

NGU Rapport 2001.094

Tunnelprosjektet. Inspeksjon av brønner over
Romeriksporten med optisk televiewer.
Korrelasjon til lekkasjer og stabilitet.

Rapport nr.: 2001.094		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Tunnelprosjektet. Inspeksjon av brønner over Romeriksporten med optisk televiwer. Korrelasjon til lekkasjer og stabilitet.				
Forfatter: Harald Elvebakk & Jan S. Rønning		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Oslo		Kommune: Oslo		
Kartblad (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1914 IV Lørenskog		
Forekomstens navn og koordinater: Se sammendrag		Sidetall: 51	Pris: kr 320.-	
Feltarbeid utført: Okt. 1999, Aug. 2000		Rapportdato: 30.10.01	Prosjektnr.: 282702	Ansvarlig:
<p>Sammendrag:</p> <p>NGU har sammenstilt data samlet inn med optisk televiwer fra 4 borehull i området Lutvann – Puttjern i Østmarka, Oslo. Borehullene ble boret i etterkant av lekkasjene i Romeriksporten for å overvåke grunnvannsbalansen i området. Hensikten med sammenstillingen har vært å vurdere verdien av slike undersøkelser med hensyn til lekkasjer og stabilitet under tunneldriving. Flere borehull satt på i svakhetssoner i dagen har vist at det er hydraulisk forbindelse til tunnelen (under Nordre Puttjern). Disse hullene var ikke tilgjengelige for inspeksjon.</p> <p>Undersøkelsene har foregått i borehull satt på i andre svakhetssoner. Ingen av borehullene er boret ned til tunnelnivå. Det har derfor ikke vært mulig å vurdere fjellkvaliteten i selve tunneltraseen. Øvre deler av svakhetssoner som trolig krysser tunneltraseen er derimot undersøkt med OPTV samt logging av vanntemperatur, elektrisk ledningsevne i vannet og naturlig gammastråling.</p> <p>Flere tydelige åpne sprekker ble indikert. Noen av disse indikerer vanninnstrømning i borehullet. I tillegg er det indikert en rekke sprekkeansamlinger og partier med dårlig fjell. Et av borehullene skjærer ut av sprekkesonen det er satt mot, og viser hvor viktig det er å måle borehullsavviket. Inspeksjon med OPTV har tydelig vist at det går an å påvise sprekker og soner som kan ha stor betydning for å vurdere fjellkvaliteten med hensyn til lekkasjer og stabilitet under tunneldriving.</p> <p>Det er meget viktig hvordan borehullene plasseres. Det må bores ned til tunnelnivå, helst skråhull for å fange opp vertikale sprekker.</p> <p>Koordinater B11 605000 6644040 32V, WGS84 B16 605825 6644530 B17 605915 6644400 B18 605940 6644280</p>				
Emneord: Geofysikk		Optisk televiwer		Sprekkesone
Borehullslogging				
				Fagrapport

INNHold

1. INNLEDNING	5
2. UNDERSØKT OMRÅDE	5
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	7
3.1 Optisk televiwer, OPTV	7
3.2 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg	8
3.3 Avviksmåling	9
4. RESULTATER AV GEOFYSISKE UNDERSØKELSER	9
4.1 Optisk televiwer, B11, B16a, B16b, B17 og B18	9
4.1.1 Sprekkeanalyse. Stereografisk projeksjon med definerte grupper	9
4.1.2 Sprekkeanalyse. Frekvenshistogrammer for definerte soner	15
4.1.3 Sprekkeanalyse. Åpne sprekker	21
4.1.4 Strukturanalyse. Stereografisk projeksjon, amfibolittganger B11 og B16.....	22
4.1.5 Strukturanalyse. Fordeling av amfibolittganger, B11 og B16	24
4.2 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg, B11, B16, B17 og B18.....	27
4.3 Avviksmåling	32
5. BOREHULLSKARAKTERISTIKKER	36
5.1 B11, OPTV	36
5.2 B16, OPTV	38
5.3 B17, OPTV	39
5.4 B18, OPTV	39
6. DISKUSJON, OPPSUMMERING	46
7. KONKLUSJON	48
8. REFERANSER	49

KARTBILAG

2001.094-01 : Oversiktskart, Østmarka. M 1:50 000

2001.094-02 : Oversiktskart over fjellbrønner M 1:23 000

FIGURER

Figur 1 : Geologisk kart over Østmarka med borehull og tunneltrase inntegnet.

Figur 2 : Måleprinsipp for optisk televiwer.

Figur 3 : Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B11.

Figur 4 : Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B16a.

Figur 5 : Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B16b.

Figur 6 : Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B17.

Figur 7 : Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B18.

Figur 8 : OPTV. Rosediagram og stereogram for indikerte sprekker i B11, B16a, B16b, B17 og B18.

Figur 9 : Frekvenshistogram over indikerte sprekker, B11.

- Figur 10 : Frekvenshistogram over indikerte sprekker, B16a.
 Figur 11 : Frekvenshistogram over indikerte sprekker, B16b.
 Figur 12 : Frekvenshistogram over indikerte sprekker, B17.
 Figur 13 : Frekvenshistogram over indikerte sprekker, B18.
 Figur 14 : Åpne sprekker i B11
 Figur 15 : Åpne sprekker i B17 og B18.
 Figur 16 : Stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger B11.
 Figur 17 : Stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger B16a.
 Figur 18 : Stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger B16b.
 Figur 19 : Fordeling av amfibolittganger B11.
 Figur 20 : Fordeling av amfibolittganger B16a.
 Figur 21 : Fordeling av amfibolittganger B16b.
 Figur 22 : Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B11.
 Figur 23 : Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B16.
 Figur 24 : Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B17.
 Figur 25 : Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B18.
 Figur 26 : Borehullsforløp B11. Vertikalprojeksjon øst-vest og horisontalprojeksjon.
 Figur 27 : Borehullsforløp B16. Vertikalprojeksjon øst-vest og horisontalprojeksjon.
 Figur 28 : Borehullsforløp B17. Vertikalprojeksjon øst-vest og horisontalprojeksjon.
 Figur 29 : Borehullsforløp B18. Vertikalprojeksjon øst-vest og horisontalprojeksjon.
 Figur 30 : Lekkasjemålinger i Romeriksporten 1998.
 Figur 31 : OPTV bildelogg av utvalgte soner i B11.
 Figur 32 : OPTV bildelogg av utvalgte soner i B16.
 Figur 33 : OPTV bildelogg av utvalgte soner i B17.
 Figur 34 : OPTV bildelogg av utvalgte soner i B18.
 Figur 35 : Logging av elektrisk ledningsevne i fjellbrønner i Puttjern – Kjerringmyrområdet mai – november 1999.

TABELLER

- Tabell 1 : Oversikt over undersøkelser i borebrønner ved Lutvann – Puttjern.
 Tabell 2 : OPTV. Indikerte sprekkeansamlinger med retning, fall og antall.
 Tabell 3 : OPTV, utvalg av sprekkeansamlinger med høyeste frekvens i definerte soner.
 Tabellen viser dyp, antall, retning, fall og frekvens.
 Tabell 4 : Registrerte større, åpne sprekker i B11, B17 og B18.
 Tabell 5 : Observerte data, min.temp., bunn temp., temperaturgradienter, vannspeil, ledningsevne og gamma i B11, B16, B17 og B18.

1. INNLEDNING

I forbindelse med prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" har NGU foretatt en sammenstilling av inspeksjonsdata fra 4 borehull knyttet til "Romeriksporten". Data ble samlet inn med optisk televiewer under et Nordisk Forskerkurs i august 2000. Hensikten med denne sammenstillingen var å korrelere observasjoner i borehullene med annen informasjon for derved å vurdere verdien av denne type inspeksjon med hensyn på vannlekkasjer og stabilitet under tunneldrivingen.

Kartbilag –01 viser oversiktskart med de undersøkte borehullene inntegnet, B11, B16, B17 og B18. NGU har tidligere inspisert borehullene B2, B8 og B11 med akustisk televiewer. Resultatene fra disse undersøkelsene er tidligere rapportert (Elvebakk & Rønning 2000) og er ikke tatt med i denne rapporten. Da NGU skulle anskaffe televiewer ble to typer optisk og en akustisk testet ut. En sammenlikning av resultatene fra B11 er rapportert (Elvebakk & Rønning 2001).

Kartbilag –02 viser en oversikt over de fjellbrønner som ble boret i etterkant av tunneldrivingen for å overvåke den hydrologiske balansen. Det ble i alt boret 27 fjellbrønner. I tillegg ble det boret et tilsvarende antall i myrområder og i løsmasser. Et vanninfiltrasjonsanlegg er bygget i tunnelen under Puttjernsonen. Her blir vann tilført berggrunnen i den hensikt å holde grunnvannsnivået høyt slik at lekkasjen fra Puttjern reduseres. Vannivået ble i prøveperioden mai – november 1999 målt hver måned. Variasjoner i vannstanden har vist at det er hydraulisk forbindelse mellom infiltrasjonsanlegget i tunnelen og flere av fjellbrønnene (Kværner og Snilsberg 1999). Spesielt i brønnene 14, 15 og 19 kan en se en tydelig effekt av vanninfiltrasjon i tunnelen.

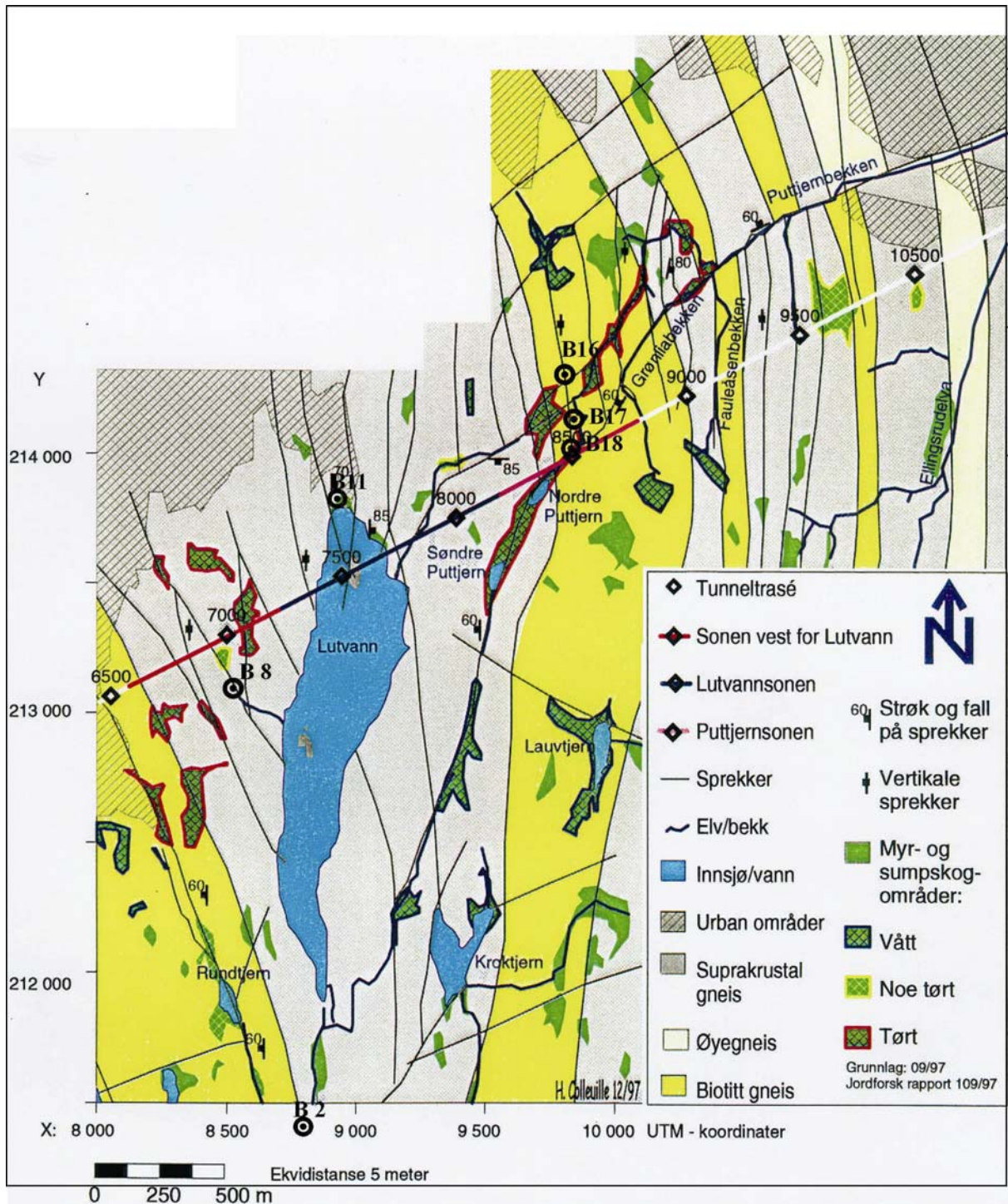
Før tunneldrivingen tok til er det gjort geologiske forundersøkelser langs tunneltraseen. (Bollingmo & Heimli 1994). Hoveddelen av tunnelen går i grunnfjellsbergarter og traseen krysses av flere tversgående daler som kan være dannet av svakhetssoner.

2. UNDERSØKT OMRÅDE

Undersøkelsene er foretatt i borehull i området fra nordenden av Lutvann til 200-300 m nordøst for Nordre Puttjern, se kartbilag -01. Referert til tunnelkoordinater er dette mellom 7500 og 8700 og omfatter borehullene B11, B16, B17 og B18, se figur 1 som viser geologisk kart over området med borehullsplassering og tunneltrase inntegnet. I disse brønnene er det gjort inspeksjon med optisk televiewer (OPTV) og logget temperatur, elektrisk ledningsevne i vannet og naturlig gammastråling.

De undersøkte brønnene er alle boret i etterkant av tunnelbyggingen for å overvåke og kontrollere vannbalansen i forhold til lekkasjene inne i tunnelen. I forhold til en forundersøkelse med den hensikt å kartlegge fjellkvaliteten langs tunneltraseen på en optimal måte, er brønnene for korte og ikke optimalt plassert. Bare en av brønnene, B18, er plassert i umiddelbar nærhet av tunneltraseen, men hullet når ikke ned til tunnelnivå. Undersøkelsene vil derfor ikke gi noe entydig svar på fjellkvaliteten i tunneltraseen, men vil gi verdifulle

opplysninger om den generelle oppsprekking og fjellkvalitet i nærheten av tunnelen. Tabell 1 viser hva som er gjort i de forskjellige borehullene.



Figur 1. Geologisk kart over Østmarka med borehull og tunneltrasé inntegnet. (NVE).

Tabell 1. Oversikt over undersøkelser i borebrønner ved Lutvann - Puttjern

Bh	Logget dyp	OPTV	AKTV	Temp.	Ledn.evne	Gamma	Avvik
B2	59 m	-	X	-	-	-	X
B8	83 m	-	X	-	-	-	X
B11	56 m	X	X	X	X	X	X
B16	96 m	X	-	X	X	X	X
B17	59 m	X	-	X	X	X	X
B18	83 m	X	-	X	X	X	X

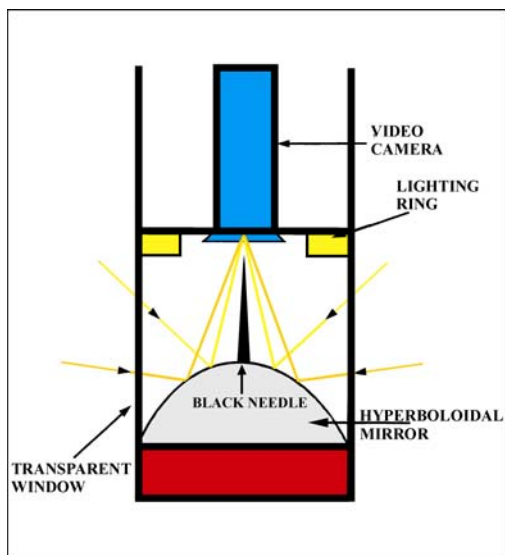
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Målemetodene som er brukt er optisk televiewer, OPTV, akustisk televiewer, AKTV, logging av vanntemperatur, elektrisk ledningsevne i vannet og naturlig gammastråling.

3.1 Optisk televiewer, OPTV

Optisk Televiewer er en geofysisk metode som brukes ved inspeksjon av borehull. Instrumentet består av et videokamera som kan senkes ned i borehull med en diameter på 70 – 160 mm. Instrumentet senkes med en konstant hastighet på 1m/min og gjør et kontinuerlig opptak av den innvendige borehullsveggen. Det blir tatt et bilde for hver mm nedover i hullet (hele omkretsen, 360°) og bildet deles i 360 eller 720 pixler rundt hele omkretsen. Dette gir meget høy oppløsning og en kan se sprekker med en tykkelse ned til 0.5 mm. Bildet som presenteres er borehullsveggen brettet ut 360°. Sprekker som skjærer hullet i en vinkel større enn null vil observeres som en sinusfunksjon på det utbrettede bildet. Innbygde magnetometre og akselerometre orienterer bildet. Dette gjør at en kan bestemme retning og fall til sprekker som skjærer borehullet. Alle indikerte sprekker og geologiske strukturer kan presenteres i stereogram (stereografisk projeksjon), histogram som viser sprekkefrekvenser langs et borehull og logger med retning og fall til hver sprekk som er indikert i hullet. I tillegg beregnes borehullsforløpet som kan presenteres som horisontal- og vertikalprojeksjon samt et 3D-plott.

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 orientert sprekker og strukturer. Figur 2 viser prinsippet for OPTV og OPTV sonde.



Figur 2. Måleprinsipp for optisk televiwer (venstre) og sonde (høyre).

3.2 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg

Forut for OPTV gjøre en vanligvis en temperatur-, ledningsevne- og gammalogg for hele hullet. Disse parametrene logges med en og samme sonde med en loggehastighet på 3 m/min.

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

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

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.

3.3 Avviksmåling

I OPTV-sonden er det også sensorer for måling av borehullsforløp. Borehullsvinkel og retning måles ved hjelp av 3-aksielt magnetometer og 3 akselerometre. Borehullsvinkel kan måles i området $0 - 180^\circ$ med en nøyaktighet på $\pm 0.25^\circ$. Retningen kan måles fra 0 til 360° med en nøyaktighet på $\pm 2.5^\circ$. 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.

Da retningen måles med magnetometre, kan det oppstå feil når det er magnetisk materiale tilstede i borehullet. Det er derfor umulig å måle retningen der det er foringsrør av jern. Et annet tilfelle er innhold av magnetitt i bergartene som også kan medføre retningsfeil. Vanligvis ser en av data når målingene er påvirket av magnetisk materialet under foringsrør da en ofte får en urealistisk og brå endring i retningen.

4. RESULTATER AV GEOFYSISKE UNDERSØKELSER

Under dette kapitlet presenteres data og prosesserte data fra de geofysiske undersøkelsene i borehullene. All analyse er foretatt med programsystemet RGLDIP (Robertson Geologging 2000).

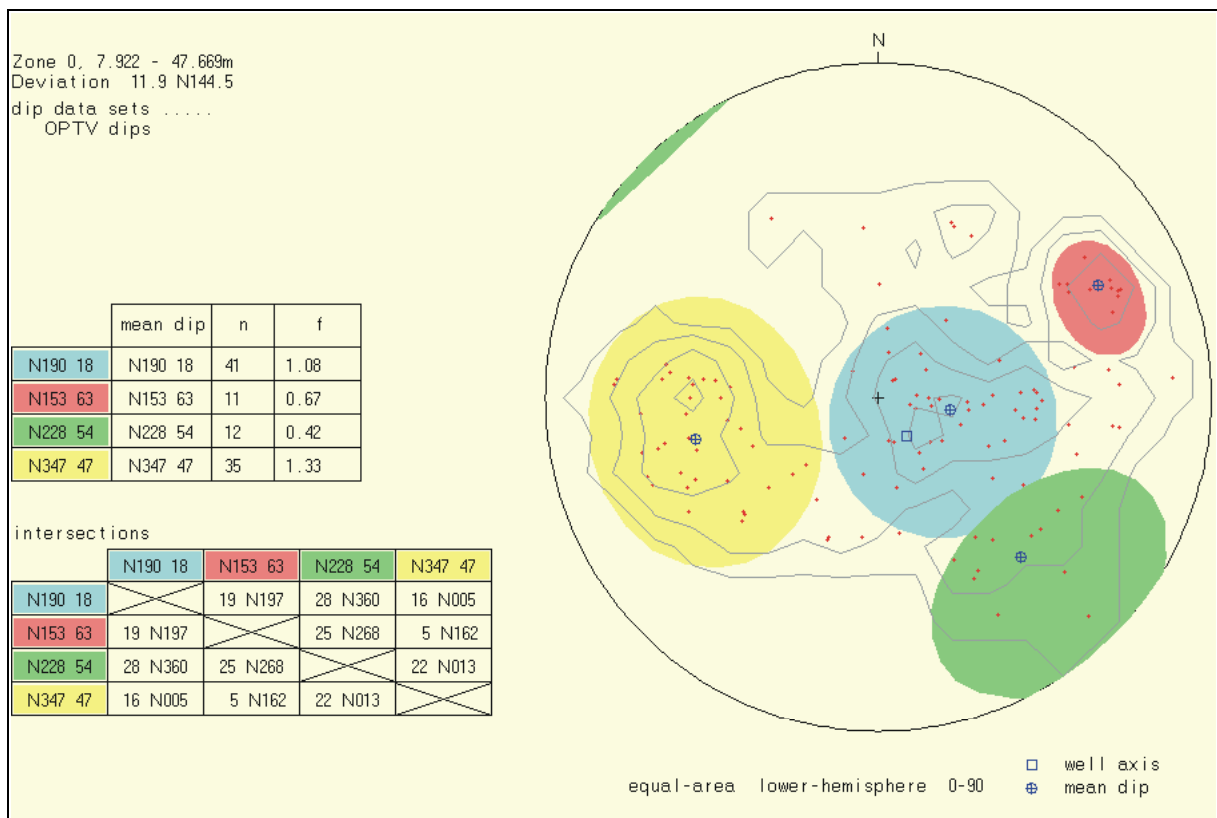
4.1 Optisk televiewer, B11, B16a, B16b, B17 og B18

I dette avsnittet presenteres resultater fra sprekkeanalyser i borehullemne B11, B16, B17 og B18. Målingene i B16 ble delt i to, og det er ikke mulig med benyttede programvare å slå sammen analysene. For B11 og B16 er det også gjort analyser av observerte ganger (amfibolittganger med granat).

