

NGU Rapport 2011.009

Geofysisk logging av borehull
ved Gualia, Lunner

Rapport nr.: 2011.009		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Geofysisk logging av borehull ved Gualia, Lunner				
Forfatter: Harald Elvebakk		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Oppland		Kommune: Lunner		
Kartblad (M=1:250.000) Hamar		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1815 I Gran og 1915 IV Hurdal		
Forekomstens navn og koordinater: Gualia, koordinater: se sammendrag		Sidetall: 33	Pris: kr 130.-	
Feltarbeid utført: 06.11. - 13.11.2001 15.11. - 16.11.2005		Rapportdato: 01.02.2011	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag:				
<p>I forbindelse med driving av Lunnertunnelen har NGU gjort geofysisk logging av flere brønner. Lunnertunnelen er en del av den nye tverrforbindelsen mellom RV 4 i vest (Lunner) og RV 174 i øst (Gardermoen). Hensikten var å prøve ut nye metoder for forundersøkelser for å kartlegge fjellkvalitet både ved å påvise og karakterisere sprekker og sprekkesoner.</p> <p>Detaljert tolkning av resultatene er tidligere beskrevet i prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" (Rønning 2003 og Elvebakk m.fl. 2001). Åpne vannførende sprekker og partier med sterkt oppsprukket fjell er påvist i eller like i nærheten av tunneltraseen. Noen av disse ga store problemer under drivingen.</p> <p>I denne rapporten er fysiske parametere for områdets bergarter samlet. Disse data er hentet fra de deler av borehullet som er lite oppsprukket og representerer massiv stabil bergart. Avvik fra disse standardverdier kan bety oppsprekking og dårligere fjellkvalitet.</p>				
Koordinater				
Lokalitet	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.
Bh 3	6682645	594572	32V	536
Bh 5	6682836	594570	32V	538
Bh 6	6683129	595728	32V	480
Bh 7	6683112	596048	32V	475
Emneord: Geofysikk		Borehullslogging	Elektrisk måling	
Temperaturmåling		Naturlig radioaktivitet	Lydhastighet	
Optisk viewer		Strømningsmåling	Fagrapport	

INNHold

1. INNLEDNING	9
2. LOKALITET	9
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE	11
4. RESULTATER	11
4.1 Temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gamma, resistivitet, porøsitet, lydshastighet og strømning.	11
4.1.1 Resultater Bh 3, Lunner	12
4.1.2 Resultater Bh 5, Lunner	16
4.1.3 Resultater Bh 6, Lunner	21
4.1.4 Resultater Bh 7, Lunner	26
4.2 Data, fysiske parametere	29
4.2.1 Naturlig gammastråling	29
4.2.2 Resistivitet	30
4.2.3 Lydshastighet	31
4.2.4 Sammenstilling, Lydshastighet, resistivitet og gammastråling.	31
4.3 Borehullsforløp	32
5. KONLUSJON	33
6. REFERANSER	33

FIGURER

<i>Figur 1. Bh 3, 5, 6 og 7, Grualia, Lunner. Oversiktskart.....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 2. Logging i Bh 3 (venstre) og Bh 5 (høyre) ved Langvatnet, Lunner.</i>	<i>10</i>
<i>Figur 3. Optisk televiever i Bh 6,(venstre), tetningsmasse fra tunnelen kom ut i Bh 7(høyre).</i>	<i>10</i>
<i>Figur 4. Resultater fra Bh 3, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling,..... resistivitet, porøsitet og lydshastighet.</i>	<i>13</i>
<i>Figur 5. Sprekkestereogram Bh 3, Lunner.....</i>	<i>14</i>
<i>Figur 6. Sprekkefrekvenshistogram, Bh 3, Lunner. Lite oppsprukket under 50 m.....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 7. Resultater fra Bh 5, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling,..... resistivitet, og lydshastighet.....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 8. Sprekkestereogram Bh 5, Lunner, 6 – 52 m (øverst) og 52 -72 m (nederst).....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 9. Sprekkefrekvenshistogram, Bh 5, Lunner.....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 10. Bh 5, Lunner. OPTV-bilde av hornfels(venstre) og hornfels/syenitt (høyre).....</i>	<i>20</i>
<i>Figur 11. Resultater fra Bh 6, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling,.... resistivitet, porøsitet og lydshastighet.</i>	<i>22</i>
<i>Figur 13. Bh 6 Lunner. Sprekkestereogram.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 12. P-bølgehastighet og optisk..... logg, 40 -50 m.....</i>	<i>23</i>
<i>Figur 14. Bh 6, Lunner. Sprekkefrekvenshistogram.....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 15. Bh 6, Lunner. Resistivitet, lydshastighet og sprekefrekvens.</i>	<i>25</i>
<i>Figur 16. Strømningsmåling Bh 6, Lunner. Bilde av sprekker (venstre), strømningsmengder (i midten) og turtall på strømningsmåler(høyre).</i>	<i>26</i>
<i>Figur 17. Bh 7, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, resistivitet, porøsitet og sprekkefrekvens.</i>	<i>27</i>
<i>Figur 18. Bh 7, Lunner. Sprekkestereogram.....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 19. Bh 7, Lunner. Sprekkefrekvenshistogram.....</i>	<i>28</i>
<i>Figur 20. Hornnfels, syenitt, agglomerat og ryolitt/trakytt filmet med optisk televiever.....</i>	<i>29</i>
<i>Figur 21. Borehullsforløp, vinkel og retning. Bh 3 (venstre) og Bh 6 (høyre).</i>	<i>32</i>
<i>Figur 22. Borehullsforløp, vinkel og retning. Bh 5(venstre) og Bh 7 (høyre).</i>	<i>32</i>

TABELLER

Tabell 1. Borehullsdata for Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.....	10
Tabell 2. Målte parametre i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.	11
Tabell 3. Målte gammaverdier Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner	29
Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner	30
Tabell 5. P- og S-bølgehastighet i Bh Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner	31
Tabell 6. Gjennomsnittlig lydshastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner	31

1. INNLEDNING

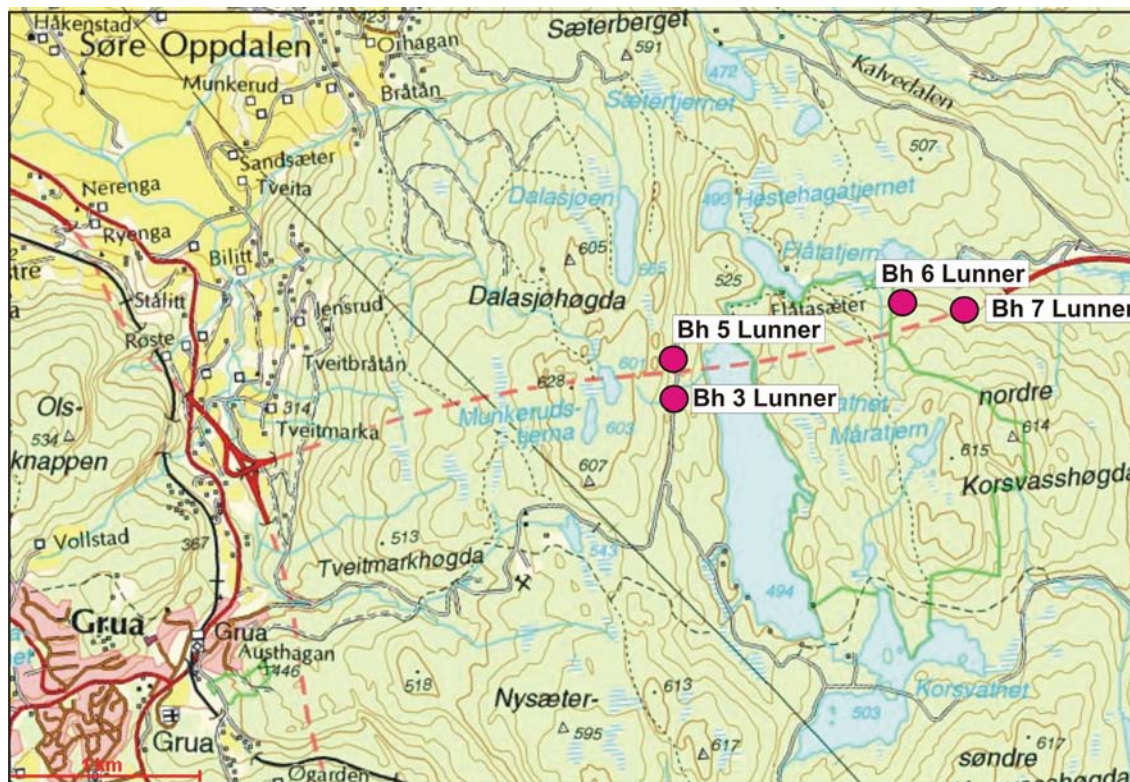
I forbindelse med driving av Lunnertunnelen har NGU gjort geofysisk logging av flere brønner. Lunnertunnelen er en del av den nye tverrforbindelsen mellom RV 4 i vest (Lunner) og RV 174 i øst (Gardermoen). Loggingen var en del av prosjektet "Miljø og samfunnstjenlige tunneler" hvor hensikten var å utprøve nye metoder for forundersøkelser ved tunneldrift (Rønning 2003 og Elvebakk & Rønning 2001).

I denne rapporten presenteres typiske verdier for resistivitet, seismisk hastighet og total gammastråling i ikke oppsprukne bergarter som finnes i hullet. Det er tatt med data fra fire brønner.

Målingene ble utført november 2001 og november 2005 av Harald Elvebakk.

2. LOKALITET

De fire brønnene er boret langs tunneltraseen øst for Grua (Gruvalia) i Lunner, se figur 1 som viser oversiktskart. Bh 3 og 5 er boret vest for Langvatnet, og Bh 6 og 7 på østsiden ikke langt fra østre påhugg av tunnelen. Bh 3 og 5 er boret på grensen mellom hornfels (Bh 5) og syenitt (Bh 3). Bh 6 er boret i syenitt og Bh 7 i ryolitt-traktytt. Tabell 1 viser borehullsdata.



Figur 1. Bh 3, 5, 6 og 7, Gruvalia, Lunner. Oversiktskart.

Tabell 1. Borehullsdata for Bh 3, 5, 6 og 7, Grealia, Lunner.

Lokalitet	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.	Dato logging	Fall	Diam (cm)	Dyp (m)	Boring
Bh 3	6682645	594572	32V	536	2001, 2005	90 °	14.5	106	2000
Bh 5	6682836	594570	32V	538	2001, 2005	80 °	14.5	180	2001
Bh 6	6683129	595728	32V	480	2001, 2005	65 °	14.5	120	2000
Bh 7	6683112	596048	32V	475	2001	65 °	14.5	65	2000

Figur 2 viser logging i Bh 3 og Bh 5 vest for nordenden av Langvatnet, Lunner.



Figur 2. Logging i Bh 3 (venstre) og Bh 5 (høyre) ved Langvatnet, Lunner.

Figur 3 viser optisk televiewer i Bh 6 og tetningsmasse som ut fra Bh 7 under driving og tetting av tunnelen. Det var svært dårlig fjell i tunnelen på dette stedet.



Figur 3. Optisk televiewer i Bh 6, (venstre), tetningsmasse fra tunnelen kom ut i Bh 7 (høyre).

