

MILJØ- OG SAMFUNNSTJENLIGE TUNNELER

Rapport nr: **26**

Borehullslogging i fjellbrønn, Holmedal, Sunnfjord.

Verifisering av hydrogeologisk modell med hensyn til bergspenning, oppsprekking og strømningsretning



A



Intern rapport nr. 2317



Statens vegvesen

Rapport nr.: 2002.093		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Borehullslogging i fjellbrønn, Holmedal, Sunnfjord. Verifisering av hydrogeologisk modell med hensyn til bergspenning, oppsprekking og strømningsretning.				
Forfatter: Harald Elvebakk, Jan S. Rønning,		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Sogn og Fjordane		Kommune: Askvoll		
Kartblad (M=1:250.000) Florø		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1117 I Dale		
Forekomstens navn og koordinater: Se sammendrag		Sidetall: 33	Pris: kr 190	
Feltarbeid utført: Okt. 1999, Okt. 2000		Rapportdato: 28.08.02	Prosjektnr.: 282702	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>I forbindelse med forprosjektet til "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", Tunnelprosjektet, har NGU testet ut forskjellige metoder for borehullslogging. I denne rapporten er det beskrevet resultater med optisk televiwer, temperatur-, ledningsevne-, gamma- og resistivitetslogg fra en 100 m dyp fjellbrønn ved Holmedal, Askvoll kommune, Sogn og Fjordane. Brønnen, Bh 9 (en av 9 brønner), er boret i nærheten av lineamenter/bruddsoner for å kartlegge vanngiverevnen i fjellbrønner i forbindelse med slike strukturer. De geofysiske undersøkelsene hadde som hensikt å kartlegge bergartene, spesielt med hensyn på oppsprekking. For alle indikerte sprekker er sprekkeplanets strøkretning, fallretning og fallvinkel beregnet. I denne rapporten blir det gjort forsøk på å sette oppsprekningsmønster inn i en spenningsmodell for brønnfeltet.</p> <p>I Bh 9, Holmedal opptrer de fleste sprekke under 50 m dyp og hovedsprekkeretningen er Ø-V med fall mot nord, dvs. parallelt med foliasjonen i bergarten. Temperatur- og ledningsevnelogg indikerer flere sprekker som kan tyde på vanninnstrømning i hullet. En tydelig resistivitetsanomali ved 61 m dyp faller sammen med en indikert åpen sprekke på den optiske loggen. Det er ikke gjort strømningsmålinger i brønnen, men Bh 9 er den av brønnene i feltet som gir mest vann. Mesteparten antas å komme fra sprekker dypere enn 50 m hvor også sprekkefrekvensen er størst.</p> <p>Flest sprekker er kartlagt i retning Ø-V. Dette faller sammen med største hovedspenning i området samt retningen til Dalsfjordforkastningen. Tidligere utførte pumpetester indikerer en kommunikasjon mellom flere brønner. De påviste Ø-V sprekke i Bh 9 kan være årsaken til deler av denne kommunikasjonen.</p> <p>Uttestingen av forskjellige metoder for borehullslogging, som blant annet i Holmedal, har vist at en kombinasjon av metodene gir et meget godt grunnlag for å vurdere fjellkvaliteten med hensyn til oppsprekking og vanninnhold (risiko for vanninntrengning). Målingene er forholdsvis raske å utføre. Data fra optisk televiwer må prosesseres, men for de øvrige metoder får en verdifull informasjon på stedet.</p>				
Emneord: Geofysikk	Borehullslogging		Grunnvann	
Optisk televiwer	Elektrisk måling		Sprekkekartlegging	
Ledningsevne	Naturlig radioaktivitet		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	4
2. UNDERSØKT OMRÅDE	4
3. GEOFYSISKE MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	6
4. RESULTATER	6
4.1 Optisk televiwer, Holmedal Bh 9	6
4.1.1 Sprekkeanalyse. Stereografisk projeksjon med definerte grupper	7
4.1.2 Sprekkeanalyse. Frekvenshistogrammer for definerte soner	8
4.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gammastråling	12
4.3 Resistivitet	14
4.4 Avviksmåling	15
5. DISKUSJON	16
6. KONKLUSJON	18
7. REFERANSER	19

TEKSTBILAG

Tekstbilag 1	: Metodebeskrivelse for optisk televiwer.
Tekstbilag 2	: Metodebeskrivelse for temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma-Logg.
Tekstbilag 3	: Metodebeskrivelse for Terrameter SAS LOG 200.
Tekstbilag 4	: Brukerveiledning for OPTV.exe. Bruk av replay-program for avspilling av bildelogg.

FIGURER

Figur 1	: Kart over Holmedal brønnfelt med plassering av 9 borebrønner.
Figur 2	: Modell for generell oppbygging av lineamenter i Norges berggrunn (Braathen et al. 1998).
Figur 3	: Holmedal Bh 9. Stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker.
Figur 4	: Rosediagram og stereoplott av indikerte sprekker Bh 9, Holmedal.
Figur 5	: Bh 9, Holmedal, OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker.
Figur 6	: Bh 9 Holmedal. Bilde- og sprekkelogg som viser steil sprekk ved 30.5 m med innstrømning i hullet.
Figur 7	: Bh 9 Holmedal. Bilde- og sprekkelogg 52 – 57 m. Sterk oppsprekking fra 54 m parallelt lagdelingen.
Figur 8	: Bh 9 Holmedal. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma.
Figur 9	: Resistivitet i borehull. Bh 3, 8 og 9, Holmedal.
Figur 10	: Bh 9 Holmedal. Åpen sprekk ved 61 m dyp.
Figur 11	: Borehullsforløp, Bh 9 Holmedal.

DATABILAG

Databilag 1	: Data for indikerte sprekker i borehullene, Bh 9 Holmedal og Bh 1 Folvåg.
Databilag 2	: Data for gjennomsnittlig retning, fall og sprekkefrekvens for definerte soner i borehullene, Bh 9 Holmedal og Bh 1 Folvåg.
Databilag 3	: Data for borehullsforløp Bh 9 Holmedal og Bh 1 Folvåg. Dyp, retning, fallvinkel og nord- og østkomponent.
CD 2002.093.01:	Data og program for visning av bildelogg av hele hullet. Levers separat.

KARTBILAG

Kartbilag 2002.093-01	: Oversiktskart, Holmedal, M 1:50 000.
-----------------------	--

1. INNLEDNING

I forbindelse med forprosjektet til "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", Tunnelprosjektet, har NGU testet ut forskjellige metoder for borehullslogging. Bakgrunnen for prosjektet var krav om forbedrede metoder til forundersøkelser for fjell- og tunnelanlegg, og med vekt på økt forskningsinnsats på dette området.

Denne rapporten beskriver målinger utført ved Holmedal brønnfelt, Askvoll kommune, Sogn og Fjordane (se oversiktskart, kartbilag –01). Metodene som er benyttet er optisk televiewer, logging av vannets temperatur og ledningsevne, total gammastråling og måling av fjellets resistivitet i borehull. Resultatene blir diskutert opp mot en hydrogeologisk modell med hensyn til bergspenning, oppsprekking og strømningsretning.

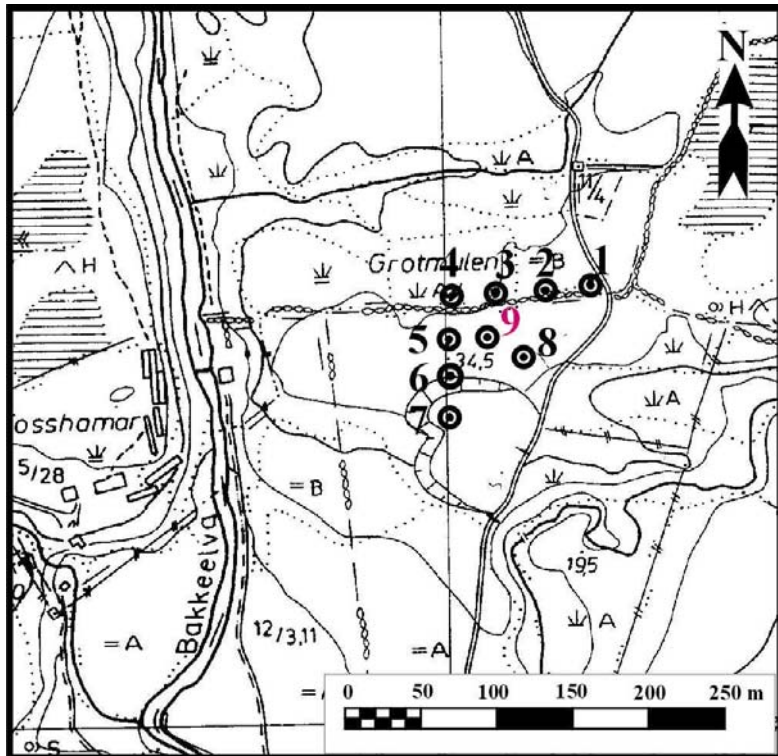
Holmedal brønnfelt ble etablert i 1996 i forbindelse med NGUs økte forskningsinnsats innen temaet grunnvann i fjell med prosjektet "Bruddsoner og grunnvann i Sunnfjord" (Braathen et al. 1998 og 1999). Geofysiske forundersøkelser med georadar, VLF og elektrisk profilering ble gjort i 1997 (Elvebakk & Lauritsen 1997). Loggingen er utført som en del av forprosjektet for "Miljø og samfunnstjenlige tunneler".

Målingene ble utført i oktober 1999 av Harald Elvebakk og Jan S. Rønning, og i oktober 2000 av Harald Elvebakk

2. UNDERSØKT OMRÅDE

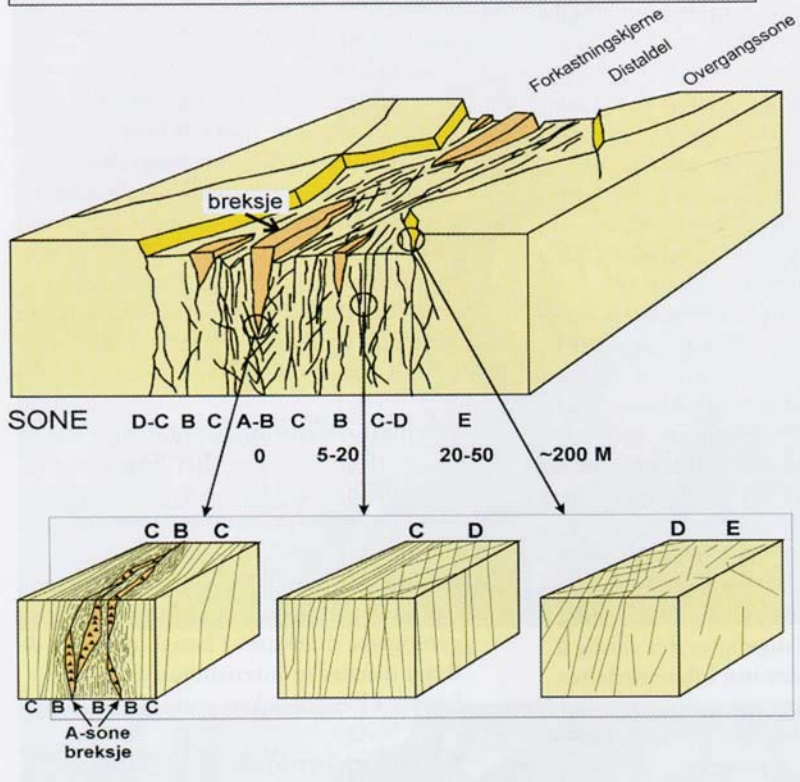
Figur 1 viser kart over brønnfeltet med brønnene inntegnet. Hovedhensikten med prosjektet "Bruddsoner og grunnvann i Sunnfjord" var å fremskaffe en regional forståelse av deformasjonen langs større postdevonske lineamenter/bruddsoner i krystalline bergarter, og disse lineamenters betydning for vanngiverevnen i borebrønner (Braathen et al. 1998 og 1999). Holmedal bruddsone er et N-S lineament som krysser en av de viktigste ekstensjonsforkastningene, den Ø-V orienterte Dalsfjordforkastningen, som ligger innenfor Nordfjord-Sogn "detachmentzone". Holmedal brønnfelt er lokalisert til overgangssonen (se figur 2) av N-S lineamentet, ca 200 m ut fra senteret, hvor det er boret 9 brønner. Tanken bak brønnfeltet var å teste bergspenningens betydning for sprekkepermeabilitet i et område med moderat oppsprekking, dvs. retningsbestemt grunnvannsstrømning. Bergartene i området består av grønne og grålige fyllonitter, kvartsskifere, og grønnskifere/amfibolitter. Borehullslogging med optisk televiewer ble gjort i Bh 9. Det ble også målt temperatur, ledningsevne, total gamma og resistivitet.