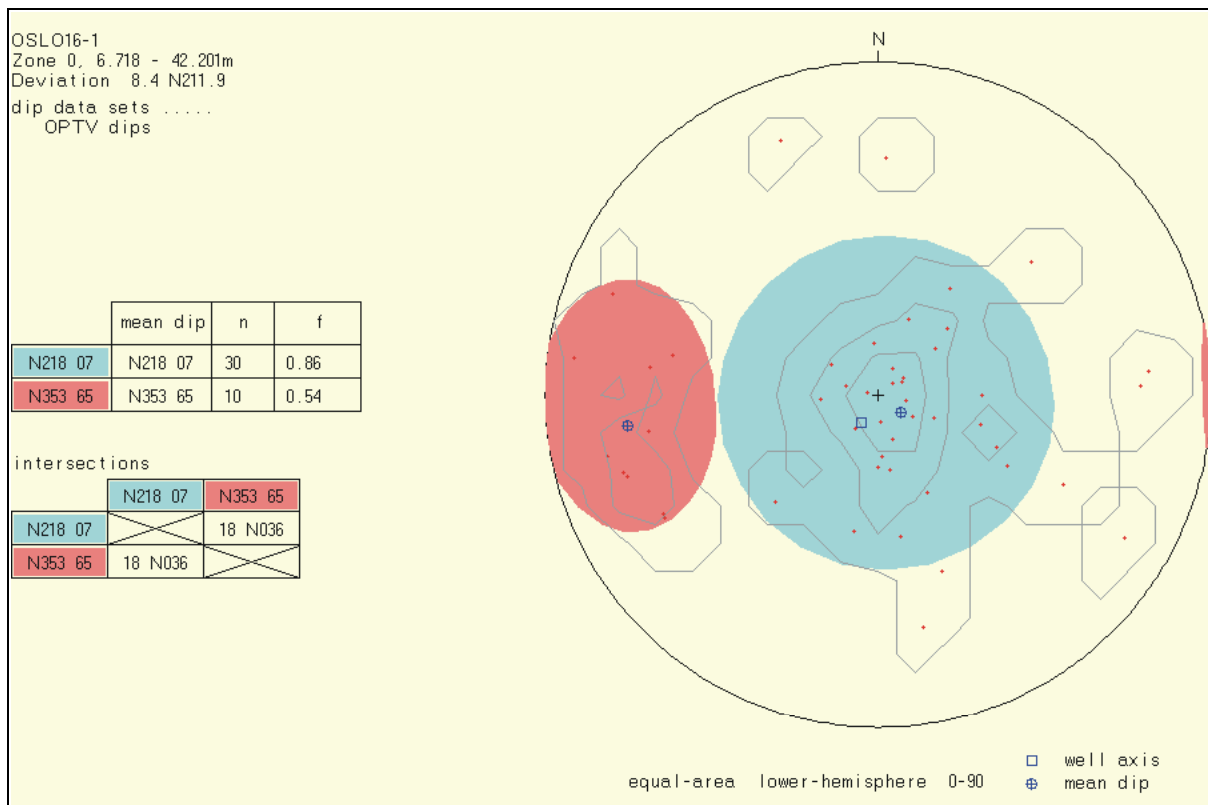
4.1.1 Sprekkeanalyse. Stereografisk projeksjon med definerte grupper.

Figur 3, 4, 5, 6 og 7 viser stereografisk projeksjon av indikerte sprekker for B11, B16a, B16b, B17 og B18 indikert ved OPTV. B16 er logget i to deler a ($0 - 50$ m) og b ($50 - 96$ m) og prosessert hver for seg. Sprekkegrupper er definert med fargede sirkler for hvert borehull. Strøkretning og fallvinkel (gjennomsnitt) er beregnet for hver gruppe. Tabellene på figurene viser strøk og fall til hver sprekkgruppe, antall sprekker i hver gruppe (n) og sprekkfrekvensen (f) for hver gruppe. Nederste tabell viser fallretning og fallvinkel for skjæringslinjen (intersection) mellom middelplanene til to og to definerte grupper.

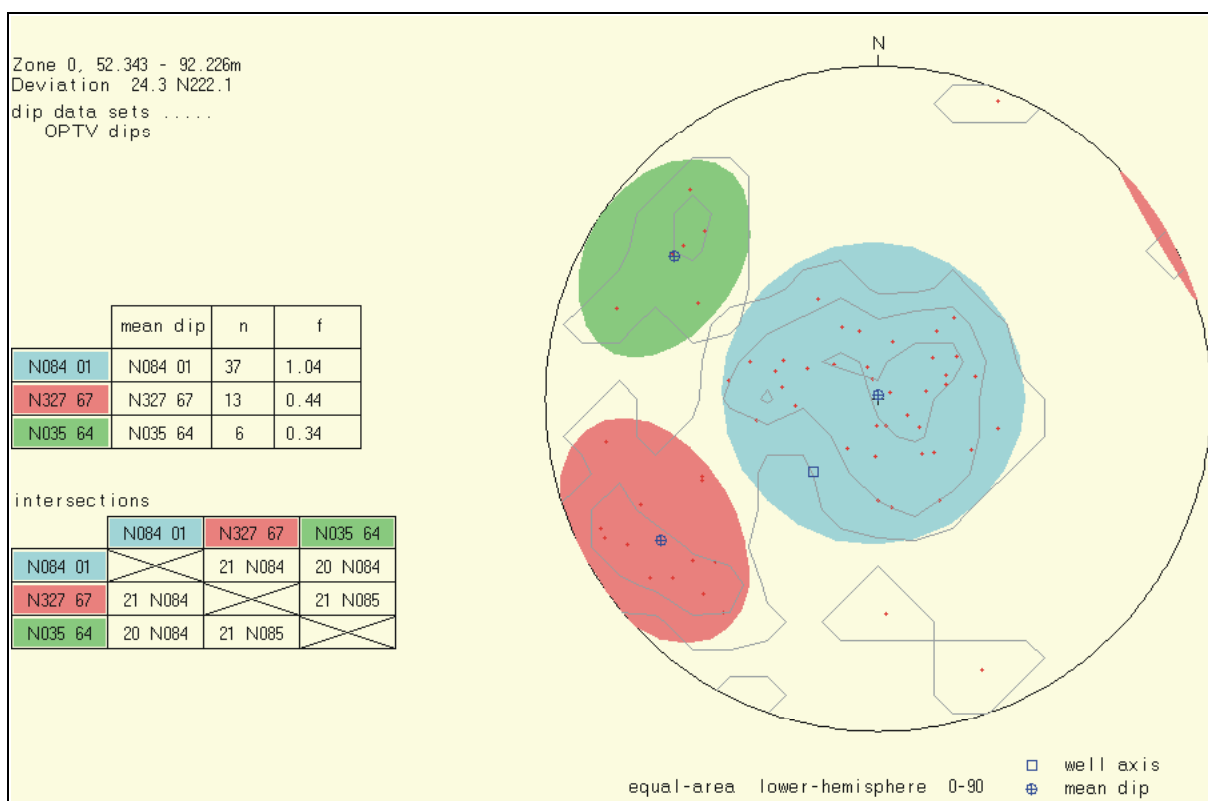
Fallretning og fallvinkel til et plan er entydig bestemt i et stereografisk plott (plotting av plan-normalens skjæringspunkt, pol, med nedre kuleskall, lower hemisphere). Planets fallretning bestemmes av retningen til planets normal og vil være normalens retning pluss 180°. Planets strøketretning er 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 (N90).



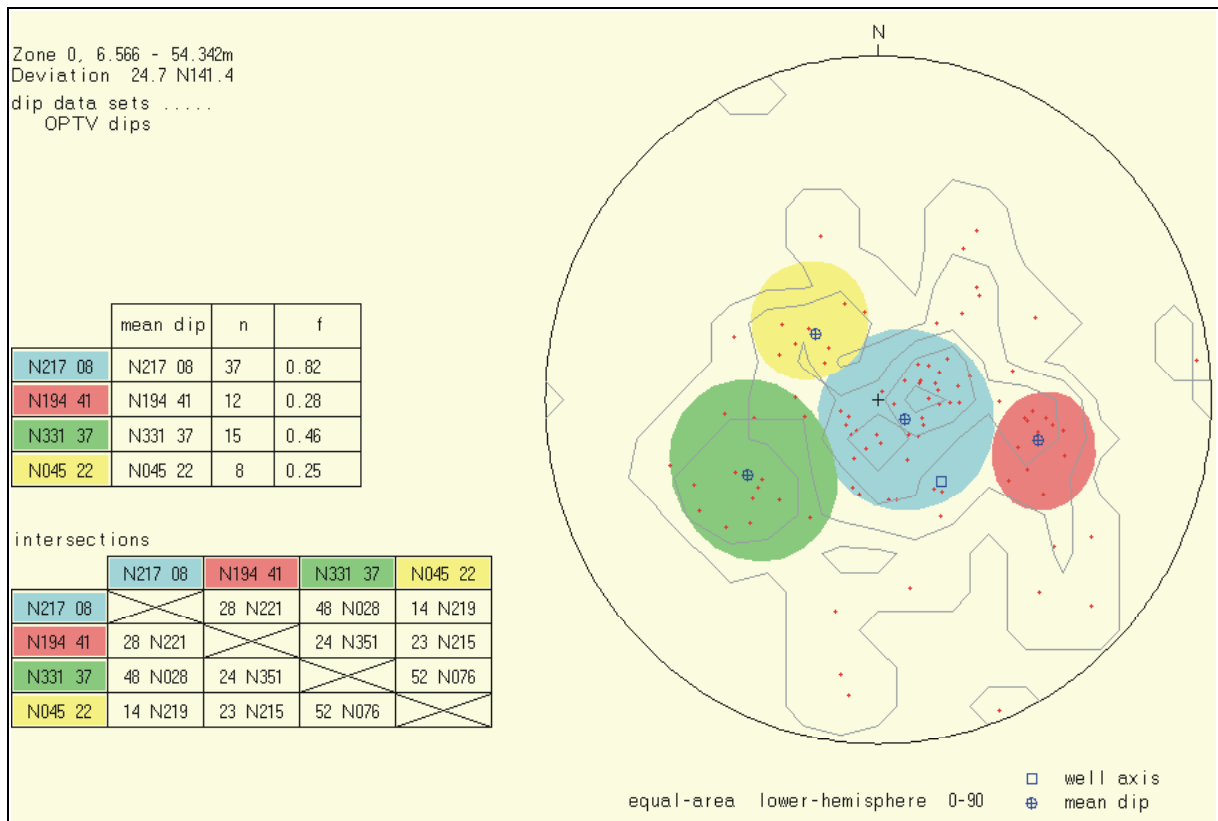
Figur 3. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B11.



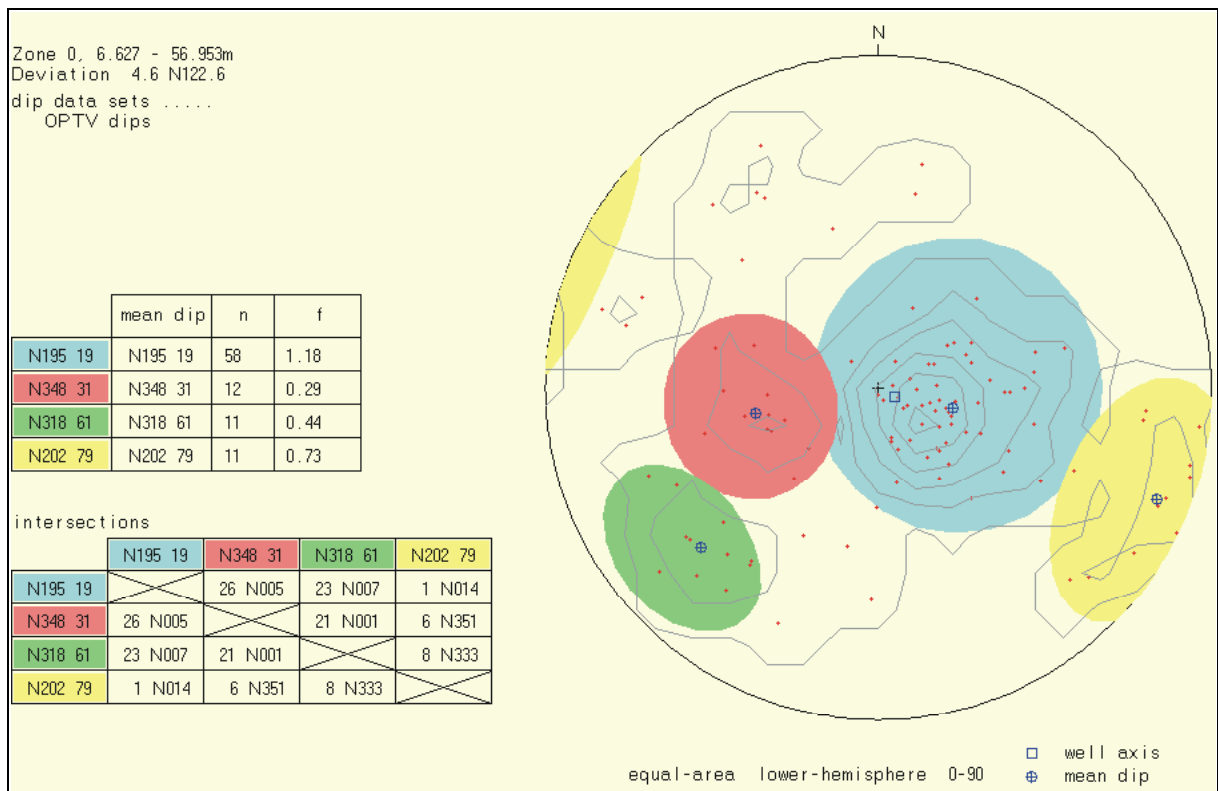
Figur 4. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B16a.



Figur 5. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B16b.



Figur 6. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B17.



Figur 7. Stereografisk projeksjon av indikerte sprekker i B18.

Tabell 2 viser en samlet oversikt over alle definerte sprekkegrupper for B11, B16a, B16b, B17 og B18 ved OPTV. Tabellen viser gjennomsnittlig sprekkeretning, fall og antall sprekker for hver gruppe.

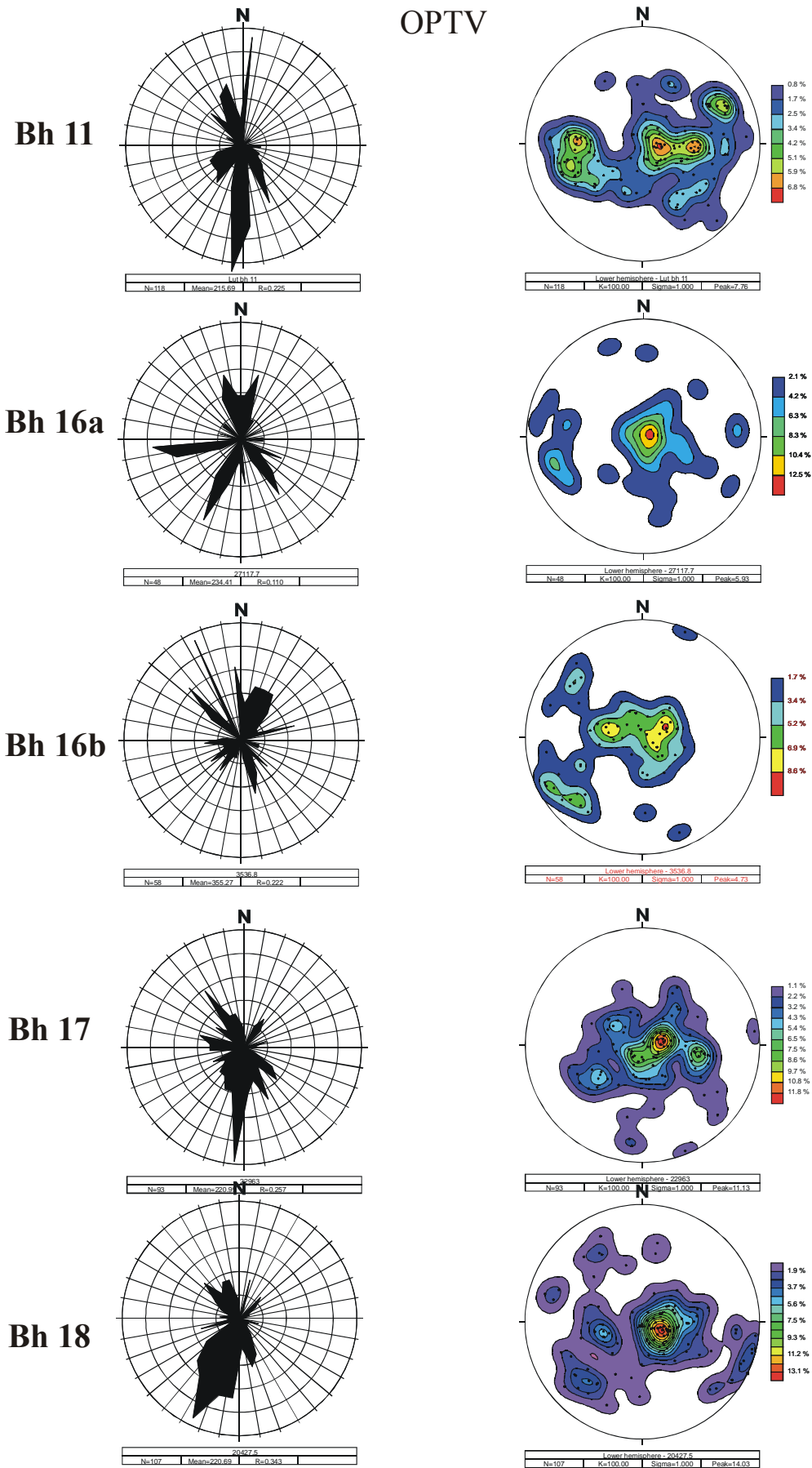
Tabell 2. OPTV. Indikerte sprekkeansamlinger med retning, fall og antall.

Bh	Retn. 1	n	Retn. 2	n	Retn. 3	n	Retn. 4	n	Andre (n)	Totalt (n)				
B11	N190	18	41	N347	47	35	N228	54	12	N153	63	11	19	118
B16a	N218	07	30	N353	65	10							9	49
B16b	N084	01	37	N327	67	13	N035	64	6				3	59
B17	N217	08	37	N331	37	15	N045	22	8	N194	41	22	12	94
B18	N195	19	58	N348	31	11	N318	61	11	N202	79	11	16	108

Hovedandelen av sprekkegruppene har tilnærmet nord-sør retning (N190, N195, N348, N347, N084). Dette stemmer bra med de sprekkesoner som er angitt på det geologiske kartet, se figur 1. Figur 8 viser rosediagram og stereogram for alle indikerte sprekker i hvert borehull. Rosediagrammet viser strøketretning som er beregnet under kapittel 4.1.1, sprekkeanalyser. Bredden på rosene er et mål for antallet. B11 gjenspeiler hovedsprekkeretningen NS, NNV-SSØ. B16, derimot som skjærer ut av svakhetssonen, viser oppsprekking i forskjellige retninger. Oppsprekkingen i den forholdsvis massive gneisen ser ut til å være lite bestemt av hovedsprekkeretningen i området. B17 og B18 gjenspeiler hovedsprekkeretningen.

Stereogrammene på figur 8 viser polplott av alle indikerte sprekker. Spesielt B17 og B18 viser konsentrerte ansamlinger av sprekker

Ca halvparten av sprekkegruppene (47 %) har et fall mindre enn 20°, mens 17% har et fall større enn 50°. Dette behøver ikke å gjenspeile den reelle situasjonen. Et vertikalt borehull vil skjære flest horisontale (eller sprekker med liten fallvinkel), mens vertikale sprekker (eller sprekker med steilt fall) vil ha mindre sjanse til å bli påtruffet. Horisontale plan har ingen definert retning, så det er kanskje noe unaturlig å operere med en retning på N084 med et fall på 1°, B16b i tabell 2.



Figur 8. OPTV. Rosediagram og stereogram for indikerte sprekker i B11, B16a, B16b, B17 og B18.

4.1.2 Sprekkeanalyse. Frekvenshistogrammer for definerte soner

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

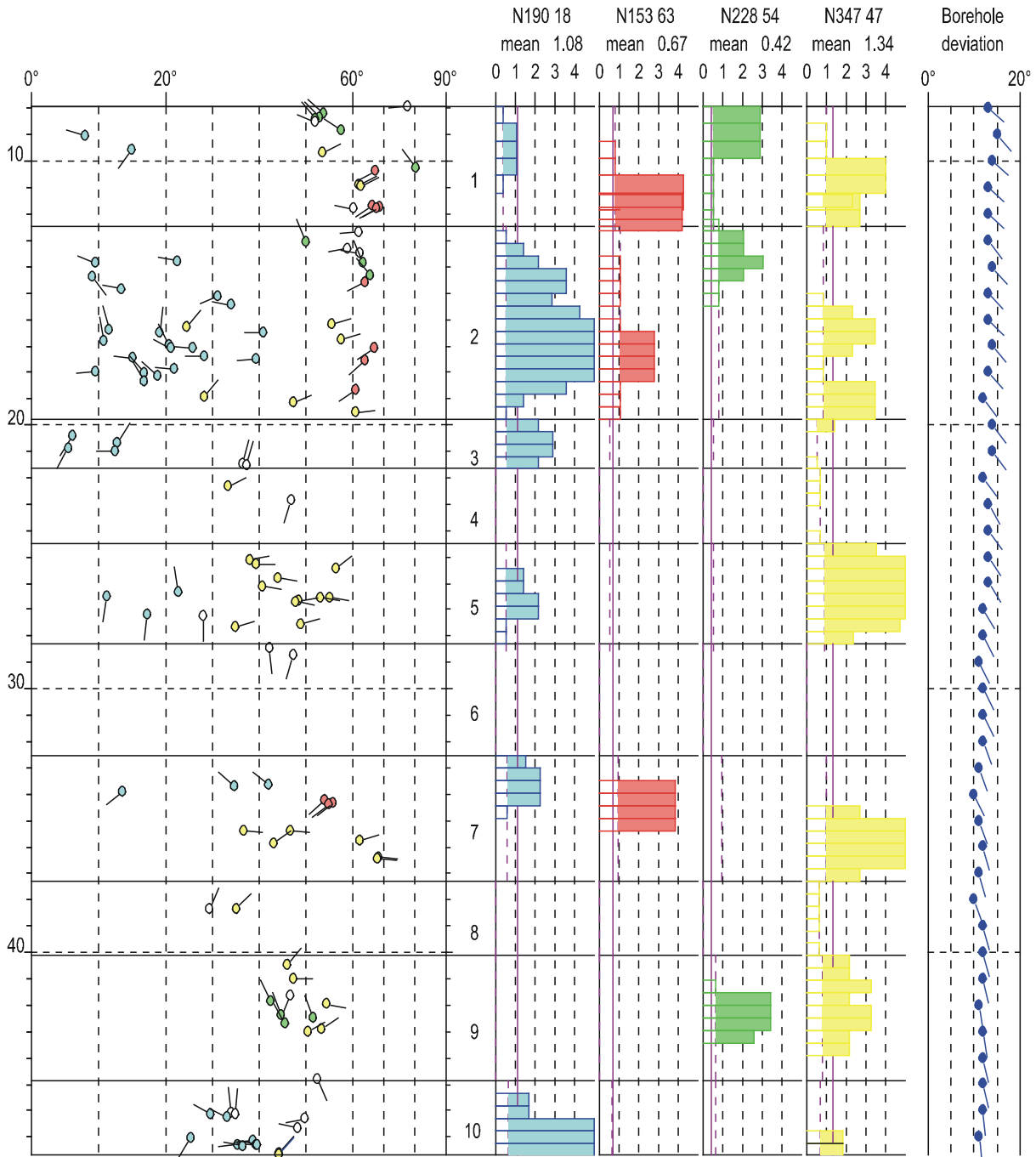
Figur 9, 10, 11, 12 og 13 viser frekvenshistogrammer for hullene undersøkt med optisk televiwer. Frekvenshistogrammene (rød, blå, grønn og gul) viser beregnet sprekkefrekvens i definerte soner av hullet, og viser dermed detaljert hvordan oppsprekningen er i hullet. Alle sprekker er angitt i "pilplott" 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.