3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE

Det er benyttet loggeutstyr produsert av Robertson Geologging ltd. (<http://www.geologging.com>). Følgende parametre ble logget, se tabell 1:

Tabell 2. Målte parametre i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

Målt parameter	Loggehastighet	Samplings tetthet
Temperatur	3 m/min	1 cm
Ledningsevne i vann	3 m/min	1 cm
Resistivitet i fjell, porøsitet	5 m/min	1 cm
Lydhastighet, P- og S-bølge	4 m/min	20 cm
Naturlig gammastråling	5 m/min	1 cm
Borehullsavvik (OPTV-sonde)	1 m/min	1 cm
Optisk televiewer	1 m/min	1 mm
Strømningsmåling	Stasjonær	-

Logging med sonder for resistivitet og lydhastighet er gjort i 2005, de øvrige loggene i 2001. I Bh 5 og 7 er resistivitetsmålingene utført med ABEM Terrameter SAS 300A og SAS Log 200 (ABEM 1979). I Bh 5 er lydhastighet logget til bare 21 m da hullet ved logging i 2005 var tett ved dette dyp. Strømningsmåling er bare gjort i Bh 6, utført som stasjonær måling under pumping.

Brukerbeskrivelser for de ulike målesondene ligger på NGU's hjemmesider på følgende link: <http://www.ngu.no/no/hm/Norges-geologi/Geofysikk/Borehullsgeofysikk/>

4. RESULTATER

Rapporten presenterer data både i kurveplott og i tabellform. Tabellene viser gjennomsnittsverdier for den lokale bergart og antas å være normale verdier for den aktuelle bergarten. Det er valgt ut områder i borehullet der det er liten oppsprekking basert på resultatene fra alle logger. Avvik fra disse normalverdiene kan bety endring i oppsprekningsgrad. Detaljert tolkning av målingene i 2001 er beskrevet i NGU Rapport 2001.117 (Elvebakk et al. 2001).

4.1 Temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gamma, resistivitet, porøsitet, lydhastighet og strømning.

I det følgende blir resultatene fra hvert borehull kommentert hver for seg.

Det er total gammastråling som måles og enheten cps er i API-standard, og data kan sammenlignes med andre data målt med samme standard.

Lydhastigheten viser P- og S-bølgehastighet. Det er gjort full waveform prosessering ved programvare fra ALT (ALT 2006).

Resistivitetsdata er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehullsdiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead 2004).

Porøsiteten er en relativ størrelse beregnet med en modifisert versjon av Archie's lov ut fra målt fjellresistivitet og ledningsevne i porevannet (Archie 1942). Den lave resistiviteten i alunskiferen vil gi helt gale verdier med denne beregningsmetoden, og det er derfor ikke beregnet porøsitet i alunskiferen.

Porøsiteten Φ kan finnes ut fra følgende sammenheng:

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

der

σ = bergartens ledningsevne

σ_w = ledningsevne i porevannet

σ_s = overflatekonduktivitet

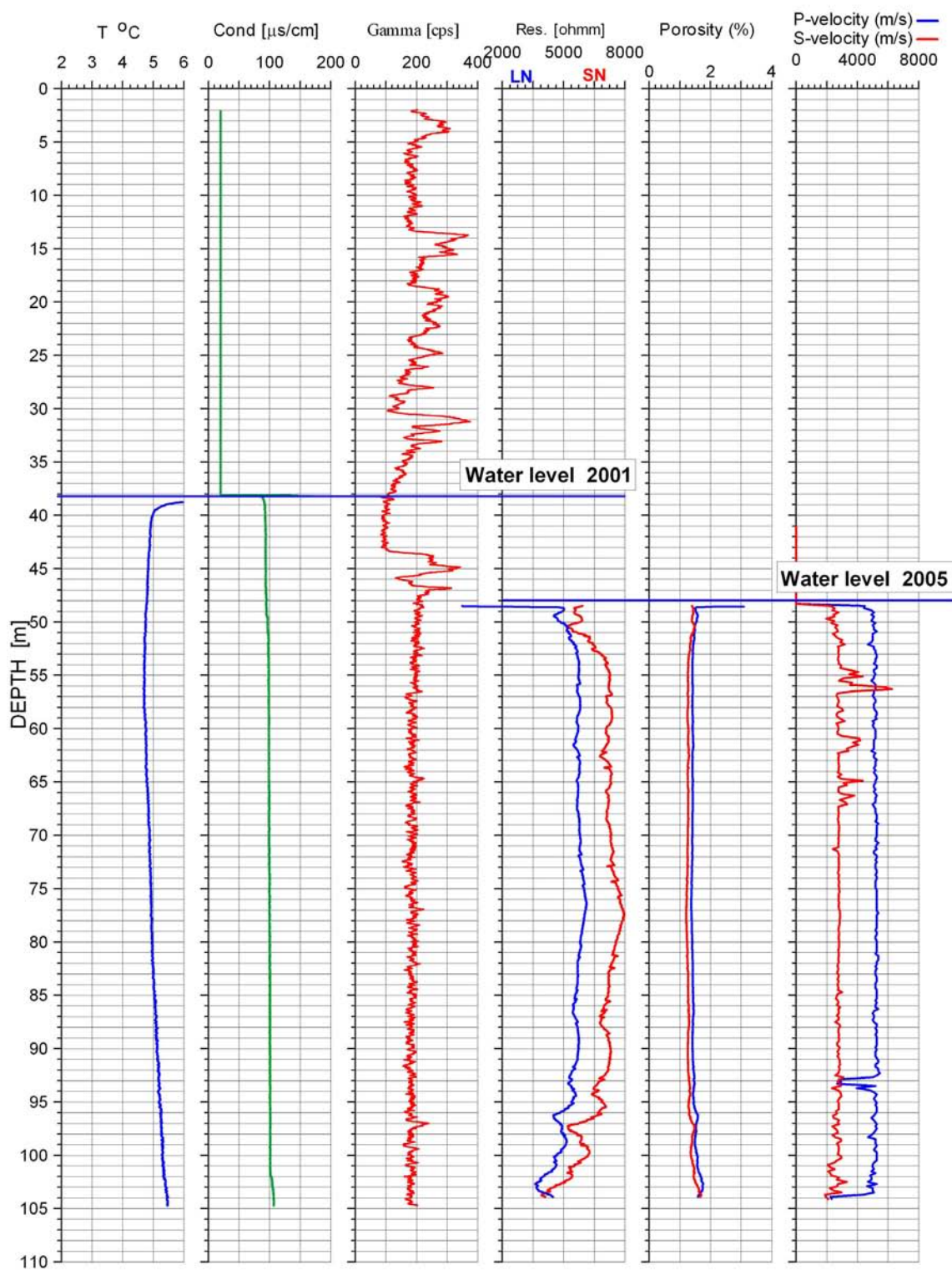
Faktorene a, m og k (kornform, sementeringsfaktor) er avhengig av bergartstype og bestemmes ved laboratoriemålinger. Archie's lov er egentlig tilpasset homogene sedimentære bergarter (sandstein) men ved å tilpasse (måle) faktorene kan en relativ porøsitet også beregnes for andre bergarter. En stor feilkilde ved denne tilpassningen vil være tilstedeværelsen av ledende mineraler (grafitt, sulfider, leire).

4.1.1 Resultater Bh 3, Lunner

Figur 4 viser resultatene fra loggingen i Bh 3. Logging ble utført både i 2001 og 2005. I 2005 var grunnvannsnivået sunket med ca 10 m, fra 38 m til 48 m. Resistivitet og lydhastighet kan måles bare i vannfylte hull og disse målingene omfatter derfor bare nedre halvdel av hullet. Nedre del av hullet, fra 47 m, går i massiv syenitt som er lite oppsprukket noe optisk televiwer også viste, se senere. Over 47 m er det hornfels.

Temperaturen stiger svakt og ledningsevnen i vannet er konstant og lav. Gammastrålingen i hornfels varierer og denne del av hullet er sterkt oppsprukket. I syenitt viser gamma, resistivitet og lydhastighet stabile verdier og representerer massiv, lite oppsprukket bergart. Resistiviteten er høy, 6000 – 8000 ohmm. P-bølgehastighet er også ganske høy, 5000 – 5600 m/s. Gammastrålingen er moderat, 100 – 125 cps.

