




GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



Rapport nr.: 2018.020	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Logging av dype energibrønner på Oslo Lufthavn, Gardermoen			
Forfatter: Harald Elvebakk		Oppdragsgiver: NGU, Rock Energy	
Fylke: Akershus		Kommune: Ullensaker	
Kartblad (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1915 II Ullensaker	
Forekomstens navn og koordinater: Gardermoen		Sidetall: 55	Pris: kr 200,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: 12.05 – 14.05.2018	Rapportdato: 04.09.2018	Prosjektnr.: 324610	Ansvarlig: 
Sammendrag: <p>NGU har logget to dype energibrønner på Oslo Lufthavn, Gardermoen. Det ble boret to brønner ned til 1500 m for å ta ut varme til å holde rusegropa på flyplassen isfri om vinteren. Det ble logget temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet i fjell og logging med akustisk televiwer. Hovedhensikten var å beregne temperaturgradient for NGU's nasjonal temperatur database, men også oppsprekking var viktig å kartlegge. På grunn av ras i den ene brønnen var logging mulig bare til 450 m dyp. I den andre brønnen ble det logget til 1450 m bortsett fra akustisk televiwer som stoppet ved 445 m, da hullet var delvis blokkert av ras.</p> <p>Gjennomsnittlig temperaturgradient under 200 m er beregnet til 15.3 °C/km. Den er svakt økende mot dypet, og under 700 m er den 16.1 °C/km. Bergartene i området er permiske gneiser og det er kjent at disse har lav temperaturgradient.</p> <p>Det ble oppdaget flere åpne sprekker/sprekkesoner som ble indikert med resistivitet og bekreftet med akustisk televiwer. Det var like under en slik sone at sondene stoppet.</p> <p>Den elektriske ledningsevnen i vann øker kraftig på flere nivåer mot dypet. I bunnen av Brønn Nord var ledningsevnen ca 18000 µS/cm. Dette er omtrent halvparten av ledningsevnen til sjøvann. En antar at årsaken til det salte vannet på dypet er at før siste istid gikk Oslofjorden lengre inn i landet enn i dag. Påfølgende istid presset det salte vannet nedover.</p>			
Emneord: Geofysikk	Borehullslogging	Elektrisk måling	
Temperaturmåling	Naturlig radioaktivitet	Akustisk televiwer	
Ledningsevne i vann		Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	9
2. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL	10
2.1 Geologi	11
3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE	12
3.1 Målemetoder og målte parametere.....	13
4. RESULTATER.....	14
4.1 Temperatur, temperaturgradient, ledningsevne og total gamma	14
4.1.1 Temperatur og temperaturgradient	14
4.1.2 Elektrisk ledningsevne i vann.....	15
4.2 Resistivitet, SP og tilsynelatende porøsitet.....	18
4.3 Akustisk televiwer Brønn Sør	21
4.3.1 Sprekkefrekvenshistogram og stereogram	21
4.3.2 Foliasjon i Brønn Sør	27
4.3.3 Diameter og ovalisasjon i Brønn Sør	28
4.4 Akustisk televiwer Brønn Nord	32
4.4.1 Sprekkefrekvenshistogram og stereogram	32
4.4.2 Foliasjon i Brønn Nord	38
4.4.3 Diameter og ovalisasjon i Brønn Nord	39
4.5 Borehullsavvik	43
4.5.1 Borehullsavvik, Brønn Sør	43
4.5.2 Borehullsavvik, Brønn Nord	44
5. KONKLUSJON	45
6. REFERANSER.....	46

FIGURER

Figur 1. Logging i Brønn Sør ved Rusegropa.	10
Figur 2. Kart over flyplassområdet med angitt brønn ved Rusegropa.	10
Figur 3. Forenklet geologisk kart over Gardermoen-området.	12
Figur 4. Brønn Sør, temperatur., temperaturgradient, ledningsevne og total gamma.	16
Figur 5. Brønn Nord, temperatur., temperaturgradient, ledningsevne og total gamma.	17
Figur 6. Brønn Sør. Temperatur, ledningsevne, total gamma, resistivitet, SP og porøsitet ...	19
Figur 7. Brønn Nord. Temperatur, ledningsevne, total gamma, resistivitet, SP og porøsitet .	20
Figur 8. Brønn Sør, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 80 – 200 m.	22
Figur 9. Brønn Sør, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 200 - 320 m.	23
Figur 10. Brønn Sør, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 320 – 450 m.	24
Figur 11. Brønn Sør, Sprekkestereogram.	25
Figur 12. Brønn Sør. Indikerte sprekkers fallretning (venstre) og fallvinkel (høyre).	25
Figur 13. Brønn Sør, akustiske televiwer, 98-111 m, 234 -247 m og 441-453 m.	26
Figur 14. Brønn Sør. Stereogram av beregnet foliasjon.	27
Figur 15. Brønn Sør. Rosediagram av beregnet foliasjon.	27
Figur 16. Brønn Sør. Ovalisasjonslogg.	29
Figur 17. Brønn Sør. Beregnet brønndiameter.	30
Figur 18. Brønn Sør. Beregnet diameter (radius) ved åpen sprekk ved 450 - 452 m.	31
Figur 19. Brønn Sør. Tverrsnitt av brønn ved 323 og 352 m dyp.	31
Figur 20. Brønn Nord, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 80 - 200 m.	33
Figur 21. Brønn Nord, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 200 - 320 m.	34
Figur 22. Brønn Nord, sprekkefrekvenshistogram og resistivitet, 320 - 450 m.	35
Figur 23. Brønn Nord. Sprekkestereogram.	36
Figur 24. Brønn Nord. Indikerte sprekkers fallretning (venstre) og fallvinkel (høyre).	36
Figur 25. Brønn Nord, akustiske televiwer, 91-102 m, 119-129 m og 428-440 m.	37
Figur 26. Brønn Sør. Stereogram av beregnet foliasjon.	38
Figur 27. Brønn Sør. Rosediagram av beregnet foliasjon.	38
Figur 28. Brønn Nord. Ovalisasjonslogg.	40
Figur 29. Brønn Nord. Beregnet brønndiameter.	41
Figur 30. Brønn Nord. Akustisk televiwer og beregnet diameter ved observerte sprekker. .	42
Figur 31. Brønn Sør. Tverrsnitt av brønn ved 432 (venstre) og 440 m dyp.	42
Figur 32. Borehullsavvik i Brønn Sør.	43
Figur 33. Borehullsavvik i Brønn Nord.	44

TABELLER

Tabell 1. Tekniske data for brønnene.	10
Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.	12
Tabell 3. Beregnede temperaturgradienter i Brønn Sør og Brønn Nord.	14

VEDLEGG

Vedlegg 1. Beskrivelse av geologien i Gardermoen-området.	46
Vedlegg 2. Ovalisation and breakout logs.	50
Vedlegg 3. Sprekkedata Brønn Sør.	51
Vedlegg 4. Sprekkedata Brønn Nord.	54

1. INNLEDNING

NGU har logget to dype energibrønner på Oslo lufthavn, Gardermoen. Brønnene ble boret i oppdrag av AVINOR med støtte fra Innovasjon Norge og Norwegian Energy Drilling (NED) som eies av Rock Energy og Båsum Boring til et dyp av ca. 1450 m. Bakgrunnen for forskningsprosjektet er at NED ønsker å utvikle teknologi på boring og energiutvinning fra dype brønner. Ved å bore dype energibrønner (1500 m) sparer en mye overflateareal i forhold til mange grunne ved samme energiuttak. Dette har stor betydning ved trange bynære tomter, industriområder og andre områder med lite tilgjengelig areal. I dype brønner vil vanntemperaturen være høyere enn i grunne, og energien kan benyttes direkte til oppvarming av for eksempel gater, fotballbaner, fiskeoppdrett og lignende. Ved å utvikle kollektoren i en brønn kan energiuttaket fra brønnen økes betydelig.

Utprøving av prosjektet ble lagt til Rusegropa ved Oslo Lufthavn, Gardermoen. Dette er et område hvor fly tester (ruser) motorene og denne gropa må være isfri om vinteren. Nå brukes elektrisk undervarme i gropa. Avinor ville være med på dette prosjektet for utprøve om vannbåren varme fra borehullene kunne benyttes til oppvarming av gropa.

Begge brønnene ble boret vinter/vår 2018 og logging ble utført i tiden 12 – 14.05 2018 av Harald Elvebakk. Figur 1 viser logging av Brønn Sør ved Rusegropa.

NGU forvalter Norges nasjonale log- og temperaturdatabase for dype brønner og er ansvarlig for regional oversikt over grunnvarmekart og temperaturgradient i undergrunnen (Olesen et al., Slagstad et al., 2008, Pascal et al., 2010) og fikk derfor tilgang til brønnene. Det ble logget ned til 1450 m i den ene brønnen. På grunn av ras i den andre brønnen ble den logget til 450 m dyp. Det ble logget temperatur, elektrisk ledningsevne i vann, total naturlig gammastråling og fjellets resistivitet. I tillegg ble deler av brønnene (450 m) logget med akustisk televiewer for å kartlegge sprekker.



Figur 1. Logging i Brønn Sør ved Rusegropa.

2. MÅLEOMRÅDE OG BOREHULL

Brønnene ligger like ved Rusegropa ved enden av østre rullebane, se figur 2 som viser et kart over flyplassen. Tabell 1 viser tekniske data for brønnene.



Figur 2. Kart over flyplassområdet med angitt brønn ved Rusegropa.

Tabell 1. Tekniske data for brønnene.

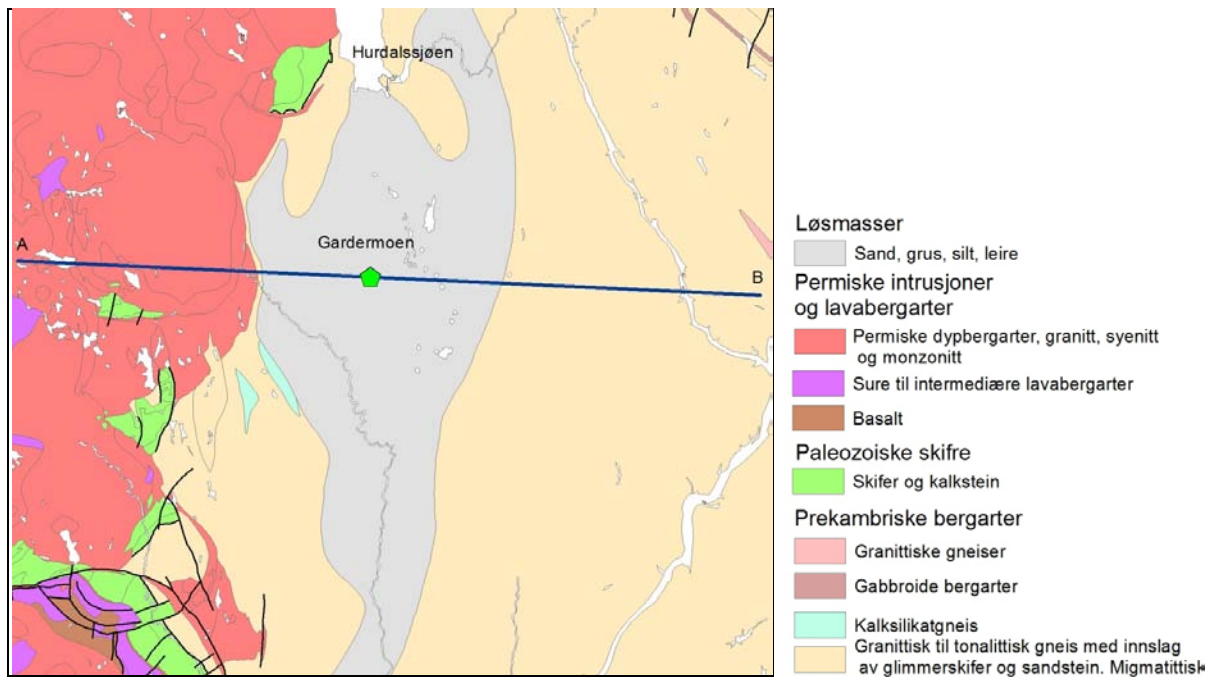
Brønn	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.	Dato logging	Fall	Diam (cm)	Dyp (m)	Boring
Sør	6675844	617388	32W	206	12- 14.05.18	90 °	17	1500	Vinter/ Vår 2018
Nord	6675894	667392	32 W	206	12-14.05.18	90 °	17	1500	Vår 2018

Brønn Sør viste seg å være tett ved ca 450 m dyp. Flere sonder ble prøvd. Akustisk televiwer stoppet ved 452.4 m og viste et område på ca 1.7 m (langs borehullet) med utrast fjell, trolig en sprekk med løse steiner. Sonden stoppet like nedenfor og det antas at det var utraste steiner som tettet hullet.

I Brønn Nord fikk en målt temperatur og resistivitet ned til 1450 m dyp. Akustisk televiwer stoppet ved 444.8 m og viste en åpen sprekk ved 443.2 (åpning 0.5 m) og flere åpne sprekker fra 429 m – 434 m. Det antas at det samme har skjedd her med utrasing og blokkering av hullet. Temperatursonde og resistivitetssonde passerte forbi sprekken da disse sonder har mindre diameter (bruker ikke sentraliseringsfjærer).

2.1 Geologi

En kort beskrivelse av geologien i Gardermoen-området er gjort av Arne Solli (NGU) og er vist i Vedlegg 1. Figur 3 viser et forenklet geologisk kart over området. Det er meget store løsmasseavsetninger på Gardermoen med mektigheter på omkring 100 m. Bergartene der det er boret består av prekambriske gneiser. Vest for området opptrer permiske dypbergarter (granitter, syenitter). Det er antatt at gneisene fortsetter mot dypet der brønnene er plassert, se profil Vedlegg 1.



Figur 3. Forenklet geologisk kart over Gardermoen-området.

NGU har tidligere logget en brønn, 700 m dyp, ved Berger i Skedsmo kommune, (Elvebakk 2011). Dette er noe lenger sør innenfor det samme gneiskomplekset. Temperaturgradienten under 200 m varierte fra 14.2 – 14.8 °C/km noe som må sies å være lavt for Østlandet. En ville derfor kunne forvente forholdsvis lav gradient også på Gardermoen.

3. MÅLEMETODE OG UTFØRELSE

Det er benyttet loggeutstyr produsert av Robertson GEO ltd. (<http://www.geologging.com>).

Metodebeskrivelse for NGU's målesonder ligger på NGU's hjemmesider på følgende link:

<http://www.ngu.no/emne/borehullslogging>

Tabell 2 viser loggehastighet og samplingstetthet for de ulike målesondene.

Tabell 2. Målte parametere med loggehastighet og samplingstetthet.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplingstetthet
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
Resistivitet i fjell, porøsitet	5 m/min	1 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm
Akustisk televiver (HIRAT)	3 m/min	1 mm

3.1 Målemetoder og målte parametere.

Temperatur, elektrisk ledningsevne i vann og total naturlig gammastråling måles med samme sonde. Gammastråling måles i cps er tilpasset API-standard, og data kan sammenlignes med data målt med andre sensorer med samme standard.

Resistivitet i berget måles med to forskjellige elektrodekonfigurasjoner, Long Normal (LN) og Short Normal (SN). Dette er to pol-pol konfigurasjoner med elektrodeavstand henholdsvis 1.6 og 0.4 m. Fjern potensialelektrode plasseres på bakken mens loggewire 10 m over sonde utgjør fjern strømelektrode. Resistiviteten er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead & Olsson 2004). Sonden måler også total gammastråling.

Ut fra vannets ledningsevne og resistiviteten i berget kan tilsynelatende porøsitet beregnes. Til dette benyttes en modifisert versjon av Archie's lov (Archie 1942). Tilsynelatende porøsitet Φ kan finnes ut fra følgende sammenheng:

$$\sigma = a \cdot \sigma_w \cdot \Phi^m + \sigma_s$$

σ = ledningsevne i bergarten

σ_w = ledningsevne i porevannet

σ_s = ledningsevne på kornoverflate

Faktorene a og m (kornform, sementeringsfaktor) er avhengig av bergartstype og bestemmes ved laboratoriemålinger. Ved beregningen av porøsiteten brukes $a=1.928$ etter Thunehed og Olsson som fant dette for krystalline bergarter (Thunehed & Olsson 2004). Verdien på m er satt lik 2.0 (personlig meddelelse Hans Thunehed). σ_s er satt lik 10^{-5} og er så godt som neglisjerbar.

Archie's lov er egentlig tilpasset homogene sedimentære bergarter (sandstein) men ved å tilpasse (måle) faktorene kan en tilsynelatende porøsitet også beregnes for andre bergarter. En stor feilkilde ved denne tilpassningen vil være tilstedeværelsen av elektronisk ledende mineraler (grafitt, sulfider, oksider, leire).

Akustisk televiver gir et bilde av innvendig borehullsvegg ved å prosessere gangtid og amplitude til en reflektert lydimpuls. Ved å digitalisere bildet kan en identifisere og

beregne sprekker fall og retning. Sprekkefrekvens kan ut fra dette beregnes fortløpende langs hullet.

Fra akustisk televiwer-data beregnes en ovalisasjonslogg og en caliper4 logg. Disse logger er basert på endringer i borehulldiameter som skyldes sprekker og breakouts i borehullet. Ovalisasjonslogg kan også si noe om bergspenninger i hullet med retning til største hovedspenning, se vedlegg 2.

Foliasjonen (fallretning og fallvinkel) er presentert i tabell og i grafisk plott som viser variasjon av fallretning og fallvinkel nedover hullet. Alle sprekker og sprekkesoner er digitalisert med beregning av strøk og fall. Der det er mulig er det beregnet tykkelse (åpning) av sprekke. Prosesserte data er presentert som sprekkestereogram og sprekkefrekvens- histogram.

4. RESULTATER

Som nevnt foran var Brønn Sør blokkert av ras ved ca 450 m. I denne brønnen ble det logget temperatur, ledningsevne i vann, total naturlig gamma og resistivitet. Akustisk televiwer ble logget til 452 m. Løsmassemekthet var 74 m og vanddyb 25 m.

Ras i Brønn Nord blokkerte televiweren ved 444 m (utrasing i hullet), mens temperatursonden og resistivitetssonen passerte rassonen og en fikk logget til 1450 m. Brønnen var boret til ca 1500 m, men påtruffet dårlig fjell fra 1450 m gjorde at risikoen for fastsetting ble vurdert til å være for stor til at logging kunne fortsette. I Brønn Nord var løsmassetykkelsen 80 m og vanddyb 24 m.

4.1 Temperatur, temperaturgradient, ledningsevne og total gamma

Figur 4 og 5 viser temperatur, temperaturgradient, ledningsevne og total gamma i Brønn Sør og Brønn Nord. Gradienten er beregnet ved løpende minste kvadrats gradienter til en rett linje med dybdeintervaller på 20 og 100 m. 20 m gir mer detaljer der lokale variasjoner kan skyldes vanninnstrømning eller bergart med endret varmeledningsevne.

4.1.1 Temperatur og temperaturgradient

Temperaturen ved 449 m (logget dyp) i Brønn Sør er 10.36 °C. Temperaturgradienten ser ut til å ha stabilisert seg fra 200 m dyp. Beregnet gradient under 200 m dyp er 13.5 °C/km. Dette må sies å være svært lavt ut fra tidligere målinger på Østlandet der det flere steder er målt gradienter rundt 20 °C/km (i granittiske bergarter).

I Brønn Nord er temperaturen ved 1448 m dyp 26.17 °C. Beregnet gradient under 200 m er 15.2 °C/km. Hvis en ser på gradienten i samme dyp som i Brønn Sør (200 – 449 m) er den 13.5 °C/km. Dette stemmer bra med den som ble målt i Brønn Sør. På figur 5 ser en tydelig at gradienten ligger over 15 °C/km under 700 m og at den øker

noe mot dypet. Fra 700 – 1448 m er gradienten 16.1 °C/km. Tendensen er altså økende gradient mot dypet. Tabell 3 viser en oversikt over beregnede gradienter.

Tabell 3. Beregnede temperaturgradienter i Brønn Sør og Brønn Nord

Brønn	Dyp (m)	Gradient (°C/km)
Sør	200 - 449	13.5
Nord	200 - 449	13.5
Nord	200 - 700	13.8
Nord	200 -1448	15.3
Nord	700 - 1448	16.1

Til sammenlikning var gradienten ved Berger, Skedsmo, 14.2 °C/km mellom 200 og 700 m.

