |

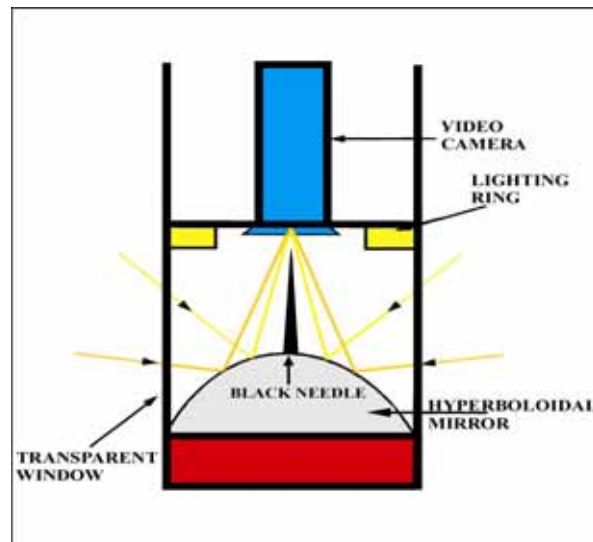
| Profil | Posisjon (m) | UTM-nord | UTM-øst | Nøyaktighet |
|-------------|--------------|----------|---------|-------------|
| Profil 3 | 600 | 7021506 | 556875 | +/- 5 m |
| ” | 700 | 7021441 | 556946 | ” |
| ” | 800 | 7021369 | 557017 | ” |
| ” | 900 | 7021314 | 557077 | ” |
| ” | 994 | 7021260 | 557173 | ” |
| Profil 4 | 0 | 7021966 | 556271 | ” |
| ” | 100 | 7021842 | 556329 | ” |
| ” | 200 | 7021781 | 556403 | ” |
| ” | 300 | 7021733 | 556488 | ” |
| ” | 400 | 7021664 | 556568 | ” |
| ” | 465 | 7021633 | 556608 | ” |
| ” | 510 | 7021604 | 556636 | ” |
| ” | 600 | 7021541 | 556701 | ” |
| ” | 670 | 7021492 | 556752 | ” |
| ” | 870 | 7021378 | 556878 | ” |
| ” | 1000 | 7021292 | 556997 | ” |
| ” | 1100 | 7021259 | 557089 | ” |
| ” | 1160 | 7021221 | 557139 | ” |
| Borehull 1 | | 7023245 | 548774 | ” |
| Borehull 2 | | 7022015 | 551136 | ” |
| Borehull 3 | | 7021594 | 556642 | ” |
| Borehull B1 | | 7021747 | 560254 | ” |
| Borehull B2 | | 7021560 | 560269 | ” |
| Borehull B5 | | 7021556 | 560077 | ” |

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.

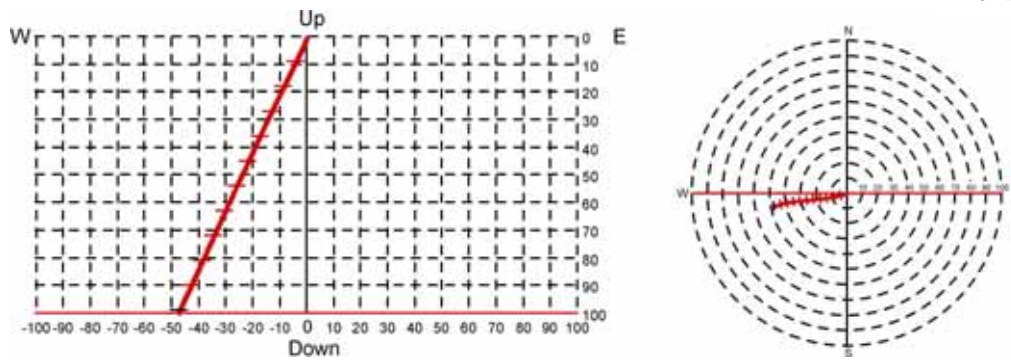
Optisk televiewer er et instrument som brukes ved inspeksjon av borehull med en diameter fra 70 – 160 mm. Instrumentet består av et digitalt kamera som filmer mot et hyperbolsk speil, se prinsippskisse figur 1. Kameraet "ser" vinkelrett en større del av borehullsveggen, men bare en sirkel med høyde 1 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.

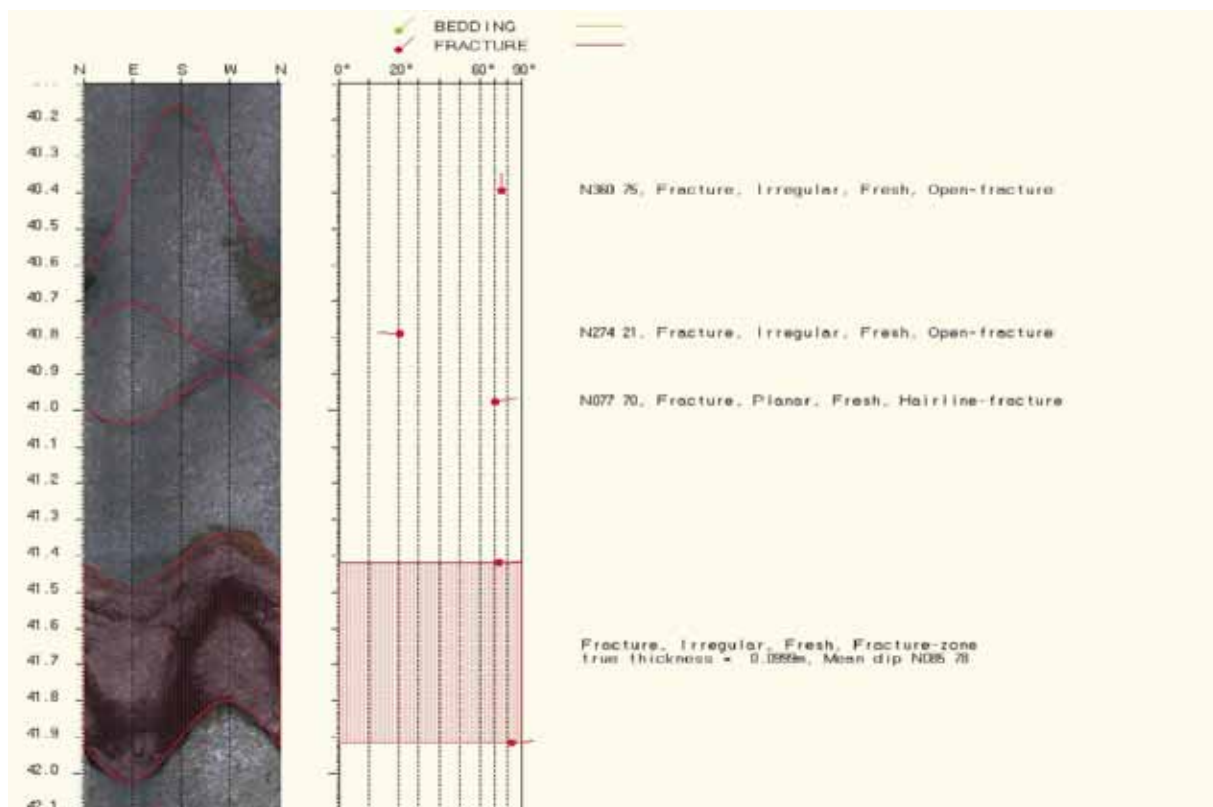
Med data fra denne instrumenteringen kan også borehullets forløp (avvik) beregnes (Figur 2). Borehullsvinkel kan måles i området 0 – 180° med en nøyaktighet på +/- 0.25°. Retningen kan måles fra 0 til 360° med en nøyaktighet på +/- 2.5°. Avviket måles kontinuerlig langs hele borehullet. Data kan plottes 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 strøkretning og fallvinkel til sprekken som observeres.



