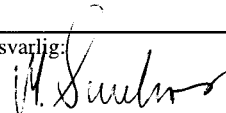


Rapport nr.: 2003.006		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, Jong - Asker, Asker og Bærum kommuner, Akershus			
Forfatter: Einar Dalsegg, Harald Elvebakk og Jan Steinar Rønning		Oppdragsgiver: Statens Vegvesen "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler"	
Fylke: Akershus		Kommune: Asker og Bærum	
Kartblad (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1814 Asker	
Forekomstens navn og koordinater: Billingstad – Åstad 32V 582300 6638250 Lagerudbekken 32V 582800 6639200 Skaugum 32V 580650 6635400		Sidetall: 69 Pris: Kartbilag: 4	
Feltarbeid utført: Sept. – Okt. 2002 og Juni 2003	Rapportdato: 07.01.2004	Prosjektnr.: 2827.02	Ansvarlig: 
<p>Sammendrag: I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU utført geofysiske målinger innenfor tre områder langs tunnelraseen Jong - Asker i Asker og Bærum kommuner. Hensikten med undersøkelsen var uttesting av nye teknikker i forbindelse med forundersøkelser for tunneler.</p> <p>Undersøkelsene ved Jong-Asker-tunnelen inkluderer måling av resistivitet og delvis induert polarisasjon langs 5 profiler, ett ved Billingstad – Åstad, ett ved Lagerudbekken og 3 ved Skaugum. På grunnlag av resultater fra disse undersøkelsene er det boret to brønner, en ved Skaugum og en ved Åstad. Disse og en eldre brønn på Staverhagan, er inspisert med optisk televiwer og det er foretatt logging av temperatur, vannets ledningsevne, naturlig radioaktivitet, resistivitet og delvis induert polarisasjon. Til slutt er det foretatt prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling.</p> <p>Resistivitetsmålingene ved Jong –Asker har ikke vist så klare indikasjoner på svakhetssoner som ved de andre områdene som er undersøkt innen "Tunnelprosjektet". Dette kan skyldes en generelt lav resistivitet i bergartene og påvirkning fra tekniske anlegg. Påviste svakhetssoner fra seismiske målinger og geologisk kartlegging faller i hovedsak innenfor soner med lav resistivitet, og det er derfor ikke noen motsetning mellom metodene. Undersøkelsene viser at det kan være andre årsaker til lav resistivitet enn oppsprekning, generelt stort porevolum, relativt høy ledningsevne i porevann. Ved Staverhagan antas kismineraler å være årsak til spesielt lav resistivitet. Det kan ikke påvises noen sammenheng mellom målt resistivitet i bergarten og vannnivået i brønnene.</p> <p>Karakterisering av svakhetssoner ved bruk av induert polarisasjon mislyktes. Støynivået ved to av områdene var for stort til å gi pålitelige data. Dette skyldes generelt lav resistivitet i bergartene, mye kulturell støy og ugunstige målebetingelser. Ved Skaugum gav disse målingene sprikende data på tre soner i et geografisk begrenset område. I brønnen på Staverhagan gav IP verdifull informasjon om kismineralisering, og det bør vurderes om IP skal inngå som standard metode ved borehullslogging.</p> <p>Inspeksjon av borehullene gav som tidligere verdifull informasjon om sprekker, størrelse, fall, frekvens og åpning. Logging av temperatur og vannets ledningsevne viste stabile forhold, og kunne ikke påvise innstrømning av vann i noen av hullene. Måling av naturlig radioaktivitet gir informasjon om bergartsfordelingen nede i brønnene, og spesielt på Staverhagan var dette verdifullt.</p> <p>Prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling har gitt klare data på hvor i brønnene en har vanninnslag, og det er mulig å kvantifisere disse med en viss usikkerhet. Det er viktig at vannets nivå logges hele tiden under prøvepumpingen.</p> <p>Data fra drivingen av tunnelene er delvis sammenholdt med kartlagte resistivitets-verdier. Påviste lekkasjer på stuff faller innenfor områder med lav resistivitet. Det er imidlertid vanskelig å forutsi hvor lekkasjer vil komme, og hvor store de er. Det er ikke funnet noen sammenheng mellom lav resistivitet og vanskelige driftsforhold.</p>			
Emneord: Geofysikk	Elektrisk måling	Optisk televiwer	
Temperaturmåling	Ledningsevne	Naturlig radioaktivitet	
		Fagrapport	

INNHOOLD

DATABILAG.....	5
1. INNLEDNING.....	6
2. BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER.....	6
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....	6
3.1 Bakkegeofysikk.....	7
3.1.1 2D Resistivitet og indusert polarisasjon (IP).....	7
3.2 Borehullslogging.....	8
3.2.1 Optisk televierer.....	8
3.2.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gamma.....	8
3.2.3 Berggrunnens resistivitet.....	9
3.2.4 Strømningsmåling.....	9
3.2.5 Avviksmåling.....	9
3.2.6 Indusert polarisasjon IP.....	9
4. RESULTATER.....	10
4.1 2D Resistivitet og indusert polarisasjon (IP).....	10
4.1.1 Billingstad – Åstad.....	10
4.1.2 Lagerudbekken.....	11
4.1.3 Skaugum.....	16
4.2 Optisk televierer.....	21
4.2.1 Skaugum.....	21
4.2.2 Åstad.....	25
4.2.3 Staverhagan.....	28
4.3 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg.....	31
4.3.1 Skaugum.....	31
4.3.2 Åstad.....	31
4.3.3 Staverhagan.....	31
4.4 Resistivitet.....	36
4.4.1 Skaugum.....	36
4.4.2 Åstad.....	36
4.4.3 Staverhagan.....	36
4.5 Strømningsmåling.....	38
4.5.1 Skaugum.....	38
4.5.2 Åstad.....	41
4.5.3 Staverhagan.....	44
4.6 Avviksmåling.....	46
5. DISKUSJON.....	48
5.1 Resistivitetsmålinger.....	48
5.2 Indusert polarisasjon.....	50
5.3 Borehullslogging.....	51
5.4 Prøvepumping og strømningsmåling.....	56
5.5 Resultater fra tunneldrivingen.....	56
6. KONKLUSJON.....	59
7. REFERANSER.....	60

FIGURER

- Figur 1: Modellert resistivitet, Profil 1 Wenner-konfigurasjon.
Figur 2: Modellert resistivitet, Profil 1 Dipol/Dipol-konfigurasjon.
Figur 3: Modellert resistivitet, Profil 2 Wenner-konfigurasjon.
Figur 4: Modellert resistivitet, Profil 2 Dipol/Dipol-konfigurasjon.
Figur 5: Modellert resistivitet og IP, Profil 3 Wenner-konfigurasjon.
Figur 6: Modellert resistivitet, Profil 3 Wenner-konfigurasjon.
Figur 7: Modellert resistivitet og IP, profil 4 Wenner-konfigurasjon.
Figur 8: Modellert resistivitet og IP, profil 5 Wenner-konfigurasjon.
Figur 9: Bh 1, Skaugum. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 10: Bh 1, Skaugum. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 11: Bh 1, Skaugum. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 41–46 m, 55–60 m, 111-116 m.
Figur 12: Bh 2, Åstad. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 13: Bh 2, Åstad. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 14: Bh 2, Åstad. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 8-13 m, 55-60 m, 85-90 m.
Figur 15: Bh 3, Staverhagan. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.
Figur 16: Bh 3, Staverhagan. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.
Figur 17: Bh 3, Staverhagan. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 30-35 m, 50-55 m, 80-85 m.
Figur 18: Bh 1, Skaugum. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 19: Bh 2, Åstad. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 20: Bh 3, Staverhagan. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.
Figur 21: Resistivitetslogger for borehullene ved Skaugum, Åstad og Staverhagan med IP.
Figur 22: Grunnvannsstand og utpumpet mengde ved strømningsmålinger i borehull ved Skaugum.
Figur 23: Bh 1, Skaugum. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min (til venstre). Netto strømning (omdreiningstall) med indikert vanninnstrømning (til høyre).
Figur 24: Bh 1, Skaugum. Åpne sprekker som gir vanninnstrømning i borehullet ved 44, 52 og 59m.
Figur 25: Bh 2, Åstad. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min, 10-15 m (venstre). Netto strømning med indikert vanninnstrømning ved ca 11 m (til høyre).
Figur 26: Bh 2, Åstad. Utpumpet vannmengde i borehull ved strømningsmåling.
Figur 27: Bh 2, Åstad. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min, 25 – 118 m (til venstre). Netto strømning (til høyre) viser ingen innstrømning i denne del av borehullet.
Figur 28: Bh 2, Åstad. Bilde av åpen sprekk ved ca 11 m. Sprekken er vannførende.
Figur 29: Bh 3, Staverhagan. Grunnvannsstand og utpumpet mengde ved strømningsmålinger.
Figur 30: Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min, 55 – 85 m (til venstre). Netto strømning (til høyre) viser ingen innstrømning i denne del av borehullet.
Figur 31: Borehullsforløp, vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon, av hullene ved Skaugum, Åstad og Staverhagan.
Figur 32: Påviste sprekker og målt resistivitet i brønn ved Åstad (Jong-Asker) og Bh 6 Lunnertunnelen.
Figur 33: Bh 1, Skaugum. Sammenstilling av alle logger utført i borehull.
Figur 34: Bh 2, Åstad. Sammenstilling av alle logger utført i borehull.
Figur 35: Bh 3, Staverhagan. Sammenstilling av alle logger utført i borehull.
Figur 36: Tunneldata Skaugum, lekkasje pr-m tunnel, injeksjon pr-m tunnel, inndrift pr-dag og Q-verdi sammenholdt med målt resistivitet på bakken.

DATABILAG

Databilag 1: Koordinater for målte profiler og borehull.

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1: Metodebeskrivelse for optisk televiewer.

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

Tekstbilag 3: Metodebeskrivelse for strømningsmåling i borehull.

Tekstbilag 4: Veiledning for kjøring av optisk logg ved bruk av programmet "OPTV.exe"

KARTBILAG

Kartbilag 2003.006-01: Oversiktskart Jong - Asker 1 : 50 000

Kartbilag 2003.006-02: Resistivitet tolkningskart Billingstad - Åstad 1 : 5 000

Kartbilag 2003.006-03: Resistivitet tolkningskart Lagerudbekken 1 : 5 000

Kartbilag 2003.006-04: Resistivitet tolkningskart Skaugum 1 : 5 000

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", her kalt Tunnelprosjektet, har NGU utført geofysiske målinger innenfor tre områder langs tunneltraseen Jong - Asker i Asker og Bærum kommuner. Hensikten med undersøkelsen var uttesting av nye teknikker i forbindelse med forundersøkelser av tunneler. De anvendte teknikker som ble benyttet var måling av 2D resistivitet og induisert polarisasjon (IP). I tillegg ble det foretatt inspeksjon med optisk televiewer, samt måling av vannets temperatur og ledningsevne, naturlig gammastråling og resistivitet i tre brønner.

2D-målingene ble utført av Einar Dalsegg fra NGU i september 2002 og i juni 2003, mens inspeksjon av brønnene ble foretatt av Harald Elvebakk fra NGU i november 2002.

Beliggenheten av de undersøkte områdene framgår av kartbilag -01.

2. BAKGRUNN OG TIDLIGERE UNDERSØKELSER

Som et ledd i forundersøkelser for jernbanetunnel Jong – Asker, er det tidligere utført en rekke geologiske undersøkelser i området.

I 1998 utførte NGU geologisk kartlegging og strukturgeologiske undersøkelser i området langs den planlagte jernbanetrase` fra Skøyen via Sandvika til Asker (Nordgulen m. fl. 1998).

I 1999 laget NGU et geologisk profil langs et nytt alternativ for jernbanetrase` mellom Asker og Sandvika (Lutro m. fl. 1999).

I 1999 fikk NGU som oppgave også å kartlegge utbredelsen av Askergruppens avsetningsbergarter i Åstaddalen (Lutro 1999).

I 1999 utførte GeoPhysix refraksjonsseismiske målinger langs deler av jernbanetraseen (Paulsson 1999)

I 2001 fikk NGU som oppgave å vurdere geologiske forhold langs en delstrekning på ca 1.5 km av planlagt jernbanetunnel i området Lagerudbekken - Åstaddalen (Lutro og Nordgulen 2001).

Det er boret 5 kjerneborehull langs strekningen Jong – Asker.

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De undersøkelsene som ble foretatt på bakken var måling av 2D resistivitet og induisert polarisasjon (IP). To brønner boret som en del av prosjektet og en eldre vannbrønn ble målt med følgende metoder, optisk televiewer (OPTV) , temperatur-, ledningsevne-, naturlig gammalogg og resistivitetsmåling (fjellresistivitet). I tillegg ble borehullsforløpet (avviket) langs hele hullet målt. Til slutt ble brønnen prøvepumpet samtidig som vertikal vannstrømning ble målt. Borehull 3 ved Staverhagan ble også målt med induisert polarisasjon

(IP) for å se om påvist lav resistivitet i borehullet og de grunnere partier ved Lagerudbekken skyldes sulfidmineraliseringer eller ikke.

3.1 Bakkegeofysikk

3.1.1 2D Resistivitet og induisert 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 som styres av et ABEM Terrameter SAS 4000 (ABEM 1999). Ved denne undersøkelsen ble det for det meste benyttet fire kabler på 200 meter hver, mens enkelte profiler ble målt med bare to kabler (400 m). 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. 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 det benyttet elektrodekonfigurasjonene Wenner og Dipol/Dipol.

I tillegg til måling av resistivitet ble det også målt induisert polarisasjon (IP) på 3 av profilene. Dette gjøres samtidig med resistivitetmålingene 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 med ca. 50 %. 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

Ved Billingstad - Åstad (profil 1) varierte strømstyrken i første halvdel av profilet i det vesentligste mellom 50 og 100 mA, mens den andre halvdel hadde strømstyrker i området 100 og 200 mA. Datakvaliteten var for profilet som helhet meget god, men i starten av profilet var måledata noe dårligere og en del måledata ble fjernet. Dette gjaldt spesielt for de lengste elektrodeavstandene.

Ved Lagerudbekken (profil 2) varierte strømstyrken mellom 100 og 200 mA. Datakvaliteten var for resistivitetmålingene meget gode og kun noen få måledata er fjernet. For IP-målingene derimot var det ca 1/3 av måledata som ikke hadde akseptabelt signal/støyforhold. Det at så stor andel av måledata måtte fjernes gjør at resultatene fra IP-målingene ikke er presentert.

Ved Skaugum (profil 3, 4 og 5) lå strømstyrken for så å si alle målingene i området 200 mA. Datakvaliteten var meget god både for resistivitet og IP 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 Borehullslogging

På grunnlag av 2D resistivetsprofilering langs tunneltraseen Asker – Jong, ble det boret 2 brønner med lengde 120m, diameter 140mm og fall 30° fra lodd. Begge brønnene ble boret i indikerte lavmotstandssoner. Lav motstand i berggrunnen kan indikere oppsprukket, porøst fjell, gjerne med høyt vanninnhold. En brønn ble boret ved Skaugum, og en ved Åstad gård. I disse brønnene er det gjort borehullslogging. I tillegg ble en tidligere boret brønn (vannforsyning) ved Staverhagan logget. Dette var et loddhull som sto midt i tunneltraseen. Her var en spesielt interessert i å kartlegge tykkelsen av lavabergartene, Askergruppen og de kambrosiluriske skifrene.

3.2.1 Optisk televiewer

Metodebeskrivelse for optisk televiewer er lagt ved i tekstbilag 1. Med optisk televiewer filmes hele borehullsveggen. Fra bildelaggen kartlegges alle sprekker og geologiske strukturer. Strøketning og fallvinkel til sprekkplan beregnes og det utarbeides statistikk på alle indikerte sprekker i form av stereoplott og sprekkistogrammer (sprekkefrekvens). I vannfylte hull kreves klart vann med godt sikt for å få tolkbare bilder. Sonden senkes med en maksimal hastighet 1 meter pr. minutt, og for hver millimeter gjøres en registrering. Det kan samples 360 eller 720 punkter sirkelen rundt, og i vanlige fjellbrønner gir dette en pikselstørrelse på ca. 1mm x 1 mm. Alle tre hull ble logget med OPTV. Ved Skaugum og Åstad var sikten i vann for dårlig, og brønnene måtte logges om igjen på et senere tidspunkt da vannet var klarnet.

3.2.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gamma

Metodebeskrivelse er lagt ved i tekstbilag 2. Vannets temperatur og elektriske ledningsevne blir logget kontinuerlig langs den vannfylte delen av borehullene. Tydelige endringer i disse parametre kan indikere vanninnstrømming i borehullet. Gammalogg (naturlig totalstråling)

avspeiler geologien og den mineralske sammensetningen i bergartene. Det er i hovedsak kalium, uran og thorium som gir gammastråling. Mest vanlig er kalium som finnes i feltspat. Bergartsgrenser kan ofte bestemmes ut fra en slik logg. Målehastighet er 3 m/min og målepunktavstand er 1 cm.

3.2.3 Berggrunnens resistivitet

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

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

3.2.4 Strømningsmåling

Metodebeskrivelse for strømningsmåling er vist i tekstbilag 3. Ved å gjøre strømningsmåling sammen med pumping kan en lokalisere vannførende sprekker samt kvantifisere vannstrømmen fra disse sprekken. Pumpemengden bør tilpasses brønnens kapasitet.

3.2.5 Avviksmåling

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

3.2.6 Indusert polarisasjon IP

De grunne partier av bakkeprofilen ved Lagerudbekken og borehullsmålingene i Bh 3 viste meget lave resistivitetsverdier. For å sjekke om disse lave verdiene skyldes sulfidmineraliseringer ble det utført målinger av indusert polarisasjon (IP) i borehullet.

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". Målepuntavstanden 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 8) er produsert med Robust Inversjon. Det er tatt hensyn til topografien under inversjonen, noe som avspeiles i varierende dybderekkevidde.

4.1.1 Billingsstad – Åstad

De inverterte resistivitetsdata for dette området er vist på figurene 1 og 2. Figur 1 viser profil 1 målt med Wenner- konfigurasjon. Som en test ble de første 400 meterne av profilet også målt med Dipol/Dipol-konfigurasjon (figur 2). Kartbilag -02 viser de tolkede resistivitetsdata, med skille på om de påviste partier med lav resistivitet går ned i tunnelnivå eller ikke.

I starten av profilet ble det gjort forsøk på å måle induisert polarisasjon (IP). Måledata ble imidlertid beheftet med så mye støy at dette ble utelatt for resten av profilet. Av samme grunn er ikke de måledata en fikk presentert.

Som figur 1 viser, ligger det generelle resistivitetsnivået langs profilet i området 500 til 700 ohmmeter, med hovedvekt på de nedre deler av dette området. Det er to områder som kommer fram med spesielt lav resistivitet i tunnelnivå. Et område mellom koordinat 150 og 450 og et område fra koordinat 750 og ut profilet. Den lave resistiviteten indikerer at det trolig er større oppsprekking i disse områdene. De øvre deler i starten av profilet indikerer partier med meget lav resistivitet. I følge det geologiske kartet (Lutro og Nordgulen 2001), går profilet her i Askergruppens sandsteiner. Disse kan inneholde et betydelig innslag av sulfider, noe som bekreftes av IP-målingene i borehull 3 ved Staverhagan (figur 21). Det er derfor grunn til å anta at den lave resistiviteten i starten av profilet skyldes at Askergruppens sandsteiner også her inneholder sulfider.

Som kartbilag -02 viser, er det også påvist svakhetssoner ved de seismiske undersøkelsene i dette området (Paulsson 1999). Disse ligger innenfor de to områdene med lav resistivitet ned i tunnelnivå, men kommer ikke fram som markerte soner på resistivitetmålingene.

Borehull 2 er boret i lavresistivetsområdet ved koordinat 900, og borehullsdata viser tilnærmet samme lave resistiviteten som ved bakkemålingene (figur 33).

Målingene med Dipol/Dipol i starten av profil 1 (figur 2) viser i store trekk de samme resistivitetsnivåer langs det målte området som for målingene med Wenner-konfigurasjon. Denne metoden er vesentlig mer følsom for støy og spesielt for de lengste elektrodeavstandene var det nødvendig å fjerne en del måledata før inversjon. Det at en del måledata måtte fjernes, kan være årsaken til de forskjeller som finnes mellom de to måle metodene. Ut fra dette må Wenner-data betraktes som det beste bildet av resistiviteten.

4.1.2 Lagerudbekken

De inverterte resistivitetsdata for dette området (profil 2) er vist på figurene 3 og 4. Figur 3 viser profilet målt med Wenner- konfigurasjon, og som en test ble det også her målt med Dipol/Dipol-konfigurasjon (figur 4). De tolkede resistivitetsdata er vist i kartbilag -03.

Det ble også målt induert polarisasjon (IP). Måledata viste seg å inneholde så mye støy at de ikke er presentert.

Begge måle metodene viser at den grunne delen av profilet har meget lav resistivitet (<300ohm), for så å ha en tilnærmet overflateparallel grense til et lag med høyere resistivitet. Seismikken i området indikerer løsmassetykkelser opp til 12 meter, og den lave resistiviteten i toppen av profilet skyldes løsmassene. Målingene indikerer videre horisontal lagdeling noe som stemmer bra med den geologiske tolkningen i dette området. Bergartene her består av Askergruppens sandsteiner med en tilnærmet horisontal grense til de underliggende kambrosilurske kalksteiner (Lutro og Nordgulen 2001). Askergruppens sandsteiner kan inneholde et betydelig innslag av sulfider, noe som stemmer godt med den lave resistiviteten i den øvre delen av profilet. Dette bekreftes av IP-målingene i borehull 3 ved Staverhagan som viste samsvar mellom lav resistivitet i IP i borehullet (figur 21). Dette indikerer at den lave resistiviteten i de grunnere partier av berggrunnen skyldes at Askergruppens sandsteiner inneholder sulfider.

Målingene viser at grensen mellom Askergruppens sandstein og underliggende kambrosilurisk kalkstein ligger noe dypere enn tidligere antatt.

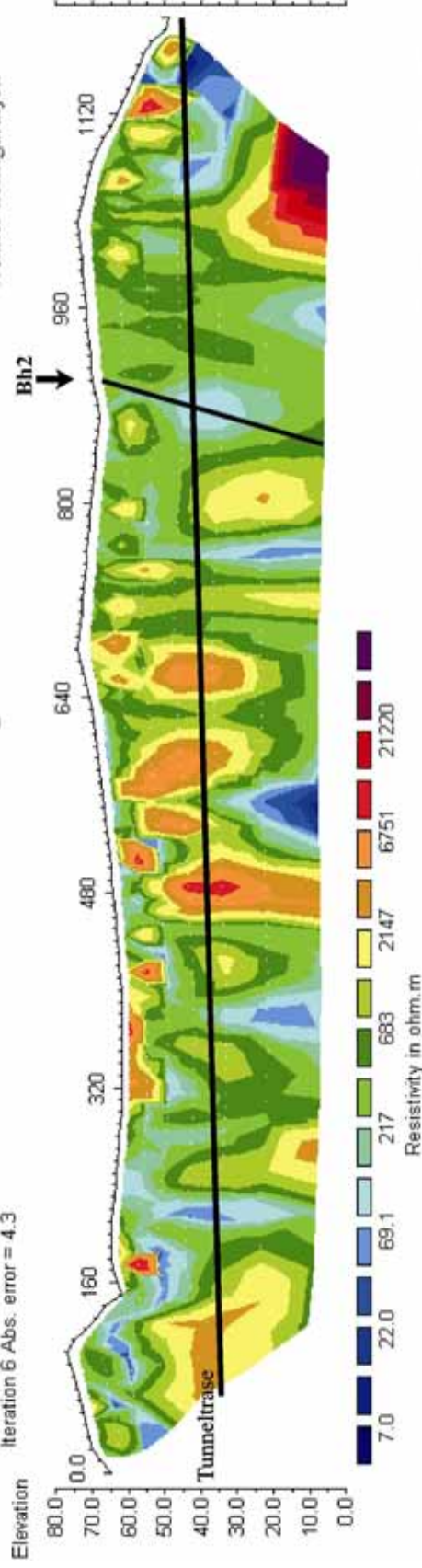
Dipol/Dipol- målingene viser større variasjoner i resistiviteten i den nedre delen av profilet, noe som kan skyldes partier med større oppsprekking. Ved koordinat 240 indikeres en lavresistivitetssone, som faller sammen med krysningspunktet for de to kartlagte svakhetssonene i området. Selv om det ikke er like markert viser også Wenner-målingene en sone med lavere resistivitet i dette området (koordinat 260). Det at sonene ikke har samsvarende posisjon for de to metodene, kan skyldes at svakhetssonen ligger skrått i forhold til profilet. Dette kan gi noe forskjellig resultat ved ulike elektrodekonfigurasjoner.

I likhet med Dipol/Dipol-målingene ved Billingstad, måtte en også her fjerne en del måledata før inversjon på grunn av støy. Dette gjør at det hefter større usikkerhet ved tolkningen av disse måledata en for Wenner-målingene.

Figur 1. Modellert resistivitet, Profil 1
Wenner-konfigurasjon

Profil 1 Billingstad - Åstad

Model resistivity with topography
Iteration 6 Abs. error = 4.3



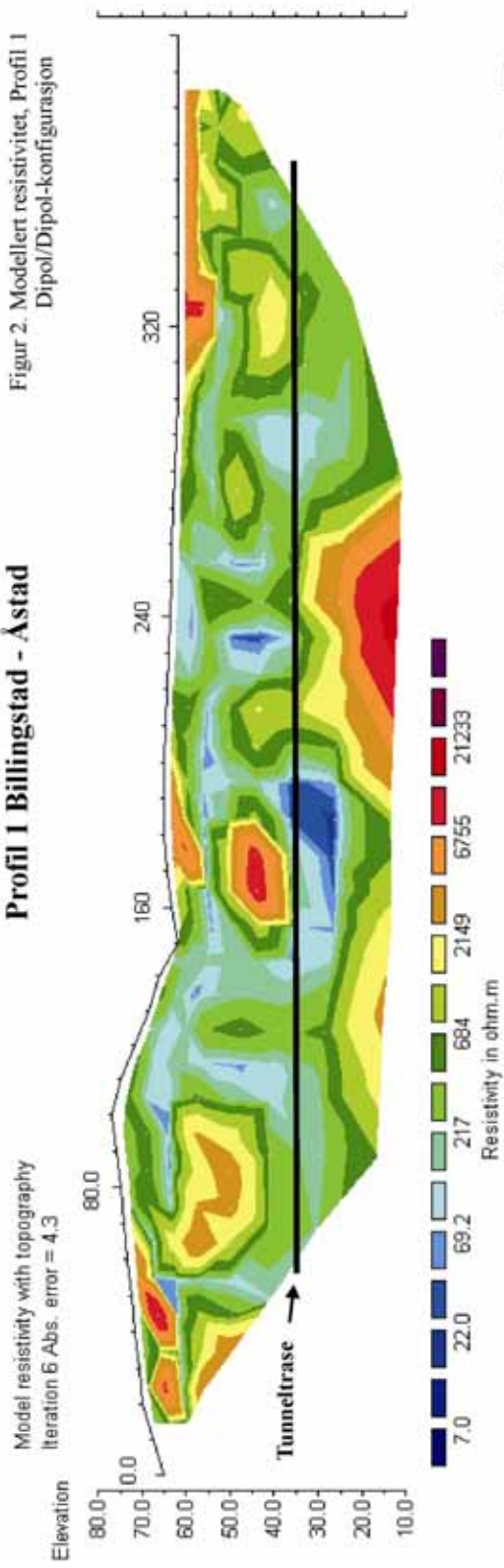
Resistivity in ohm.m

Unit Electrode Spacing = 10.0 m.