Studier av bruddsystemer i Sunnfjord har vist at det er en systematisk fordeling av sprekker rundt regionale lineære strukturer (lineamenter) (Braathen et al. 1998). Figur 2 illustrerer med en modell det generelle bildet av oppsprekkingen rundt en sentral sprekkesone og hvordan sprekke opptrer med økende avstand fra senteret av bruddlineamentet (Braathen & Gabrielsen 2000).



Figur 1. Kart over Holmedal brønnfelt med plassering av 9 borebrønner.

SEGMENT	Forkastnings- kjerne	Distaldel	Overgangssone	Bakgrunns- oppsprekning
Bredden	<20 m	5-50 m	<200 m	Mer enn 250 m fra bruddsone
Antall brudd /meter	5-100	3-8	1-3	0-2
Bruddorientering	Subparallele brudd	Subparallele brudd	Varierende, ofte 20-40 grader med bruddsonen	



Figur 2. Modell for generell oppbygging av lineamenter i Norges berggrunn (Braathen & Gabrielsen 2000).

3. GEOFYSISKE MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

De geofysiske målemetodene (instrumenter) som er benyttet er optisk televiewer (Robertson Geologging), logging av vanntemperatur, vannets elektriske ledningsevne og naturlig gammastråling (Robertson Geologging) og måling av fjellresistivitet i borehull (ABEM SAS LOG). Metodebeskrivelse med for alle tre metodene er vist i tekstbilagene 1, 2 og 3. Det er vist eksempler på tolkning med forklaring. I tekstbilag 1 (OPTV) finnes forklaring på tabellene som er vist i databilagene.

Sikten i vannet var god, og data fra den optiske loggen var av høy kvalitet.

4. RESULTATER

I det følgende blir data og resultater for hver målemetode presentert og diskutert. For optisk televiewer presenteres stereogram og rosedigram som viser indikerte sprekker. Videre presenteres frekvenshistogram som viser beregnet sprekkefrekvens (sprekker/meter) langs hele hullet. Temperatur, ledningsevne, gamma og resistivitet presenteres som logger plottet mot dypet.

4.1 Optisk televiewer, Holmedal Bh 9

Resultatene fra optisk televiewer er presentert som stereogram av sprekkeorienteringer, frekvenshistogram og bildelogg fra utvalgte deler av borehullene. Data finnes også i tabellform, databilag 1. Borehullsforløp er beregnet og plottet som vertikal og horisontalprojeksjon, se senere kapittel 4.4. Bildelogg (hele hullets lengde) kan skaffes på CD (CD 200.093.01). Loggen kan kjøres på PC ved å starte programmet OPTV.exe som ligger på CD'en. Utførlig bruksanvisning er vist i tekstbilag 4.

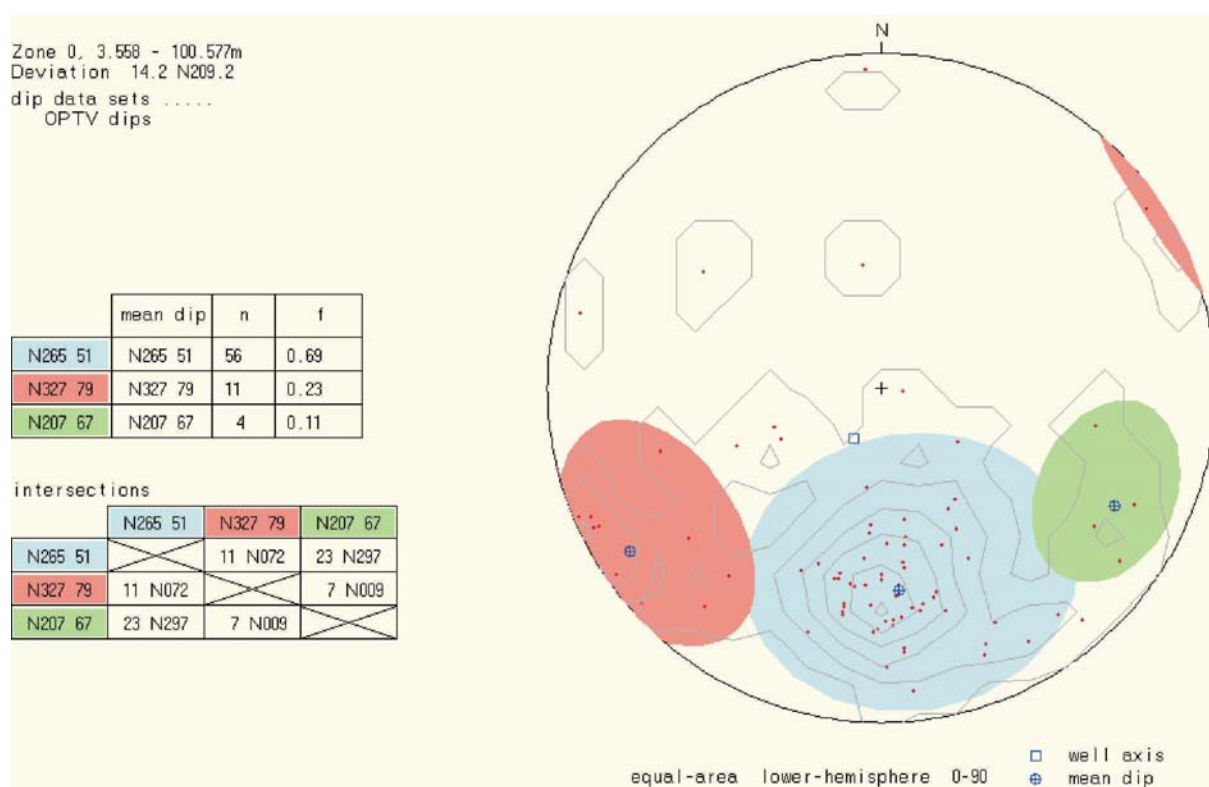
Bildeloggen viser borehullsveggen brettet ut og orientert fra nord til nord. Det er benyttet en oppløsning på 720 pixler, dvs. hele sirkelen rundt borehullet er delt inn i 720 deler. Dette gir en pixelstørrelse på ca 1 x 1 mm. Sprekker og geologiske bånd som skjærer borehullet i en vinkel større enn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

4.1.1 Sprekkeanalyse. Stereografisk projeksjon med definerte grupper.

Figur 3 viser stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i Bh 9 Holmedal indikert ved OPTV. Sprekkegrupper er definert med fargede sirkler for hvert borehull. Strøketretning og fallvinkel (gjennomsnitt) er beregnet for hver gruppe. Tabellene på figurene viser strøk og fall til hver sprekkegruppe, antall sprekker i hver gruppe (n) og sprekkefrekvensen (f) for hver gruppe. I tillegg er 10 sprekker indikert som ikke omfattes av de definerte gruppene slik at i alt 81 sprekker er indikert.

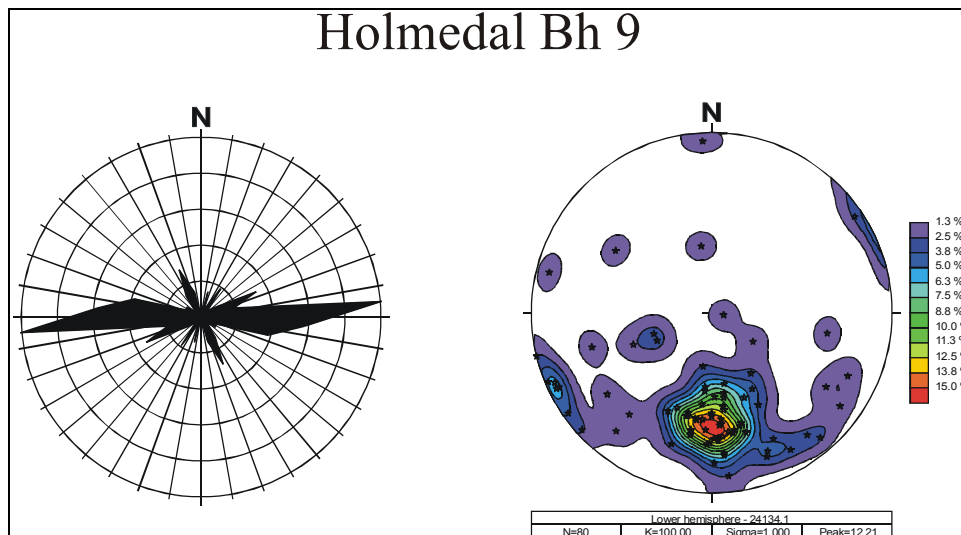
Nederste tabell viser fallretning og fallvinkel for skjæringslinjen (intersection) mellom middelplanene til to og to definerte grupper. For definisjon av strøk og fallretning se tekstbilag 1.



Figur 3. Holmedal Bh 9. Stereografisk projeksjon av pol til indikerte sprekker.

Hovedsprekkeretning i Bh 9 Holmedal er N265, dvs. tilnærmet øst-vest. Gjennomsnittlig fallvinkel er 56° mot nord (N355). Retningen til de observerte sprekkeplanene i denne gruppen faller sammen med bergartenes lagdeling/foliasjon. Gjennomsnittlig sprekkefrekvens for hele hullet for denne gruppen er beregnet til 0.69 sprekker/meter. En annen gruppe med mye steilere fall, 79° , har strøketretning N327 eller NNØ-SSV. Observerte sprekkeplan på overflaten (Braathen et al. 1998) faller sammen med sprekker i denne gruppen, se også senere under diskusjon.

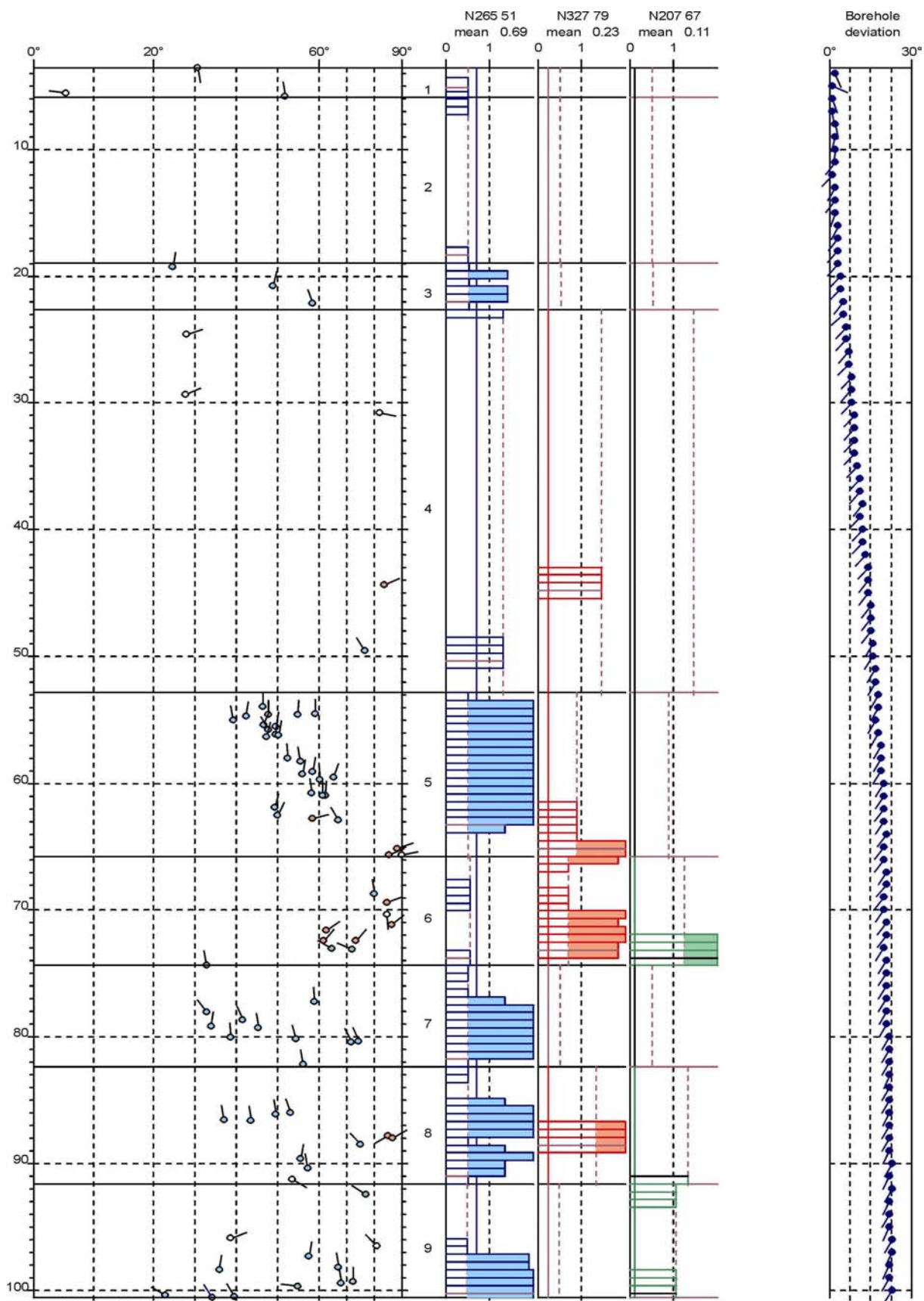
Databilag 1 viser data for alle indikerte sprekker. Forklaring på tabellene er gitt i tekstbilag 1. Figur 4 viser rosediagram og stereoplott av alle sprekker indikert ved OPTV.