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

Analyse av data.

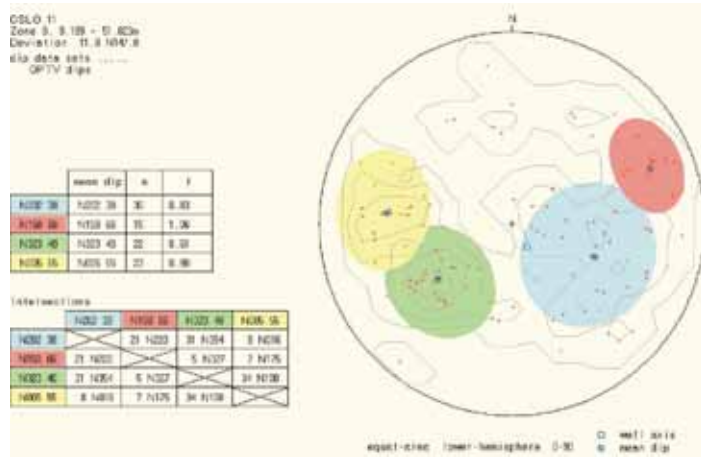
Ved analyse brettes det orienterte digitale bildet ut (se figur 3). Plane sprekker vil da indikeres som en sinusformet kurve. Steile sprekker vil indikeres med store amplituder ved loddrette hull. Dersom borehullet skjærer sprekkene vinkelrett, vil disse vises som rette linjer. Siden bildet er orientert, kan sprekkenes retning og fall beregnes ved å tilpasse (digitalisere) en sinuskurve til hver av dem. Har sprekkene 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. Enkeltstående 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 sprekkene er beregnet (nederst på bildet – fracture zone).

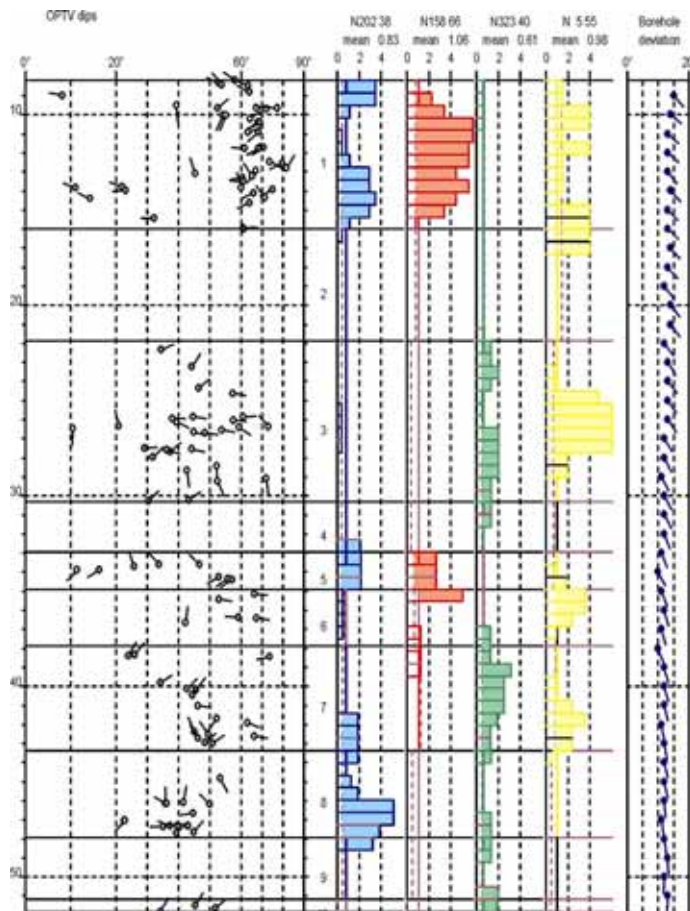
Når alle hendelser er digitalisert, kan en utføre sprekke- og strukturanalyse. Etter å ha plottet polen (normalvektoren) til alle digitaliserte sprekker i et stereogram (figur 4), kan forskjellige sprekkegrupper defineres.

Disse får tildelt en farge, og sprekkegruppens middelverdi for strøk og fall beregnes. Det kan også gjøres analyse på skjæringslinjer mellom midlere sprekkeplan.



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 skjæringslinjen mellom de midlere sprekkeplanene.

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 sprekkene som pilplott. Pilhodene angir individuelle sprekkers 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 televiever. 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 strøketretningen er den samme (f.eks. N180 og N0), bestemmes av retningen til planets normal, og vil være normalens retning pluss 180°. Planets strøketretning er fallretning minus 90 grader. Dermed er også strøketretningen entydig bestemt. Strøketretning beregnes som vinkel fra nord. Hvis for eksempel strøketretning og fall er N180 45, er strøketretningen 180° fra nord (NS) og fallet er 45° mot vest (fallretning N270), mens N0 45 faller mot øst (fallretning N90).

Alle sprekk- og borehullsdata kan listes opp i tabeller. Eksempler på slike tabeller med forklaring er vist i tabell 1, 2 og 3.