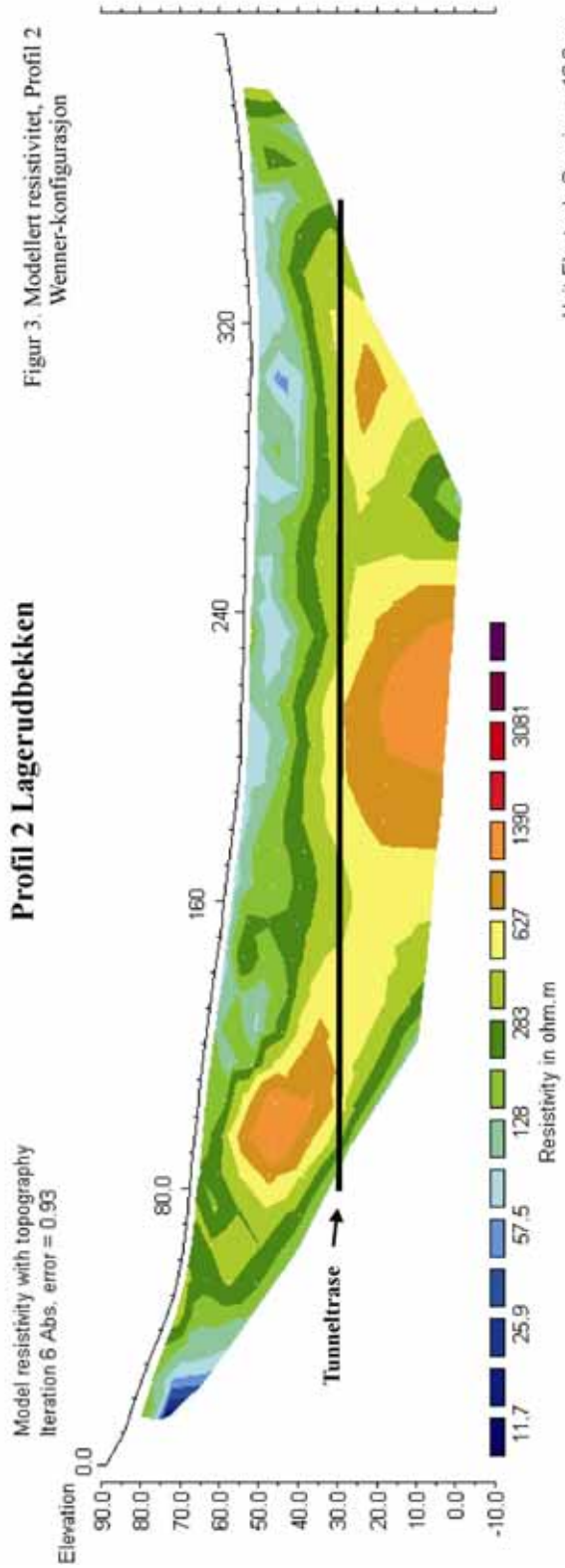
Horizontal scale is 7.86 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 3.13
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1200.0 m.

Profil 1 Billingstad - Åstad

Figur 2. Modellert resistivitet, Profil 1
Dipol/Dipol-konfigurasjon

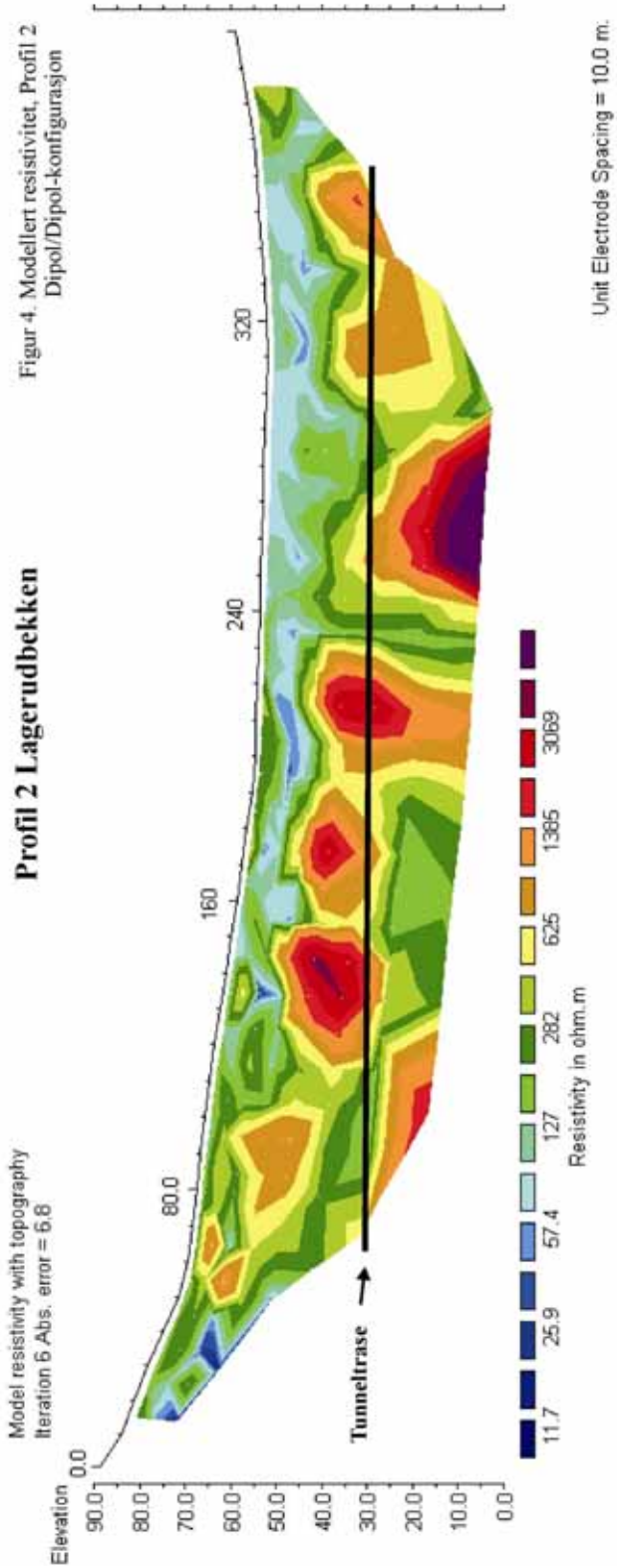


Horizontal scale is 23.58 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.21
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 400.0 m.



Figur 3. Modellert resistivitet, Profil 2
Wenner-konfigurasjon

Horizontal scale is 23.30 pixels per unit spacing
 Vertical exaggeration in model section display = 1.09
 First electrode is located at 0.0 m.
 Last electrode is located at 400.0 m.



Figur 4. Modellert resistivitet, Profil 2
Dipol/Dipol-konfigurasjon

4.1.3 Skaugum

De inverterte resistivitet- og IP-data for dette området er vist på figurene 5, 6, 7 og 8. Figur 5 viser profil 3 med 400 meters utlegg (2 kabler) som gir en redusert dybderekkevidde på ca. 60 meter. Figur 6 viser samme profil med 800 meters utlegg (4 kabler), noe som gir full dybderekkevidde. Figur 7 viser profil 4 med 400 meters utlegg, og figur 8 viser profil 5 med 800 meters utlegg. Kartbilag –04 viser de tolkede resistivitetsdata.

Figur 5 viser at det i et generelt resistivitetsnivå på 1000 til 4000 ohmm er en markert sone med resistivitet helt nede på 20 ohmm. Denne resistiviteten er meget lav til sprekkesone å være, og det er grunn til å anta at sonen har en betydelig oppsprekking, eventuelt har bidrag til lav resistivitet fra mineralogien.

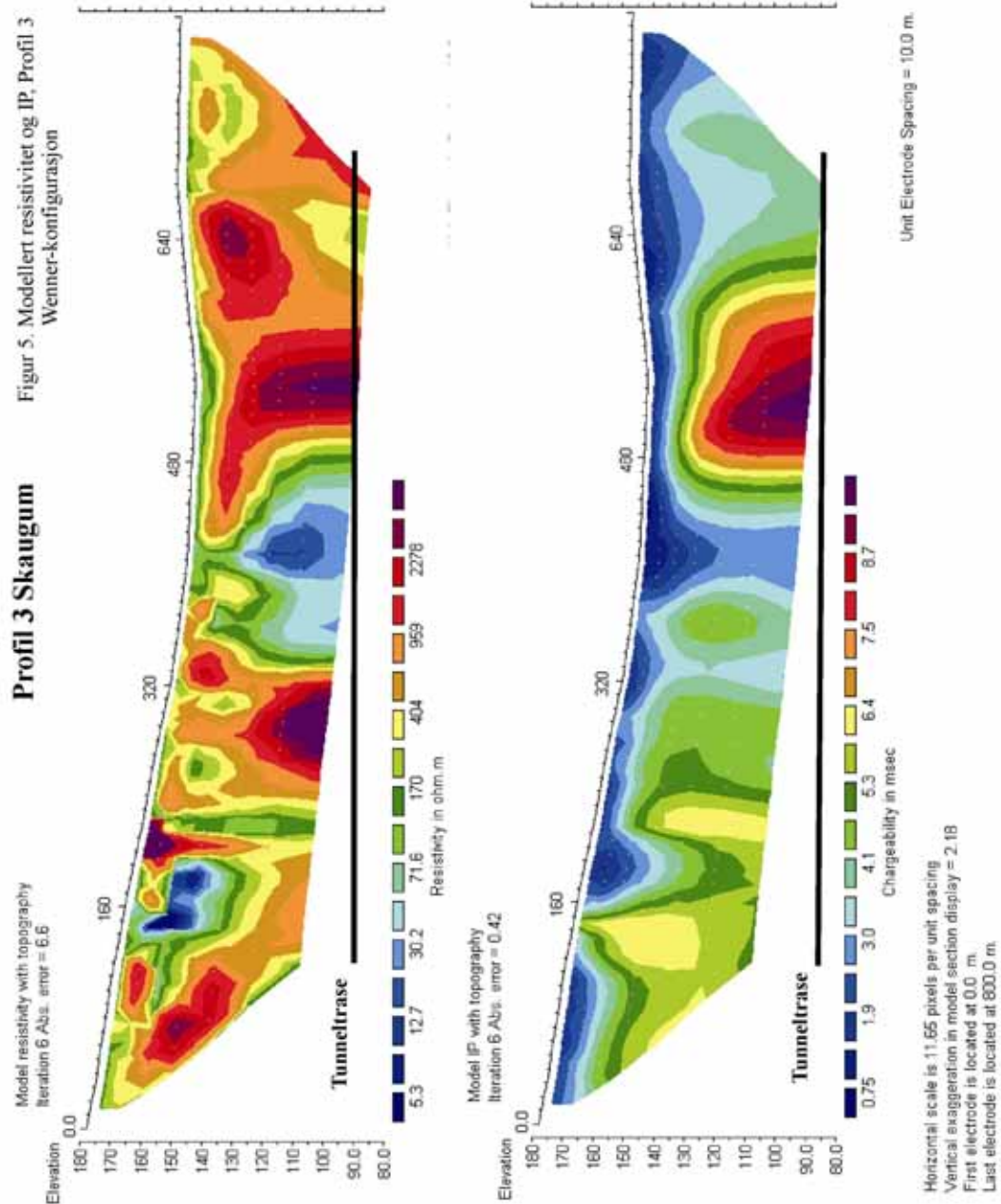
Målingene med full dybderekkevidde på samme profilet (figur 6), indikerer at lavresistivitetssonen har en begrenset dybderekkevidde. Her indikeres at sonen stopper like under tunnelnivået og at de dypere deler av profilet har en generell resistivitet fra 1000 til 5000 ohmm.

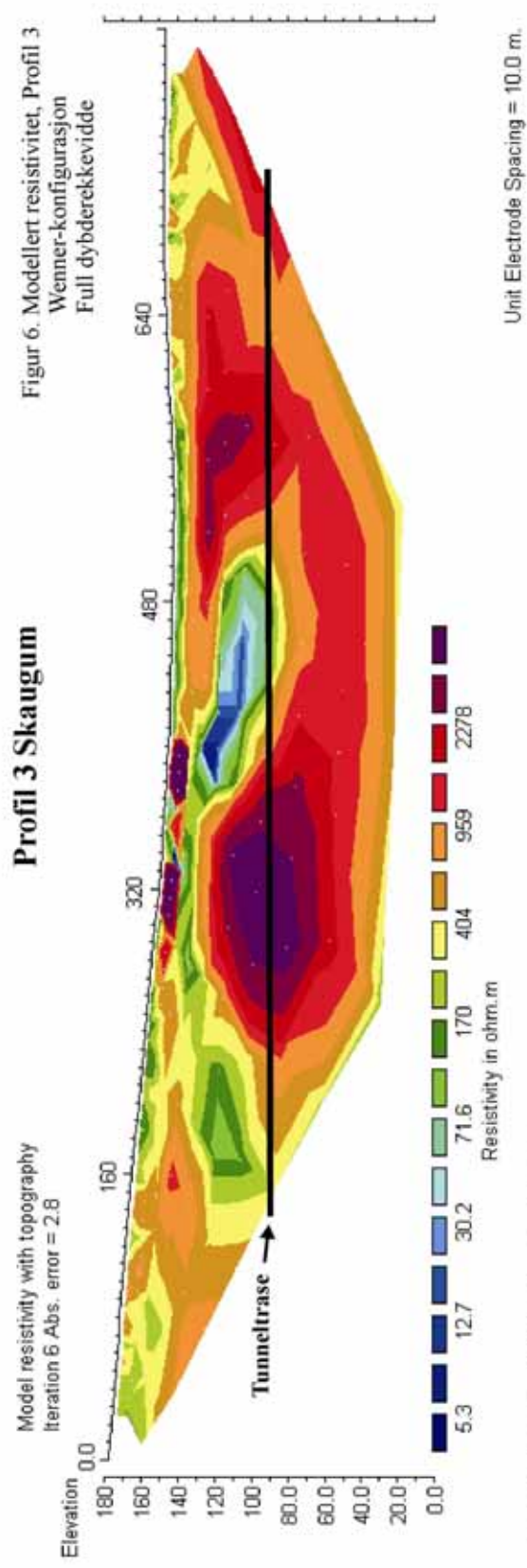
Profil 4 som er målt på tvers av profil 3 indikerer også en markert sone med meget lav resistivitet. Sonen ligger ca. 100 meter tilside for tunneltraseen og faller sammen med sonen som er påvist på profil 3. Borehull 1 er påsatt midt i denne sonen og resistivitetmålingene i borehullet viser noe høyere resistivitetsverdier enn ved bakkemålingene (figur 21). Hva denne forskjellen i resistivitet skyldes er uklart, men tekniske anlegg i nærheten av profilene kan være årsaken til at resistiviteten er lavere ved bakkemålingene. Tunneltraseen krysser dette profilet, og som måledata viser skjer dette i et område med høy resistivitet.

For å se om den markerte lavresistivitetssonen krysset tunneltraseen ble det i forbindelse med annet arbeide i området målt et nytt profil (profil 5) som ligger rett over tunneltraseen. Som figur 8 viser indikerer målingene her en meget markert lavresistivitetssone som krysser tunneltraseen i en bredde på 80 meter fra koordinat 540 til 620. I motsetning til profil 3 viser målingene her at sonen fortsetter mot dypet.

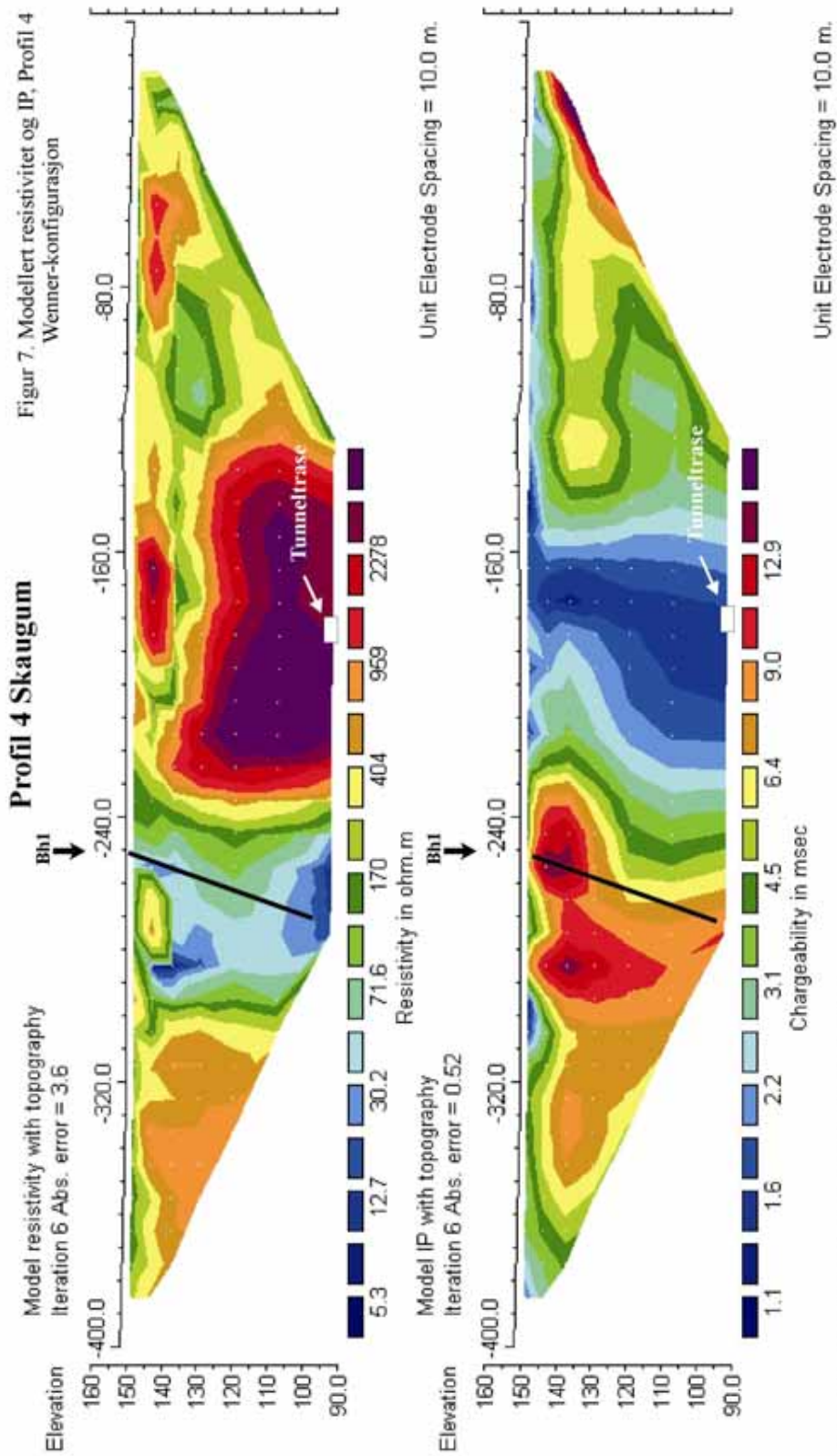
Det er også utført seismiske målinger i dette området (Paulsson 1999). Det ene av de to profilene som er målt faller sammen med profil 4 fra koordinat 70 til 250. De seismiske målingene indikerer to svakhetssoner ved koordinat 90 og 115. I likhet med profil 1 kommer ikke svakhetssonene fram som markerte soner ved resistivitetmålingene, men også her ligger de inne i et lavresistivitetsområde.

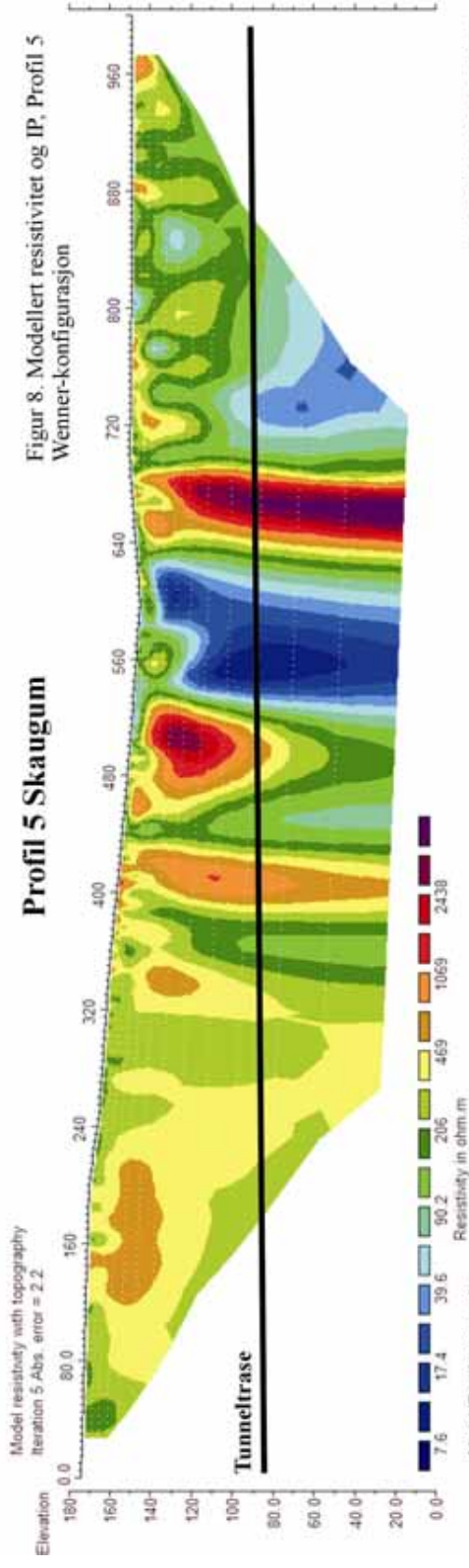
Som en test ble det på alle tre profilene også målt IP, og måledata er vist nederst på figurene 5, 7 og 8. Selv om målingene viser klare variasjoner i IP-nivået langs profilene, er det ingen korrelasjon mellom resistivitet- og IP-målingene når det gjelder sprekkesonene.



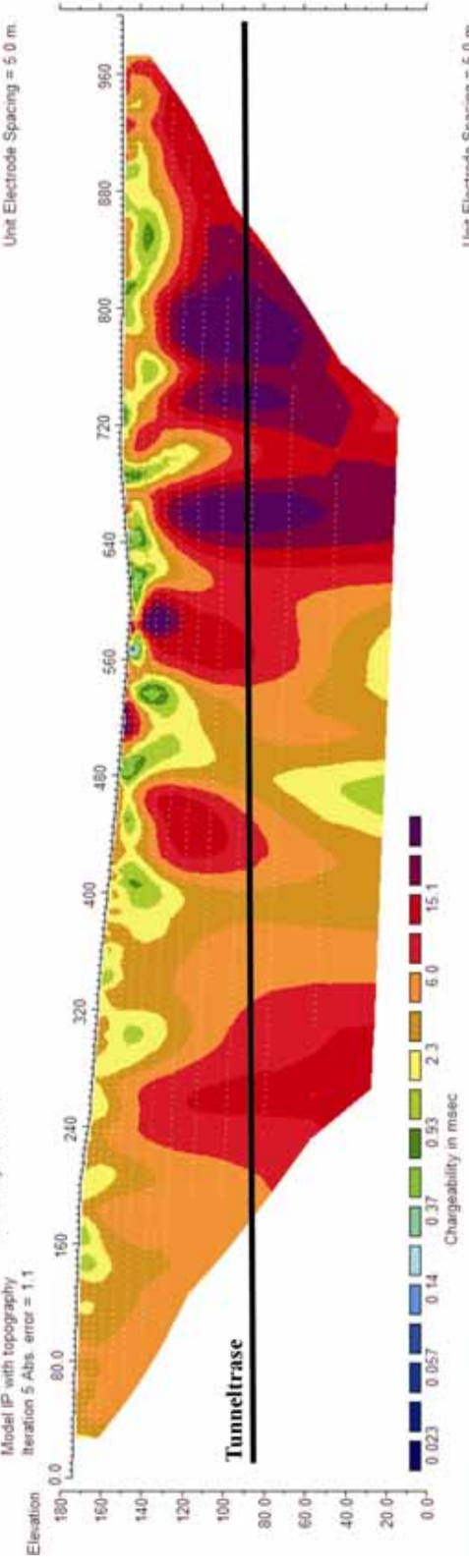


Figur 6. Modellert resistivitet, Profil 3
Wenner-konfigurasjon
Full dybderekkevidde





Figur 8. Modellert resistivitet og IP, Profil 5
Wenner-konfigurasjon



Horizontal scale is 5.99 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.44
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 1000.0 m.

4.2 Optisk televiewer

På grunnlag av resistivitetmålingene ble det besluttet å bore to brønner, en ved Skaugum (Bh 1, se kartbilag –04) og en ved Åstad (Bh 2, se kartbilag –02). Ved Staverhagan ble en eldre vannbrønn gjort tilgjengelig for prosjektet (Bh 3, se kartbilag –03).

Resultatene fra inspeksjon med optisk televiewer i de tre 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 2003.006.01).

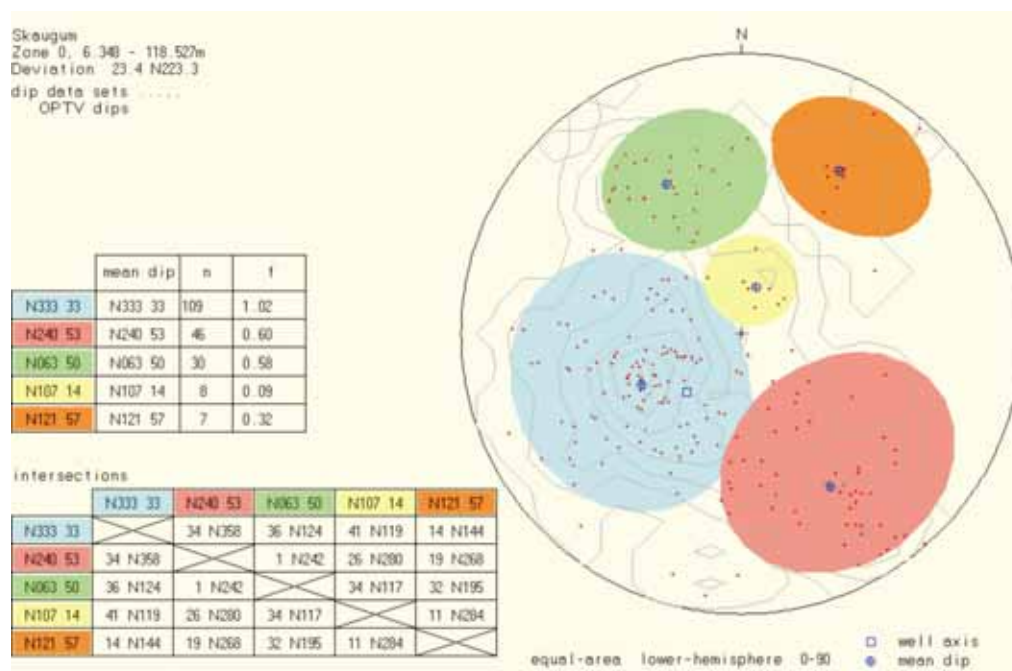
Loggen viser borehullsveggen brettet ut og orientert fra nord til nord. Det er benyttet en oppløsning på 720 pixler, dvs. hele sirkelen rundt borehullet er delt inn i 720 deler. Dette gir en pixelstørrelse på ca 1 x 1 mm. Sprekker og geologiske bånd som skjærer borehullet i en vinkel større enn null 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 bildelogg av utvalgte deler av borehullet som er representative for de bergarter og strukturer som er tilstede. Eksempler på tolket logg vises også.

4.2.1 Skaugum

Figur 9 viser stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker i Bh Skaugum indikert med OPTV. 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 Skaugum er NNV-SSØ. Gjennomsnittlig strøk og fall er N333 33, med fallretning mot ØNØ. Over halvparten av de indikerte sprekkenes tilhører denne gruppen. Fallretning = strøkretning + 90°.