Figur 4. Rosediagram (strøk til sprekker) og stereoplott (pol til sprekkeplan) av indikerte sprekker Bh 9, Holmedal.

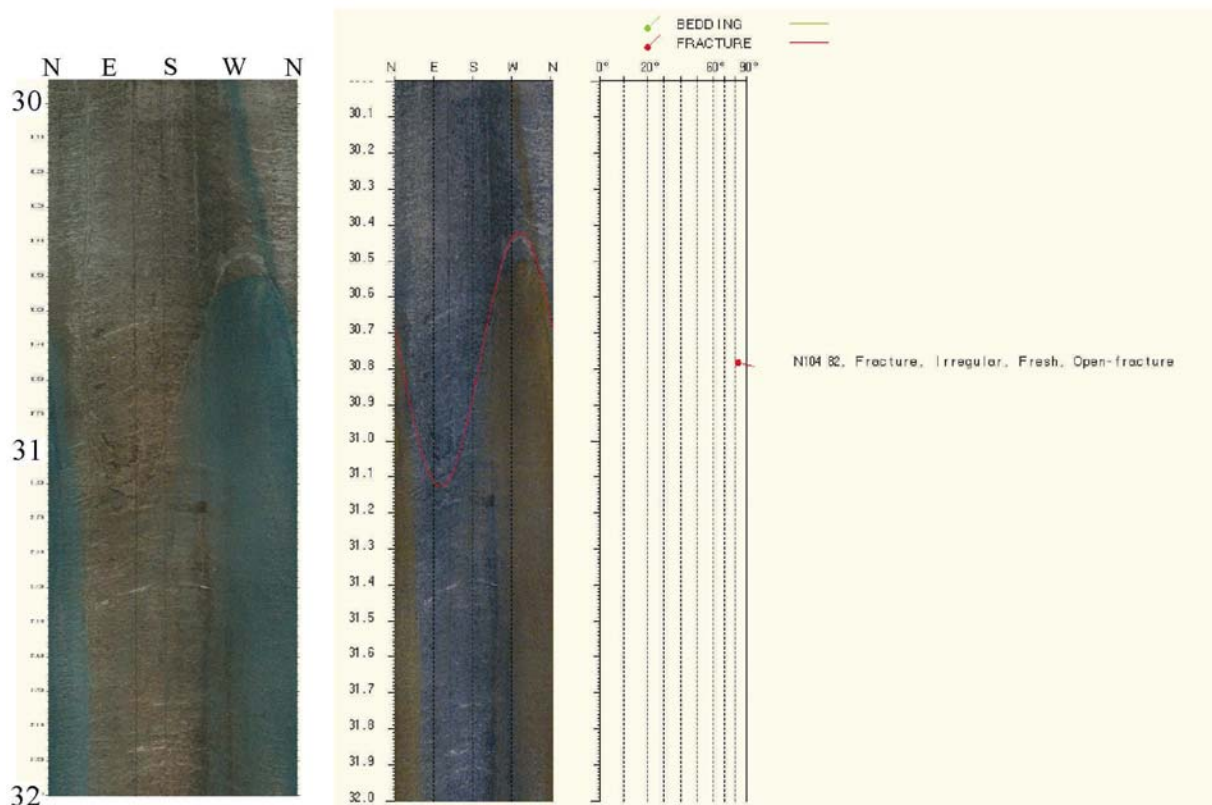
4.1.2 Sprekkeanalyse. Frekvenshistogrammer for definerte soner

Figur 5 viser frekvenshistogrammer for Bh 9, Holmedal. Frekvenshistogrammene (rød, blå og grønn) 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. Databilag 2 viser sprekke data for hver av de definerte sonene. Her vises dyp, gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel, antall sprekker i hver sone og gjennomsnittlig sprekkefrekvens i sonen for hver definerte gruppe (sirkel). Borehullets fallretning og fallvinkel er også angitt for hver sone. Forklaring til tabellene er gitt i tekstbilag 1. Nedenfor gis en kort beskrivelse av oppsprekningen i borehullet.



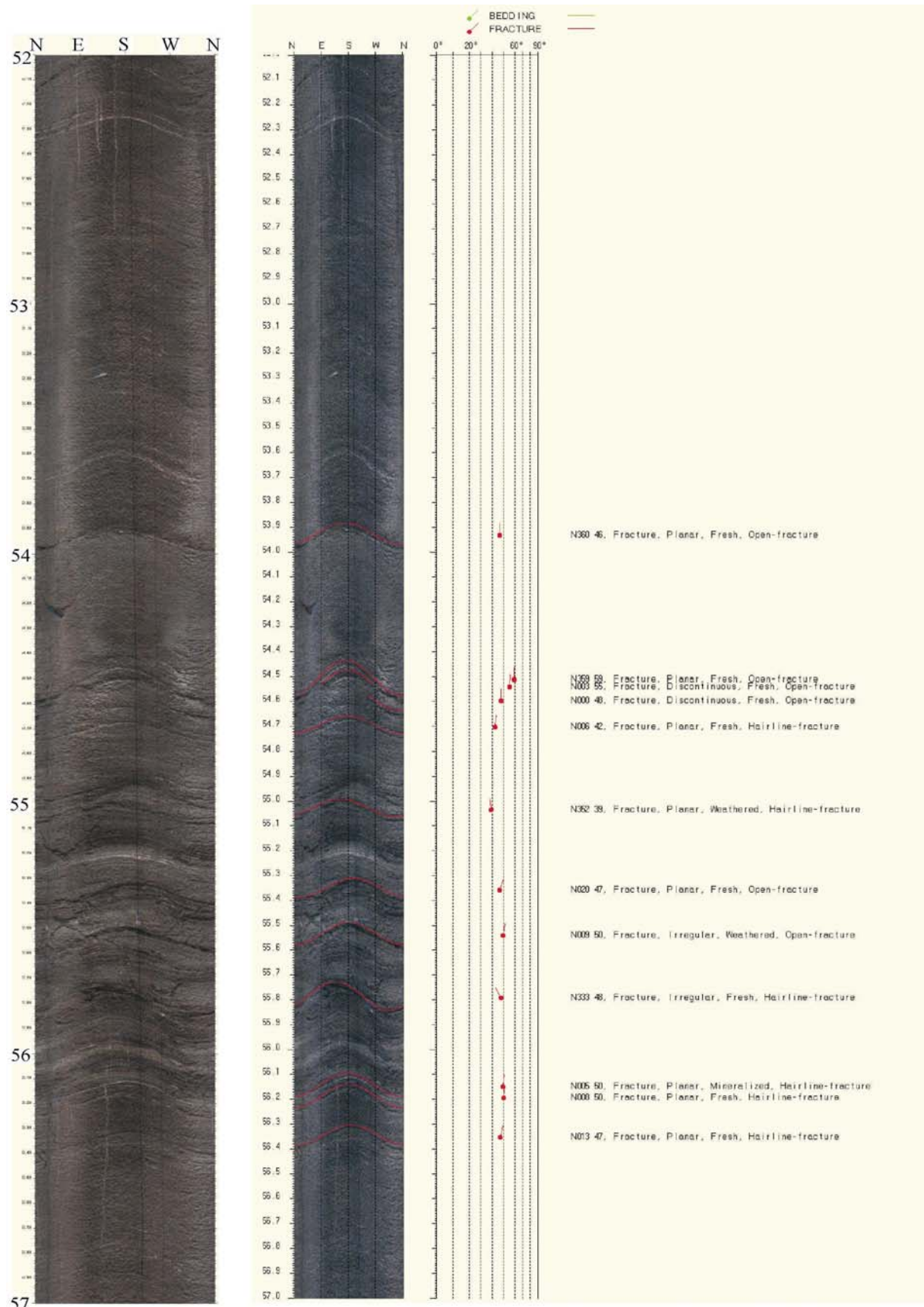
Figur 5. Bh 9 Holmedal, OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene angir individuelle sprekkers fall mens halen viser fallretning (nord opp). Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe. Heltrukken horisontal inndeling angir definerte sonegrenser (nummerert). Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning

Hullet er lite oppsprukket ned til 53 m. En steil sprekk med retning tilnærmet NS indikeres ved 30.5 m. Sprekken er åpen og på bildeloggen kan en se sterkt misfarget væske (vann) strømme inn i hullet gjennom denne sprekken, se figur 6. Under 53 m, og spesielt mellom 53 og 63 m er hullet sterkt oppsprukket med en frekvens på 2.3 sprekker/meter. De fleste av disse sprekkene faller mot nord med strøkretning ØV og med en gjennomsnitt fallvinkel på 53°. Også videre nedover i hullet har en sprekker av denne typen, f. eks. i sone 6 og 7, se databilag 2. I tillegg har en steile sprekker (fall 80 – 90°) med en strøkretning NNV-SSV. Sprekkfrekvensen i de nedre deler av hullet ligger mellom 0.5 og 1.5 sprekker/meter.



Figur 6. Bh 9 Holmedal. Bilde- og sprekkelogg som viser steil sprekk ved 30.5 m med innstrømning i borehullet.

Figur 7 viser bilde og sprekkelogg fra 52-57 m hvor hullet er mest oppsprukket. Sprekkene er parallelle med lagdelingen og faller mot nord. På bildet vises dette ved at sprekkene indikeres først mot sør når det logges nedover.



Figur 7. Bh 9 Holmedal. Bilde- og sprekkelogg 52 – 57 m. Sterk oppsprekking fra 54 m parallelt lagdelingen.

4.2 Temperatur, ledningsevne og naturlig gammastråling.

Figur 8 viser temperatur, ledningsevne og gammalogg for Bh 9, Holmedal. Både temperatur- og ledningsevneloggen viser flere sprang (økning) ved sammenfallende dyp i borehullet, 30.5 m, 56.5 m, 88 m og 94 m. Økningene i temperatur og ledningsevne tyder på vanninnstrømning gjennom åpne sprekker i borehullet.

Ved 30.5 m skyldes økningen i temperatur og ledningsevne en åpen sprekke ved samme dyp. Sprekken indikeres på den optiske loggen og en ser innstrømning av misfarget vann. Dersom dette er forurenset vann (f. eks. fra gjødsling), kan det forklare økningen i ledningsevnen.

Ved 56.5 m kan økningen skyldes innstrømning via sprekker indikert ved 56.2 og 56.4 m dyp. Området mellom 53 og 65 m er det området med høyest sprekkefrekvens i borehullet tolket fra den optiske loggen.