RGLDIPv5.2 OPTV results
K = 0: BEDDING
K = 2: FRACTURE

borehole OSLO 11
zone from 1.350 to 53.043 m

| | Depth | Azimuth | Dip | 1-P0/100 | n | Q | K | Upper Depth | Lower Depth | Well Diam | Well deviation Azimuth | Dev |
|----|--------|---------|------|----------|---|---|---|----------------|----------------|--------------|---------------------------|-------|
| 1 | 51.823 | 36 | 34.1 | 0.000 | 3 | | 2 | 51.778 | 51.868 | 0.135 | 177.92 | 12.46 |
| 2 | 51.617 | 55 | 51.8 | 0.000 | 3 | | 2 | 51.533 | 51.701 | 0.135 | 180.58 | 13.00 |
| 3 | 51.514 | 39 | 45.2 | 0.000 | 3 | | 2 | 51.448 | 51.580 | 0.135 | 180.64 | 13.00 |
| 4 | 47.671 | 53 | 39.4 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.617 | 47.725 | 0.135 | 168.50 | 11.50 |
| 5 | 47.629 | 48 | 44.8 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.563 | 47.695 | 0.135 | 168.68 | 12.00 |
| 6 | 47.352 | 269 | 35.0 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.305 | 47.349 | 0.135 | 169.00 | 12.00 |
| 7 | 47.312 | 281 | 43.0 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.330 | 47.375 | 0.135 | 168.33 | 12.00 |
| 8 | 47.311 | 280 | 42.8 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.250 | 47.372 | 0.135 | 168.31 | 12.00 |
| 9 | 47.296 | 285 | 37.3 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.246 | 47.346 | 0.135 | 168.01 | 12.00 |
| 10 | 47.294 | 276 | 39.7 | 0.000 | 4 | | 2 | 47.239 | 47.349 | 0.135 | 168.18 | 12.00 |
| 11 | 47.041 | 230 | 22.9 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.024 | 47.070 | 0.135 | 170.00 | 11.91 |
| 12 | 47.040 | 228 | 22.6 | 0.000 | 3 | | 2 | 47.025 | 47.068 | 0.135 | 170.00 | 11.89 |
| 13 | 46.651 | 263 | 44.7 | 0.000 | 3 | | 2 | 46.585 | 46.717 | 0.135 | 169.11 | 11.11 |
| 14 | 46.205 | 307 | 50.0 | 0.000 | 3 | | 2 | 46.258 | 46.285 | 0.135 | 172.00 | 12.00 |
| 15 | 46.151 | 292 | 36.3 | 0.000 | 3 | | 2 | 46.140 | 46.201 | 0.135 | 172.90 | 12.00 |
| 16 | 46.125 | 359 | 35.7 | 0.000 | 3 | | 2 | 46.078 | 46.172 | 0.135 | 173.41 | 12.00 |
| 17 | 46.093 | 12 | 41.5 | 0.000 | 3 | | 2 | 46.035 | 46.151 | 0.135 | 174.00 | 12.00 |
| 18 | 44.807 | 148 | 53.3 | 0.000 | 3 | | 2 | 44.718 | 44.896 | 0.135 | 169.23 | 12.00 |
| 19 | 42.991 | 61 | 50.9 | 0.000 | 3 | | 2 | 42.910 | 43.072 | 0.135 | 167.10 | 12.00 |
| 20 | 42.949 | 58 | 48.5 | 0.000 | 3 | | 2 | 42.874 | 43.024 | 0.135 | 167.92 | 12.00 |

Tabell 1, Data for borehullene og digitaliserte sprekker.

| | |
|-----------------|--|
| Depth | - Dyp langs borehullet |
| Azimuth | - Sprekkens fallretning |
| Dip | - Sprekkeplanets fallvinkel |
| n | - Antall punkter brukt for å digitalisere en sprekk |
| K | - Type sprekk (2 = sprekk, 0 = bånding) |
| Upper depth | - Dyp til sprekkplanets øvre skjæringspunkt med borehullsveggen |
| Lower depth | - Dyp til sprekkplanets nedre skjæringspunkt med borehullsveggen |
| Well diam. | - Borehulldiameter |
| Well deviation: | |
| Azimuth | - Borehullets fallretning |
| Dev | - Borehullets fallvinkel målt fra loddlinjen |

RGLDIPv5.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS
borehole
zone from 8.000 to 52.000 m
16 Aug 2000

Data is classed into 1 types
5 OPTV_dips
Quality cut-off level: *
Mean well deviation: 11.8deg to N147.8
4 small-circles defined

| SEARCH AREA | | | | MEAN DIP | | | |
|-------------|-------|------|------|----------|-----|----|------|
| | azim | pl | cone | strike | dip | n | f |
| 1 | 112.2 | 53.7 | 30.0 | 202 | 38 | 30 | 0.83 |
| 2 | 66.5 | 23.8 | 17.6 | 158 | 66 | 15 | 1.06 |
| 3 | 231.2 | 49.3 | 23.7 | 323 | 40 | 22 | 0.61 |
| 4 | 276.3 | 31.8 | 22.8 | 5 | 55 | 23 | 0.98 |

Total number of data = 90
Number of data unaccounted for = 26

| ZONE No. | DEVIATION | | DEPTHS m | | No. DATA | MEAN DIPS and FREQUENCIES | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-----------|-------|----------|-------|----------|---------------------------|-----|----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|---|------|-----|-----|----|------|
| | Dev | Azim | TOP | BASE | | Str | Dip | n | f | Str | Dip | n | f | Str | Dip | n | f | Str | Dip | n | f |
| 1 | 13.3 | 128.8 | 8.20 | 16.01 | 42 | 197 | 40 | 13 | 1.88 | 157 | 69 | 11 | 3.10 | 328 | 52 | 1 | 0.24 | 358 | 65 | 5 | 2.46 |
| 2 | 13.3 | 133.8 | 16.01 | 21.87 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 3 | 12.2 | 139.9 | 21.87 | 30.34 | 27 | 253 | 21 | 1 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 329 | 36 | 8 | 1.23 | 8 | 48 | 12 | 2.67 |
| 4 | 11.7 | 149.6 | 30.34 | 32.94 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 5 | 11.0 | 150.0 | 32.94 | 34.90 | 8 | 217 | 28 | 4 | 2.16 | 155 | 55 | 3 | 2.68 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 6 | 11.3 | 157.1 | 34.90 | 37.90 | 5 | 182 | 59 | 1 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 5 | 62 | 3 | 9.38 |
| 7 | 11.5 | 162.6 | 37.90 | 43.36 | 16 | 234 | 47 | 3 | 0.68 | 170 | 73 | 1 | 0.60 | 321 | 39 | 8 | 1.82 | 9 | 58 | 3 | 1.26 |
| 8 | 11.7 | 168.0 | 43.36 | 47.92 | 15 | 192 | 40 | 8 | 2.19 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 320 | 42 | 2 | 0.56 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 9 | 12.4 | 177.8 | 47.92 | 51.17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |
| 10 | 13.0 | 180.5 | 51.17 | 51.82 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 0 | 0 | 0 | 0.00 | 314 | 43 | 3 | 5.64 | 0 | 0 | 0 | 0.00 |

Tabell 2. Data for definerte soner i borehullet for hver sprekkegruppe (search area).

Zone deviation:

Dev og azimuth - Sonens (borehullets) fallvinkel (fra lodd) og fallretning

Top og base - Sonens topp og bunn langs borehullet

No data - Antall sprekker i sonen

Mean dips and frequencies:

Str - Gjennomsnittlig strøkretning for hver av de definerte gruppene (i sonen)

Dip - Gjennomsnittlig fallvinkel for hver av de definerte gruppene (i sonen)

n - Antall sprekker i hver av de definerte sprekkegruppene (i sonen)

f - Gjennomsnittlig sprekkefrekvens i hver av de definerte sprekkegruppene (i sonen)

Borehole:

Depth range: 1.396 - 52.996m

| Deviation components | | | | | |
|----------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
| Depth | North | East | Down | Devaz | Dev |
| 2.046 | -0.108 | 0.124 | 0.629 | 131.00 | 15.00 |
| 3.046 | -0.265 | 0.330 | 1.595 | 134.00 | 15.00 |
| 4.046 | -0.409 | 0.546 | 2.560 | 120.00 | 16.00 |
| 5.046 | -0.533 | 0.770 | 3.526 | 129.00 | 14.00 |
| 6.046 | -0.671 | 0.979 | 4.495 | 122.00 | 14.00 |
| 7.046 | -0.799 | 1.177 | 5.466 | 122.00 | 14.00 |
| 8.046 | -0.936 | 1.380 | 6.435 | 127.00 | 13.00 |
| 9.046 | -1.105 | 1.558 | 7.405 | 132.00 | 15.00 |
| 10.046 | -1.238 | 1.751 | 8.377 | 125.00 | 14.00 |
| 11.046 | -1.367 | 1.943 | 9.349 | 125.00 | 13.00 |
| 12.046 | -1.488 | 2.144 | 10.322 | 122.00 | 13.00 |
| 13.046 | -1.629 | 2.313 | 11.297 | 137.00 | 13.00 |
| 14.046 | -1.807 | 2.467 | 12.269 | 132.00 | 14.00 |
| 15.046 | -1.955 | 2.635 | 13.243 | 125.00 | 13.00 |

Tabell 3. Data for borehullsforløp (avvik).