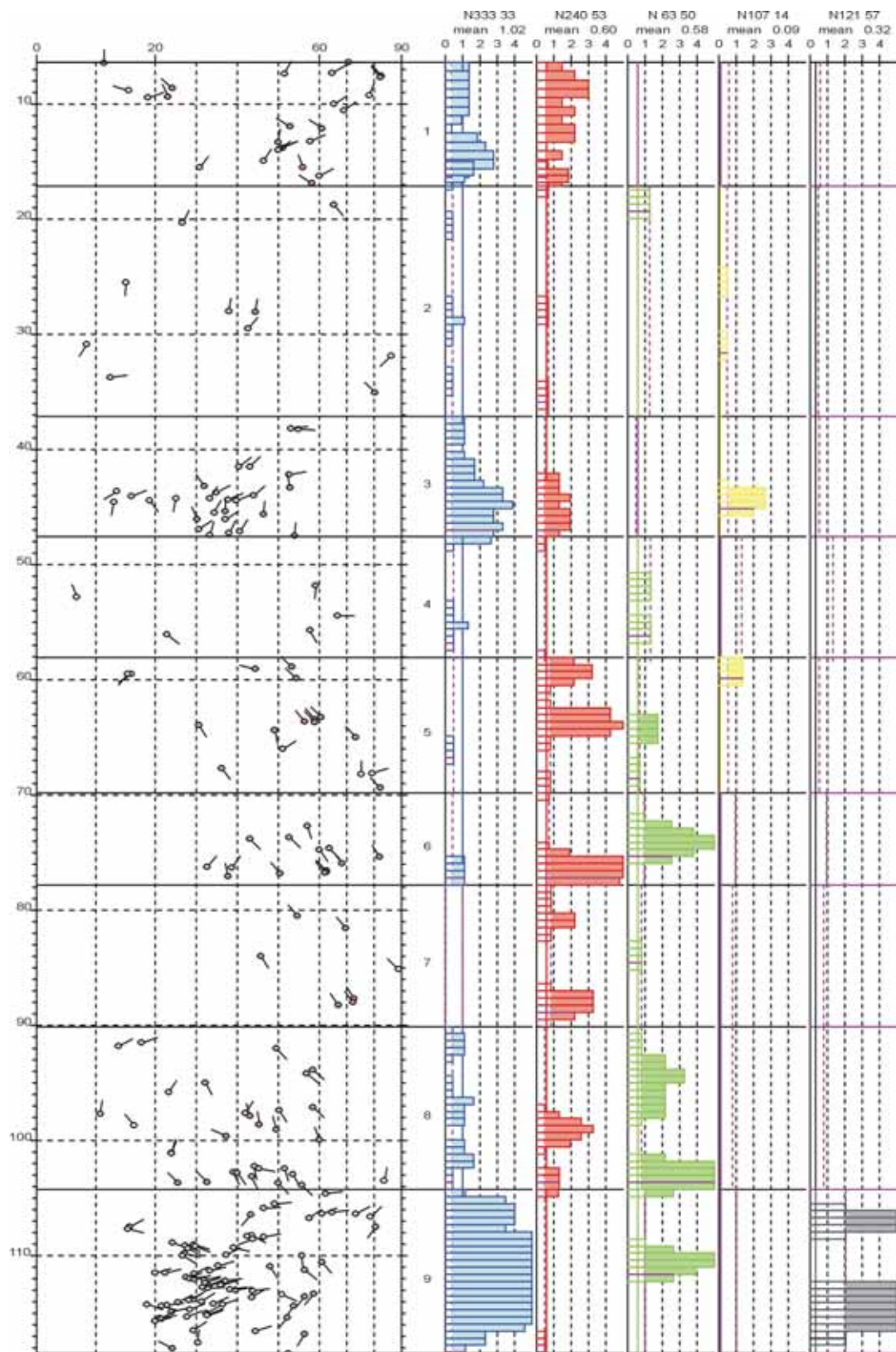
Figur 9. Skaugum. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.

Sprekkefrekvensen er presentert som frekvenshistogrammer langs borehullet. 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.

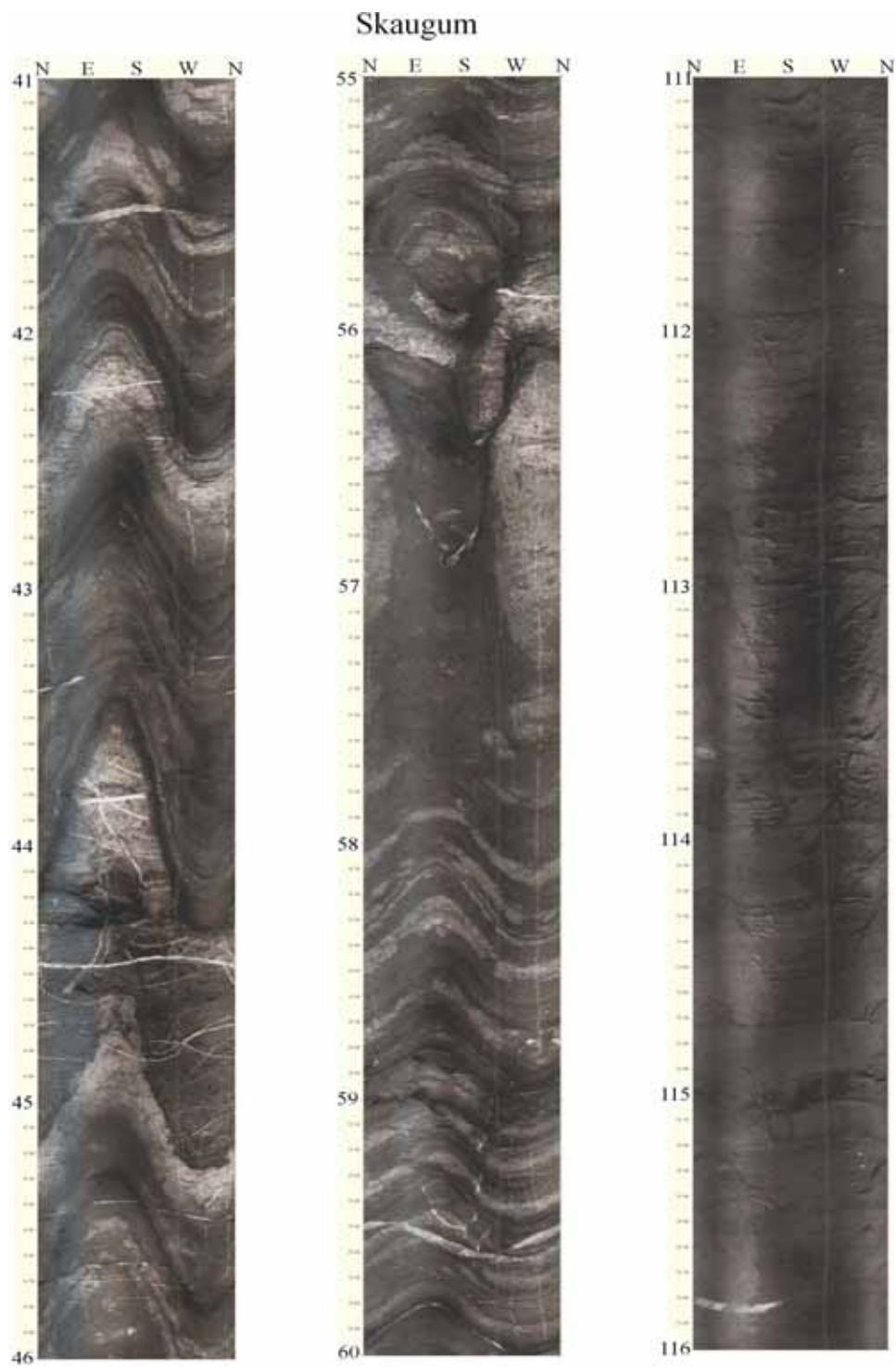
Figur 10 viser frekvenshistogrammer for borehullet ved Skaugum. Frekvenshistogrammene (rød, blå, grønn og gul) viser beregnet sprekkfrekvens i definerte soner, og viser dermed detaljert hvordan oppsprekningen er i hullet. Alle sprekker er angitt i "pilplott" der pilens hode angir fallet, mens halen angir 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. Nedenfor gis en kort beskrivelse av oppsprekningen i borehullet.

Borehullet er mest oppsprukket under 100 m. Gjennomsnittlig sprekkfrekvens i sone 9, 104 – 119 m, (databilag 2) er 4.6 sprekker/meter for sprekker tilhørende den mest dominerende sprekkeretningen. Loggen viser intens oppsprekking i dette området. Oppsprekningen er knyttet til en mørk bergart, trolig en basisk diabasgang (105 – 117 m) som gjennomskjærer kalkbergartene (kambrosilur). Hullet er ellers moderat oppsprukket med en viss økning i sprekkfrekvensen ved 7 – 17 m, 39 – 48 m, 73 – 77 m og 93 – 104 m. Åpne sprekker er observert ved 28 m, 44.2 m og 59 m. Se ellers kapittel 4.5 om strømningsmåling og vannførende sprekker.

Figur 11 viser bildelogg fra tre utvalgte seksjoner av borehullet, 41 – 46 m, 55 – 60 m og 111-116 m. De to øverste seksjonene viser kambrosilurbergarter (kalkstein, skifer), mens den nederste viser utdrag fra den mørke diabasgangen med sterk oppsprekking. Åpne sprekker indikeres ved 44.3 m og 56.2 m.

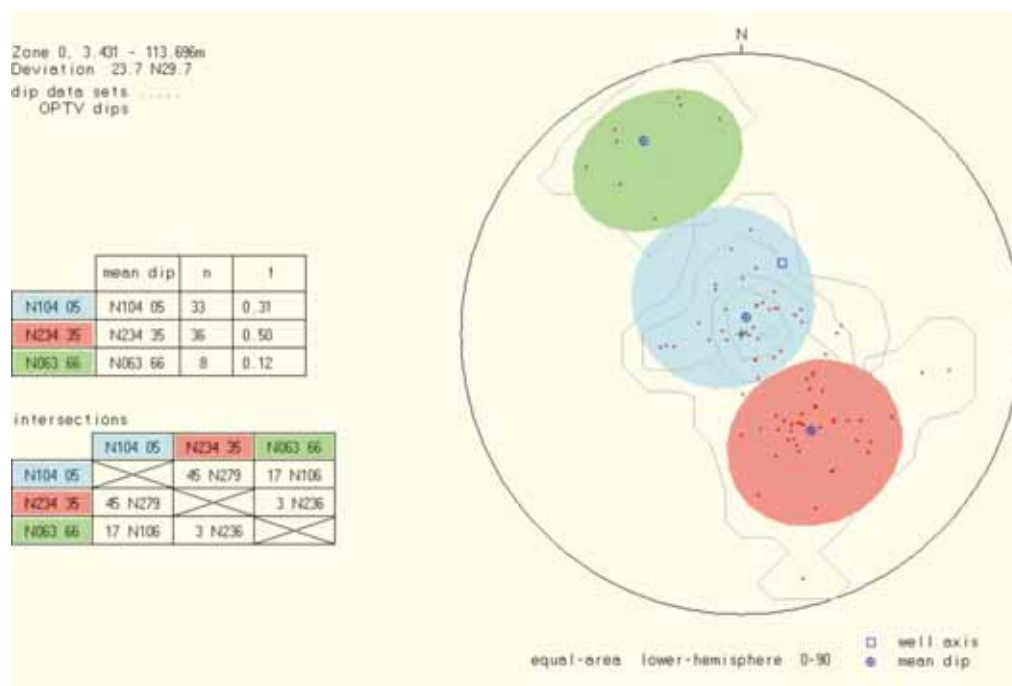


Figur 10. Bh 1, Skaugum. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



Figur 11. Bh 1, Skaugum. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 41–46 m, 55–60 m, 111-116 m.

4.2.2 Åstad



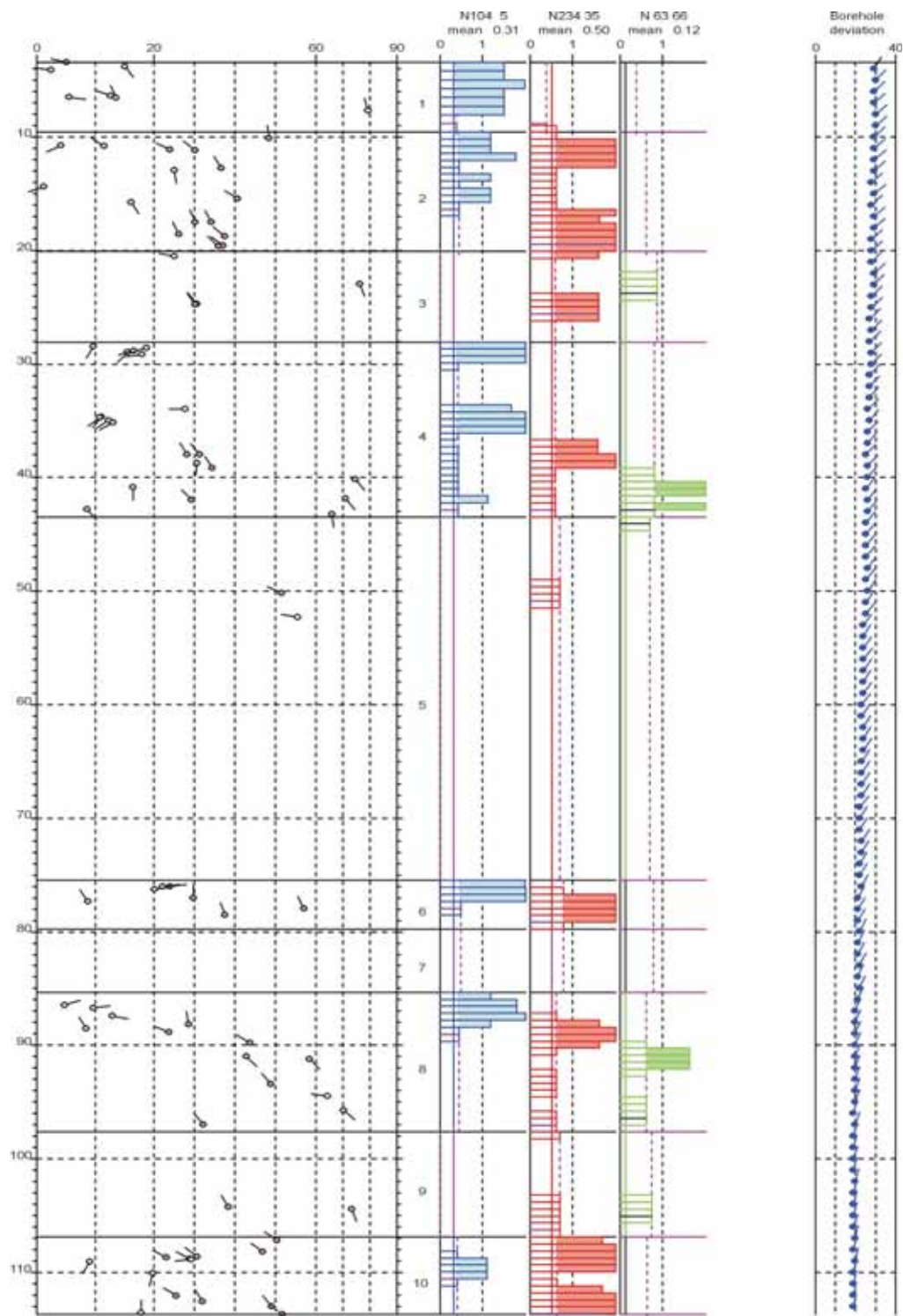
Figur 12. Bh 2, Åstad. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.

Figur 12 viser stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet ved Åstad. Hele borehullet går i kalkstein/skifre (kambrosilur) og har 30 ° helning fra lodd. To sprekkeretninger skiller seg ut, N104 05 og N234 35.

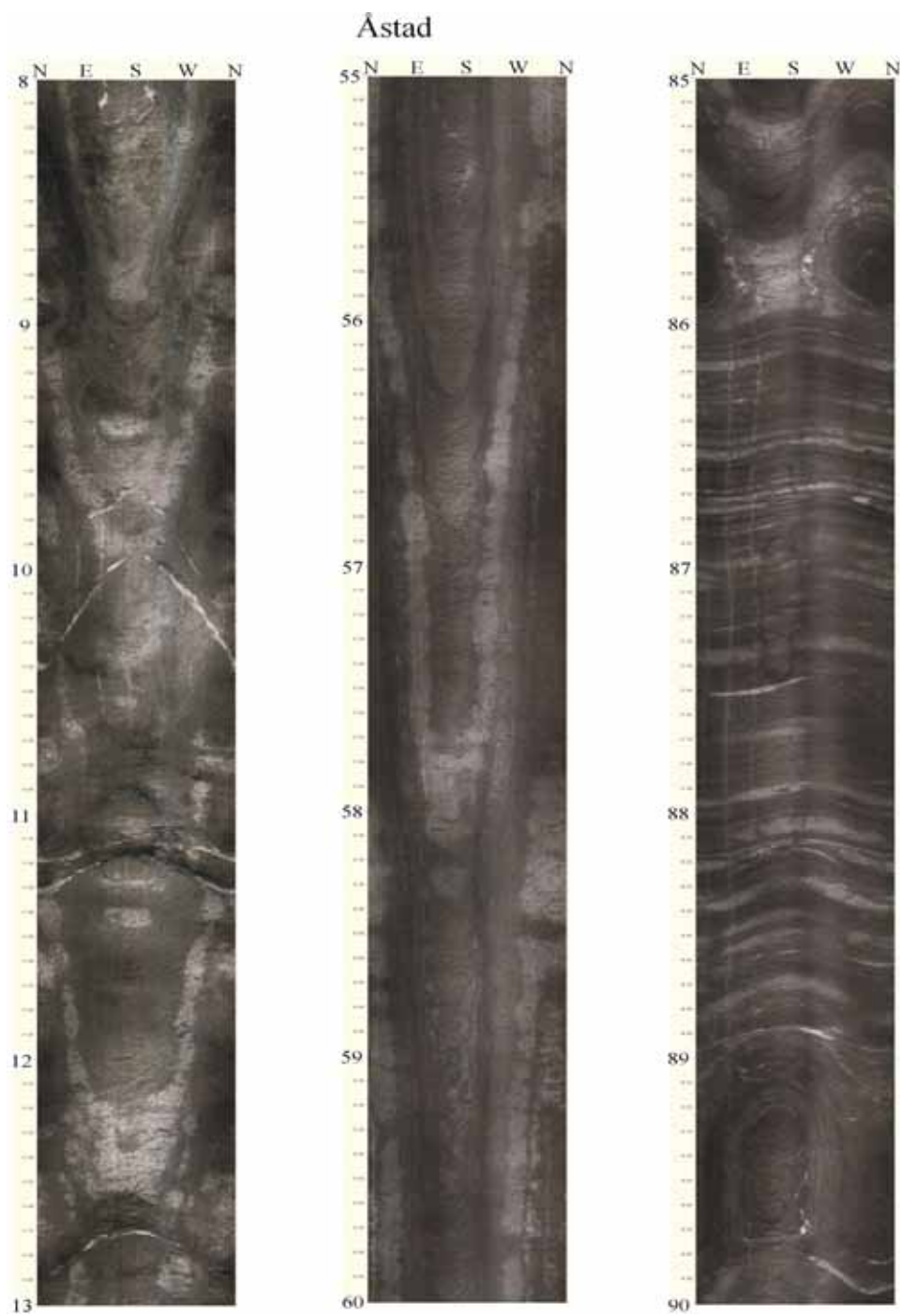
Figur 13 viser frekvenshistogram for Bh 2 Åstad med inndeling av hullet i sprekkesoner. Hullet er lite til moderat oppsprukket fra 0 – 43 m og 75 – 115 m. I partiet mellom 43 og 75 m er det kun registrert to sprekker. Størst sprekkfrekvens er beregnet nederst i hullet, sone 10, med 2 sprekker/meter.

Over 20 m, sone 1, er sprekkfrekvensen 1.2 og 1.5 sprekker/meter for de to hovedsprekkeretningene, se over.

Figur 14 viser bildelogg av utvalgte seksjoner av borehullet, 8 – 13 m, 55 – 60 m og 85 – 90 m. Ved 11 m dyp er det observert en åpen sprekk. På bildeloggen ser en ellers at hullet er boret nesten parallelt eller i liten vinkel med lagdelingen, mellom 55 og 60 meter, dvs. lagene har et fall på ca 60 °. I et område fra ca 86 m, står lagene nesten vinkelrett borehullet hvilket betyr et fall på ca 30 °. Dette indikerer intens folding av bergartene i dette området.



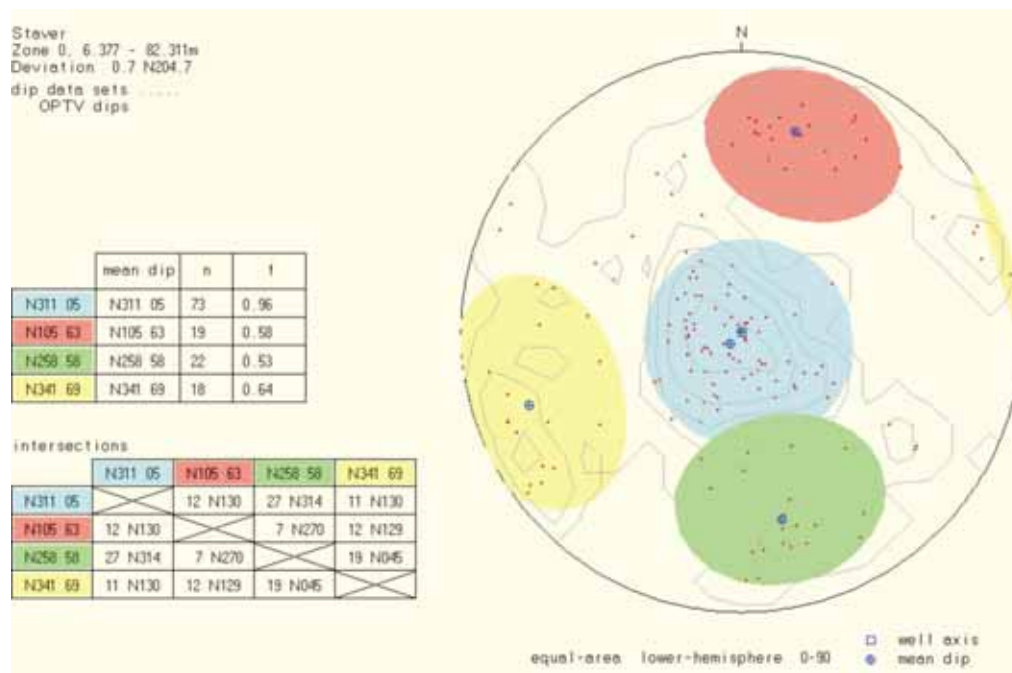
Figur 13. Bh 2, Åstad. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



Figur 14. Bh 2, Åstad. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 8-13 m, 55-60 m, 85-90 m.

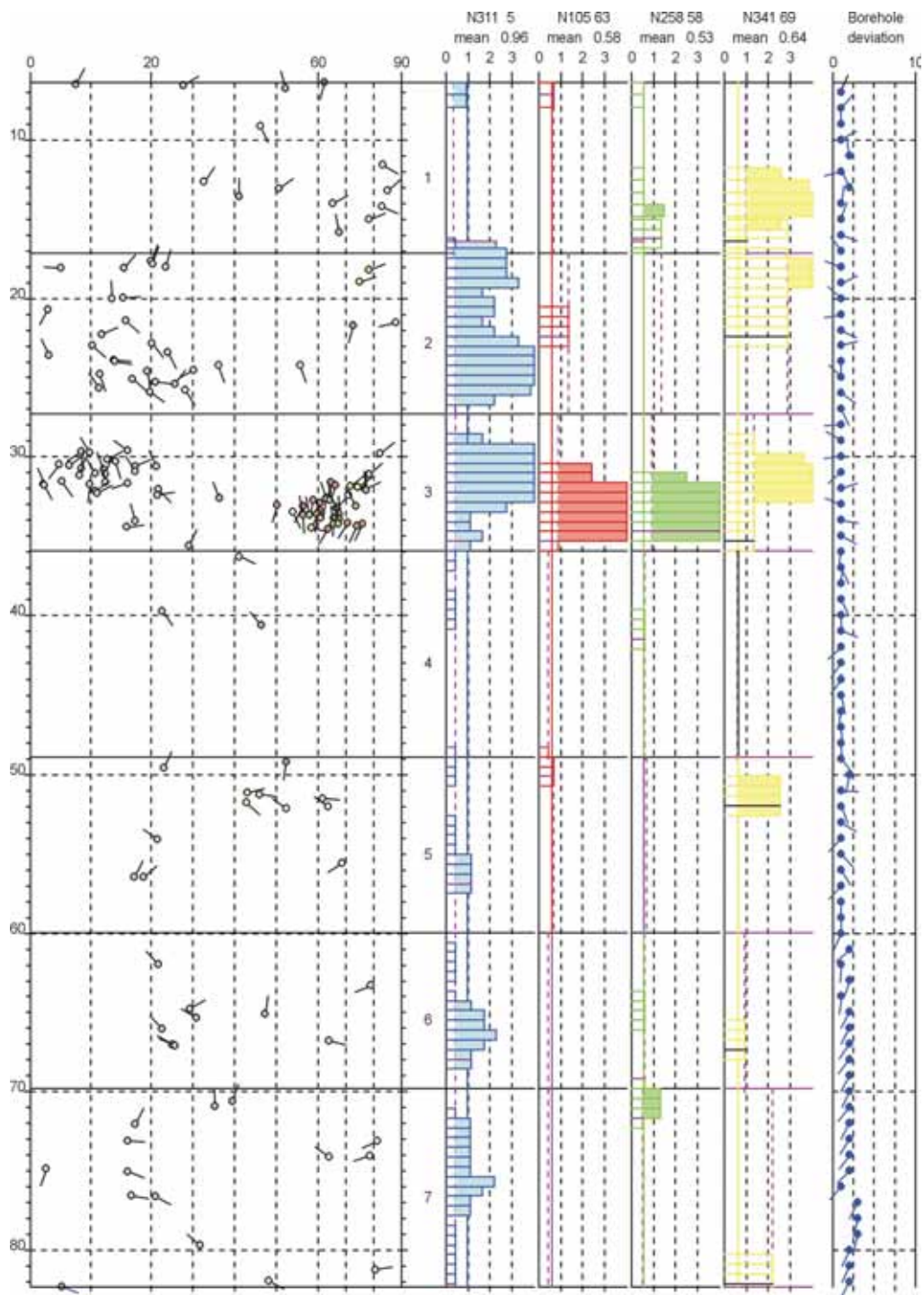
4.2.3 Staverhagan

Borehullet på Staverhagan 15A var tidligere benyttet til vannforsyning. Hullet var ca 90 m dypt, loddhull med en diameter på 4". Hullet står midt i tunneltraseen og var særdeles viktig med hensyn på å kartlegge de geologiske formasjonene. Spesielt viktig var det å kartlegge Askergruppens tykkelse og på hvilket dyp den opptrådte i borehullet. Askergruppens skiferbergarter er kjent for at de forvitrer lett og kan by på problemer ved tunnelarbeider.

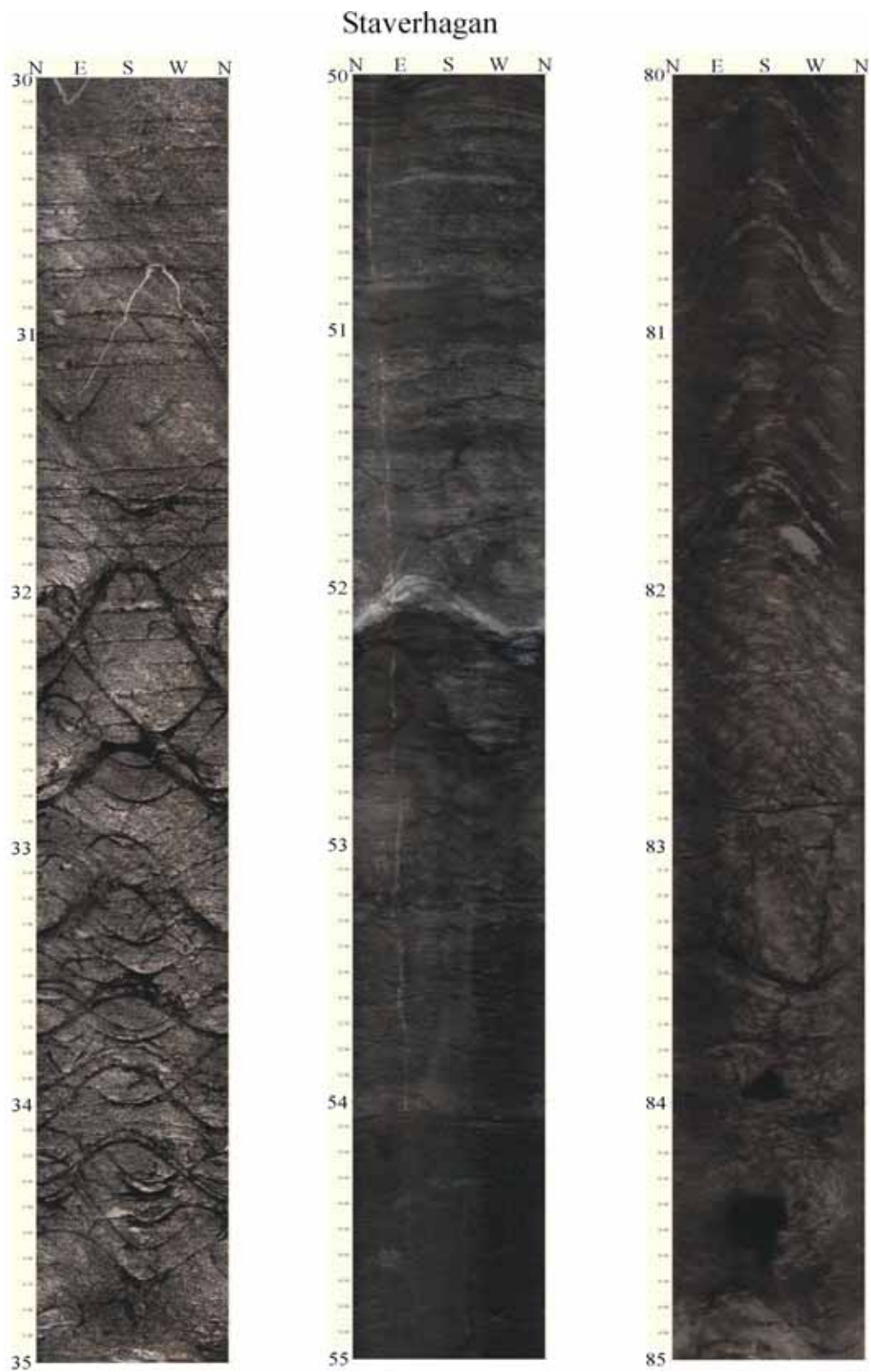


Figur 15. Bh 3, Staverhagan. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i borehullet.