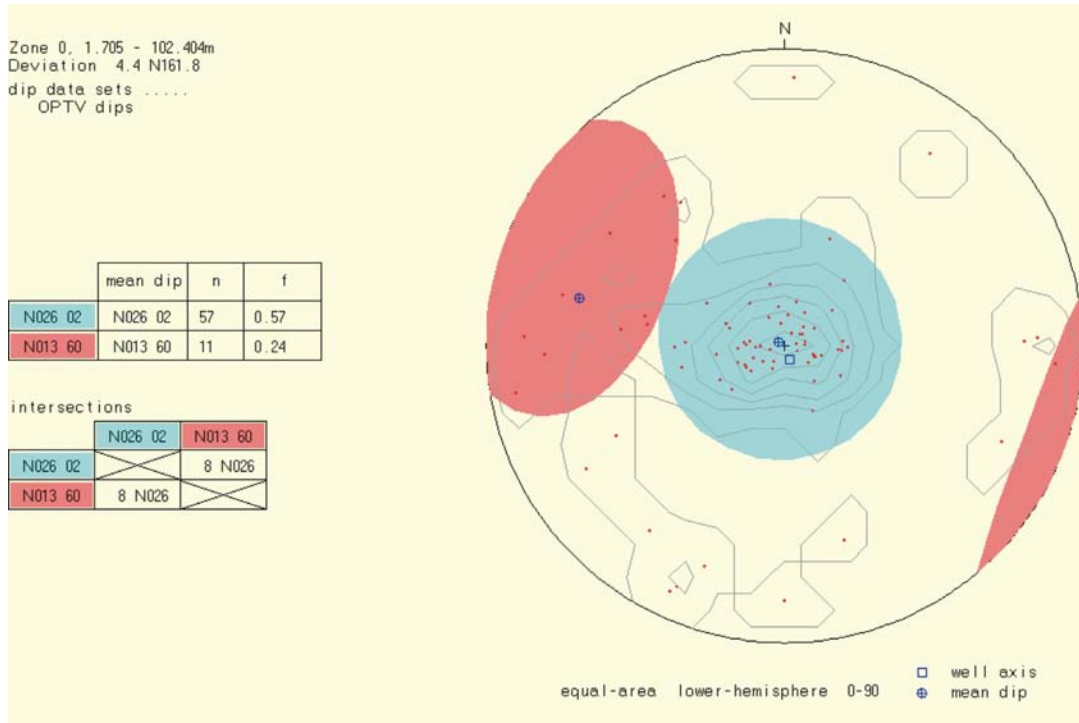
Lunner, Bh 3



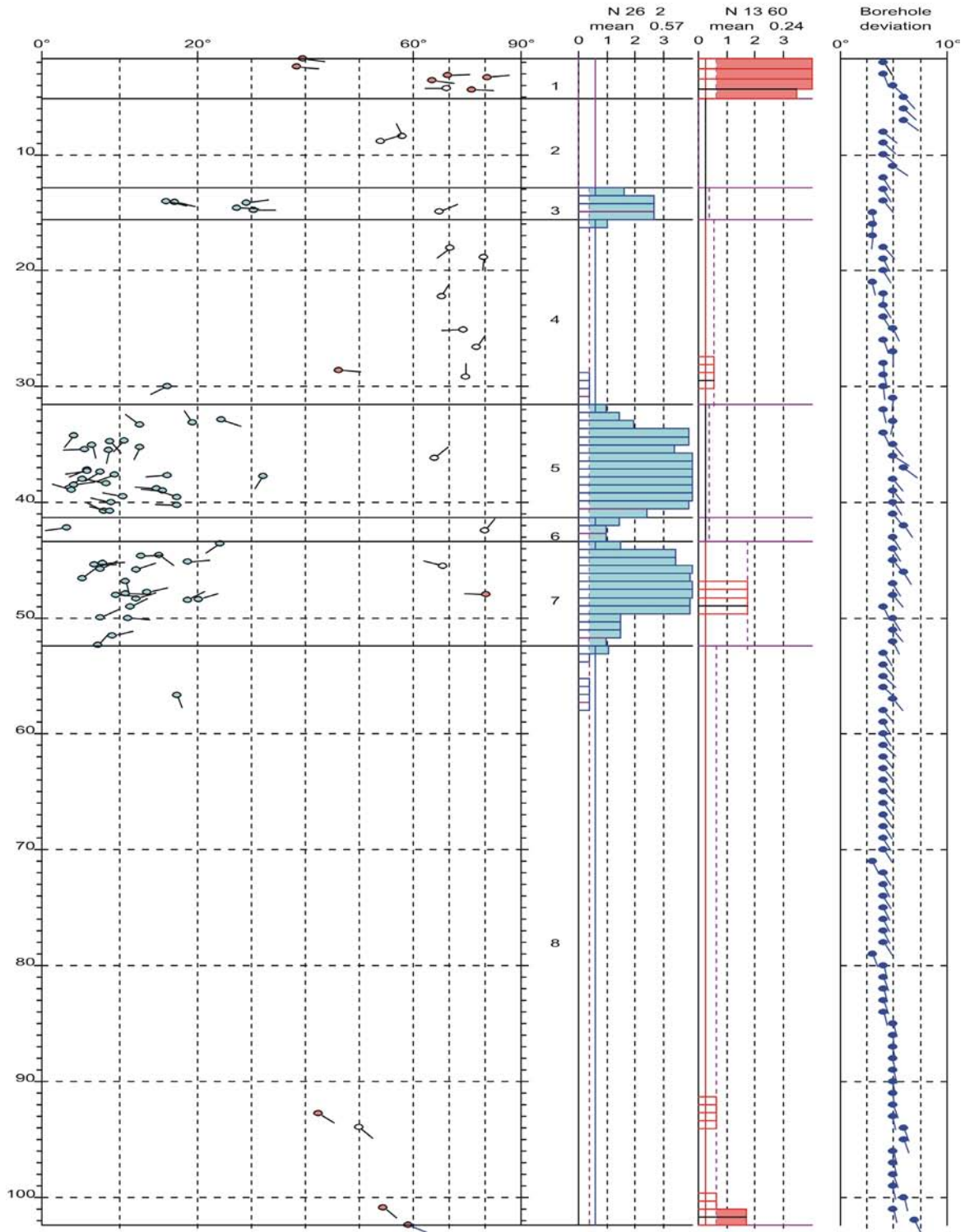
Figur 4. Resultater fra Bh 3, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling, resistivitet, porøsitet og lydshastighet.

Optisk televiewer viser klart bergartsgrensen mellom hornfels og syenitt på ca 47 m dyp, se også gammalogen figur 4. Hornfelsen er spesielt mye oppsprukket nær denne grensen, mellom 30 og 50 m. Detaljert tolkning av resultatene fra OPTV er gjort i NGU Rapport2001.117 (Elvebakk et al. 2001).

Figur 5 viser sprekkestereogram av observerte sprekker i Bh 3. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall. Figur 6 viser enkeltsprekker, sprekkefrekvenshistogram og borehullsforløp.



Figur 5. Sprekkestereogram Bh 3, Lunner.



Figur 6. Sprekkefrekvenshistogram, Bh 3, Lunner. Lite oppsprukket under 50 m.

4.1.2 Resultater Bh 5, Lunner

Bh5 går for det meste i hornfels med innslag av syenitt ganger. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling og resistivitet ble logget i 2001. Ved logging av lyd hastighet i 2005 var hullet tett ved 21 m dyp. Ved resistivitetsmålingene ble det bruk ABEM Terrameter og SAS Log.

Figur 7 viser resultatene fra logging i Bh 5. Temperaturen øker svakt mot bunnen uten spesielle endringer. Ledningsevnen i vannet er lav, men med en tydelig økning ved 40 og 57 m som kan tyde på vanninnstrømning. Gammastrålingen er tilnærmet konstant ned til ca 42 m (i hornfels). Forhøyet stråling ved 42 – 51 m og 57 – 62 m skyldes syenitt ganger.

Resistiviteten er forholdsvis lav (ca 600 ohmm) i hornfelsen. Det er betydelig økning i resistiviteten i syenittgangene. Den lave motstanden i hornfelsen kan ha sammenheng med oppsprekking og økt porøsitet.

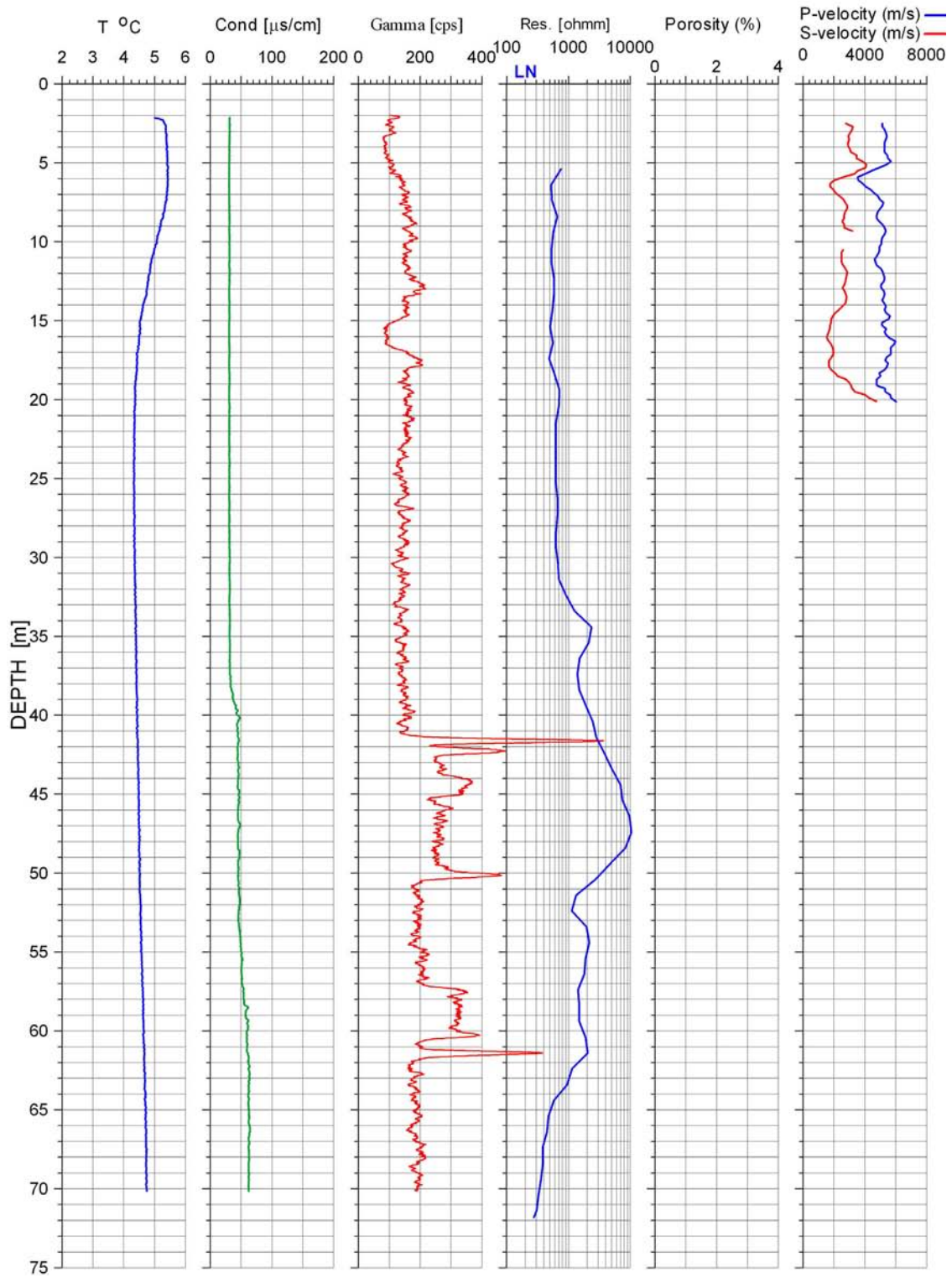
Lyd hastighet er målt bare ned til 20 m da hullet var tett ved dette dyp under måling i 2005. Gjennomsnittlig P-bølge hastighet er på ca 5000 m/s.

Optisk televier viser at hullet er til dels sterkt oppsprukket. Det er trolig oppsprekkingen som er årsak til ras i hullet. Det var også ras i andre brønner like i nærheten. Det er spesielt hornfelsen som er oppsprukket.