Depth - Dyp langs borehullet

North - Nordkomponent

East - Østkomponent

Down - Vertikalt dyp

Devaz - Hullets fallretning

Dev - Hullets fallvinkel målt fra lodd.

METODEBESKRIVELSE

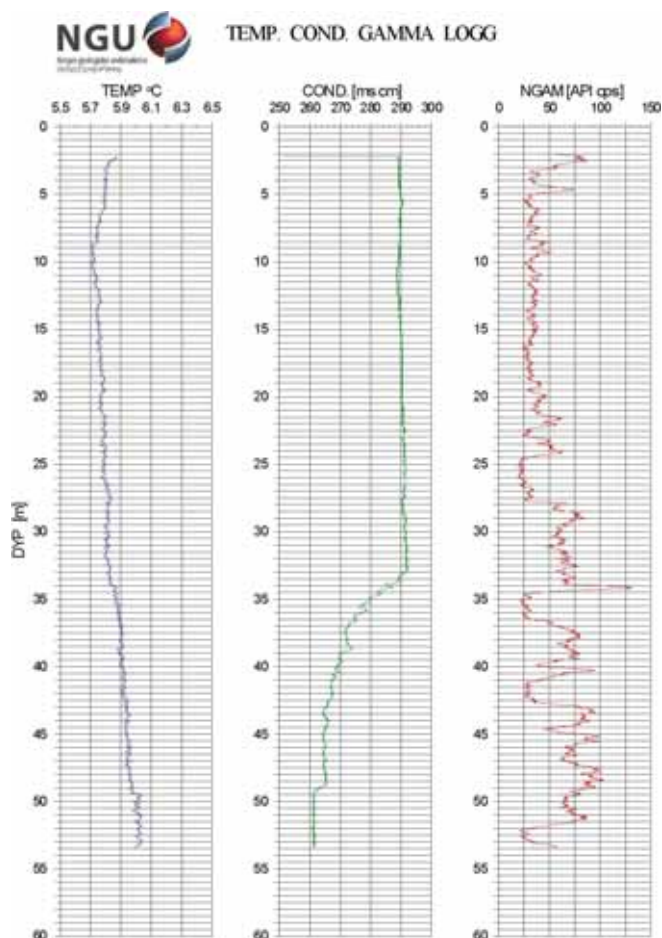
LOGGING TEMPERATUR, ELEKTRISK LEDNINGSEVNE, NATURLIG GAMMA.

Måling av vanntemperatur, vannets elektriske ledningsevne og naturlig gamma i borehull kan gi opplysninger om fjelllets 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.



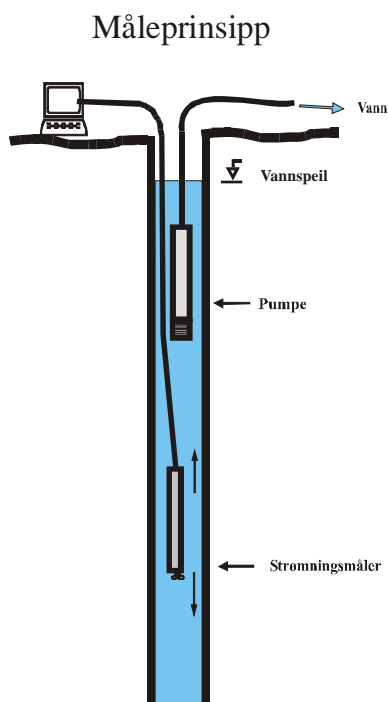
Figur 1. Temperatur-, ledningsevne- og gammalogg fra borehull. Litt høyere temperatur dagnært skyldes påvirkning fra overflatetemperaturen. En svak økning ved 33 m kan skyldes innstrømning av vann med høyere temperatur. En tydelig nedgang i den elektriske ledningsevnen ved samme dyp kan tyde på det samme. Mest sannsynlig er det overflatevann som strømmer inn gjennom en åpen sprekke. Gammalloggen 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 strømming 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.

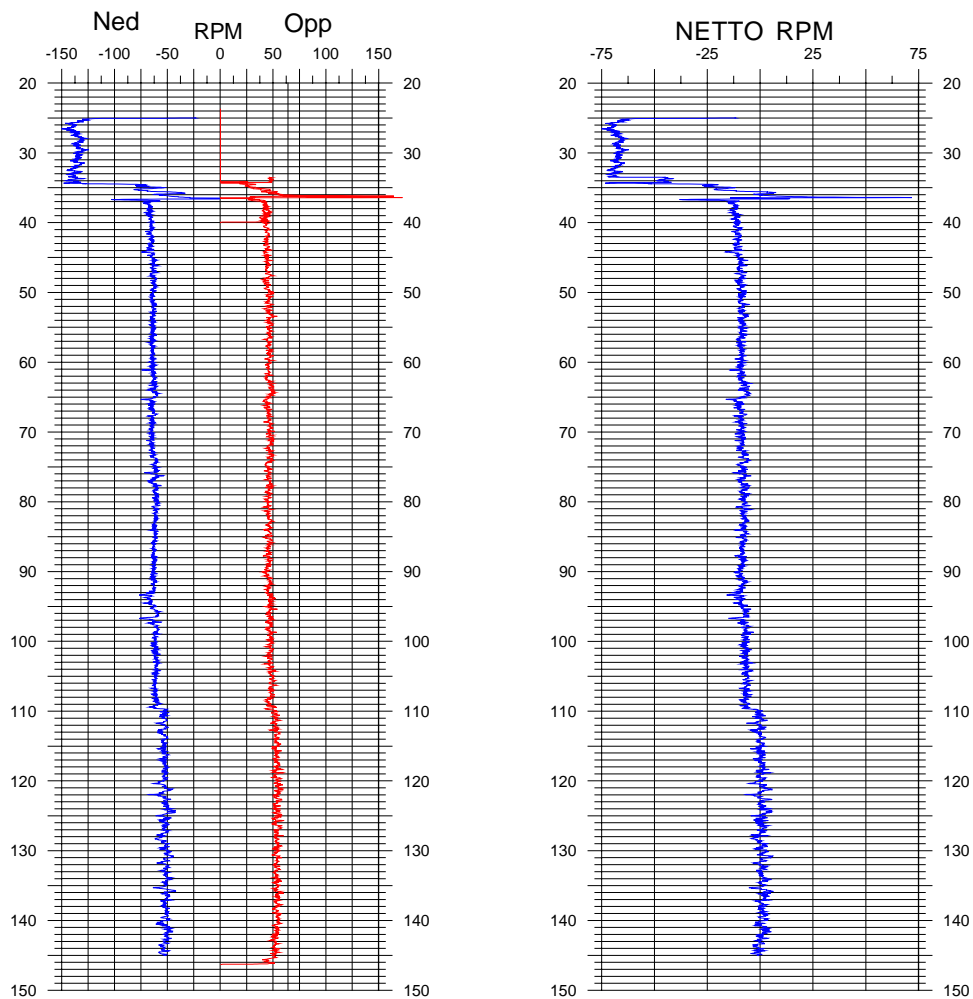
Målingene kan utføres statisk ved at sonden står i bestemte posisjoner hvor vannstrømmen måles f. eks. over og under en sprekk. Dynamiske målinger foretas ved at sonden senkes og heves i borehullet med konstant hastighet.