4.1.2 Elektrisk ledningsevne i vann

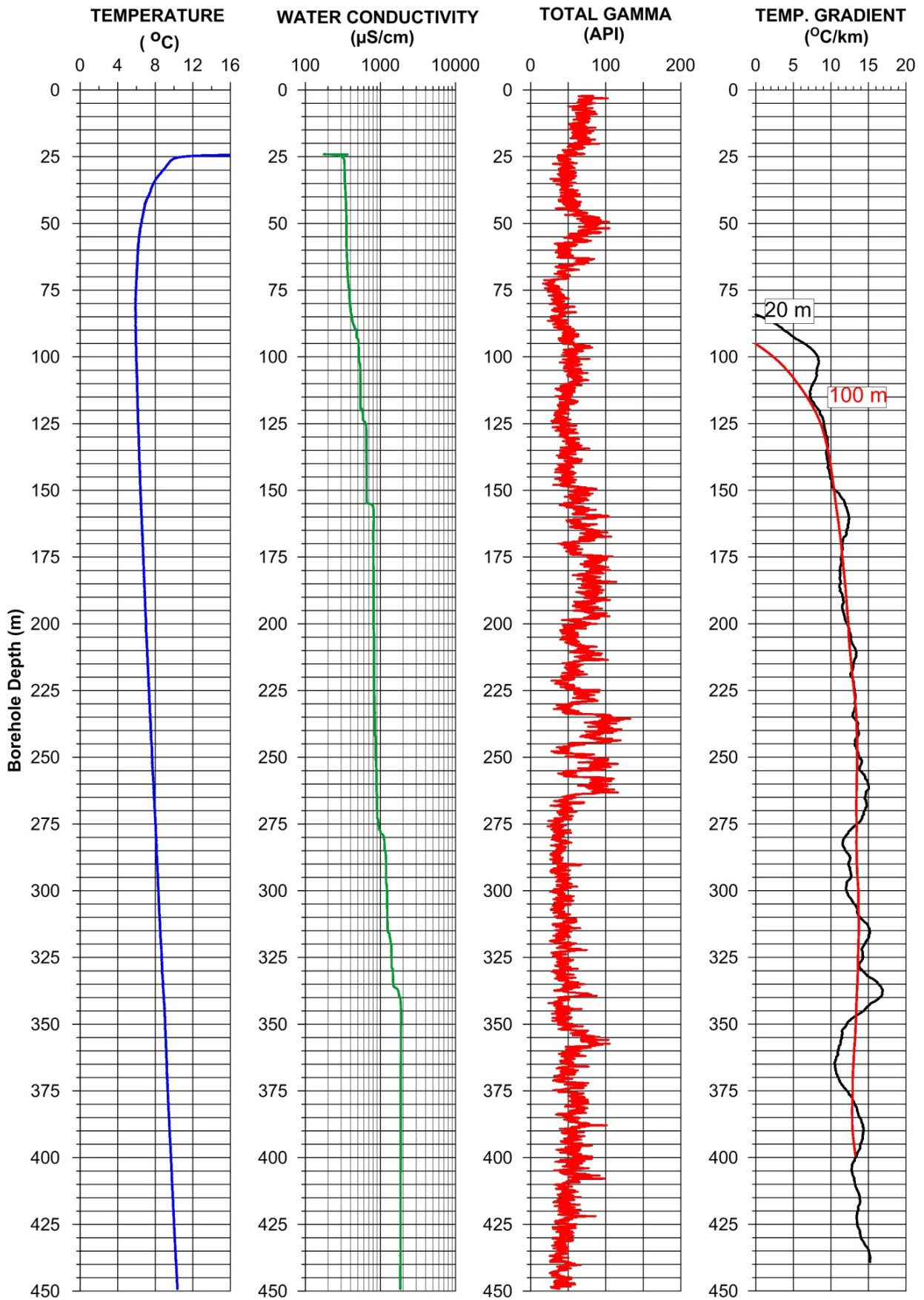
Elektrisk ledningsevne i brønnvannet ble logget i begge hull, se figur 4 og 5. Endringer i ledningsevnen kan bety vannførende sprekker (inn/utstrømning av vann med endrede egenskaper). Det er flere økninger i ledningsevnen mot dypet i begge brønnene. I følge Drikkevannsforskriften er tiltaksgrensen for ledningsevne i drikkevann 2500 µS/cm (250 mS/m) og det skal ikke være korrosivt. I "vanlig" norsk drikkevann er ledningsevnen betydelig mindre (100 – 400 µS/cm).

Ned mot 560 m er ledningsevnen ca 500 µS/cm hvor den øker brått til 2000 µS/cm. Fra ca 850 m dyp skjer en kraftig økning til ca 7000 µS/cm. Den elektriske ledningsevnen i sjøvann ligger i størrelsesorden 40000 – 50000 µS/cm. En kraftig økning ved 1420 m viser over 18000 µS/cm. I bunnen av Brønn Nord har vannet således et tydelig økt saltinnhold. Årsaken til det salte vannet på dypet er at før siste istid gikk Oslofjorden lengre inn i landet enn i dag. Da isen la seg (kanskje 2000 m tykk) ble saltvannet presset ned av den hydrauliske gradienten. Det er trolig rester av dette saltvannet som fremdeles er i dypet under Gardermoen. Sammenhengen mellom endring i ledningsevne og oppsprekking vil bli omtalt senere.

Gammastrålingen er lav i hele brønnen som er normalt for gneiser. En tydelig endring ved 830 m kan tyde på en litt annen sammensetning av gneisen. Fra 1360 – 1420 er det en tydelig økning som nok skyldes en tykk gang/intrusjon med en noe annen mineralsammensetning.

Brønn Sør, Gardermoen

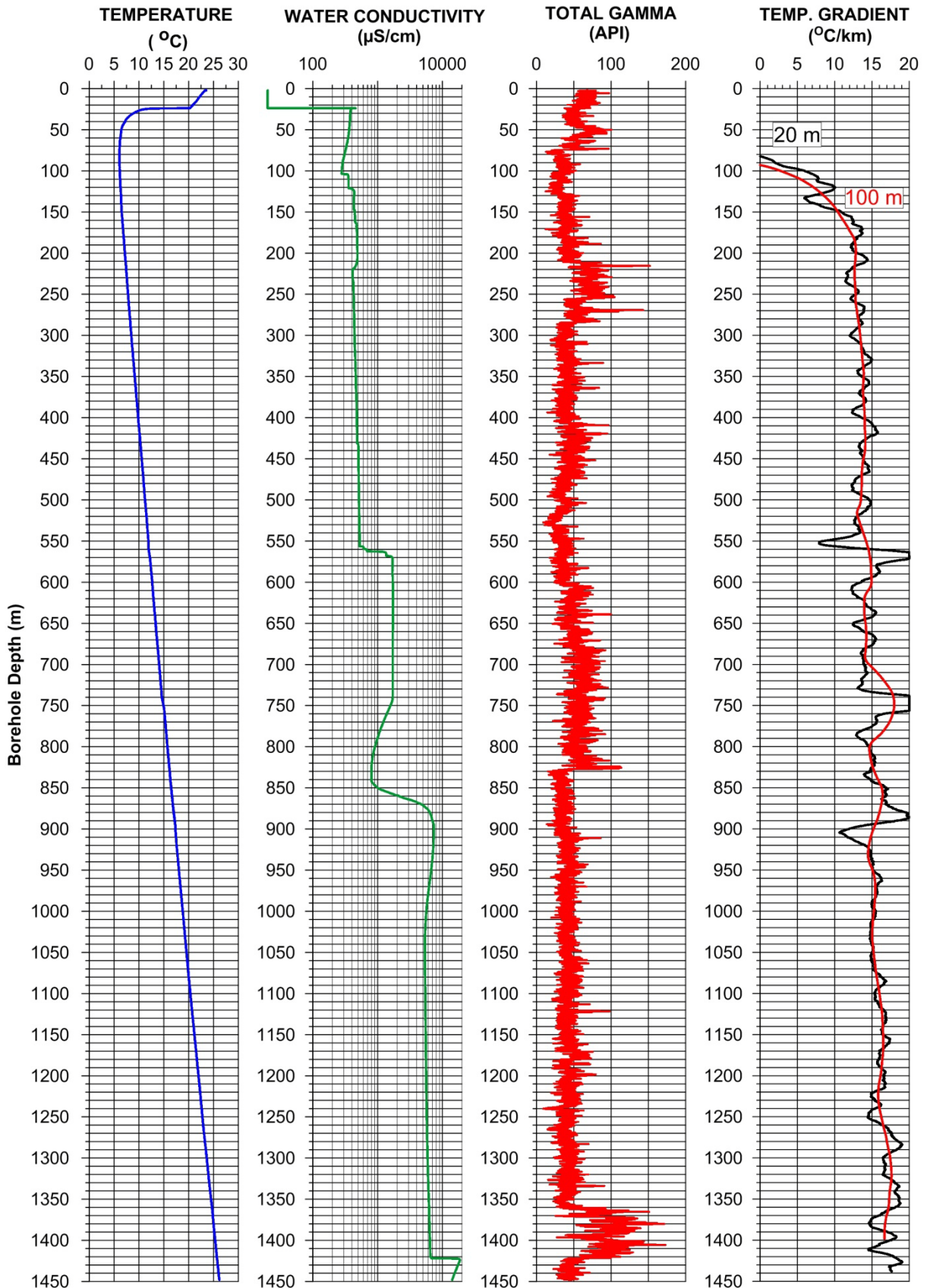
UTM 0617338 E
sone 32 6675844 N



Figur 4. Brønn Sør, temperatur., temperaturgradient, ledningsevne og total gamma

Brønn Nord, Gardermoen

UTM 0617392 E
sone 32 6675894 N



Figur 5. Brønn Nord, temperatur, temperaturgradient, ledningsevne og total gamma

4.2 Resistivitet, SP og tilsynelatende porøsitet

Sammen med resistivitet måles også SP (Selv Potensial). Ved SP måles en egenspenning i bakken som opptrer over gode elektriske ledere som sulfider, grafitt og metalloksider som magnetitt/hematitt. Fra resistivitetsdata kan en beregne en tilsynelatende porøsitet, se kapittel 3.1. Porøsiteten blir feil når en måler over gode ledere. Figur 6 og 7 viser en sammenstilling av alle logger i hhv. Brønn Sør og Brønn Nord.

Resistivitet er en viktig egenskap for å vurdere fjellkvalitet/oppsprekking. Ut fra erfaringsdata fra Lunnertunnelen har NGU kommet fram til følgende modell for å vurdere sprekkesoner med hensyn til vannproblemer og ustabil fjell, ρ = resistivitet (Rønning et al. 2009b). Normale verdier for resistivitet i uoppsprukket gneis ligger i området 4000 -7000 ohmm (Elvebakk 2011).

$\rho > 3000$ ohmm	: Stabilt, massivt fjell
$3000 < \rho < 500$ ohmm	: Vannproblemer kan inntreffe
$\rho < 500$ ohmm	: Risiko for vannproblemer og ustabil fjell, ras.

I Brønn Sør, figur 6, er det tre soner som viser resistivitetsverdier under 1000 ohmm, 100 – 140 m (flere mindre soner), 310 – 335 m og 365 – 375 m dyp. Det er målt verdier ned til 200 – 300 ohmm hvilket indikerer ustabil fjell. Bortsett fra en sone ved ca 125 m er det ingen tydelig sammenheng med endringer i vannets ledningsevne. Sonen ved 370 m dyp gir svak SP anomali og kan indikere små mengder sulfider. Sammenheng mellom resistivitet og akustisk televiwer vil bli vist senere.

I Brønn Nord, figur 7, er det mange soner (sprekker) med resistivitet under 1000 ohmm. Lavest verdi er målt 1420 m dyp der ledningsevnen i vann øker kraftig. Dette kan tyde på at dette er en vannførende sprekk.

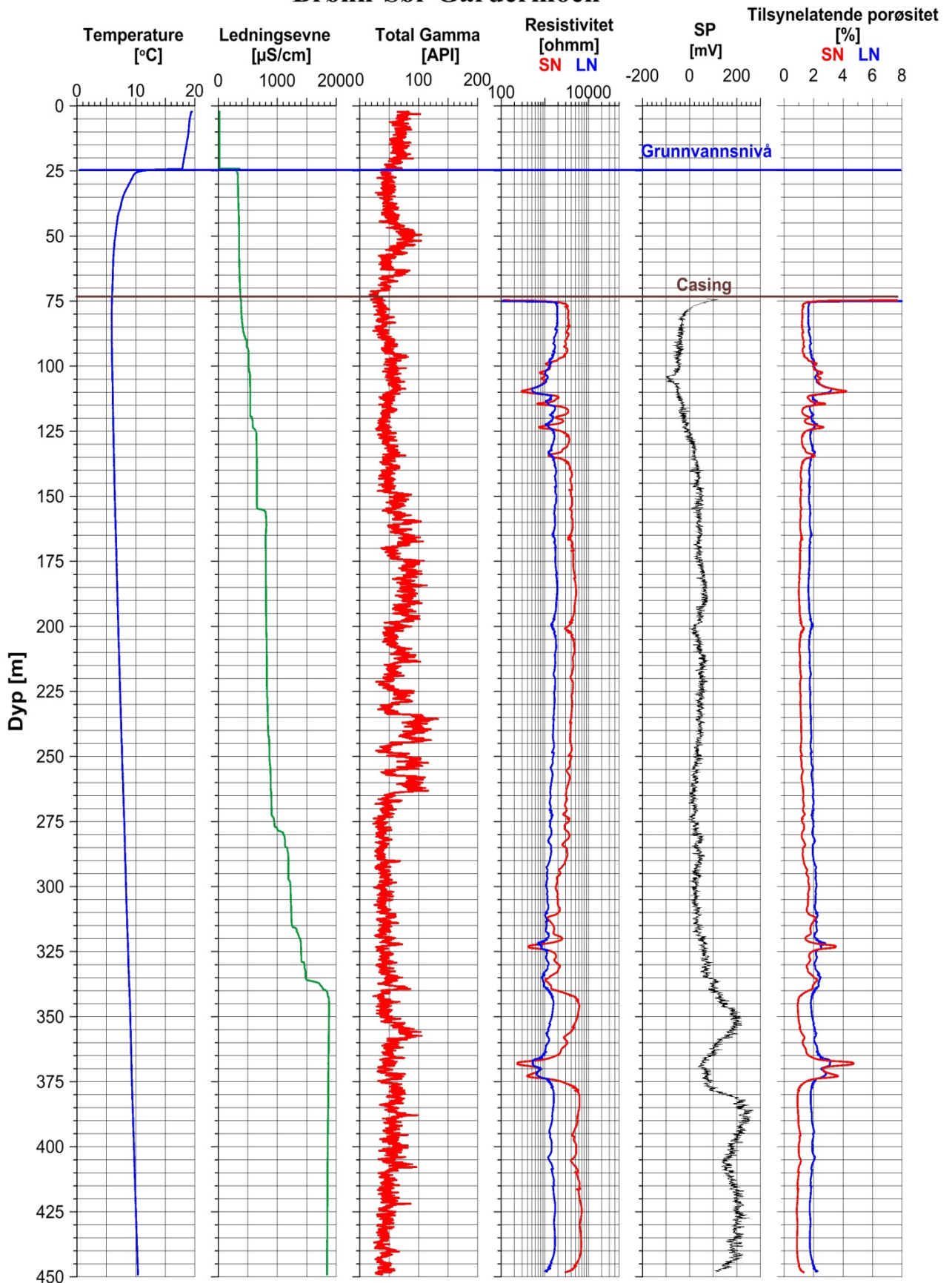
I området 430 – 460 indikeres flere sprekkesoner (200 – 500 ohmm). Det var like under en av disse at akustisk televiwer stoppet, trolig på grunn av utrast stein. Mellom 525 og 560 m dyp er det flere sprekkesoner, den dypeste ved 560 m er sammenfallende med en tydelig økning i vannets ledningsevne. Her ser en også en tydelig endring i temperaturgradienten (figur 5, 20 m) som bekrefter at det er en vannførende sprekk. En sprekkesone ved ca 730 m faller sammen med en svak nedgang i ledningsevnen.

Den forholdsvis store forskjellen på SN og LN, særlig mot dypet, skyldes trolig at det salte grunnvannet påvirker LN målingene mest. Det er korrigert for ledningsevnen i selve hullet, men ikke for porevannet i fjellet utenfor.

Porøsiteten er ikke uventet et speilbilde av resistiviteten. I uoppsprukket gneis er porøsiteten 1 – 2 %.

SP gir ingen indikasjoner på sulfider eller andre ledende mineraler. Svak forhøyet SP sammenfaller med forhøyet gammastråling ved 1360 – 1420 m dyp.

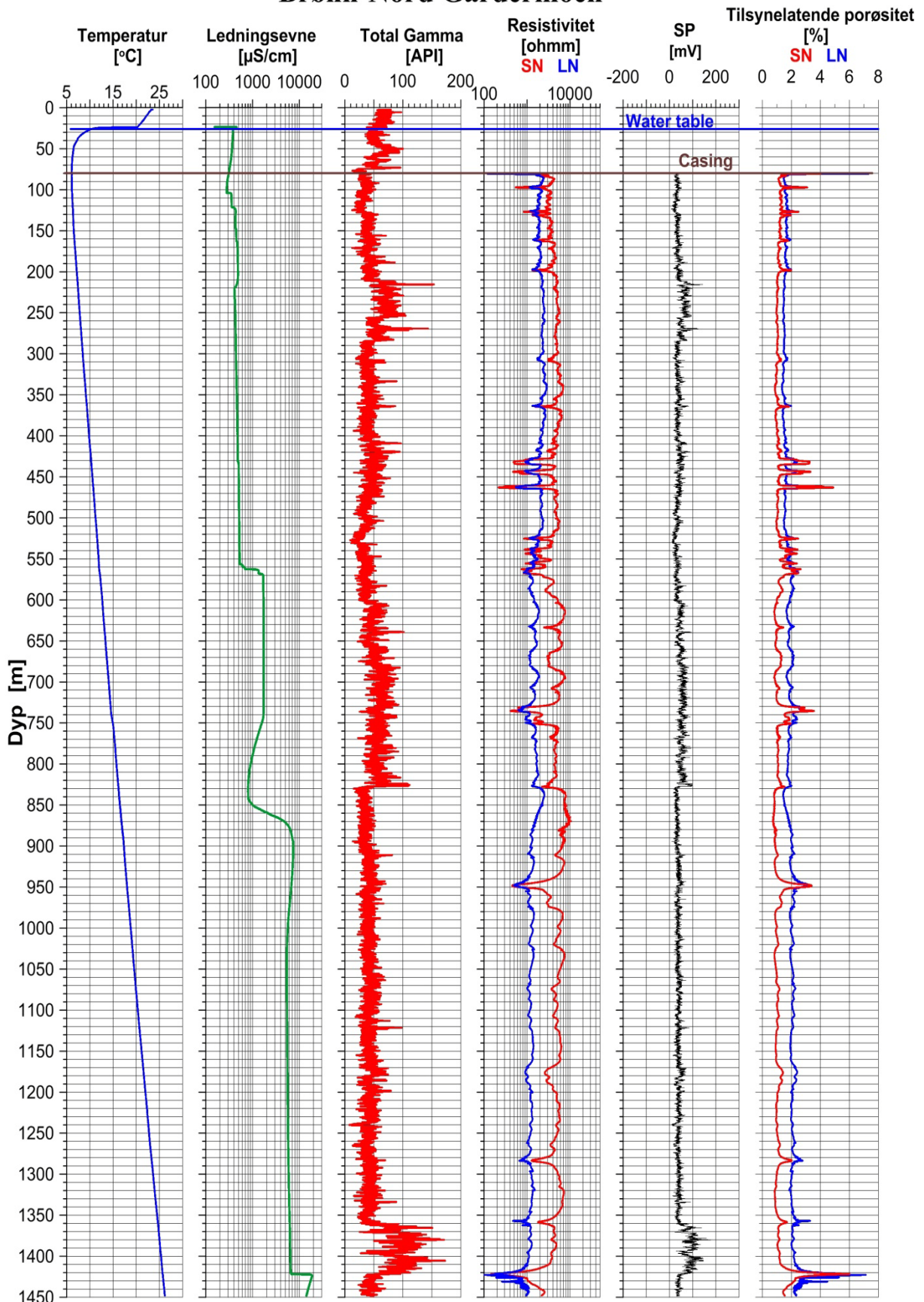
Brønn-Sør Gardermoen



Figur 6. Brønn Sør. Temperatur, ledningsevne, total gamma, resistivitet, SP og porøsitet

UTM 0617392 E
sone 32 6675894N

Brønn-Nord Gardermoen



Figur 7. Brønn Nord. Temperatur, ledningsevne, total gamma, resistivitet, SP og porøsitet

4.3 Akustisk televiwer Brønn Sør

Logging med akustisk televiwer ble gjort i begge brønner ned til ca 450 m. I Brønn Sør stoppet sonden ved 452 m og i Brønn Nord ved 444m. Det ble oppdaget svære sprekker like over der sonden stoppet. En antar at utrast stein fra disse sprekke blokkerte brønnen.

Alle observerte sprekker på televiweropptakene er digitalisert og fallretning (azimuth) og fallvinkel til sprekke er beregnet. Data presenteres som sprekkestereogram og sprekkefrekvenshistogram. Til venstre på figurene med histogram vises hver enkel sprekke med fallvinkel og fallretning. Pilplottene viser fallretning i pilens retning der nord er opp. Øverst er det en skala som viser fallvinkel.

4.3.1 Sprekkefrekvenshistogram og stereogram

Figur 8, 9 og 10 viser sprekkefrekvenshistogram for observerte sprekker i Brønn Sør. Det er viktig å være klar over at en stor, åpen sprekke (liten sprekkefrekvens) kan gi lavere resistivitet enn mange små som gir høy frekvens. Til høyre på plottet er resistivitet for samme del av borehullet lagt inn. Vedlegg 3 viser tabell med sprekke data.

Det er observert mange sprekker mellom 95 og 130 m dyp med en sprekkefrekvens på opp mot 4 sprekker/meter, se figur 8. Oppsprekningen samsvarer godt med lave resistivitetsverdier.

På figur 9, vises sprekkefrekvens og resistivitet for 200 – 320 m dyp. Det er ingen spesielle hendelser her selv om det finnes noen sprekker.

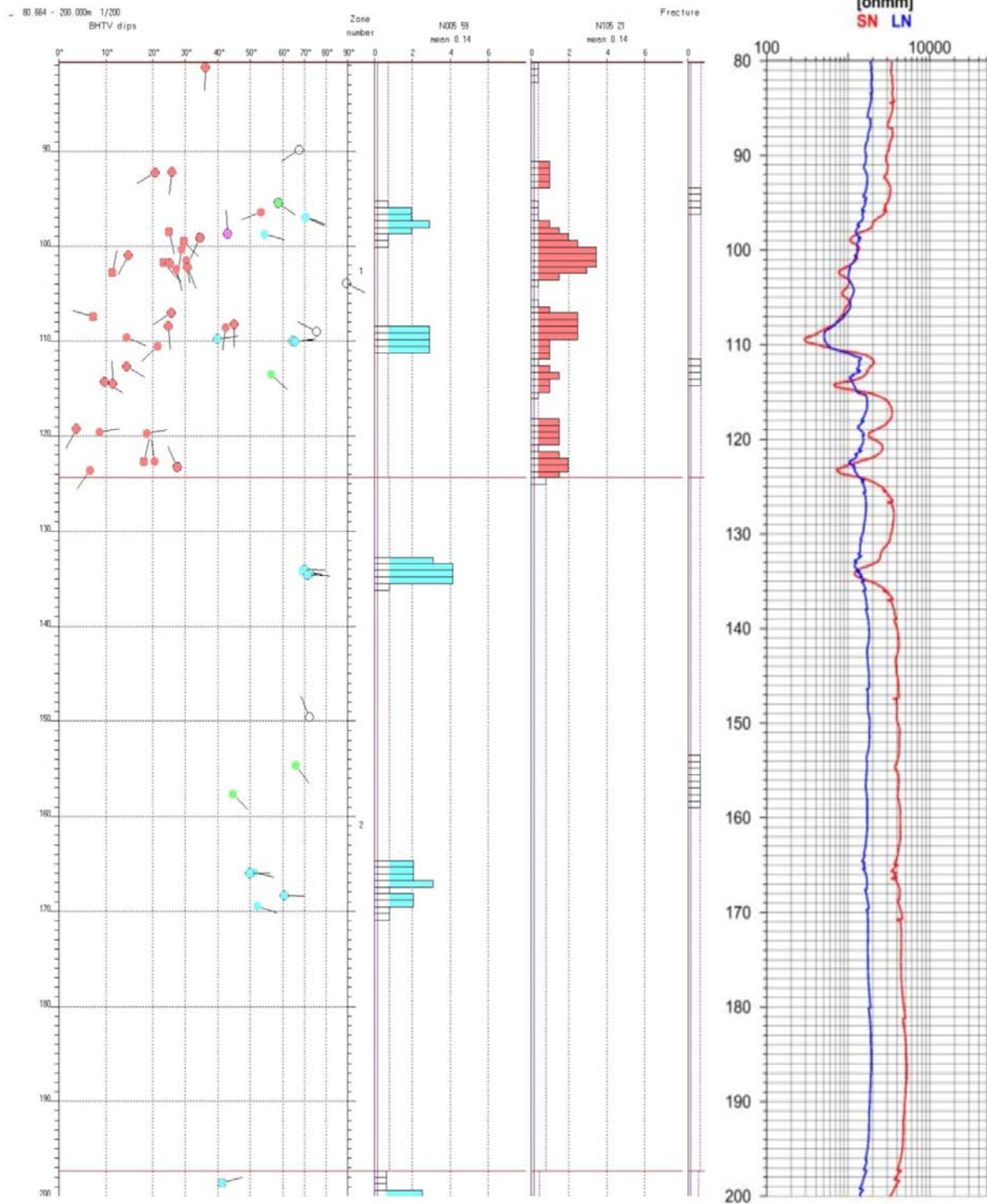
På figur 10, 320 - 450 m, er det soner med lav resistivitet som faller sammen med sprekker indikert med televiwer, spesielt ved 330 - 340 m og 368 m.