Tabell 3 viser et utvalg sprekkensamlinger med høyeste frekvens (>1.4) i definerte soner i borehullene. Her vises sonenes dyp (utstrekning), strøk/fall, antall, gjennomsnittlig sprekkefrekvens i sonen og maksimumsfrekvens i hver enkelt sone.

Tabell 3. OPTV, utvalg av sprekkensamlinger med høyeste frekvens i definerte soner. Tabellen viser dyp, antall, retning, fall og frekvens.

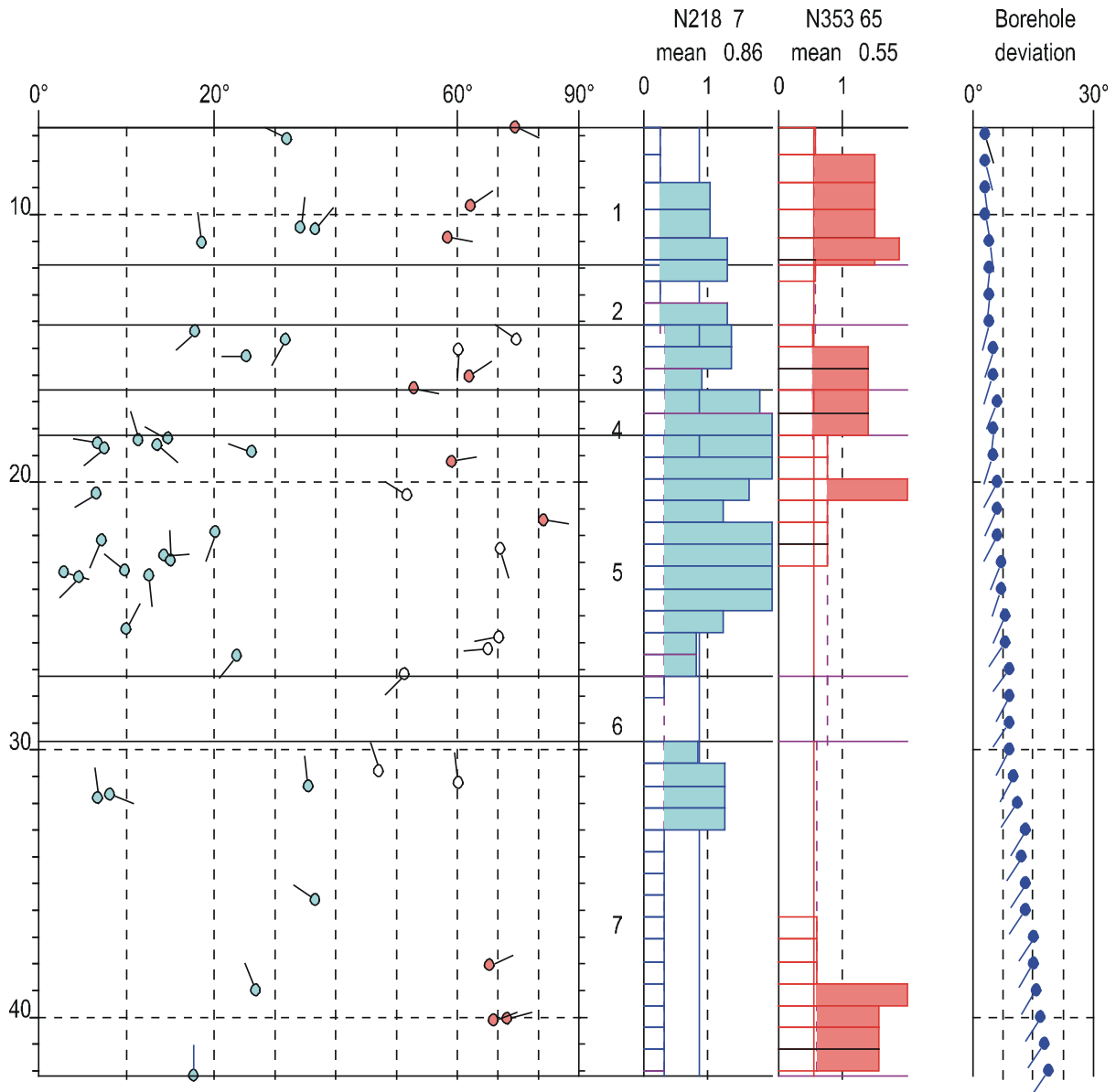
Borehull	Dyp	Strøk/fall	Antall	Gj. snitt sprekkefrekvens	Maksimum Sprekkefrekvens
B11	7.9 – 12.4	N156 67	4	1.82	4.1
B11	12.4 – 19.7	N195 18	21	2.92	5.0
B11	19.7 – 21.6	N183 03	4	2.15	3.0
B11	24.5 – 28.2	N356 45	11	4.87	5.0
B11	32.5 – 37.2	N356 54	6	2.42	5.0
B11	44.8 – 47.6	N183 33	8	3.37	5.0
B16a	18.2 – 27.2	N165 04	17	1.91	2.1
B16b	63.6 – 80.2	N155 02	26	1.73	2.1
B17	6.5 – 12.4	N341 38	6	1.63	3.0
B17	16.9 – 22.1	N192 41	8	1.69	3.0
B17	22.1 – 26.3	N230 15	8	1.94	3.0
B17	45.1 – 48.2	N274 06	8	2.76	3.0
B18	6.6 – 8.9	N311 63	3	2.86	2.9
B18	8.9 – 20.7	N201 19	32	2.83	3.0
B18	23.2 – 30.0	N174 18	9	1.37	3.0
B18	23.2 – 30.0	N339 31	7	1.25	2.7
B18	36.1 – 41.1	N212 14	7	1.43	3.0
B18	36.1 – 41.1	N207 78	5	3.25	3.0

OPTISK TELEVIEWER
FRACTURE ANALYSIS LOG
Fracture frequency histograms
Bh 11, Lutvann, Østmarka

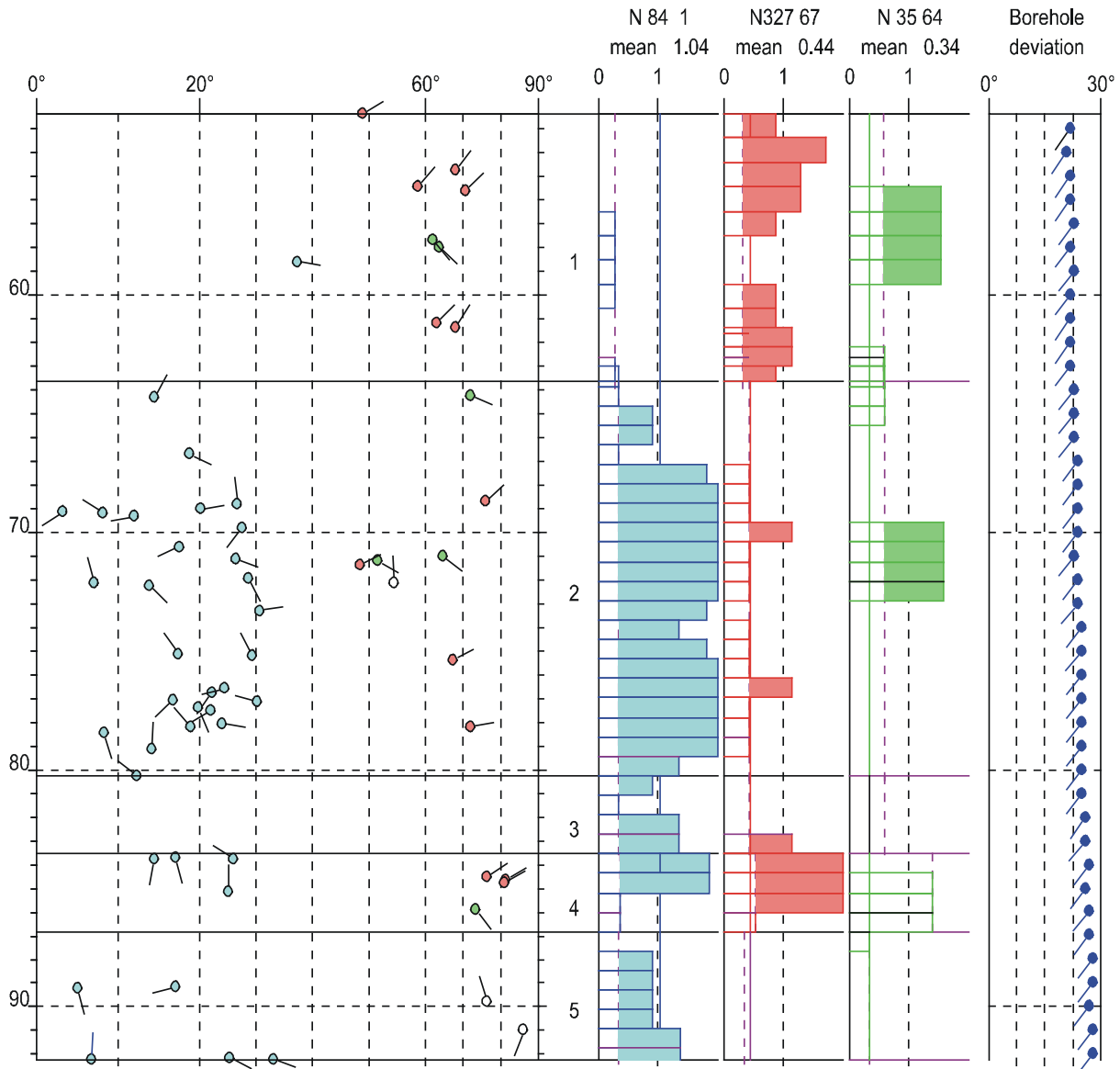


Figur 9. B11. OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene, som representerer sprekker, har samme farge som den gruppe de tilhører. Halen viser fallretning. Nord er opp på arket. Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning.

OPTISK TELEVIEWER
FRACTURE ANALYSIS LOG
Fracture frequency histograms
Bh 16a, Østmarka

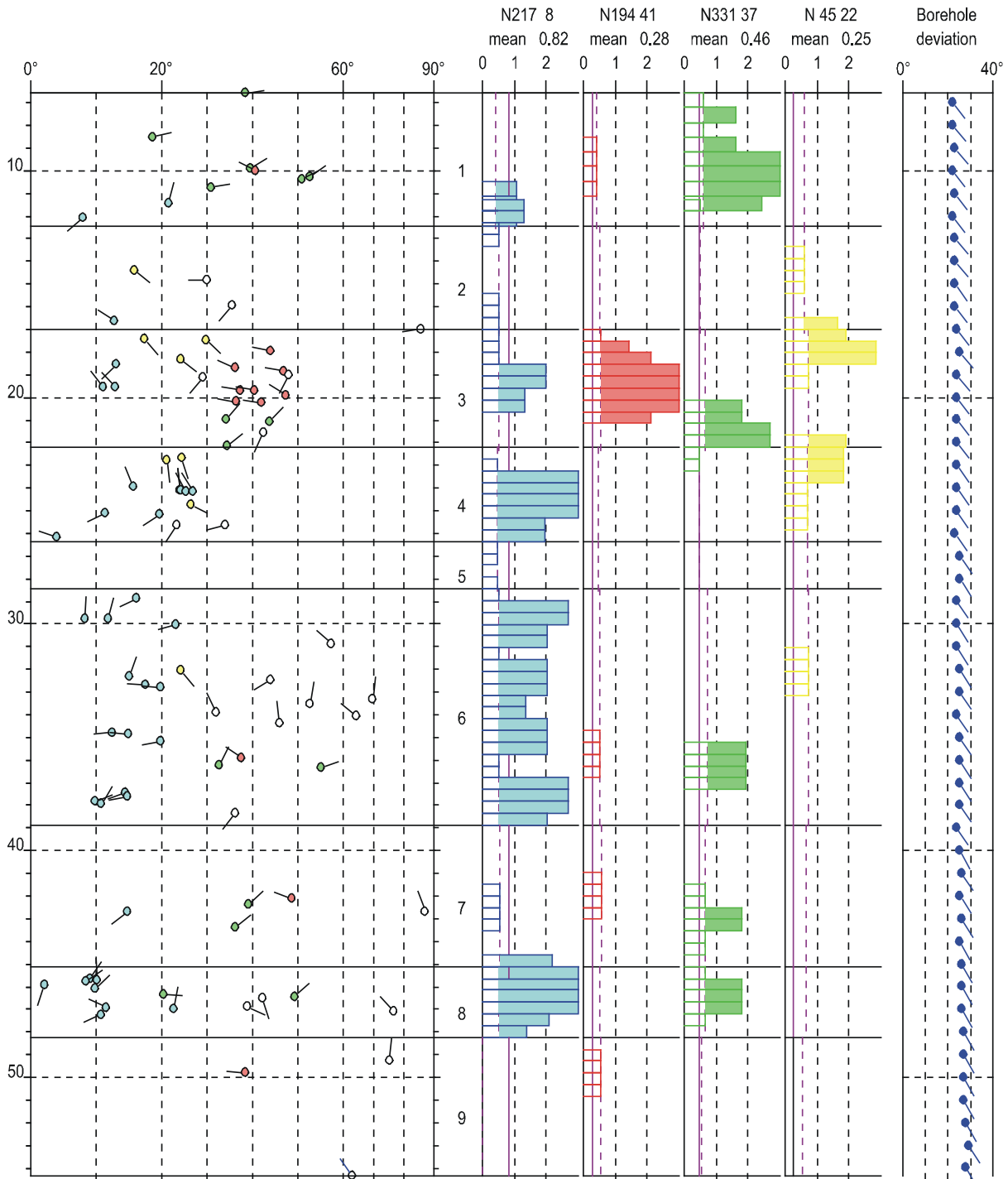


Figur 10. B16a. OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene, som representerer sprekker, har samme farge som den gruppe de tilhører. Halen viser fallretning. Nord er opp på arket. Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe. Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning.



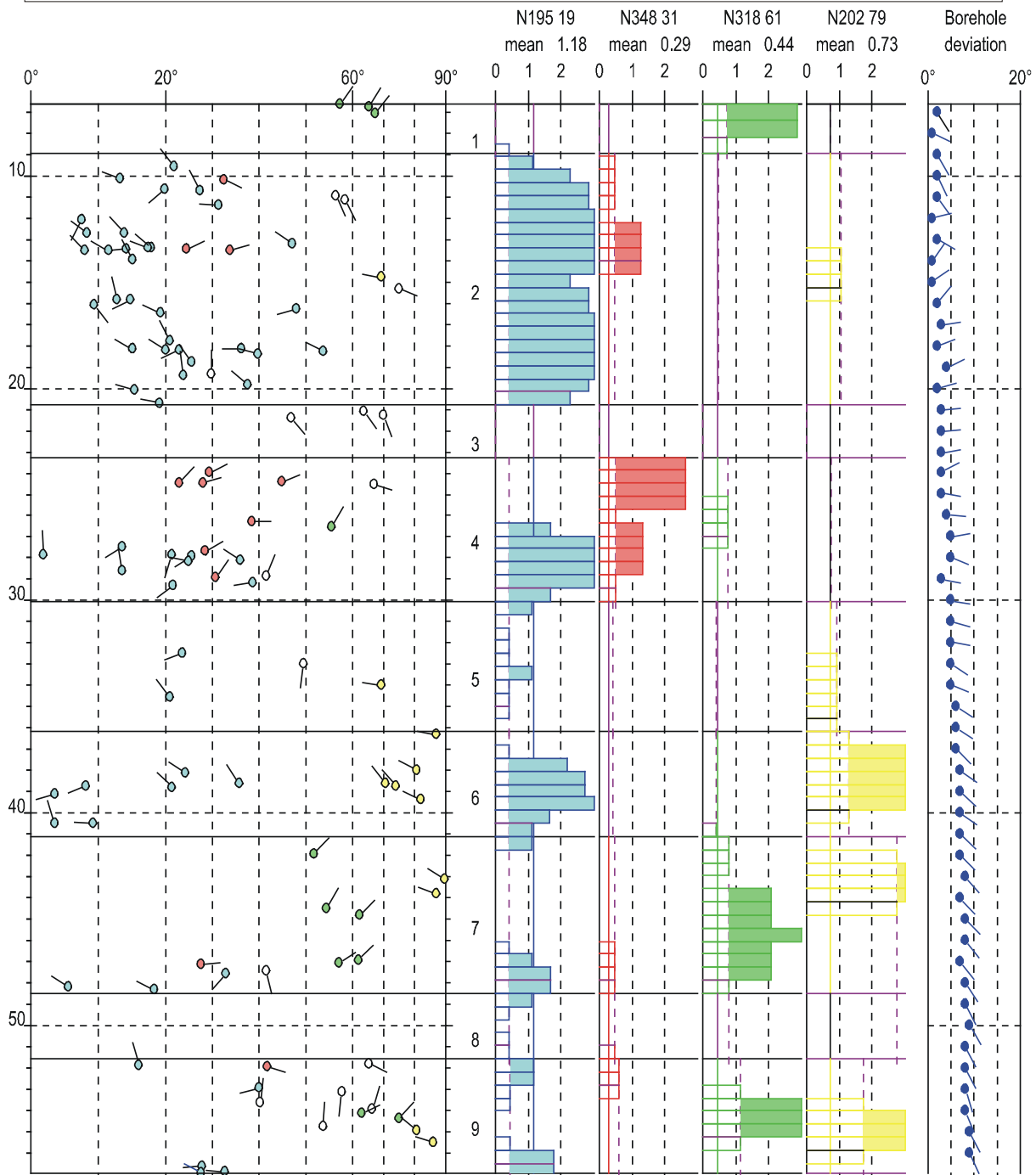
Figur 11. B16b. OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene, som representerer sprekker, har samme farge som den gruppe de tilhører. Halen viser fallretning. Nord er opp på arket. Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe. Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning.

OPTISK TELEVIEWER
FRACTURE ANALYSIS LOG
Fracture frequency histograms
Bh 17, Østmarka



Figur 12. B17. OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene, som representerer sprekker, har samme farge som den gruppe de tilhører. Halen viser fallretning. Nord er opp på arket. Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe. Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning.

**OPTISK TELEVIEWER
FRACTURE ANALYSES LOG**
Fracture frequency histograms
Bh 18, Østmarka



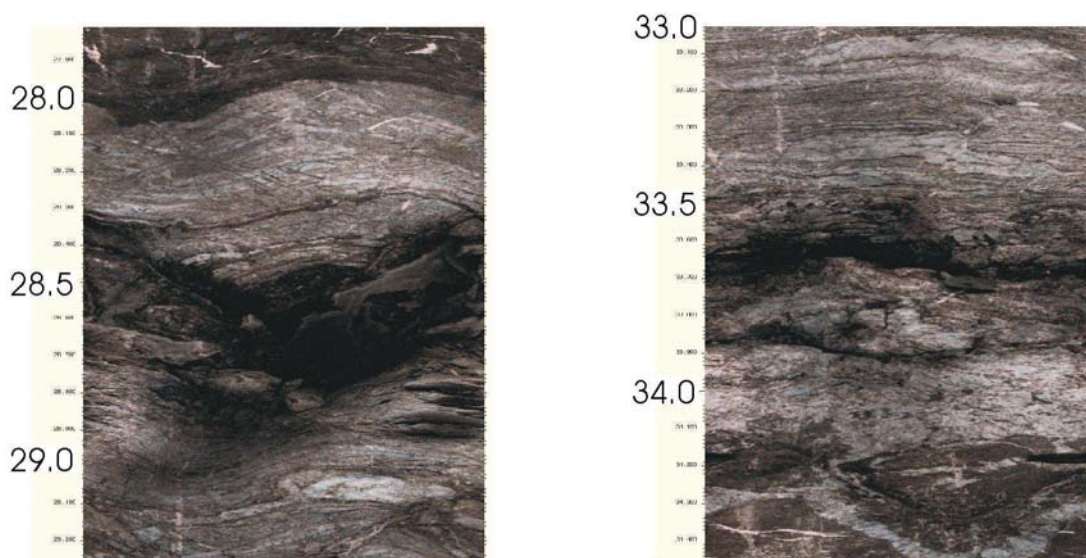
Figur 13. B18. OPTV. Frekvenshistogram over indikerte sprekker. Pilhodene, som representerer sprekker, har samme farge som den gruppe de tilhører. Halen viser fallretning. Nord er opp på arket. Piler uten farge er sprekker utenfor noen definert gruppe. Borehullsavviket (høyre kolonne) indikeres med vinkel fra lodd og retning.

4.1.3 Sprekkeanalyse. Åpne sprekker

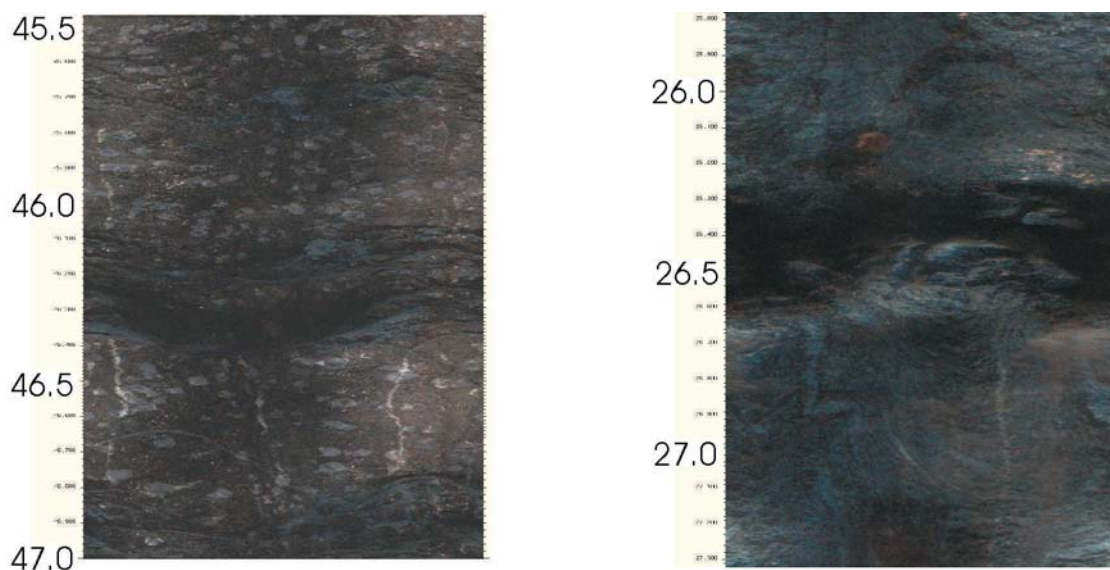
Tabell 4 viser en oversikt over klare, åpne, større sprekker som er observert med optisk televiewer. Figur 14 og 15 viser bilde av disse sprekkene.