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 strømming noe som oppnås enten ved at brønnen er artesiske, 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.

REFRAKSJONSSEISMIKK - METODEBESKRIVELSE

Metoden grunner seg på at lydets forplantningshastighet forandrer seg med mediets elastiske egenskaper. Det aktuelle hastighetsområde i den såkalte ingeniørseismikk er fra ca. 200 m/s i visse typer porøst overdekke til godt over 5000 m/s i enkelte bergarter.

En 'lydstråle' fra en sprengning i overflaten treffer en grense mellom to sjikt hvor lyd hastigheten er henholdsvis V_1 og V_2 , og vinkelen mellom lydstråle og innfallslodd kalles i . Etter at strålen har passert sjiktgrensen vil den danne en vinkel R med innfallslodden, slik at

$$\sin i / \sin R = V_1 / V_2$$

Når $R=90^\circ$, vil den refrakterte stråle følge sjiktgrensen, og vi har

$$\sin i = V_1 / V_2$$

Den bestemte innfallsvinkel som tilfredsstiller denne betingelse kalles kritisk vinkel eller i_c .

Lydforplantningen langs sjiktgrensen vil gi opphav til sekundærbølger som returnerer til terrengoverflaten under vinkelen i_c . I en viss kritisk avstand fra skuddpunktet vil disse refrakterte bølger nå fram før de direkte bølger som har fulgt terrengoverflaten. Den kritiske avstand er proporsjonal med dypet til sjiktgrensen og forøvrig bare avhengig av forholdet mellom de to hastigheter. Denne sammenheng utnyttes ved å plassere seismometre (geofoner) langs en rett linje i terrenget og registrere de først ankomne bølger fra skudd i hensiktsmessig valgte posisjoner langs samme linje. Man får da bestemt de nødvendige data for å fastlegge dypene til sjiktgrensen. Dersom overdekket er homogent med hensyn på lyd hastigheten langs profilet, kan det oppnås en god dybdebestemmelse for hver seismometerposisjon. Imidlertid vil det ofte være betydelige laterale variasjoner til stede, og overdekkehastighetene blir ved små dyp bare bestemt i nærheten av skuddpunktene. Ofte vil det derfor være naturlig å legge størst vekt på dybdebestemmelsen under skuddpunktene.

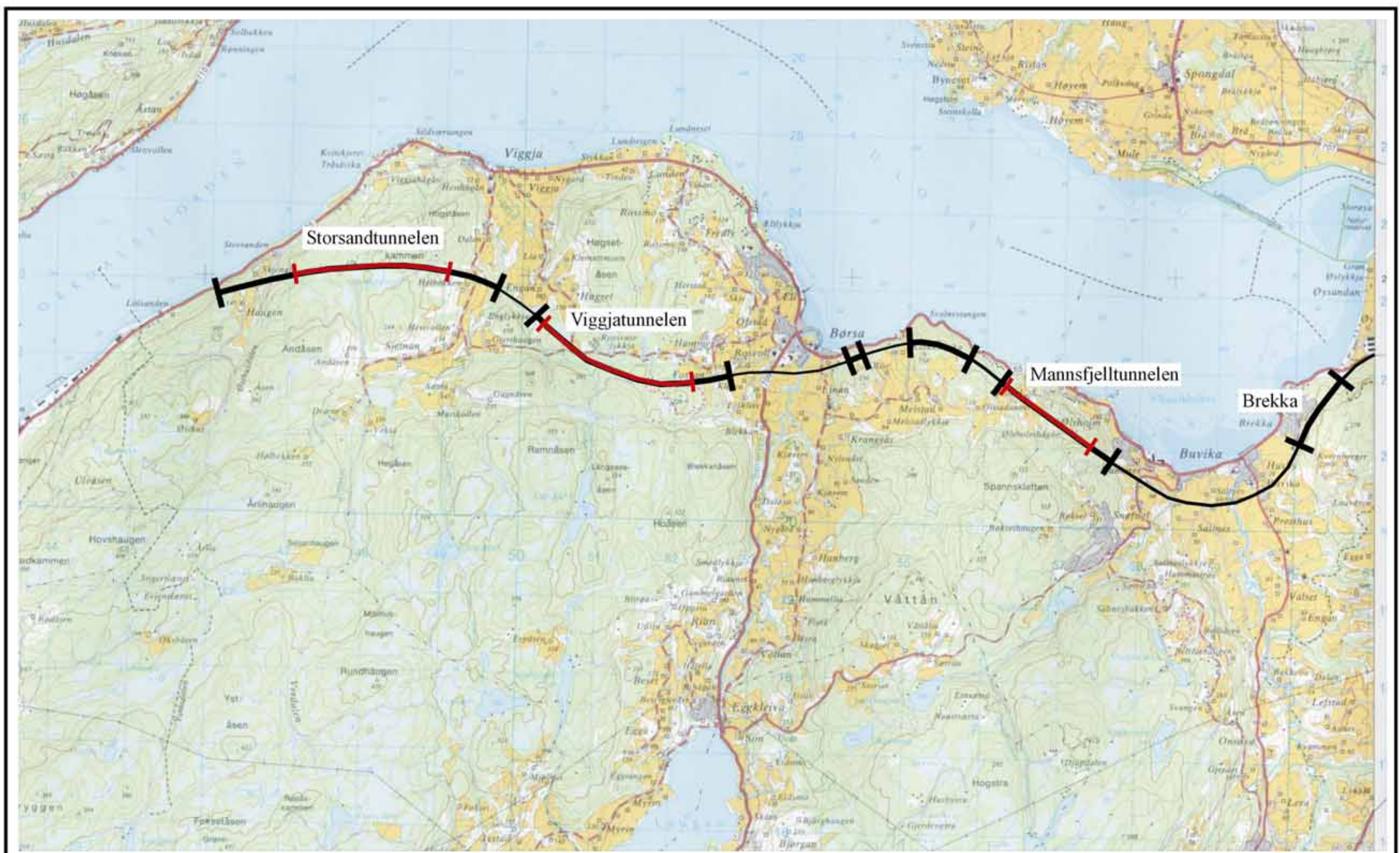
Disse betraktninger kan utvides til å gjelde flere sjiktgrenser. Man får refrakterte bølger fra alle grenser når hastigheten i det underliggende medium er større enn i det overliggende. Kontrasten må være av en viss størrelse, og vinkelen mellom sjiktgrense og terrengoverflate må ikke være for stor. I praksis vil man ofte få vanskeligheter når denne vinkel overstiger 25° .