Figur 11 viser sprekkestereogram for alle observerte sprekker i Brønn Sør. Det er definert fire forskjellige sprekkegrupper (fargede sirkler) og gjennomsnittlig strøk og fall er beregnet for hver gruppe. Tabellen på figuren viser dette. Strøkretingen (som pr. definisjon er fallretning – 90°) varierer mye. De fleste sprekke har steilt fall.

Figur 12 viser rosedigram, fallretning (azimuth) og fallvinkel, for alle idikerte sprekker. De fleste sprekker faller mot øst-sørøst, men en gruppe faller også mot nord. Fallvinkel er mellom 40° og 80° .

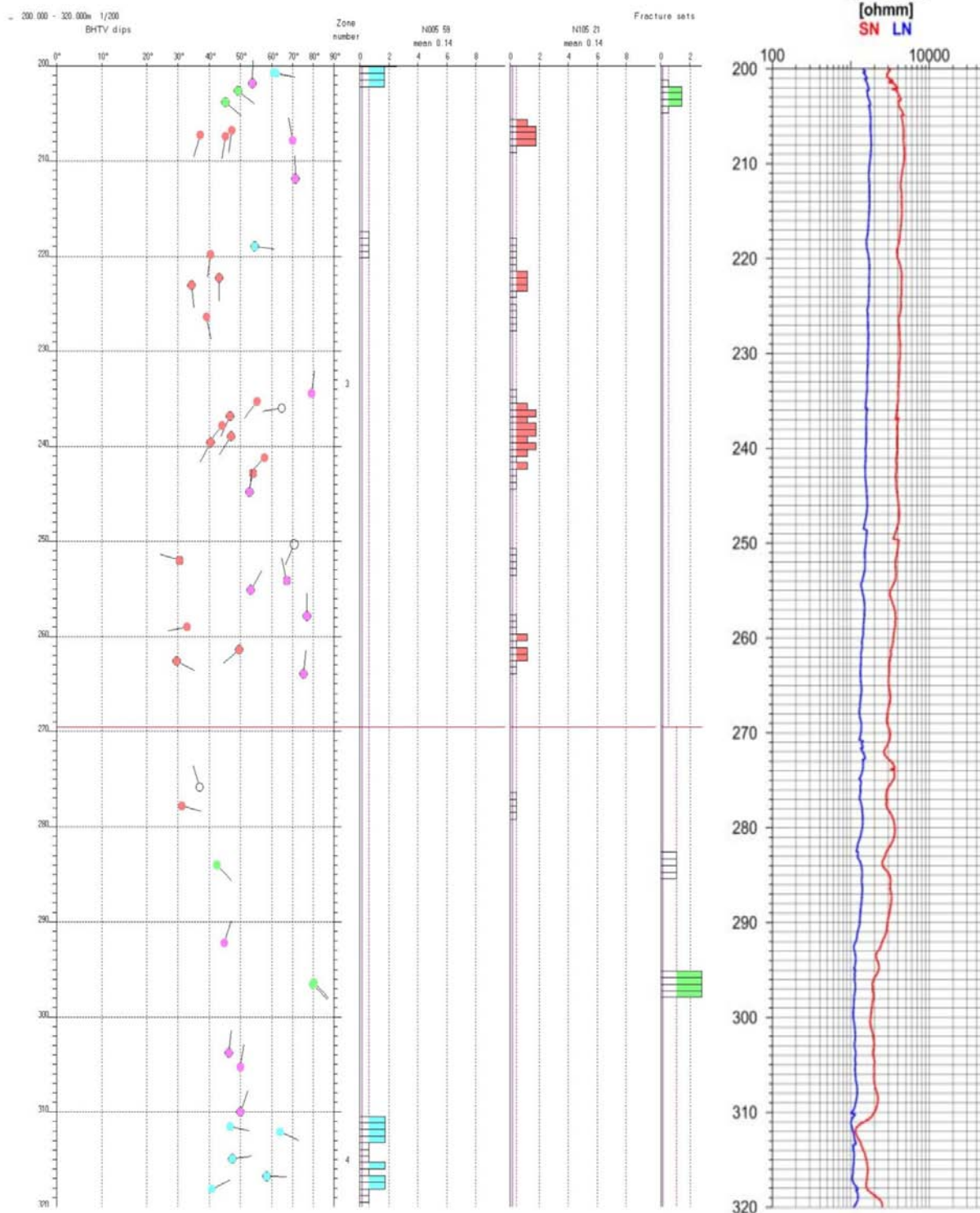
Figur 13 viser utvalgte deler av bildelogg fra akustisk televiwer i Brønn Sør. Til venstre vises et oppsprukket område fra 98 – 111 m. I midten kan en se en gang med noe lysere bergart fra 235 – 245 m dyp. Til høyre viser åpen sprekke ved 450 - 452 m dyp. Like nedenfor denne sprekken stoppet sonden på 452.3 m. Dette vises som vertikale parallelle striper på bildet, da data fra samme dyp registreres mens vinsjen går.

Sprekkefrekvens akustisk televiewer



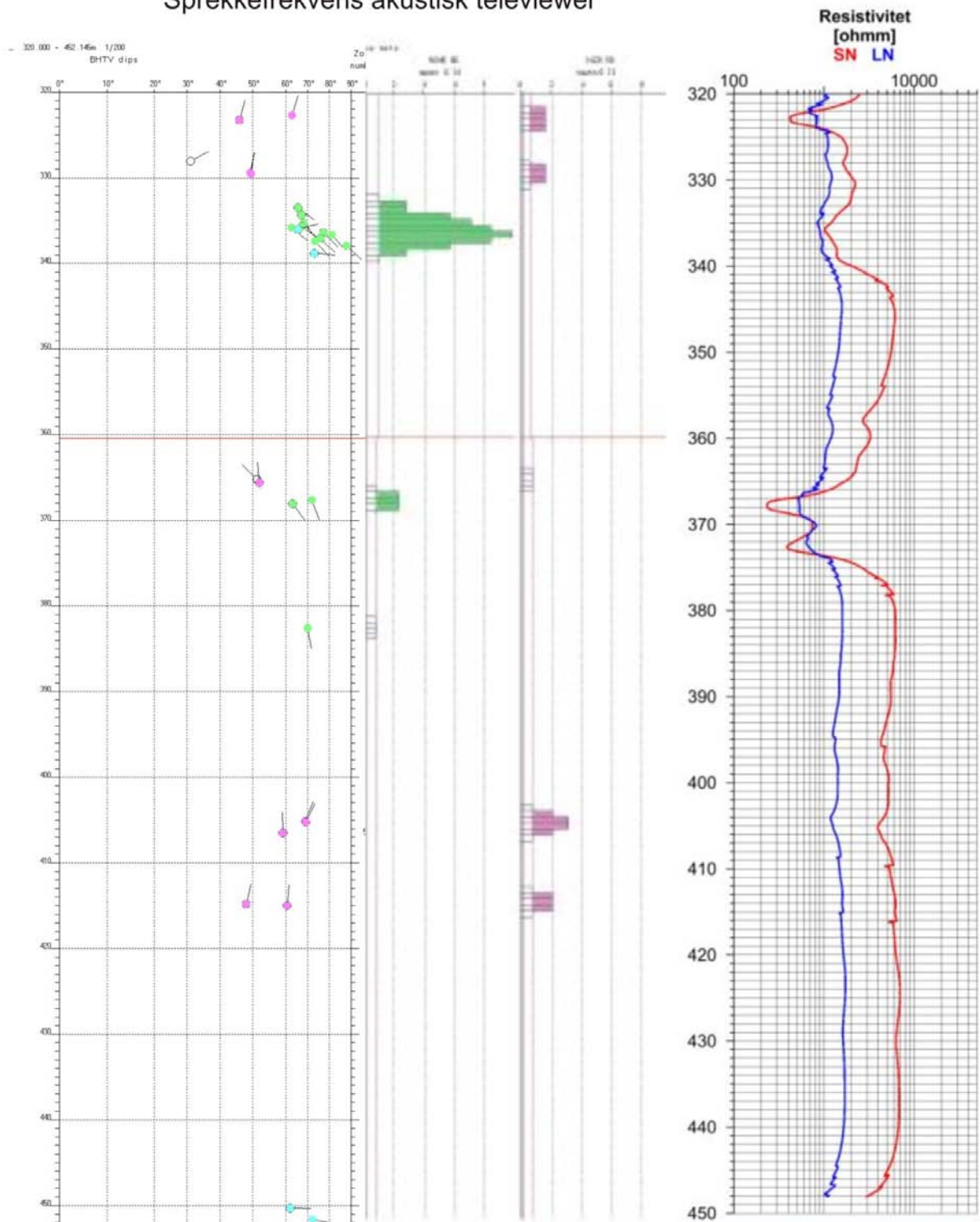
Figur 8. Brønn Sør, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 80 – 200 m.

Sprekkefrekvens akustisk televiewer

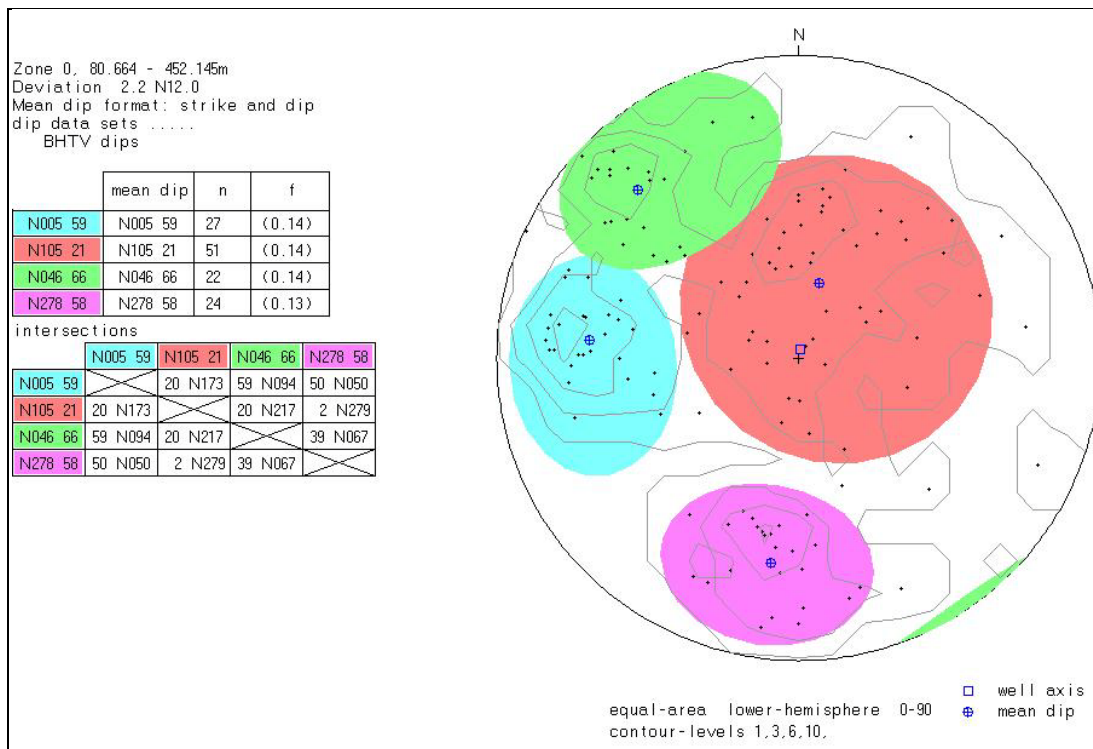


Figur 9. Brønn Sør, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 200 - 320 m.

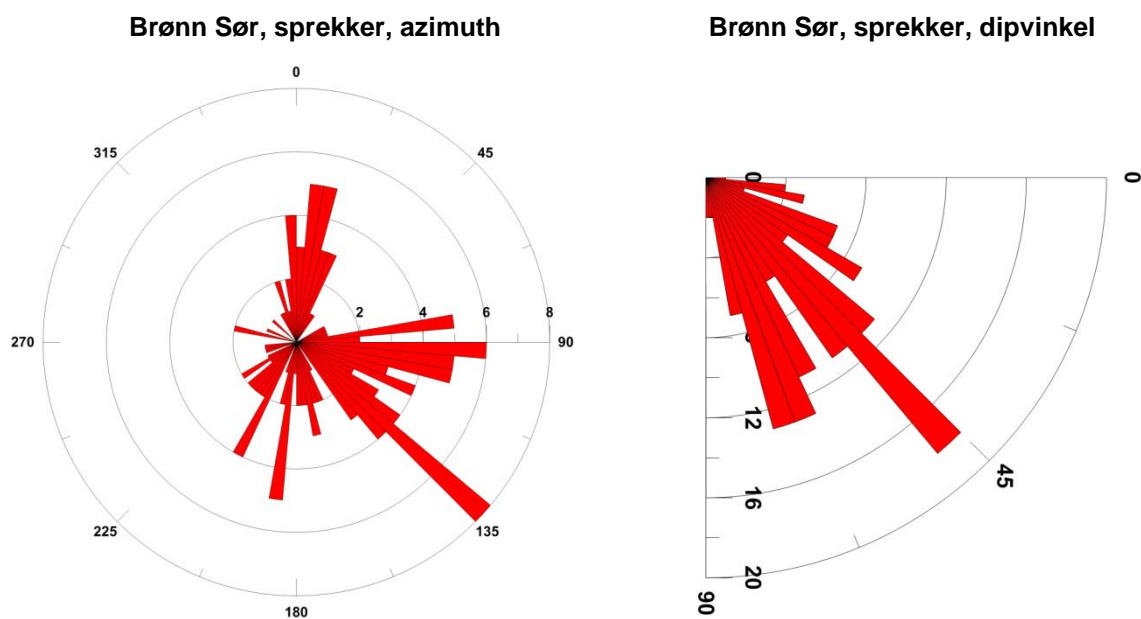
Sprekkefrekvens akustisk televiewer



Figur 10. Brønn Sør, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 320 – 450 m.

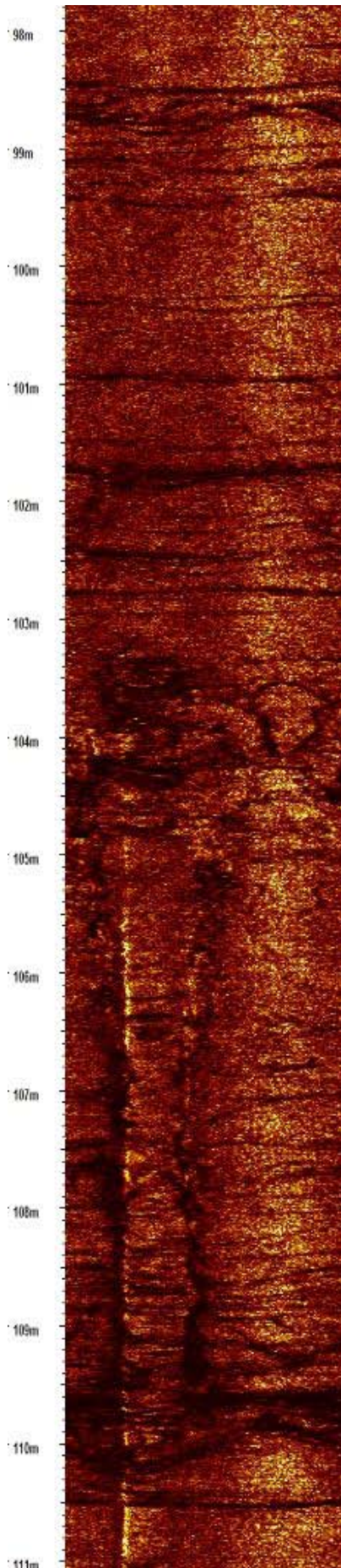


Figur 11. Brønn Sør, Sprekkestereogram.

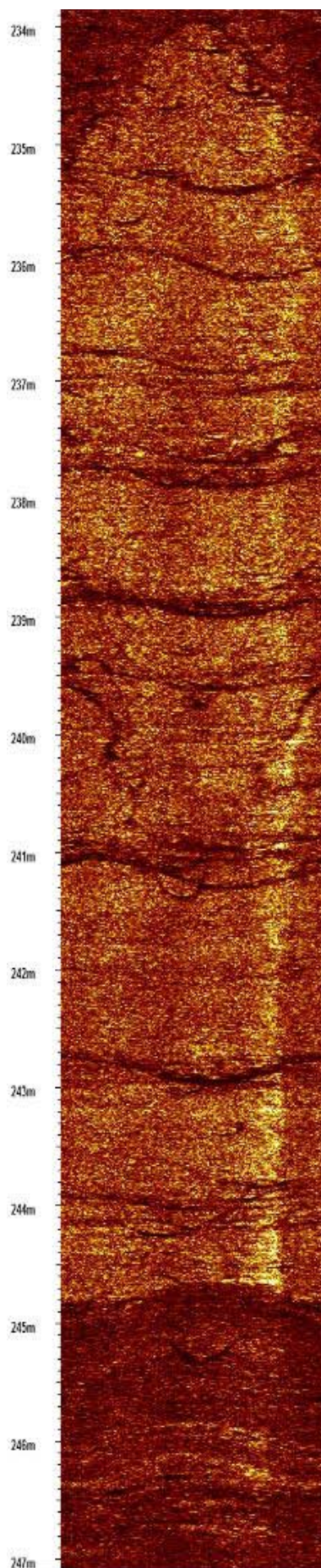


Figur 12. Brønn Sør. Indikerte sprekkers fallretning (venstre) og fallvinkel (høyre).

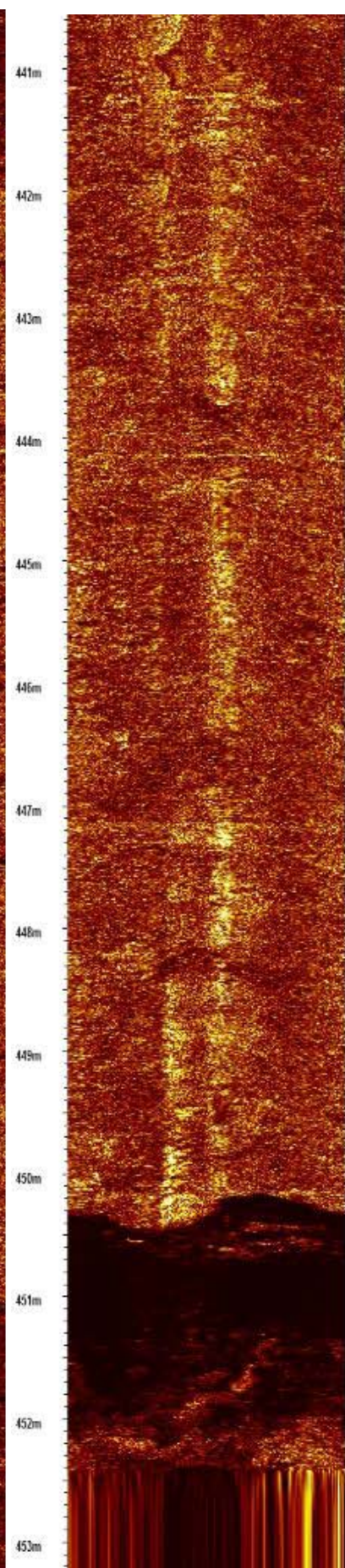
Brønn Sør 98-111m



Brønn Sør 234-247m



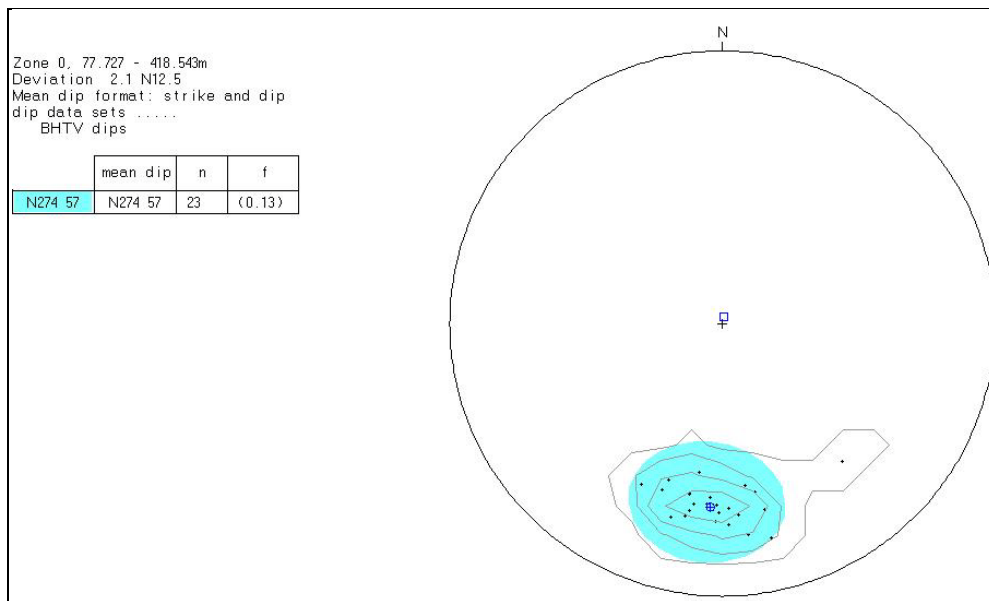
Brønn Sør 441-453



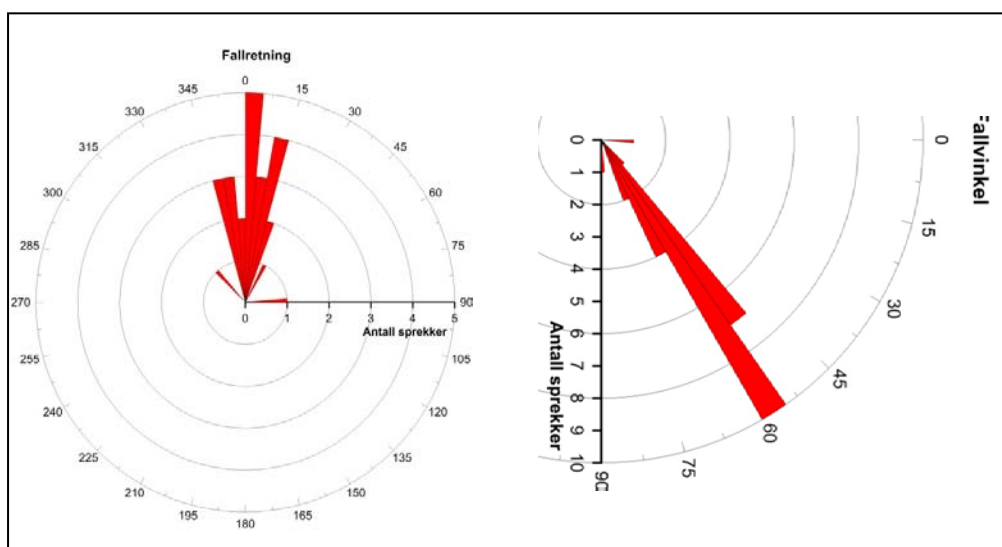
Figur 13. Brønn Sør, akustiske televiever, 98-111 m, 234 -247 m og 441-453 m.