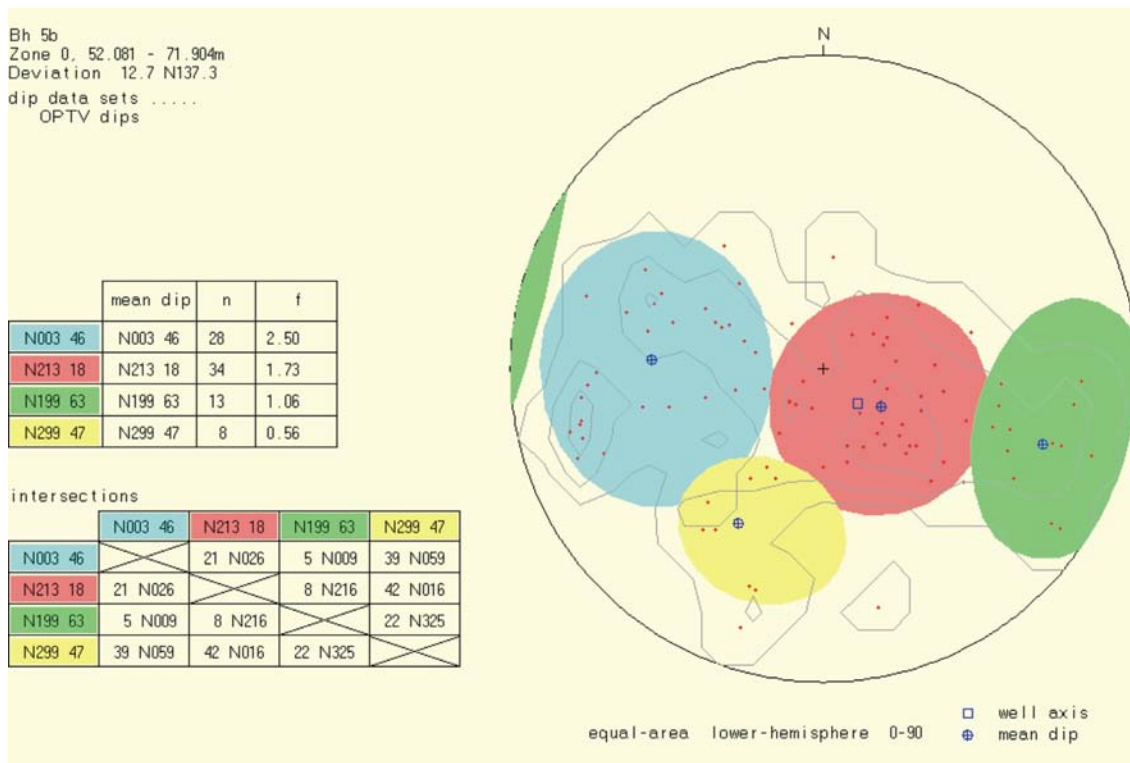
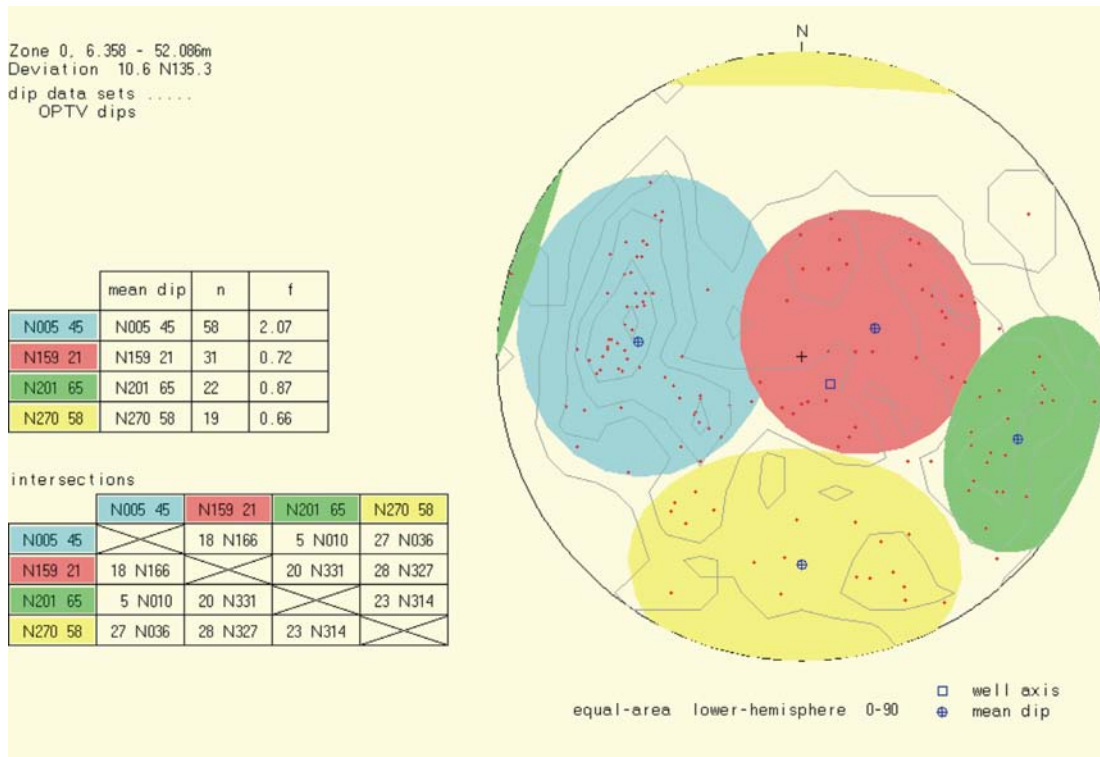
Figur 8 viser sprekkestereogram over indikerte sprekker. På grunn av måletekniske problemer er hullet målt i to seksjoner, 0 – 52 m og 52 -72 m. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall. Figur 9 viser individuelle sprekker, sprekkerekvenshistogram og borehullsforløp.

Figur 10 viser OPTV- bilde av to seksjoner fra borehullet, 11 – 14 m viser hornfels, mens 41-44 m viser grensen mellom hornfels og syenittgang.

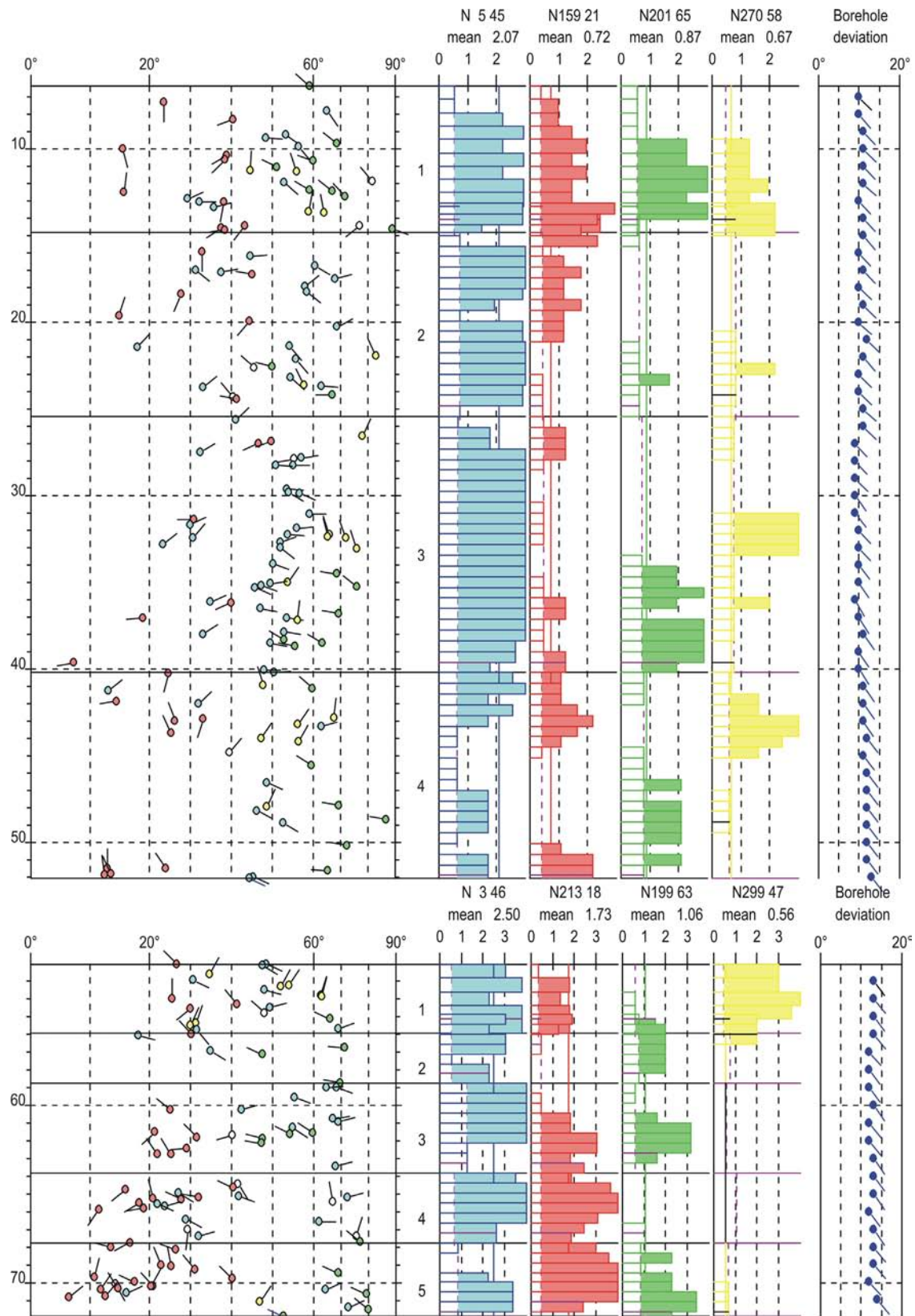
Lunner, Bh 5



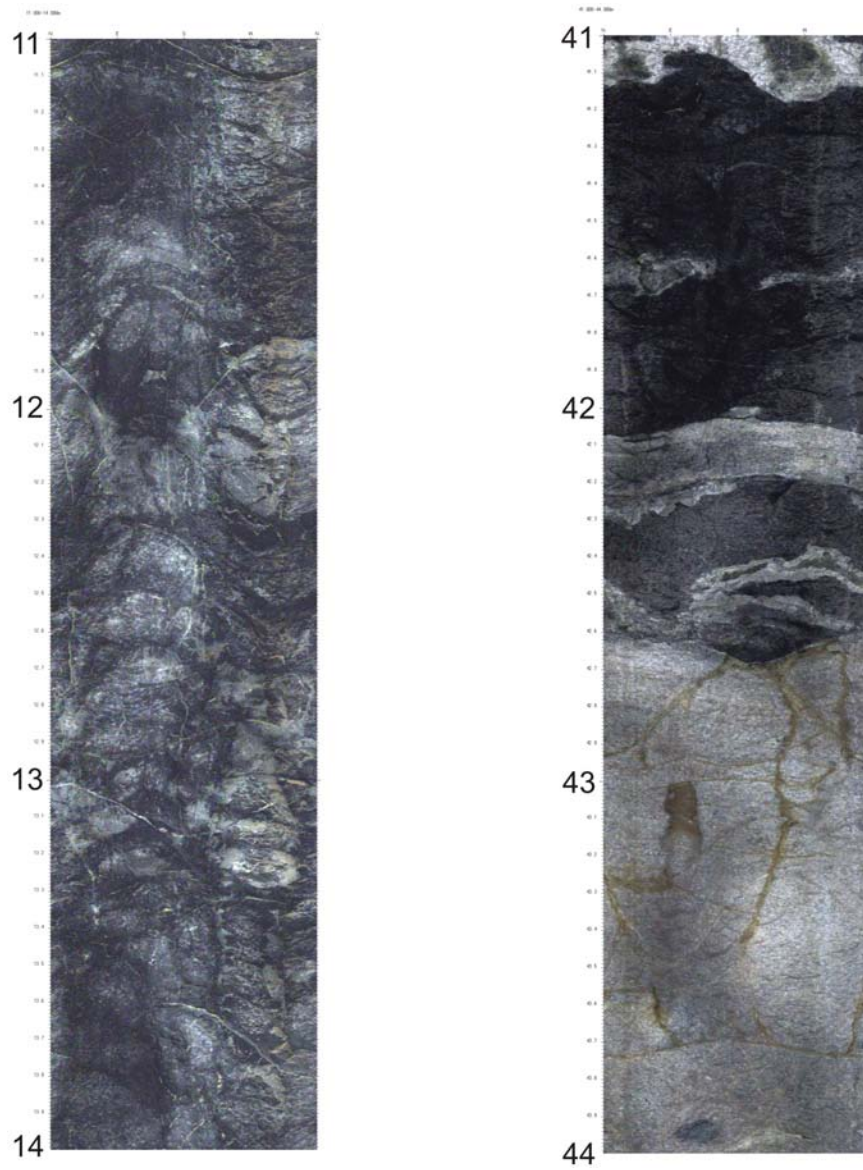
Figur 7. Resultater fra Bh 5, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling, resistivitet, og lydshastighet.



Figur 8. Sprekkestereogram Bh 5, Lunner, 6 – 52 m (øverst) og 52 -72 m (nederst).



Figur 9. Sprekkefrekvenshistogram, Bh 5, Lunner.



Figur 10. Bh 5, Lunner. OPTV-bilde av hornfels(venstre) og hornfels/syenitt (høyre).

4.1.3 Resultater Bh 6, Lunner

Bh 6 er boret ca 150 m nord for tunneltraseen og går for det meste i massiv syenitt. I dagen og ned til ca 20 m er det agglomerat. Flere åpne sprekker ble observert med optisk televier. Testpumping viste at brønnen ga store vannmengder (Storrø et al. 2002) og strømningsmåling ble utført under pumping for å finne hvor det kom vann inn i brønnen.

Figur 11 viser resultatene fra logging i Bh 6. Gjennomsnittlig temperaturgradient er beregnet til 16.3 °C/km. Tydelig endring i temperaturen observeres ved ca 42, 47 og 76 m. Dette skyldes trolig vanninnstrømning i borehullet. Ledningsevnen i vannet er konstant i hele hullet.