Det forekommer at en sjiktgrense ikke avspeiler seg i gangtidsdiagrammene, fordi de refrakterte bølger fra denne grense når overflaten seinere enn fra en dypere grense. Det foreligger da en såkalt 'blind sone', og de virkelige dyp kan være vesentlig større enn de beregnede. En annen feilkilde er til stede hvis man har et sjikt med lavere hastighet enn det overliggende. Fra denne sjiktgrense vil det ikke komme refrakterte bølger til overflaten, og lavhastighetssjiktet vil ikke kunne erkjennes av måledata. Generelt kan det sies at usikkerheten i de beregnede dyp øker med antall sjikt. Med analog apparatur vil en kunne bestemme første ankomsttid med en usikkerhet på 1 millisekund ved middels god opptakskvalitet. Hvis overdekkehastigheten er 1600 m/s, tilsvarer dette en usikkerhet på ca. 0.8 m i dybdebestemmelsen på grunn av avlesningsfeil. I tillegg kommer eventuelle feil på grunn av at forutsetningene om isotropi og homogenitet ikke gjelder fullt ut.

Ved meget god datakvalitet kan første ankomsttid avleses med 0.5 millisekunders nøyaktighet. Med denne nøyaktigheten er det allikevel urealistisk å regne med mindre enn 0.5 m usikkerhet i dybdeangivelsene. Ved meget små dyp til fjell (mindre enn én meter) blir overdekkehastigheten dårlig bestemt, og man må regne med prosentvis store feil i dybdeangivelsene.

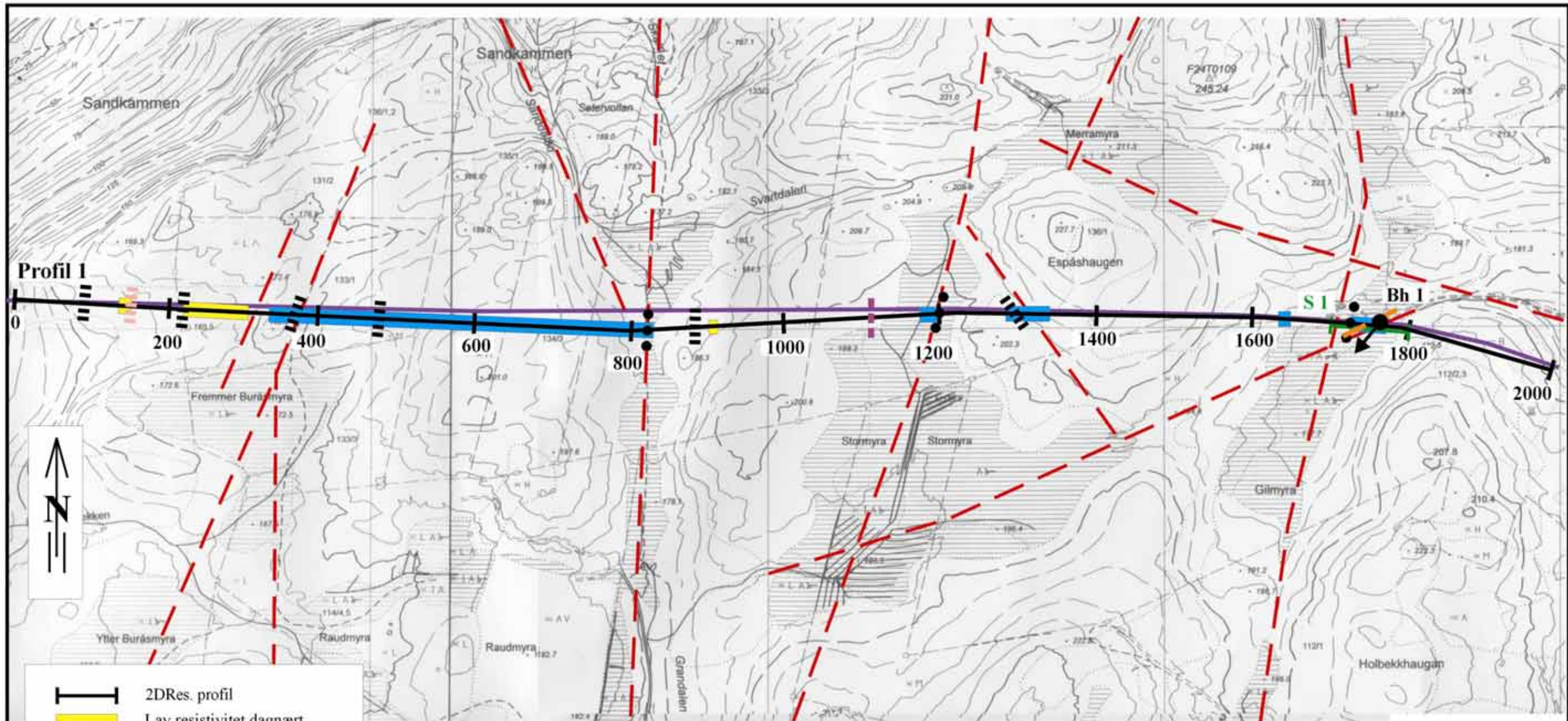
P-BØLGEHASTIGHET I NOEN MATERIALTYPER














| | | |
|------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| <i>Luft</i> | | <i>330 m/s</i> |
| <i>Vann</i> | | <i>1400-1500 m/s</i> |
| <i>Organisk materiale</i> | | <i>150-500 m/s</i> |
| <i>Sand og grus</i> | <i>- over vannmettet sone</i> | <i>200-800 m/s</i> |
| <i>Sand og grus</i> | <i>- i vannmettet sone</i> | <i>1400-1700 m/s</i> |
| <i>Morene</i> | <i>- over vannmettet sone</i> | <i>700-1500 m/s</i> |
| <i>Morene</i> | <i>- i vannmettet sone</i> | <i>1500-1900 m/s</i> |
| <i>Hardpakket bunnmorene</i> | | <i>1900-2800 m/s</i> |
| <i>Leire</i> | | <i>1100-1800 m/s</i> |
| <i>Oppsprukket fjell</i> | | <i>< 4000 m/s</i> |
| <i>Fast fjell</i> | | <i>3500-6000</i> |