4.3.2 Foliasjon i Brønn Sør

Der det er mulig å observere er det målt foliasjon (fallretning og fallvinkel) på bergartene i brønnen. Det var generelt vanskelig å observere lagdeling i denne gneisen. Data fra akustisk televiver er brukt til dette med digitalisering av strukturer som viser lagdeling. Resultatet er vist som stereogram i figur 14, med et gjennomsnittlig strøk/fall på N274 57. Fallretning blir da $274 + 90 = N004$, dvs. nesten nordlig fall. De samme data er vist i rosediagram i figur 12.



Figur 14. Brønn Sør. Stereogram av beregnet foliasjon.



Figur 15. Brønn Sør. Rosediagram av beregnet foliasjon.

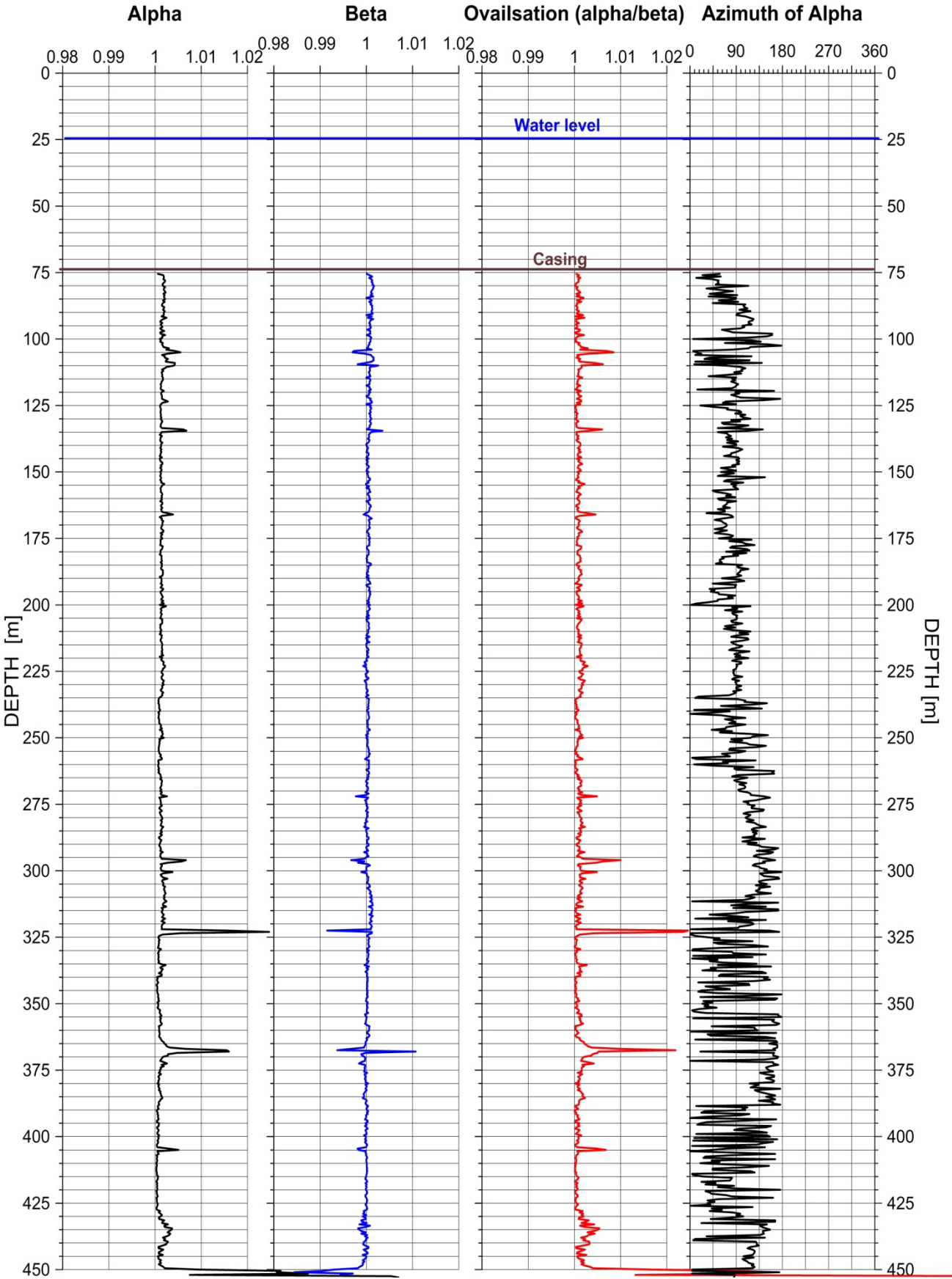
4.3.3 Diameter og ovalisasjon i Brønn Sør

Ved akustisk televierer sendes en lydimpuls ut fra sonden mot borehullsveggen. 2-vegs gangtid måles og sammen med lydshastigheten i vann kan diameteren beregnes. Ved sprekker kan diameteren øke eller minke om stein skvises ut i hullet på noen måter. Ved å måle diameteren i forskjellige retninger kan også ovalisasjonen beregnes. Dersom en har tydelig breakouts i hullet kan det tyde på sterke bergspenninger (horisontalspenninger). Retningen til største horisontalspenning kan beregnes da den er vinkelrett på retningen (azimuth) til breakouts. I Vedlegg 2 er dette forklart nærmere.

Det er i Brønn Sør ikke oppdaget breakouts som kan skyldes store horisontalspenninger. Endringer i ovalisasjonen (maks diameter/min diameter) kan likevel observeres i forbindelse med sprekker. Figur 16 viser ovalisasjonslogg for Brønn Sør. Alpha og Beta er normalisert maksimum og minimum diameter. De utslagene en ser på kurvene er relatert til sprekker. Azimuth til Alpha varierer mye. I dette tilfellet sier den egentlig ingenting da en ikke har noen tydelig breakouts. Dessuten var sentraliseringsfjærene litt for små, og sonden blir ikke helt sentrert. Dette vil også påvirke målingene.

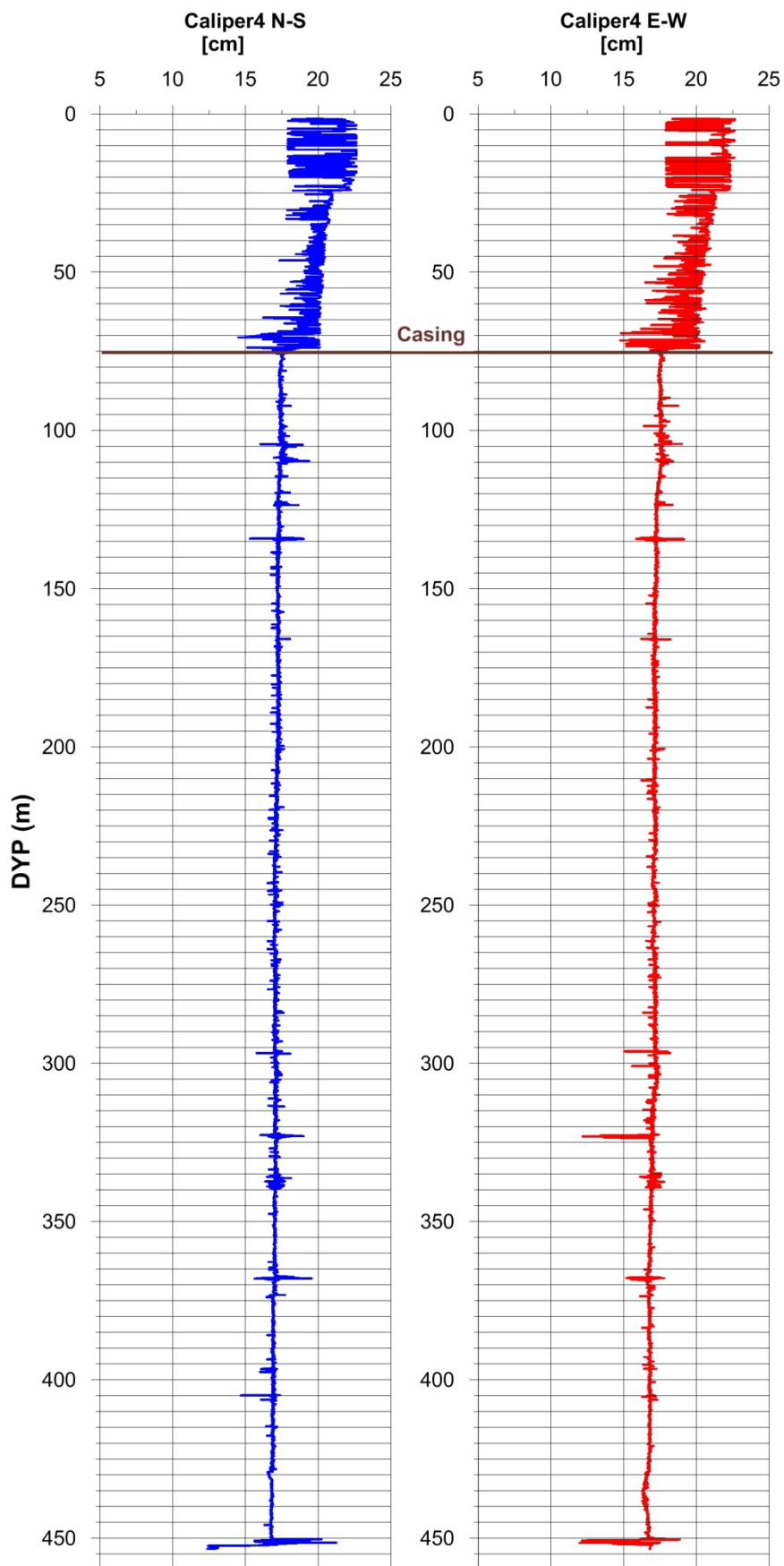
Figur 17 viser beregnet diameter (Caliper-4) i Brønn Sør i NS- og ØV-retning. Det er mye støy på målingene inne i casingen, men det ser ut som om diameteren er ca 22 cm de øverste 25 m og deretter ca 20 cm. I fjell (fra 74 m) er diameteren i begge retninger ca 17 cm. Den ser ut til å avta svakt mot dypet. Dette kan skyldes endringer i vanntemperaturen (øker) som igjen påvirker lydshastigheten i vann. Det er observert både økende og minkende diameter i brønnen. Et eksempel er vist i figur 18 fra den åpne sprekken ved 450 – 452 m der en ser både økning og minking av diameteren. Ellers i brønnen registreres endring i diameter ved indikerte sprekker. På figur 19 er det vist 10 tverrsnitt av brønnen ved to dyp, 323.5 m og 352 m. Det er radius som er plottet. Det er 1 mm mellom hvert snitt. Ved 352 m er det ingen sprekker og diameteren er ca 17 cm. Ved 323 m er det vist seksjoner over en sprekke og hullet er ikke sirkulært.

Brønn sør Gardermoen, Ovalisation

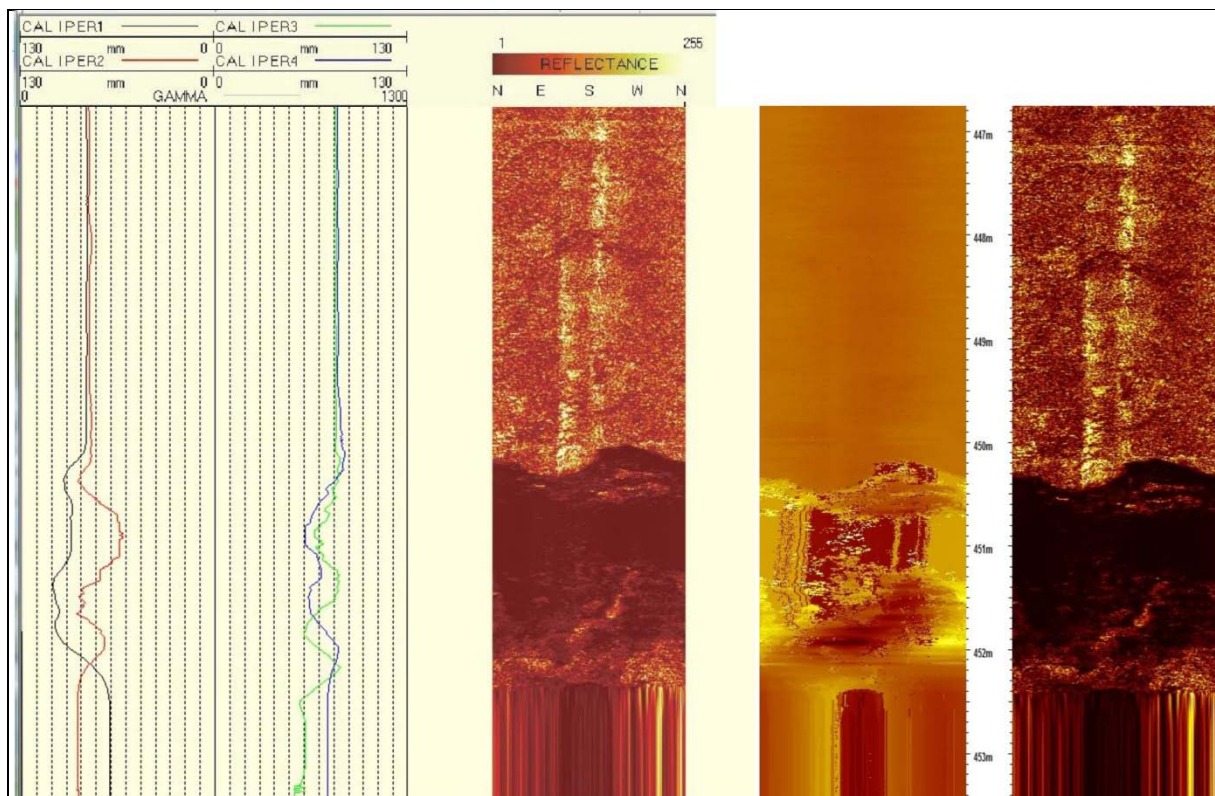


Figur 16. Brønn Sør. Ovalisasjonslogg

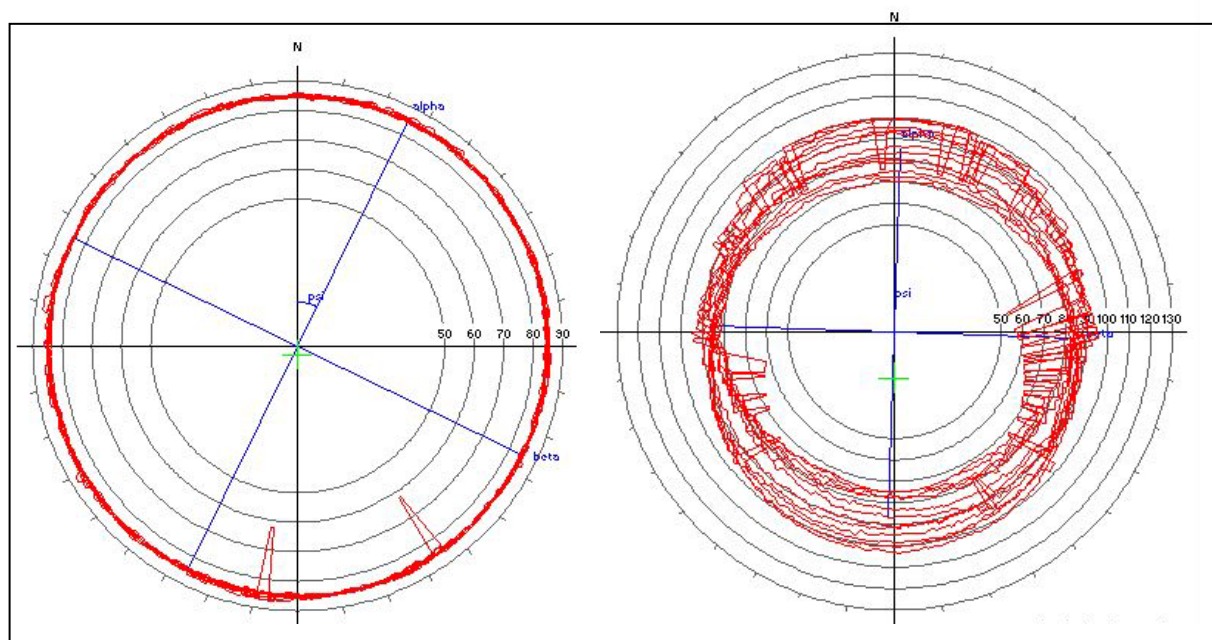
Gardermoen Brønn Sør



Figur 17. Brønn Sør. Beregnet brønndiameter.



Figur 18. Brønn Sør. Beregnet diameter (radius) ved åpen sprekk ved 450 - 452 m.



Figur 19. Brønn Sør. Tversnitt av brønn ved 323 og 352 m dyp.

4.4 Akustisk televiwer Brønn Nord

Som nevnt i kapittel 4.3 stoppet akustisk televiwer i Brønn Nord ved 444m like under en åpen sprekk. Det ble også oppdaget åpne sprekker 10 -15 m over der sonden stoppet. En antar at utrast stein fra disse sprekkene blokkerte brønnen.

Alle observerte sprekker på televiweropptakene er digitalisert og fallretning (azimuth) og fallvinkel til sprekkene er beregnet. Data presenteres som sprekkestereogram og sprekkfrekvenshistogram. Til venstre på figurene med histogram vises hver enkel sprekk med fallvinkel og fallretning. Pilplottene viser fallretning i pilens retning der nord er opp. Øverst er det en skala som viser fallvinkel.

4.4.1 Sprekkfrekvenshistogram og stereogram

Figur 20, 21 og 22 viser sprekkfrekvenshistogram for observerte sprekker i Brønn Nord. Det er viktig å være klar over at en stor, åpen sprekk (liten sprekkfrekvens) kan gi lavere resistivitet enn mange små som gir høy frekvens. Til høyre på plottet er resistivitet for samme del av borehullet lagt inn. Vedlegg 4 viser tabell med sprekkedata.

Oppsprekkingen er tydelig størst de øverste 220 m. På figur 20 er tydelige sprekkesoner observert ved 97 m, 127 m, 162 m og 198 m. Oppsprekkingen samsvarer godt med lave resistivitetsverdier.

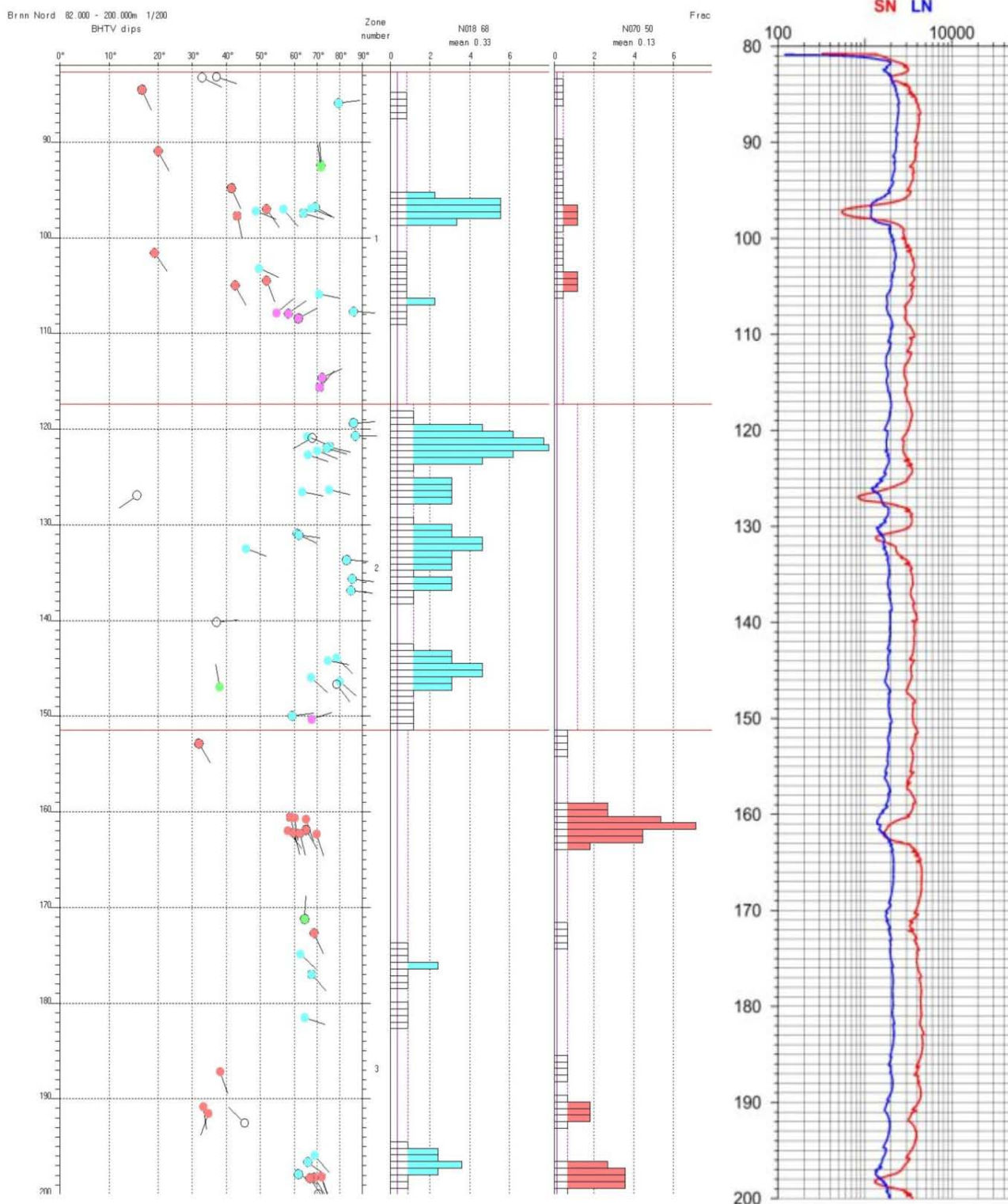
På figur 21, 200 – 320 m, er det lite sprekker, mens det på figur 22, 320 – 450 m, er soner med høy sprekkfrekvens ved 364 m, 428 – 435 m, og 444 – 446 m. De to dypeste sonene er tydelige åpne sprekker og det var under sonen på 444 m at sonden stoppet. Disse sonene indikeres også tydelig på resistiviteten, til høyre på figur 22.