Gammastrålingen er stort sett konstant, ca 200 cps, i hele hullet (massiv syenitt). I agglomerat er strålingen noe høyere. Lokale økninger i strålingen observeres som lysere ganger i syenitten (OPTV) og skyldes trolig økt feltspatinnhold.

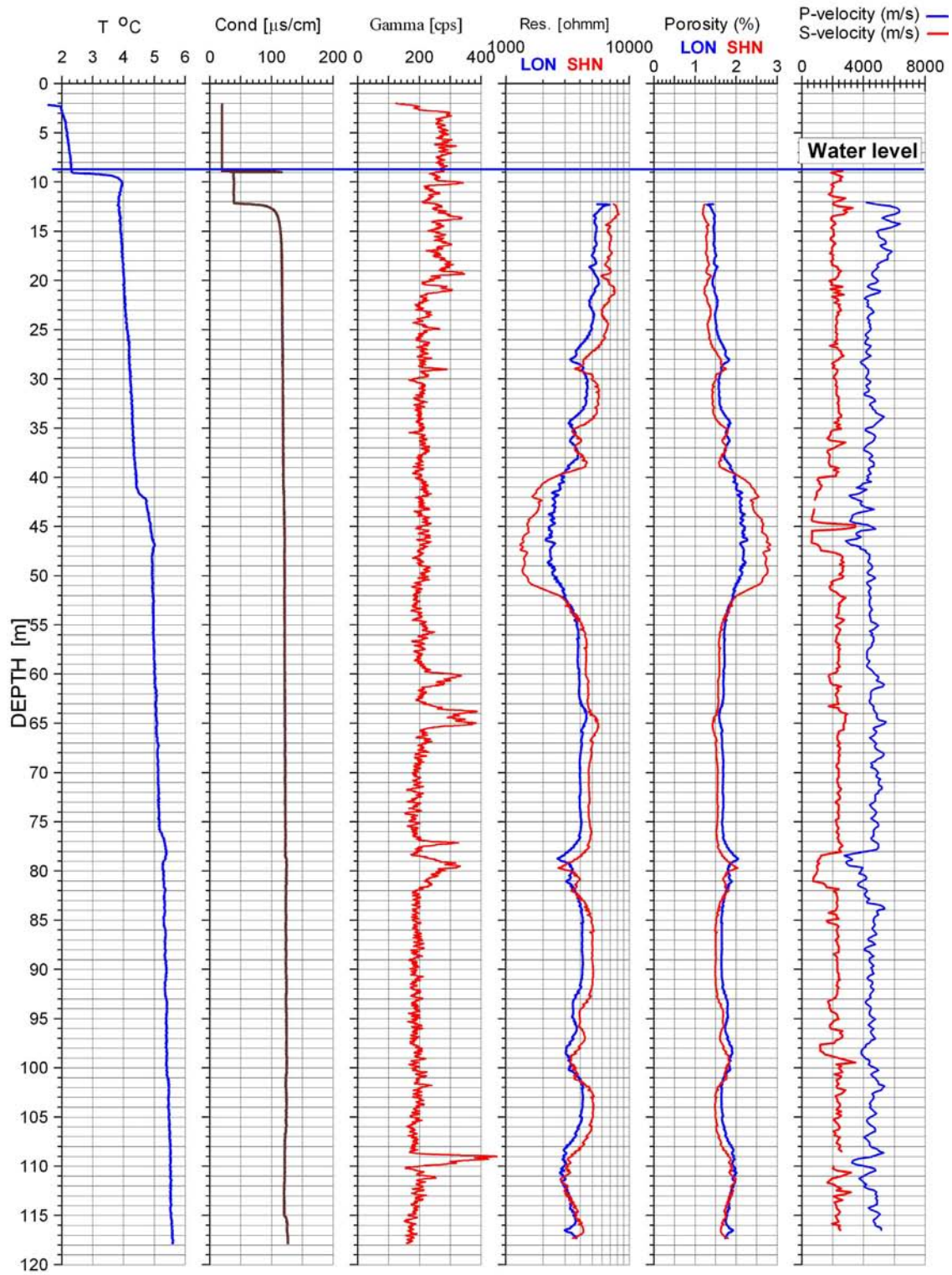
Resistiviteten er høy og konstant i syenitten, ca 5000 ohmm.. Dette tyder på massiv bergart. Agglomerat har noe høyere resistivitet, 6000 – 8000 ohmm. En tydelig nedgang i resistiviteten mellom 40 og 50 m indikerer oppsprekking. Sprekker indikeres også ved 79 m, 98 m og 110 m.

Gjennomsnittlig P-bølgehastighet er 4800 m/s og varierer lite i massiv syenitt. Agglomerat har litt høyere hastighet, 5300 m/s. P-bølgehastigheten indikerer flere lavmotstandssoner (sprekker). Det er tydelig at oppløsningen er mye bedre med lyd hastighet kontra resistivitet. Mens resistivitetmålingene indikerer en bred sone med lav resistivitet mellom 40 og 50 m, indikeres tre separate sprekker med lyd hastigheten. Dette verifiseres med optisk televier, se figur 12.

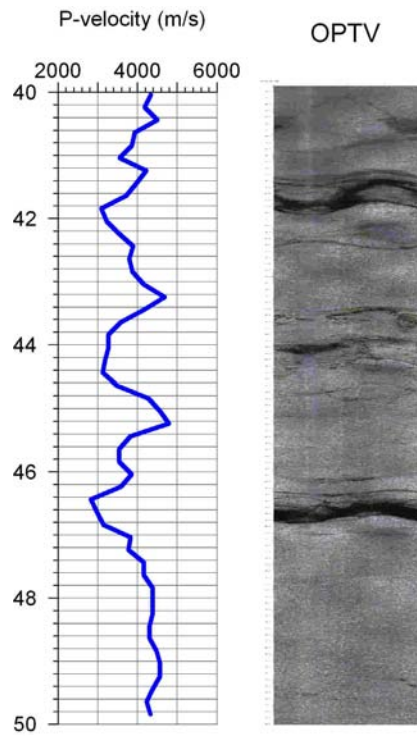
Med optisk televier ble det oppdaget flere åpne sprekker (5 – 10 cm åpning) i syenitten. Utenfor disse sonene var syenitten kompakt og massiv. Figur 13 viser sprekkestereogram over observerte sprekker i Bh 6. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall. Figur 14 viser individuelle sprekker, sprekkfrekvenshistogram og borehullsforløp. Det er en tydelig korrelasjon mellom oppreden av sprekker (sprekkfrekvens) og indikerte sprekker med resistivitet og lyd hastighet, se figur 15.

Pumping og strømningsmåling ble utført i Bh 6 for å undersøke brønnens vanngiver evne og hvor i brønnen vannet kom inn. Brønnen ga store mengder vann, minimum 7 m³/time som var pumpas kapasitet (Storrø et al 2002). Det ble gjort stasjonær strømningsmåling på ulike nivåer i brønnen (over sprekkesonene) samtidig med pumping. Endring i strømnings hastigheten (turtallet på strømningsmåleren) er et mål for vannmengden som strømmer i hullet. Resultatet fra strømningsmålingene er vist i figur 16 og viser bilde av sprekkene, hvor i hullet vannet strømmer inn, beregnet vannstrøm på de like nivåer og utskrift av målerens turtall på de samme nivåer. Ca 3400 l/time strømmer inn ved 42 – 47 m, 700 l/time ved 78 m og 3000 l/time ved 100 – 110 m.