Figur 15 viser stereografisk plott av polen til indikerte sprekker. Hovedsprekkeretningen er VNV – ØSØ med slakt fall, N311 05, se tabell på figur 15. I tillegg opptrer relativt steile sprekker med forskjellige retninger. Det er definert 4 sprekkegrupper, men det kan være store forskjeller på strøk og fall innen hver gruppe. Frekvenshistogrammene, figur 16, viser strøk, fall og plassering for alle indikerte sprekker. Borehullet er spesielt sterkt oppsprukket mellom 30 og 35 m. Her opptrer sprekker med alle indikerte retninger med sprekkefrekvenser fra 2.3 – 4.0 sprekker /meter. Både steile og slake sprekker opptrer i denne delen av hullet som ligger i bunnen av lavabergartene (se senere om geologiske grenser). Denne delen ligger høyt over tunnelnivået og oppsprekkingen vil trolig ikke bety noe for stabiliteten i tunnelen. Under 35 m er oppsprekkingen liten/moderat med sprekkefrekvenser under 1 sprekke/meter. Figur 17 viser bildelogg av tre utvalgte seksjoner av borehullet, 30 – 35 m (oppsprukket lavabergart), 50 – 55 m (Askergruppen) og 80 – 85 m (kambrosilur).



Figur 16. Bh 3, Staverhagan. Frekvenshistogram over indikerte sprekker i borehullet.



Figur 17. Bh 3, Staverhagan. Bildelogg av seksjoner fra borehullet. 30-35 m (oppsprukket lavabergart), 50-55 m(Askergruppen) og 80-85 m (Kambro silur).

4.3 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg

Temperatur, 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.

4.3.1 Skaugum

Figur 18 viser temperatur-, ledningsevne- og gammalogg for borehull 1 ved Skaugum. Temperaturen viser ingen endring som kan tyde på vanninnstrømning. Den høye temperaturen øverst i hullet (over 10 m) skyldes sesongvariasjoner der fjell og løsmasser nær overflaten er oppvarmet etter en varm sommer. Temperaturen synker helt til ca 40 m, og herfra øker temperaturen jevnt med en temperaturgradient på $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Dette er litt under normalt.

Ledningsevnen viser en tydelig endring ved 8.5 m og en liten endring ved 28 m. Sprekker er observert på OPTV loggen ved 8.6 og 8.7 m. Ved 28.1m er det observert en tydelig enkeltspekk. Disse sprekkenes kan være vannførende.

Gammaloggen viser et jevnt nivå i hele hullet og ligger på 30 – 50 cps (counts per second). Dette er lavt, men normalt for kalkbergarter i kambrosilur. Gammaloggen sier ingenting om oppsprekking, men en svak nedgang fra ca 106 m – 117 m indikerer trolig en diabasgang (se foran under OPTV).

4.3.2 Åstad

Figur 19 viser temperatur-, ledningsevne- og gammalogg fra borehull 2 ved Åstad. Temperaturkurven viser en topp på ca 8 m dyp av vann som skyldes årstidsvariasjon. En ekstra endring ved ca 11 m kan indikere innstrømning. OPTV loggen viste sprekker i området 10.8 – 11.3 m hvorav en var åpen. Påfølgende strømningsmåling viste vanninnstrømning fra denne sprekken (se senere). Fra ca 20 m viser temperaturen en jevn stigning, $1.03\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, uten endringer som tyder på vanninnstrømning.

En meget svak nedgang i ledningsevnen ved ca 12 m skyldes trolig sprekkenes og innstrømningen av vann like over dette dyp.

Gammastrålingen er så godt som konstant langs hele hullet, ca 50 cps. Dette indikerer at hullet går i samme bergart hele veien og samsvarer med målinger i kalk/skifer bergarter

4.3.3 Staverhagan

I borehullet ved Staverhagan var det plassert en pumpe som ble fjernet like før logging av hullet. Dette kan ha forstyrret måleforholdene i hullet ved at vannet er blitt rørt om og lokalt påvirket vannets temperatur og ledningsevne. Vannspeilet lå dypt i denne brønnen, på 40 m. Temperatur- og ledningsevnedata eksisterer derfor bare under dette dyp.

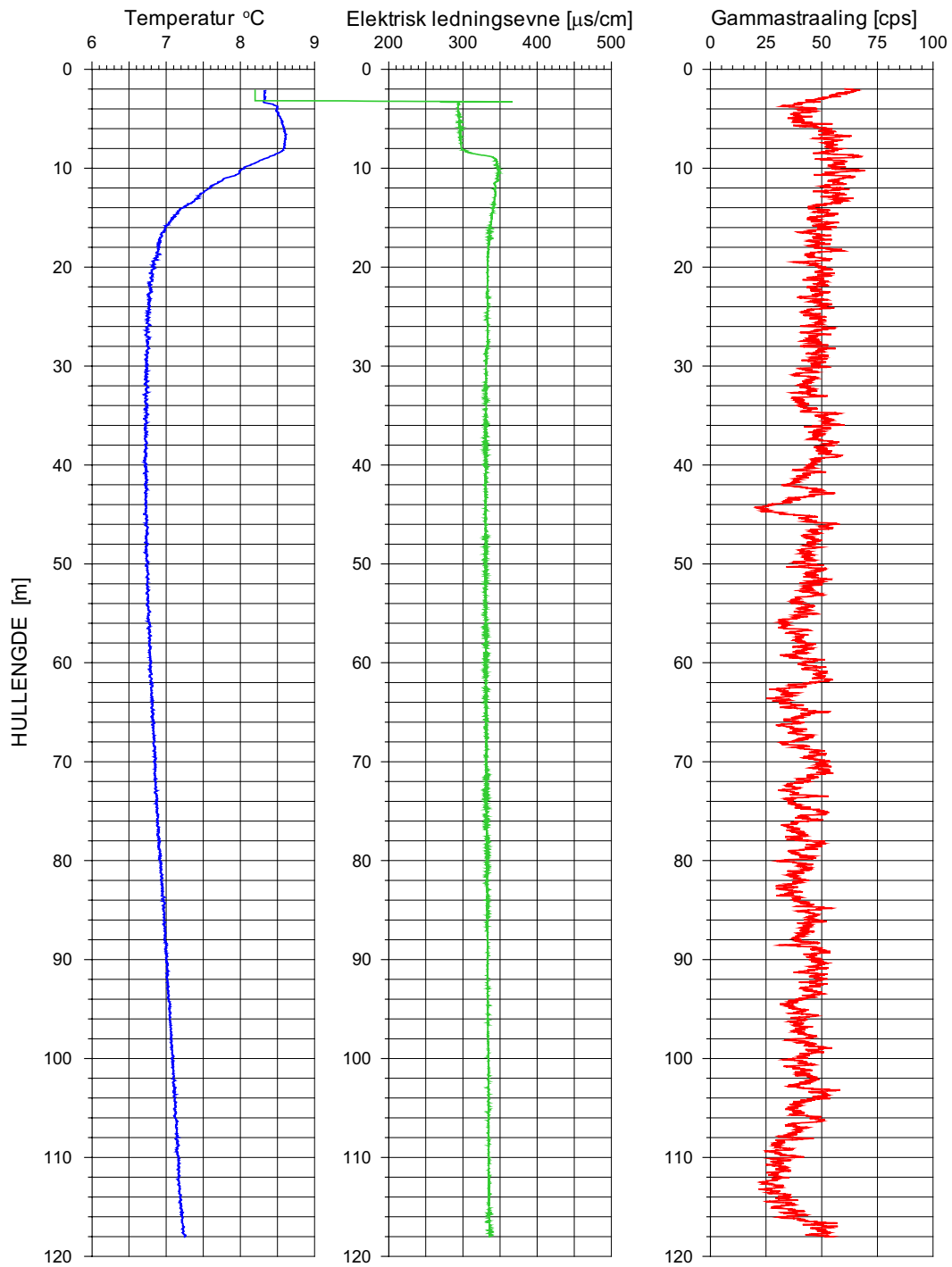
Figur 20 viser temperatur-, ledningsevne- og gammalogg fra Staverhagan. Lufttemperaturen i borehullet øker fra ca. 4.2° C ved 2 meter til ca 5.5° C like over grunnvannspeilet ved ca 40 meters dyp. Temperaturen i vannet er konstant ca 6.75° C fra 40 m og ned til bunnen av hullet. Det er noe usikkert om dette avspeiler fjellets temperatur da temperaturen vanligvis ville ha begynt å stige på dette dypet. Brønnen står på et høydeparti med kort avstand til en bratt skrent mot øst. Hullet vil derfor være spesielt utsatt for årstidsvariasjoner. Dette er trolig årsak til uvanlig temperaturforløp.

Ledningsevnen viser en svak stigende tendens mot dypet med ekstra økning ved 58 og 60 m. Det er ikke observert sprekker på OPTV loggen ved disse dyp.

I dette hullet er gammaloggen mest interessant. Hullet skjærer gjennom tre geologiske formasjoner og gammaloggen viser bergartsgrensene tydelig. Sammen med bildeloggen gir dette en sikker geologisk kartlegging. Øverst i borehullet er det en lavabergarter med lav gammastråling, 20 – 25 cps. Helt øverst, mellom 2 og 4 m, er gammastrålingen tydelig større, ca 150 cps. Det er noe vanskelig å se på bildeloggen, men dette kan være rombeporfyr. Rombeporfyr har større innhold av kalifeltspat noe som gir en økning i gammastråling. Ved ca 35 m dyp øker gammastrålingen tydelig, og dette markerer overgangen til Askergruppens skifre. Det er vanskelig å se lagdelingen i skifrene over vann, men under vannspeilet (40 m) ser en tydelig lagdeling på den optiske loggen. Gammastrålingen varierer innen Askergruppen, nederste del ligger på ca 75 cps. På ca 75 m dyp avtar gammastrålingen noe og markerer overgangen til kambrosilurbergartene. Dette betyr at tunnelen på dette stedet vil gå i Askergruppen (tunnelnivå 30 m.o.h, mens topp borehull ligger på 103 m.o.h).

TEMP. COND. GAMMA LOG
Skaugum

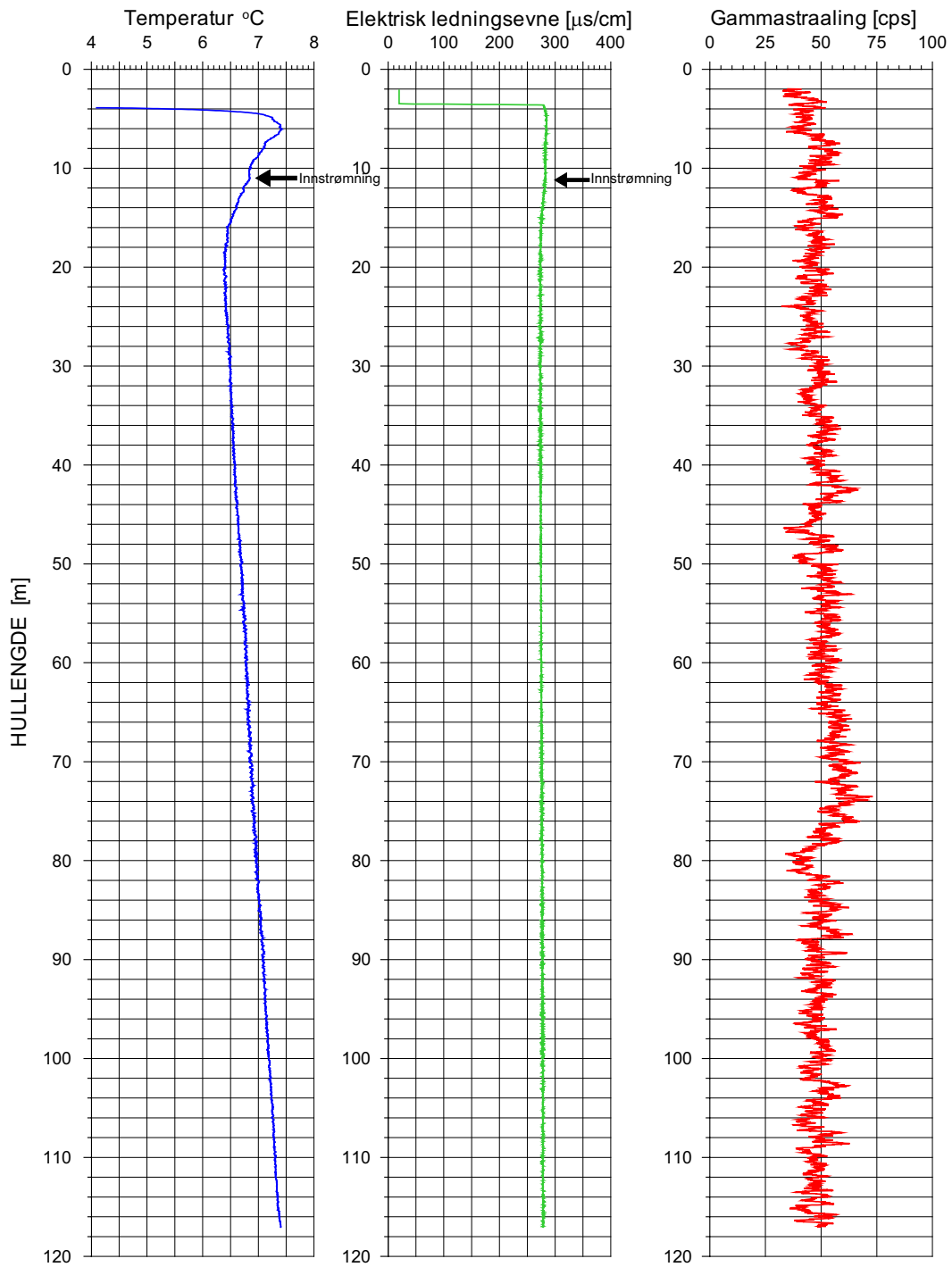
UTM 580737
32V 6635577



Figur 18. Bh 1, Skaugum. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

TEMP. COND. GAMMA LOG
Aastad

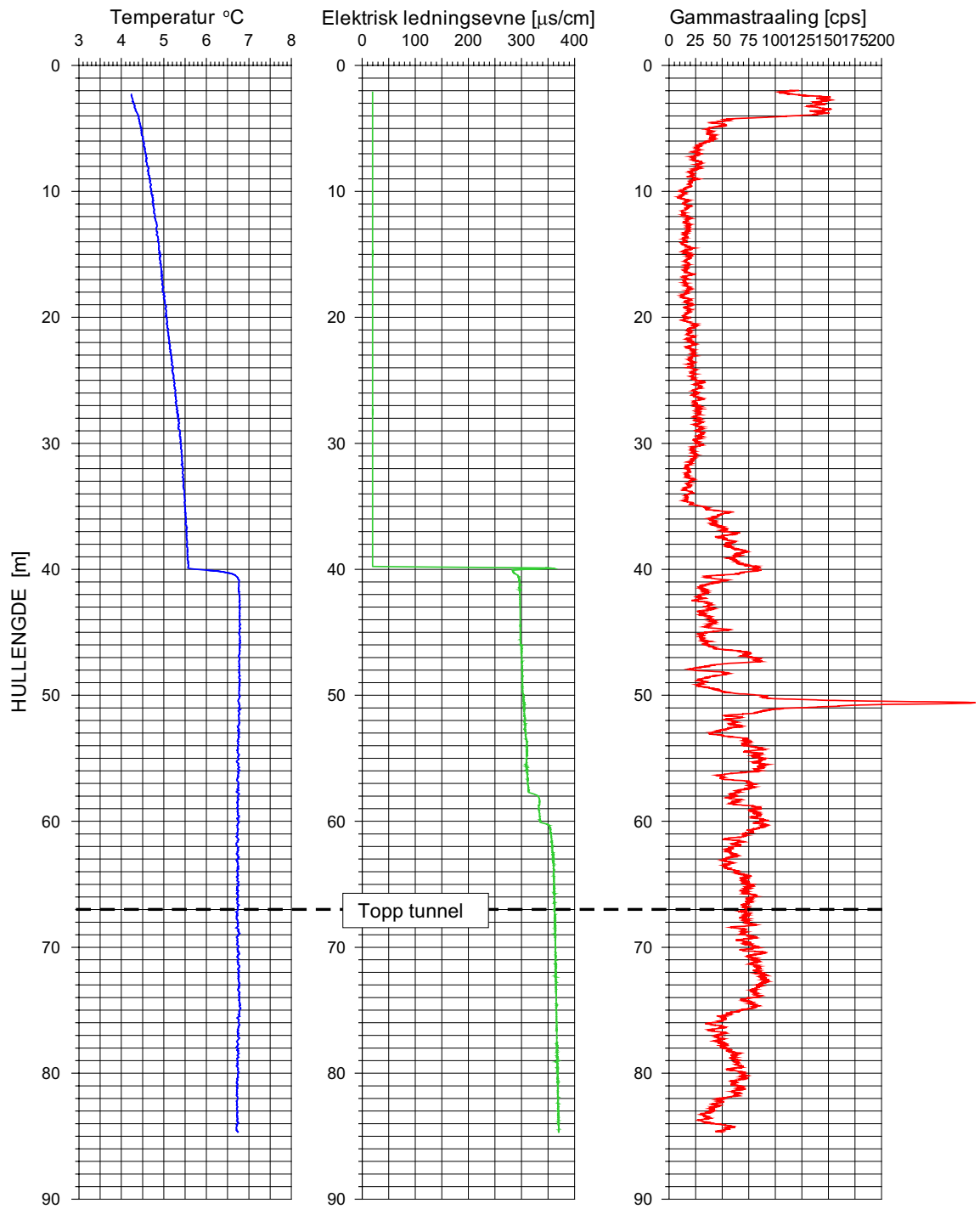
UTM 582166
32V 6638067



Figur 19. Bh 2, Åstad. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

TEMP. COND. GAMMA LOG
Staverhagan, Asker

UTM 582587
32V 6639086
108 m.o.h.



Figur 20. Bh 3, Staverhagan. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gammastråling.

4.4 Resistivitet

Fjellresistivitet ble målt i alle tre hull. P.g.a. teknisk svikt foreligger ikke resultater for Long Normal fra Skaugum og Åstad. Resistivitetsmålinger kan bare gjøres i vannfylte hull, slik at i Staverhagan har en data fra 40 m (vannspeil). Figur 21 viser resistivitetslogger fra alle tre hull, samt IP for Staverhagan

4.4.1 Skaugum

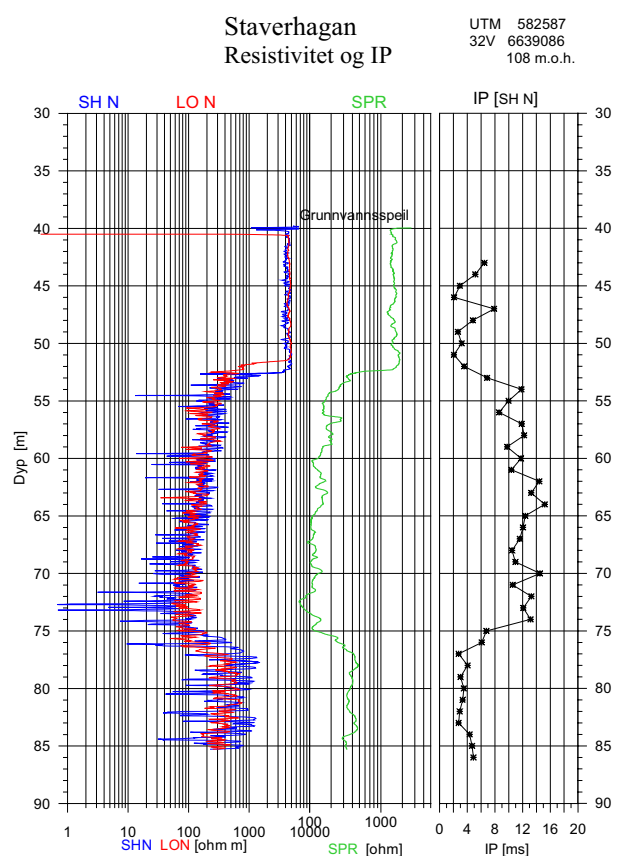
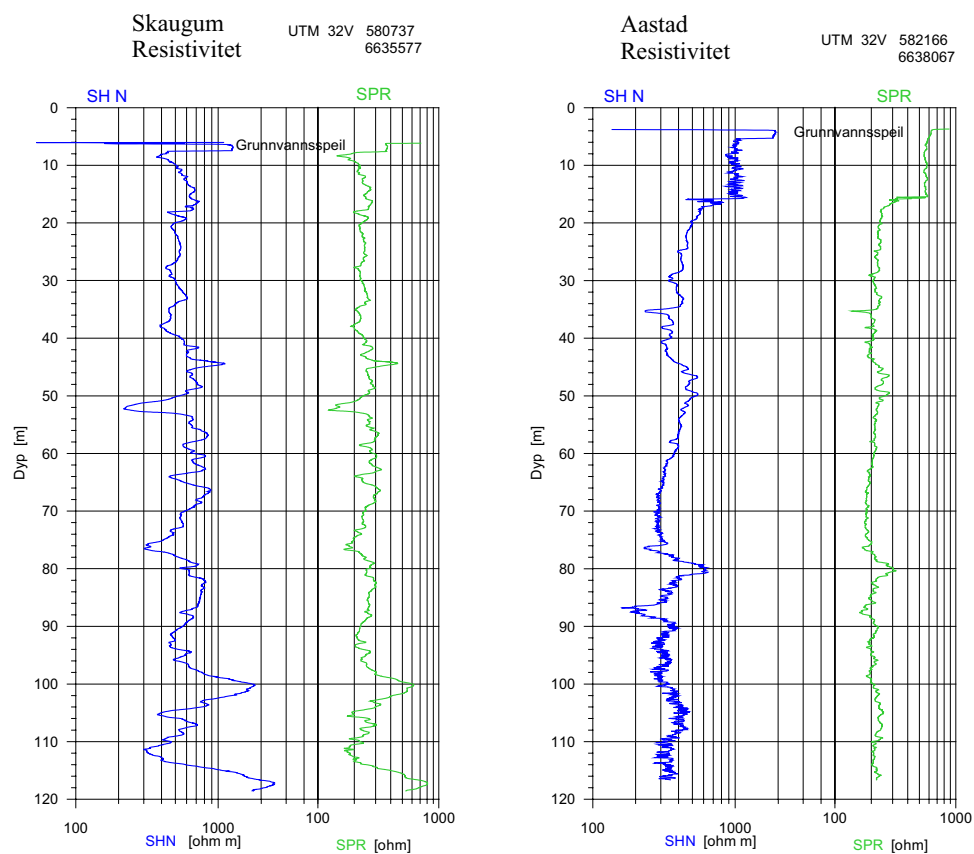
Bh 1, Skaugum var boret mot en lavmotstandssone, 100 – 200 ohmm, indikert ved 2D resistivitetsmålinger. Borehullsmålingene viser i gjennomsnitt litt høyere motstand, 500 – 600 ohmm. Lokalt indikeres soner ned i 200 og 300 ohmm. Flere enkeltsprekker og sprekkesoner indikeres som lavmotstandssoner og disse kan verifiseres av den optiske loggen. Dette er tilfelle ved sprekker indikert ved 18 m, 28 m, 52 m, 64 m, 77 m. Den sterkt oppsprukne diabasgangen mellom 105 og 117 m indikeres tydelig som en lavmotstandssone. Selv om borehullsmålingene viser noe høyere motstand enn 2D målingene på bakken, må en si at det er god overensstemmelse mellom metodene. Begge metoder viser generelt meget lave motstandsverdier, langt under det som er vanlig i norske bergarter (> 5000 ohmm). Hullet er lokalt sterkt oppsprukket, men resistiviteten er generelt lav i hele hullet også i de deler av hullet som ikke er oppsprukket.

4.4.2 Åstad

Bh 2, Åstad var også boret i et område indikert med lav resistivitet på 2D målingene, 100 – 300 ohmm. Hullet ble vinklet mot nord for om mulig å skjære indikert sone fra refraksjonsseismikken i tillegg til lav resistivitet (se kartbilag –02). Borehullsmålingene viser lav resistivitet i hele hullet, 300 – 400 ohmm, bortsett fra de øverste 15 m hvor den er noe høyere, ca 1000 ohmm. Hullet er relativt lite oppsprukket og ingen observerte sprekker kan knyttes direkte til lave resistivetsverdier i borehullet. Det er derfor vanskelig å si konkret hva den generelt lave resistiviteten skyldes. Det er neppe sulfider tilstede i disse kalkskifrene, men oppsprekning, høy porøsitet (høyt vanninnhold) vil bidra til lav resistivitet. Målingene kan heller ikke bekrefte indikert sone fra refraksjonsseismikken.

4.4.3 Staverhagan

Bh 3, Staverhagan var et eldre borehull (vannforsyning) med plassering midt i den planlagte tunneltraseen. Resistivetsprofilen nedenfor skrenten (Lagerudbekken) viste lave resistivetsverdier i de øverste 20 – 30 m. Bh 3 starter 40 – 45 m over dette profilet, men når ned i lavmotstandslagene som er tolket til å være Askergruppen. Borehullsloggen, figur 21, viser høy resistivitet, 4000 – 5000 ohmm, fra 40 m (vannspeilet) til 52 m. I følge den optiske loggen er dette i de øvre deler av Askergruppen. Ved 52 m dyp faller resistiviteten brått ned til 500 – 600 ohmm og avtar gradvis nedover hullet til ca 100 ohmm ved 70 m. Lokalt er det målt verdier under 10 ohmm. Det er grunn til å tro at slike lave verdier skyldes kismineralisering som ikke er uvanlig i Askergruppens skifere. Det er rapportert om kismineralisering i kjerneborehull ikke langt unna. Fra 75 m øker resistiviteten noe, ca 500 ohmm i gjennomsnitt, når borehullet kommer ned i kambrosilurbergartene (kalkstein/skifere). Tilsvarende verdier er oppnådd i kalkstein på Skaugum og Åstad.