Figur 23 viser sprekkestereogram for alle observerte sprekker i Brønn Nord. Det er definert fire forskjellige sprekkegrupper (fargede sirkler) og gjennomsnittlig strøk og fall er beregnet for hver gruppe. Tabellen på figuren viser dette. Strøkretningen (som pr. definisjon er fallretning – 90°) varierer mye. De fleste sprekkene har steilt fall.

Figur 24 viser rosedigram, fallretning (azimuth) og fallvinkel, for alle indikerte sprekker. De fleste sprekker faller mot øst-sørøst, men noen faller også mot nord. Fallvinkel er mellom 50 og 70 °.

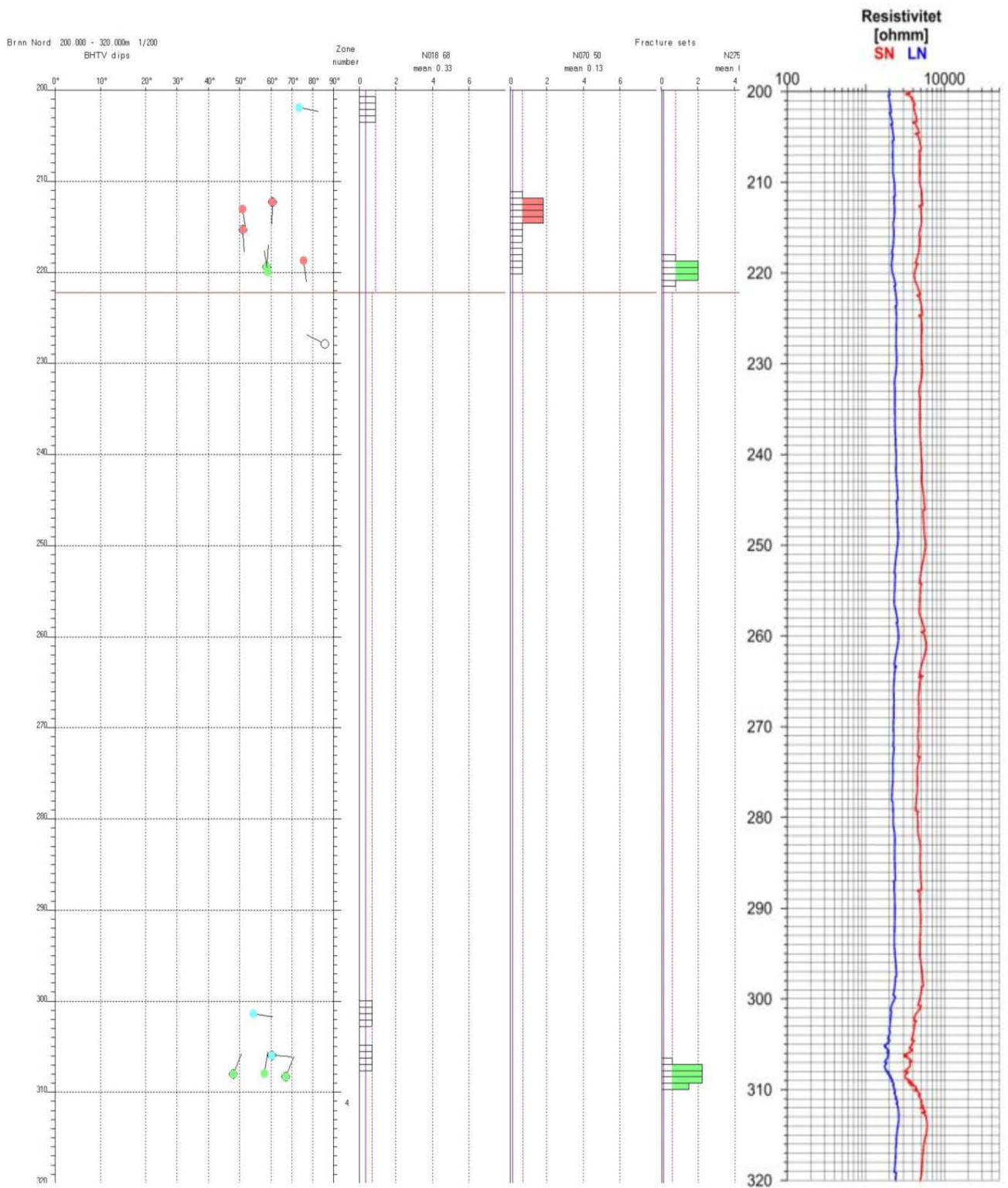
Figur 25 viser utvalgte deler av bildelogg fra akustisk televiwer i Brønn Nord. Til venstre vises logg fra 91 -102 m. Tydelige sprekker observeres ved 92 og 97 m. I midten ser en tydelig oppsprekking ved 119-123 m og 126 – 127 m dyp. Til høyre ser en tydelige store åpne sprekker mellom 429 og 434 m. Utrasing fra disse kan også ha medvirket til at sonden stoppet nedenfor sprekk på 444 m.

Sprekkefrekvens akustisk televierer



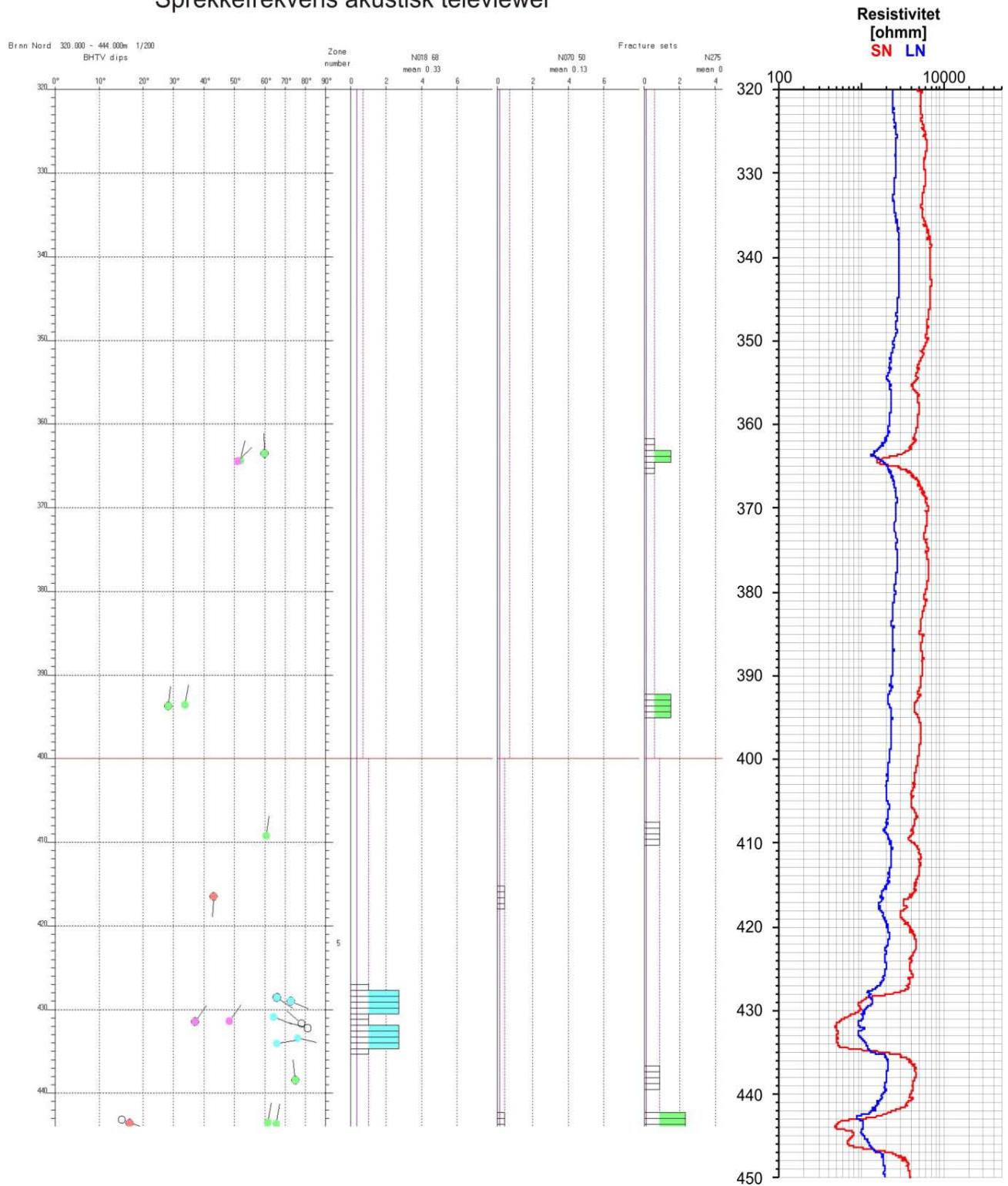
Figur 20. Brønn Nord, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 80 - 200 m.

Sprekkefrekvens akustisk televiver

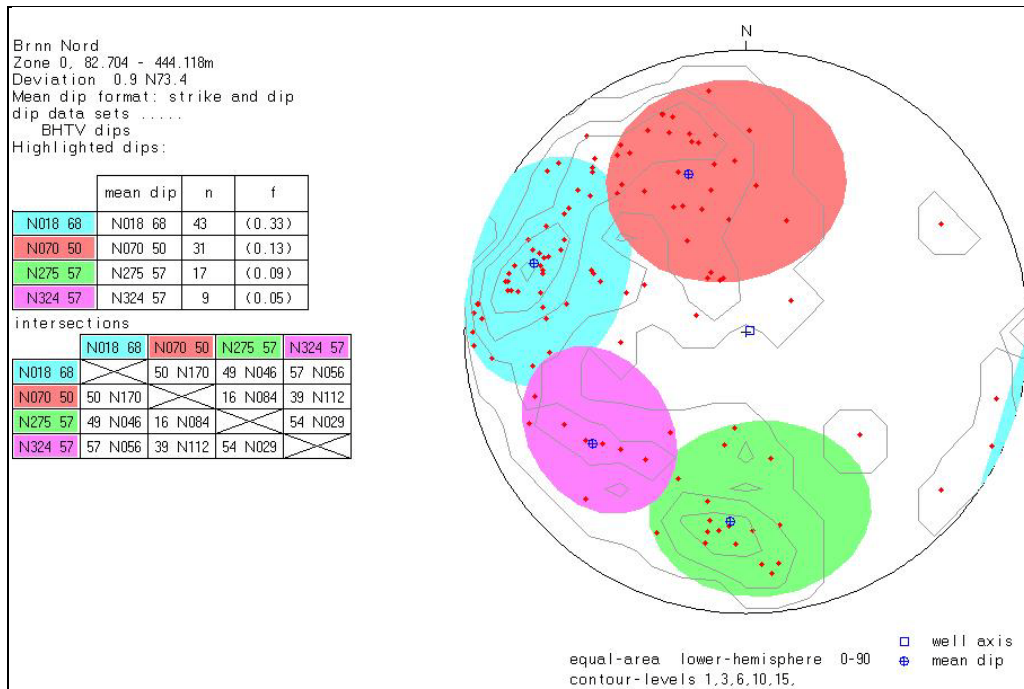


Figur 21. Brønn Nord, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 200 - 320 m.

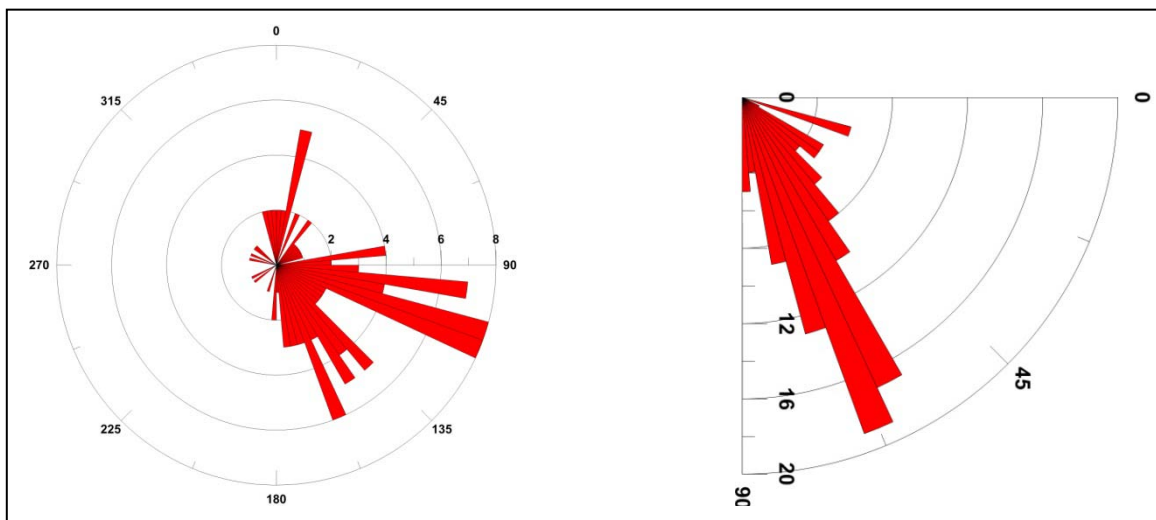
Sprekkefrekvens akustisk televiver



Figur 22. Brønn Nord, sprekkfrekvenshistogram og resistivitet, 320 - 450 m.

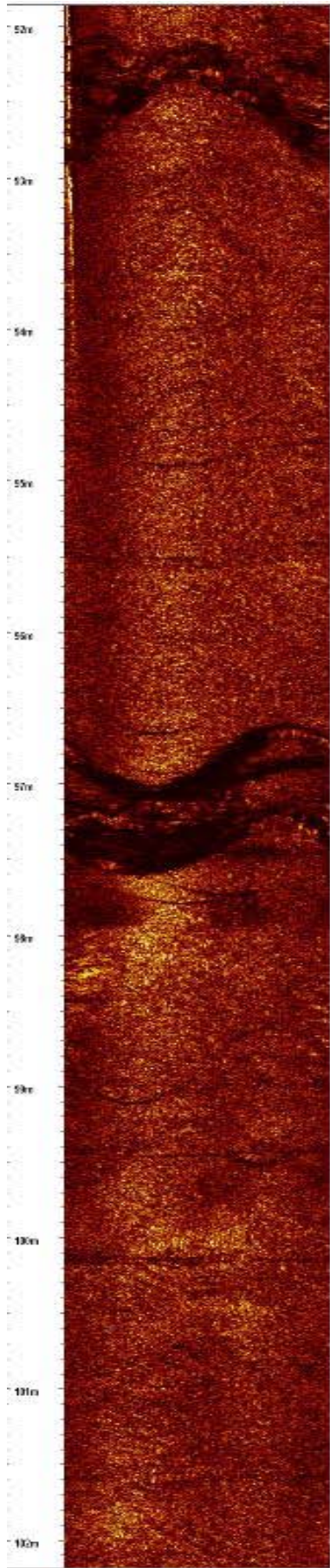


Figur 23. Brønn Nord. Sprekkestereogram.

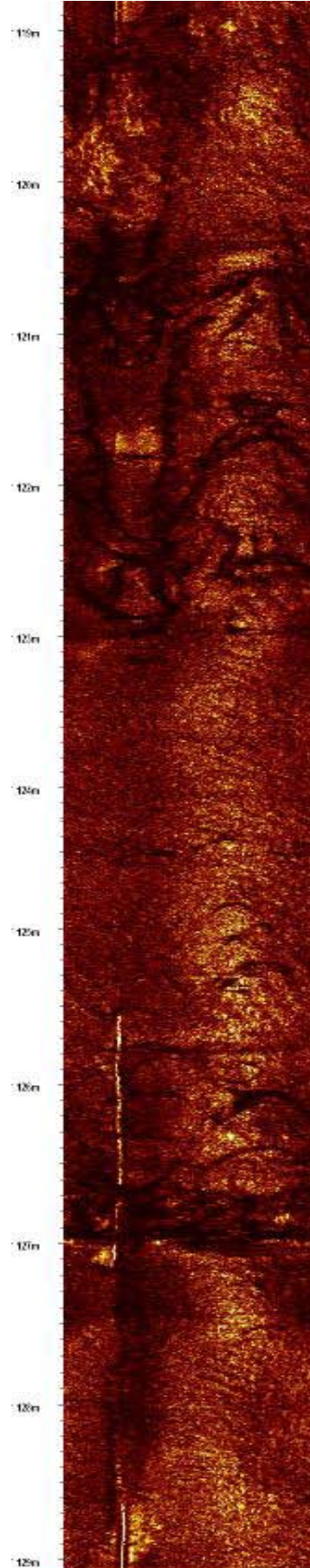


Figur 24. Brønn Nord. Indikerte sprekkers fallretning (venstre) og fallvinkel (høyre).

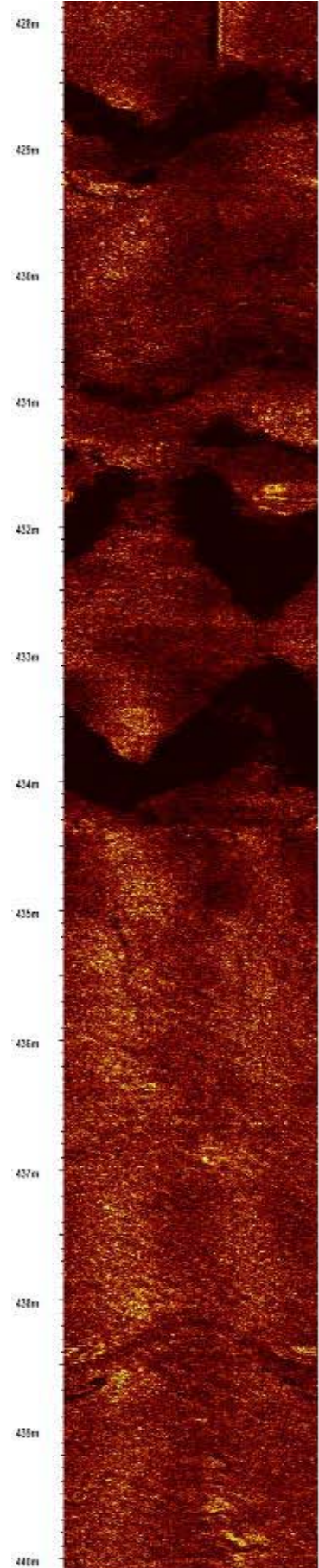
Brønn Nord 92-102m



Brønn Nord 119-129m



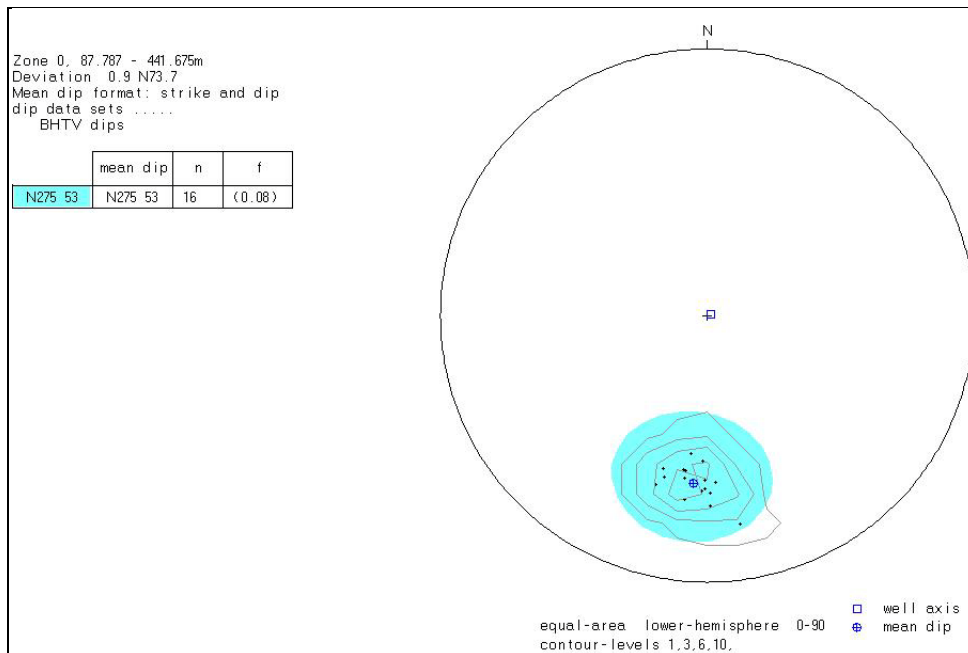
Brønn Nord 428-440m



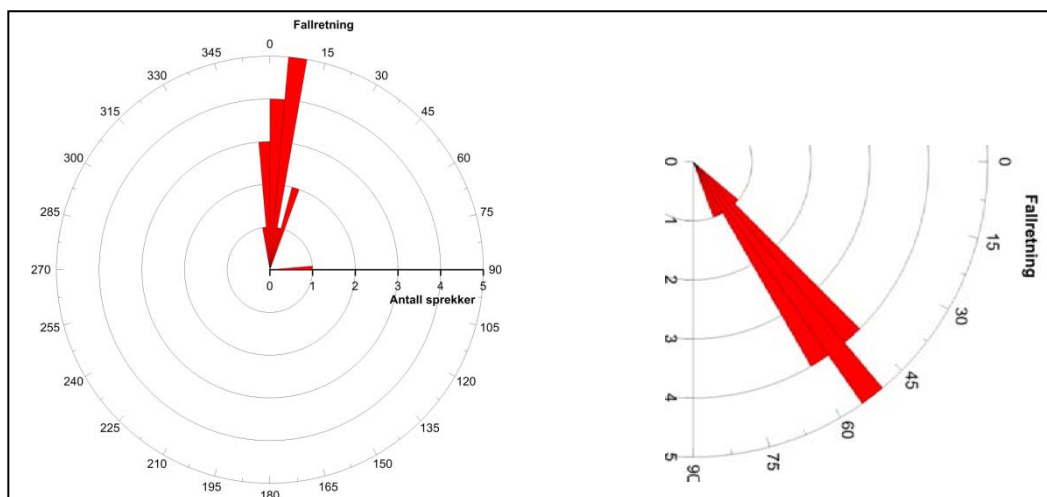
Figur 25. Brønn Nord, akustiske televiwerer, 91-102 m, 119-129 m og 428-440 m.