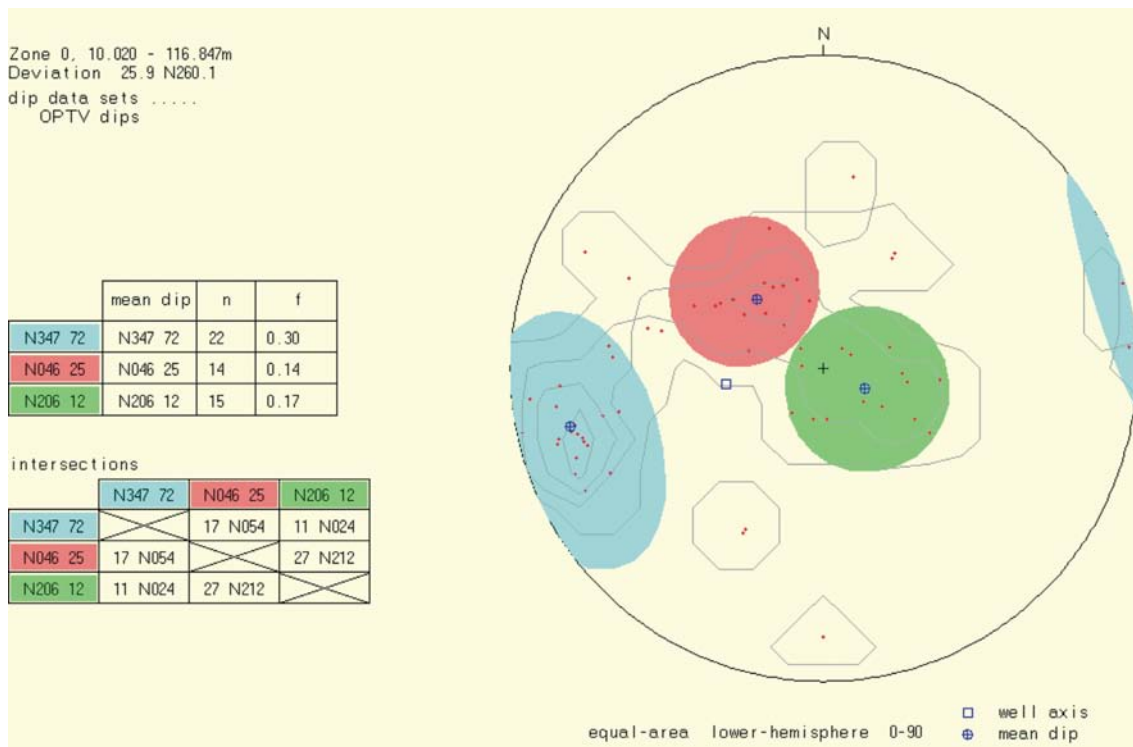
Lunner, Bh 6



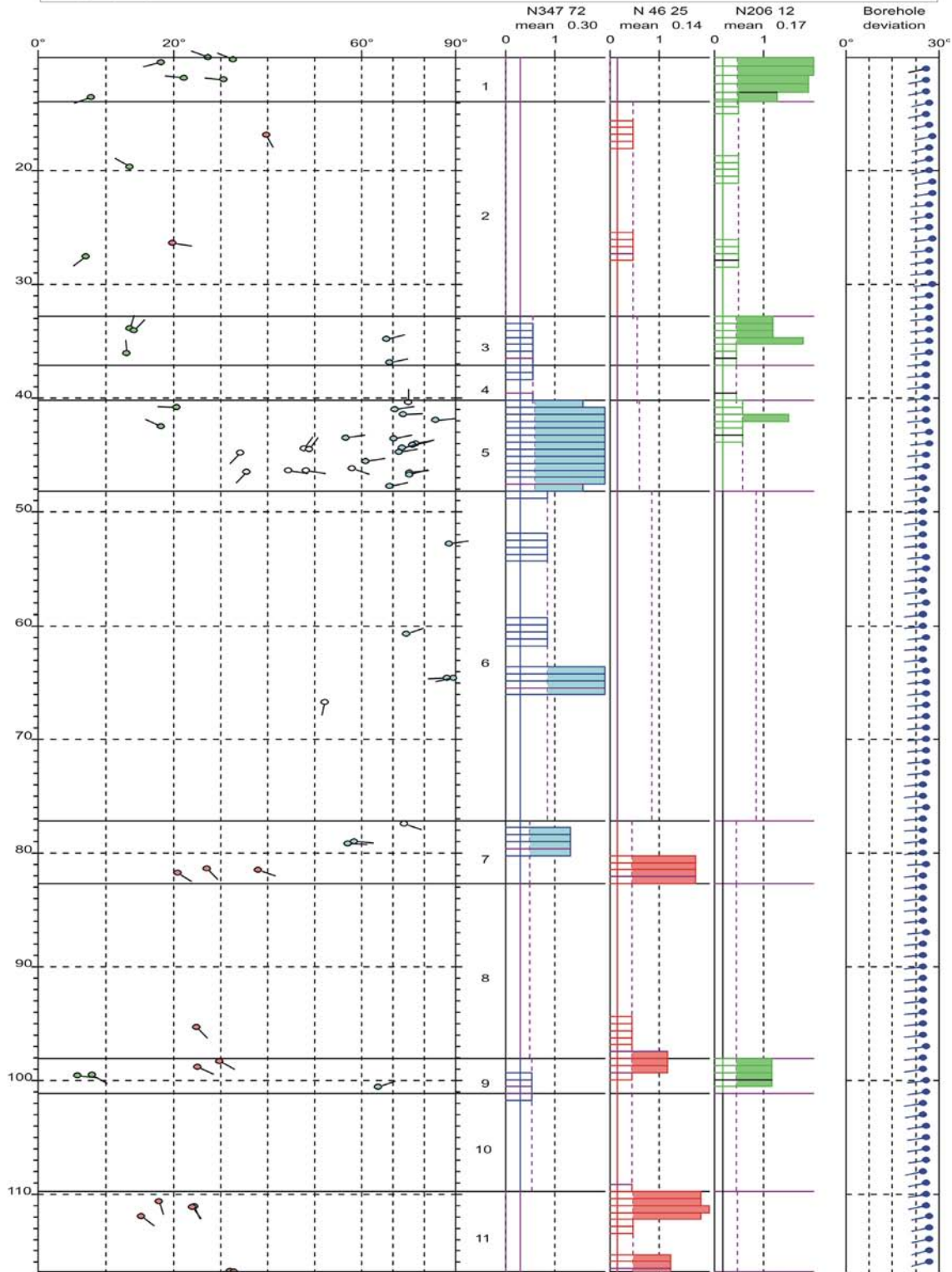
Figur 11. Resultater fra Bh 6, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, gammastråling, resistivitet, porøsitet og lydshastighet.



Figur 12. P-bølg hastighet og optisk logg, 40 -50 m

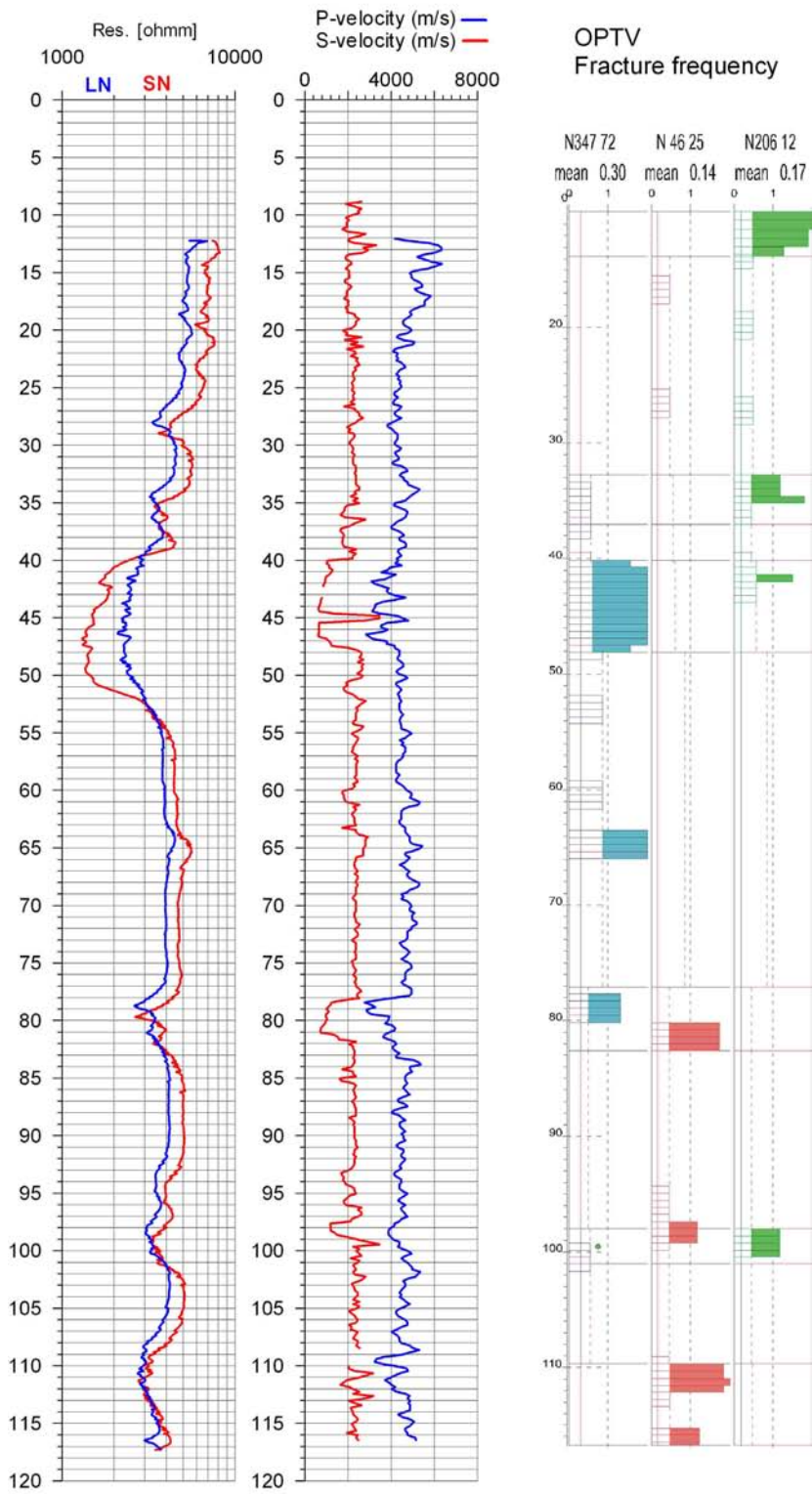


Figur 13. Bh 6 Lunner. Sprekkestereogram.

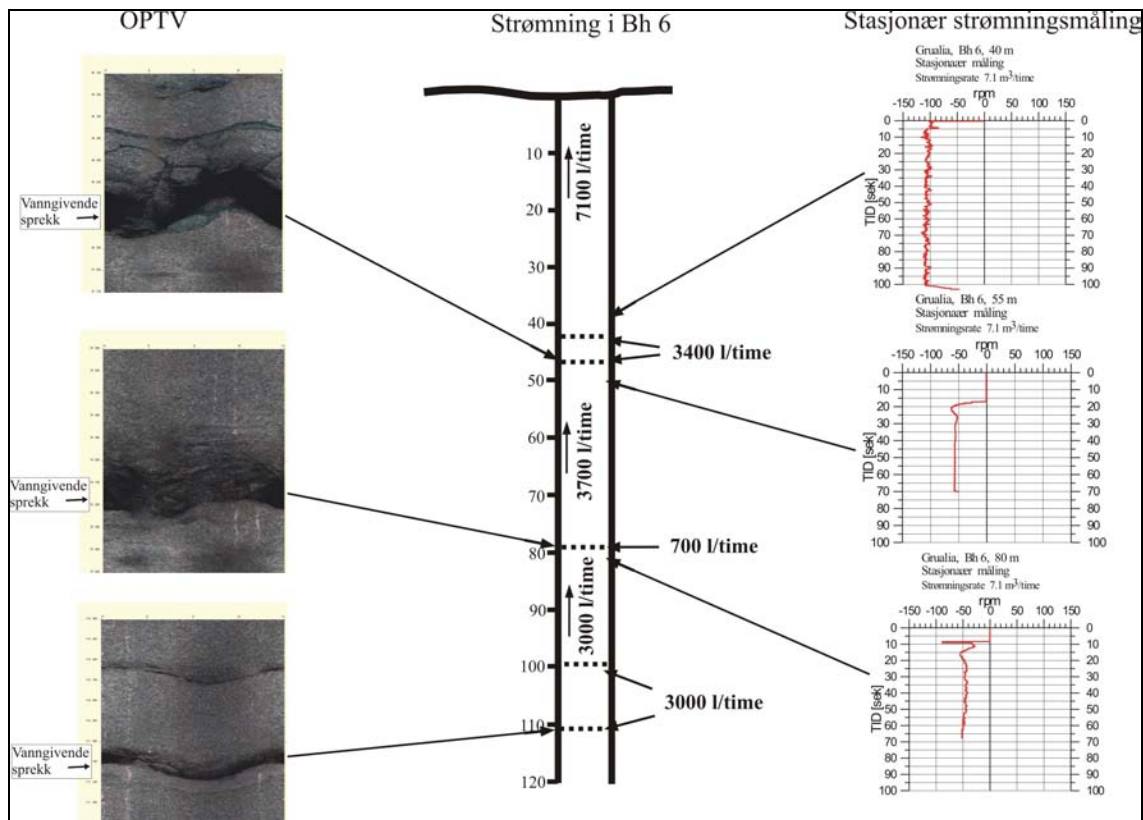


Figur 14. Bh 6, Lunner. Sprekkefrekvenshistogram.

Lunner, Bh 6



Figur 15. Bh 6, Lunner. Resistivitet, lydshastighet og sprekkefrekvens.



Figur 16. Strømningsmåling Bh 6, Lunner. Bilde av sprekker (venstre), strømningsmengder (i midten) og turtall på strømningsmåler(høyre).