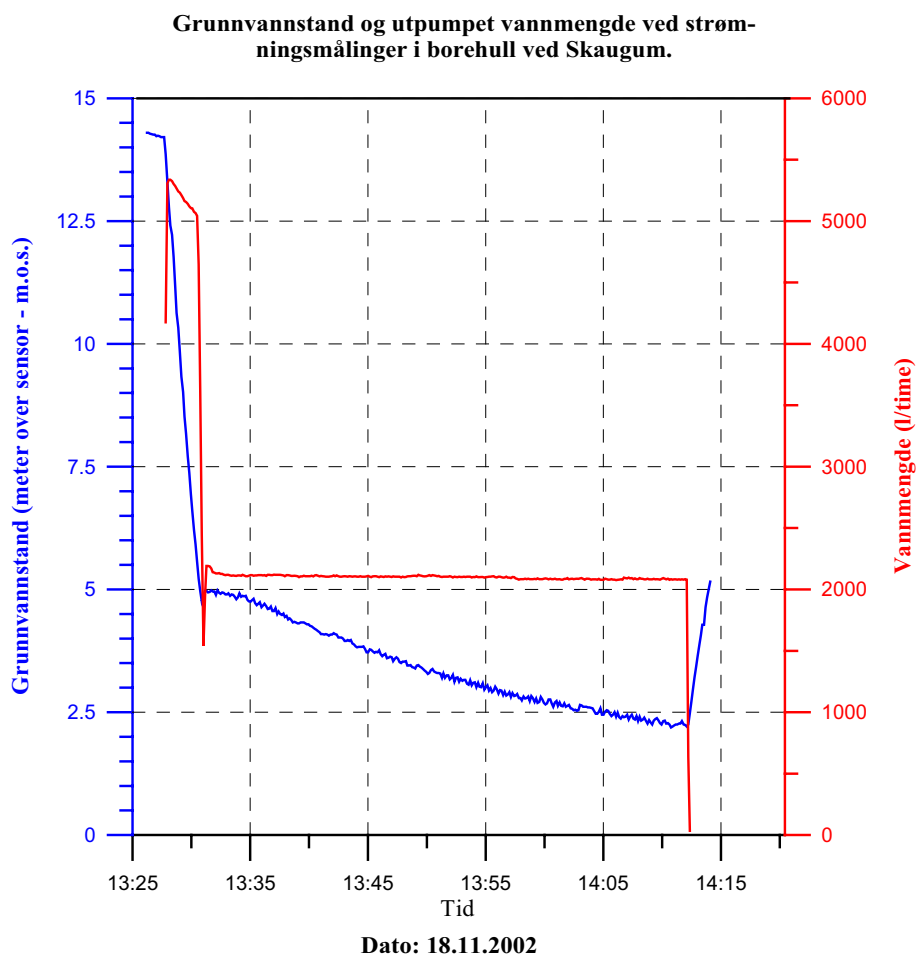
Figur 21. Resistivetslogger for Borehullene ved Skaugum, Åstad og Staverhagan med IP.

For å studere tilstedeværelsen av kismineraliseringer ble det i juni 2003 foretatt måling av induisert polarisasjon (IP) i borehullet. Selv om det er en viss spredning i måleverdiene (se figur 21) er det likevel en meget god korrelasjon mellom IP og spesielt lav resistivitet. Dette viser at resistivitet ned mot 100 ohmm innen Askergruppen etter all sannsynlighet skyldes kismineraliseringer.

4.5 Strømningsmåling

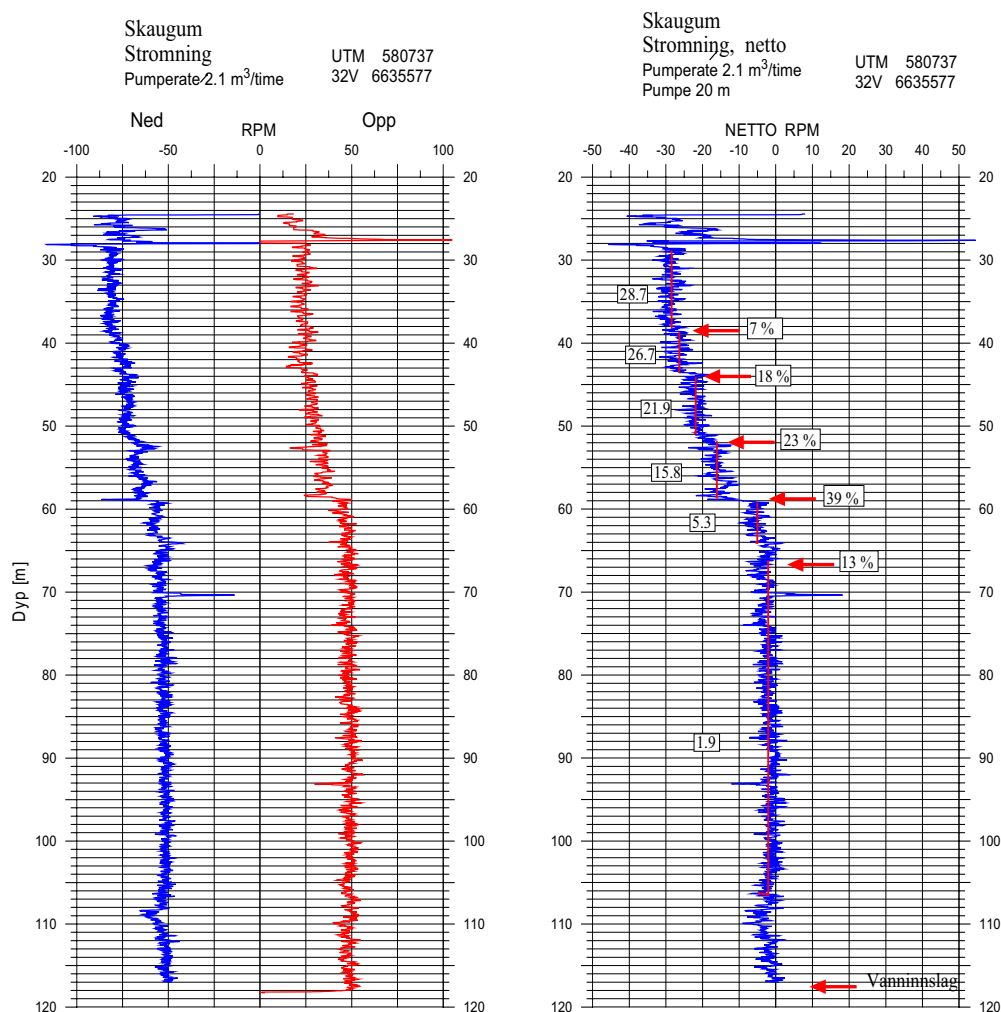
Strømningsmåling med pumping er utført i alle tre hull. Målingene ble utført som dynamiske målinger, dvs. strømningsmåleren ble kjørt med konstant hastighet opp og ned i borehullet mens pumping pågikk. Ved Åstad ble det gjort stasjonære målinger i tillegg for å avgjøre om en grunn sprekk var vannførende.

4.5.1 Skaugum



Figur 22. Grunnvannsstand og utpumpet mengde ved strømningsmålinger i borehull ved Skaugum.

Figur 22 viser pumpedata fra borehullet ved Skaugum. Her vises utpumpet vannmengde og vannstand i borehullet. Utpumpet vannmengde er meget stabil på ca 2100 l/time under hele testen, dvs. det er vann over pumpa hele tiden. Vannivået over pumpa synker noe mens pumping pågår, hvilket betyr at det pumpes ut mer enn det strømmer inn i hullet. Brønnens kapasitet vil derfor være noe mindre enn 2100 l/time. Det er svært viktig med konstant pumperate for å få korrekte data fra strømningsmålingene.



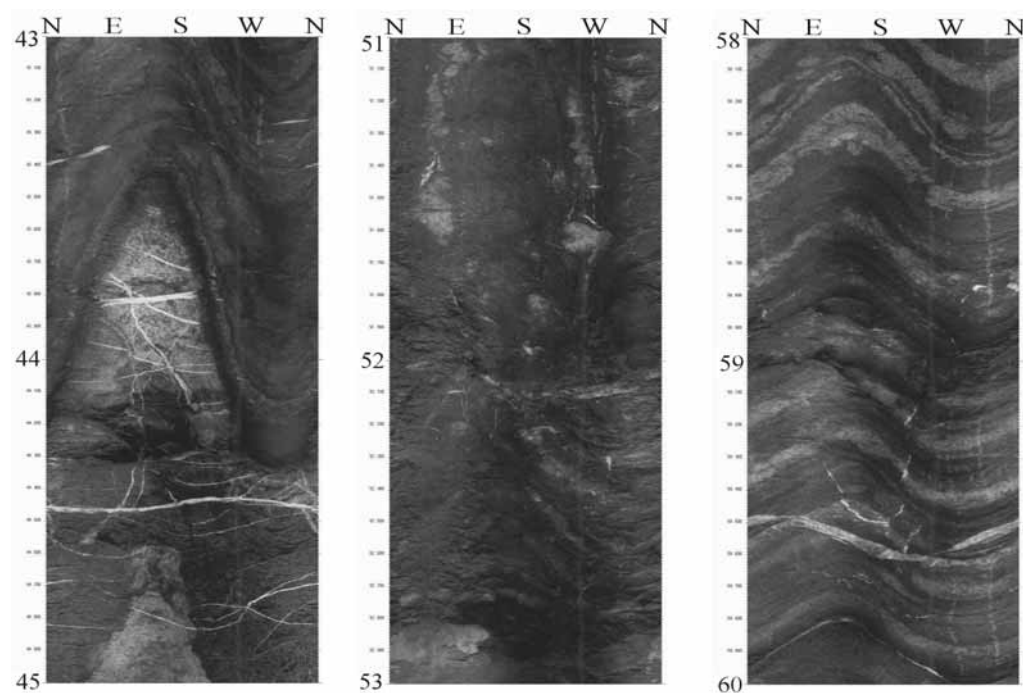
Figur 23. Bh 1, Skaugum. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min (til venstre). Netto strømming (omdreiningstall) med indikert vanninnstrømming (til høyre).

Figur 23 viser strømningsdata fra målingene i Bh 1, Skaugum. Det ble målt opp og ned med en hastighet på 5 m/sek. Figuren viser registrert omdreiningstall (rpm) opp og ned samt netto rpm etter at bidraget fra sondens hastighet er fjernet. Endringer i omdreiningstallet indikerer endring i strømningshastigheten som igjen betyr vanninnstrømming i borehullet (negativt fortegn betyr strømming oppover). Netto rpm-logg viser flere endringer på forskjellige dyp. På figuren er det angitt gjennomsnittlig rpm over og under indikerte vannførende soner. Det er også beregnet prosentvis fordeling av vannstrømmen fra de forskjellige sonene. Dette forutsetter at sonden står likt i strømningsprofilen og at strømningsmønstret er det samme i alle deler av borehullet. Tabell 1 viser fra hvilke dyp det er registrert innstrømming og hvor mye som strømmer inn.

Tabell 1: Vanninnslag i prosent og mengde ved forskjellige dyp i borehull 1, Skaugum. Mengde beregnet etter pumpe­rate på 2100 l/time.

Dyp (m)	38	44	52	59	66
Andel vannmengde (%)	7	18	23	39	13
Vannmengde (l/time)	150	380	480	820	270

Mest vann kommer fra sprekker ved 59 m (39 %) noe som vises tydelig på strømningsloggen (figur 23). På den optiske loggen er det registrert sprekker (delvis åpne) på alle disse dyp.



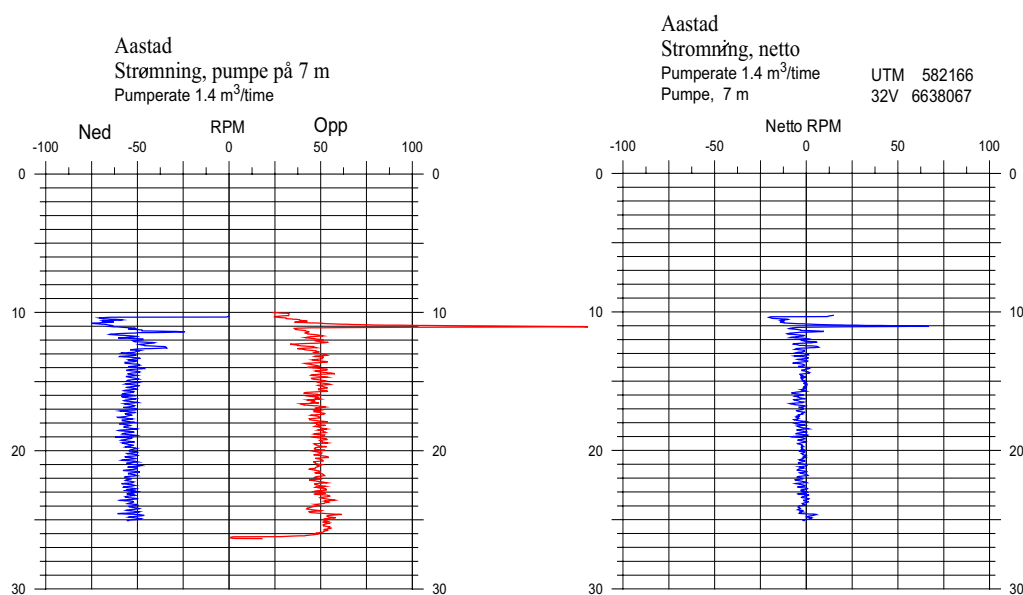
Figur 24. Bh 1. Skaugum. Åpne sprekker som gir vanninnstrømning i borehullet ved 44 m, 52 m og 59 m.

Figur 24 viser bildelogg fra tre av områdene det er registrert innstrømning, 44 m, 52 m og 59 m. Det kan også være innstrømning ved 28 m, se figur 23 som viser et kraftig utslag på rpm-loggen ved dette dyp. Logging startet ved ca 25 m (pumpe på 20 m) og måledata er ustabile like etter oppstart da det tar en viss tid å stabilisere hastigheten til sonden. Det kraftige utslaget registreres imidlertid både opp og ned, og på opp-loggen kan det se ut som om omdreiningstallet øker over 28 m hvilket betyr innstrømning og økt strømning oppover over dette dyp. Den optiske loggen viser en tydelig sprekke (delvis åpen), ledningsevnen går litt ned og resistiviteten i fjellet minker litt ved ca 28 m. Dette tyder på innstrømning, men er ikke tatt med i den prosentvise fordelingen som vist ovenfor.

Netto strømning viser også en viss negativ verdi (1,9) som gjennomsnittsverdi under 66 m dyp. Dette kan indikere mindre vanninnslag ved større dyp (diabasgang mellom 105 og 117 meter?), men på grunn av generelt høyt støynivå er dette heller ikke tatt med i regnskapet over vanninnslag.

4.5.2 Åstad

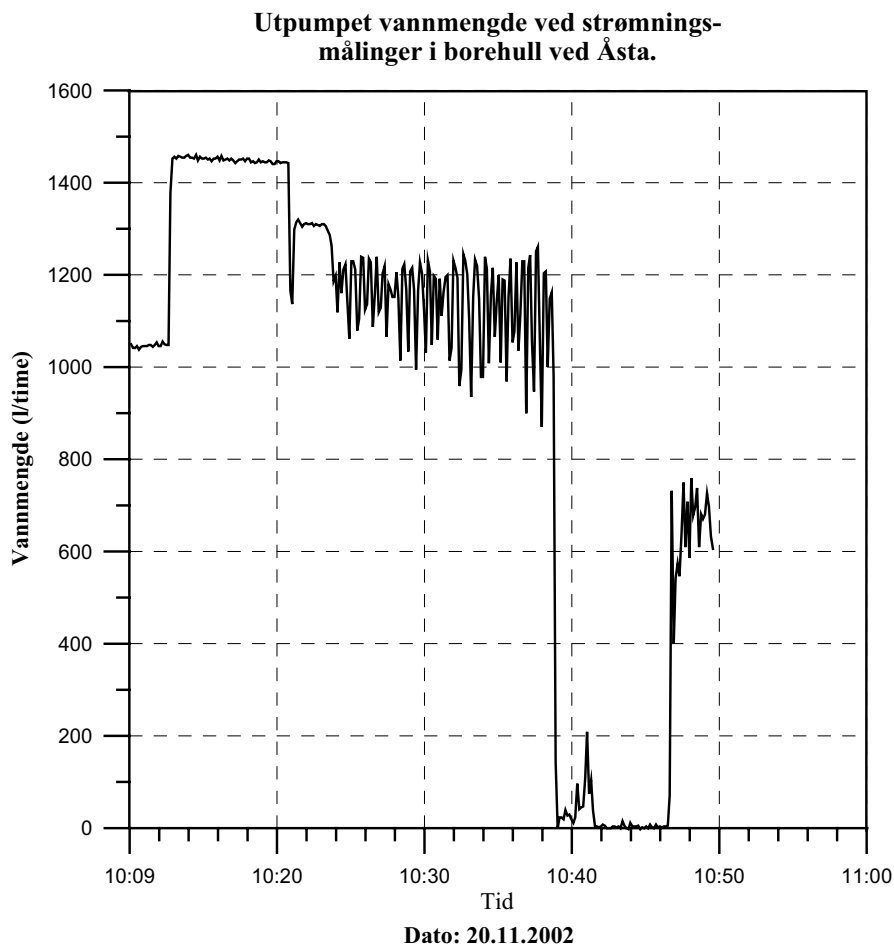
Den optiske loggen viste en åpen sprekk ved ca 11 m. Da vannstanden var på ca 4 m ble det gjort en kort strømningslogg der pumpa ble plassert på 7 m for å undersøke om sprekkesonen ved 11 m var vannførende. En antok at brønnens kapasitet ikke var stor nok til at pumpa kunne stå på dette dyp ved logging av hele brønnen. En ville unngå at vannstanden sank ned til pumpenivå og at pumpa ble stående å slurpe vann og luft. Dette kunne føre til varierende strømning i hullet fra eventuelle dype sprekkesoner. Også temperatur- og ledningsevneloggen viste svak indikasjon på innstrømning ved 11 m.



Figur 25. Bh 2, Åstad. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min, 10-15 m (venstre). Netto strømning med indikert vanninnstrømning ved ca 11 m (til høyre).

På figur 25 vises strømningslogg fra 10 – 25 m med pumpa på 7 m dyp. Det er logget kun en meter over sprekkesonen på 11 m, men en ser tydelig endring i rpm (ved måling nedover) fra ca 70 rpm over sonen til ca 55 rpm under. Dette betyr at sonen ved 11 m er vannførende med innstrømning i borehullet. I forbindelse med passering av vannførende sprekker vil turbulens lokalt gi kraftige utslag på strømningsmåleren noe en ser ved 11 m. Under sprekkesonen ved 11 m ser det ikke ut til å være vannførende sprekker med innstrømning i borehullet.

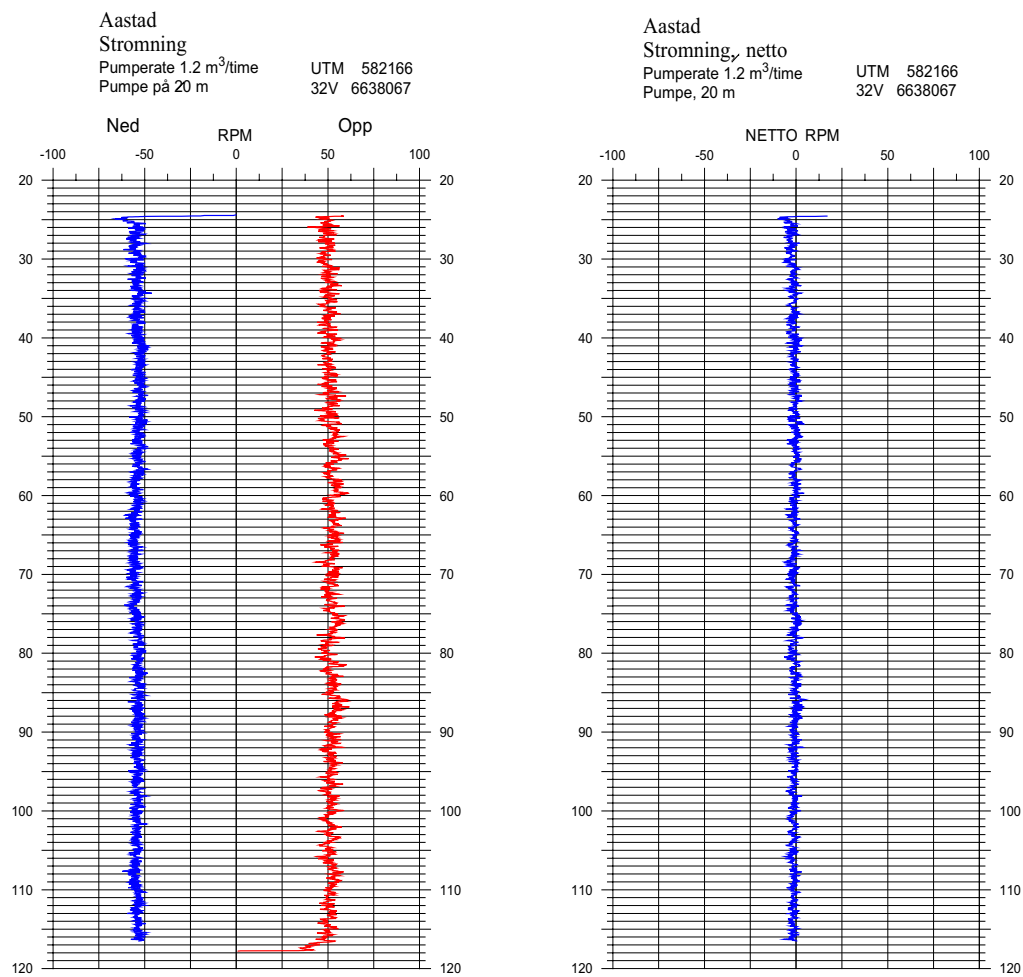
Figur 26 viser data fra pumpingen når vannstrømning i de dypere deler (25 til 118 meter) av hullet ble forsøkt kartlagt. I dette tilfellet er bare utpumpet vannmengde registrert. Vannmengden varierer fra 1450 l/time i starten til ca 1150 l/time. Ved denne vannmengden slurper pumpe hvilket betyr at brønnens kapasitet er ca 1150 l/time. Varierende pumperater ville gitt usikre strømningsdata om det hadde vært vannførende sprekker tilstede.



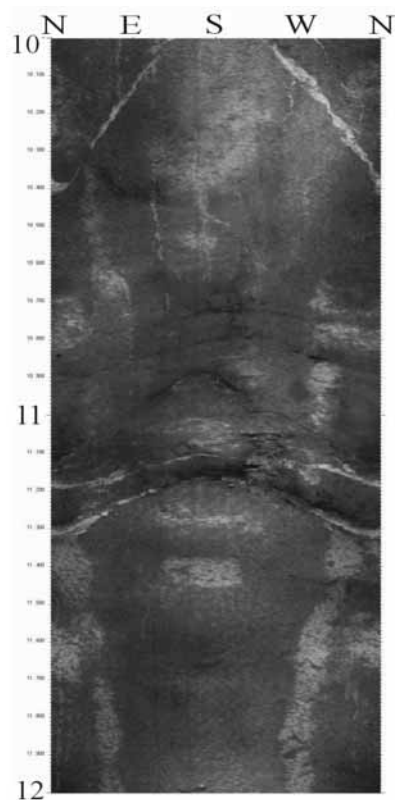
Figur 26. Åstad. Utpumpet vannmengde i borehull

Figur 27 viser strømningsdata når hele hullet fra 25 m ble logget, og det er ingen endringer i rpm som tyder på strømning i hullet under dette dyp. Heller ingen av de andre loggene viser indikasjoner på vanninnstrømning under 25 m. Figur 28 viser optisk bildelogg fra 10 – 12 m med vannførende sprekker ved ca 11 m.

De første (figur 26) 10 min. (50 m logging) er pumperaten konstant (1450 l/time). En ser av strømningsloggen at rpm er konstant i området 25 – 75 m. Når pumperaten reduseres til ca 1150 l/min. (sonde ved ca 75 m dyp) registreres dette ikke på strømningsloggen. Dette tyder på at det er kun rotasjonen på grunn av sondens hastighet som registreres, dvs. ingen innstrømning i dypere deler av brønnen. Ut fra dette kan en konkludere med at det i hovedsak er sprekken ved ca 11 meters dyp som bidrar til hullets vanngiverevne på ca 1150 l/time.



Figur 27. Åstad. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg med hastighet 5 m/min, 25 – 118 m (til venstre). Netto strømning (til høyre) viser ingen innstrømning i denne del av borehullet.

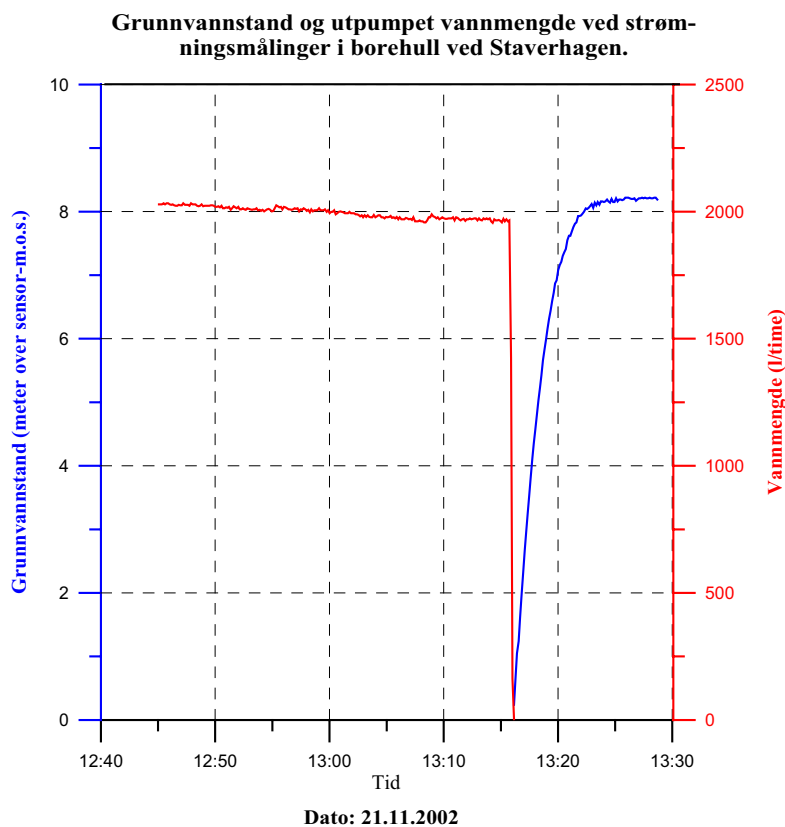


Figur 28. Bh 2. Åstad. Bilde av åpen sprekk ved ca 11 m. Sprekken er vannførende.

4.5.3 Staverhagan

I borehullet ved Staverhagan var grunnvannsnivået på 40 m. Pumpa ble plassert på 50 m og logging startet ved 55 m.

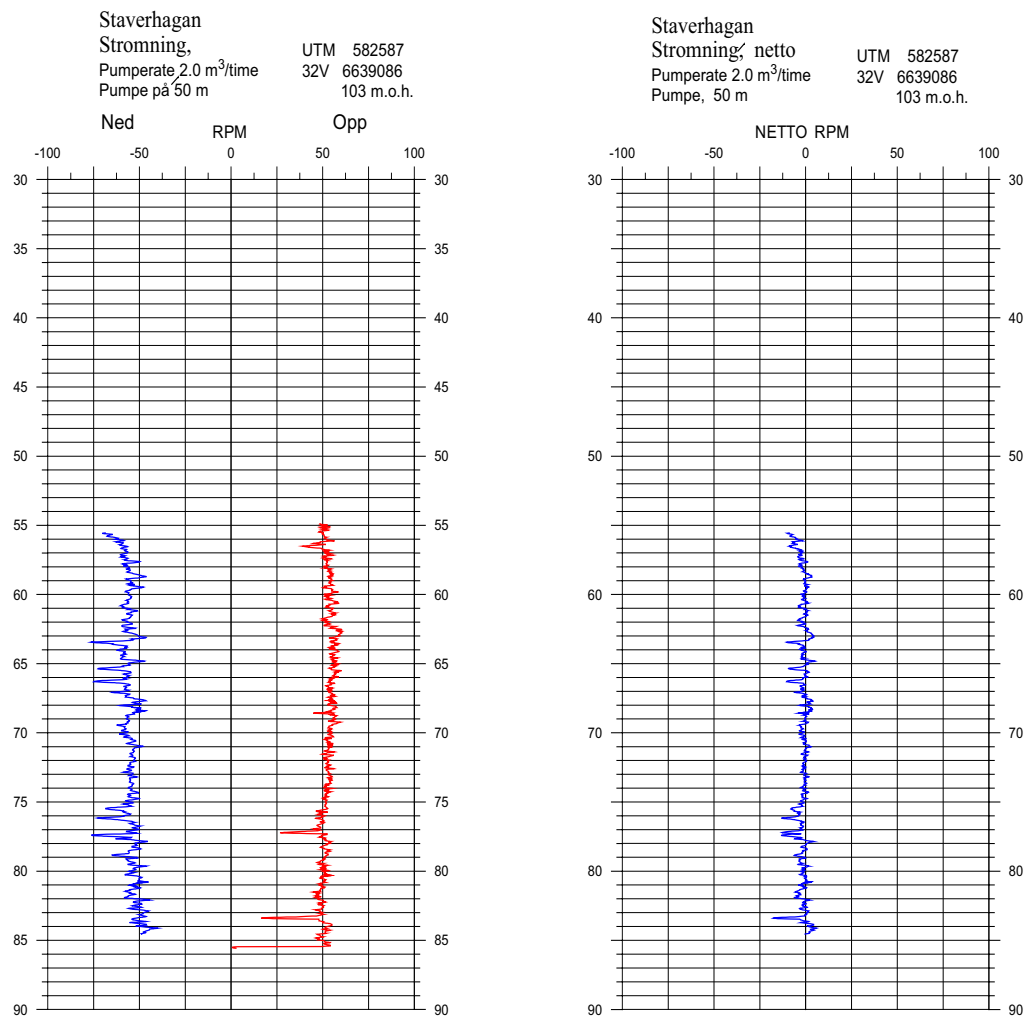
Figur 29 viser pumpedata fra Staverhagan. Utpumpet vannmengde er tilnærmet konstant ca 2000 l/time under hele loggetiden. Figuren viser også vannivåets stigning etter at pumping ble stoppet. Data for vannivået under pumping mangler (på grunn av teknisk svikt). En kan derfor ikke med sikkerhet anslå brønnens kapasitet.