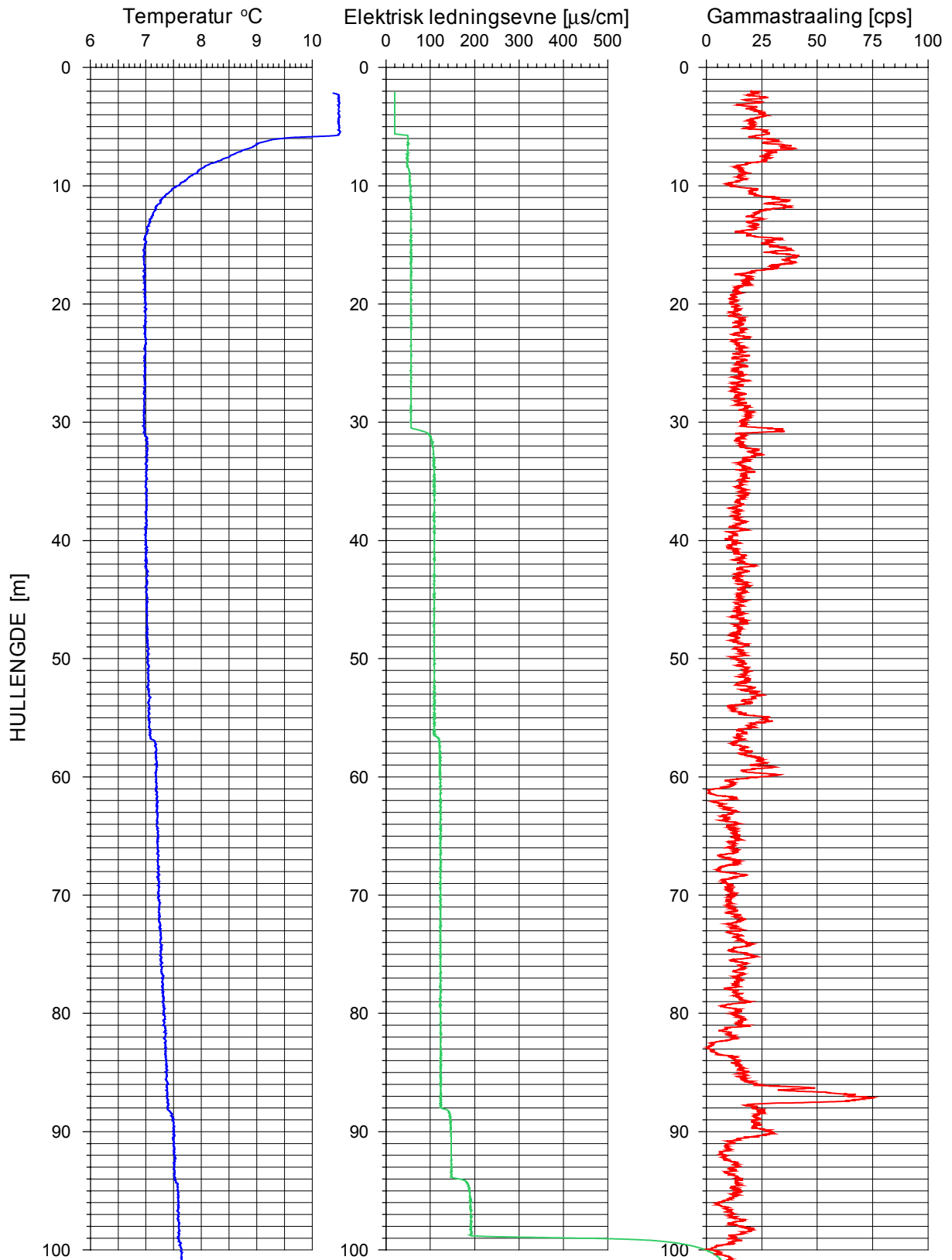
Ved 88 m er det også indikert sprekker. Disse ser ikke tydelig åpne ut på den optiske loggen, men det strømmer trolig vann inn i borehullet som forårsaker en økning i temperatur og elektrisk ledningsevne.

Ved 94 m indikeres ingen sprekker på den optiske loggen. En tydelig åpen sprekke indikeres imidlertid ved 92.6 m. Kraftig økning i vannets ledningsevne i bunnen av hullet skyldes trolig at sonden er kommet ned i bunnslam.

Gammastrålingen er generelt lav, 15 – 20 cps i hele hullet. Variasjonene som observeres skyldes trolig variasjoner i kaliuminnholdet (kalifeltspat) i bergartene. En tydelig økning ved 87 m vises på den optiske loggen som et lysere parti som trolig har et forhøyet innhold av kalifeltspat.

TEMP. COND. GAMMA LOG
Holmedal Bh 9

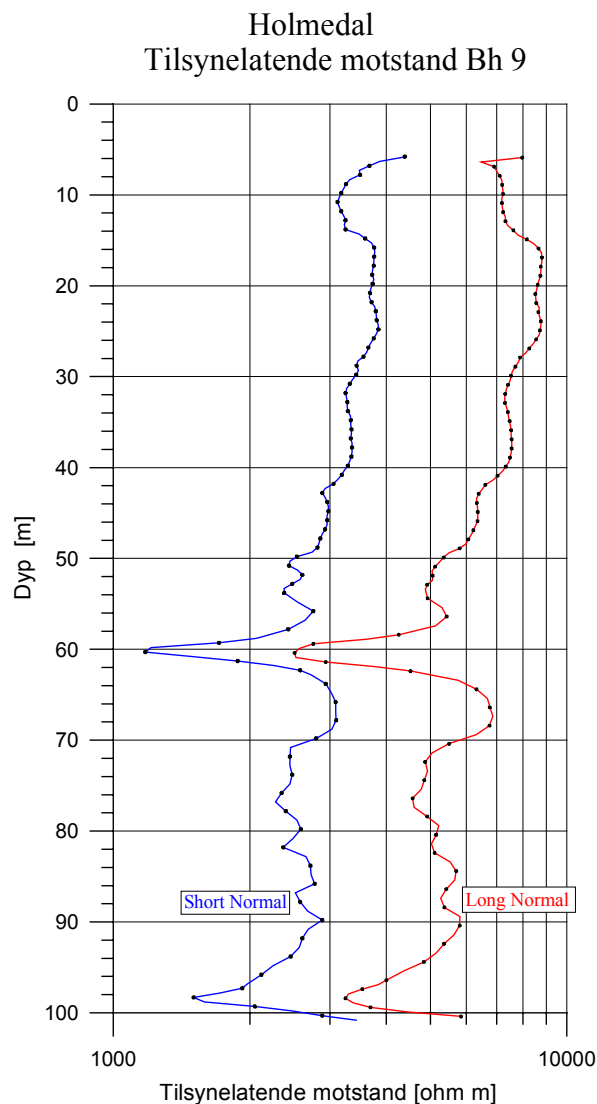
UTM 296500
32V 6809515
30 m.o.h.



Figur 8. Bh 9 Holmedal. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma.

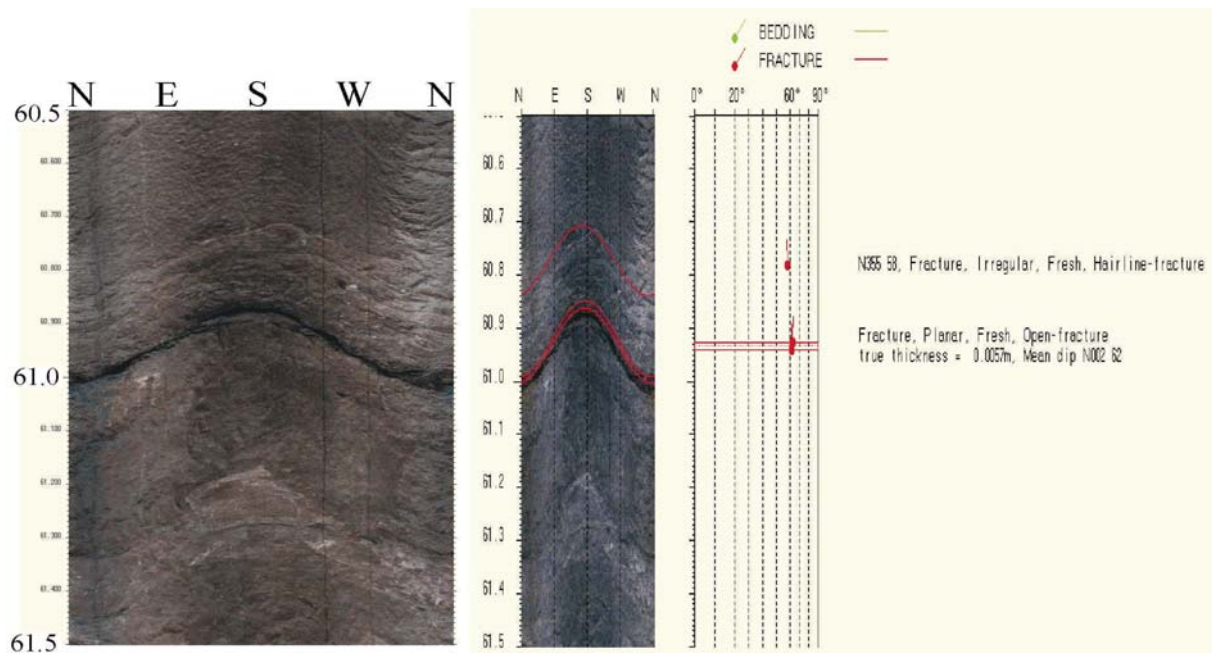
4.3 Resistivitet

Figur 9 viser fjellresistiviteten i Bh 9. Kurvene for SN og LN er like, men ligger på forskjellig nivå. SN ligger 2000-3000 ohmm lavere langs hele hullet. Dette kan skyldes vannets ledningsevne. Det er tidligere gjort tracerforsøk med salttilsetning. Dette vil spesielt påvirke SN målingene da vannets ledningsevne vil påvirke fjellresistiviteten nær borehullsveggen. For LN, som gir de mest reelle verdiene, avtar resistiviteten nedover i hullet. Over 40 m ligger resistiviteten i fjellet mellom 7000 og 9000 ohmm. Ingen tydelige variasjoner og høy motstand tyder på lite oppsprukket fjell. Dette stemmer godt med den optiske loggen som viser svært få sprekker over 50 m, se figur 5.



Figur 9. Bh 9 Holmedal. Fjelllets resistivitet målt i borehullet.

En meget tydelig lavmotstandssone indikeres like under 60 m. Den optiske loggen indikerer en tydelig åpen sprekk ved 60.9 – 61 m, se figur 11. Dette kan være sprekkens som gir lavmotstandsanomali. Sprekkens strøketretning er tilnærmet Ø-V med et fall på 62° mot nord (N002 62) I tillegg har borehullet høyest sprekkfrekvens mellom 53 og 63 m. Figur 10 viser bilde av sprekkens ved 61 m.



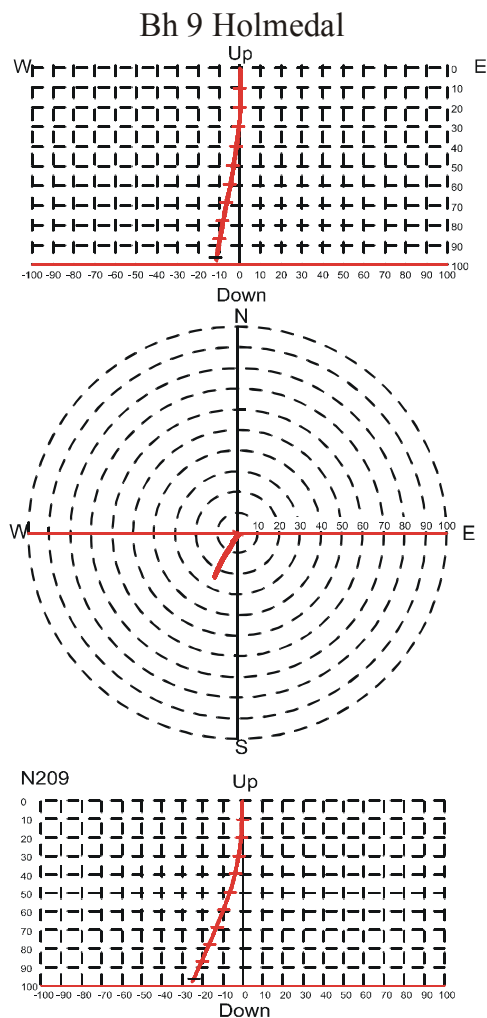
Figur 10. Bh 9, Holmedal. Åpen sprekk ved 61 m dyp.

Under 50 m er motstanden ca 5000 ohmm. Dette er noe lavere enn over 50 m og har sammenheng med at fjellet er mer oppsprukket under dette dyp. En lavmotstandssone ved ca 98 m skyldes trolig en åpen sprekk. Denne er også indikert på den optiske loggen.

4.4 Avviksmåling

Avviksmåling blir gjort kontinuerlig med OPTV-sonden. Ettersom magnetometre brukes til å bestemme retningen til hullbanen vil unøyaktigheter oppstå med magnetisk materiale i borehullet, for eksempel foringsrør eller magnetittholdige bergarter. Vanligvis ser en dette som brå endringer i retningen over kort avstand.

Figur 11 viser borehullsforløpet til Bh 9, Holmedal. Her vises vertikal-projeksjon, øst – vest, horisontalprojeksjon og langs borehullsretning. Databilag 3 viser tabeller over borehullsforløpet, dyp (langs borehullet), vertikalt dyp, nord- og østkomponent og retning- og fallvinkel (målt fra lodd). Bh 9 er satt på i lodd, men drar mot sør-vest etter ca 25 m og har et horisontalt avvik på ca 25 m i bunnen.



Figur 11. Borehullsforløp Bh 9 og Bh 1. Øst-vest projeksjon (øverst), horisontalprojeksjon (midten) og langs borehullsretning (nederst).

5. DISKUSJON

Hovedhensikten med de geofysiske undersøkelsene som er beskrevet i denne rapporten var utprøving av metodikk for borehullslogging i den hensikt å kartlegge fjellkvalitet med hensyn til oppsprekking og vanninnhold. Tidligere er utprøving av optisk og akustisk televiwer utført og rapportert. Resultatet ble at optisk televiwer var å foretrekke til de formål den var tenkt for. Utprøvingen er beskrevet av Elvebakk & Rønning 2001, og blir ikke nærmere diskutert her. Sammenhengen mellom de forskjellige metodene, blir her kommentert og diskutert opp mot spenningsmodell for brønnfeltet.