Tabell 4 . Registrerte større, åpne sprekker i B11, B17 og B18.

Bh	Dyp	Strøk/fall	Åpning	Innstrømning/ endring led.ev./temp.
B11	28.7 m	N169 21	0.30 m	Nei
B11	33.6 m	N305 17	0.10 m	Ja, lavere ledn. evne
B17	46.1 m	N079 14	0.25 m	Økning i ledn.evne
B18	26.3 m	N059 05	0.15 m	Nei



Figur 14. Åpne sprekker i B11. Trolig vanninnstrømning i sprekken ved 33.6 m.



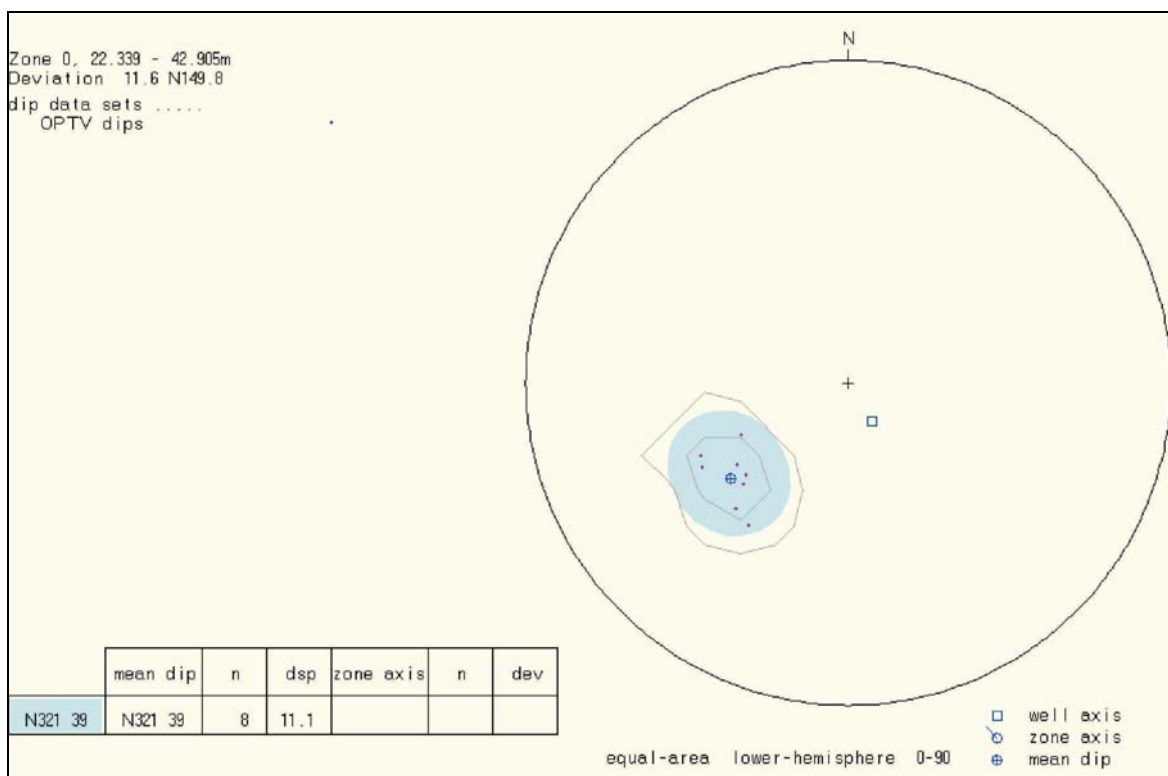
Figur 15. Åpne sprekker i B17 (venstre) og B18 (høyre).

Observasjonen av disse sprekkene sier i seg selv ikke noe om hvor utholdende sprekkene er og om de ville ha vært et problem for tunneldrivingen. I to av sprekkene er det indikert vanninnstrømning, i den ene trolig av overflatevann. Dette tyder på at disse sprekkene er utholdende og kan kommunisere med andre sprekkesystemer. Dersom slike sprekker hadde blitt observert i tunneltraseen ville de kunne ført til vannlekkasjer i tunnelen. Sprekken i B18 er indikert som en horisontal reflektor ved VSP-målinger, borehullseismikk, (Norfa-kurs 2000) og indikerer dermed at det er en utholdende horisontal sprekk.

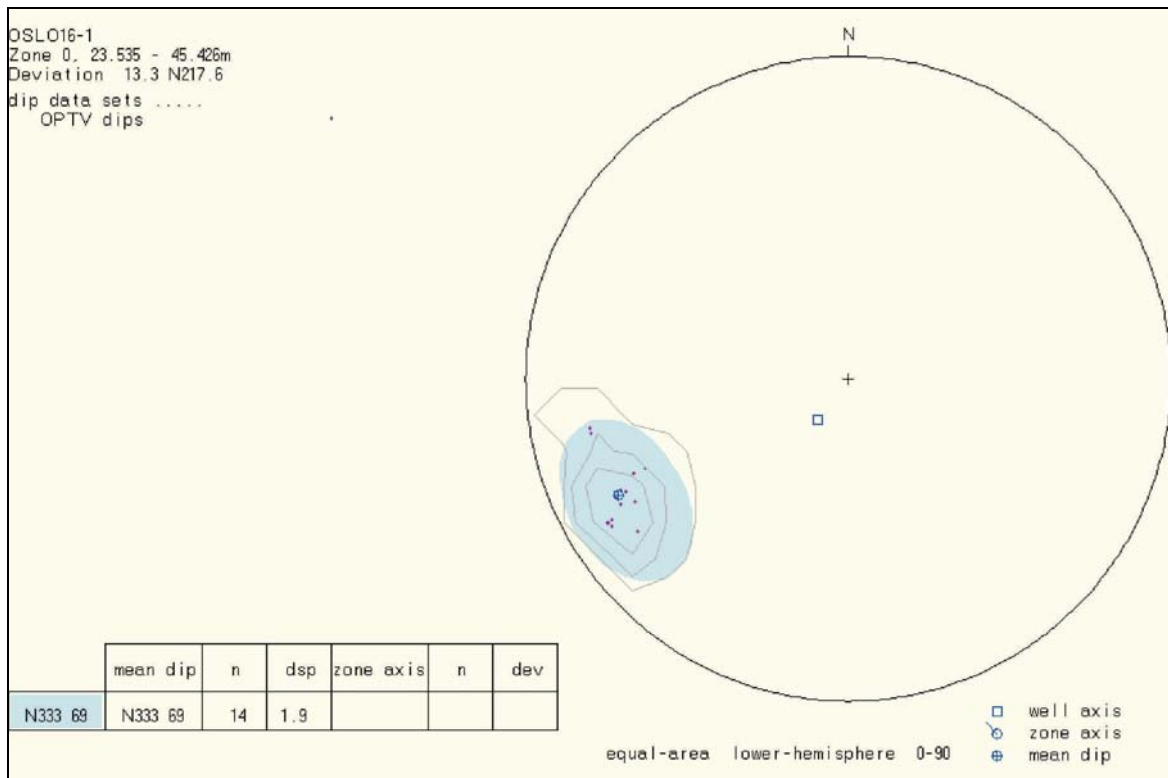
4.1.4 Strukturanalyse. Stereografisk projeksjon, amfibolittganger B11 og B16

I B11 og B16 er det observert en rekke granatholdige mørke amfibolittganger med varierende tykkelse. Disse er også beskrevet i de geologiske forundersøkelsene som intrusiver (Bollingmo & Heimli 1994). Figur 16, 17 og 18 viser stereografisk projeksjon av de indikerte gangene i B11, B16a og B16b.

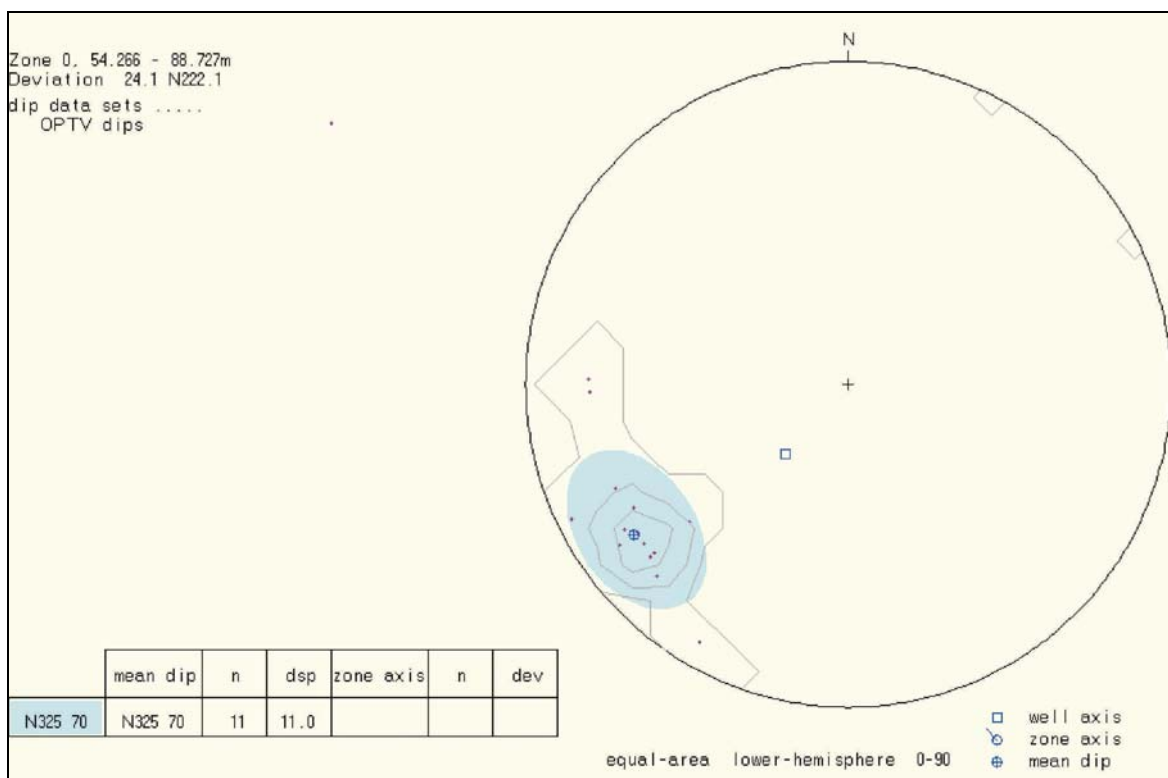
Karakteristisk for gangene er at de opptrer med tilnærmet samme strøkretning og fall (polene ligger samlet i stereoplottet). For B11 er orienteringen N321 39, mens fallet er noe større i B16, N333 69 (B16a) og N325 70 (B16b).



Figur 16. B16, stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger.



Figur 17. B16a, stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger.

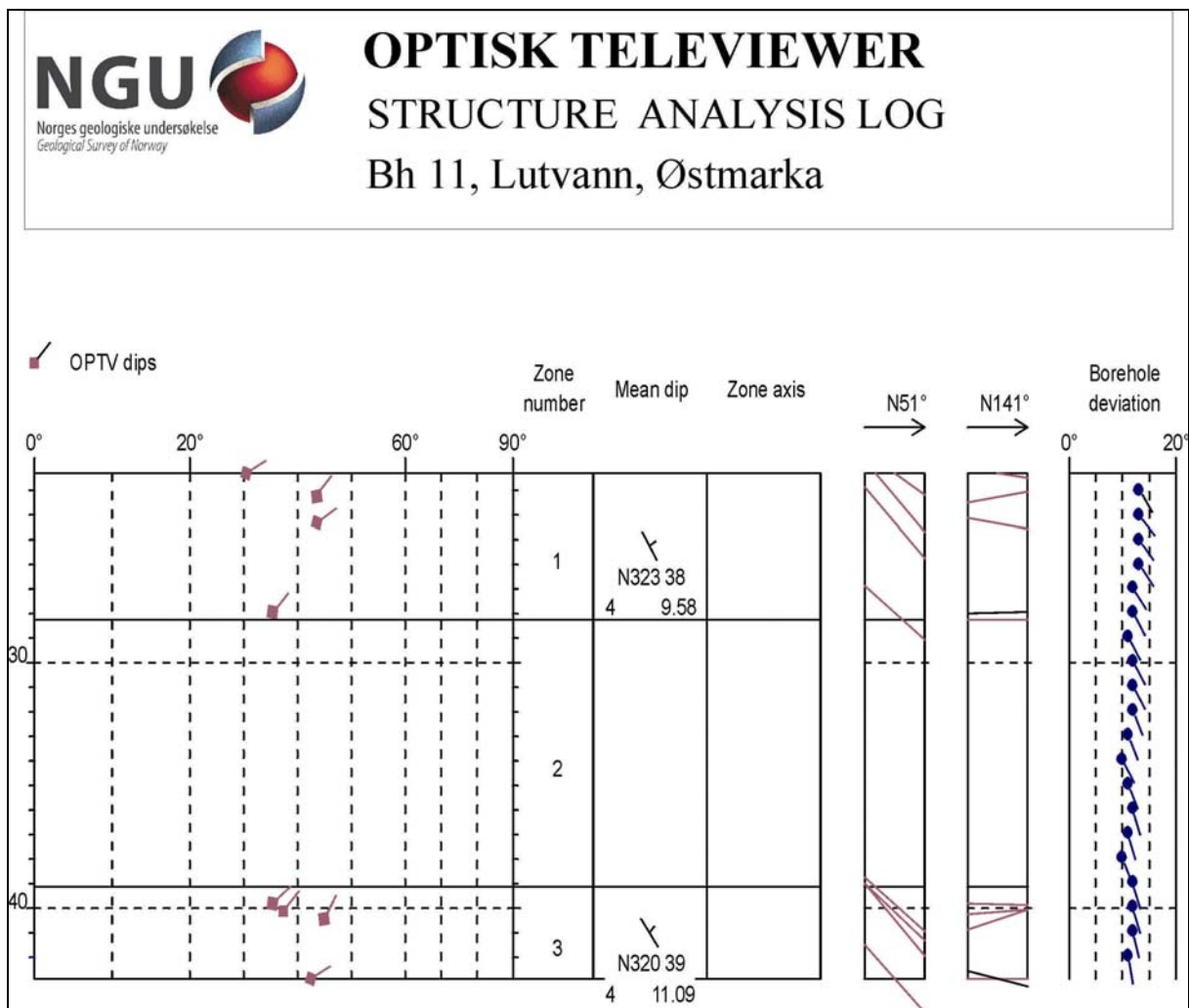


Figur 18. B16b, stereografisk projeksjon av indikerte amfibolittganger.

4.1.5 Strukturanalyse. Fordeling av amfibolittganger, B11 og B16

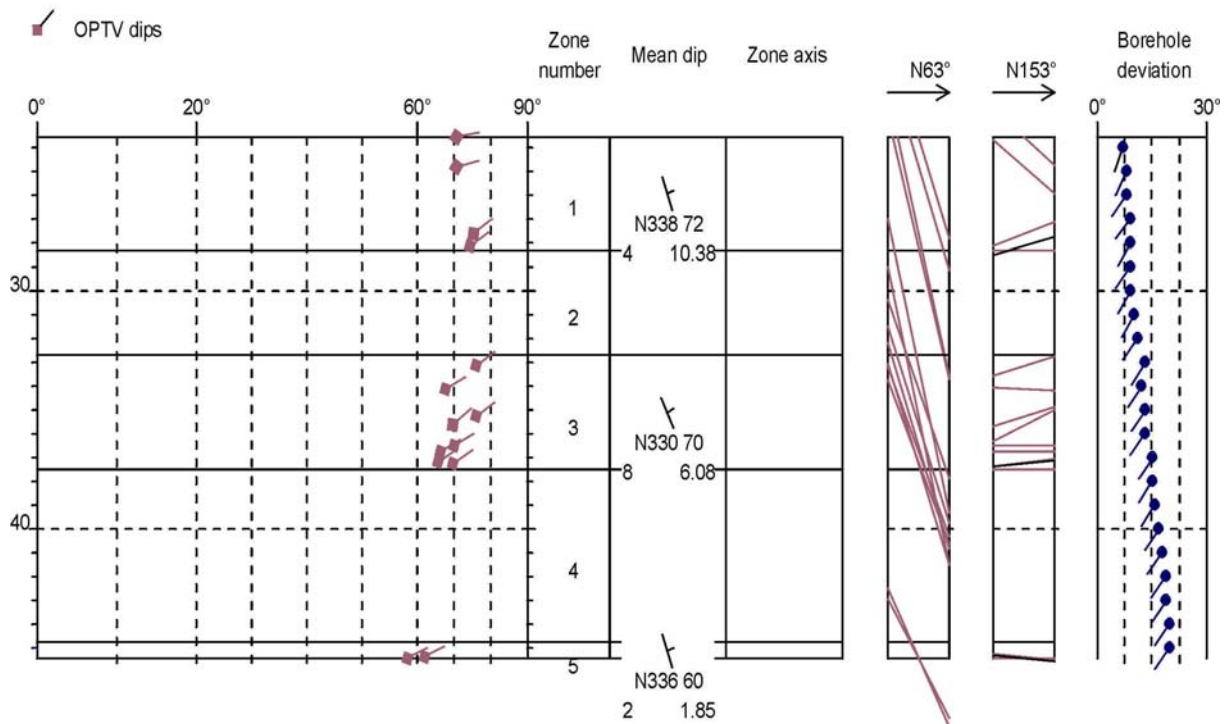
Figur 19, 20 og 21 viser fordelingen av amfibolittganger nedover i borehullene B11 og B16. Figurene viser fallretning, fallvinkel og snitt av borehullet fra to retninger som viser hvordan gangene skjærer hullet. Det som er plottet er topp og bunn av gangen slik at antall ganger er halvparten av antall indikasjoner ("pilplott").

"Mean dip" viser gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel for hver sone, antall strukturer og spredning. Spredning (9.58 i B11, figur 19) er maksimum vinkel mellom en enkelt pol og middepolen.



Figur 19. Fordeling av amfibolittganger i B11. Til venstre vises fallretning og fallvinkel ("pilplott"). Videre vises gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel for definerte soner, snitt av borehull fra to forskjellige retninger og borehullsavvik.

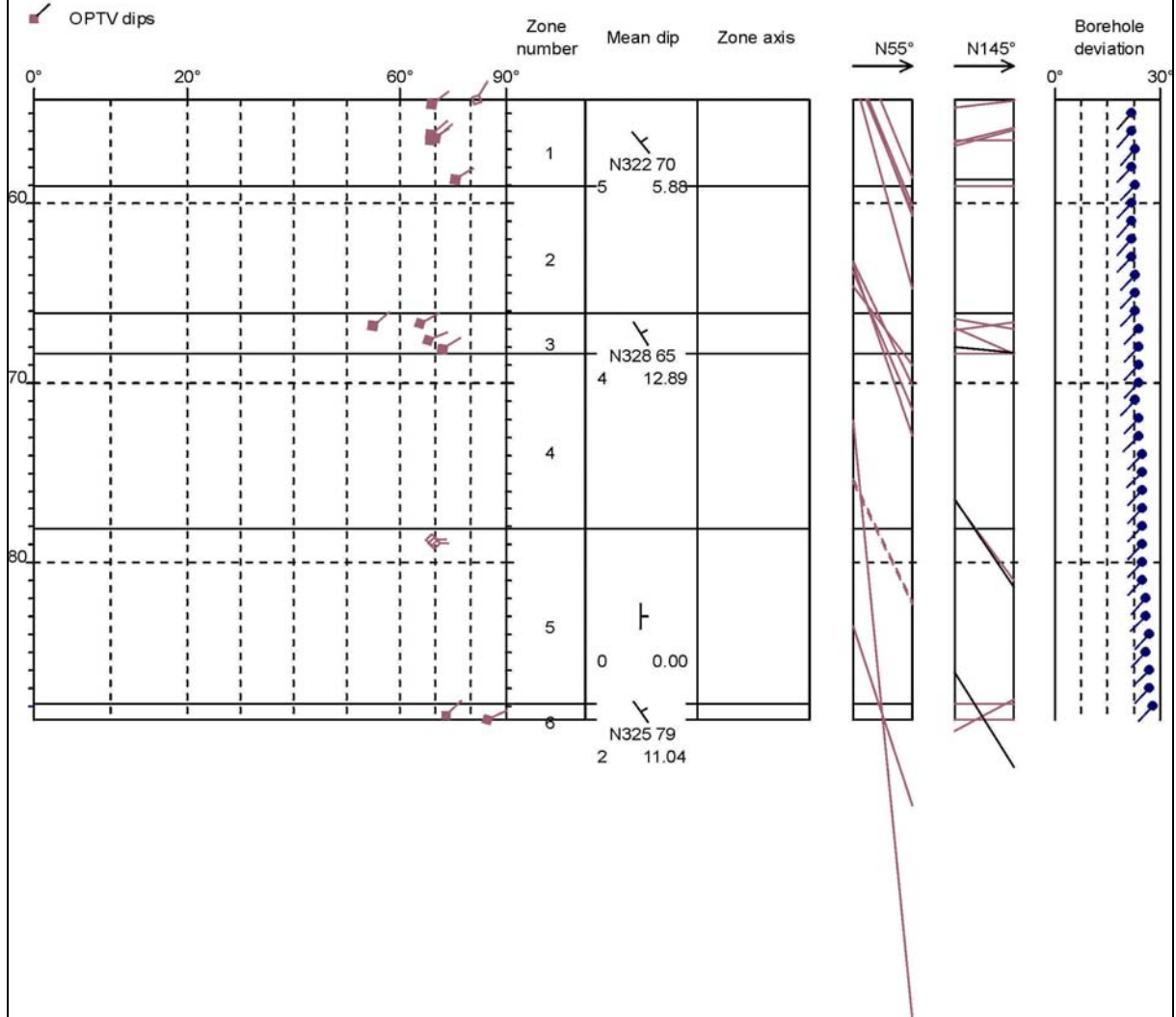
OPTISK TELEVIEWER STRUCTURE ANALYSIS LOG Bh 16a, Østmarka



Figur 20. Fordeling av amfibolittganger i B11. Til venstre vises fallretning og fallvinkel ("pilplott"). Videre vises gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel for definerte soner, snitt av borehull fra to forskjellige retninger og borehullsavvik.