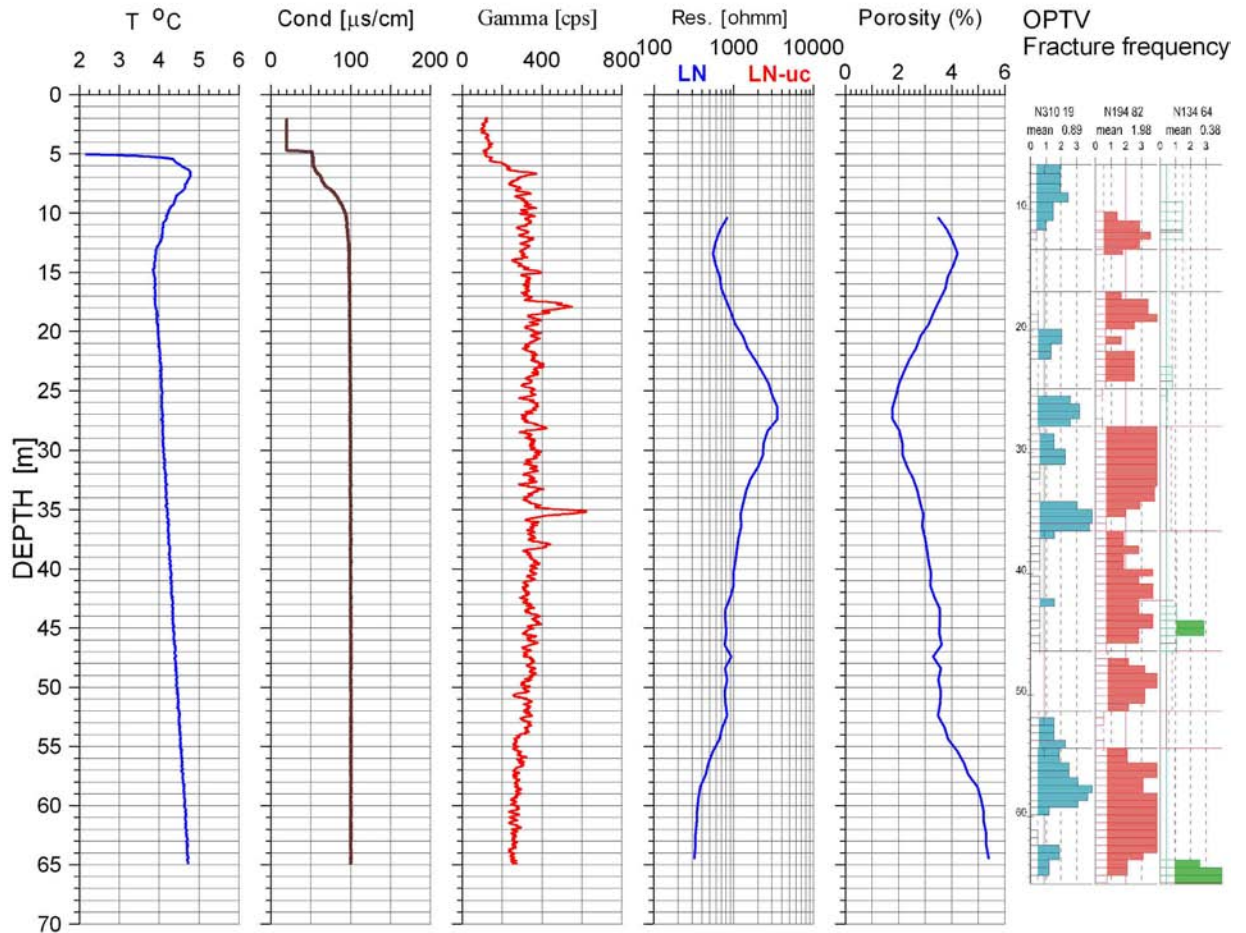
4.1.4 Resultater Bh 7, Lunner

Bh 7 var boret ca 200 m vest for østre tunnelpåhugg i bergarten ryolitt/trakytt. Hullet ble boret til 81 m, men ras blokkerte hullet ved 67 m. Det er ikke logget lydshastighet i dette hullet da det i 2005 var fylt med tetningsmasse fra tunneldrivingen (se figur 3).

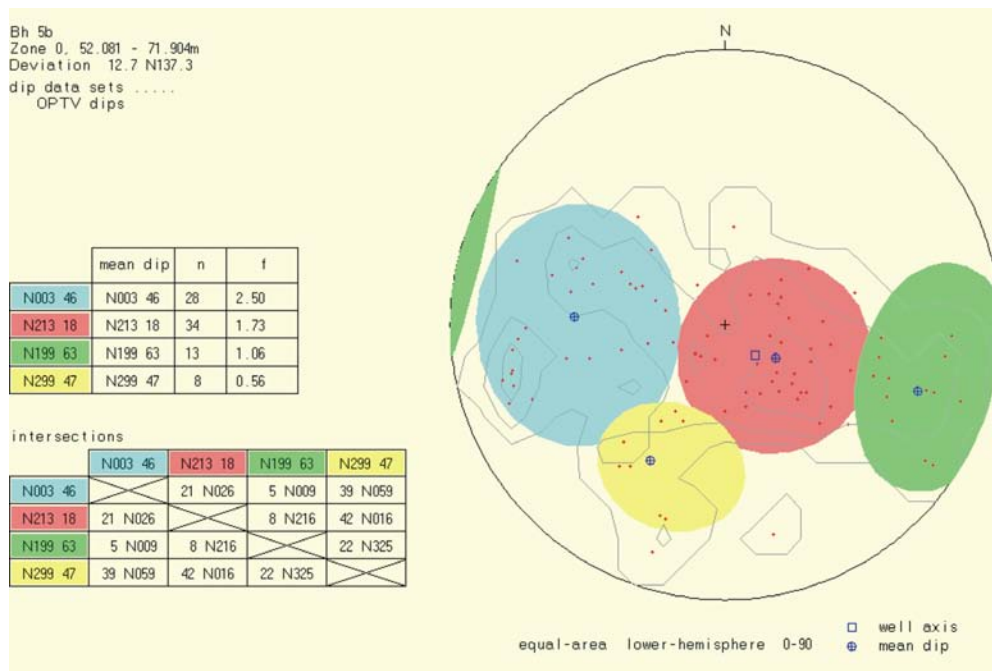
Figur 17 viser resultatet fra loggingen i Bh 7. Temperaturen viser jevn stigning og ledningsevnen i vannet er konstant, og disse to parametrene tyder ikke på vanninnstrømning i hullet. Gammastrålingen er forholdsvis høy, ca 200 cps, men avtar noen mot bunnen av hullet. Resistiviteten er for det meste lav, under 1000 ohmm. Mot bunnen av hullet går den ned mot 300 ohmm som tyder på sterkt oppsprukket fjell. Under driving av tunnelen ble det rapportert om store stabilitetsproblemer i dette partiet.

Sprekkefrekvenser fra optisk televiewer er vist sammen med loggene i figur 17. Sprekkestereogram for indikerte sprekker er vist i figur 18. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall. Individuelle sprekker, sprekkfrekvenshistogram og borehullsforløp er vist i figur 19.

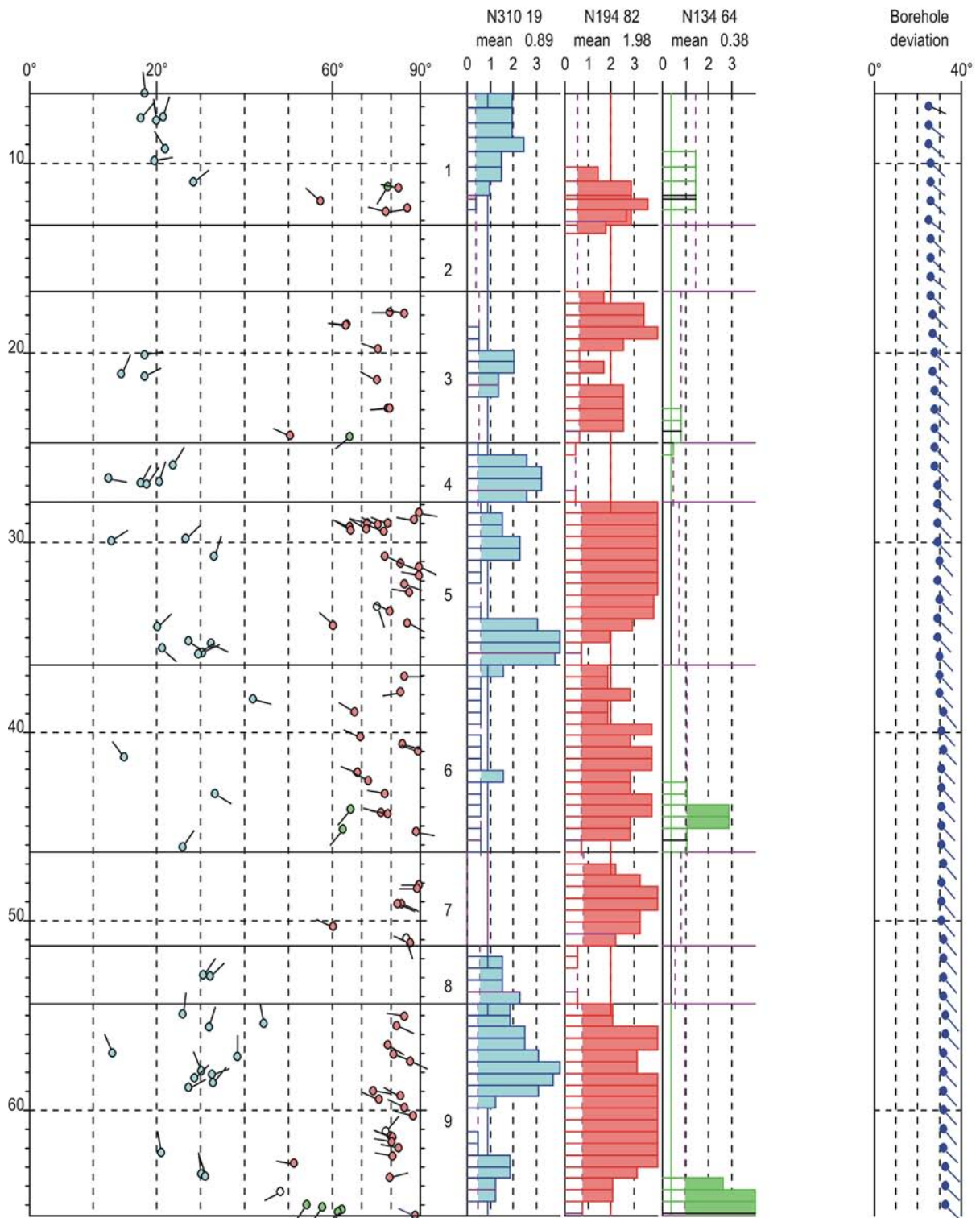
Lunner, Bh 7



Figur 17. Bh 7, Lunner. Temperatur, ledningsevne i vann, resistivitet, porøsitet og sprekkfrekvens.



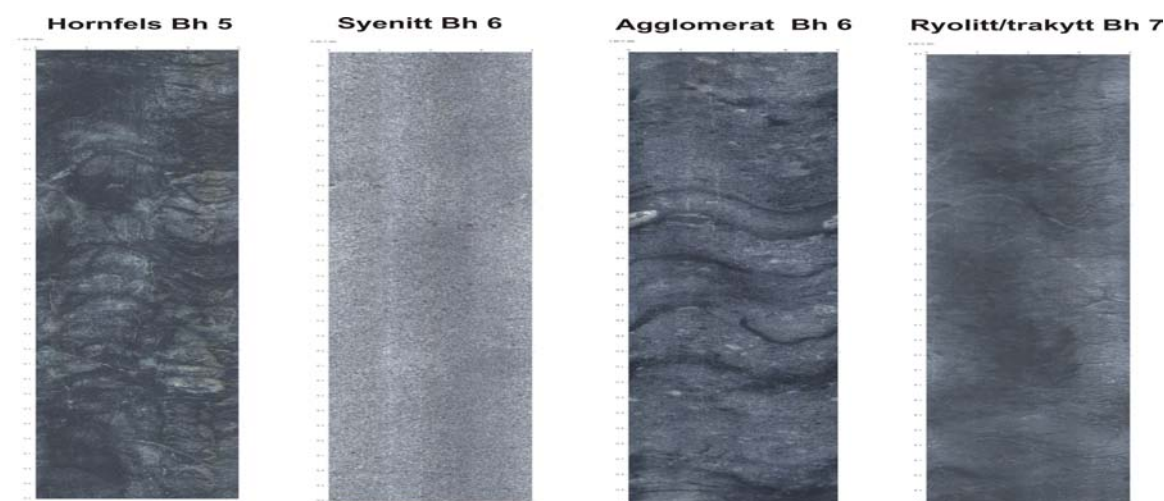
Figur 18. Bh 7, Lunner. Sprekkstereogram.