Holmedal brønnfelt er, som nevnt i kapittel 2, lokalisert til overgangssonen (200 m fra sentrum) til et N-S lineament (Holmedal bruddsone) og ca 500 m sør for Dalsfjordforkastningen (Ø-V). Nye bergspenningsmålinger (Hansen 1996) ga resultater som var i samsvar med etablerte spenningsmodeller for området (Lindholm et al. 1995 og Fejerskov et al. 1995). Disse viser at største hovedspenning har en Ø-V orientering. En

hydrogeologisk modell for området postulerer at grunnvannsstrøm hovedsakelig vil foregå langs sprekker som er parallelle med den største hovedspenning (Braathen et al. 1998).

Tidligere sprekkekartlegging i og nær Holmedal bruddsone viste bruddplan med retning tilnærmet N-S, og de fleste bruddflatene var steile med fall 70 – 90° (Braathen et al. 1998). Oppsprekningen i Bh 9, kartlagt med optisk televiwer, viste en hovedsprekkeretning Ø-V med fall mot nord (40 – 60°). Nesten alle Ø-V sprekker i borehullet ble observert under 50 m dyp. En liten gruppe sprekker med retning NNV-SSØ (tilnærmet N-S) ble observert mellom 65 og 75 m dyp. Enkeltstående sprekker med denne retning ble også observert over 50 m. Det kan være flere grunner til forskjellen i sprekkeretning kartlagt i dagen og i Bh 9:

- Kartlegging i dagen dekker et langt større område enn i borehullet.
- Borehullet dekker 25 m i N-S retning men bare 15 m i Ø-V retning . Dette vil gi en viss overrepresentasjon av Ø-V sprekker.
- N-S sprekker kan være overflatenære sprekker.

Borehullslogging med OPTV i Bh 9 viser flere interessante fenomener: Oppsprekningen i borehullet starter ved ca 50 m dyp og er jevnt oppsprukket ned til 100 m. Sprekkene har et gjennomsnittsfall på 51° mot nord. Dersom hullet starter utenfor en sprekkeson vil det med et avvik mot SV (se figur 12) skjære inn i sprekkesonen. Hovedsprekkeretningen er Ø-V, mens den på overflaten er tilnærmet N-S samt Ø-V. Oppsprekningen i borehullet faller sammen med bergartenes foliasjon og største hovedspenningsretning som er Ø-V. Dalsfjordforkastningen stryker også Ø-V. Logging med akustisk televiwer i Bh 1, 2, 3, 4, og 8 (Hennig & Elvebakk 2001) viser også en hovedsprekkeretning Ø-V. Det samme viser logging med en annen optisk televiwer (BIPS) i Bh 2, 4, 6 og 8 (Kortsch & Elvebakk 2001). Disse hullene er alle ca 50 m dype. Dersom den hydrologiske modellen (se over) er riktig, vil Ø-V sprekker ha stor betydning for grunnvannsstrømningen. Vanngiverevnen i Bh 9 er i forhold til de andre brønnene karakterisert som høy, og det antydes mulighet for en betydelig tilstrømning av vann fra sprekker dypere enn 50 m hvor pumpen var plassert under testpumpingen (Braathen et al. 1998).

Det er tidligere utført pumpeprøver for å kartlegge kommunikasjonen mellom brønnene i feltet (Braathen et al. 1998). Disse testene påviste kommunikasjon mellom brønnene 3, 6, 8 og 9 (se figur 1 som viser brønnplassering). Dette gir kommunikasjonsretninger NØ-SV, NV-SØ og nesten Ø-V. Sprekksonen under 50 m i Bh 9 (Ø-V retning) vil med 50 – 60° fall mot nord ha utgående i dagen 30 – 35 m sør for Bh 9 dersom sprekken er utholdende. Både Bh 6 og 8 kan skjære gjennom sprekkesonen eller deler av den, og kan bidra til kommunikasjon mellom Bh 6, 8 og 9 slik som pumpeprøvene viser. Dermed kan det være Ø-V sprekken som fungerer som kommunikasjonsvei mellom hullene. I så fall stemmer dette overens med den hydrologiske modellen. Pumpeprøvene viser også at strømning vinkelrett største hovedspenning, dvs. i N-S retning, er minimal.

Temperatur- og ledningsevne målingene i Bh 9 har sammenfallende indikasjoner på vanninnstrømning som igjen kan indikere sprekker. Indikasjonene kan observeres som sprekker på den optiske loggen. En meget tydelig resistivitetsanomali (60 m dyp) i Bh 9 faller ikke sammen med temperatur- og ledningsevneindikasjon, men anomalien opptrer i den del av hullet som er sterkest oppsprukket. En tydelig åpen sprekk som observeres ved 60.9 m kan forårsake den skarpe resistivitetsanomalien.

6. KONKLUSJON

I forbindelse med forprosjektet til "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler", Tunnelprosjektet, har NGU testet ut forskjellige metoder for borehullslogging. I denne rapporten er det beskrevet resultater med optisk televiewer, temperatur-, ledningsevne-, gamma- og resistivitetslogg fra en 100 m dyp fjellbrønn ved Holmedal, Askvoll kommune, Sogn og Fjordane. Brønnen, Bh 9 (en av 9 brønner), er boret i nærheten av lineamenter/bruddsoner for å kartlegge vanngiverevnen i fjellbrønner i forbindelse med slike strukturer. De geofysiske undersøkelsene hadde som hensikt å kartlegge bergartene, spesielt med hensyn på oppsprekking. For alle indikerte sprekker er sprekkeplanetets strøkretning, fallretning og fallvinkel beregnet. I denne rapporten blir det gjort forsøk på å sette oppsprekningsmønster inn i en spenningsmodell for brønnfeltet.

I Bh 9, Holmedal opptrer de fleste sprekke under 50 m dyp og hovedsprekkeretningen er Ø-V med fall mot nord, dvs. parallelt med foliasjonen i bergarten. Temperatur- og ledningsevnelogg indikerer flere sprekker som kan tyde på vanninnstrømning i hullet. En tydelig resistivitetsanomali ved 61 m dyp faller sammen med en indikert åpen sprekk på den optiske loggen. Det er ikke gjort strømningsmålinger i brønnen, men Bh 9 er den av brønnene i feltet som gir mest vann. Mesteparten antas å komme fra sprekker dypere enn 50 m hvor også sprekkefrekvensen er størst.

Flest sprekker er kartlagt i retning Ø-V. Dette faller sammen med største hovedspenning i området samt retningen til Dalsfjordforkastningen. Tidligere utførte pumpeprøver indikerer en kommunikasjon mellom flere brønner. De påviste Ø-V sprekke i Bh 9 kan være årsaken til deler av denne kommunikasjonen.

Uttestingen av forskjellige metoder for borehullslogging, som blant annet i Holmedal, har vist at en kombinasjon av metodene gir et meget godt grunnlag for å vurdere fjellkvaliteten med hensyn til oppsprekking og vanninnhold (risiko for vanninntrengning). Målingene er forholdsvis raske å utføre. Data fra optisk televiewer må prosesseres, men for de øvrige metoder får en verdifull informasjon på stedet.

7. REFERANSER

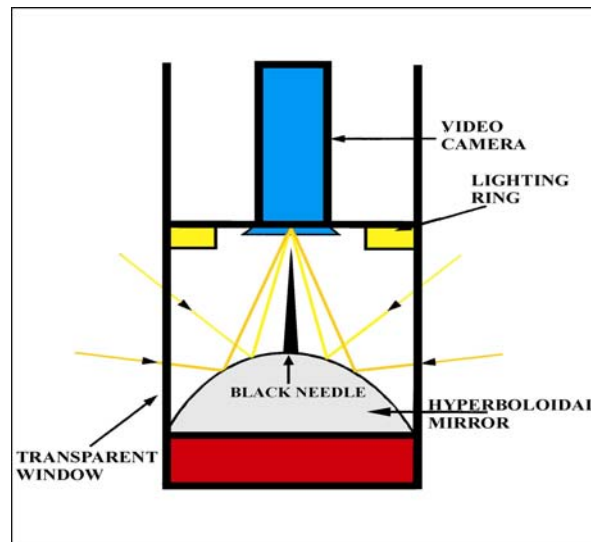
- Andersen, T.B., Skjerlie, K.P & Furnes, H. 1990: The Sunnfjord Melange, evidence of Silurian ophiolite accretion in the West Norwegian Caledonides. *J. Geol. Soc., Lond.* 147, 59-68.
- Braathen, A., Gaut, S., Henriksen, H., Storrø, G. & Jæger, Ø. 1998: Holmedal brønnfelt, Sunnfjord: Geologiske undersøkelser og prøvepumping. *NGU Rapport 98.085*.
- Braathen, A., Berg, S., Storrø, G., Jæger, Ø., Henriksen, H. & Gabrielsen, R. 1999: Bruddsoner geometri og grunnvannsstrøm; resultater fra bruddstudier og testboringer i Sunnfjord. *NGU Rapport 99.017*.
- Braathen, A. & Gabrielsen, R. 2000: Bruddsoner i fjell – oppbygning og definisjoner. *NGU Gråsteinen nr.7, 2000*.
- Elvebakk, H. & Lauritsen, T. 1997: Geofysiske undersøkelser. Bruddsoner og grunnvann i Sunnfjord. *NGU Rapport 97.050*.
- Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2001: Borehullsinspeksjon. En utprøving og sammenligning av Optisk og Akustisk Televiwer. *NGU Rapport 2001.011*.
- Fejerskov, M., Myrvang, A.M, Lindholm, C. & Bungum, H. 1995: In-situ rock stress pattern On the Norwegian continental shelf and mainland. In Fejerskov, M. & Myrvang, A.M. (eds), *Proceeding from Workshop on rock stresses in the North Sea, Trondheim, Noeway, 13-14 February 1995*.
- Hansen, S.E. 1996: Spenningsmålinger ved hydraulisk splitting, Hestad og Atløy i Sogn og Fjordane. *SINTEF Rapport STF22 F96090*.
- Hennig, H & Elvebakk, H. 2001: Processing and analysis of acoustic borehole data from the Sunnfjord area and the Oslo region for evaluation of fracturing and possible water movements in the rock. *NGU Intern Rapport 2001.14*.
- Kortsch, P. & Elvebakk, H. 2001: Investigation of fractured rocks with an optical televiwer. *NGU Intern Rapport 2001.13*.
- Lindholm, C.D., Bungum, H., Bratli, R.K., Aadnøy, B.S., Dahl, N., Tørudbakken, B. & Atkan, K. 1995: Crustal stress in the northern North Sea as inferred from borehole breakouts and earthquake focal mechanisms. *Terra Nova* 7, 51-59.

METODEBESKRIVELSE OPTISK TELEVIEWER (OPTV)

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

Måleprinsipp og utførelse.

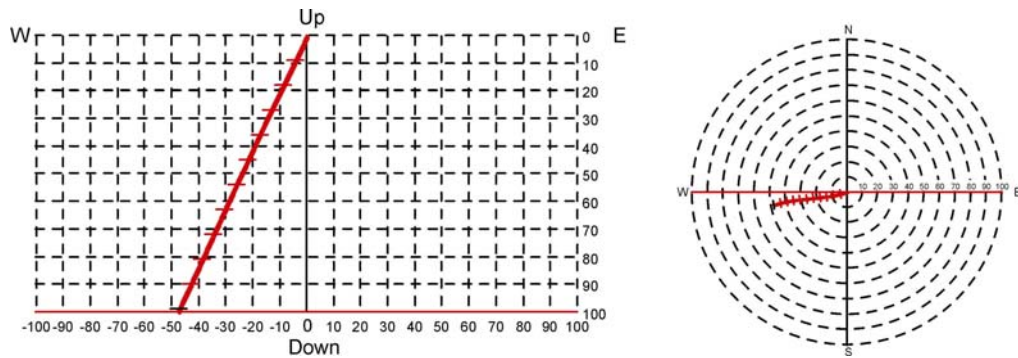
Optisk televiewer er et instrument som brukes ved inspeksjon av borehull med en diameter fra 70 – 160 mm. Instrumentet består av et digitalt kamera som filmer mot et hyperbolsk speil, se prinsippskisse figur 1. Kameraet ”ser” vinkelrett en større del av borehullsveggen, men bare en sirkel med høyde 1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



Figur 1: Prinsippskisse av optisk televiewer.