OPTISK TELEVIEWER STRUCTURE ANALYSIS LOG

Bh 16b, Østmarka



Figur 21. Fordeling av amfibolittganger i B11. Til venstre vises fallretning og fallvinkel ("pilplott"). Videre vises gjennomsnittlig strøkretning og fallvinkel for definerte soner, snitt av borehull fra to forskjellige retninger og borehullsavvik.

4.2 Temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg, B11, B16, B17 og B18

Figur 22, 23, 24 og 25 viser temperatur, elektrisk ledningsevne og gammalogg for B11, B16, B17 og B18. Tabell 5 viser observerte data i borehullene. Disse data har neppe direkte betydning for tunneldriving, men kan si noe om vann og varmemestrøm i hullene.

I B11, figur 22, avtar ledningsevnen i vannet betydelig fra 33 m dyp. En svak temperaturøkning kan også observeres. En nedgang i ledningsevnen kan tyde på innstrømning av overflatevann da dette vanligvis har lavere ledningsevne enn vann som har oppholdt seg i fjell over en lengre periode. En høyere temperatur kan tyde på det samme da målingene ble gjort i august. Temperaturgradienten øker også litt fra ca 33 m dyp. Temperaturen i bunnen er høyere i B11 enn ved tilsvarende dyp i de andre brønnene. Dette kan bekrefte at det er overflatevann som strømmer inn. Gammaloggene viser en noe høyere gjennomsnittsstråling fra ca 28 m dyp, men den er generelt lav. Åpne sprekker er indikert ved 28.7 og 33.6 m med OPTV, se avsnitt 4.1.3.

B 16, figur 23, viser ingen endring i ledningsevnen. Temperaturen er nesten konstant mellom 25 og 48 m dyp. Det er vanskelig å si hva dette betyr. Det er ikke observert tydelige åpne sprekker i dette borehullet med OPTV.

B17, figur 24, viser en konstant temperaturgradient fra ca. 15 m på 1.25 °C/100 m. Ledningsevnen viser en markert stigning fra ca 46 m som samsvarer med en observert åpen sprekke (0.25 m åpning) ved 46.1 m. Ledningsevnen i bunnen er nesten 350 µS/cm hvilket skyldes ganske høyt ioneinnhold (grensen for drikkevann er 400 µS/cm). Økningen har åpenbart sammenheng med den åpne sprekken, men hva den konkret skyldes er vanskelig å si. Det er neppe overflatevann som strømmer inn da temperaturen ikke endres. Det er også lite trolig at det er injeksjonsvann da det trolig ville hatt mindre ledningsevne.

I B18, figur 25, er temperaturgradienten mellom 10 og 22 m 3.56 °C/100 m noe som er høyt og betydelig over den naturlige termiske gradient (1 – 1.5 °C/100 m). Fra ca 23 m til bunnen er den 1.47. En åpen sprekke er observert ved 26.3 m, men det er ikke noen endring i ledningsevnen ved dette dyp. Ledningsevnen er for øvrig svært lav i dette hullet sammenlignet med de øvrige hull, se Tabell 5.

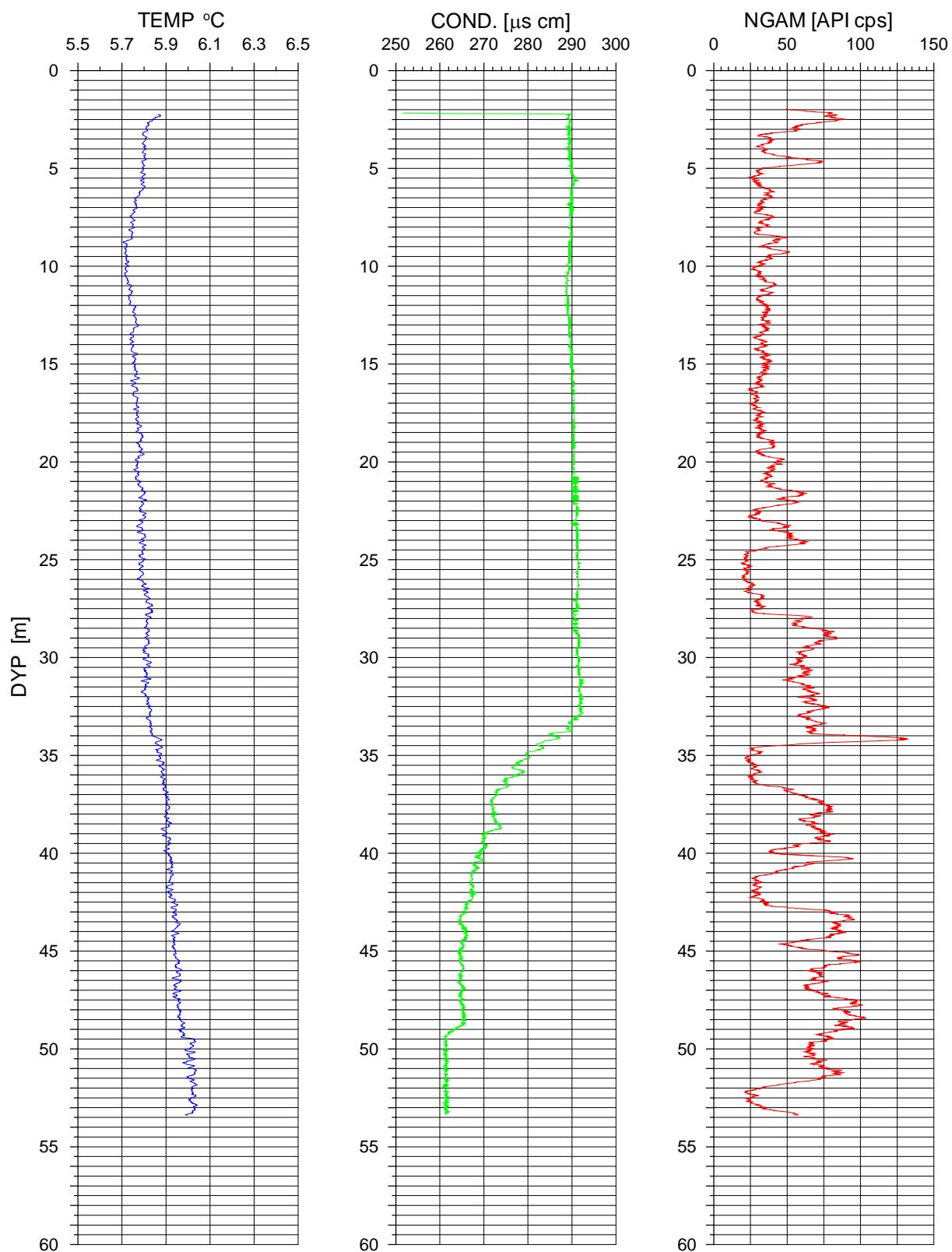
Gammaloggene sier generelt lite om oppsprekking da det er mineralogien som er årsak til endringer i gammastrålingen. Det som kan være av interesse er at man med gammalogg kan kartlegge ganger og intrusjoner som kan ha betydning for fjellets stabilitet. Et annet moment er kartlegging av sterk stråling, og om denne på noen måte kan være en miljøtrussel.

Tabell 5. Observerte data, min.temp., bunn temp., temperaturgradienter, vannspeil, ledningsevne og gamma i B11, B16, B17 og B18.

Bh	Min. temp.		Temp. bunn		Temp.gradient		Temp.gradient		Vann speil	I. evne µS/cm	Gamma API cps
	dyp	°C	dyp	°C	dyp	°C/100m	dyp	°C/100m			
11	10.3	5.71	53.0	6.03	10-34	0.54	34-53	0.97	0	290/265	35/65
16	25.4	5.18	95.5	5.72	25-47	0.07	47-95	1.07	13.9	160	70-80
17	15.7	4.76	58.0	5.29	16-58	1.25	-	-	0	190/320	50-100
18	10.1	4.37	56.5	5.29	10-22	3.56	23-56	1.47	0	40-60	60-70

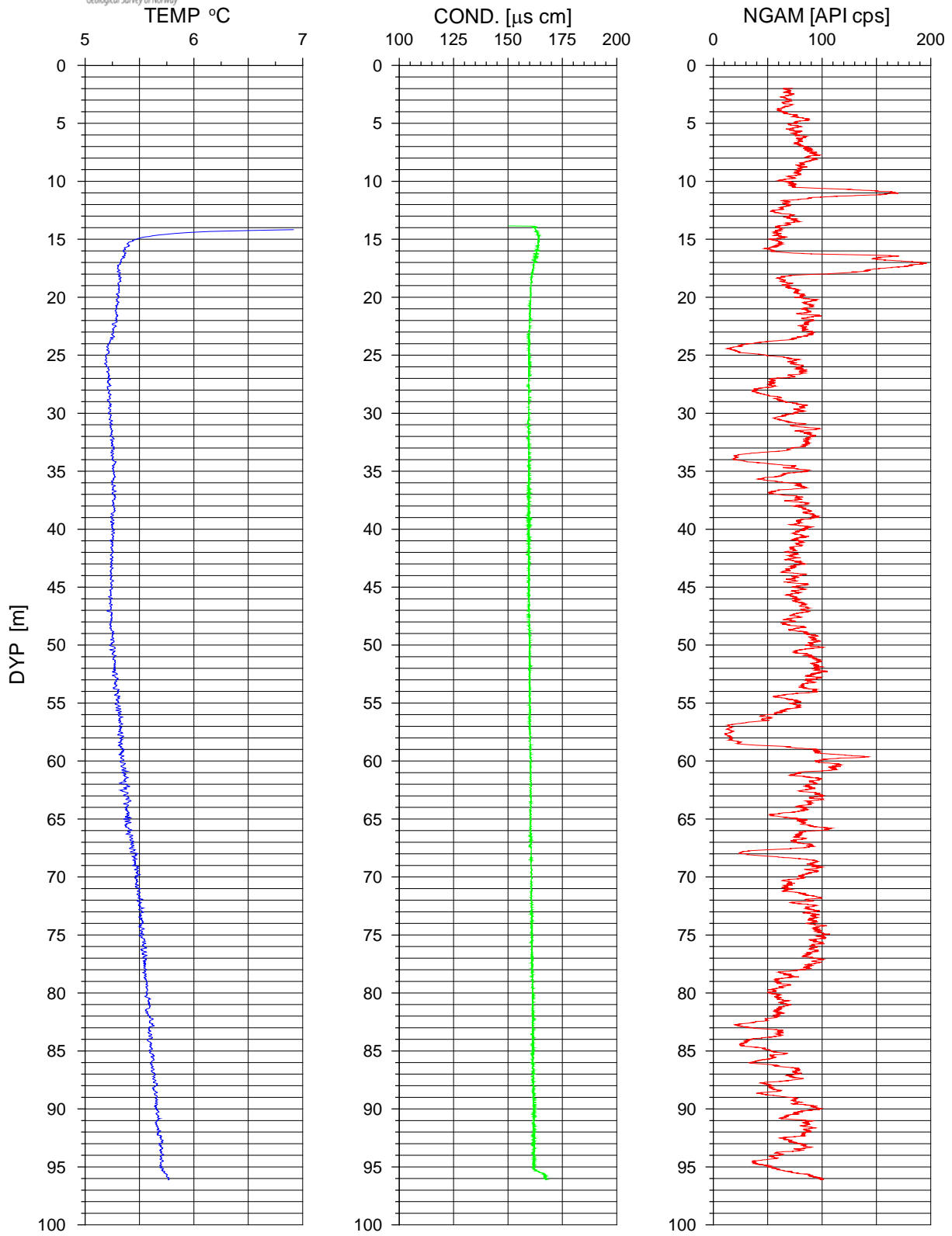
TEMP. COND. GAMMA LOGG

Bh 11



Figur 22. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B11.

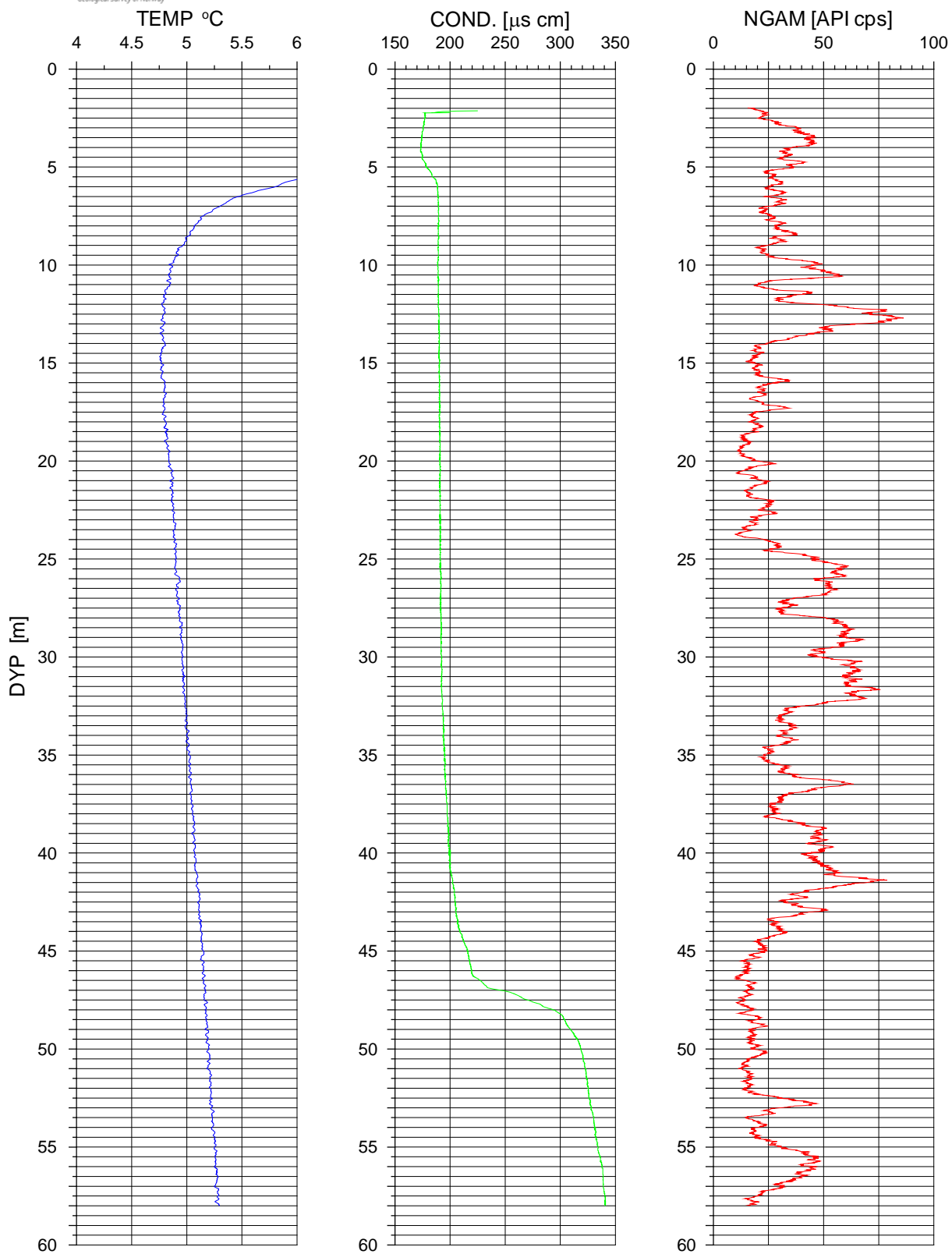
TEMP. COND. GAMMA LOGG Bh 16



Figur 23. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B16.

TEMP. COND. GAMMA LOGG

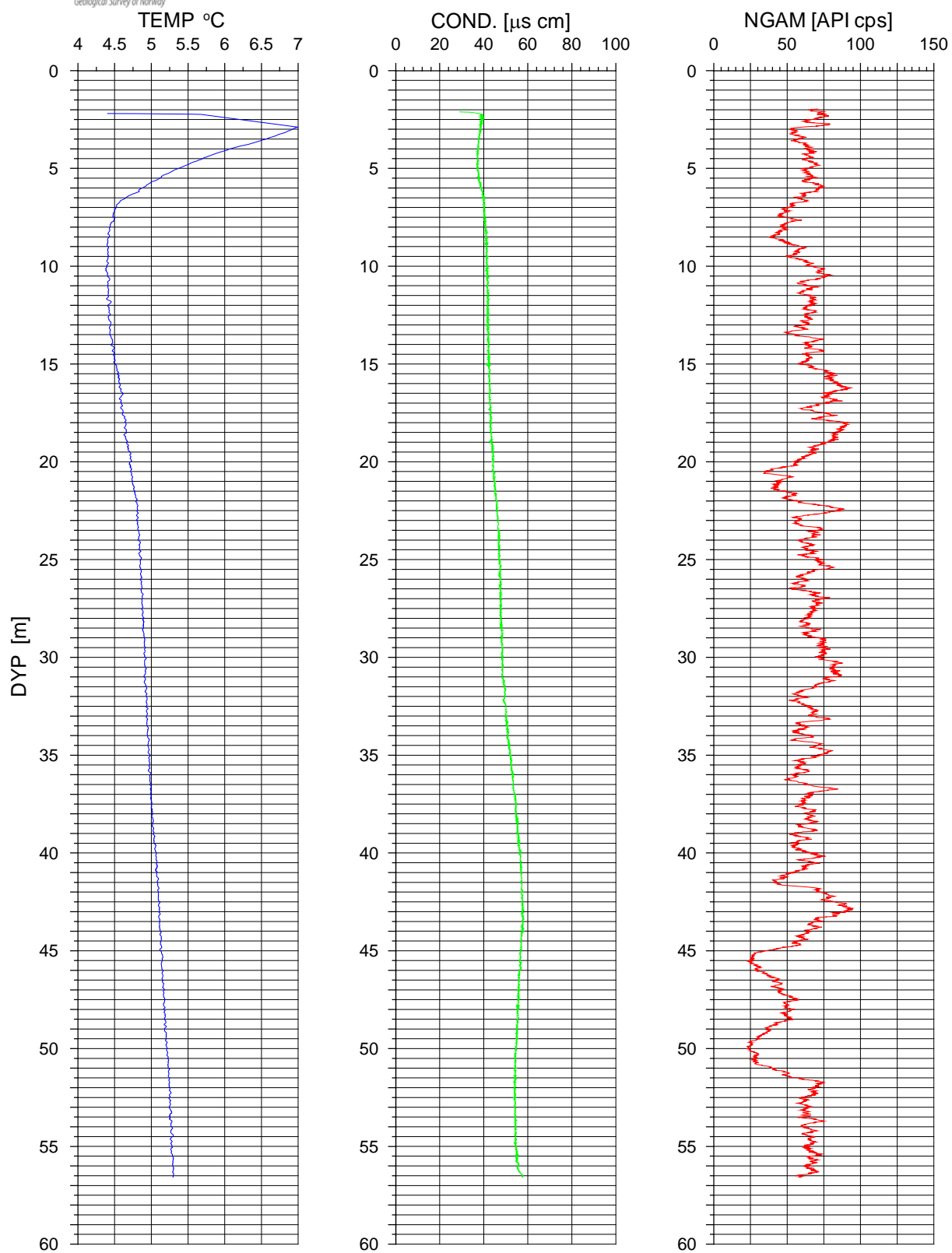
Bh 17



Figur 24. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B17.

TEMP. COND. GAMMA LOGG

Bh 18

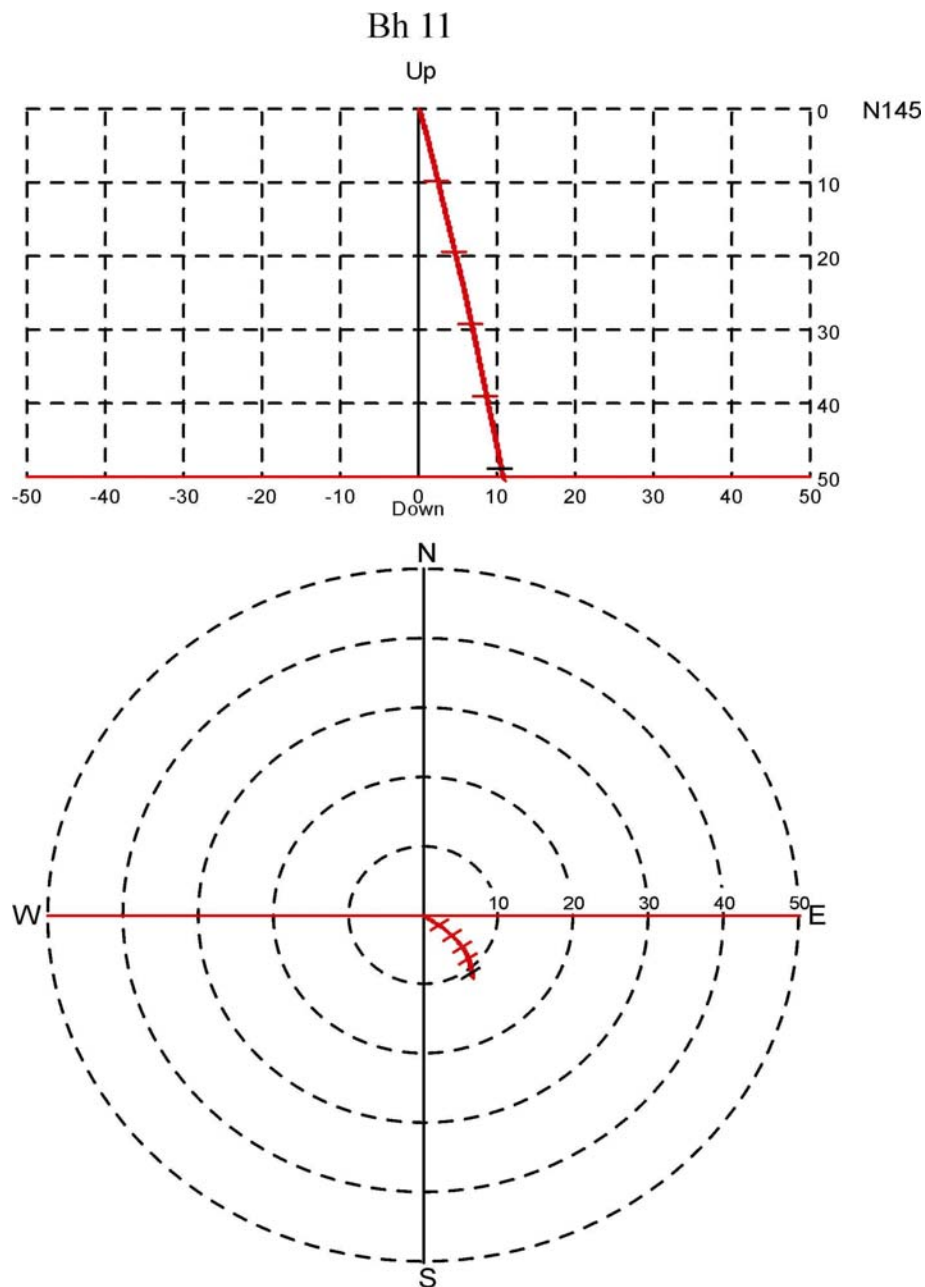


Figur 25. Temperatur, elektrisk ledningsevne og naturlig gamma i B18.