Figur 29. Grunnvannsstand og utpumpet mengde ved strømningsmålinger i borehull ved Staverhagan

Figur 30 viser strømningsdata fra Staverhagan. Netto rpm viser i gjennomsnitt 0 rpm. Enkelte utslag på kurven er trolig støy og skyldes neppe innstrømning. Det er ingen samsvar mellom opp- og nedloggen på disse utslagene. Variasjoner i hastigheten (justeringer) til sonden kan også påvirke rpm.

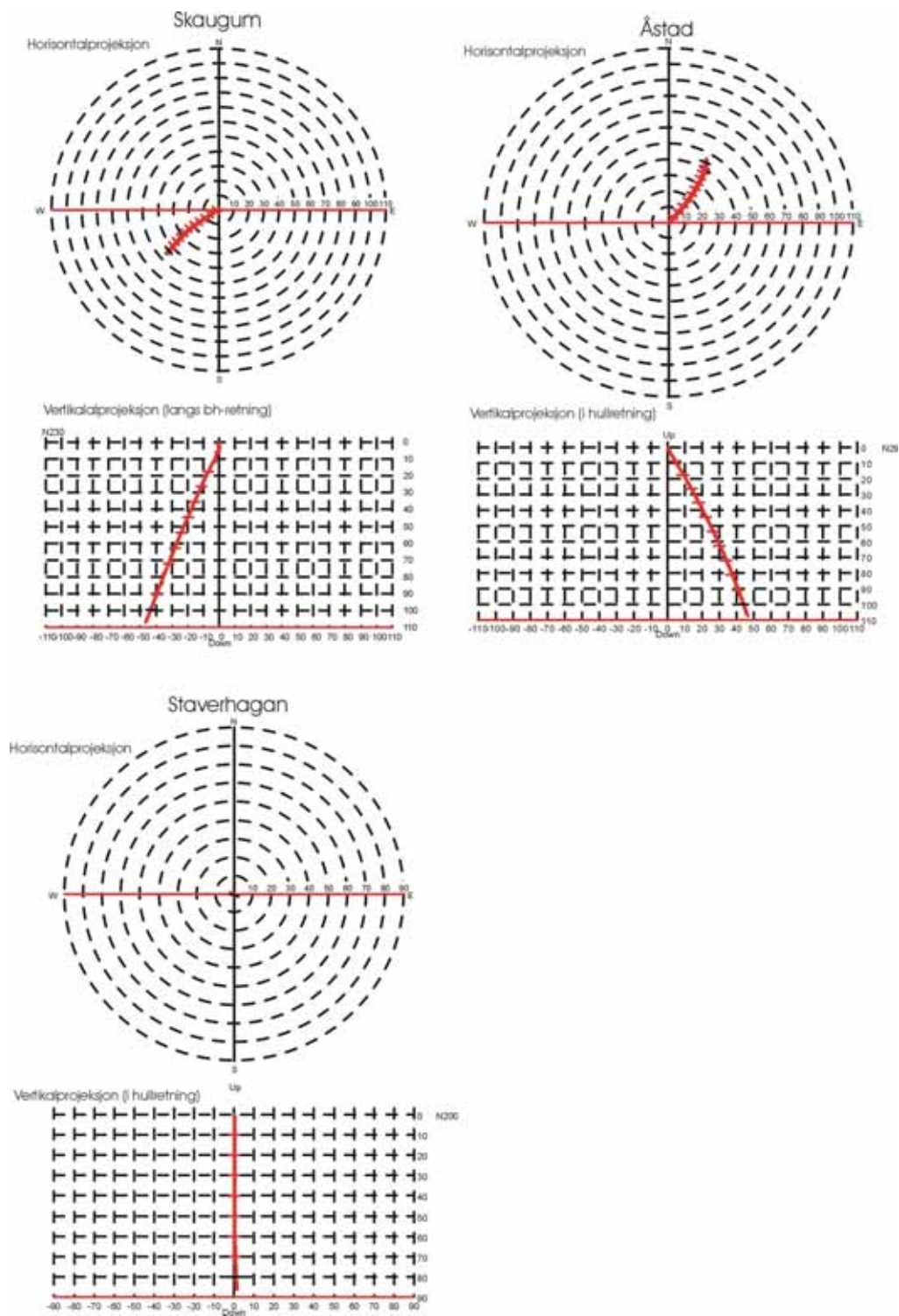
Denne analysen viser at det ikke er bidrag til brønnens vanngiverevne under ca 55 m. Vanninnslagene må derfor komme mellom 40 m (grunnvannsspeil) og 55 m hvor vi finner Askergruppens skifte uten sulfider (se tabell 2, side 51).



Figur 30. Bh 3, Staverhagan. Strømningsmåling. Kontinuerlig logg ned og opp med hastighet 5 m/min, 55 – 85 m (til venstre). Netto strømming (til høyre) viser ingen innstrømming i denne del av borehullet.

4.6 Avviksmåling

Avviksmåling blir foretatt samtidig med optisk logging. Hullretning og fallvinkel måles kontinuerlig og borehullsforløpet plottes som horisontal- og vertikalprojeksjoner. Figur 31 viser borehullsforløpet for alle tre borehull. Skaugum og Åstad var satt ut med 30° fall fra lodd, og borehullsvinkelen avviker lite fra dette, men blir litt steilere mot dypet, for detaljer se databilag 4. Retningen er for Skaugum SV (satt ut N240) med liten endring langs hullet (N220 i bunn). Åstadhullet var satt ut med retning N030, men dreier noe mot nord (N009 i bunnen). Hullet ved Staverhagan var loddhull og borehullsavviket er svært lite.



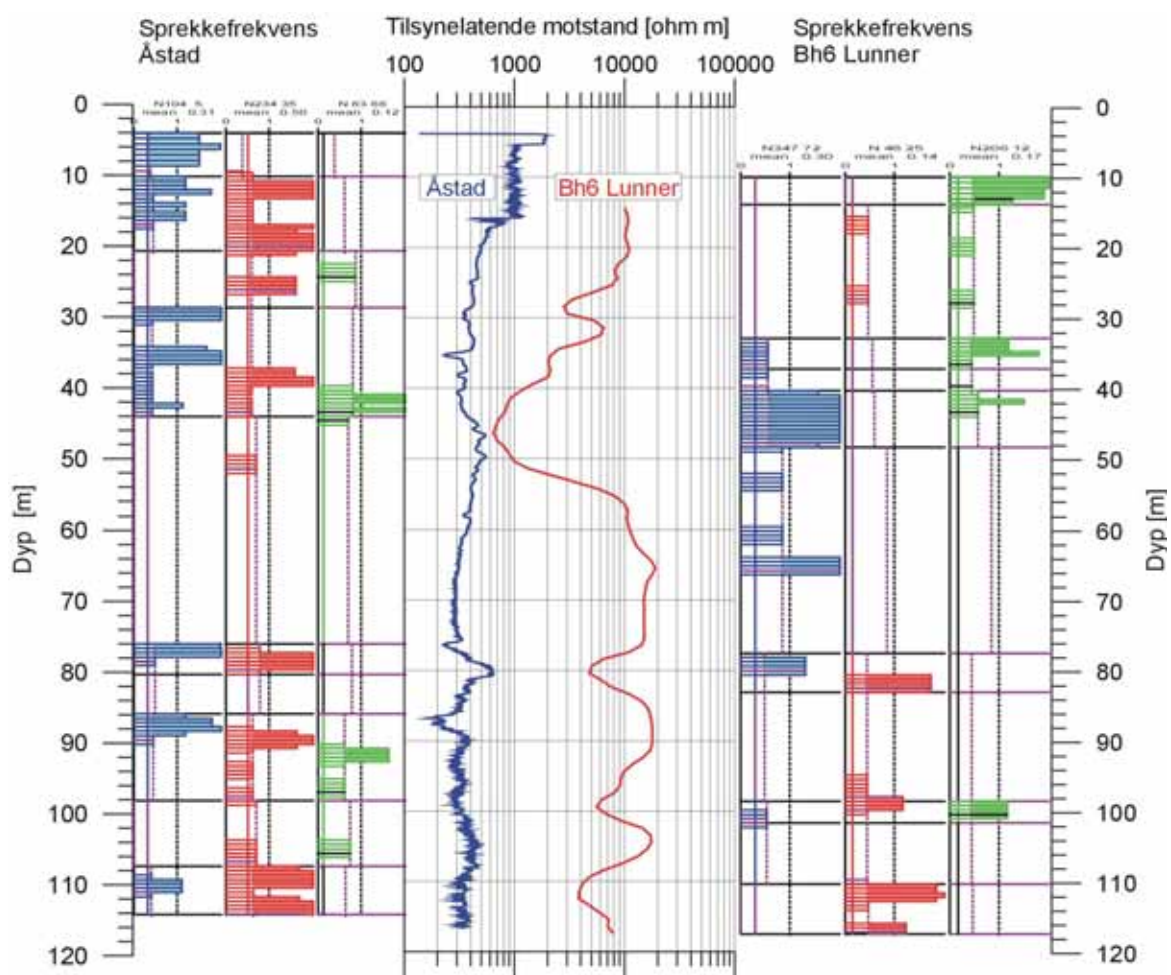
Figur 31. Borehullsforløp, vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon, av hullene ved Skaugum, Åstad og Staverhagan.

5. DISKUSJON

I det følgende blir resultatene fra resistivitetsmålingene, IP-målingene, borehullsmålingene og lekkasje-/stabilitetsproblemer under tunneldrivingen diskutert.

5.1 Resistivitetsmålinger.

Resistivetsverdier som ble målt ved Skaugum, Lagerudbekken og Åstad er generelt mye lavere enn det en har erfart ved Lunnertunnelen (Rønning & Dalsegg 2001, Dalsegg & Rønning 2002) og på Krokskogen (Dalsegg m. flere 2003). Resistiviteten i kambrosiluriske kalker og skifere ligger i generelt størrelsesorden 1000 til 5000 ohmm, og i enkelte områder enda lavere. I Askergruppen (senkarbon) er resistiviteten i utgangspunktet 3-4000 ohmm, men i partier hvor denne er impregneret av sulfider, ligger verdiene fra 300 og ned til under 100 ohmm (Bh 3 Staverhagan, figur 21). I disse miljøene har det vist seg at det kan være vanskelig å påvise svakhetssoner. Problemet er at resistiviteten i utgangspunktet er på det nivå en kan finne i oppsprukket fjell, og da blir kontrasten mellom sone og ikke oppsprukket fjell utvisket (se figur 32).



Figur 32. Påviste sprekker og målt resistivitet i brønn ved Åstad (Jong-Asker) og Bh 6 Lunnertunnelen.

Analysene av borehullene ved Skaugum og Åstad viser en viss sammenheng mellom oppsprekning og spesielt lav resistivitet i borehullet (figurene 33 og 34). Det finnes imidlertid oppsprukne partier uten reduksjoner i resistiviteten (40 – 48 meter Skaugum, 0 – 16 meter Åstad). En ser også at lengre partier uten sprekker (Åstad 44 til 74 meter, figur 34) viser meget lav resistivitet (300 – 500 ohmm). Dette viser at den lave resistiviteten som er påvist, delvis har andre årsaker enn ren oppsprekning. Ledningsevnen i vannet for de tre brønnene ligger i størrelsesorden 270 til 360 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette er klart høyere enn på Lunner (Elvebakk m. flere 2001), og forklarer delvis den lave resistiviteten. Dersom en benytter Archies' lov og de målte verdier for fjellets og vannets resistivitet finner en at porøsiteten blir i størrelsesorden 30 %. Denne bruken av Archie's lov kan diskuteres, men resultatet indikerer en lite sannsynlig porøsitet. En kan derfor ikke se bort fra at spesielt lav resistivitet kan være forårsaket av ledende mineraler (kismineraler eller grafitt?). Dette er ikke uvanlig i de kambrosiluriske bergartene (A. Solli, personlig meddelelse).

Resistiviteten målt på bakken og i borehullene stemmer ikke helt overens ved disse undersøkelsene. Ved Skaugum viste bakkemålingene resistivetsverdier i sonen mindre enn 100 ohmm, mens målingene i borehullet i den samme sonen viste verdier jevnt over mellom 500 og 1000 ohmm. Dette kan skyldes flere forhold. Målingene i borehullet er tilsynelatende verdier som bl.a. ikke er korrigeret for vannet i selve borehullet. Korreksjon vil imidlertid gi enda høyere resistivitet i borehullet. Anisotropi, forskjellig resistivitet i forskjellige retninger, kan også være årsak men denne er det vanskelig å kontrollere. Den mest sannsynlige forklaringen er påvirkning fra tekniske anlegg. I det aktuelle området ved Skaugum finnes flere metallgjerder som er i elektrisk kontakt med bakken. Dette betyr at deler av strømmen kan avledes inn i disse, og den beregnede resistivitet blir for lav. I tillegg til å gi feil verdi vil dette også kunne gi et lavere signal/støy-forhold. Påviste soner ved Skaugum har for stor kontrast, og ligger til dels så langt fra disse gjerdene at denne effekten kan være eneste årsak til anomaliene.

Det er av interesse å undersøke om det er noen korrelasjon mellom målt resistivitet og vanngiverevne i brønnene. Brønnen ved Skaugum er boret mot en sone med resistivitet målt i borehullet på 400 – 700 ohmm. Brønnen gav relativt bra med vann (ca 2000 l/time?), og vanninnslagene kom i forskjellige dyp ned til ca 65 meter. Ved Åstad er resistiviteten ved brønnen noe høyere (ca 1000 ohmm i det området som viste vanninnslag). Brønnen gir tilsynelatende noe mindre vann (ca 1100 l/time). Brønnen på Staverhagan ble pumpet med 2000 l/time og her var resistiviteten i den delen av borehullet som gav vann 4000 – 5000 ohmm. Tallene viser at det ikke er noen klar korrelasjon, og siden vanngiverevnen er meget usikkert anslått (manglende data for vann-nivå under prøvepumping) er det ikke mulig å analysere dette nærmere.

Et viktig forhold å undersøke er om det er noe samsvar mellom påvist lav resistivitet og soner med lav lydshastighet fra de refraksjonsseismiske undersøkelsene. Ved Billingstad - Åstad (kartbilag – 02) ligger alle påviste lavhastighetssonene i områder med lav resistivitet (fra overflaten og ned til i tunnelnivå). Resistiviteten påviser imidlertid ikke klare enkeltstående soner, men partier med lave verdier. Ved Lagerudbekken (kartbilag –03) er det påvist lav resistivitet dagnært, men ingen klar sone. Her var det store problemer med å få plassert profilet fornuftig, og dette ble liggende i bue langs en kartlagt svakhetssone. Til dels meget lav resistivitet gjør det vanskelig å påvise svakhetssoner i dette miljøet. Ved Skaugum indiker seismikken tre parallelle soner som delvis faller innenfor områder med lav resistivitet, og som har retning som er forskjellig fra det en skulle forvente ut fra det geologiske bildet. Sonene er tegnet gjennomgående på de to målte profilene (kartbilag –04) selv om en av dem gir utslag på bare ett profil. En annen sone er indikert med hastighet 4000 m/s i omgivelser på 4600 m/s. En tredje sone er bare 5 meter bred. Det kan her være rom for andre tolkninger, og en må absolutt ikke se på den presenterte tolkningen som en

fasit. Sør for Jansløkka Skole, ved koordinat 750 på resistivetsprofil 5, krysser en sone indikert på seismikken uten at det indikeres noe på de to resistivetsprofilene.

Ved Lagerudbekken påviste resistivetsmålingene spesielt lav resistivitet (<200 ohmm) i de øvre 10 til 20 metrene av profilet. Under dette ligger resistiviteten fra 300 til 1000 ohmm. Seismikken i området indikerer at løsmassene er ca 12 meter mektig og det synes klart at lav resistivitet i toppen skyldes løsmassene. Dersom en sammenholder geologien i borehullet på Staverhagen og forutsetter horisontal lagdeling, skulle bergrunnen i dette område tilhøre Askergruppen med sulfidimpregnasjoner. Denne sekvensen viser resistivetsverdier i området 300 ohmm i de øvre delene (figur 35), noe som stemmer godt med bakkemålingene. Spesielt lave resistivetsverdier i bunn av Askergruppen (100 ohmm) og overgangen til kambrosiluriske bergarter med resistivitet opp mot 1000 ohmm, er imidlertid ikke mulig å påvise i profilet.

5.2 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.

Ved alle de tre lokalitetene ved Jong – Asker ble det gjort forsøk på å måle indusert polarisasjon, IP. Ved oppstarten på Billingstad ble det påvist så mye støy knyttet til disse målingene, at de ble kuttet ut etter første utlegg. Det ble gjort nye forsøk ved Lagerudbekken, men signal/støyforholdet var her så lavt at mer enn halvparten av måleverdiene måtte kuttes ut. Årsaken til dette negative resultat er trolig tredelt. Generelt meget lav resistivitet i området, gir lave målesignaler, og derved ugunstige forhold. Strømstyrken ved starten av profil 1 (Billingstad – Åstad) var lav på grunn av dårlige jordingsforhold, og dette gjorde ikke målebetingelsene bedre. Et tredje forhold som sikkert påvirker støyforholdene, er støy forårsaket av menneskelig aktivitet i området. Ved Skaugum var strømstyrken relativt god (jevnt over 200 mA) og resistiviteten også noe høyere enn i de to andre områdene. Dette gav bedre signal/støyforhold, og en kunne invertere måledata. Ut fra de erfaringer en her fikk, synes det å være vanskelig å kunne lykkes med IP-målinger i urbane områder, spesielt hvis det er dårlige jordingsforhold og lav resistivitet i bakken.

Ved Skaugum, hvor det var mulig å invertere IP-data, kommer det frem sprikende resultater. Sone med lav resistivitet (< 100 ohmm) langs profil 3 (figur 5) viser tendens til lavere IP-effekt enn omgivelsene. Langs profil 4 (figur 6 og 7) viser sone med tilsvarende lav resistivitet et forhøyet IP-nivå uten at en kan si at dette faller sammen med selve sonen. Et område med høy resistivitet viser spesielt lave IP-verdier. Sone med lav resistivitet langs profil 5 (figur 8) ser ikke til å vise noen spesiell effekt på IP. Disse sonene med lav resistivitet ligger i et geografisk begrenset område, og dersom det hadde vært noen sammenheng mellom geologien i de ulike sonene og påvist IP-effekt, burde en fått et mer konsistent mønster.

Logging av IP i borehullet på Staverhagen viste utslag som kunne tilskrives sulfidimpregnasjoner i Askergruppens bergarter. Ved målinger på bakken ved Lagerudbekken var støyen for stor til at en kunne benytte måledata i tolkningen. Under mer gunstige målebetingelser bør målingene kunne benyttes til å kartlegge om det finnes impregnasjoner av sulfider i bakken. Dette har for øvrig vært praktisert siden midten av 70-årene innenfor malmleting, men ikke med moderne 2-dimensjonale teknikker.

5.3 Borehullslogging.

Alle loggeteknikker benyttet i de tre borehullene er sammenstilt i figurene 33, 34 og 35. Optisk televiever gir som vanlig viktig informasjon om sprekkers strøk, fall, frekvens og åpning, men også om bergartsfordeling. Temperaturdata viser svært stabile forhold med normalt forløp i alle tre borehull, og denne loggen gir ingen informasjon om innstrømning av vann i hullene. Vannets ledningsevne er meget stabil ved Skaugum og Åstad. I hullet på Staverhagan vises to sprang i ledningsevnen ved 58 og 60 meter. Strømningsloggen viser et lite sprang ved 57 meter, men dette er meget usikkert på grunn av at strømningsloggen starter først ved 55 meter.

Resistivitetsloggen bekrefter bare delvis målingene på bakken. Som diskutert under avsnitt 5.1, skyldes dette trolig påvirkning av bakkemålingene fra tekniske anlegg. Resistivitetsdata i borehullene representerer uforstyrrede målinger, riktignok som tilsynelatende resistivitet. I stabile partier kan denne antas å være lik den spesifikke resistivitet.

Måling av induisert polarisasjon (IP) i brønnen på Staverhagan viser samsvar mellom spesielt lav resistivitet og IP-effekt. Kjernemateriale fra nærliggende borehull viser at Askergruppens bergarter kan være sulfidimpregnert (Ole Lutro, NGU. Personlig meddelelse). En enkel test viser at sulfidkornene i en kjerneprøve har elektrisk kontakt, og prøven kan lede strømmen elektronisk. Dette forklarer de uvanlig lave resistivitetsverdiene i nedre del av Askergruppen (verdier under 10 ohmm). IP-teknikken er tradisjonelt benyttet til påvisning av kisimpregnasjoner i malmleting, men denne undersøkelsen viser at metoden også kan gi nyttig informasjon ved undersøkelser for anlegg i fjell. Påvist IP-effekt forklarer tilstedeværelse av kisminerale som forårsaker meget lav resistivitet, og i den kisimpregnerte delen av Askergruppen er det ikke påvist vanninnslag. For å teste om det også finnes kis i brønnene ved Skaugum og Åstad, burde det vært utført IP-logging av disse brønnene også.

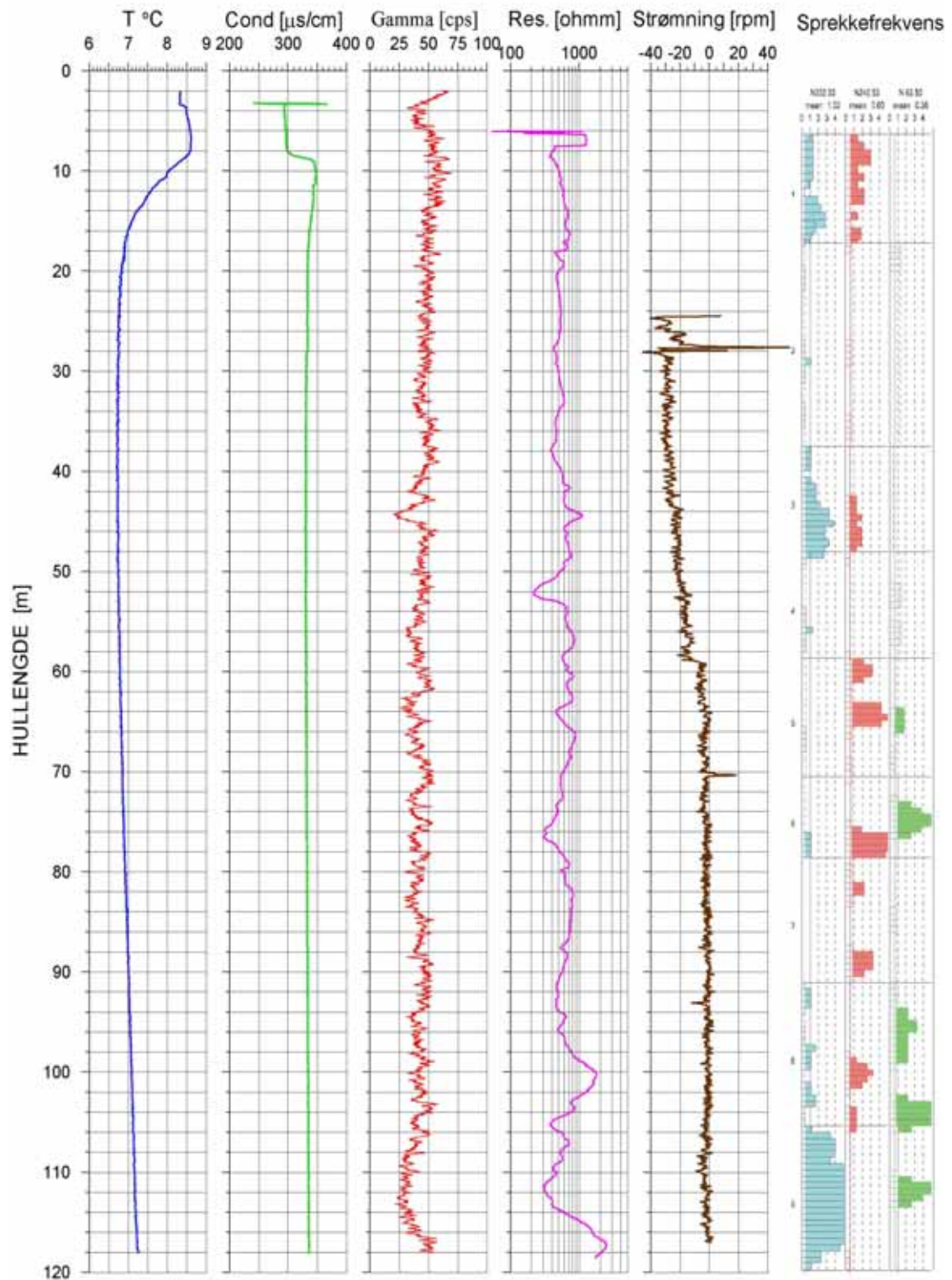
I undersøkelsene i brønnen på Staverhagan har Gamma-loggen (naturlig radioaktiv totalstråling) gitt verdifulle bidrag til den geologiske beskrivelsen av borehullet. Variasjoner i strålingen avspeiler ulike lagdelinger, og sammen med de øvrige loggene, har dette resultert i en detaljert beskrivelse av borehullet (tabell 2).