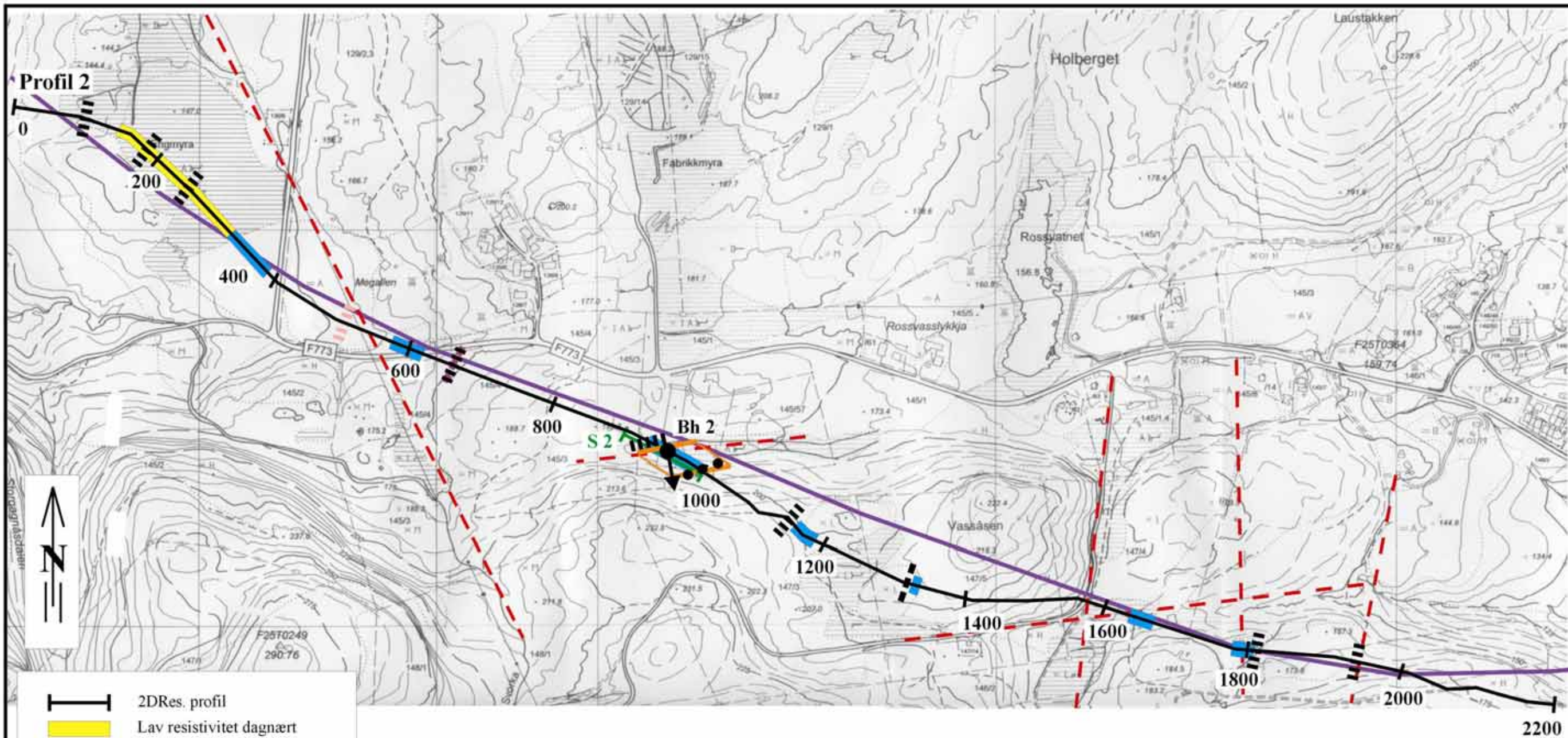
 Tunneltraseer
 Profiler 2D Resistivitet














| | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|-----------|
| STATENS VEGVESEN OVERSIKTSKART E-39 SKAUN, SØR-TRØNDELAG | MÅLESTOKK | MÅLT E.D. | Mai 2003 |
| | 1 : 50 000 | TEGN E.D. | Aug. 2003 |
| | | TRAC | |
| | KFR | | |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | TEGNING NR 2003.067-01 | KARTBLAD NR 1521 I | |



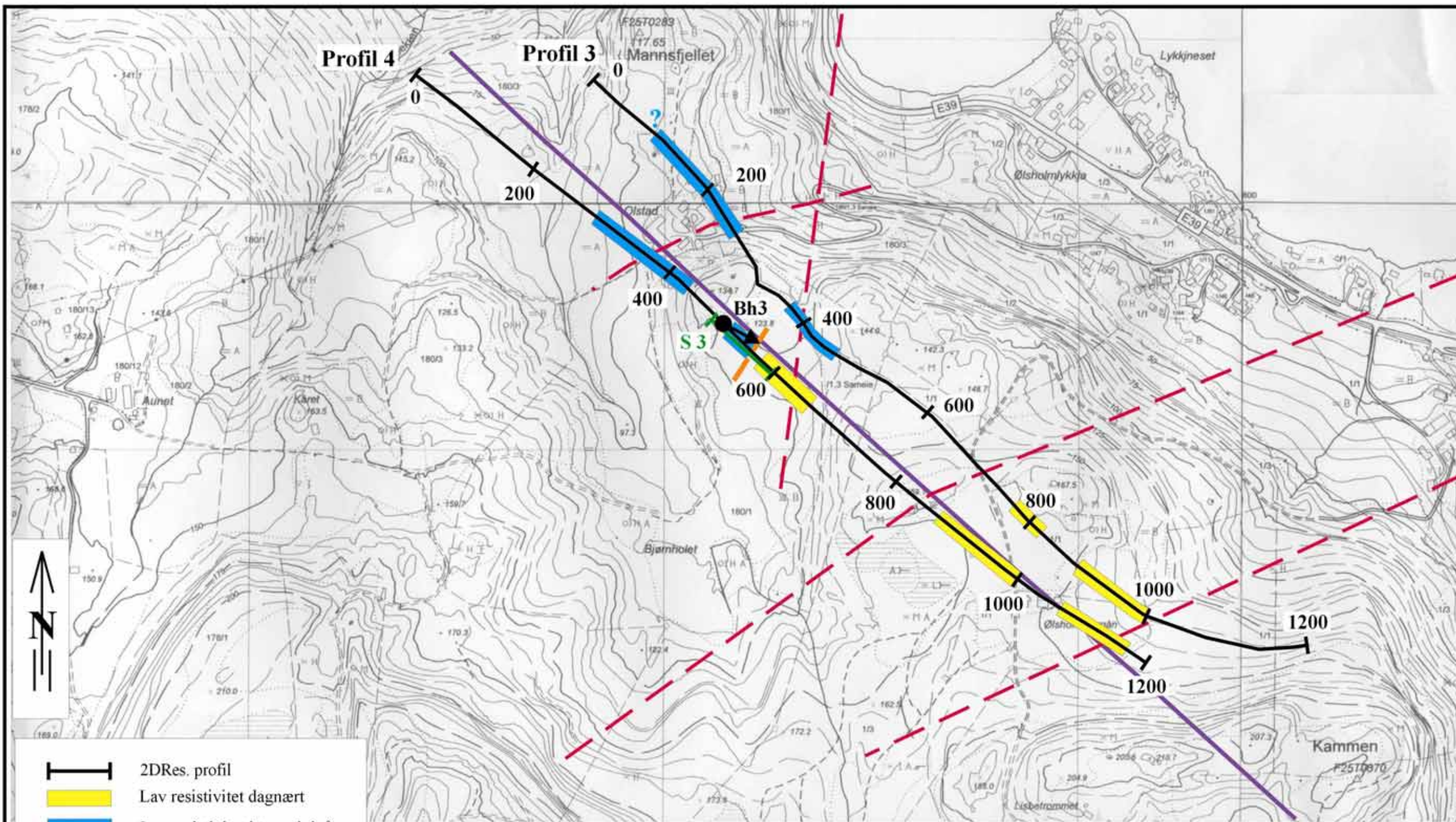
-  2DRes. profil
-  Lav resistivitet dagnært
-  Lav resistivitet i tunnelnivå
-  Seismisk profil
-  Svakhetsone seismikk
-  Svakhetsone geologisk
-  Sterk VLF-anomali
-  Moderat VLF-anomali
-  Svak VLF-anomali
-  Høymagnetisk sone
-  Lavmagnetisk sone
-  Tunneltrase
-  Borehull m/retning