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

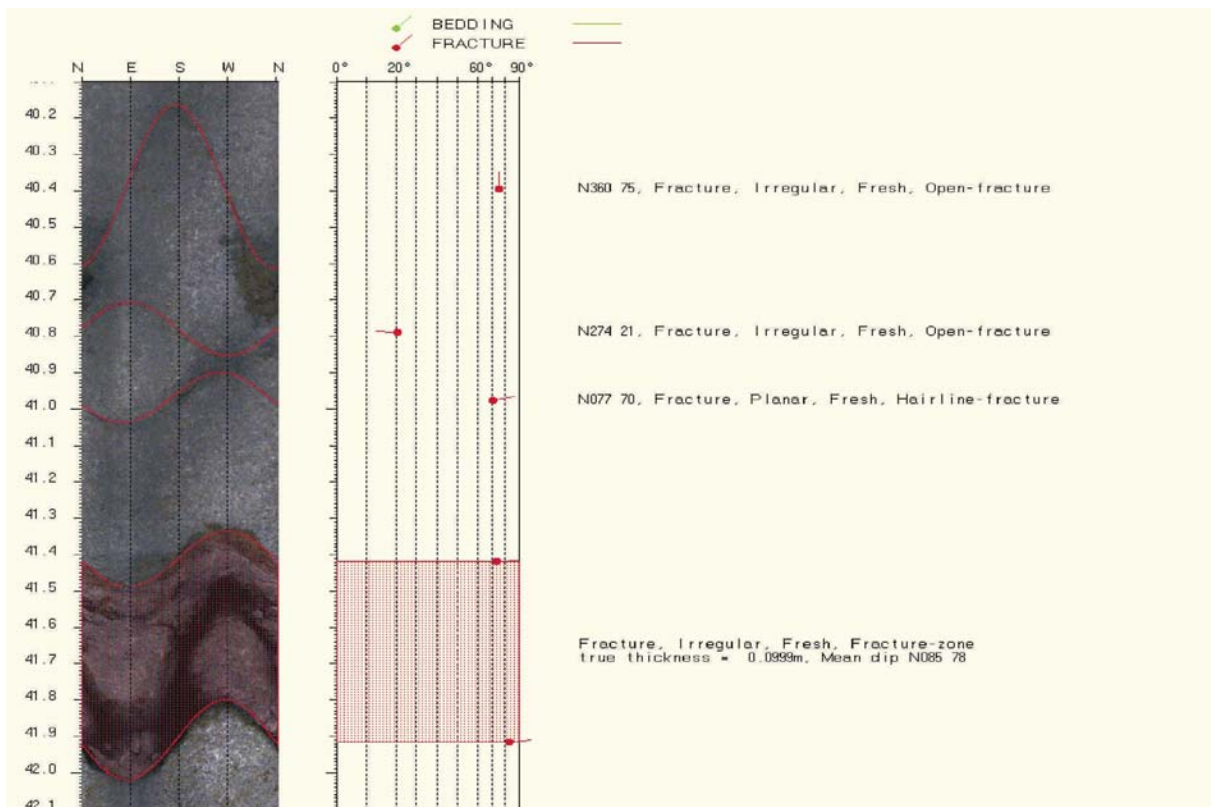
Med data fra denne instrumenteringen kan også borehullets forløp (avvik) beregnes (Figur 2). Borehullsvinkel kan måles i området 0 – 180° med en nøyaktighet på +/- 0.25°. Retningen kan måles fra 0 til 360° med en nøyaktighet på +/- 2.5°. Avviket måles kontinuerlig langs hele borehullet. Data kan plottes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



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

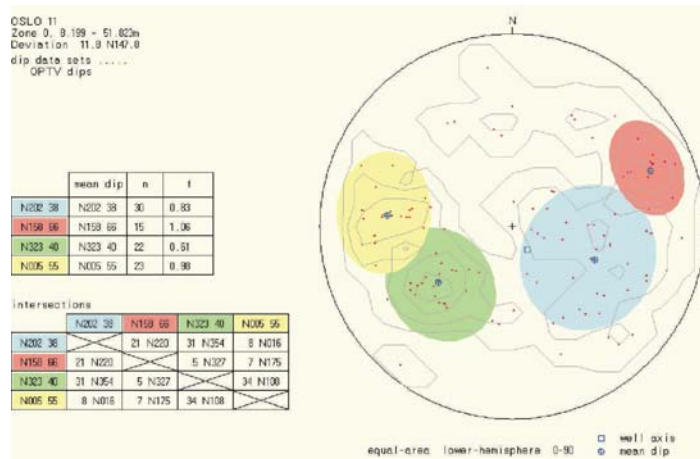
Analyse av data.

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).



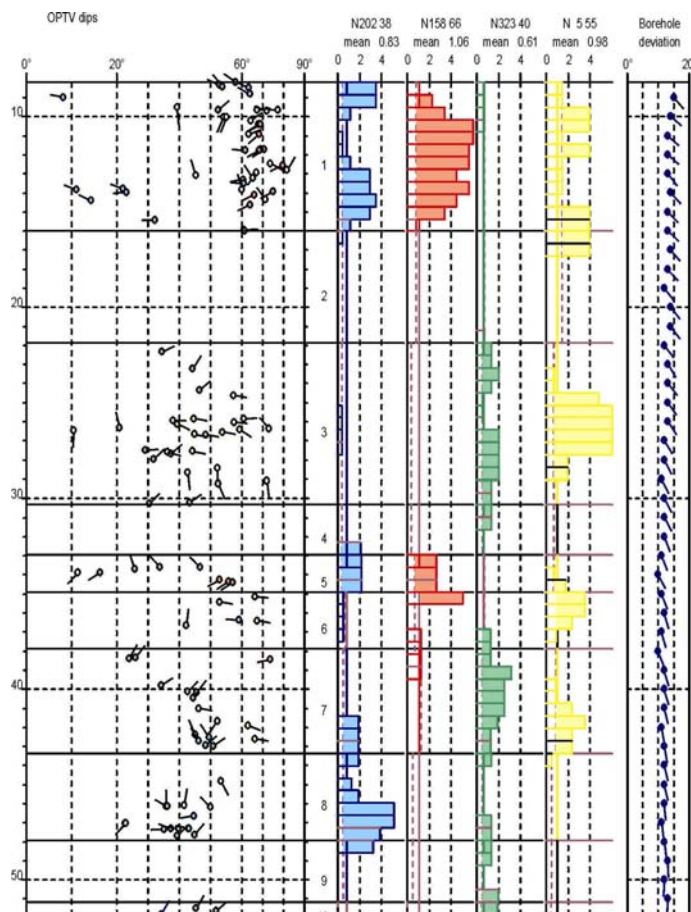
Figur 3: Eksempel på opptak og analyse. Enkeltstående sprekker er tilordnet sinusfunksjon og fallretning og vinkel beregnet. Pilhodet angir individuelle sprekkers fall mens halen viser fallretning (nord opp). Ved større åpne sprekker er topp og bunn digitalisert og sann åpning på sprekkenes er beregnet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

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



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

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



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

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

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

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

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

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

borehole OSLO 11
zone from 1.350 to 53.043 m

	Depth	Azimuth	Dip	1-P0/100	n	Q	K	Upper Depth	Lower Depth	Well Diam	Well 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 sprekk
K	- Type sprekk (2 = sprekk, 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 loddlinjen

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

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

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

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

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

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

Zone deviation:

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

Top og base - Sonens topp og bunn langs borehullet

No data - Antall sprekker i sonen

Mean dips and frequencies:

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

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

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

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

Borehole:

Depth range: 1.396 - 52.996m

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
16.046	-2.088	2.810	14.218	124.00	13.00
17.046	-2.238	2.990	15.190	130.00	14.00
18.046	-2.388	3.170	16.163	133.00	13.00
19.046	-2.549	3.325	17.137	134.00	12.00
20.046	-2.712	3.483	18.111	136.00	14.00

Tabell 3. Data for borehullsforløp (avvik).

Depth - Dyp langs borehullet

North - Nordkomponent

East - Østkomponent

Down - Vertikalt dyp

Devaz - Hullets fallretning

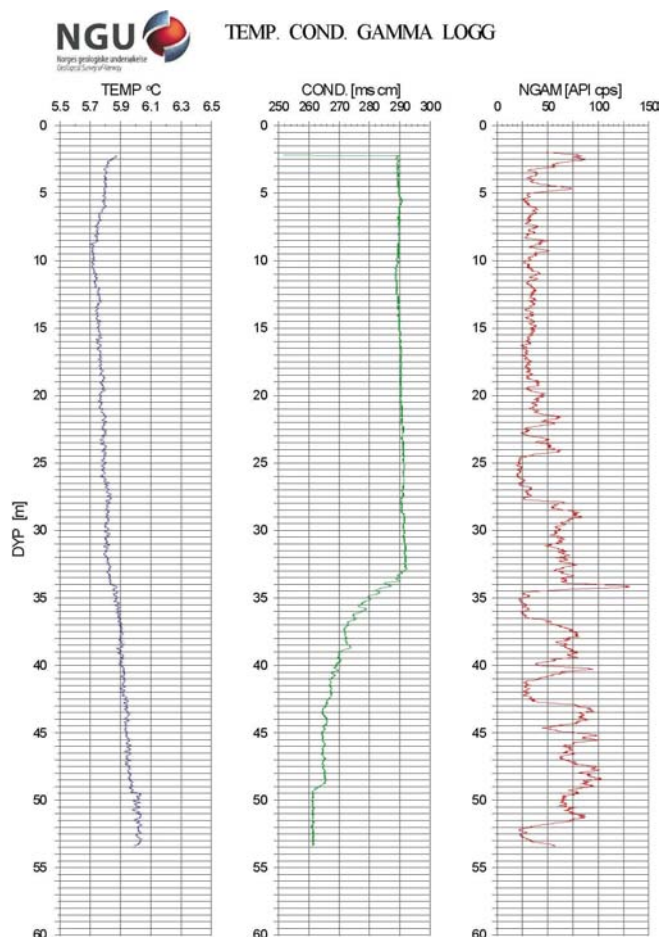
METODEBESKRIVELSE LOGGING TEMPERATUR, ELEKTRISK LEDNINGSEVNE, NATURLIG GAMMA.

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. Gammaloggen viser stor variasjon fra 20 m. Dette skyldes trolig varierende feltspatinnhold (kalium)

SAS LOG 200 er et tilleggsutstyr til ABEM TERRAMETER SAS 300 for logging av vannbrønner i fjell. Systemet måler den tilsynelatende motstand i berggrunnen med tre forskjellige elektrodekonfigurasjoner, og disse betegnes som Short Normal 16" (SN 16"), Long Normal 64" (LN 64") og Long Lateral 18" (LL 18"). I tillegg kan utrustningen måle selvpotensial (SP) og den elektriske motstanden i væsken (FLUID RES).

En prinsippskisse er vist i figur 1. SN 16" er en pol-pol konfigurasjon hvor D og E benyttes som henholdsvis strøm- og potensialelektrode i borehullet. Som fjern strøm- og potensialelektroder benyttes C1 og P1. Avstanden mellom D og E er 16" (ca 40 cm) noe som gir liten penetrasjon, men mye detaljer. I brønner med stor diameter blir målt tilsynelatende motstand sterkt påvirket av vannet i borehullet.

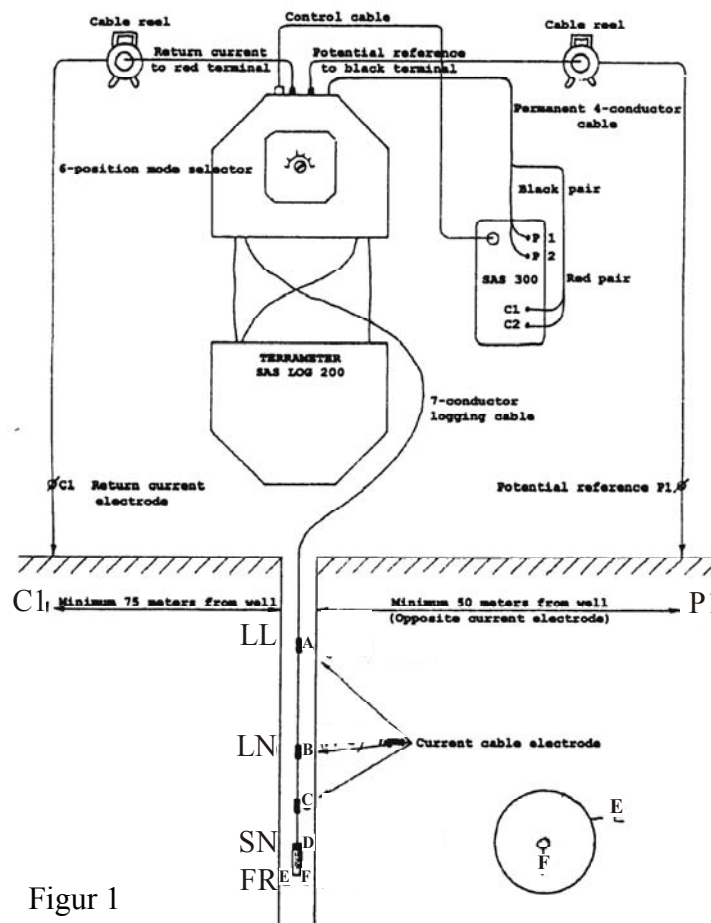
LN 64" er også en pol-pol konfigurasjon, men her benyttes C og E som henholdsvis strøm- og potensialelektrode i borehullet. Avstanden mellom disse to er 64" (ca 1.6 m), og dette gir en noe større inntrengning, men noe mindre detaljer.