Tabell 2. Bh 3 Staverhagan. Geologisk og geofysisk logg av borehullet

Dyp [m]	Bergart	Naturlig Gamma [cps API]	Resistivitet [ohmm]	IP [ms]	Oppsprekning	Vann- giverevne
0 - 4	Rombeporfyr	150	?	?	?	?
4 - 25	Basalt	20 - 30	?	?	Ingen	?
25 - 35	Basalt	20 - 30	?	?	Intens	?
35 - 40	Askergruppe u/sulfid	50 - 80	?	?	Ingen	Vannspeil 40 m
40 - 46	Askergruppe u/sulfid	30 - 40	4 - 5000	2 - 6	Ingen	Moderat
46 - 49	Askergruppe u/sulfid	60 - 80	4 - 5000	8	Ingen	Moderat
48 - 50	Askergruppe u/sulfid	30 - 40	4 - 5000	3 - 5	Ingen	Moderat
50 - 51	Askergruppe u/sulfid	200 - 300	4 - 5000	3	Ingen	Moderat
51 - 52	Askergruppe u/sulfid	50 - 60	4 - 5000	3 - 4	Ingen	Moderat
52 - 75	Askergruppe m/sulfid	50 - 100	50 - 300	10 - 15	Noe	Ingen
75 - 85	Kambro Silur	50 - 60	200 - 1000	3 - 5	Noe	Ingen

Borehullslogging Skaugum

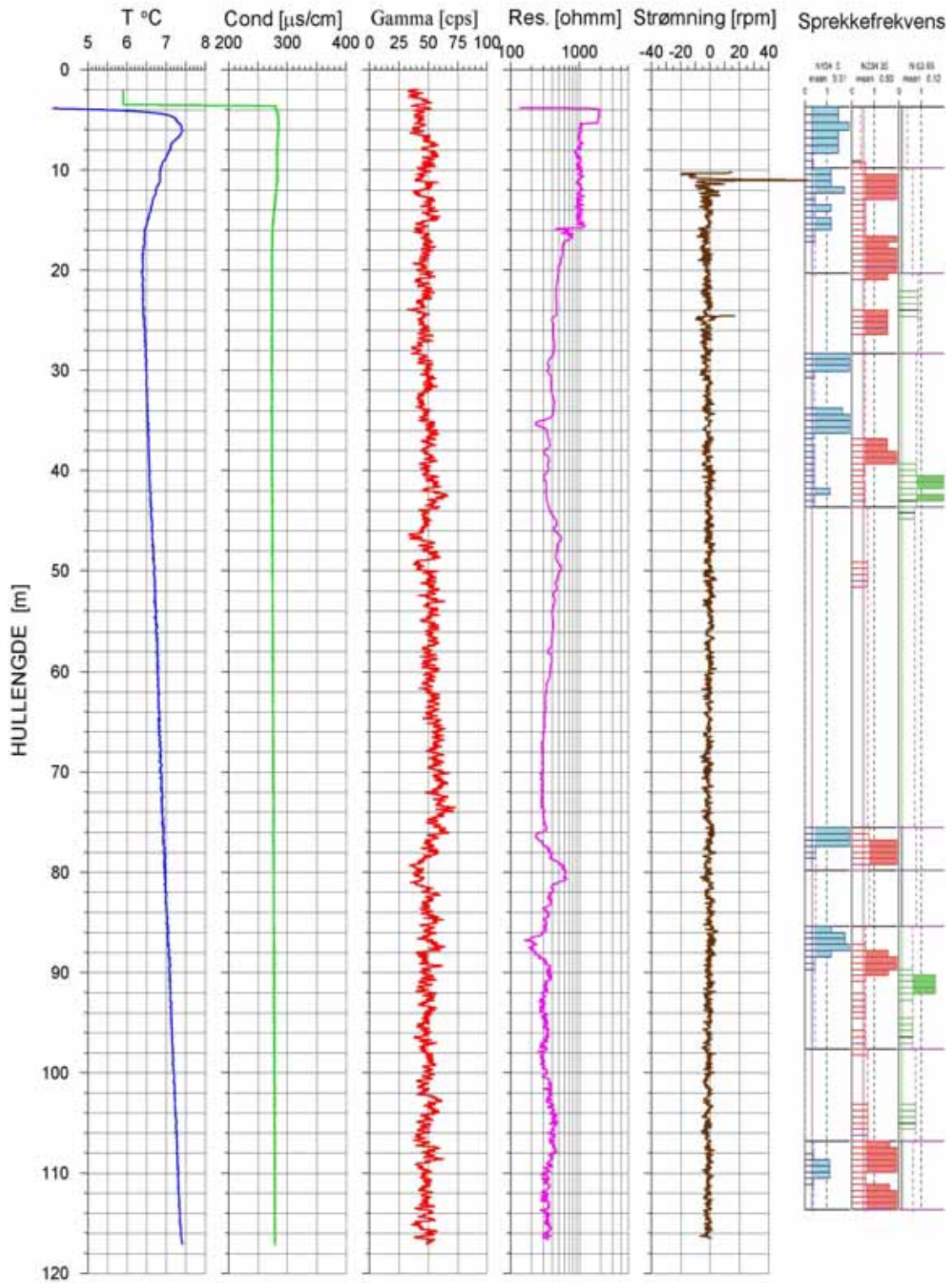
UTM 580737
32V 6635577



Figur 33. Sammenstilling av alle logger utført i borehull ved Skaugum.

Borehullslogging Åstad

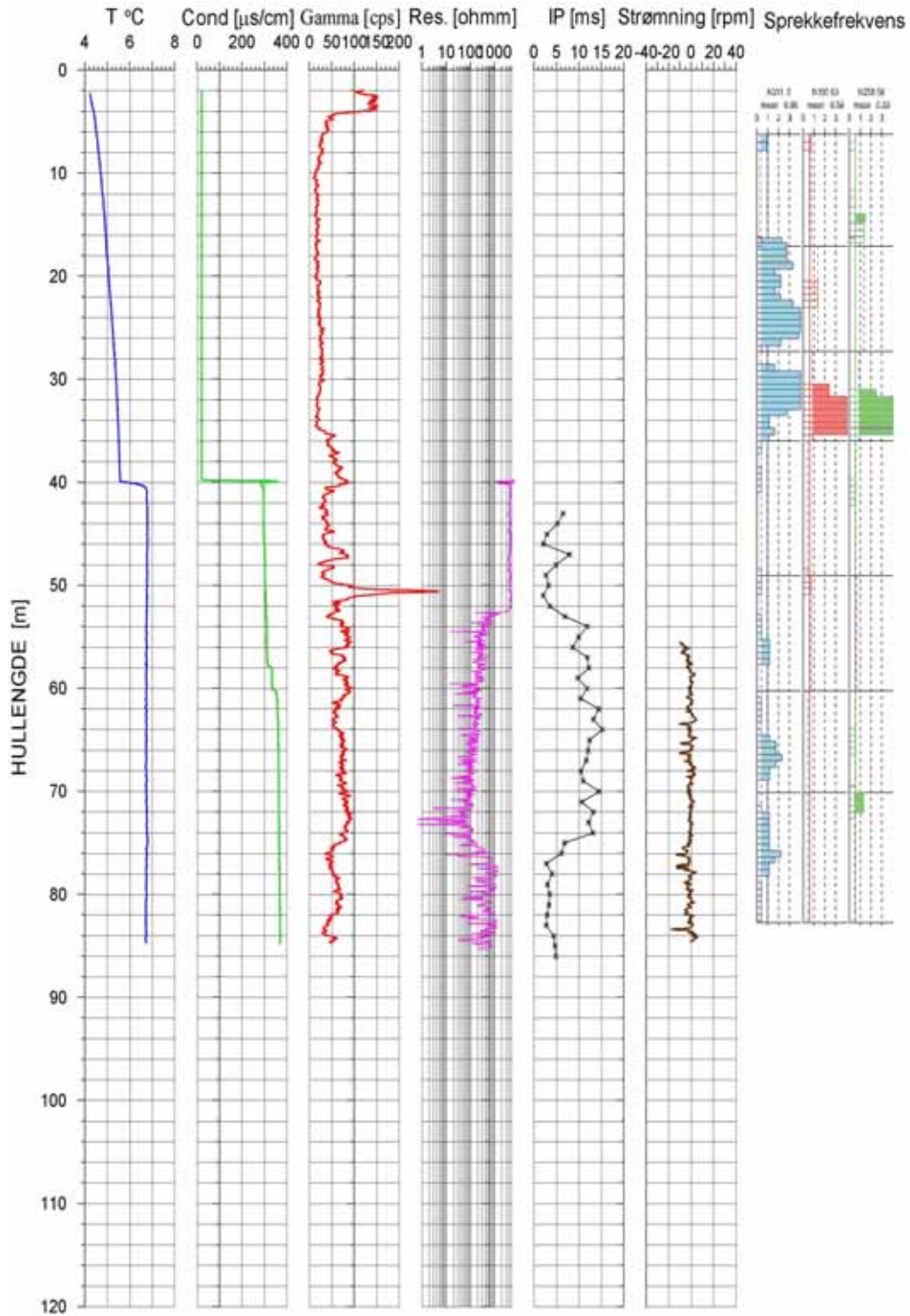
UTM 582166
32V 6638067



Figur 34. Sammenstilling av alle logger utført i borehull ved Åstad.

Borehullslogging Staverhagan

UTM 582587
32V 6639086
103 m.o.h.



Figur 35. Sammenstilling av alle logger utført i borehull ved Staverhagan.

5.4 Prøvepumping og strømningsmåling.

Gjennom prosjektet "Miljø- og Samfunnstjenlige tunneler" har NGU utviklet en egen prosedyre for prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling. Pumpen plasseres et stykke under vannspeil, mens strømningsmåler kjøres ned og opp i borehullet under pumpen. Forskjell i rotasjonshastighet ned og opp avspeiler netto vannstrøm langs hullet. Målingene kan også gjøres stasjonært ved å holde strømningsmåler i ro i bestemte posisjoner, men dette kan gi feilmålinger ved lav strømning.

Målingene ved Skaugum viste meget gode data. Her indikeres flere vanninnslag ved forskjellig dyp, også i tunnelnivå. Vanninnslagene kan kvantifiseres, men det er en viss usikkerhet knyttet til dette. Usikkerheten ligger først og fremst i sentraliseringen av strømningsmåleren, men også i om strømmingen er laminær. Ved Åstad er det kun påvist vanninnslag ved 11 meter, mens resten av hullet ned til tunnelnivå synes tett. På Staverhagan indikeres kun vanninnslag i Askergruppens øvre del hvor det ikke er sulfidimpregnasjoner. Brønnen synes tett i tunnelnivå.

I to tilfeller fikk en ikke registrert vannivå i brønnene under pumping. Dette forhindrer et klart anslag av brønnenes kapasitet.

5.5 Resultater fra tunneldrivingen.

Fra Johan Mykland (ingeniørgeolog ved anlegget) har NGU mottatt registreringer fra drivingen av tunnelene. I kartbilagene –02 til –04 er de største lekkasjene for hver skjerm gradert fra 100 – 200 l/m og > 200 l/min og plottet sentralt i skjermen. Data fra Skaugumtunnelen er sammenstilt i figur 36. Lekkasje og injeksjon registrert på hver skjerm er beregnet pr-m tunnel og plottet i senter av registreringen. Inndrift pr-dag er beregnet som middel i angitte perioder (ca 1 uke) og plottet sentralt i perioden. Q-verdi er beregnet for ca hver 6 meter og plottet sentralt i intervallet. Alle disse data er sammenholdt med målt resistivitet på bakken.

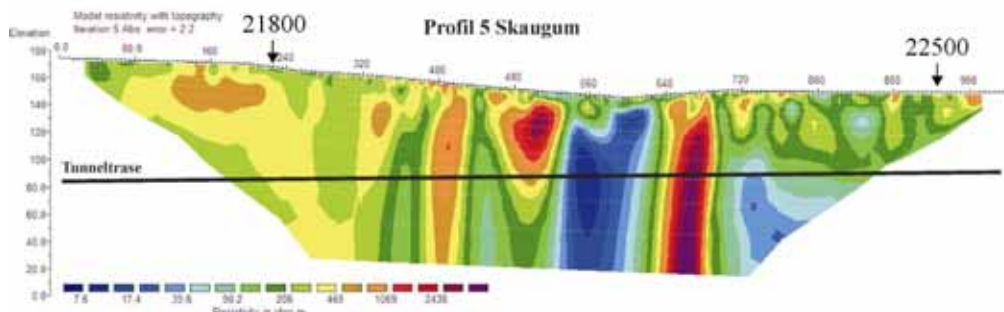
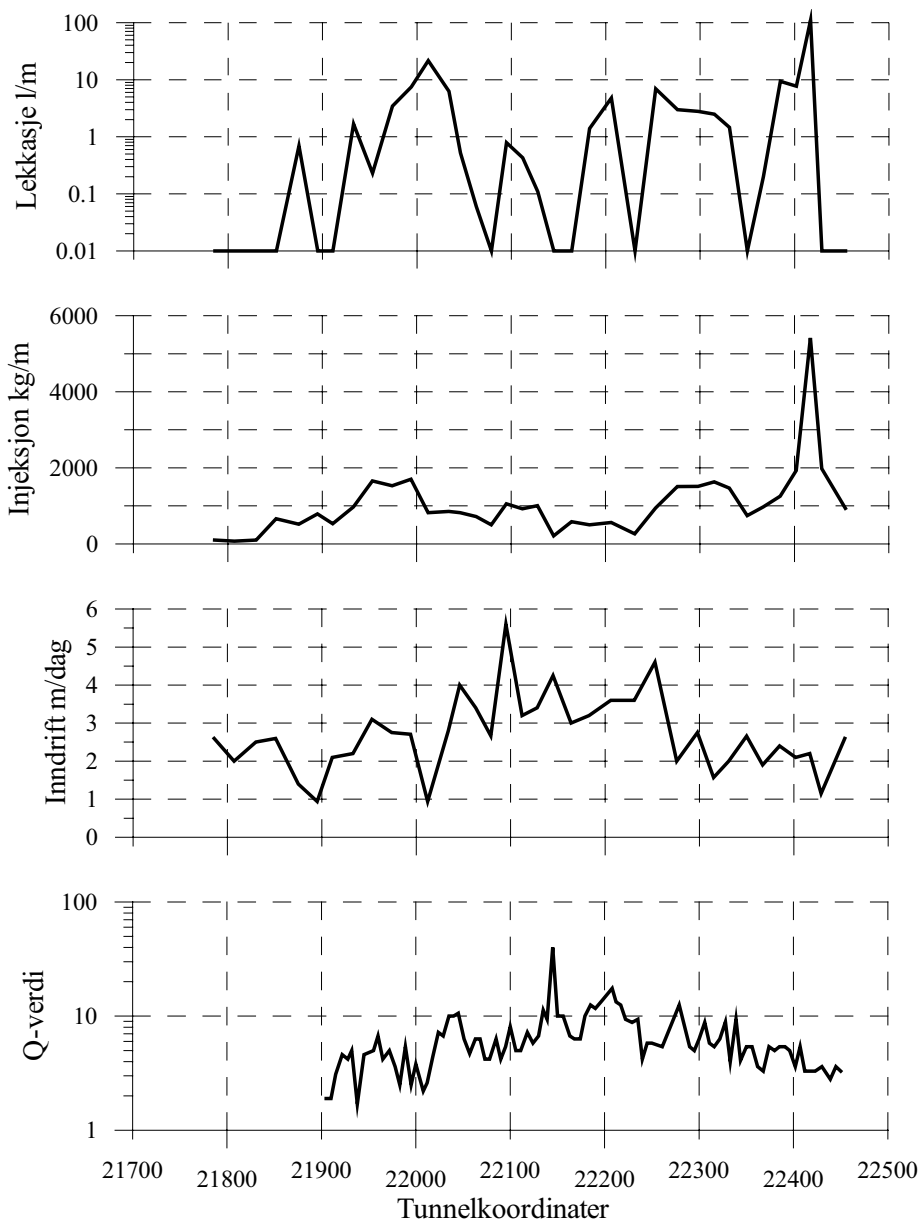
På strekningen Billingstad- Åstad (kartbilag –02) er det tre steder som er angitt å ha større lekkasjer. Som kartbilaget viser, opptrer to av disse lekkasjene i nær tilknytning til geologisk kartlagte svakhetssoner, mens en tredje faller sammen med en seismisk lavhastighetssone. Alle tre lekkasjesonene ligger innenfor de to områdene som har gitt lav resistivitet i tunnelnivå.

Ved Lagerudbekken (kartbilag –03) faller også de påviste store lekkasjene sammen med en seismisk lavhastighetssone. Her er den generelle resistiviteten i tunnelnivå langs hele profilet fra 300 til 1000 ohmm på grunn av sulfidimpregnasjoner i Askergruppen, og klare svakhetssoner var vanskelig å påvise med resistivitet.

Ved Skaugum (kartbilag –04) er det tre soner som kommer fram med større lekkasjer. En sone (ved profilkoordinat 400) faller sammen med en geologisk kartlagt sone, og synes å ligge i vekslingen mellom lav og noe høyere resistivitet (se figur 36). Neste lekkasje ligger i utkanten av ei sone med spesielt lav resistivitet (koordinat 620), og som ved brønnboring (Bh1) ga betydelige vannmengder. I dette området er det ikke kartlagt noen sone geologisk, og refraksjonsseismikken viser heller ingen indikasjoner. Ved den tredje lekkasjen (ved koordinat 850) er det ingen indikasjoner på svakhetsone fra den geologiske kartlegginga og heller ikke ved refraksjonsseismikken. Lekkasjen ligger i et område med lav resistivitet (100 – 200 ohmm) men på grunn av at dette er på flanken av profilet, er resistivitetsverdiene usikre. Ut fra dette synes det vanskelig å

forutsi hvor en kan få vannlekkasjer, både ut fra ingeniørgeologisk kartlegging, refraksjonsseismikk og resistivitetsmåling.

Figur 36 viser at det er vanskelig å se noen klare sammenhenger mellom kartlagt resistivitet og de forskjellige parametrene fra drivingen av Skaugumtunnelen. Spesielt er det ikke mulig å se noen sammenheng mellom spesielt lav resistivitet og drivingsproblemer. Faktisk er det slik at største inndrift er i området med lavest resistivitet. Noen tilfredsstillende forklaring til de lave resistivitetsverdiene er det ikke mulig å finne, og dette bør følges opp med mer detaljerte studier i tunnelen.



Figur 36. Tunneldata Skaugum, lekkasje pr-m tunnel, injeksjon pr-m tunnel, inndrift pr-dag og Q-verdi sammenholdt med målt resistivitet på bakken.

6. KONKLUSJON.

Undersøkelsene ved Jong-Asker-tunnelen inkluderer måling av resistivitet og delvis induert polarisasjon langs 5 profiler, ett ved Billingstad – Åstad, ett ved Lagerudbekken og 3 ved Skaugum. På grunnlag av resultater fra disse undersøkelsene er det boret to brønner, en ved Skaugum og en ved Åstad. Disse og en eldre brønn på Staverhagan, er inspisert med optisk televiewer og det er foretatt logging av temperatur, vannets ledningsevne, naturlig radioaktivitet, resistivitet og delvis induert polarisasjon. Til slutt er det foretatt prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling.

Resistivitetsmålingene ved Jong –Asker har ikke vist så klare indikasjoner på svakhetssoner som ved de andre områdene som er undersøkt innen "Tunnelprosjektet". Dette kan skyldes en generelt lav resistivitet i bergartene og påvirkning fra tekniske anlegg. Påviste svakhetssoner fra seismiske målinger og geologisk kartlegging faller i hovedsak innenfor soner med lav resistivitet, og det er derfor ikke noen motsetning mellom metodene. Undersøkelsene viser at det kan være andre årsaker til lav resistivitet enn oppsprekning; generelt stort porevolum, relativt høy ledningsevne i porevann og elektrisk ledende mineraler. Ved Staverhagan antas kismineraler å være årsak til spesielt lav resistivitet. Det kan ikke påvises noen sammenheng mellom målt resistivitet i bergarten og vanngiverevnen i brønnene.

Karakterisering av svakhetssoner ved bruk av induert polarisasjon mislyktes. Støynivået ved to av områdene var for stort til å gi pålitelige data. Dette skyldes generelt lav resistivitet i bergartene, mye kulturell støy og ugunstige målebetingelser. Ved Skaugum gav disse målingene sprikende data på tre soner i et geografisk begrenset område. I brønnen på Staverhagen gav IP verdifull informasjon om kismineralisering, og det bør vurderes om IP skal inngå som standard metode ved borehullslogging.

Inspeksjon av borehullene gav som tidligere verdifull informasjon om sprekkers strøk, fall, frekvens og åpning. Logging av temperatur og vannets ledningsevne viste stabile forhold, og kunne ikke påvise innstrømning av vann i noen av hullene. Måling av naturlig radioaktivitet gir informasjon om bergartsfordelingen nede i brønnene, og spesielt på Staverhagan var dette verdifullt.

Prøvepumping i kombinasjon med strømningsmåling har gitt klare data på hvor i brønnene en har vanninnslag, og det er mulig å kvantifisere disse med en viss usikkerhet. Det er viktig at vannets nivå logges hele tiden under prøvepumpingen.

Data fra drivingen av tunnelene er delvis sammenholdt med kartlagte resistivitets-verdier. Påviste lekkasjer på stuff faller innenfor områder med lav resistivitet. Det er imidlertid vanskelig å forutsi hvor lekkasjer vil komme, og hvor store de er. Det er ikke funnet noen sammenheng mellom lav resistivitet og vanskelige driftsforhold.

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. & Rønning, J.S. 2002: Geofysiske målinger Langvatnet- øst, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2002.106. Miljø- og Samfunnstjenlige Tunneler Rapport nr. 21

Elvebakk, H., Braathen, A., Rønning, J.S. & Nordgulen, Ø. 2001: Tunnelprosjektet. Borehullslogging og strukturgeologiske studier Gualia, Lunner kommune. NGU Rapport 2001.117. Miljø- og Samfunnstjenlige Tunneler Rapport nr. 10.

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

Lutro, O., Nordgulen, Ø. & Braathen, A. 1999: Geologiske forhold langs jernbanetrase` Asker – Sandvika. NGU Rapport 99.011.

Lutro, O. 1999: Geologisk kartlegging i Åstaddalen, Asker og Bærum. NGU Rapport 99.091

Lutro, O. & Nordgulen, Ø. 2001: Geologiske forhold langs planlagt jernbanetrase` i området Lagerudbekken – Astaddalen. NGU Rapport 2001.002.

Nordgulen, Ø., Lutro, O., Roberts, D. & Braathen, A. 1998: Geologisk og strukturgeologisk kartlegging for Jernbaneverket Utbygging i Asker og Bærum. NGU Rapport 98.124.

Paulsson, S. 1999: Nytt dobbeltspor Skøyen – Asker, parsell Jong – Asker Refraksjonsseismisk undersøkelse. GeoPhysix Rapport 2.

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 & Dalsegg, E. 2001: Tunnelprosjektet. Geofysiske målinger ved Langvatnet, Lunner, Oppland. NGU Rapport 2001.090. Miljø- og Samfunnstjenlige Tunneler Rapport nr. 7.

KOORDINATER FOR MÅLTE PROFILER OG BORHULL

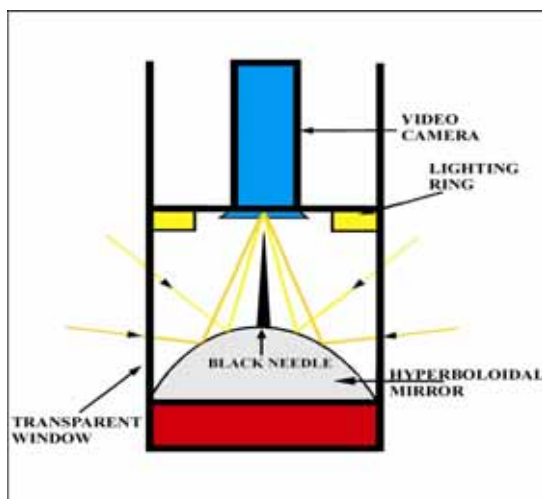
Profil	Posisjon (m)	UTM-nord(WGS-84) Sone 32	UTM-øst(WGS-84) Sone 32
1	0	6638808	582559
"	120	6638722	582466
"	150	6638728	582445
"	300	6638617	582250
"	600	6638258	582191
"	700	6638063	582148
"	800	6637872	582064
"	900	6638617	582250
"	1000	6638258	582191
"	1100	6638063	582148
"	1200	6637872	582064
2	0	6639449	582772
"	100	6639357	582772
"	200	6639254	582737
"	300	6639163	582737
"	400	6639070	582685
3	0	6635907	580781
"	200	6635704	580751
"	400	6635518	580706
"	600	6635332	580634
"	800	6635165	580536
4	0	6635473	580955
"	200	6635571	580782
"	400	6635668	580621
5	0	6665668	578586
"	200	6635059	580637
"	400	6635251	580700
"	600	6635435	580774
"	1000	6635810	580900
"	1200	6635995	580972
Bh 1		6635577	580737
Bh 2		6638067	582166
Bh 3		6639086	582589

METODEBESKRIVELSE OPTISK TELEVIEWER (OPTV)

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

Måleprinsipp og utførelse.

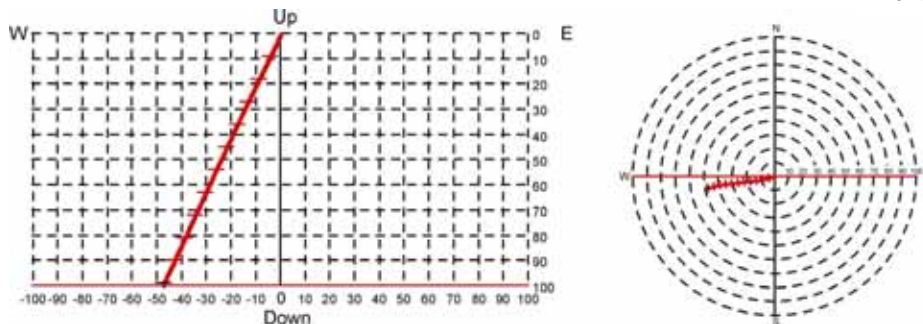
Optisk televiewer er et instrument som brukes ved inspeksjon av borehull med en diameter fra 70 – 160 mm. Instrumentet består av et digitalt kamera som filmer mot et hyperbolsk speil, se prinsippskisse figur 1. Kameraet ”ser” vinkelrett en større del av borehullsveggen, men bare en sirkel med høyde 1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



Figur 1: Prinsippskisse av optisk televiewer.

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

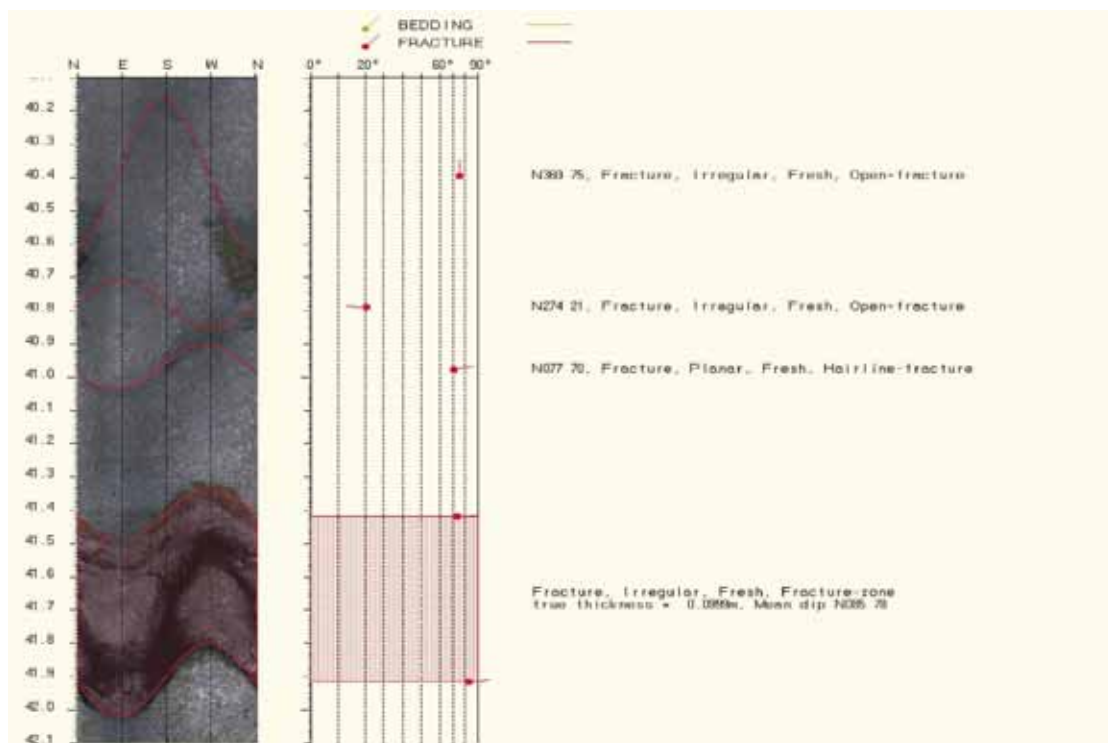
Med data fra denne instrumenteringen kan også borehullets forløp (avvik) beregnes (Figur 2). Borehullsvinkel kan måles i området 0 – 180° med en nøyaktighet på +/- 0.25°. Retningen kan måles fra 0 til 360° med en nøyaktighet på +/- 2.5°. Avviket måles kontinuerlig langs hele borehullet. Data kan plottes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



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

Analyse av data.