4.4.2 Foliasjon i Brønn Nord

Der det er mulig å observere er det målt foliasjon (fallretning og fallvinkel) på bergartene i brønnen. Det var generelt vanskelig å observere lagdeling i denne gneisen. Data fra akustisk televiver er brukt til dette med digitalisering av strukturer som viser lagdeling. Resultatet er vist som stereogram i figur 26, med et gjennomsnittlig strøk/fall på N275 53. Fallretning blir da $275 + 90 = N005$, dvs. nesten nordlig fall. De samme data er vist i rosediagram i figur 27.



Figur 26. Brønn Sør. Stereogram av beregnet foliasjon.



Figur 27. Brønn Sør. Rosediagram av beregnet foliasjon.

4.4.3 Diameter og ovalisasjon i Brønn Nord

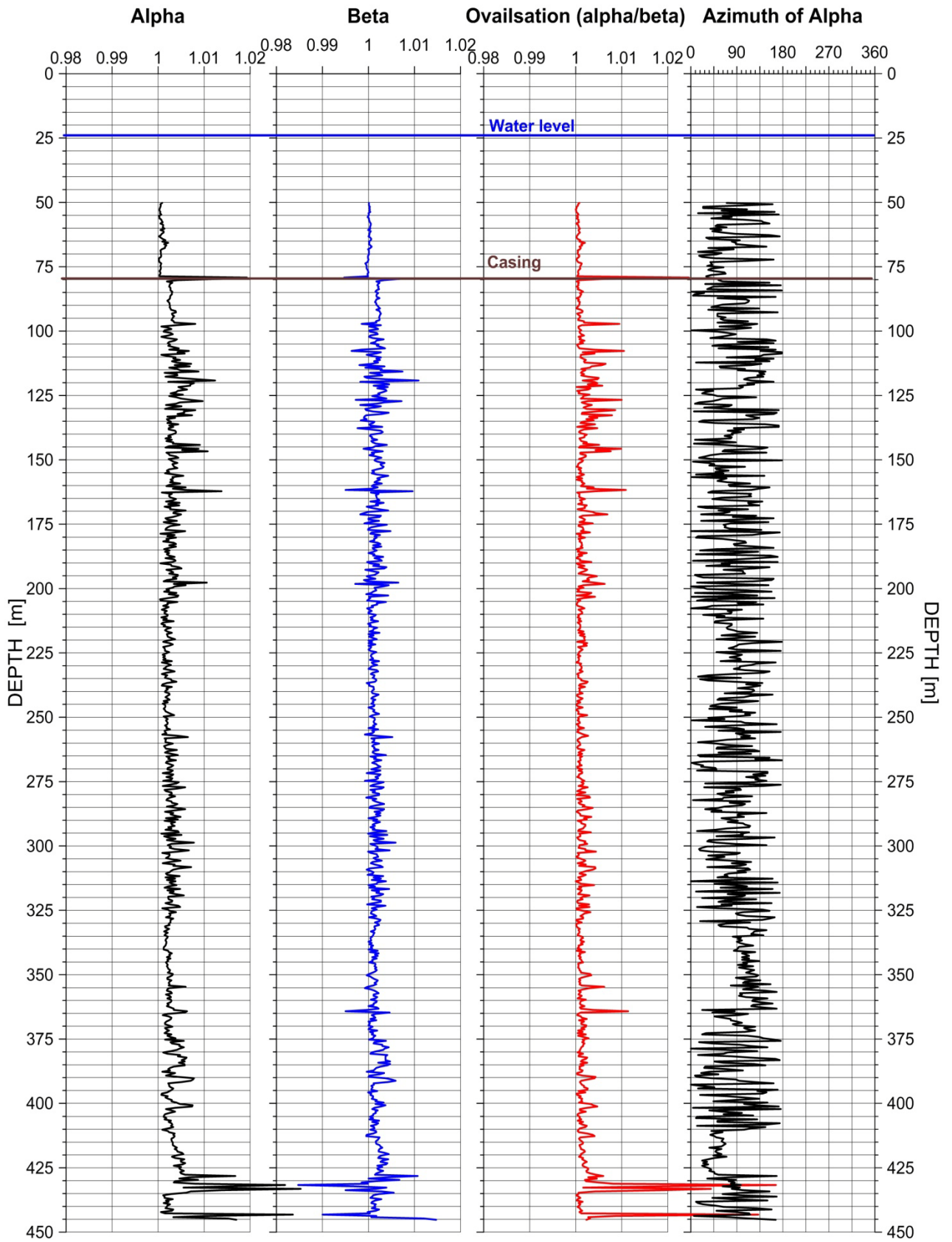
Ved akustisk televier sendes en lydimpuls ut fra sonden mot borehullsveggen. 2-vegs gangtid måles og sammen med lydshastigheten i vann kan diameteren beregnes. Ved sprekker kan diameteren øke eller minke om stein skvises ut i hullet på noen måter. Ved å måle diameteren i forskjellige retninger kan også ovalisasjonen beregnes. Dersom en har tydelige breakouts i hullet kan det tyde på sterke bergspenninger (horisontalspenninger). Retningen til største horisontalspenning kan beregnes da den er vinkelrett på retningen (azimuth) til breakouts. I Vedlegg 2 er dette forklart nærmere.

Det er heller ikke i Brønn Nord oppdaget breakouts som kan skyldes store horisontalspenninger. Endringer i ovalisasjonen (maks diameter/min diameter) kan likevel observeres i forbindelse med sprekker. Figur 28 viser ovalisasjonslogg for Brønn Nord. Alpha og Beta er normalisert maksimum og minimum diameter. Det er mange utslag over 200 m som tyder på oppsprekking. Dette stemmer bra med sprekkefrekvensen, se figur 20. Azimuth til Alpha varierer mye. I dette tilfellet sier den egentlig ingenting da en ikke har noen tydelige breakouts. Dessuten var sentraliseringsfjærene litt for små, og sonden blir ikke helt sentrert. Dette vil også påvirke målingene.

Figur 29 viser beregnet diameter (Caliper-4) i Brønn Nord i NS- og ØV-retning. Det er mye støy på målingene i øvre del av casingen, og målt diameter er ca 20 cm. I fjell (fra 80 m) er diameteren i begge retninger ca 17 cm. Det er observert både økende og minkende diameter i brønnen. Et eksempel er vist i figur 30 fra åpne sprekker ved 429 -434 m og 444 m der en ser både økning og minking av diameteren. Sonden stoppet like nedenfor sprekken ved 444 m dyp.

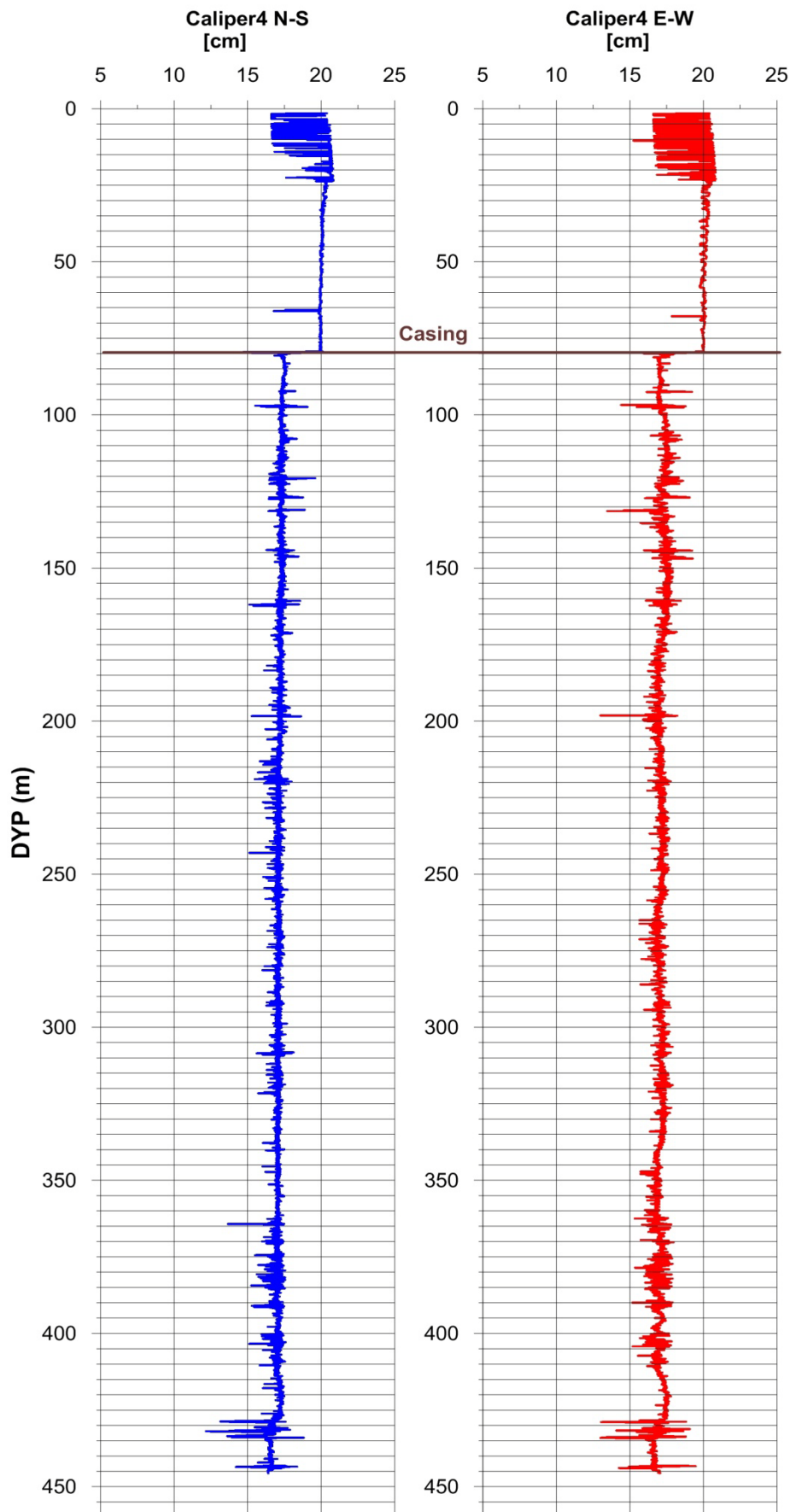
Ellers i brønnen registreres endring i diameter ved indikerte sprekker. På figur 31 er det vist tverrsnitt av brønnen ved to dyp, 432 m og 440 m. Det er radius som er plottet. Ved 432 m varierer diameteren stort i sprekkesonen. Ved 440 m er det vist et sirkulært snitt med diameter ca 16.6 cm ($R = 80.3$ mm).

Brønn nord Gardermoen, Ovalisation



Figur 28. Brønn Nord. Ovalisasjonslogg

Gardermoen Brønn Nord

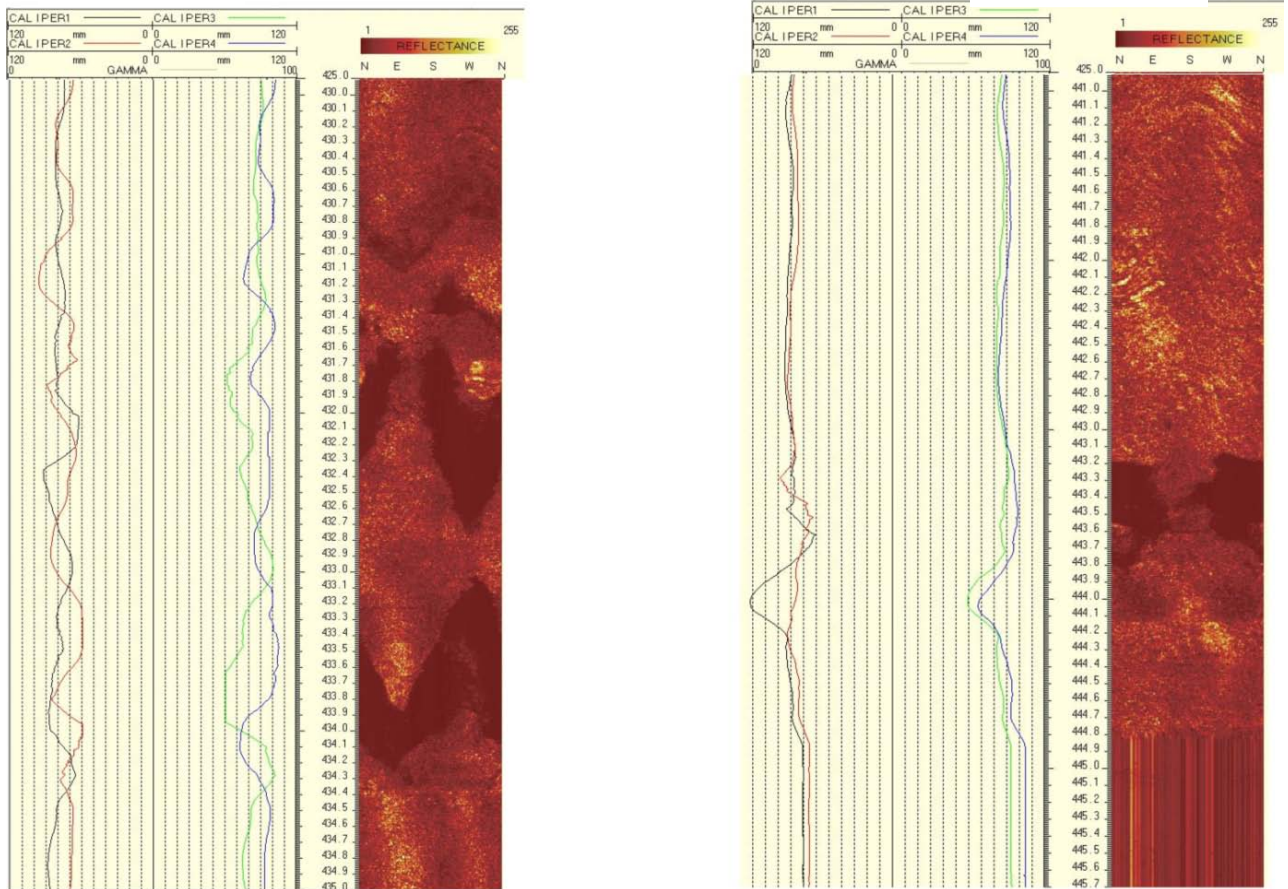


Figur 29. Brønn Nord. Beregnet brøndiameter.

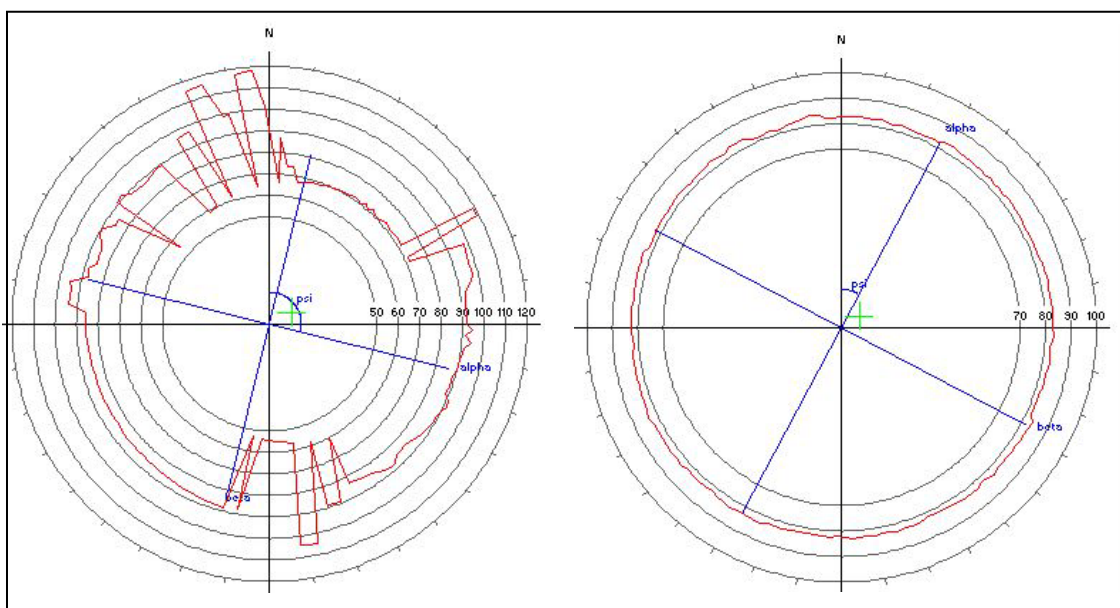
425 - 435m

Brønn Nord Televiewer og caliper

441 – 445.7m



Figur 30. Brønn Nord. Akustisk televiewer og beregnet diameter ved observerte sprekker.



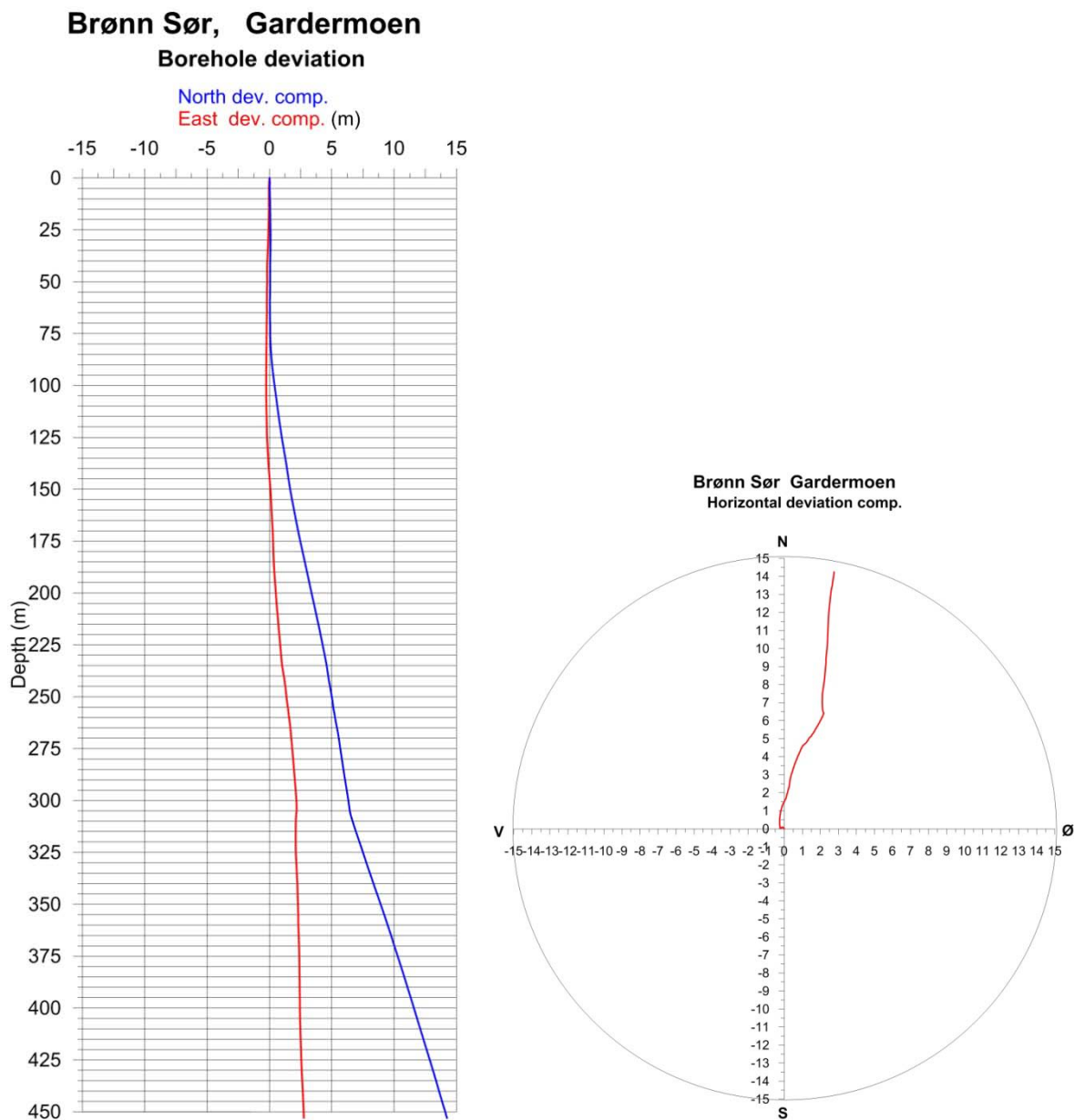
Figur 31. Brønn Nord. Tversnitt av brønn ved 432 (venstre) og 440 m dyp.

4.5 Borehullsavvik

Borehullsavviket, retning og fall, måles med akustisk televiwer under logging. Disse data brukes også ved orientering av bildet og til å beregne sprekkers retning og fall. Det blir tatt hensyn til dette om borehullet har en helning.