LL 18" er en pol-dipol konfigurasjon der strømmen sendes mellom A og C1 på bakken mens potensialet måles mellom B og E i borehullet. Avstanden mellom A og E er 18" (ca 5.8 m) og dette gir en noe større inntrengning enn de øvrige metodene (ca 5 – 10 m).

SP er en passiv metode som bare måler potensialforskjellen mellom elektrode D i borehullet og P1 på bakken. I hydrogeologisk sammenheng gir SP informasjon om porøse partier.

Temperaturen kan bestemmes med en nøyaktighet på 1°C. Det kan imidlertid måles forskjeller ned mot 0.01°C, og dette gjør det mulig å studere lokale temperaturgradienter.

Motstanden i væsken måles ved å sende strøm mellom C1 på bakken og E som er en ringelektrode i borehullet. Potensialet måles mellom elektrode F i sentrum av E. Dersom diameteren i borehullet er liten (< 10 mm), må målingene korrigeres.



Figur 1

VEILEDNING FOR KJØRING AV OPTISK LOGG VED BRUK AV PROGRAMMET "OPTV.exe"

Ved å kjøre **Replay** i dette programmet kan en se en kontinuerlig logg (bilde) av borehullsveggen fra topp til bunn. Programmet kan kjøres direkte fra CD eller det kan kopieres inn på hard disken og kjøres derfra. Datafilene må kopieres over på hard disk (se senere).

Gå inn i **Utforsker** og klikk på symbolet for CD-rom. Klikk på katalogen **Holmedal**. En får da opp en liste over alle filer pluss katalogen **directx6**.

Hvis operativsystemet er Windows NT, får en problemer med å lukke programmet. Derfor må Windows NT brukere opprette en katalog som heter **Windows** direkte på C-disken (eller der operativsystemet ligger, vanligvis C). Windows 95- , 98-brukere trenger ikke tenke på dette.

Før oppstart kontroller at **directx6** er installert på PC. Ved å åpne katalogen **directx6** som ligger på CD'en får en opp en fil som heter **dx6core.exe**. Dobbeltklikk på denne filen og installering skjer automatisk, følg veiledningen og svar "yes".

Kontroller også at . (punktum) er satt opp som desimaltegn. Dette gjøres ved å klikke på **START – Innstillinger – kontrollpanel**. Klikk på **Regionale innstillinger** (settings) og deretter på **Tall** (number). I den øverste kolonnen – desimaltegn – må det stå . (punktum). Ofte kan det stå , (komma) her.

Både programfiler og datafil(er) ligger på CD'en. Datafilene har ending **.otv** og **.hed** (headerfil). Det går ikke an å lese en datafil direkte fra CD. Datafilene må derfor kopieres over på hard-disk og fjerning av skrivebeskyttelse. Dette gjøres på følgende måte. Kopier datafila (.otv og .hed) til egnet katalog på hard-disken. Kopier gjerne alt innhold på CD (program-filer) over på harddisk. Klikk deretter med høyre musknapp på .otv fila. Klikk på **Egenskaper** (properties) nederst på listen som kommer opp. Klikk deretter på **Generelt** . Nederst på det bilde som kommer opp står **Attributter**. Fjern haken som står i ruten ut for **skrivebeskytter** (read only) og deretter **ok**.

Nå er det klart for å kjøre programmet **OPTV.exe**. Dette gjøres på følgende måte. Dobbeltklikk på filen **OPTV.exe** som ligger på CD. Programmet starter (Optical Televiewer-viewer mode). Klikk på **Fil** i menyen øverst til venstre og deretter på **Replay**. Det kommer da opp en boks for åpning av filer. Bla gjennom til den filen som skal åpnes (**NB!** .otv- fil som ble kopiert fra CD). Klikk på denne filen og åpne. Det kommer da opp en boks som viser Start depth og End depth. Disse tallene viser mellom hvilke dyp det er logget. Som oftest er det topp og bunn av borehullet. Disse tallene kan endres hvis en vil se bare et utsnitt av loggen innenfor det området som er logget. Klikk på **OK**. Nå kan avspilling av loggen starte ved å klikke på startsymbolet ▶ nederst til høyre . Bildet begynner da å rulle over skjermen. Bildet stoppes ved å klikke på pausesymbolet II . Start ved å klikke ▶ igjen. Loggen stoppes ved å klikke stoppsymbolet ■ . Nå kan en enten ta inn en ny fil ved å klikke på **replay** eller gå ut av programmet ved å klikke på **Exit**.

RGLDIPv5.2 OPTV results

K = 0: BEDDING
K = 2: FRACTURE

Borehole Bh 9, Holmedal
zone from 1.350 to 102.819 m

deviation							Upper	Lower	Well	Well		
	Depth	Azimuth	Dip	1-P0/100	n	Q	K	Depth	Depth	Diam	Azimuth	Dev
1	100.577	331	34.1	0.000	6		2	100.533	100.621	0.140	206.26	22.00
2	100.497	332	39.5	0.000	5		2	100.443	100.551	0.140	205.98	22.00
3	100.363	305	22.8	0.000	5		2	100.336	100.390	0.140	207.29	22.00
4	99.721	280	54.8	0.000	6		2	99.630	99.812	0.140	202.50	23.00
5	99.471	355	68.1	0.000	7		2	99.310	99.632	0.140	204.50	22.50
6	99.335	359	72.3	0.000	6		2	99.132	99.538	0.140	205.21	22.00
7	98.398	5	35.9	0.000	5		2	98.351	98.445	0.140	203.96	22.96
8	98.191	355	67.0	0.000	7		2	98.039	98.343	0.140	204.00	23.00
9	97.340	10	57.5	0.000	4		2	97.238	97.442	0.140	204.00	22.00
10	96.504	319	80.9	0.000	5		2	96.067	96.610	0.140	205.00	23.00
11	95.866	68	38.7	0.000	3		2	95.814	95.918	0.140	204.58	22.00
12	92.440	306	77.0	0.000	5		2	92.159	92.721	0.140	204.00	22.11
13	91.234	123	53.4	0.000	4		2	91.147	91.321	0.140	203.76	22.00
14	90.351	350	57.2	0.000	7		2	90.250	90.452	0.140	203.90	22.00
15	89.631	10	55.4	0.000	6		2	89.537	89.725	0.140	204.29	22.00
16	88.470	322	74.9	0.000	7		2	88.231	88.709	0.140	204.51	23.00
17	87.999	55	86.8	0.000	8		2	86.839	89.159	0.140	205.00	22.06
18	87.800	236	85.0	0.000	7		2	87.000	87.358	0.140	204.00	22.00
19	86.641	353	43.5	0.000	5		2	86.579	86.703	0.140	204.90	22.00
20	86.552	351	37.1	0.000	5		2	86.503	86.601	0.140	204.87	22.00
21	86.095	355	49.6	0.000	4		2	86.019	86.171	0.140	204.02	22.00
22	86.005	345	53.1	0.000	7		2	85.919	86.091	0.140	204.19	22.00
23	82.187	352	56.2	0.000	6		2	82.090	82.284	0.140	207.82	22.00
24	80.412	338	71.7	0.000	7		2	80.214	80.610	0.140	207.00	21.00
25	80.363	339	74.3	0.000	7		2	80.131	80.595	0.140	206.36	21.00
26	80.191	346	54.3	0.000	5		2	80.101	80.281	0.140	207.10	22.00
27	80.028	358	38.6	0.000	5		2	79.976	80.080	0.140	207.32	22.00
28	79.301	353	45.2	0.000	5		2	79.235	79.367	0.140	206.00	21.00
29	79.174	5	33.9	0.000	5		2	79.130	79.218	0.140	207.00	21.56
30	78.693	339	41.6	0.000	4		2	78.635	78.751	0.140	209.00	21.00
31	78.060	327	32.9	0.000	4		2	78.018	78.102	0.140	206.00	21.00
32	77.214	357	58.9	0.000	6		2	77.106	77.322	0.140	209.00	21.00
33	74.342	350	32.9	0.000	4		2	74.300	74.384	0.140	209.00	21.00
34	73.125	295	72.1	0.000	5		2	73.095	73.342	0.140	210.20	20.00
35	73.027	303	64.7	0.000	4		2	72.879	73.013	0.140	209.36	20.00
36	72.430	39	73.2	0.000	6		2	72.214	72.646	0.140	210.69	21.00
37	72.383	39	61.7	0.000	6		2	72.262	72.504	0.140	210.00	21.00
38	71.569	52	62.5	0.000	6		2	71.443	71.695	0.140	212.00	20.00
39	71.132	48	86.3	0.000	4		2	70.953	72.214	0.140	211.27	21.00
40	70.334	177	84.7	0.000	5		2	70.113	71.089	0.140	211.00	20.00
41	69.419	66	84.6	0.000	8		2	68.723	70.115	0.140	213.54	20.00
42	68.729	354	80.1	0.000	8		2	68.354	69.104	0.140	212.00	20.68
43	65.675	76	89.9	0.000	5		2	25.567	55.294	0.140	213.00	21.00
44	65.672	64	85.2	0.000	5		2	64.894	66.450	0.140	213.00	21.00
45	65.169	67	88.2	0.000	5		2	63.076	67.262	0.140	212.46	20.00
46	62.882	334	66.9	0.000	8		2	62.728	63.036	0.140	212.00	20.00
47	62.742	74	58.4	0.000	4		2	62.628	62.749	0.140	212.00	20.00
48	62.527	24	49.9	0.000	5		2	62.449	62.605	0.140	210.74	20.00
49	61.878	14	49.2	0.000	4		2	61.802	61.954	0.140	209.65	20.00
50	60.938	1	61.4	0.000	7		2	60.817	61.059	0.140	211.85	20.00
51	60.926	2	62.3	0.000	6		2	60.801	61.051	0.140	211.61	20.00
52	60.779	355	58.2	0.000	5		2	60.673	60.885	0.140	211.67	19.67
53	59.699	357	60.2	0.000	6		2	59.584	59.814	0.140	209.92	20.00
54	59.518	17	65.2	0.000	7		2	59.376	59.660	0.140	208.55	20.00
55	59.270	10	55.9	0.000	5		2	59.172	59.368	0.140	209.00	19.00
56	59.060	10	58.3	0.000	5		2	58.953	59.167	0.140	210.00	19.00
57	58.278	349	55.6	0.000	5		2	58.182	58.374	0.140	206.00	19.35
58	57.999	356	52.5	0.000	4		2	57.913	58.085	0.140	207.00	19.00
59	56.350	13	47.3	0.000	4		2	56.278	56.422	0.140	208.00	18.00
60	56.194	8	50.2	0.000	6		2	56.114	56.274	0.140	208.96	18.00
61	56.149	5	49.6	0.000	6		2	56.071	56.227	0.140	208.07	18.00

62	55.791	333	47.7	0.000	5	2	55.718	55.864	0.140	207.83	18.00
63	55.540	9	49.6	0.000	4	2	55.462	55.618	0.140	207.89	18.00
64	55.356	20	46.6	0.000	6	2	55.286	55.426	0.140	208.21	18.00
65	55.034	352	39.2	0.000	5	2	54.980	55.088	0.140	208.77	17.77
66	54.699	6	42.4	0.000	4	2	54.638	54.760	0.140	207.07	17.07
67	54.594	0	47.8	0.000	4	2	54.561	54.671	0.140	207.98	17.98
68	54.540	3	54.8	0.000	4	2	54.441	54.545	0.140	207.23	17.00
69	54.510	359	59.1	0.000	6	2	54.398	54.622	0.140	208.40	17.00
70	53.931	360	46.4	0.000	7	2	53.861	54.001	0.140	207.00	18.00
71	49.558	330	76.6	0.000	5	2	49.276	49.840	0.140	209.00	16.00
72	44.382	64	83.5	0.000	4	2	44.355	44.996	0.140	214.00	14.00
73	30.780	104	82.0	0.000	4	2	30.288	31.272	0.140	215.70	9.00
74	29.341	63	27.8	0.000	5	2	29.304	29.378	0.140	218.00	8.00
75	24.559	70	27.9	0.000	5	2	24.522	24.596	0.140	219.54	6.00
76	22.167	344	58.5	0.000	5	2	22.053	22.281	0.140	219.00	5.00
77	20.765	13	48.9	0.000	5	2	20.685	20.845	0.140	218.83	4.00
78	19.238	9	24.6	0.000	4	2	19.206	19.270	0.140	215.86	3.00
79	5.785	355	51.8	0.000	5	2	5.696	5.874	0.140	173.58	1.00
80	5.570	280	5.4	0.000	3	2	5.563	5.577	0.140	161.32	1.00
81	3.558	171	30.7	0.000	6	2	3.516	3.600	0.140	108.67	1.00