4.3 Avviksmåling

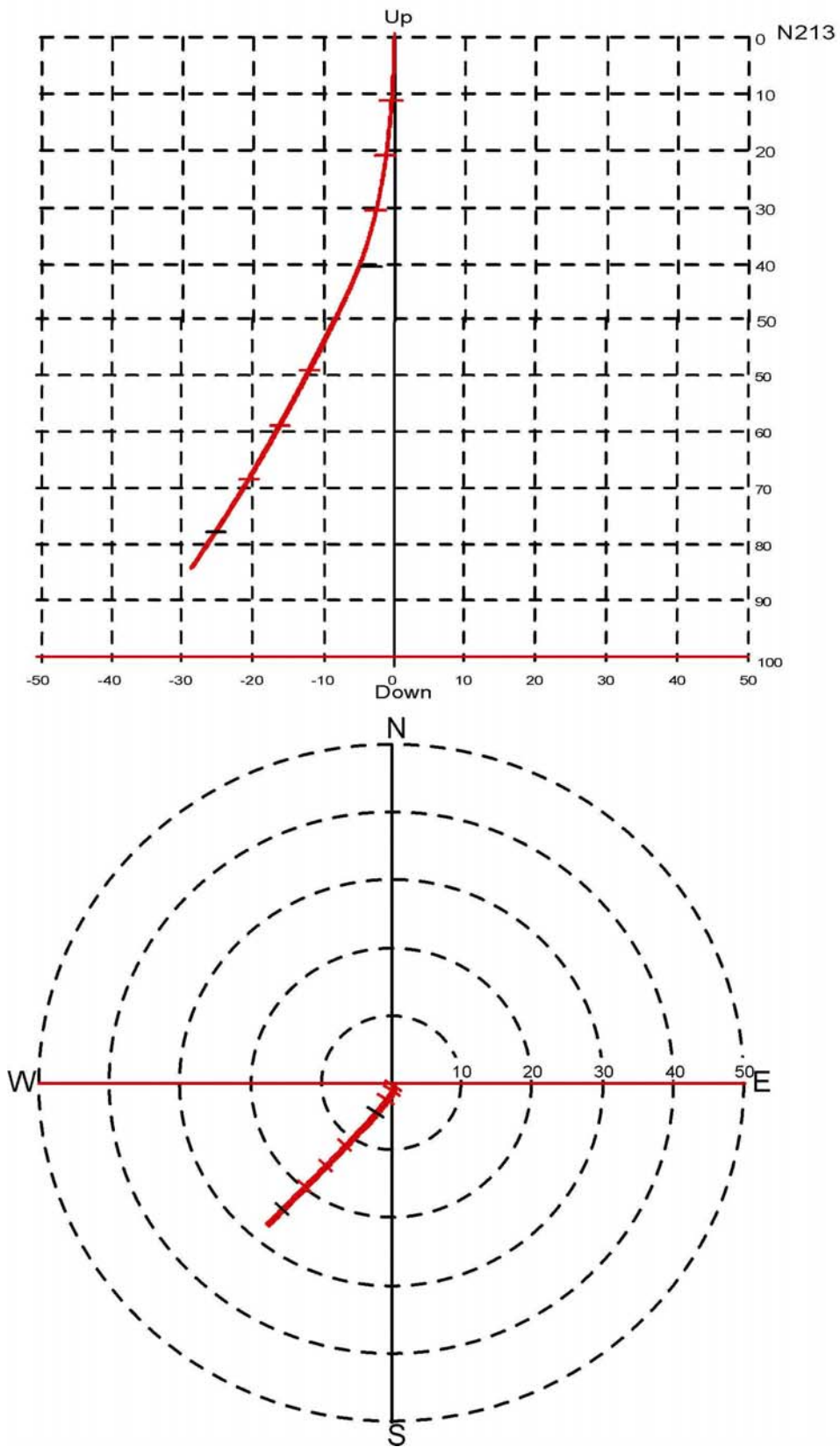
Avviksmåling blir gjort kontinuerlig med OPTV-sonden. Ettersom magnetometre brukes til å bestemme retningen til hullbanen vil unøyaktigheter oppstå med magnetisk materiale i borehullet, for eksempel foringsrør eller magnetittholdige bergarter. Vanligvis ser en dette som brå endringer i retningen over kort avstand. Det er ikke observert data som tyder på forstyrrelser fra magnetitt i bergartene i Østmarka.

Resultatene fra avviksmålingene er presentert som vertikalprojeksjon, langs borehullets retning, og som horisontalprojeksjon i figurene 26, 27, 28 og 29. Avvik fra planlagt hullbane er liten bortsett fra i B16 der hullet skjærer ut etter ca 20 m og får et horisontalavvik i bunnen på ca 28 m.

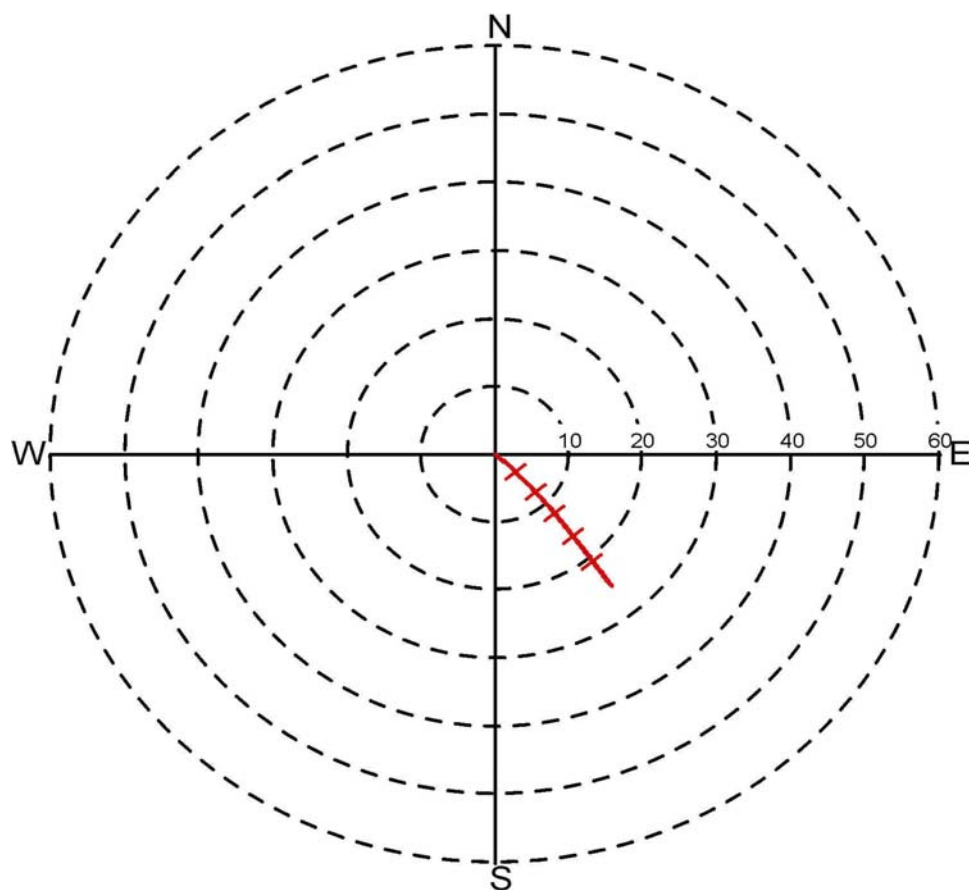
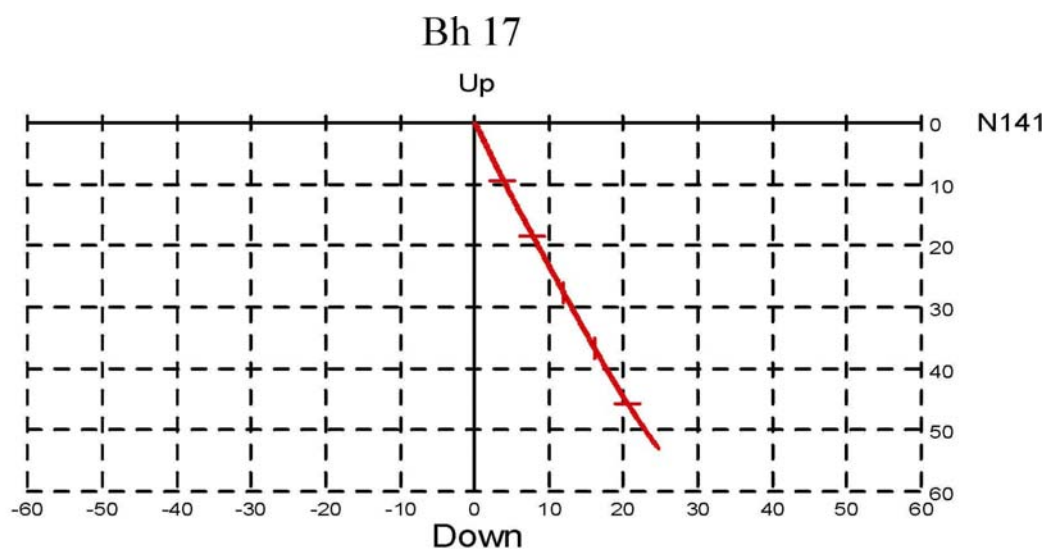


Figur 26. Borehullsforløp B11. Vertikalprojeksjon langs borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst)

Bh 16

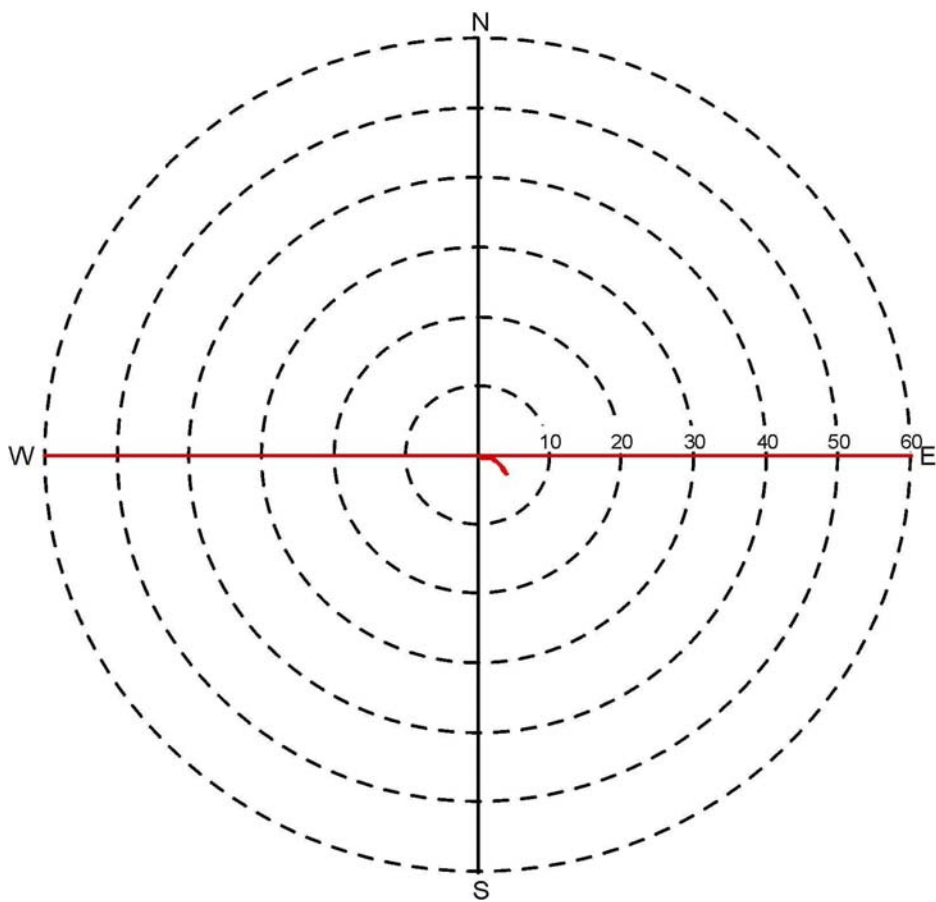
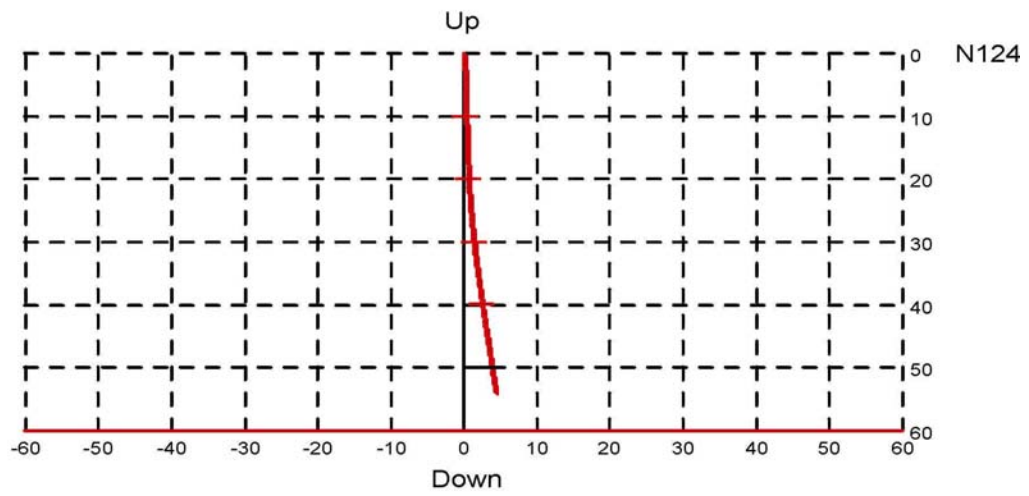


Figur 27. Borehullsforløp B16. Vertikalprojeksjon langs borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).



Figur 28. Borehullsforløp B17. Vertikalprojeksjon langs borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).

Bh 18



Figur 29. Borehullsforløp B18. Vertikalprojeksjon langs borehullsretning (øverst) og horisontalprojeksjon (nederst).

5. BOREHULLSKARAKTERISTIKKER

Under dette kapittelet blir hvert borehull beskrevet ut fra de data en har fra de geofysiske undersøkelsene, borelogger, geologi og hydrologiske data. Den overveiende del av data kommer fra de geofysiske undersøkelsene. Boreloggene gir en kort beskrivelse av borkaks og en anslått vannmengde. Det er ikke gjort pumpetester. Geologiske data er tatt fra geologiske kart og sammenstilt med opptakene fra optisk televiewer. Hydrologiske data om grunnvannsbalansen etter lekkasjene med påfølgende vanninjeksjon, gir informasjon om hvilke brønner som kan knyttes direkte til lekkasjene i tunnelen. Dessverre var de brønnene som har hydrologisk best forbindelse med injeksjonsanlegget ikke tilgjengelig for de geofysiske undersøkelsene.

Statistikker for oppsprekking, stereogram og frekvenshistogrammer, er presentert under kapittel 4 og data for de viktigste sprekkesonene er presentert i tabell 3. Beregnet gjennomsnittlig fall er i statistikken noe misvisende. Hvis to sprekker har 20° fall, den ene mot nord og den andre mot sør, blir gjennomsnittlig fall beregnet til 0°. Det er derfor svært viktig å studere stereogrammene og histogrammene for å se spredningen i fallvinkel.

5.1 B11, OPTV

B 11 står i nordenden av Lutvann. Hullet er satt på mot sørøst (N130) med 15° fall. Figur 26 viser borehullsforløp, øst-vest vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon. I boreloggen fra Østfold Brønnboring er hullet beskrevet på denne måten:

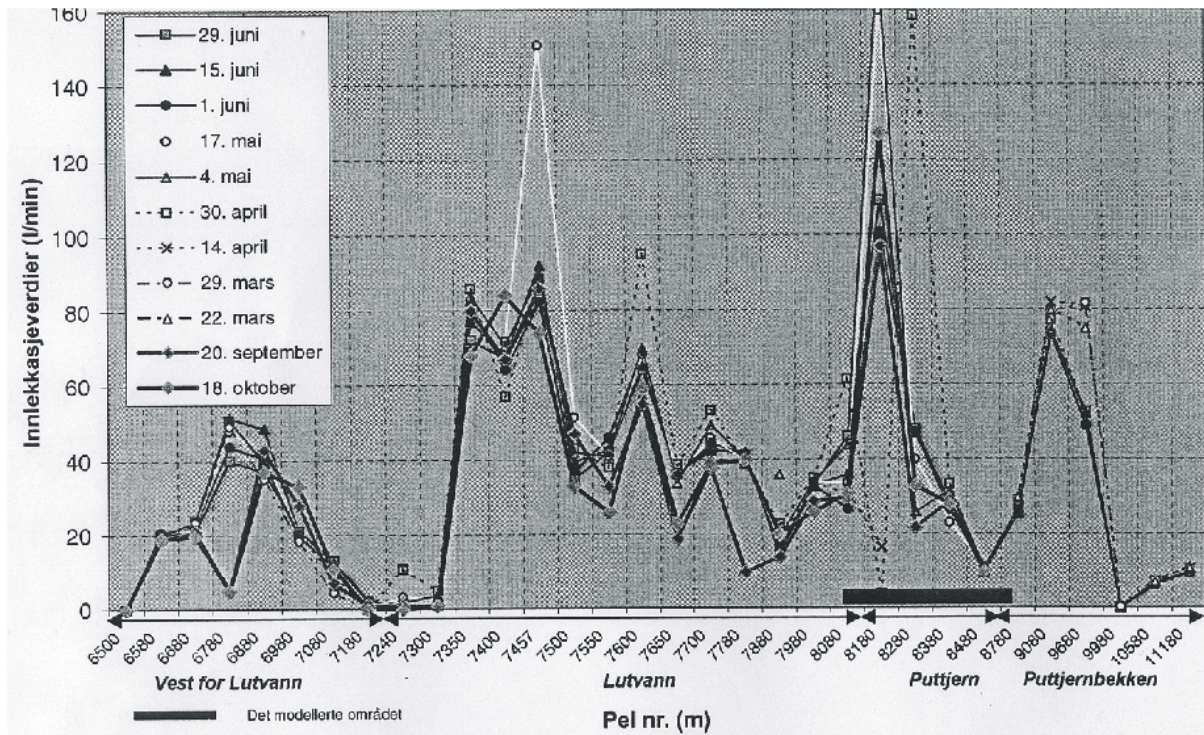
Brønnen er plassert i sydkanten av et nordvestlig sprekkesystem og vinklet ut i dette. Vannmengden er anslått til > 10 000 liter pr time med blåsing. Brønnen er artesisk og rant over med ca 1500 liter pr time de første dagene. Kaksfargen varierer fra grå til mørk/grønnlig. Knusningssonene har gitt steiner inntil knyttneve størrelse, med mange gamle bruddflater. Borkakset kan minne om granittpegmatitter i forbindelse med knusningssonene. Det virker som om det var stor trykkforskjell på vannet i øvre og nedre knusningssone, med lavt trykk i øvre og stort trykk i nedre.

Geologisk er B 11 plassert i en suprakrustal gneis. Ved å studere den optiske loggen ser en variasjoner i geologien. Figur 31 viser tre utsnitt av bildeloggen. Ned til ca 20 m opptrer en mørk bergart (amfibolitt) med en rekke sprekker med sekundær mineralisering, kvarts eller kalkspat (15-20 m i figur 31). Fra ca 20 m kommer en lagdelt gneis inn (grunnfjell). Inne i gneisen kan en flere steder se lag av en mørk bergart (amfibolitt) med stort granatinnhold som ved ca 23 m (små granater) og ved ca 25 m (større granater).

Oppsprekking

Hullet er målt både med optisk og akustisk televiewer. Flest sprekker er indikert med optisk, og det kommer også fram at en med akustisk televiewer i mange tilfeller ikke kan skille mellom mineraliserte sprekker og rene sprekker (Elvebakk & Rønning 2001). Data er presentert under kapittel 4. Her nevnes bare OPTV da AKTV ikke gir noen informasjon utover den OPTV gir.

Frekvenshistogrammene, figur 9, viser mange sprekker i de øverste 20 m av borehullet. Ingen av sprekkeene ser alvorlig ut m.h.p. lekkasjer og stabilitet, og de fleste av dem er som nevnt sprekker med sekundær mineralisering. Åpne sprekker opptrer ved 28.6 m og 33.6 m dyp. Disse sprekkeene ligger i gneisen (se figur 14 og avsnitt 4.1.3). Bare sprekken ved 33.6 m gir forandring i ledningsevne som kan tyde på innstrømning av vann. Borehull B11 er ikke nevnt å ha hydraulisk forbindelse med infiltrasjonsanlegget i tunnelen (Kværner & Snilsberg 1999). Lekkasjemålinger i tunnelen i 1998 (før infiltrasjonsanlegget), se figur 30, viser store lekkasjer mellom tunnelkoordinat 7350 og 7500. B11 står ca 250 m nord for tunnelkoordinat 7500.



Figur 30. Lekkasjemålinger i Romeriksporten 1998. (NVE).

Angitte sprekkesoner på det geologiske kartet krysser tunneltraseen ved ca samme koordinat. Sprekkeene i B11 er imidlertid grunne og har lite fall, og det er helt umulig å si om de kan ha sammenheng med lekkasjene i tunnelen. Det de sier er at sprekkesystemet kan inneholde åpne sprekker som er vannførende. Hovedmengden av de indikerte sprekkeene har strøkretning omtrent nord-sør og et fall på i gjennomsnitt 18° (N190 18). Gjennomsnittlig sprekkefrekvens langs hele hullet av sprekker med denne retningen er 1.08 sprekker pr. meter. Lokalt, i definerte soner, er sprekkefrekvensen oppe i 5 sprekker pr. meter, se tabell 3.

En definert sone mellom 24 og 28 m har sprekkefrekvens på ca 5 sprekker pr. meter, men sprekkeene er i all hovedsak sprekker med sekundær mineralisering. Under 28 m avtar sprekkefrekvensen (åpen sprekke ved 33.6 m) og det er hovedsakelig gneis som opptrer her. Nederst i hullet øker frekvensen, men bortsett fra en åpen sprekke ved 46.1 m, er sprekkeene i dette område tynne sprekker "hairline fractures".

I B11 opptrer flere mørke ganger, amfibolitt med granater, med varierende tykkelse 0.3 – 3.6 m. Retning og fall er tilnærmet den samme for alle gangene, NNV – SSØ, se figur 8, og har

dermed tilnærmet samme retning som sprekkesonen det er boret på. Det er ikke oppdaget spesiell stor oppsprekking i forbindelse med gangene. Om de kan ha betydning for stabiliteten under driving tas ikke stilling til her.