4.5.1 Borehullsavvik, Brønn Sør

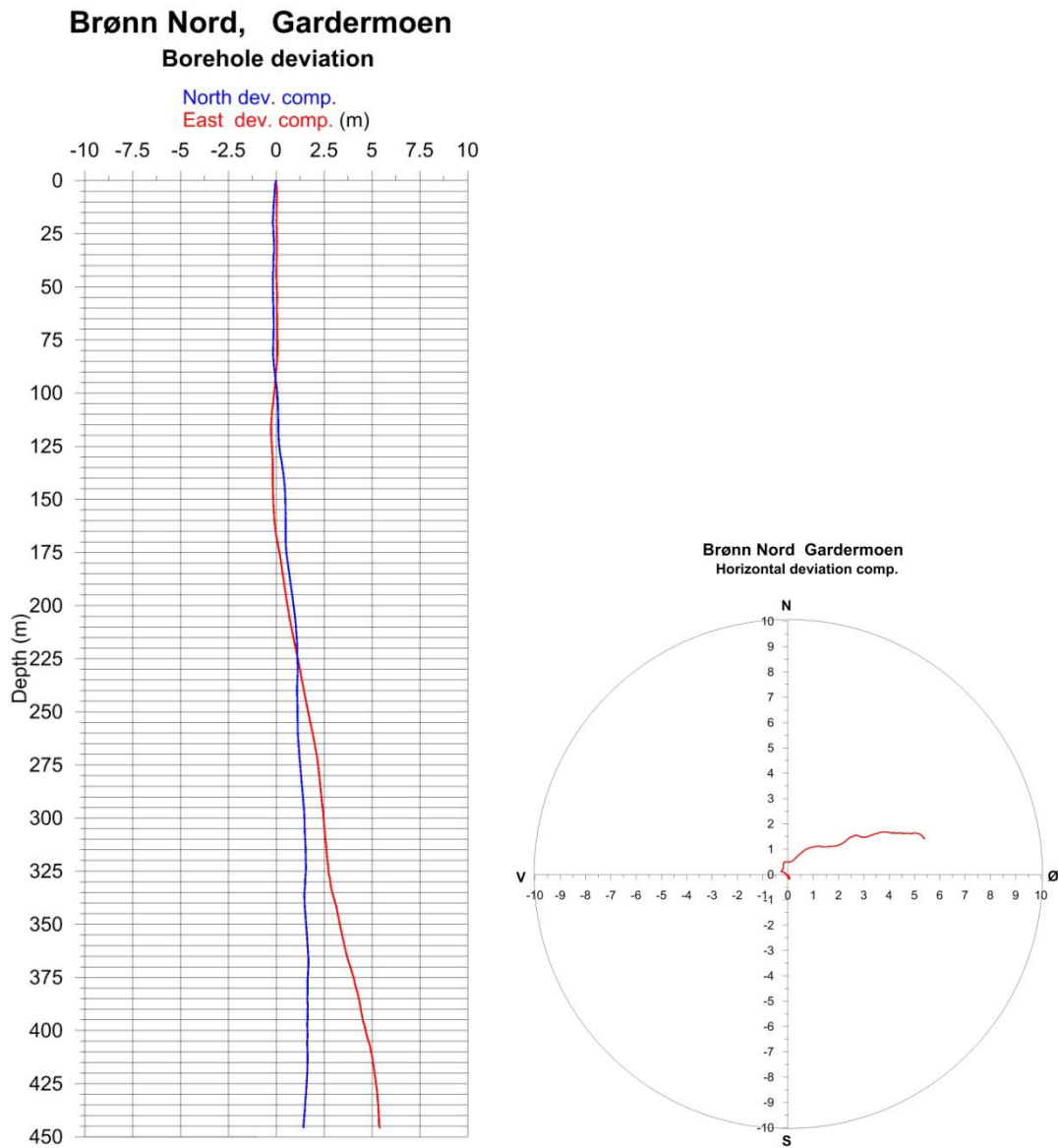
Figur 32 viser borehullsavvik ned til 452 m i Brønn Sør. Hullet går svakt mot nord-nordøst med et horisontalt avvik ved 452 m på 14.2 m. Fortsetter brønnen med samme fall kan det estimeres et avvik bunnen på ca 50 m.



Figur 32. Borehullsavvik i Brønn Sør.

4.5.2 Borehullsavvik, Brønn Nord

Figur 33 viser borehullsavvik i Brønn Nord. Både retning og fallvinkel varierer noe, men går for det meste i øst-nordøstlig retning. Horizontalavviket ved 445 m dyp er 5.5 m.



Figur 33. Borehullsavvik i Brønn Nord.

5. KONKLUSJON

NGU har logget to dype energibrønner på Oslo Lufthavn, Gardermoen. De to brønnene ble boret ned til 1500 m for å ta ut varme til å holde rusegropa på flyplassen isfri om vinteren. Det ble logget temperatur, ledningsevne i vann, total gammastråling, resistivitet i fjell og logging med akustisk televiwer. Hovedhensikten var å beregne temperaturgradient, men også oppsprekking var viktig å kartlegge. På grunn av ras i den ene brønnen var logging mulig bare til 450 m dyp. I den andre brønnen ble det logget til 1450 m bortsett fra akustisk televiwer som stoppet ved 445 m, da hullet var delvis blokkert av ras.

Gjennomsnittlig temperaturgradient under 200 m er beregnet til 15.3 °C/km. Den er svakt økende mot dypet, og under 700 m er den 16.1 °C/km. Bergartene i området er permiske gneiser og det er kjent at disse har lav temperaturgradient.

Det ble oppdaget flere åpne sprekker/sprekkesoner som ble indikert med resistivitet og bekreftet med akustisk televiwer. Det var like under en slik sone at sondene stoppet.

Den elektriske ledningsevnen i vann øker kraftig på flere nivåer mot dypet. I bunnen av Brønn Nord var ledningsevnen ca 18000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dette er omtrent halvparten av ledningsevnen til sjøvann. En antar at årsaken til det salte vannet på dypet er at før siste istid gikk Oslofjorden lengre inn i landet enn i dag. Påfølgende istid presset det salte vannet nedover.

6. REFERANSER

Archie, G.E., 1942: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Technology*, 5, 1422 – 1430.

Elvebakk, H. & Nordgulen Ø. 2011: Geofysisk logging av borehull, Berger, Skedsmo kommune. *NGU Rapport 2011.015*.

Elvebakk, H., 2011: Sammenstilling av resistivitet, seismiske hastigheter og naturlig gammastråling i norske bergarter. *NGU Rapport 2011.042*.

Olesen, O., Balling, N., Barrère, C., Breiner, N., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Gernigon, L., Koziel, J., Lutro, O., Midttømme, K., Nordgulen, Ø., Olsen, L., Osmundsen, P.T., Pascal, C., K. Ramstad, R., Rønning, J.S., Skilbrei, J.R., Slagstad, T. and Wissing, B. 2007: KONTIKI Final Report, CONTInental Crust and Heat Generation In 3D. NGU Report 2007.042.

Pascal, C., Balling, N., Barrère, C., Davidsen, B., Ebbing, J., Elvebakk, H., Mesli, M., Roberts, D., Slagstad T., & Willemoes-Wissing B. 2010: HeatBar Final Report 2010, Basement Heat Generation and Heat Flow in the western Barents Sea - Importance for hydrocarbon systems. *NGU Report 2010.030*.

Rønning, J.S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Ganerød, G.V. & Heincke, B.H. 2009b: Characterization of fracture zones in bedrock using 2D resistivity. Proceedings from 5th Seminar on Strait Crossings, Trondheim, June 21 – 24 2009, p. 439 - 444 (SINTEF/NTNU).

Slagstad, T., Midttømme, K., Kalskin Ramstad R., & Slagstad, D. 2008: Factors influencing shallow (< 1000 m depth) temperatures and their significance for extraction of ground-source heat. *Geology for society 2008-11*.

Thunhead, H. & Olsson, O. 2004: Borehole corrections for a thick resistivity probe. *JEEG, December 2004, Volume 9, Issue 4, pp. 217 – 22*.

Beskrivelse av geologien i Gardermoen-området

Av Arne Solli, NGU. Trondheim 11/2-2013.

Fig. 1 viser et utsnitt av kartblad Hamar 1:250 000 utgitt av NGU (Nordgulen 1999). Dette viser at Gardermoen ligger i et område med svært store løsmassemektheter. Disse er merket med grått på kartet. Mektheten på løsmassene er ikke kjent, men Østmo (1976) har gjort en del seismiske profil over området, og de viser at stort sett ligger mektighetene omkring 100m. Det er dette som er antatt på Fig. 2 som viser hvordan geologien er antatt å se ut mot dypet. Fra kart til Østmo (1973) er det også klart at topografien på den faste fjellgrunnen er ganske varierende med en del dype daler og toppe slik at mektighetene kan variere mellom 50 m og 150 m i et ellers så flatt landskap. Det er antatt at de øverste delene av løsmassene er mest grove og består av blokk, stein og grus, deretter kommer et sandig lag, mens den langt største delen består av sand silt og leire. Det er ellers kjent at fjellet stikker opp i dagen ca. 2 km nord for flytårnet.

Som Fig. er 2 viser det antatt at hele lengden på boreprofilen vil gå gjennom den samme type gneis. Dette er en svært inhomogen bergart som hører til der såkalte Romerikskomplekset. Dette komplekset består av ulike typer bergarter av både sedimentær og vulkansk opprinnelse som igjen blir gjennomgått av dypbergarter som granitter og granodioritter (Nordgulen 1999). Det hele er deretter sterkt migmatittisert slik at uansett opprinnelse på bergarten får de et ensartet utseende. Det er antatt at den opprinnelige alderen på bergartene er ca. 1600 mill. år, mens migmatittiseringen har skjedd i en senere fase (ca. 1000 mill. år)

Strøket på bergartene er stort sett NV-SØ men dette kan variere en god del. Hele Romerikskomplekset er avgrenset av skjærsoner, og det kan også være en del skjærsoner inne i selve komplekset, men siden overdekningen er så stor er disse lite kjent. Retningen på skjærsonene er det samme som strøket på bergartene.

Den store usikkerheten på det geologiske profilet er hvordan Oslofeltets dypbergarter opptrer på dypet. På profilet har jeg slått alle dypbergartene sammen til en gruppe enten det er granitter, syenitter eller monzonitter. Nordgulen (1999) tolker at de permiske dypbergartene intruderer i de prekambriske gneisene. Jeg har tegnet profilet slik at de permiske bergartene er tenkt kommet opp gjennom 'feeder-soner' og så bredt seg ut over på toppen. Dette er selvsagt en tolkning. Jeg har også lagt ved et aeromagnetisk kart, her kan de se ut som de permiske bergartene har en utbredelse øst for der de kommer ut i dagen på det geologiske kartet. Det er imidlertid ikke noe som tyder på at det kommer så langt øst som til Gardermoen, selv på dypet. Jeg forventer derfor at de geotermiske parametrene bare vil være avhengig av parametrene i den prekambriske gneisen.

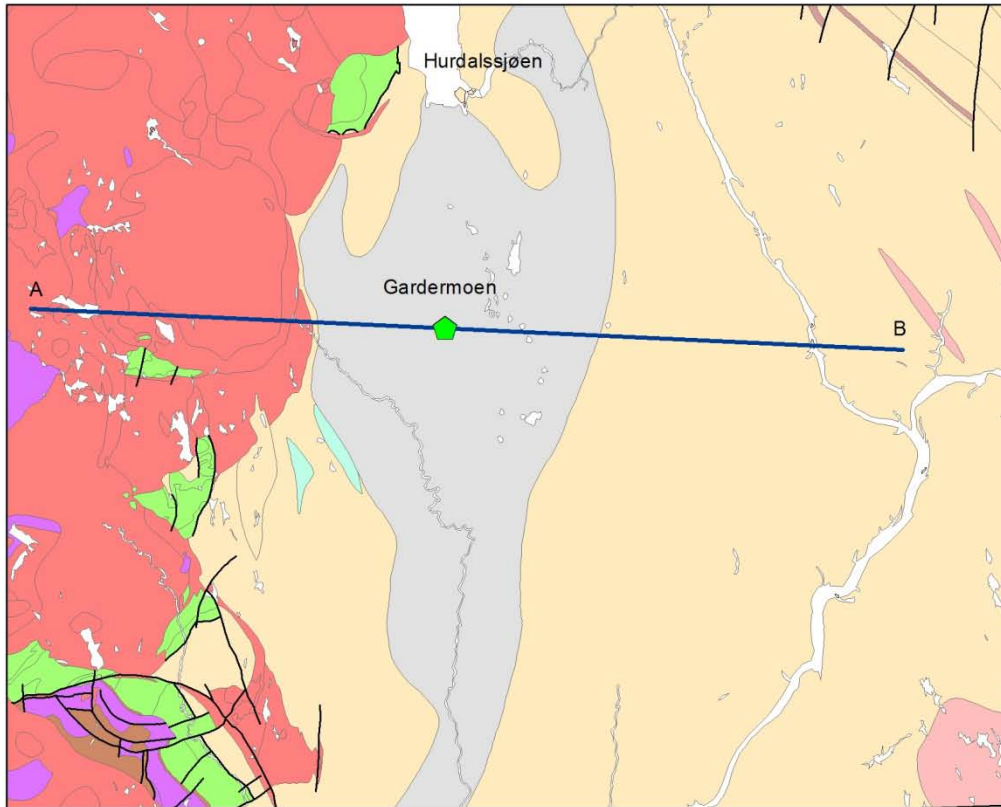


Fig. 1 Forenklet geologisk kart over Gardermo-området

Løsmasser

□ Sand, grus, silt, leire

Permiske intrusjoner
og lavabergarter

■ Permiske dypbergarter, granitt, syenitt
og monzonitt

■ Sure til intermediære lavabergarter

■ Basalt

Paleozoiske skifre

■ Skifer og kalkstein

Prekambriske bergarter

■ Granittiske gneiser

■ Gabbroide bergarter

■ Kalksilikatgneis

■ Granittisk til tonalittisk gneis med innslag
av glimmerskifer og sandstein. Migmatittisk.

Forenkelt geologisk kart etter Nordgulen 1999 med location av et geologisk profil (A-B)

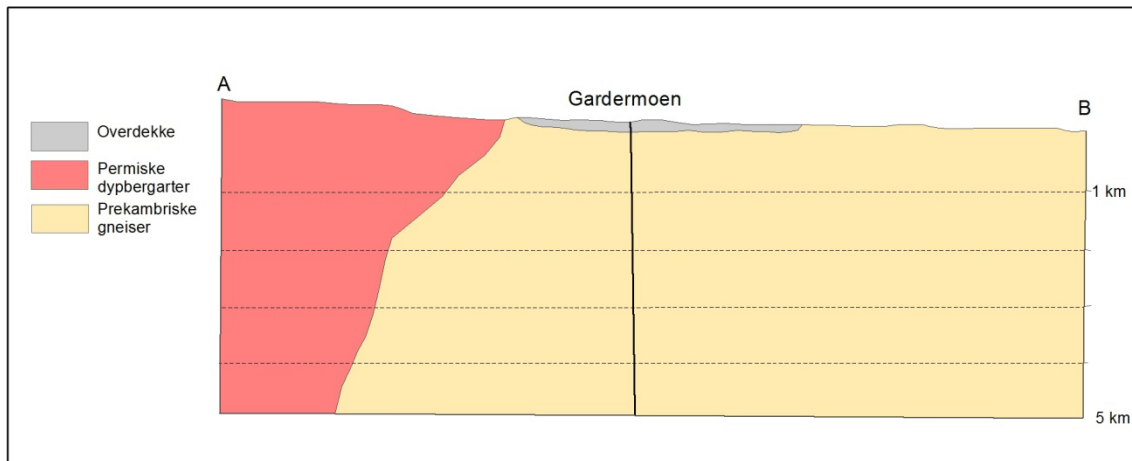


Fig. 2 Geologisk profil ned til 5 km dyp (Arne Solli 2013).

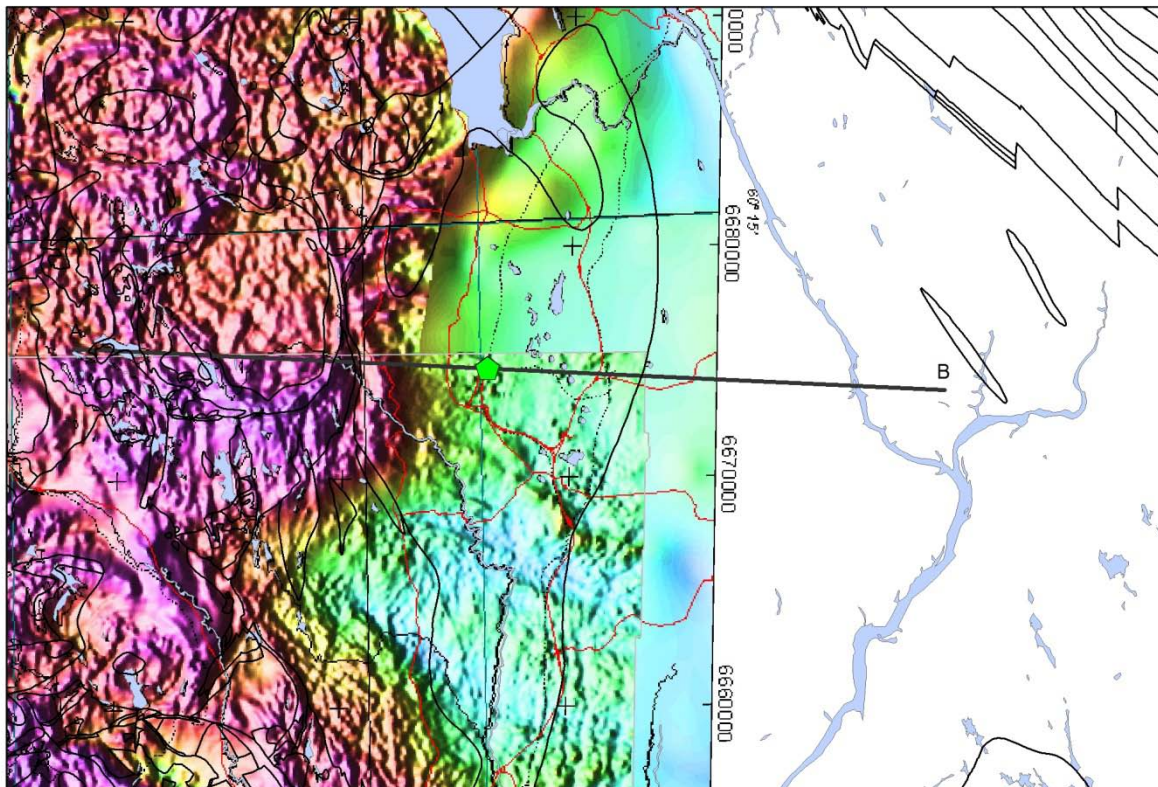


Fig. 3 Aeromagnetisk kart over Gardermoen

Referanser:

Nordgulen, Ø. 1999: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Hamar, M 1:2500. Norges geologiske undersøkelse
Østmo, S. R. 1976: Hydrogeologisk kart over Øvre Romerike; grunnvann i løsavsetninger mellom Jessheim og Hurdalsjøen – M 1:20 000. Norges geologiske undersøkelse.

OVALISATION AND BREAKOUT LOGS

Borehole breakouts are stress-induced enlargements of a wellbore cross-section. When a borehole is drilled the material removed from the subsurface is no longer supporting the surrounding rock. As a result the stresses become concentrated in the borehole wall. Borehole breakouts occur when stresses around the borehole exceed the strength of the rock. This might cause compressive failure of the borehole wall (Zobak et al. 1985). Development of intersecting conjugate shear planes leads to enlargements of the wellbore. This can be measured by measuring the borehole diameter using caliper log or acoustic televiewer. The ovalisation of the borehole will indicate breakouts.

Around a vertical borehole stress concentration is greatest in the direction of the minimum horizontal stress S_h . Hence, breakouts are oriented approximately perpendicular to the maximum horizontal stress orientation, S_H , see figure 39, (Plumb and Hickman 1985).

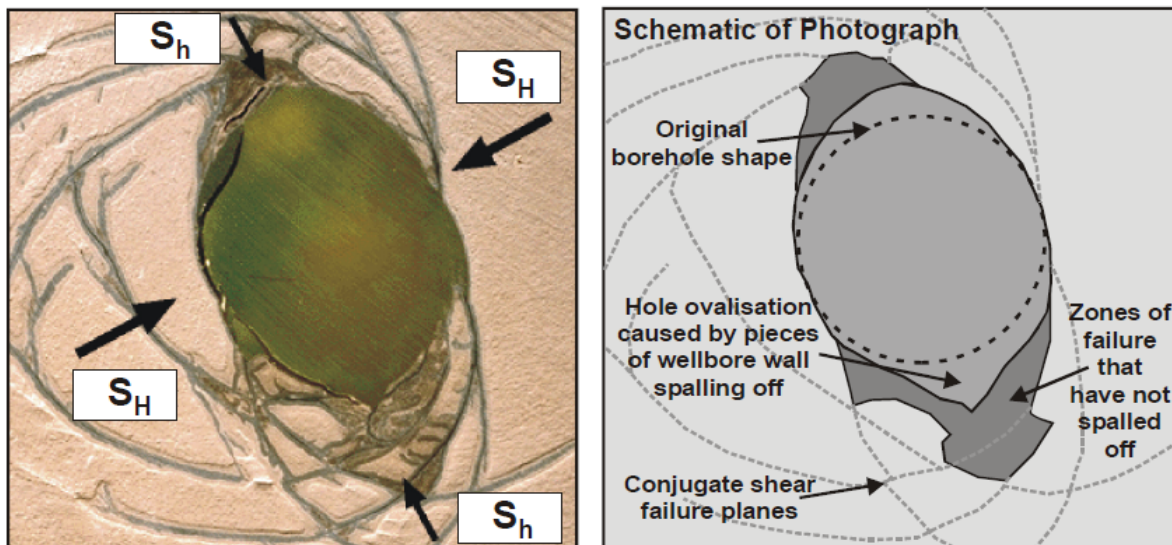


Figure 39. Result of a lab test simulating borehole breakout showing maximum horizontal stress S_H is perpendicular to the wellbore enlargement caused by intersecting conjugate shear planes. Lab test is performed by CSIRO, Division of Geomechanics (Plumb and Hickman 1985).

By using the acoustic televiewer the normalized maximum (alpha) and minimum (beta) diameter are measured. The ratio alpha/beta will be the ovalisation of the borehole cross-section. Values higher than 1 will indicate an oval cross-section (breakouts?). However all kind of fractures will influence on the measured diameter and thereby the ovalisation ratio. The azimuth of Alpha is azimuth of maximum diameter (breakout) and from this the direction of maximum horizontal stress S_H can be calculated.