RGLDIPv5.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS

borehole Bh 9 Holmedal
 zone from 3.000 to 101.000 m
 15 Mar 2002

Data is classed into 1 types
 5 OPTV_dips

Quality cut-off level: *

Mean well deviation: 14.2deg to N209.2

3 small-circles defined

	SEARCH AREA			MEAN DIP		n	f
	azim	pl	cone	strike	dip		
1	171.1	40.6	37.6	265	51	56	0.69
2	237.0	18.6	24.8	327	79	11	0.23
3	114.9	25.6	19.7	207	67	4	0.11

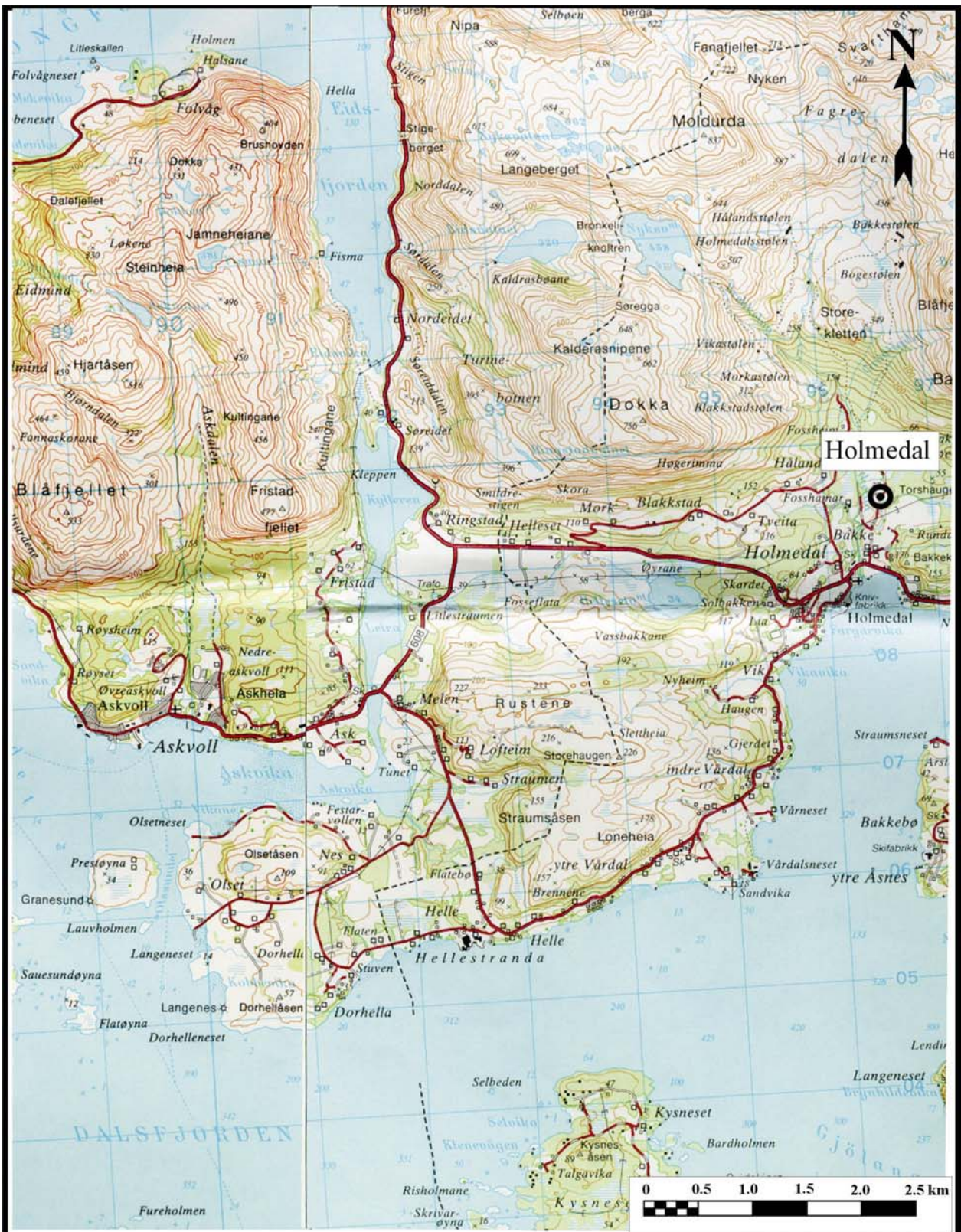
Total number of data = 71
 Number of data unaccounted for = 10

ZONE No.	DEVIATION		DEPTHS m		No. DATA	MEAN DIPS and FREQUENCIES											
	Dev	Azim	TOP	BASE		Str	Dip	n	f	Str	Dip	n	f	Str	Dip	n	f
1	1.1	146.2	3.56	5.87	3	265	52	1	0.69	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00
2	2.0	201.1	5.87	18.95	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00	
3	4.3	217.9	18.95	22.65	3	270	43	3	1.06	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00
4	11.3	214.5	22.65	52.82	5	240	77	1	0.11	334	83	1	0.12	0	0	0	0.00
5	19.3	209.4	52.82	65.75	28	272	53	24	2.30	338	77	3	0.51	0	0	0	0.00
6	20.5	211.9	65.75	74.37	10	263	56	2	0.31	319	73	5	0.99	209	68	2	0.71
7	21.3	207.9	74.37	82.38	10	257	50	10	1.55	0	0	0	0.00	0	0	0	0.00
8	22.1	204.7	82.38	91.61	10	259	52	7	0.94	145	89	2	0.70	0	0	0	0.00
9	22.4	204.1	91.61	100.58	12	261	48	8	1.05	0	0	0	0.00	204	65	2	0.58

Borehole: Bh 9 Holmedal_
 Depth range: 1.400 - 102.796m

Deviation components					
Depth	North	East	Down	Devaz	Dev
2.046	-0.004	-0.003	0.650	283.00	1.00
3.046	-0.011	-0.015	1.650	176.00	1.00
4.046	-0.026	-0.000	2.649	157.00	2.00
5.046	-0.041	0.012	3.649	137.00	1.00
6.046	-0.057	0.018	4.649	168.00	1.00
7.046	-0.082	0.026	5.649	173.00	1.00
8.046	-0.104	0.032	6.648	176.00	2.00
9.046	-0.132	0.031	7.648	190.00	2.00
10.046	-0.163	0.035	8.647	187.00	2.00
11.046	-0.181	0.027	9.647	215.00	2.00
12.046	-0.201	0.014	10.647	223.00	1.00
13.046	-0.234	-0.001	11.646	206.00	3.00
14.046	-0.264	-0.018	12.645	219.00	2.00
15.046	-0.298	-0.036	13.645	196.00	3.00
16.046	-0.343	-0.057	14.643	209.00	3.00
17.046	-0.378	-0.081	15.642	210.00	4.00
18.046	-0.422	-0.110	16.641	215.00	3.00
19.046	-0.476	-0.148	17.639	216.00	3.00
20.046	-0.530	-0.188	18.637	219.00	4.00
21.046	-0.583	-0.233	19.634	220.00	4.00
22.046	-0.652	-0.283	20.631	217.00	5.00
23.046	-0.717	-0.340	21.627	225.00	5.00
24.046	-0.796	-0.402	22.622	220.00	6.00
25.046	-0.878	-0.467	23.616	220.00	6.00
26.046	-0.965	-0.534	24.610	215.00	7.00
27.046	-1.058	-0.610	25.603	218.00	7.00
28.046	-1.159	-0.689	26.594	217.00	8.00
29.046	-1.268	-0.776	27.585	220.00	8.00
30.046	-1.379	-0.865	28.575	219.00	8.00
31.046	-1.498	-0.952	29.564	217.00	9.00
32.046	-1.623	-1.044	30.551	218.00	9.00
33.046	-1.744	-1.143	31.539	218.00	9.00
34.046	-1.868	-1.241	32.527	218.00	9.00
35.046	-2.003	-1.348	33.512	219.00	10.00
36.046	-2.144	-1.456	34.496	216.00	10.00
37.046	-2.295	-1.571	35.477	217.00	11.00
38.046	-2.449	-1.686	36.459	217.00	12.00
39.046	-2.608	-1.805	37.439	217.00	11.00
40.046	-2.777	-1.927	38.417	216.00	12.00
41.046	-2.944	-2.051	39.395	218.00	12.00
42.046	-3.124	-2.180	40.370	216.00	13.00
43.046	-3.308	-2.313	41.344	214.00	14.00
44.046	-3.508	-2.448	42.314	215.00	14.00
45.046	-3.708	-2.585	43.285	214.00	14.00
46.046	-3.918	-2.723	44.252	214.00	15.00
47.046	-4.135	-2.862	45.219	212.00	15.00
48.046	-4.357	-2.995	46.184	212.00	15.00
49.046	-4.591	-3.130	47.147	210.00	16.00
50.046	-4.833	-3.266	48.108	209.00	16.00
51.046	-5.085	-3.406	49.065	207.00	17.00
52.046	-5.342	-3.545	50.022	209.00	17.00
53.046	-5.610	-3.686	50.975	207.00	17.00
54.046	-5.881	-3.825	51.927	207.00	18.00
55.046	-6.149	-3.967	52.880	209.00	18.00
56.046	-6.423	-4.110	53.831	208.00	18.00
57.046	-6.706	-4.257	54.779	206.00	19.00
58.046	-6.996	-4.405	55.724	207.00	19.00
59.046	-7.286	-4.558	56.669	210.00	19.00
60.046	-7.578	-4.720	57.611	208.00	20.00
61.046	-7.874	-4.891	58.551	211.00	20.00
62.046	-8.169	-5.064	59.491	213.00	20.00
63.046	-8.460	-5.243	60.431	211.00	20.00
64.046	-8.758	-5.434	61.366	214.00	21.00
65.046	-9.061	-5.620	62.301	212.00	20.00
66.046	-9.352	-5.811	63.238	213.00	20.00
67.046	-9.642	-5.998	64.176	212.00	21.00
68.046	-9.938	-6.194	65.112	216.00	21.00
69.046	-10.230	-6.385	66.048	212.00	20.00
70.046	-10.519	-6.569	66.988	210.00	20.00
71.046	-10.815	-6.749	67.926	212.00	21.00
72.046	-11.115	-6.935	68.861	212.00	21.00
73.046	-11.420	-7.115	69.797	209.00	20.00

74.046	-11.723	-7.291	70.733	209.00	21.00
75.046	-12.036	-7.463	71.667	211.00	21.00
76.046	-12.345	-7.640	72.602	209.00	21.00
77.046	-12.665	-7.815	73.533	210.00	21.00
78.046	-12.981	-7.985	74.466	206.00	21.00
79.046	-13.296	-8.154	75.400	207.00	21.00
80.046	-13.624	-8.319	76.330	208.00	22.00
81.046	-13.951	-8.482	77.261	207.00	22.00
82.046	-14.282	-8.649	78.190	206.00	22.00
83.046	-14.617	-8.805	79.119	202.00	22.00
84.046	-14.946	-8.978	80.047	207.00	21.00
85.046	-15.280	-9.138	80.976	206.00	22.00
86.046	-15.617	-9.296	81.904	205.00	22.00
87.046	-15.957	-9.454	82.831	204.00	22.00
88.046	-16.306	-9.606	83.755	205.00	23.00
89.046	-16.658	-9.765	84.678	204.00	22.00
90.046	-17.002	-9.924	85.603	205.00	23.00
91.046	-17.349	-10.073	86.529	204.00	22.00
92.046	-17.695	-10.227	87.454	205.00	23.00
93.046	-18.044	-10.378	88.379	203.00	22.00
94.046	-18.391	-10.533	89.304	204.00	22.00
95.046	-18.739	-10.680	90.230	203.00	22.00
96.046	-19.086	-10.834	91.155	204.00	23.00
97.046	-19.437	-10.994	92.078	204.00	22.00
98.046	-19.782	-11.148	93.004	203.00	22.00
99.046	-20.133	-11.304	93.927	205.00	22.00
100.046	-20.481	-11.462	94.851	210.00	23.00
101.046	-20.822	-11.636	95.774	206.00	23.00
102.046	-21.167	-11.785	96.701	203.00	22.00



OVERSIKTSKART

Holmedal

Askvoll kommune, Sogn og Fjordane

NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE
TRONDHEIM

MÅLESTOKK

1:50 000

MÅLT HE

TEGN HE

TRAC

KFR

Okt -2000

Mars 2002

TEGNING NR
2002.093-01

KARTBLAD NR
1117 I, 1117 IV