| | | | |
|--|-------------|-------------|-----------|
| STATENS VEGVESEN OVERSIKTSKART/GEOFYSISK TOLKNINGSKART STORSANDTUNNELEN SKAUN, SØR-TRØNDELAG | MÅLESTOKK | MALT E.D. | Mai 2003 |
| | 1 : 5 000 | TEGN E.D. | Juni 2003 |
| | | TRAC | |
| | KFR | | |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | TEGNING NR | KARTBLAD NR | |
| | 2003.067-02 | 1521 I | |



-  2DRes. profil
-  Lav resistivitet dagnært
-  Lav resistivitet i tunnelnivå
-  Seismisk profil
-  Svakhetszone seismikk
-  Svakhetszone geologisk
-  Sterk VLF-anomali
-  Moderat VLF-anomali
-  Svak VLF-anomali
-  Høymagnetisk sone
-  Lavmagnetisk sone
-  Tunneltrase
-  Borehull m/retning

| | | | |
|--|---------------------------|-----------|-----------------------|
| STATENS VEGVESEN OVERSIKTSKART/GEOFYSISK TOLKNINGSKART VIGGJATUNNELEN SKAUN, SØR-TRØNDELAG | MÅLESTOKK | MALT E.D. | Mai 2003 |
| | 1 : 5 000 | TEGN E.D. | Juli 2003 |
| NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM | | TRAC | |
| | TEGNING NR 2003.067-03 | KFR | KARTBLAD NR 1521 I |

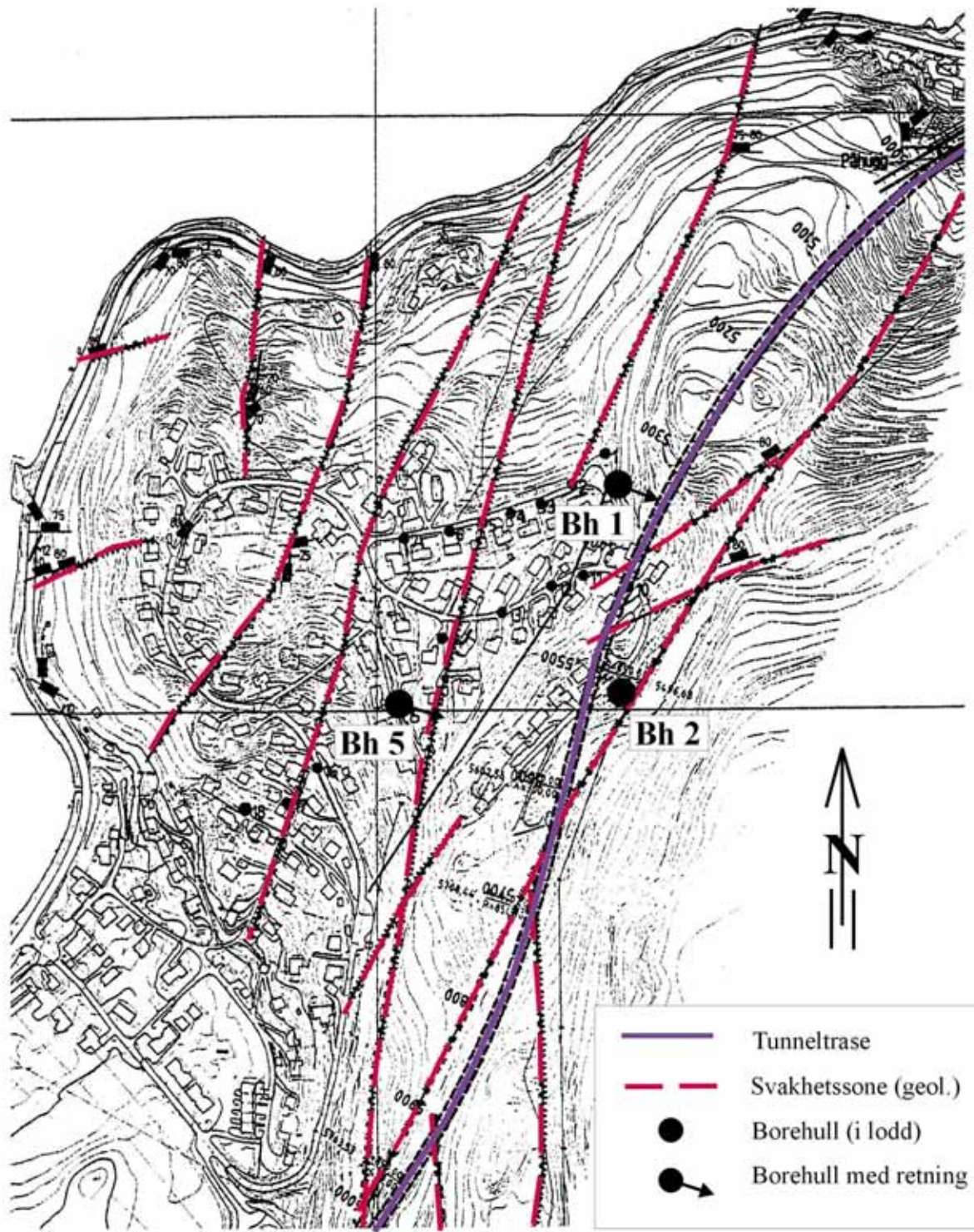


-  2DRes. profil
-  Lav resistivitet dagnært
-  Lav resistivitet i tunnelnivå
-  Seismisk profil
-  Svakhetszone seismikk
-  Svakhetszone geologisk
-  Tunneltrase
-  Borehull m/retning

STATENS VEGVESEN
 OVERSIKTSKART/GEOFYSISK TOLKNINGSKART
MANNSFJELLTUNNELEN
 SKAUN, SØR-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

| | | |
|----------------------------|-----------------------|-----------|
| MÅLESTOKK 1 : 5 000 | MÅLT E.D. | Mai 2003 |
| | TEGN E.D. | Juli 2003 |
| | TRAC | |
| | KFR | |
| TEGNING NR 2003.067-04 | KARTBLAD NR 1521 I | |



STATENS VEGVESEN

OVERSIKTSKART

BREKKA

SKAUN , SØR-TRØNDELAG

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:5 000

MÅLT H.E.

TEGN E.D.

TRAC

KFR

Mai 2003

Des. 2003

KARTBILAG NR
2003.067-05

KARTBLAD NR
1521 I