The acoustic televiewer is also used to calculate the real radius in NS and EW direction to make a caliper4 log.

If breakouts caused by horizontal stress are present in a borehole this will be seen on the borehole image log as vertical dark stripes ca 180° apart.

	Depth	Azimuth	Dip	Upper Depth	Lower Depth	Well Diam	Well Azimuth	Well deviation Dev	Thickness				
1	451.645	N100	72.3	451.384	451.906	0.17	358.23	1.86	0.5174	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
2	450.315	N091	62	450.153	450.476	0.17	4.13	2.95	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
3	414.961	N005	60.5	414.791	415.131	0.17	8	2.94	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
4	414.833	N014	48	414.728	414.937	0.17	8	2.94	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
5	406.471	N359	59.2	406.311	406.631	0.17	4.29	2.86	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
6	405.223	N026	69.1	404.965	405.481	0.17	4.09	2.84	0.0457	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
7	405.095	N022	69	404.837	405.353	0.17	0.47	2.93	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
8	382.556	N169	70.1	382.354	382.758	0.17	2	2.98	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
9	368.022	N143	63.1	367.87	368.175	0.17	359.52	2.82	0.1411	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
10	367.657	N160	72	367.431	367.883	0.17	7.7	2.86	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
11	365.601	N355	52	365.48	365.723	0.17	7	3.06	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
12	365.246	N315	51.2	365.132	365.359	0.17	5.85	3.05	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
13	338.881	N094	73	338.596	339.166	0.17	10.43	3.2	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
14	337.947	N133	87.8	336.778	339.117	0.17	6.74	3.24	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
15	337.363	N138	73.4	337.108	337.618	0.17	10.1	3.07	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
16	337.107	N134	75.9	336.814	337.401	0.17	5.68	3.33	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
17	336.636	N138	81.1	336.2	336.302	0.17	7.84	3.29	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
18	336.347	N135	77.3	336.02	336.199	0.17	9.99	3.18	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
19	336.019	N075	65.8	336.068	336.221	0.17	10.47	3.23	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
20	335.843	N129	62.5	335.692	335.995	0.17	5.28	3.42	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
21	335.703	N125	67.3	335.514	335.893	0.17	9.08	3.26	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
22	335.345	N141	68.3	335.15	335.539	0.17	11	3.13	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
23	334.312	N151	67.3	334.133	334.49	0.17	6.74	3.4	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
24	333.5	N126	65.7	333.326	333.675	0.17	5.76	3.42	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
25	329.561	N009	49.4	329.451	329.672	0.17	8.28	3.09	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
26	329.422	N012	49.2	329.311	329.532	0.17	7.48	3.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
27	328.052	N061	31.1	327.996	328.107	0.17	9.78	3.15	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
28	323.257	N016	46	323.161	323.353	0.17	351.24	2.7	0.3157	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
29	322.714	N018	62.9	322.522	322.906	0.17	359.01	3.37	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
30	318.104	N068	40.7	318.028	318.181	0.17	1.04	3.29	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
31	316.771	N092	58.4	316.633	316.908	0.17	357.99	3.12	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
32	314.895	N083	47.4	314.801	314.99	0.17	0.13	3.29	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
33	312.077	N111	64	311.912	312.242	0.17	359	3.19	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
34	311.545	N100	46.7	311.457	311.633	0.17	355.15	2.99	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
35	309.999	N023	50	309.887	310.11	0.17	354.8	3.05	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
36	305.275	N011	49.9	305.168	305.382	0.17	335.25	1.94	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
37	303.808	N007	46.3	303.715	303.902	0.17	352.86	1.46	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
38	296.573	N131	79.7	296.139	297.008	0.17	11.71	1.62	0.0347	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
39	296.373	N133	80.4	295.897	296.849	0.17	25.87	1.7	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
40	292.219	N020	44.8	292.129	292.31	0.17	26	1.91	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
41	284.05	N132	42.4	283.974	284.126	0.17	22.6	1.57	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
42	277.802	N103	31.3	277.749	277.854	0.17	33.75	1.7	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
43	275.867	N341	36.9	275.801	275.934	0.17	28	1.68	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
44	263.892	N006	75.2	263.521	264.262	0.17	30.24	2.07	1.452	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
45	262.549	N114	29.5	262.5	262.598	0.17	32.99	2.01	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
46	261.359	N234	49.6	261.266	261.452	0.17	36.44	2.2	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
47	258.949	N260	32.8	258.898	259.001	0.17	43.48	2.08	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
48	257.869	N360	76.9	257.442	258.297	0.17	26.54	2.04	0	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
49	255.112	N035	53.3	254.989	255.234	0.17	39	1.94	4.7444	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
50	254.086	N345	67.2	253.876	254.297	0.17	51.49	2	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
51	252.003	N285	30.4	251.954	252.052	0.17	31.23	1.98	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
52	250.273	N207	70.8	250.054	250.493	0.17	34.91	2.02	0	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
53	244.766	N007	52.9	244.646	244.886	0.17	42.79	2.17	4.2059	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
54	242.854	N194	53.9	242.745	242.962	0.17	33.06	2.14	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
55	241.197	N228	57.7	241.072	241.321	0.17	51.06	2.06	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
56	239.554	N212	40.4	239.487	239.622	0.17	55.11	2.13	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture

57	238.919	N217	47	238.834	239.003	0.17	40.51	2.16	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
58	237.823	N222	44	237.746	237.9	0.17	42.89	2	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
59	236.842	N209	46.7	236.759	236.926	0.17	49.3	2.17	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
60	236	N262	64.8	235.835	236.165	0.17	76.86	2.03	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
61	235.279	N221	55.2	235.166	235.392	0.17	34.03	2.15	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
62	234.432	N008	79.1	233.897	234.967	0.17	26.23	1.95	0	Vein	Planar	Mineralized	Quartz-vein
63	226.36	N167	39.1	226.295	226.425	0.17	26.14	2.12	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
64	223.056	N173	34.3	223.002	223.11	0.17	21	2.15	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
65	222.31	N180	43.1	222.236	222.384	0.17	24.18	2.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
66	219.802	N189	40.4	219.735	219.869	0.17	27	2.18	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
67	219.009	N097	54.6	218.887	219.131	0.17	23.59	2.14	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
68	211.822	N359	71.4	211.536	212.108	0.17	21	2.21	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
69	207.823	N348	70	207.562	208.084	0.17	19.49	2.3	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
70	207.442	N191	45.2	207.363	207.521	0.17	20.34	2.24	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
71	207.246	N199	37.1	207.187	207.305	0.17	18.19	2.31	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
72	206.768	N188	47.2	206.682	206.853	0.17	18	2.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
73	203.834	N126	45.2	203.75	203.918	0.17	21.93	2.24	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
74	202.637	N125	49.3	202.54	202.734	0.17	19.61	2.27	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
75	201.852	N002	53.7	201.726	201.977	0.17	15.31	2.2	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
76	200.773	N101	61.9	200.613	200.934	0.17	15.1	2.39	0.0295	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
77	200.712	N101	61	200.557	200.867	0.17	18.22	2.21	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
78	198.566	N076	41.3	198.488	198.643	0.17	16.83	2.22	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
79	169.449	N108	52.1	169.34	169.557	0.17	12.14	1.94	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
80	168.354	N091	60.6	168.199	168.508	0.17	18	2.09	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
81	166.01	N090	49.7	165.907	166.113	0.17	19.37	2	0.0676	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
82	165.905	N102	51.1	165.799	166.01	0.17	14.11	2	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
83	157.698	N133	44.7	157.616	157.779	0.17	10.36	1.86	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
84	154.605	N140	65.8	154.425	154.785	0.17	11	1.81	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
85	149.572	N336	72.3	149.286	149.857	0.17	25.78	1.82	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
86	134.576	N092	71.6	134.315	134.836	0.17	16.83	1.46	0.0404	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
87	134.445	N097	72.5	134.169	134.72	0.17	19.27	1.42	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
88	134.159	N098	68.9	133.935	134.383	0.17	18.19	1.69	0.0433	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
89	134.035	N092	70.1	133.795	134.275	0.17	16.88	1.65	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
90	123.63	N218	6.6	123.622	123.638	0.17	1.96	1.2	0.3786	Fracture	Planar	Fresh	Fracture-zone
91	123.242	N333	27.6	123.195	123.288	0.17	357.44	1.3	0	Fracture	Planar	Fresh	Fracture-zone
92	122.696	N352	20.5	122.662	122.73	0.17	3.84	1.46	0.0397	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
93	122.654	N015	18.1	122.624	122.684	0.17	6.01	1.54	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
94	119.695	N081	18.8	119.666	119.725	0.17	3	1.36	0.1215	Fracture	Planar	Altered	Schistosity
95	119.57	N081	8.7	119.557	119.584	0.17	5.27	1.54	0	Fracture	Planar	Altered	Open-fracture
96	119.202	N210	3.7	119.198	119.205	0.17	9.71	1.43	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
97	114.463	N358	11.4	114.444	114.482	0.17	4.24	1.23	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
98	114.294	N118	9.7	114.28	114.308	0.17	9.06	1.36	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
99	113.543	N130	56.5	113.419	113.668	0.17	5.27	1.31	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
100	112.669	N119	14.4	112.647	112.69	0.17	12.92	1.28	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
101	110.517	N230	21.5	110.484	110.549	0.17	0.27	1.33	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
102	110.067	N084	65.7	109.879	110.256	0.17	354.32	1.09	0.0235	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
103	110.011	N088	64.6	109.833	110.19	0.17	354	1.3	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
104	109.746	N084	39.9	109.674	109.817	0.17	2.16	1.21	0.1321	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
105	109.598	N110	14.4	109.577	109.619	0.17	2.71	1.22	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
106	108.989	N294	75.6	108.651	109.328	0.17	9	1.3	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
107	108.576	N189	42.4	108.501	108.65	0.17	10.34	1.23	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
108	108.423	N175	24.8	108.386	108.46	0.17	15	1.3	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
109	108.235	N180	45.1	108.153	108.316	0.17	5.3	1.3	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
110	107.457	N285	7.3	107.445	107.468	0.17	358.78	1.29	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
111	107.046	N240	25.7	107.006	107.061	0.17	4.5	1.22	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
112	103.886	N115	89.5	97.465	110.306	0.17	11.36	1.06	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
113	102.763	N014	11.4	102.744	102.782	0.17	2.56	1.22	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
114	102.444	N163	27.1	102.402	102.485	0.17	5.86	1.27	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture

115	102.22	N156	30.7	102.171	102.268	0.17	3.08	1.19	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
116	101.777	N145	25	101.739	101.815	0.17	4.85	1.25	0.0382	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
117	101.735	N136	23.3	101.699	101.77	0.17	10.52	1.1	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
118	101.514	N170	30.2	101.466	101.561	0.17	3.05	1.11	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
119	100.968	N211	14.8	100.948	100.989	0.17	354.87	1.38	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
120	100.35	N188	28.8	100.306	100.395	0.17	1.63	1.17	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
121	99.44	N134	29.6	99.394	99.487	0.17	358.46	1.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
122	99.152	N207	34.5	99.096	99.208	0.17	353.77	1.31	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
123	98.789	N103	54.3	98.671	98.906	0.17	359.45	1.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
124	98.699	N357	42.9	98.617	98.782	0.17	2.46	1.2	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
125	98.49	N165	24.9	98.452	98.528	0.17	3.4	1.08	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
126	97.033	N111	70.3	96.8	97.265	0.17	2.86	1.19	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
127	96.936	N109	70.7	96.701	97.17	0.17	354.35	1.36	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
128	96.427	N251	53.3	96.315	96.54	0.17	2	1.07	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
129	95.437	N123	58.7	95.3	95.573	0.17	0	1.18	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
130	92.278	N242	20.7	92.247	92.309	0.17	5.63	1.15	0.0945	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
131	92.177	N187	25.9	92.137	92.216	0.17	359.78	1.06	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
132	89.859	N239	67.5	89.659	90.059	0.17	2	1.01	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
133	81.164	N181	36.1	81.103	81.225	0.17	341.47	0.48	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
134	74.543	N024	32.2	74.491	74.595	0.17	202.25	0.54	0	Primary-structure	Planar	Fresh	Hairline-fracture

	Depth	Azimuth	Dip	Upper Depth	Lower Depth	Well Diam	Well Azimuth	Well deviation Dev	Thickness				
1	443.618	N011	65.5	443.435	443.801	0.17	137.79	0.7	0.035	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
2	443.559	N157	16.9	443.532	443.587	0.17	137.76	0.79	0.3743	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
3	443.54	N011	61.5	443.386	443.693	0.17	134.71	0.77	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
4	443.172	N109	15.1	443.149	443.196	0.17	111.06	0.43	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
5	438.444	N354	75.2	438.133	438.754	0.17	164.14	0.48	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
6	434.055	N081	65.9	433.871	434.238	0.17	295.03	0.92	0.2042	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
7	433.434	N102	76.2	433.037	433.831	0.17	116.17	1.72	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
8	432.249	N285	81.1	431.761	432.737	0.17	113.01	1	0.1158	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
9	431.619	N309	78.1	431.252	431.987	0.17	133.02	1.16	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
10	431.414	N037	37	431.351	431.46	0.17	144.84	0.81	0.0511	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
11	431.345	N038	48.3	431.251	431.413	0.17	202	0.57	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
12	430.877	N111	64.4	430.696	431.059	0.17	161.08	0.85	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
13	428.956	N113	72.8	428.696	429.217	0.17	267.94	1.01	0.1315	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
14	428.584	N123	65.9	428.388	428.781	0.17	99.53	0.76	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
15	416.477	N184	43.1	416.397	416.556	0.17	94.37	1.28	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
16	409.223	N008	60.7	409.071	409.374	0.17	97.35	1.11	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
17	393.725	N007	28.2	393.679	393.772	0.17	79.49	1.13	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
18	393.57	N011	33.8	393.512	393.628	0.17	72.72	1.05	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
19	364.455	N047	51.1	364.343	364.566	0.17	80.77	1.88	0.0565	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
20	364.366	N013	51.9	364.254	364.479	0.17	75.12	1.87	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
21	363.487	N358	59.8	363.34	363.635	0.17	78.88	1.68	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
22	308.264	N024	67.1	308.057	308.472	0.17	55.23	0.63	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
23	308.022	N025	47.9	307.927	308.118	0.17	79.91	0.67	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
24	307.94	N011	57.9	307.804	308.077	0.17	78.52	0.74	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
25	305.927	N094	60.5	305.774	306.079	0.17	48.73	0.42	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
26	301.365	N099	54.3	301.243	301.486	0.17	57.75	0.92	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
27	227.85	N295	85.8	226.899	228.801	0.17	74.61	1.21	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
28	219.93	N350	58.9	219.79	220.07	0.17	89.67	1.37	0.282	Fracture	Planar	Fresh	Fracture-zone
29	219.39	N005	58.6	219.25	219.53	0.17	88.16	1.26	0	Fracture	Planar	Fresh	Fracture-zone
30	218.681	N171	75.5	218.356	219.006	0.17	72	1.2	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
31	215.317	N176	51	215.213	215.422	0.17	75.11	1.23	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
32	213.047	N169	50.8	212.944	213.151	0.17	71.03	1.3	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
33	212.277	N181	60.7	212.129	212.426	0.17	67.07	1.35	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
34	201.933	N100	73.5	201.628	202.238	0.17	54.3	1.39	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
35	199.948	N139	70.7	199.709	200.187	0.17	40	1.5	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
36	198.302	N144	66.7	198.11	198.494	0.17	28.18	1.36	0.0278	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
37	198.229	N146	68.8	198.016	198.442	0.17	32.44	1.43	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
38	198.159	N159	72	197.903	198.414	0.17	52.57	1.4	0.0215	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
39	198.09	N159	71.8	197.837	198.343	0.17	55.16	1.41	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
40	197.885	N117	61.8	197.72	198.049	0.17	61.76	1.36	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
41	196.615	N125	66	196.422	196.809	0.17	49.84	1.18	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
42	195.897	N137	68.8	195.677	196.117	0.17	49	1.35	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
43	192.498	N312	45.4	192.411	192.584	0.17	42.56	1.52	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
44	191.528	N200	34.7	191.471	191.585	0.17	50.38	1.11	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
45	190.829	N171	33.3	190.774	190.883	0.17	54.66	1.22	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
46	187.177	N160	38.2	187.111	187.244	0.17	56.96	1.28	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
47	181.488	N107	64.4	181.305	181.671	0.17	47.4	1.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
48	177.006	N136	67.6	176.796	177.215	0.17	57.86	1.31	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
49	174.904	N131	62.7	174.737	175.071	0.17	59	1.27	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
50	172.685	N154	68.7	172.464	172.907	0.17	75.69	1.45	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
51	171.206	N003	64.6	171.025	171.386	0.17	86.53	1.41	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
52	162.361	N161	69.7	162.132	162.59	0.17	64.77	0.54	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
53	162.263	N164	62.2	162.102	162.424	0.17	70	0.88	0.0375	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
54	162.185	N164	59.8	162.037	162.334	0.17	106.81	0.87	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
55	161.988	N140	58.1	161.847	162.128	0.17	113.34	0.82	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
56	161.87	N147	65.1	161.683	162.058	0.17	102.95	0.75	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture

57	160.746	N159	65	160.563	160.929	0.17	85.96	0.34	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
58	160.606	N171	60.1	160.458	160.754	0.17	77	0.23	0.0286	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
59	160.55	N166	58.8	160.41	160.689	0.17	56.27	0.34	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
60	152.853	N147	31.9	152.8	152.907	0.17	89.27	0.54	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
61	150.329	N073	67.5	150.123	150.536	0.17	20.81	0.15	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
62	149.995	N084	59.4	149.851	150.14	0.17	60.19	0.22	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
63	146.963	N349	38	146.896	147.029	0.17	44.67	0.24	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
64	146.643	N141	78.7	146.229	147.057	0.17	5.57	0.46	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
65	146.401	N129	80.1	145.94	146.862	0.17	337.66	0.58	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
66	145.935	N130	67.2	145.735	146.136	0.17	25.85	0.51	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
67	144.207	N100	74.7	143.898	144.515	0.17	5.16	0.67	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
68	143.935	N132	78.6	143.525	144.345	0.17	12.55	0.52	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
69	140.154	N085	37	140.09	140.218	0.17	354.24	0.89	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
70	136.885	N096	85	137.164	137.84	0.17	1.42	0.82	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
71	135.685	N096	85.6	135.889	136.755	0.17	358.81	0.91	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
72	133.692	N093	83.1	132.997	133.848	0.17	357.5	0.91	0	Fracture	Lenticular	Fresh	Open-fracture
73	132.495	N109	45.7	132.409	132.581	0.17	354.38	0.98	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
74	131.052	N097	62.1	130.892	131.212	0.17	3.35	1.1	0.0447	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
75	130.958	N114	61.3	130.806	131.111	0.17	3.52	1.25	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
76	126.939	N235	15.7	126.915	126.962	0.17	16.3	0.67	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
77	126.581	N101	63.3	126.41	126.751	0.17	22.61	0.84	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
78	126.358	N102	75.2	126.037	126.679	0.17	8.17	0.64	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
79	122.693	N108	65.9	122.496	122.89	0.17	83.75	0.83	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
80	122.263	N111	70.1	122.197	122.5	0.17	61.73	0.37	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
81	121.988	N106	74.3	121.69	122.285	0.17	353.17	0.53	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
82	121.869	N104	75.7	121.533	121.857	0.17	41.3	0.17	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
83	120.895	N241	68	120.693	120.905	0.17	63.8	0.82	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
84	120.781	N110	65.6	120.594	120.918	0.17	13.06	0.24	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Open-fracture
85	120.672	N090	86.8	120.753	122.216	0.17	6.18	0.16	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
86	119.364	N087	86.2	119.297	120.649	0.17	8.64	0.25	0	Fracture	Discontinuous	Fresh	Hairline-fracture
87	115.595	N044	71.2	115.346	115.845	0.17	300.89	0.11	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
88	114.623	N067	72.4	114.369	114.877	0.17	234.48	0.91	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
89	108.41	N063	61.7	108.255	108.566	0.17	300.66	0.67	0	Fracture	Irregular	Fresh	Hairline-fracture
90	107.926	N056	58.3	107.792	108.06	0.17	280.6	0.98	0.0427	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
91	107.849	N052	54.6	107.731	107.966	0.17	281.82	0.88	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
92	107.737	N094	86.2	106.709	108.765	0.17	269.02	0.94	0	Fracture	Irregular	Fresh	Open-fracture
93	105.888	N100	71	105.649	106.126	0.17	287.5	0.63	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
94	104.955	N150	42.6	104.879	105.031	0.17	293.36	1.17	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
95	104.476	N157	51.8	104.371	104.582	0.17	295.8	0.84	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
96	103.188	N112	49.5	103.091	103.285	0.17	305.19	0.75	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
97	101.609	N144	19.3	101.58	101.637	0.17	295.84	0.96	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
98	97.713	N166	43.1	97.636	97.791	0.17	320.64	0.93	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
99	97.444	N106	64	97.273	97.616	0.17	306.36	0.45	0.112	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
100	97.242	N111	48.6	97.148	97.336	0.17	335.53	1.14	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
101	96.993	N144	51.8	96.889	97.098	0.17	333	1.03	0.0149	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
102	96.968	N137	56.8	96.843	97.092	0.17	336.12	1.12	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
103	96.902	N111	67.4	96.705	97.099	0.17	338.05	1.12	0.0337	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
104	96.811	N118	69.3	96.597	97.026	0.17	335.75	1.12	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
105	94.825	N153	41.5	94.752	94.897	0.17	339.24	1.09	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
106	92.596	N352	71.7	92.327	92.865	0.17	317.87	0.88	0.0587	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
107	92.409	N356	71.8	92.138	92.679	0.17	325.35	0.92	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
108	90.908	N149	20	90.879	90.937	0.17	319	0.97	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
109	85.942	N084	79.6	85.505	86.379	0.17	304.5	0.78	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
110	84.497	N153	16.7	84.473	84.521	0.17	309.99	0.79	0	Fracture	Planar	Fresh	Hairline-fracture
111	83.229	N115	32.9	83.176	83.283	0.17	325	0.75	0.0212	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture
112	83.204	N108	37.1	83.141	83.266	0.17	325	0.75	0	Fracture	Planar	Fresh	Open-fracture



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no