Ved beregning av strøkretning og fallvinkel er det tatt hensyn til borehullsforløpet slik at reell retning og fall er beregnet.

5.2 B16, OPTV

Ved logging av B16 ble hullet delt i to, B16a (ned til 50 m) og B16b (ned til 96 m). Sprekkestatistikk er utarbeidet for hver del. Boreloggen fra Østfold Brønnboring sier følgende:

Brønnen er satt an nordvest i et kryssende svakhetsplan, men brønnprofilen bærer preg av fast tett fjell. Bergarten er gneis med relativt lavt innhold av kvarts. Profilets bunn er ren granitt. Brønnens kapasitet var ca 3 liter pr. time første døgn etter boring.

Hullet er satt an loddrett, men avviksmålingen, se figur 27, viser at hullet etter ca 20 m dyp skjærer ut mot sørvest og får et horisontalt avvik på ca 28 m i bunn. Det er derfor ikke noe rart at brønnen bærer preg av fast, tett fjell. Svakhetssonen krysses ikke og hullet går rett ut i gneisen. Vannspeil ved boring var 44 m mens det ved logging var 13.8 m. Borehullet er satt ut i en biotittgneis. Figur 32 viser utdrag av bildeloggen. Ned til ca 18 m er ikke bergarten spesielt lagdelt og det opptrer uregelmessige linser av kvarts. Mellom 16 og 18 m kan det ut som om misfarget vann (?) lekker inn i borehullet. Fra 18 m blir gneisen tydelig lagdelt. Også i dette borehullet opptrer lag med en granatholdig mørk bergart, som mellom 24 og 25 m.

Oppsprekking

Borehullet er mindre oppsprukket enn B11 og sprekkene er jevnere fordelt langs hele hullet. I B16a er sprekefrekvensen størst mellom 18 og 27 m med en frekvens på opp til 2 sprekker pr. meter, se frekvenshistogrammer figur 10. Gjennomsnittlig strøkretning og fall er N165 04 i denne sonen. Ingen av sprekkene synes å være åpne sprekker med fare for vannstrømning. I B16b, figur 11, er sprekefrekvensen størst mellom 63 og 80 m, ca 2 sprekker pr meter. Gjennomsnittlig strøkretning er N155. Beregnet gjennomsnittlig fall er 2°, men en ser av frekvenshistogrammet, figur 11, at fallvinkelen varierer mellom ca 5 og 30° men med motsatt fallretning. Vanligvis opptrer horisontale sprekker overflatenært, men en ser i B16 at nær horisontale sprekker opptrer ned til 90 m. Karakteristisk for hullet er ganske mange sprekker, men alle er tynne ("hairline fractures") og uten åpning.

Det er ikke registrert hydraulisk sammenheng mellom B16 og infiltrasjonsanlegget i tunnelen. Det er imidlertid registrert en brå endring i vannivået i brønnen. Vannivået sank i løpet av noen dager fra 7 m til 23 m under terrengoverflaten. Endringen skjedde i en periode hvor infiltrasjonsanlegget ikke var i drift. Det er ikke registrert tydelige åpne sprekker i borehullet, og resultatet av de optiske undersøkelsene kan ikke forklare det plutselige fallet i vannivå. Jordforsk sier imidlertid at en ikke se bort fra at driften av infiltrasjonsanlegget har hatt en direkte eller indirekte medvirkning til endringen (Kværner og Snilsberg 1999).

5.3 B17, OPTV

B 17 er plassert 250 – 300 m nordøst for Nordre Puttjern. Det er satt ut med retning N130 og 20° fall fra lodd. Avviksmålingen, figur 28, viser lite avvik fra denne hullbanen. Boreloggen fra Østfold Brønnboring sier følgende:

Brønnen er plassert i et nordøstlig sprekkesystem. Dette bærer hele profilet preg av. Brønnens øvre del passerer et område hvor det er tett mellom sprekkene. Profilets nedre del inneholder flere knusningssoner. Vannmengden er anslått til ca. 2000 liter pr. time med blåsing. Mørk bergart i knusningssoner består hovedsakelig av biotitt.

Borehullet er satt på i biotittgneis. Utdrag av bildelogg er vist i figur 33. De øverste 25 m av hullet består av en mørk bergart, amfibolitt, med granater. Amfibolitten opptrer vanligvis som ganger og linser på noen meter, men kan også opptre som større legemer (Bollingmo & Heimli 1994). Under 25 m er det en lysere gneis med innslag av uregelmessige linser av granatholdig amfibolitt.

Oppsprekking

Stereogram og frekvenshistogrammer er vist i figur 6 og 12. Ned til 25 m, i den mørke amfibolitten, er det indikert flere sprekkesoner. Sprekkene opptrer i forskjellige grupper (retninger), se tabell 3, med sprekkfrekvenser opp til 3 sprekker pr. meter. De fleste sprekkene har retning NS eller NV-SØ. En åpen sprekk observeres ved 46.1 m dyp. Sprekken opptrer i et område som er sterkt oppsprukket, 45 – 48 m dyp. Strøkretning til disse sprekkene er tilnærmet øst – vest med et gjennomsnittlig fall på 6°. Den elektriske ledningsevnen i vannet øker markert fra ca 47 m, se figur 24. Ledningsevnen øker fra ca 200 µS/cm til nesten 350 µS/cm. Ingen av de andre undersøkte brønnene har vann med så høy elektrisk ledningsevne. Temperaturen viser ingen ekstra økning ut over den naturlige gradienten. Økningen i ledningsevne kan tyde på innstrømning av vann som har oppholdt seg i berggrunnen en stund, dvs det er neppe overflatevann, noe som bekreftes av uendret temperatur. En mulighet er at det kan være infiltrasjonsvann men det er ikke indikert noen hydraulisk sammenheng mellom infiltrasjonsanlegget i tunnelen og B17. Observerte variasjoner i vannivået antas å skyldes naturlige variasjoner (nedbør) (Kværner & Snilsberg 1999).

Vannkjemien i brønnene har endret seg under prøvedriften av infiltrasjonsanlegget. Blant annet har ledningsevnen økt under drift av anlegget noe som skyldes tilstrømning av mer ionerikt grunnvann inn i brønnene (Kværner & Snilsberg 1999). En slik økning er ikke registrert i B17. Det er derfor vanskelig å si om økningen i ledningsevne ved 47 m dyp skyldes tilstrømning grunnet drift av infiltrasjonsanlegget.

5.4 B18, OPTV

B18 er det av de undersøkte borehullene som er plassert nærmest tunneltraseen. Hullet er 60 m dypt og er boret loddrett. Avviksmålingen, figur 29, viser en svak dreining mot sør-øst med et horisontalavvik på ca 4 m i bunn av hullet. Boreloggen fra Østfold Brønnboring sier følgende:

Brønnen står i et nordøstlig sprekkesystem. Borkakset fram til 50 m ser ut til å være granitt bortsett fra et lite område på toppen. Fra 50 til 60 meter er det granittisk gneis. Gule leirmineraller på 38 m. Dette området er vurdert rasfarlig. Vannmengden er anslått til ca. 1000 liter pr. time med blåsing.

Borehullet er satt på i biotittgneis. Figur 34 viser utsnitt av bildelogg fra forskjellige dyp. Hele hullet bærer preg av å være misfarget som om det er et belegg på borehullsveggen. Øverst i hullet kan det se ut som det lekker misfarget vann inn i hullet, jfr. tilsvarende i B 17.

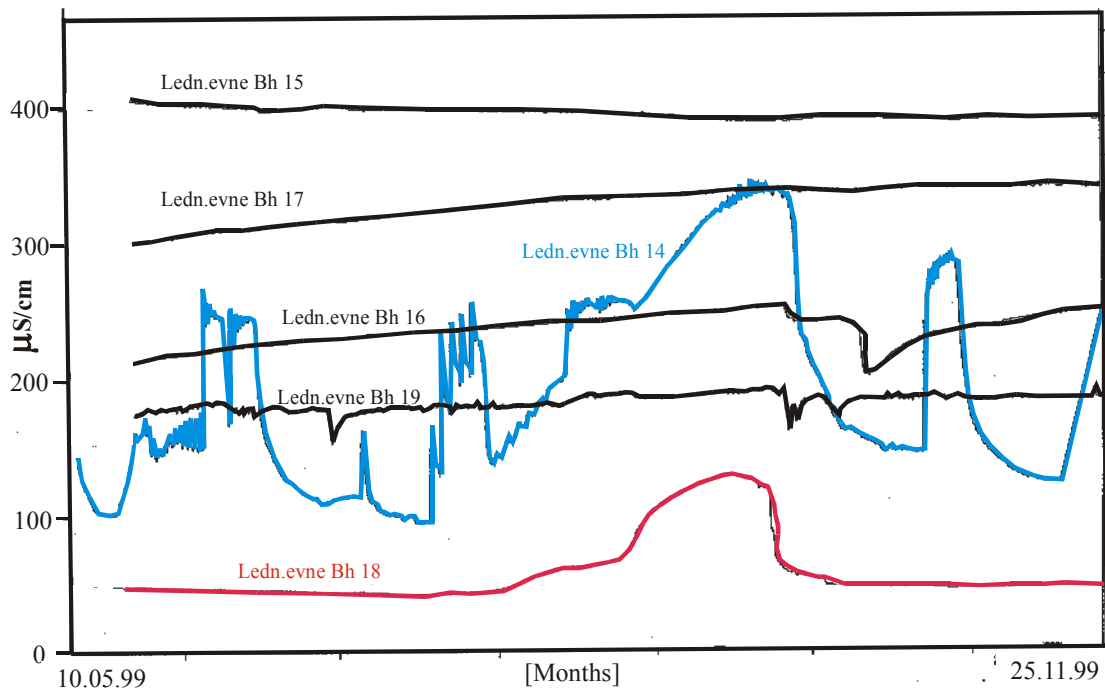
Oppsprekking

Hullet er satt på i et sprekkesystem noe fjellkvaliteten bærer preg av. Generelt er det mye dårlig fjell i borehullet. Stedvis er det vanskelig å plukke ut enkeltsprekker og slike områder vil derfor ikke bli representert i sprekkestatistikken. Det er derfor viktig å studere bildelogg sammen med stereogram og frekvenshistogrammer når en skal bedømme fjellkvaliteten i områder med mye oppknusing og dårlig fjell.

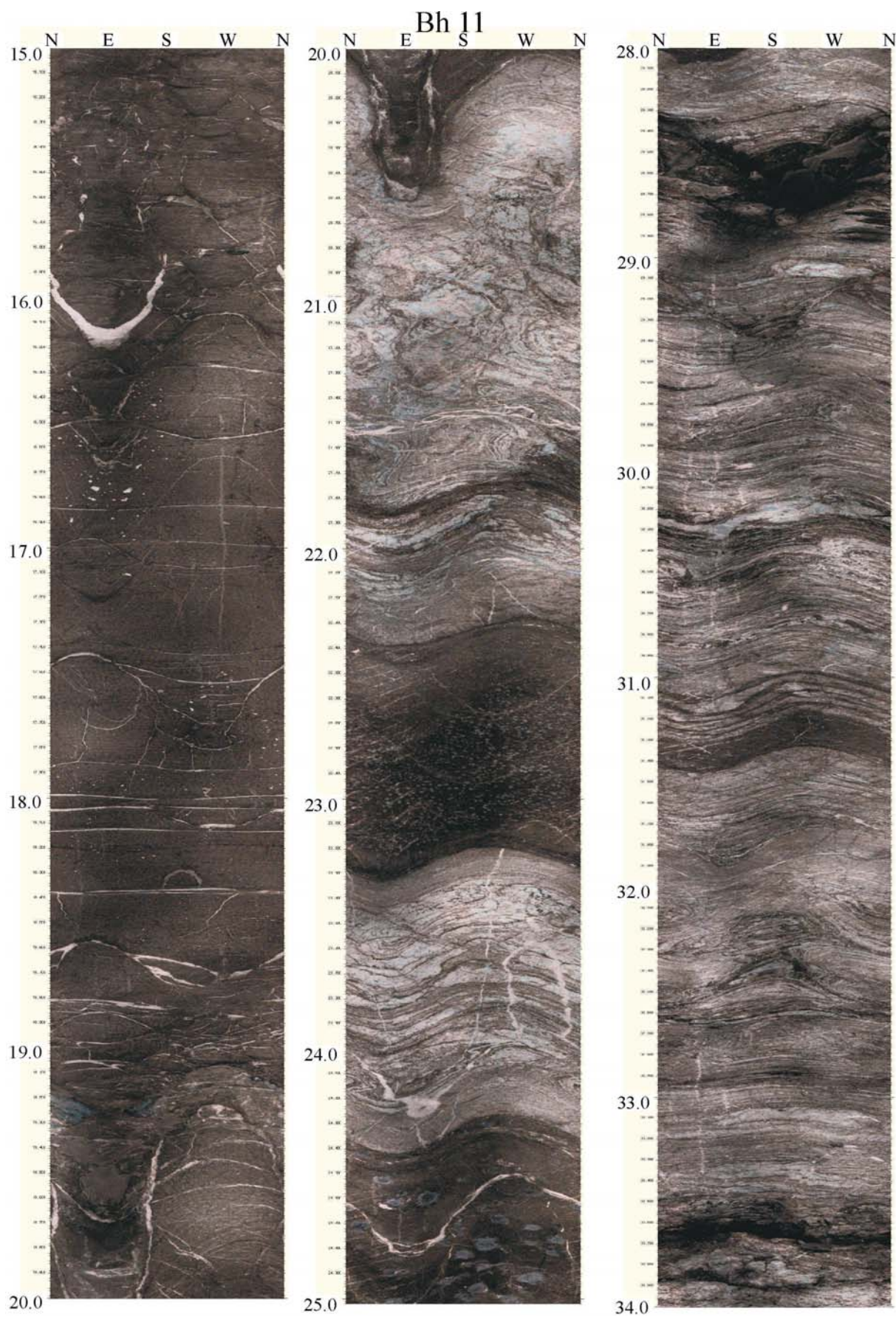
Oppsprekkingen er størst mellom 9 og 20 m med en sprekkfrekvens på 3 sprekker pr. meter (figur 13). Gjennomsnittlig sprekkeretning er NNV-SSV med et gjennomsnittlig fall på 19° (N201 19). Mellom 23 og 30 m opptrer to sprekkegrupper med en sprekkfrekvens på ca 3 sprekker pr. meter, se tabell 3. Retningen til disse er NNV – SSØ med slakt fall. Ved 26.3 m opptrer en åpen sprekk. Sprekken er tilnærmet horisontal med en åpning på 20 – 30 cm. Denne sprekken er trolig utholdende da den er registrert som en horisontal reflektor ved borehullsseismikk, VSP (Norfa-kurs 2000). Videre nedover er hullet middels oppsprukket med et parti dårlig fjell mellom 39 og 42 m, se bildelogg figur 34. Få enkeltsprekker observeres, men fjellet ser svært dårlig ut.

Den elektriske ledningsevnen er svært lav i hele hullet, 40 – 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se figur 25. Ledningsevnen er svakt økende ned til ca 42 m. Herfra flater den ut og går litt ned. Den lave ledningsevnen kan tyde på innstrømning av overflatevann via sprekkesystemet som brønnen er plassert i. Den åpne sprekken ved 26.3 m påvirker ikke ledningsevnen lokalt ved dette dyp.

Det er ikke rapportert om hydraulisk forbindelse til infiltrasjonsanlegget i tunnelen. Målte variasjoner i vannivået kan tilskrives variasjoner i nedbør (Kværner & Snilsberg). Logging av ledningsevnen i prøvedriftsperioden for infiltrasjonsanlegget i B18 viser imidlertid en markert økning i ledningsevnen i en periode med intensiv drift av infiltrasjonsanlegget, se figur 35. Tilsvarende økning i ledningsevnen har en også i B14 som en med sikkerhet kan si har hydraulisk forbindelse med infiltrasjonsanlegget.

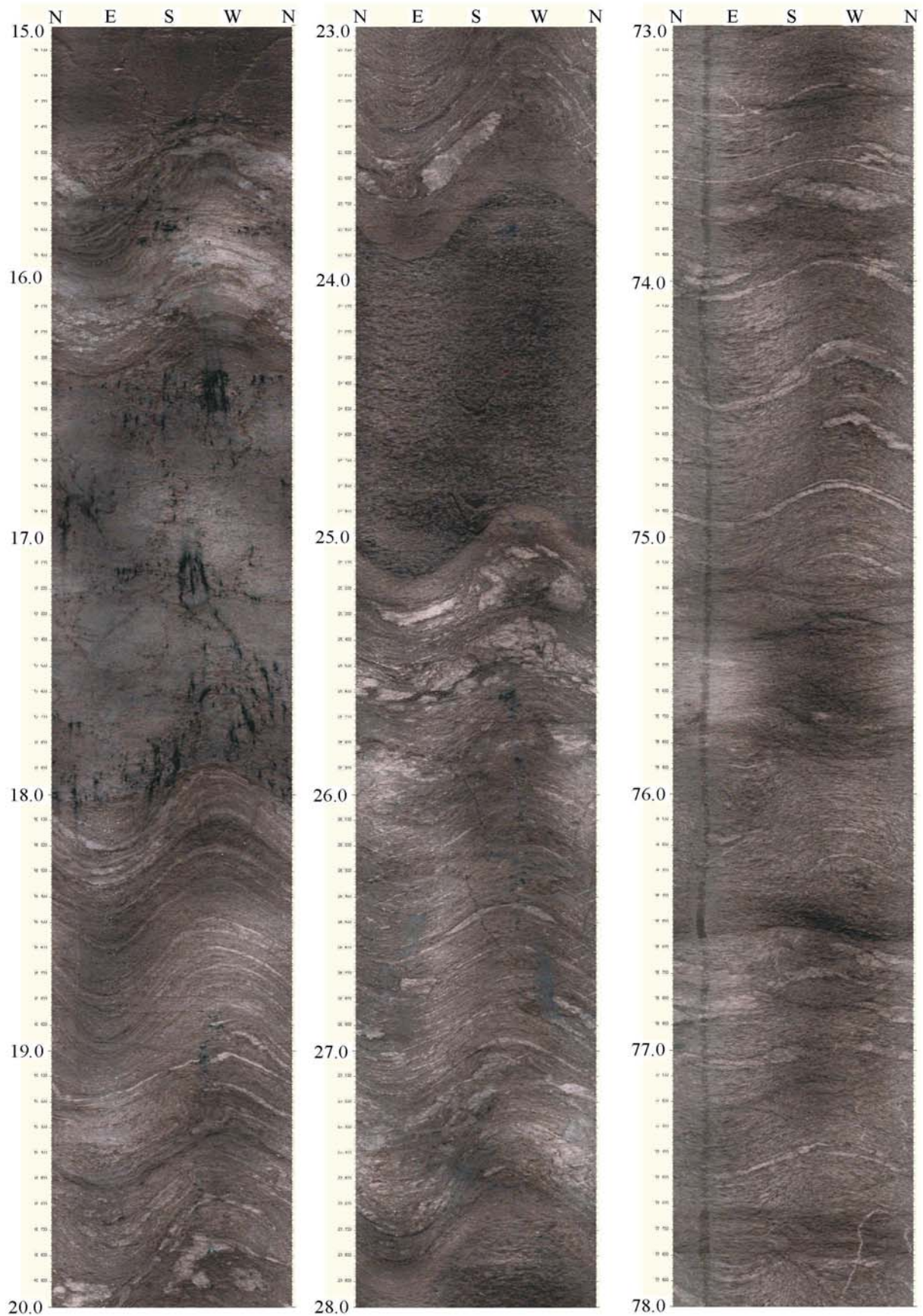


Figur 35. Logging av elektrisk ledningsevne i fjellbrønner i Puttjern – Kjerringmyrområdet Mai – november 1999. (Kværner & Snilsberg 1999).



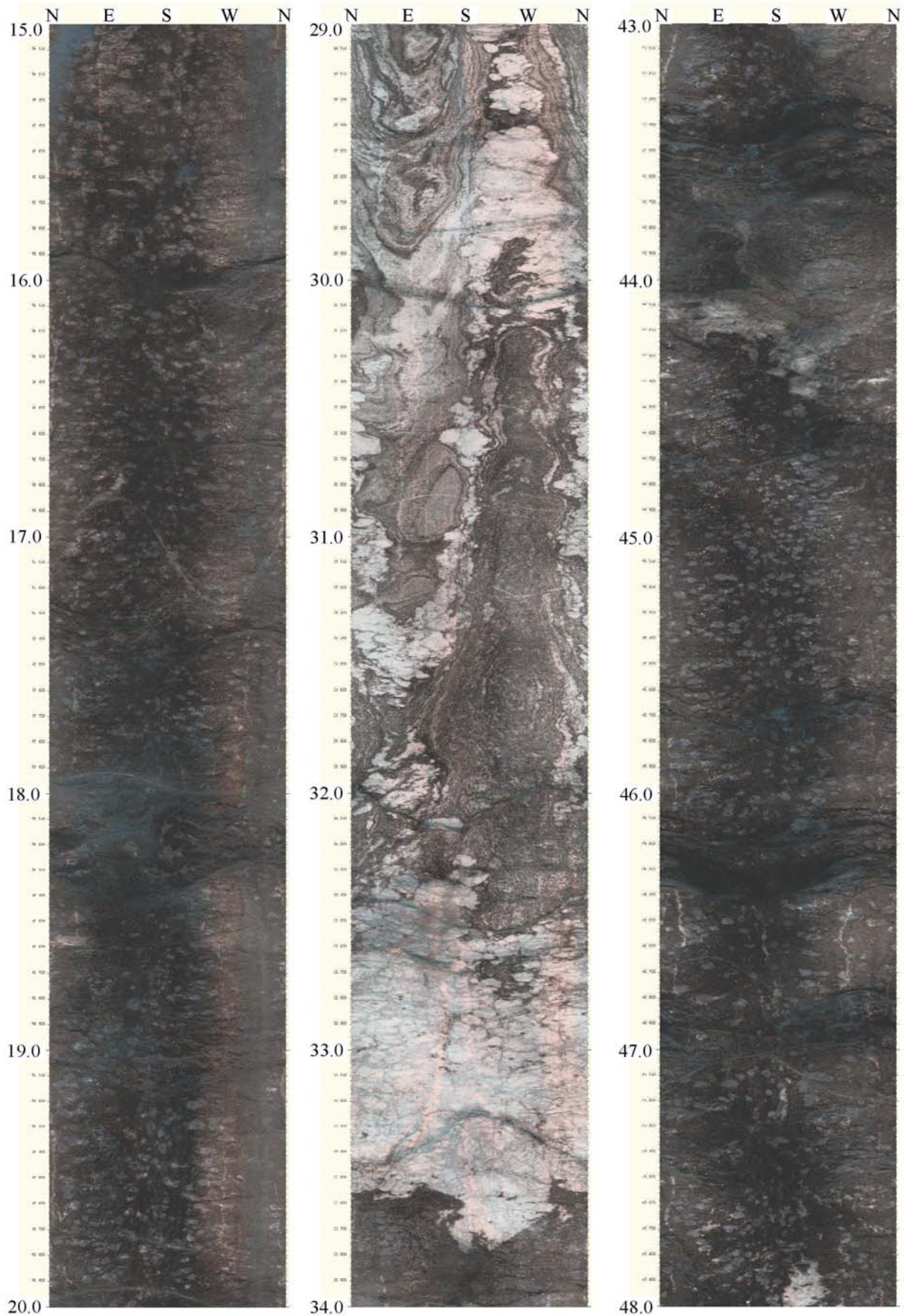
Figur 31. OPTV bildelogg av utvalgte soner i B11. Karakteristisk for hullet er mange sprekker med sekundær mineralisering, enkelte granatførende amfibolittganger (23 og 25 m) og åpne sprekker ved 28.3 og 33.6 m.