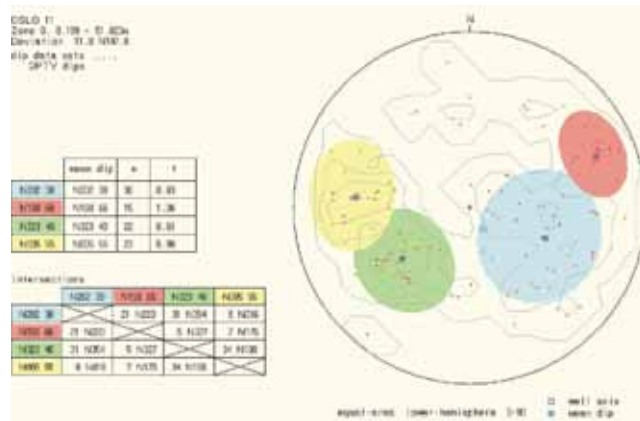
Ved analyse brettes det orienterte digitale bildet ut (se figur 3). Plane sprekker vil da indikeres som en sinusformet kurve. Steile sprekker vil indikeres med store amplituder ved loddrette hull. Dersom borehullet skjærer sprekken vinkelrett, vil disse vises som rette linjer. Siden bildet er orientert,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



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

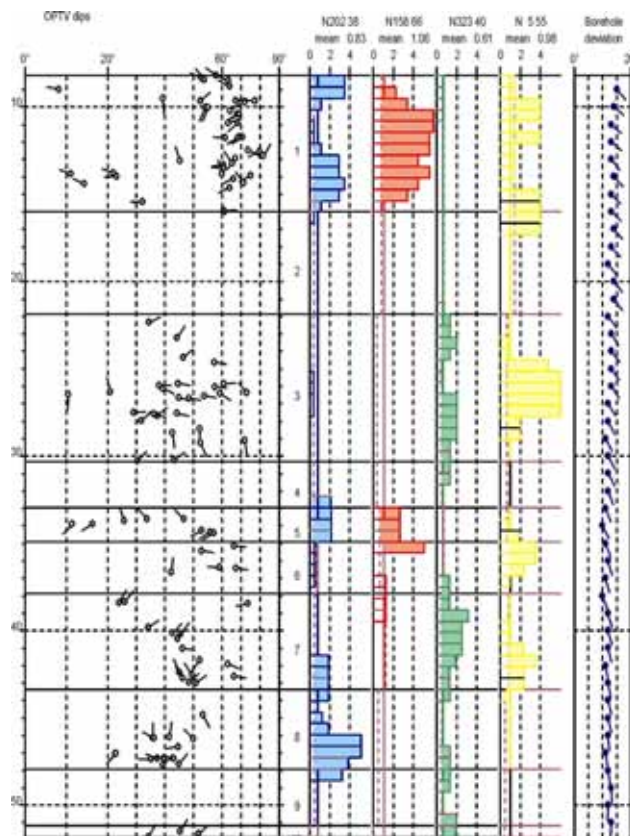
Når alle hendelser er digitalisert, kan en utføre sprekke- og strukturanalyse. Et NGU Rapport 2003.006 (normalvektoren) til alle digitaliserte sprekker i et stereogram (figur 4), kan for Tekstbilag 1 side 3

defineres. Disse får tildelt en farge, og sprekkegruppens middelværdi 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 sprekke-mønstrene tilordnes histogrammer, og på grunnlag av disse kan hullet deles inn i soner som hver er karakterisert med spesielle sprekke-mønstre. Sprekkefrekvens for alle definerte grupper kan deretter beregnes innenfor hver sone i borehullet. Tilsvarende analyser kan også gjøres for bergartsganger og eventuelt bergartsgrenser. I tillegg til grafisk presentasjon kan alle data listes i tabellform.



Figur 5. Sprekkelogg for tolket borehull. Til venstre vises de individuelle sprekke som pilplott. Pilhodene angir individuelle sprekkers fall, mens halen viser fallretning (nord opp). Histogrammene viser hvor i borehullet de forskjellige sprekke-mønstrene 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 televiewer. 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 sprekke tilhører. Piler uten farge er sprekker utenfor noen av de definerte gruppene.

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

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

Alle sprekke- 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 Azimuth	Well deviation 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	- Sprekkes fallretning
Dip	- Sprekkeplanets fallvinkel
n	- Antall punkter brukt for å digitalisere en sprekke
K	- Type sprekke (2 = sprekke, 0 = bånding)
Upper depth	- Dyp til sprekkeplanets øvre skjæringspunkt med borehullsveggen
Lower depth	- Dyp til sprekkeplanets nedre skjæringspunkt med borehullsveggen
Well diam.	- Borehulldiameter
Well deviation:	
Azimuth	- Borehullets fallretning
Dev	- Borehullets fallvinkel målt fra lodmlinjen

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		n	f
	azim	pl	cone	strike	dip		
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 Dev	AZIM Azim	DEPTHS m		No. DATA	MEAN DIPS and FREQUENCIES															
			TOP	BASE		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 sprekkgruppe (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 sprekkgruppene (i sonen)

f - Gjennomsnittlig sprekkfrekvens i hver av de definerte sprekkgruppene (i sonen)

Borehole:

Depth range: 1.396 - 52.996m

Depth	Deviation components				
	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

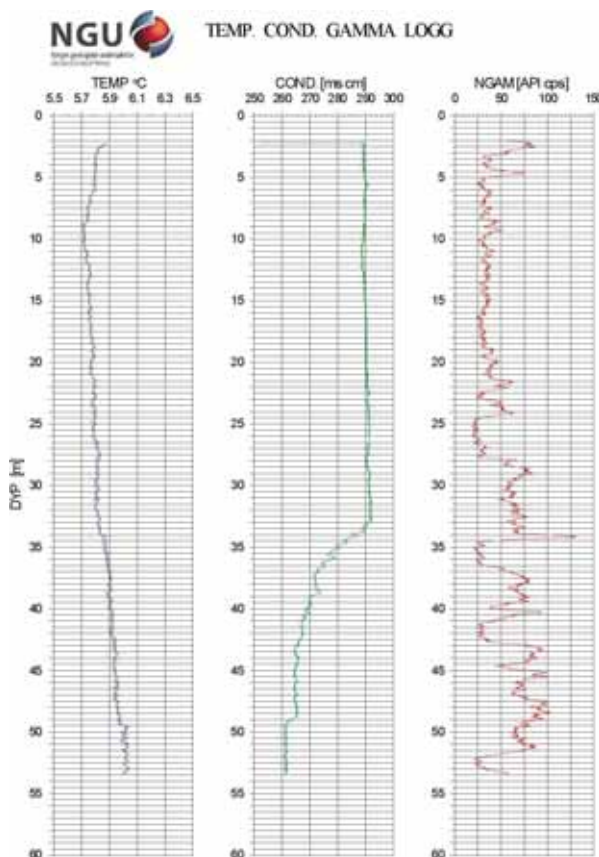
LOGGING TEMPERATUR, ELEKTRISK LEDNINGSEVNE, NATURLIG GAMMA.

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

Temperatursensoren produserer en elektrisk strøm som er proporsjonal med temperaturen og kan måle temperaturer i området 0 – 70 °C. Ledningsevnen i vannet måles ved å måle strømmen i en vannfylt celle. Strømstyrken er avhengig av ledningsevnen og det kan måles i området 50 – 50,000 µS/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 µS/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.



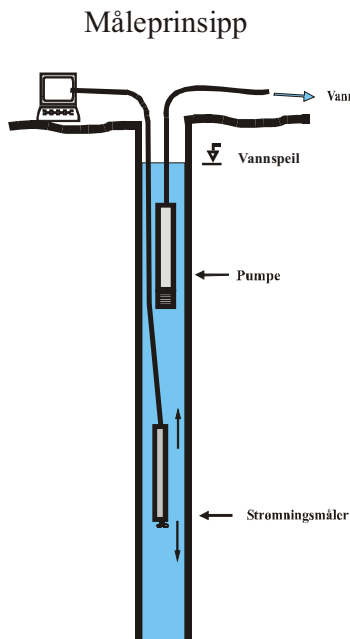
Figur 1. Temperatur-, ledningsevne- og gammalogg fra borehull. Litt høyere temperatur dagnært skyldes påvirkning fra overflatetemperaturen. En svak økning ved 33 m kan skyldes innstrømning av vann med høyere temperatur. En tydelig nedgang i den elektriske ledningsevnen ved samme dyp kan tyde på det samme.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

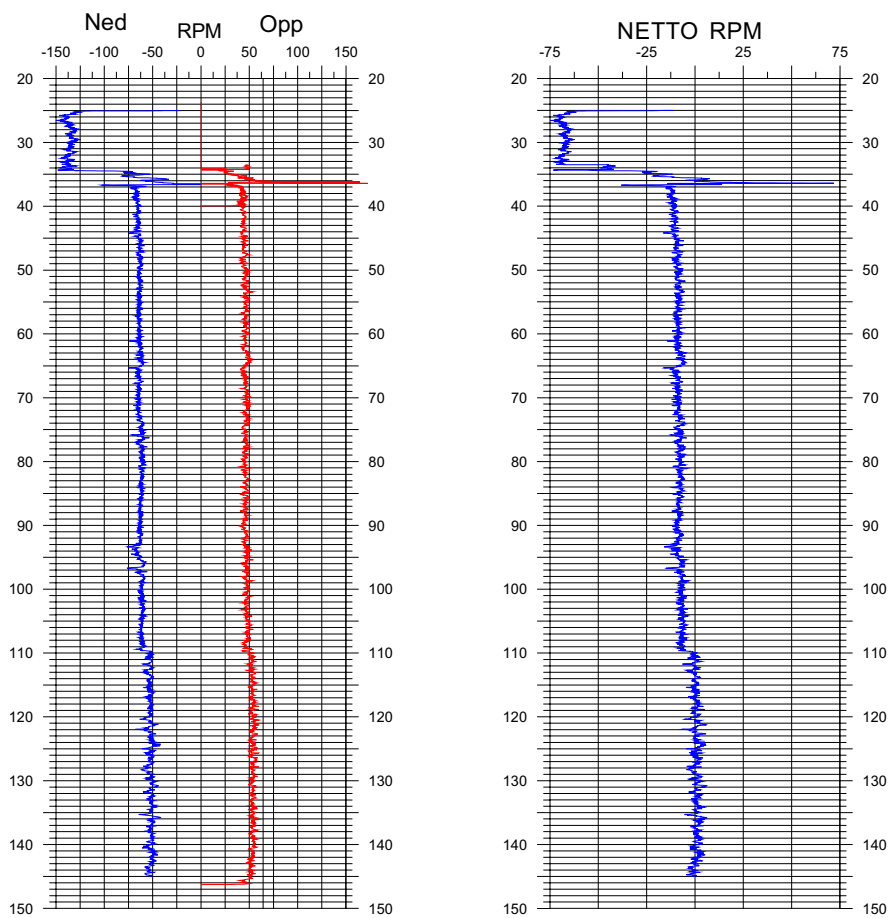
Målingene kan utføres statisk ved at sonden står i bestemte posisjoner hvor vannstrømmen måles f. eks. over og under en sprekk. Dynamiske målinger foretas ved at sonden senkes og heves i borehullet med konstant hastighet.



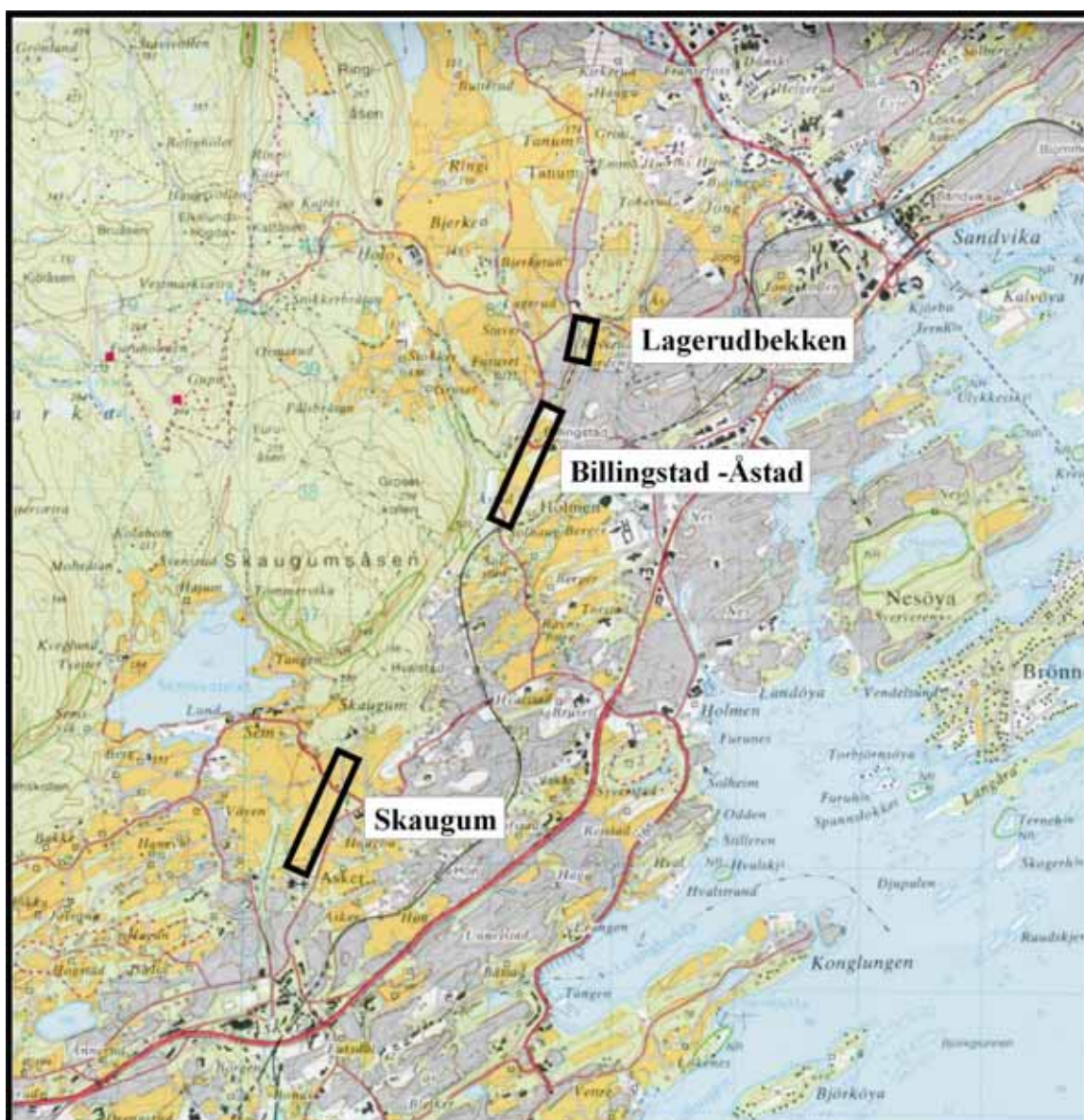
Figur 1. Måleprinsipp for strømningsmåling i borehull. Pumpen er plassert øverst i borehullet og pumper med en konstant vannmengde tilnærmet brønnens kapasitet. Strømningsmåleren kjøres opp og ned i borehullet. Den kan også stå i ro på bestemte dyp. I begge tilfeller registreres propellens turtall.

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 artesisisk, eller ved at målingene kombineres med pumping av borehullet.

Resultatene presenteres som rpm-logg opp og ned langs hele hullet eller som punktvis rpm-logg (stasjonær måling). Ved å ta differansen mellom opp og ned fjernes bidraget fra sondens hastighet, og en får netto rpm. Endringer i rpm betyr endringer i strømningshastigheten og dermed vanninnstrømning i borehullet. Ved stasjonær måling får en netto rpm direkte. Figur 2 viser eksempel på strømningslogg ned og opp samt netto strømning .



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



 UNDERSØKTE OMRÅDER

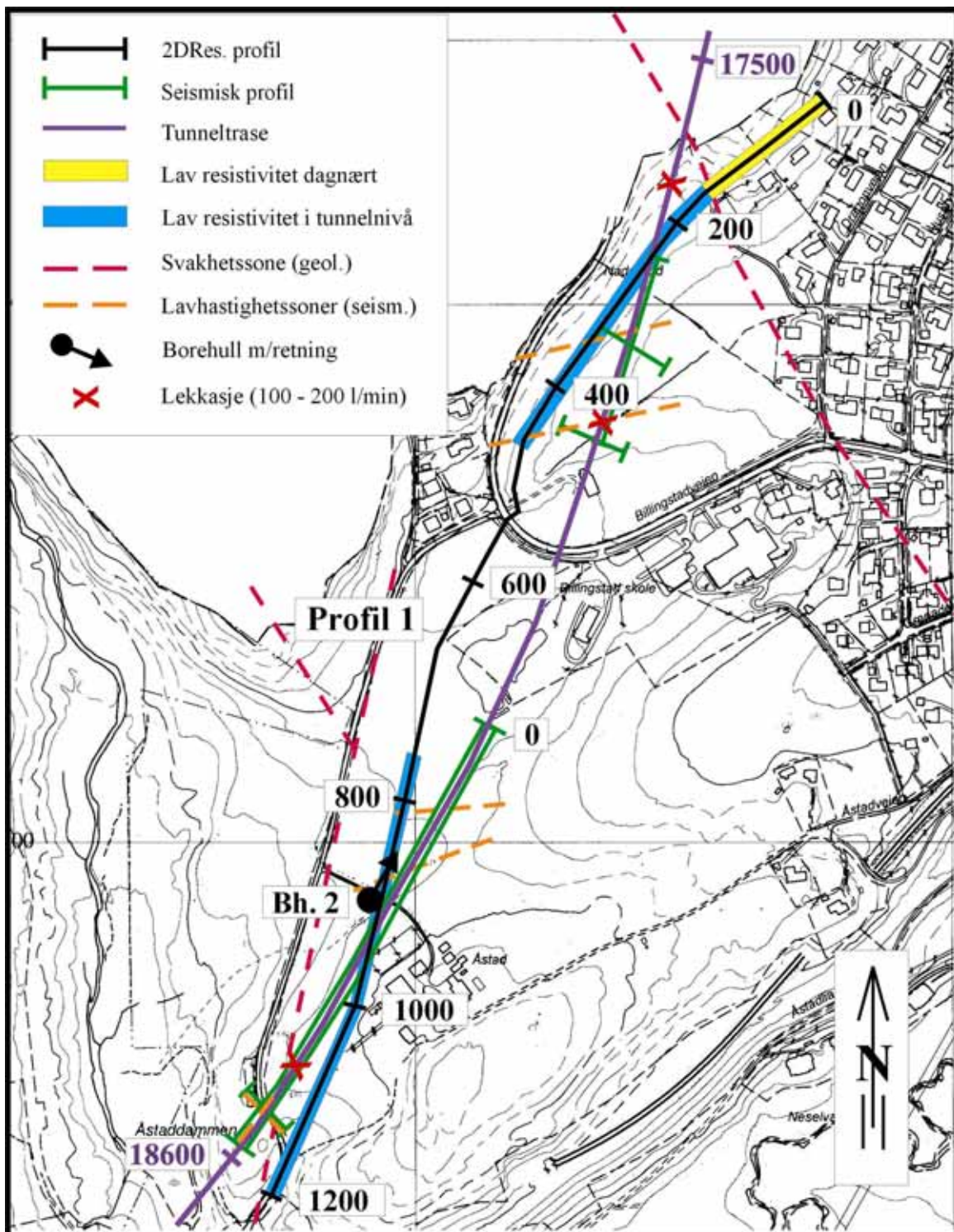


STATENS VEGVESEN
 OVERSIKTSKART
JONG - ASKER
 ASKER OG BÆRUM, AKERSHUS

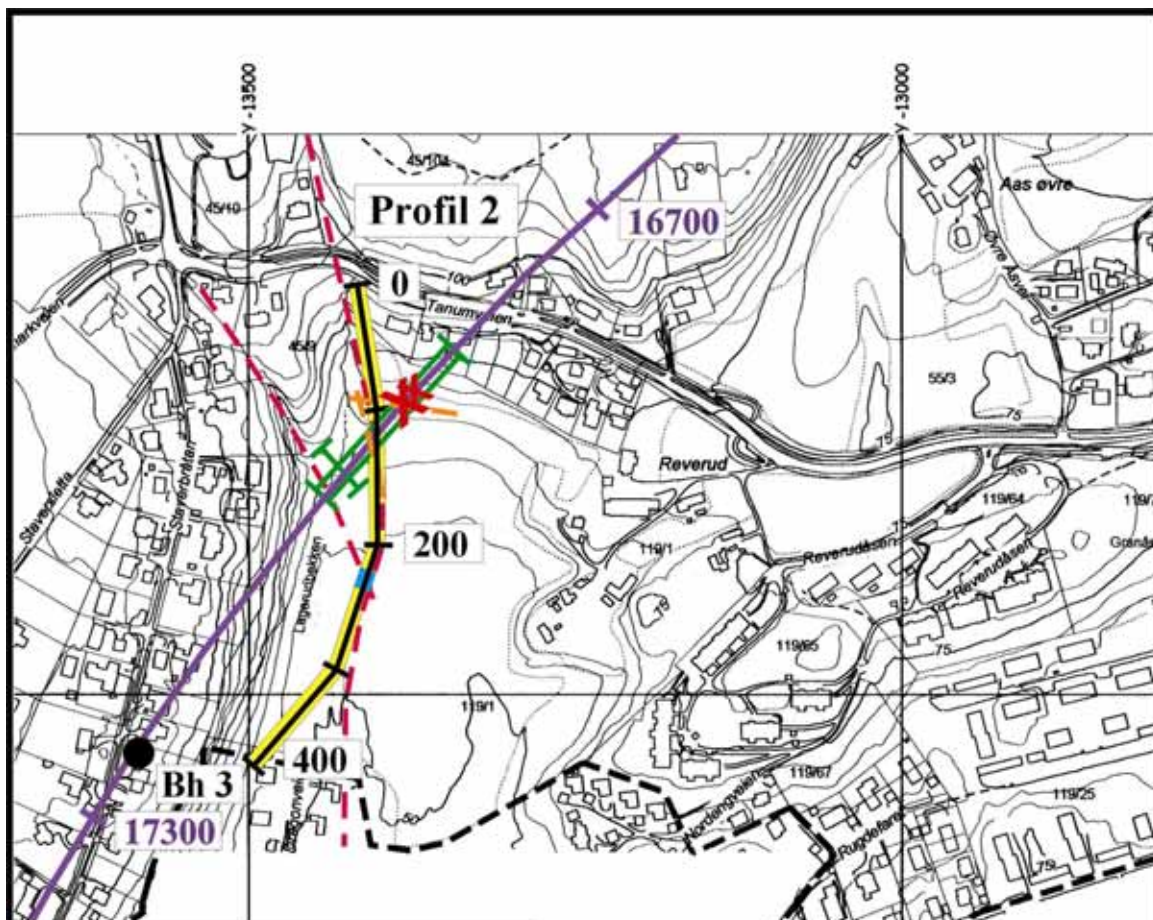
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM











MÅLESTOKK 1:50 000	MÅLT E.D.	2002 - 2003
	TEGN E.D.	Juli 2003
	TRAC	
	KFR	

KARTBILAG NR 2003.006-01	KARTBLAD NR 1814 I
-----------------------------	-----------------------



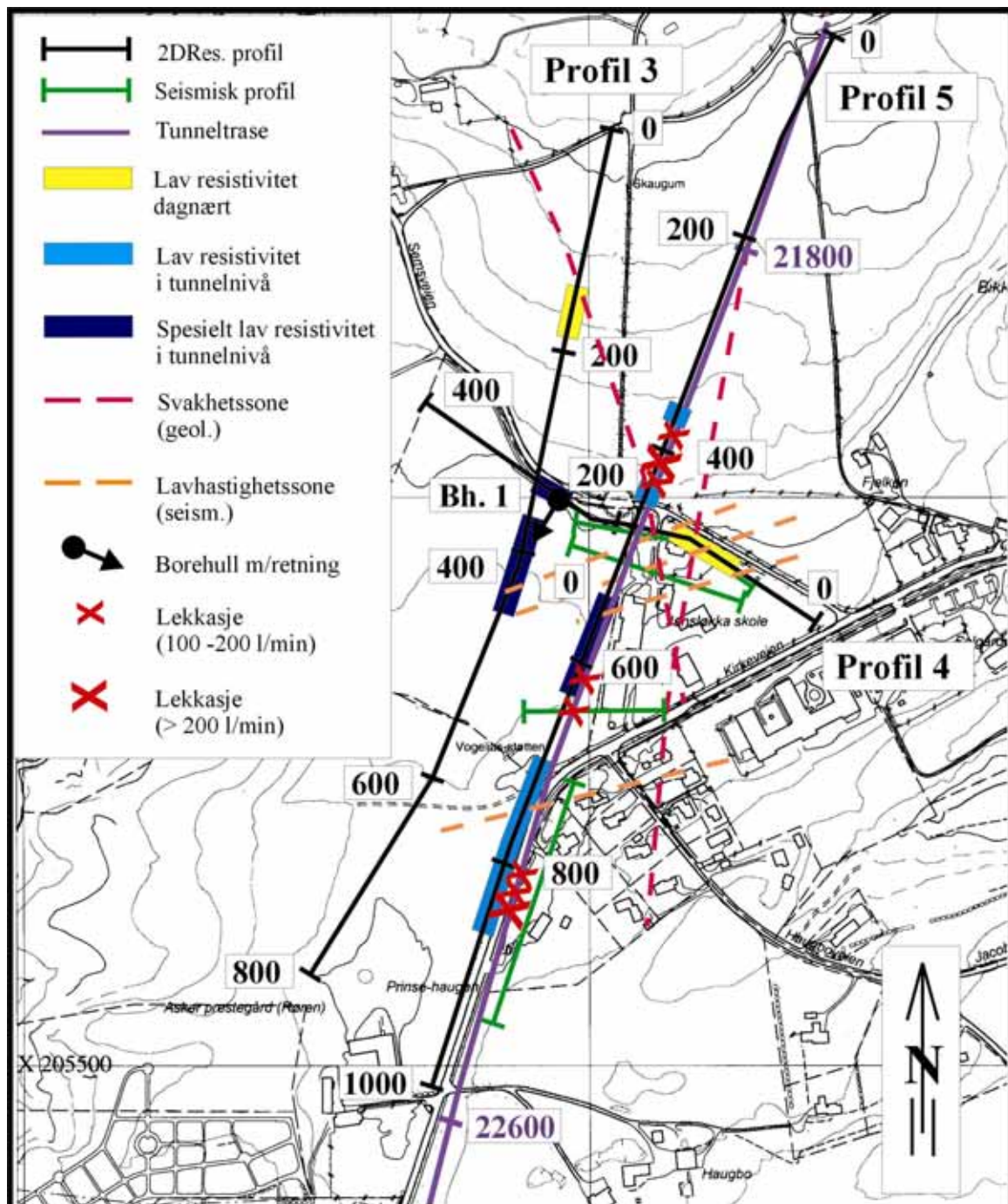
STATENS VEGVESEN RESISTIVITET TOLKNINGSKART BILLINGSTAD - ÅSTAD ASKER, AKERSHUS	MÅLESTOKK 1:5 000	MÅLT E.D. Sept. 2002	TEGN E.D. Des. 2002
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR 2003.006-02	KARTBLAD NR 1814 I	



-  2DRes. profil
-  Seismisk profil
-  Tunneltrase
-  Lav resistivitet dagnært
-  Lav resistivitet i tunnelnivå
-  Svakhetszone (geol.)
-  Lavhastighetszone (seism.)
-  Borehull (i lodd)
-  Lekkasje (100 - 200 l/min)
-  Lekkasje (>200 l/min)



STATENS VEGVESEN RESISTIVITET TOLKNINGSKART LAGERUDBEKKEN BÆRUM , AKERSHUS	MÅLESTOKK 1:5 000	MÅLT E.D.	Sept. 2002
		TEGN E.D.	Des. 2002
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	KARTBILAG NR	KARTBLAD NR	
	2003.006-03	1814 I	



STATENS VEGVESEN
 RESISTIVITET TOLKNINGSKART
SKAUGUM
 ASKER , AKERSHUS

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
 TRONDHEIM

MÅLESTOKK 1:5 000	MÅLT E.D.	2002-2003
	TEGN E.D.	Juni 2003
	TRAC	
	KFR	
KARTBILAG NR 2003.006-04	KARTBLAD NR 1814 I	