Figur 19. Bh 7, Lunner. Sprekkefrekvenshistogram

4.2 Data, fysiske parametere

I det følgende presenteres typiske data for total gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet i ikke oppsprukket bergart. Dette er data fra antatt massiv bergart som er lite oppsprukket bedømt ut fra nevnte parametere og optisk televiever. Bergartene er syenitt, hornfels, ryolitt/trakytt og agglomerat, figur 20 viser utsnitt fra optisk bilde fra hver av bergartene.



Figur 20. Hornfels, syenitt, agglomerat og ryolitt/trakytt filmet med optisk televiever.

4.2.1 Naturlig gammastråling

Tabell 3 viser data fra målt naturlig gammastråling i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner. Det er angitt gjennomsnittsverdier, maksimum, minimum, og standardavvik.

Tabell 3. Målte gammaverdier i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Syenitt Bh 3	60 - 90	185	154	225	9
Syenitt Bh 6	66 - 77	193	152	240	14
Agglomerat Bh 6	12 - 20	270	210	344	25
Hornfels Bh 5	7 - 15	163	125	216	16
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	350	286	420	25

4.2.2 Resistivitet

Tabell 4 viser målt resistivitet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner. Det er målt med ShortNormal og Long Normal elektrodekonfigurasjon. ShortNormal er resistiviteten i borehullsveggen umiddelbare nærhet, mens LongNormal måler et større volum (noen desimeter) ut fra borehullsveggen. I Bh 5 og 7 er det målt bare med LN (ABEM). Målt resistivitet er korrigert for vannets ledningsevne, borehullsdiameter og sondens diameter (Thunhead & Olsson 2004).

Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [Mean Ohmm]	Resistivitet [Min. Ohmm]	Resistivitet [Max. Ohmm]	St.dev.	LN/SN
Syenitt Bh 3	60 - 90	7300	6800	8000	270	SN
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	4600	5300	127	SN
Agglomerat Bh 6	12 - 20	7000	5900	8200	490	SN
Hornfels Bh 5	7 - 15	-	-	-	-	SN
Ryolitt/traktytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-	SN

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [Mean Ohmm]	Resistivitet [Min. Ohmm]	Resistivitet [Max. Ohmm]	St.dev.	LN/SN
Syenitt Bh 3	60 - 90	5800	5500	6100	147	LN
Syenitt Bh 6	66 - 77	4000	3900	4200	56	LN
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	4700	6900	286	LN
Hornfels Bh 5	7 - 15	575	502	760	71	LN
Ryolitt/traktytt Bh 7	20 - 30	2450	1300	3500	737	LN

4.2.3 Lydhastighet

Lydhastigheten viser P- og S-bølgehastighet. Det er gjort full waveform prosessering ved programvare fra ALT (ALT 2006). Tabell 5 viser målt P- og S-bølgehastighet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

Tabell 5. P- og S-bølgehastighet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

Bergart	Dyp [m]	P-bølgehast. [mean m/s]	P-bølgehast. [min. m/s]	P-bølgehast. [max. m/s]	St.avvik
Syenitt Bh 3	60 - 90	5300	4900	5700	137
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	4400	5300	220
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	4200	6400	540
Hornfels Bh 5	7 - 15	5100	4600	5600	235
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-

Bergart	Dyp [m]	S-bølgehast. [mean m/s]	S-bølgehast. [min. m/s]	S-bølgehast. [max.m/s]	St.avvik
Syenitt Bh 3	60 - 90	2700	2500	3000	122
Syenitt Bh 6	66 - 77	2350	2200	2550	75
Agglomerat Bh 6	12 - 20	2150	1770	3300	315
Hornfels Bh 5	7 - 15	2575	1800	3200	300
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	-	-

4.2.4 Sammenstilling, Lydhastighet, resistivitet og gammastråling.

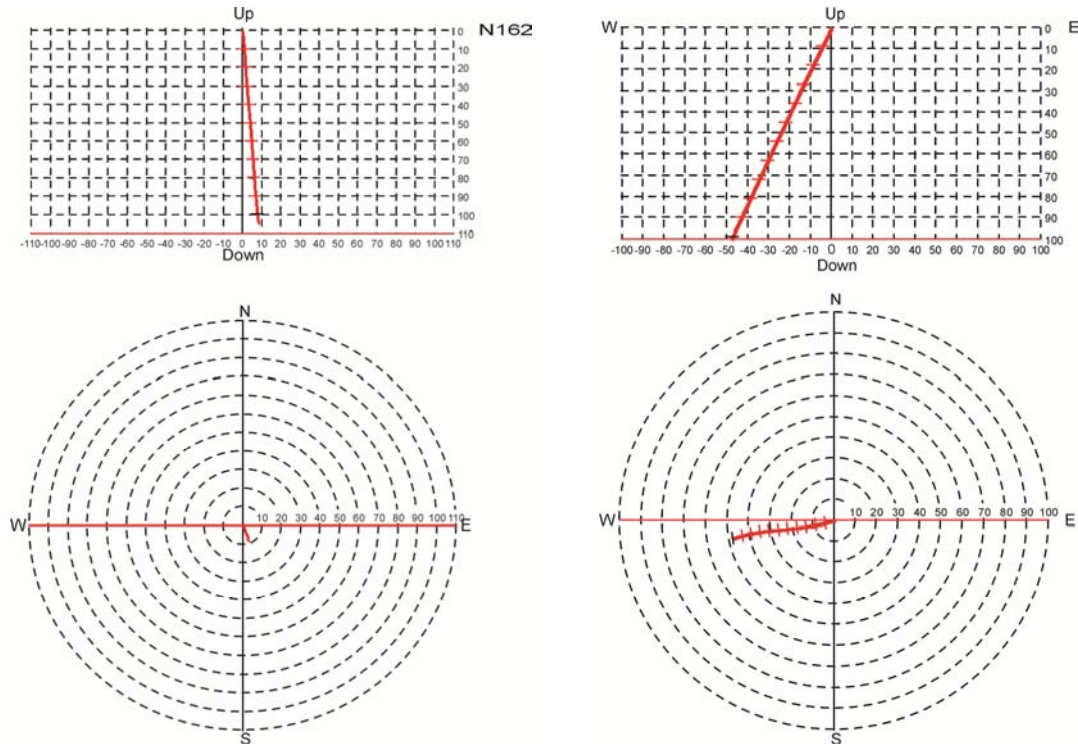
Tabell 6 viser en sammenstilling av gjennomsnittlige verdier for lydhastighet, naturlig gamma og resistivitet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

Tabell 6. Gjennomsnittlig lydhastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 3, 5, 6 og 7, Gualia, Lunner.

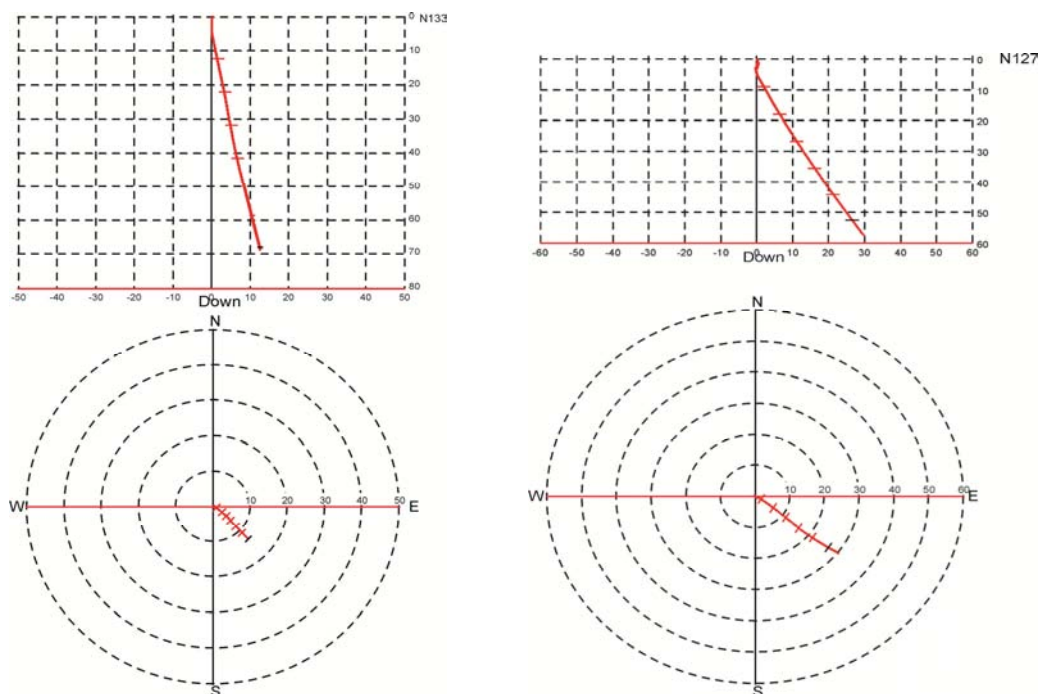
Bergart	Dyp [m]	P-bølge [m/s]	S-bølge [m/s]	Gamma [cps]	Resistivitet LN [ohmm]	Resistivitet SN [ohmm]
Syenitt Bh 3	60 - 90	5300	2700	185	5800	7300
Syenitt Bh 6	66 - 77	4800	2350	193	4000	4800
Agglomerat Bh 6	12 - 20	5300	2150	270	5300	7000
Hornfels Bh 5	7 - 15	5100	2575	163	575	-
Ryolitt/trakytt Bh 7	20 - 30	-	-	350	2450	-

4.3 Borehullsforløp

Borehullsavvik er vist i figur 21 og 22. Borehullsforløpet ble målt med OPTV-sonden og viser borehullenes fall og retning.



Figur 21. Borehullsforløp, vinkel og retning. Bh 3 (venstre) og Bh 6 (høyre).



Figur 22. Borehullsforløp, vinkel og retning. Bh 5(venstre) og Bh 7 (høyre).

5. KONLUSJON

I forbindelse med driving av Lunnertunnelen har NGU gjort geofysisk logging av flere brønner. Lunnertunnelen er en del av den nye tverrforbindelsen mellom RV 4 i vest (Lunner) og RV 174 i øst (Gardermoen). Hensikten var å prøve ut nye metoder for forundersøkelser for å kartlegge fjellkvalitet både ved å påvise og karakterisere sprekker og sprekkesoner.

Detaljert tolkning av resultatene er tidligere beskrevet i prosjektet "Miljø- og samfunnstjenlige tunneler" (Rønning 2003 og Elvebakk m.fl. 2001). Åpne vannførende sprekker og partier med sterkt oppsprukket fjell er påvist i eller like i nærheten av tunneltraseen. Noen av disse ga store problemer under drivingen.

I denne rapporten er fysiske parametere for området bergarter samlet. Disse data er hentet fra de deler av borehullet som er lite oppsprukket og representerer massiv stabil bergart. Avvik fra disse standardverdier kan bety oppsprekking og dårligere fjellkvalitet.

6. REFERANSER

Advanced Logic Technology, 2006: WellCAD, FWS processing, version 4.1.

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

Elvebakk, H., Braathen, A., Rønning, J.S., & Nordgulen, Ø. 2001: Tunnelprosjektet. Borehullslogging og strukturgeologiske studier Gualia, Lunner kommune. *NGU Rapport 2001.117*.

Rønning, J.S., 2003: "Miljø og samfunnstjenlige tunneler". Sluttrapport delprosjekt A, Forundersøkelser. *NGU Rapport 2003.077*.

Storrø, G., Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2002: Tunnelprosjektet. Hydraulisk testing av borehull i fjell i Gualia, Lunner kommune. *NGU Rapport 2002.051*.

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