Bh 16



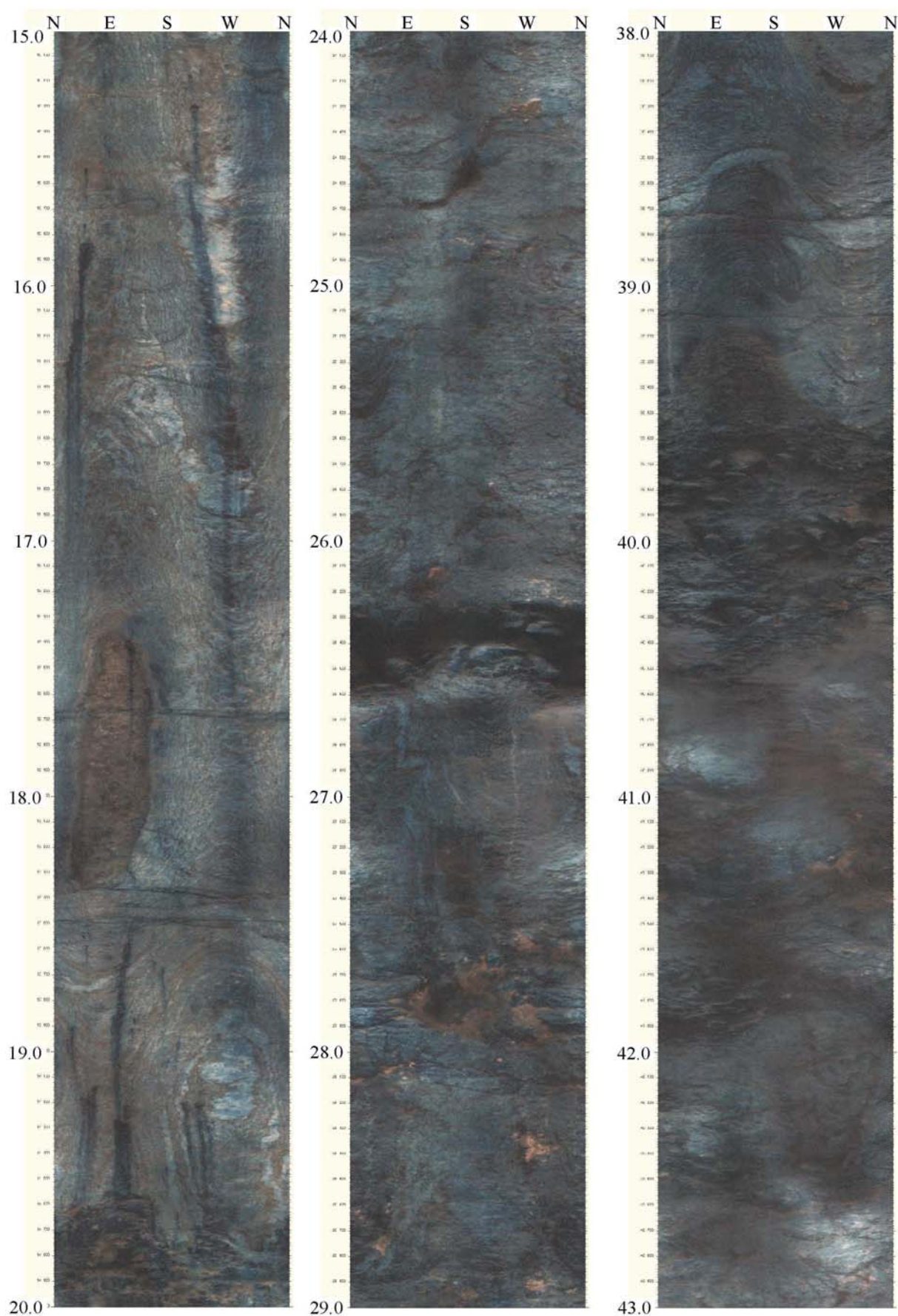
Figur 32. OPTV bildelogg av utvalgte soner i B16. Hullet har flere amfibolittganger, mange tynne sprekker, men består for det meste av massivt fjell. Noe porøst fjell mellom 16 og 18 m med lekkasjepunkter.

Bh 17



Figur 33. OPTV bildelogg av utvalgte soner i B17. Hullet består av tykke lag med amfibolitt. Dårlig fjell i området 43 – 48 m med åpen sprekk ved 46.1 m.

Bh 18



Figur 34. OPTV bildelogg av utvalgte soner i B18. Hullet karakteriseres av mye dårlig fjell. Lekkasje punkter mellom 15 og 20 m, åpen sprekk ved 26.3 m. Spesielt dårlig fjell mellom 39 og 43 m.

6. DISKUSJON, OPPSUMMERING

Kapittel 4 og 5 har presentert data, prosesserte data, statistikker og beskrevet de undersøkte borehull i henhold til geofysiske undersøkelser og annen tilgjengelig informasjon. Annen tilgjengelig informasjon i tilknytning til borehullene har vist seg å være av en begrenset mengde. I all hovedsak dreier denne informasjon seg om resultater fra infiltrasjonsprosjektet, der vann er blitt infiltrert inn i fjellet i tunnelen for å se hvordan dette påvirker grunnvannsbalansen i området Puttjern – Lutvann. Dette prosjektet er utført av Jordforsk (Kværner & Snilsberg 1999).

Hensikten med sammenstilling av data fra borehullene har vært å se om resultatene kan korreleres til lekkasjene i Romeriksporten for derved å vurdere verdien av denne type inspeksjon med hensyn på vannlekkasjer og stabilitet under tunneldrivingen.

Det viktigste i enhver forundersøkelse for tunneler er å vurdere og få et begrep om fjellets beskaffenhet i tunneltraseen. Det sier seg selv at detaljundersøkelser i hele tunnelens lengde ikke er mulig å gjennomføre før en starter drivingen. De beste detaljundersøkelser gjøres på stoff og foran stoffen (f.eks. sonderboringer, geofysiske undersøkelser). Før en kommer så langt må en ha informasjon om hva en kan forvente seg under drivingen i form av forkastninger, sprekkesoner, leirslepper, dvs. alle geologiske hendelser som kan kartlegges fra dagen eller i borehull. Optisk televiewer er nytt redskap som er tatt i bruk i Norge det siste året. OPTV må tas i bruk i forundersøkelsene da den gir en detaljert undersøkelse av fjellkvaliteten i grove borehull. Plasseringen av borehull for OPTV blir dermed viktig for å få mest mulig nyttig informasjon. Dersom sprekkesoner eller svakhetssoner er kartlagt i dagen med andre metoder, er det viktig å få vite hvordan disse utvikler seg mot dypet der en fremtidig tunnel er planlagt. Det bør derfor bores ned til tunneltraseen. Det ideelle ville være å bore flere hull (f.eks. for hver 100 m) ned til traseen langs hele tunnelen. Dette vil selvsagt være et økonomisk spørsmål, og tilgjengeligheten kan ofte være vanskelig.

Alle hull ved Lutvann – Puttjern er boret i etterkant av tunneldrivingen for å overvåke vannbalansen i området på grunn av de store lekkasjene i Romeriksporten. (OPTV var ikke tilgjengelig i Norge på det tidspunkt forundersøkelsene pågikk). Flere av hullene er satt på i sprekkesoner eller svakhetssoner for å se om disse har hydraulisk forbindelse til tunnelen. Ved vanninfiltrasjon i tunnelen er det påvist slik forbindelse i flere hull (B14, B15 og B19). Ingen av hullene er boret ned til tunnelnivå da det ikke var nødvendig for vannovervåkingen. Den optiske inspeksjonen kan derfor ikke gi detaljerte opplysninger om fjellkvaliteten i tunneltraseen, men må forholde seg til resultatene fra de hydrologiske undersøkelsene. I tillegg var de brønnene som hadde best hydraulisk forbindelse til tunnelen ikke tilgjengelig for inspeksjon.

Brønnene B11, B16, B17 og B18 ble undersøkt med OPTV og B2, B8 og B11 med akustisk televiewer. Som nevnt foran gir ikke den optiske inspeksjonen opplysninger om selve tunneltraseen. Alle undersøkte hull er plassert i eller i nærheten (krysser) av sprekkesoner/svakhetssoner. Disse sprekkesonene er kartlagt og det er oppdaget flere tydelige åpne sprekker. Endringer i vanntemperatur og elektrisk ledningsevne kan tyde på vanninnstrømning i noen av disse sprekkeene. Selv om borerapportene anslår en vannmengde i liter pr. time bør det ved en forundersøkelse gjøres pumpeprøver for å se hvor mye vann brønnen gir. Hvis sprekkesystemet når ned til tunnelnivå, er dette spesielt viktig.

Ingen av de undersøkte brønnene er rapportert å ha hydraulisk forbindelse med infiltrasjonsanlegget i tunnelen. Dette anlegget ligger under Puttjernsonen og vil ikke fange

opp alle sprekkesystemer som kan lekke til tunnelen. Store lekkasjer er også registrert under Lutvann vest for Puttjern. B11 er satt på i et sprekkesystem som krysser tunneltraseen under Lutvann. Det ble i dette borehullet oppdaget to tydelige åpne sprekker, den ene indikerte innstrømning av vann. Brønnen står noe nord for tunneltraseen, det når ikke ned til tunnelnivå og det er derfor umulig å si om de indikerte åpne sprekke er skyld i lekkasjene. Det undersøkelsen sier er at svakhetssonen inneholder alvorlige sprekkesoner, med åpne sprekker, og bør absolutt vurderes som en potensiell lekkasjesone.

B16 er boret nord for Puttjernsonen, men hullet skjærer ut av svakhetssonen det er satt på i. Informasjon om svakhetssonen er derfor liten. Undersøkelsen viser hvor viktig det er å ansette boringene riktig og senere måle borehullsavviket. B17 og B18 er begge boret like nord for Nordre Puttjern i et nordøstlig sprekkesystem. Begge viser sterk oppsprekking og det er indikert åpne sprekker i begge hull, men det er ingen hydraulisk forbindelse til infiltrasjonsanlegget. Det en ikke vet er om de kan ha en annen hydraulisk forbindelse til tunnelen og forårsake lekkasje et annet sted.

Det hadde vært av stor interesse å inspisere de brønnene som viste hydraulisk forbindelse til infiltrasjonsanlegget i tunnelen. Da ville en trolig sett hva slags type sprekker som kan ha en slik forbindelse. Dette vet man imidlertid ikke på forhånd når en forundersøkelse skal planlegges, og det er ikke sikkert det ville blitt boret der B14, B15 og B19 er plassert.

Opptakene fra OPTV undersøkelsene gir svært detaljrik geologisk informasjon om berggrunnen. Det som er av sprekker i borehullet blir oppdaget enten de er vannførende eller ikke. For å få mest mulig informasjon fra en slik undersøkelse er borehullsplasseringen viktig. Flere av hullene som er logget er loddhull. Det er opplagt at slike hull har små sjanser for å treffe vertikale sprekker eller sprekker med steilt fall. Vertikale sprekkesystemer er de alvorligste med hensyn til lekkasjer fra overflaten til en dyp tunnel. Det beste vil derfor være å bore skråhull inn (ned) mot tunneltraseen. I kritiske områder kan det også være aktuelt å bore to skråhull, et fra hver side av tunnelen med motsatt fall, for å fange opp alle fallretninger sprekke måtte ha. Dette er et økonomisk spørsmål, men informasjonen blir større jo mer resurser man bruker.

Selv om resultatet de geofysiske undersøkelsene ikke viser noen direkte korrelasjon med lekkasjene i tunnelen, er det ikke tvil om at OPTV gir verdifull informasjon om fjellkvalitet med hensyn til vannlekkasjer og stabilitet. En slik korrelasjon vil dessuten være vanskelig å se da ingen av borehullene er optimalt plassert og ikke boret ned til tunnelnivå. De hydrauliske forhold (forbindelse til tunnelen) er basert på vanninfiltrasjon i tunnelen under Puttjernsonen. Hydraulisk forbindelse til andre steder i tunnelen er ikke undersøkt, men borehull plassert i svakhetssoner som ikke har forbindelser til infiltrasjonsanlegget viser stor oppsprekking og indikasjon av åpne sprekker med vanninnstrømning.

Sprekkefrekvens er et mål for hvor stor oppsprekking fjellet har. I de statistikker som utarbeides etter en OPTV undersøkelse, med bl.a. beregning av sprekefrekvens, er alle sprekker (tette, åpne, mineraliserte) tatt med. For å vurdere fare for lekkasjer er tydelige åpne sprekker farligst og den beregnede sprekefrekvensen vil ha mindre betydning. Sammen med temperatur- og ledningsevnelogg vil OPTV være et meget godt redskap for å vurdere fare for lekkasjer. Når det gjelder stabilitet vil frekvensen av sprekker ha større betydning. Her er det ikke nødvendigvis åpningen av sprekke som er farligst, men i tillegg vil retning, fall, antall (frekvens), og type (leirinnhold) være faktorer som har betydning når stabiliteten skal vurderes. Ikke alle sprekker er så regelmessige at de kan digitaliseres med en matematisk funksjon (sinus). I oppknuste partier kan det også være vanskelig å skille ut enkeltsprekker.

Slike partier og uregelmessige enkeltsprekker kommer ikke med i statistikken. Det viktigste er imidlertid at de oppdages og kan rapporteres. Det visuelle bilde fra slike områder er derfor meget viktig.

En stor fordel med OPTV er at inspeksjon kan utføres i grove borehull. Denne type boring er langt rimeligere enn tradisjonell kjerneboring. Informasjonen fra OPTV er i mange tilfeller bedre enn fra kjerneboring da en får kartlagt reell retning og fall til sprekker. Kjernetap unngås, og åpningen til åpne sprekker kan beregnes. Med kjennskap til geologien i området kan en kartlegge geologien nedover i hullet like nøyaktig som fra kjerner. Analyser av borekaket vil gi informasjon om mineralinnhold. En annen meget viktig faktor er at en med OPTV får beregnet borehullsavviket. I mange tilfeller kan dette være betydelig.

Inspeksjon med OPTV kan utføres både i vannfylte og tørre borehull. De beste bildene får en i vannfylte hull dersom vannet er klart. Noen ganger kan dårlig sikt i vannet være et problem, og en bør vente en stund etter avsluttet boring. Særlig i hull med liten vannnivå (lite vanngjennomstrømning) kan sikten være et problem. Målinger kan i utgangspunktet gjøres i hull der sonden faller nedover av tyngdekraften. Med tilleggsutstyr kan sonden føres inn i horisontale hull.

7. KONKLUSJON

NGU har sammenstilt data samlet inn med optisk televiewer fra 4 borehull i området Lutvann – Puttjern i Østmarka, Oslo. Borehullene ble boret i etterkant av lekkasjene i Romeriksporten for å overvåke grunnvannsbalansen i området. Hensikten med sammenstillingen har vært å vurdere verdien av slike undersøkelser med hensyn til lekkasjer og stabilitet under tunneldriving. Flere borehull satt på i svakhetssoner i dagen har vist at det er hydraulisk forbindelse til tunnelen (under Nordre Puttjern). Disse hullene var ikke tilgjengelige for inspeksjon.

Undersøkelsene har foregått i borehull satt på i andre svakhetssoner. Ingen av borehullene er boret ned til tunnelnivå. Det har derfor ikke vært mulig å vurdere fjellkvaliteten i tunneltraseen. Øvre deler av svakhetssoner som trolig krysser tunneltraseen er derimot undersøkt med OPTV samt logging av vanntemperatur, elektrisk ledningsevne i vannet og naturlig gammastråling.

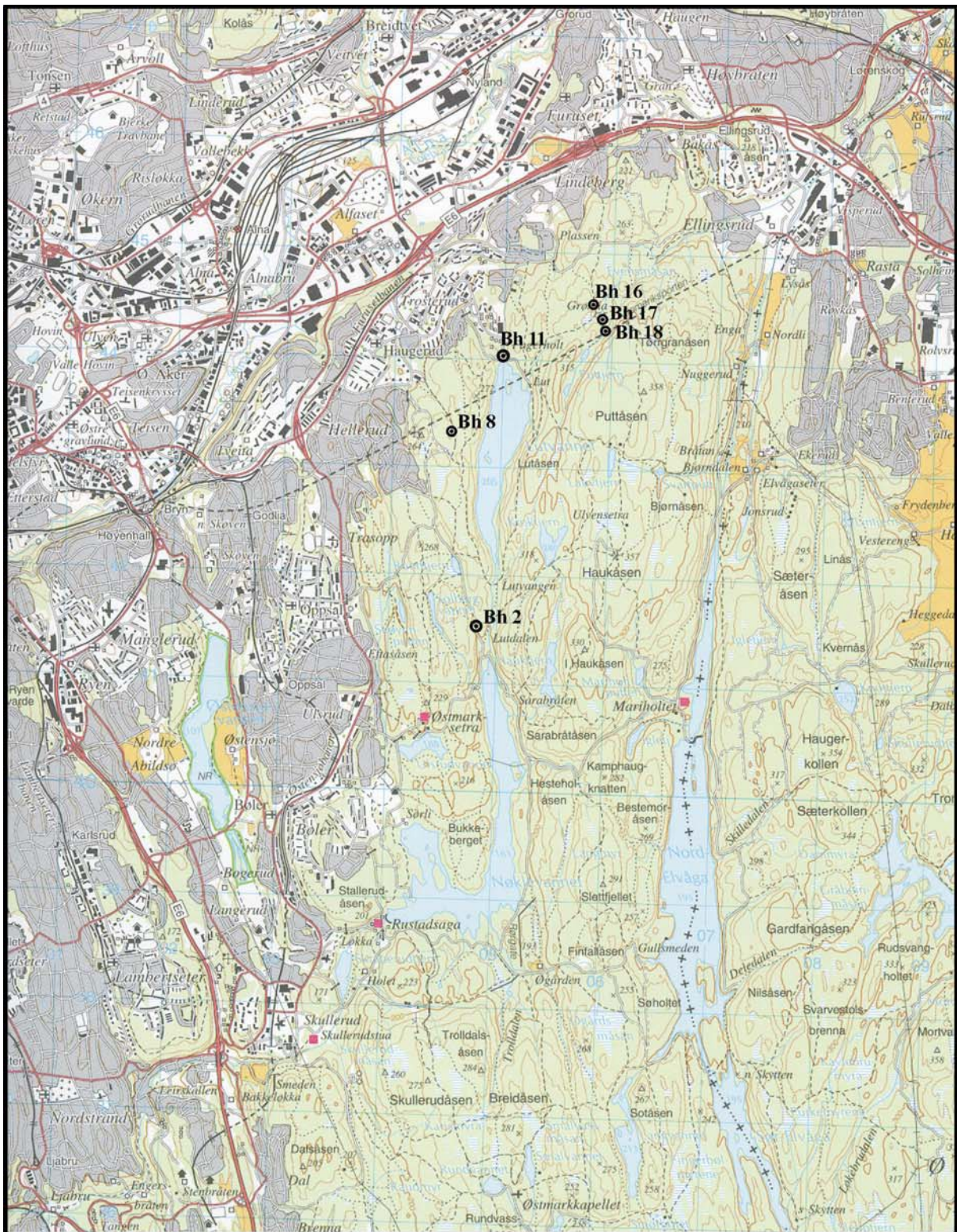
Flere tydelige åpne sprekker ble indikert. Noen av disse indikerer vanninnstrømning i borehullet. I tillegg er det indikert en rekke sprekkeansamlinger og partier med dårlig fjell. Et av borehullene skjærer ut av sprekkesonen det er satt på i, og viser hvor viktig det er å måle borehullsavviket.

Det er meget viktig hvordan borehullene plasseres. Det må bores ned til tunnelnivå, helst skråhull for å fange opp vertikale sprekker.

Inspeksjon med OPTV, i kombinasjon med logging av spesielt temperatur og ledningsevne i vann, har tydelig vist at det går an å påvise sprekker og soner som kan ha stor betydning for å vurdere fjellkvaliteten med hensyn til lekkasjer og stabilitet under tunneldriving. Prøvepumping i kombinasjon med vertikal strømningsmåling vil i tillegg kunne karakterisere strømning i fjell.

8. REFERANSER

- Bollingmo, P. & Heimli, P. 1994 : Gardermobanen. Parsell Oslo S – Nitelva Tunnel Etterstad – Stalsberg. Bok 4. Geologisk Rapport. *Rapport nr. 1.*
- Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2000: Inspeksjon av borehull med Akustisk Televiwer ved Lutvann og Nøklevann, Østmarka, Oslo. *NGU Rapport 2000.071.*
- Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2001: Borehullsinspeksjon. En utprøving av optisk og akustisk televiwer. *NGU Rapport 2001.011.*
- Kværner, J. & Snilsberg, P. 1999: Romeriksporten. Overvåkning av grunnvann i fjell og løsmasser. Statusrapport pr. 30. november 1999. *Jordforsk, rapport nr. 95/99.*
- NorFa research course 2000: Geophysical investigations at the Romerike Tunnel site, Oslo, August 6 – 18, 2000. Geologisk Inst. UiO.
- Robertson Geologging Ltd.: Interpretation manual. RGLDIP Version 5.2 og 5.3. 1999-2000.
- Østfold Brønnboring A/S: Borelogger fra prosjekt Vannbalanse Østmarka.



<p>OVERSIKTSKART ● Borehull</p> <p>ØSTMARKA, OSLO</p> <p>OSLO KOMMUNE, OSLO</p>	MÅLESTOKK	MÅLT JSR	Okt-99 aug-00
	1:50 000	TEGN HE	Okt -01
		TRAC	
		KFR	
NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2001.094-01	KARTBLAD NR 1914 IV	



OVERSIKTSKART Fjellbrønner ØSTMARKA OSLO	MÅLESTOKK 1:23 000	MÅLT JSR TEGN HE TRAC KFR	Okt. 1999 Aug. 2000 Okt. 2001
	NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE TRONDHEIM	TEGNING NR 2001.094-02	KARTBLAD NR 1914 IV