

NGU Rapport 2011.008

Geofysisk logging av borehull  
ved Lutvann, Oslo



|  |                          |   |                                     |  |
|--|--------------------------|---|-------------------------------------|--|
| Rapport nr.: 2011.008  |                          | ISSN 0800-3416  | Gradering: Åpen                     |  |
| Tittel:<br>Geofysisk logging av borehull ved Lutvann, Oslo   |                          |   |                                     |  |
| Forfatter:<br>Harald Elvebakk  |                          | Oppdragsgiver:<br>NGU   |                                     |  |
| Fylke:<br>Oslo   |                          | Kommune:<br>Oslo  |                                     |  |
| Kartblad (M=1:250.000)<br>Oslo   |                          | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)<br>1914 IV Lørenskog        |                                     |  |
| Forekomstens navn og koordinater:<br>Bh 11, Lutvann 604950Ø 6644025N 32V   |                          | Sidetall: 19                      Pris: kr 75.-<br>Kartbilag: |                                     |  |
| Feltarbeid utført:<br>Okt.1999, Aug. 2000<br>og Nov. 2005  | Rapportdato:<br>1.2.2011 | Prosjektnr.:<br>329500  | Ansvarlig:<br><i>Jan S. Rønning</i> |  |
| Sammendrag:  |                          |   |                                     |  |
| <p>NGU har gjort borehullslogging i et 53 m dypt borehull ved Lutvann i Oslo. I forbindelse med lekkasjeproblemene og miljøproblemene under driving av Romeriksporten ble det boret flere brønner for overvåking av vannivå.</p> <p>Det er utført geofysisk logging i brønnen for å kartlegge berggrunnens fysiske egenskaper. Det ble målt resistivitet, lyd hastighet, naturlig gammastråling, ledningsevne i vann og vannstrømning. Brønnen er inspisert med optisk og akustisk televiwer. Brønnen er artesisk og det er påvist en vannførende sprekk ved 33 m dyp.</p> <p>Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lyd hastighet og naturlig gammastråling i grunnfjellsbergarten glimmergneis som stedvis inneholder granat. Avvik fra de oppgitte verdier (mindre) av resistivitet og lyd hastighet kan tyde på oppsprukket fjell.</p> |                          |   |                                     |  |
| Emneord: Geofysikk   | Borehullslogging         | Elektrisk måling  |                                     |  |
| Temperaturmåling   | Naturlig radioaktivitet  | Lyd hastighet   |                                     |  |
| Optisk televiwer   | Akustisk televiwer       | Fagrapport  |                                     |  |



## INNHold

|   |    |
|---|----|
| 1. INNLEDNING .....   | 7  |
| 2. LOKALITET.....   | 7  |
| 3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....  | 8  |
| 4. RESULTATER .....   | 9  |
| 4.1 Temperatur.....   | 9  |
| 4.2 Temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gamma, resistivitet, porøsitet, lyd­hastighet og strømning. .... | 10 |
| 4.3 Data, fysiske parametere.....   | 12 |
| 4.3.1 Naturlig gammastråling.....   | 12 |
| 4.3.2 Resistivitet.....   | 12 |
| 4.3.3 Lydhastighet.....   | 13 |
| 4.4 Optisk televierer.....  | 13 |
| 4.5 Akustisk televierer.....  | 16 |
| 4.6 Borehullsavvik.....   | 18 |
| 5. KONLUSJON .....  | 19 |
| 6. REFERANSER .....   | 19 |

## FIGURER

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Figur 1. Bh 1, Lutvann. Oversiktskart.....</i>  | <i>7</i>  |
| <i>Figur 2. Borehullslogging Bh 11, Lutvann, Oslo.....</i>   | <i>8</i>  |
| <i>Figur 3. Temperatur og temperaturgradient, Bh 11 Lutvann, Oslo. ....</i>  | <i>9</i>  |
| <i>Figur 4. Bh 11, Lutvann. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, porøsitet, P- og S-bølge­hastighet, og strømning.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Figur 5. Åpen sprekk ved 28.5 m (venstre) og ved 33.5 m (høyre). Optisk televierer. ....</i>  | <i>14</i> |
| <i>Figur 6. Bh 11, Lutvann. Sprekkestereogram over observerte sprekker. Optisk televierer....</i>  | <i>14</i> |
| <i>Figur 7. Bh 11, Lutvann. Sprekkefrekvenshistogram. Optisk televierer. ....</i>  | <i>15</i> |
| <i>Figur 8. Bh 11, Lutvann. Sprekkestereogram over indikerte sprekker. Akustisk televierer. ..</i>   | <i>16</i> |
| <i>Figur 9. Bh 11, Lutvann. Sprekkefrekvenshistogram. Akustisk televierer. ....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Figur 11. Sprekkefrekvenshistogram.....</i>   | <i>17</i> |
| <i>For 180 -390 m dyp.....</i>   | <i>17</i> |
| <i>Figur 10. Borehullsforløp, Bh 11, Lutvann, 3D projeksjon.....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Figur 11. Bh 11, Lutvann. Horisontalprojeksjon.....</i>   | <i>18</i> |

## TABELLER

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1. Borehullsdata for Bh 11, Lutvann, Oslo.....   | 8  |
| Tabell 2. Målte parametre i Bh 11, Lutvann. ....  | 8  |
| Tabell 3. Målte gammaverdier Bh 11, Lutvann, Oslo .....   | 12 |
| Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 11, Lutvann, Oslo .....   | 12 |
| Tabell 5. P- og S-bølge­hastighet i Bh 11, Lutvann, Oslo.....   | 13 |
| Tabell 6. Gjennomsnittlig lyd­hastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 11, Lutvann, Oslo..... | 13 |



## 1. INNLEDNING

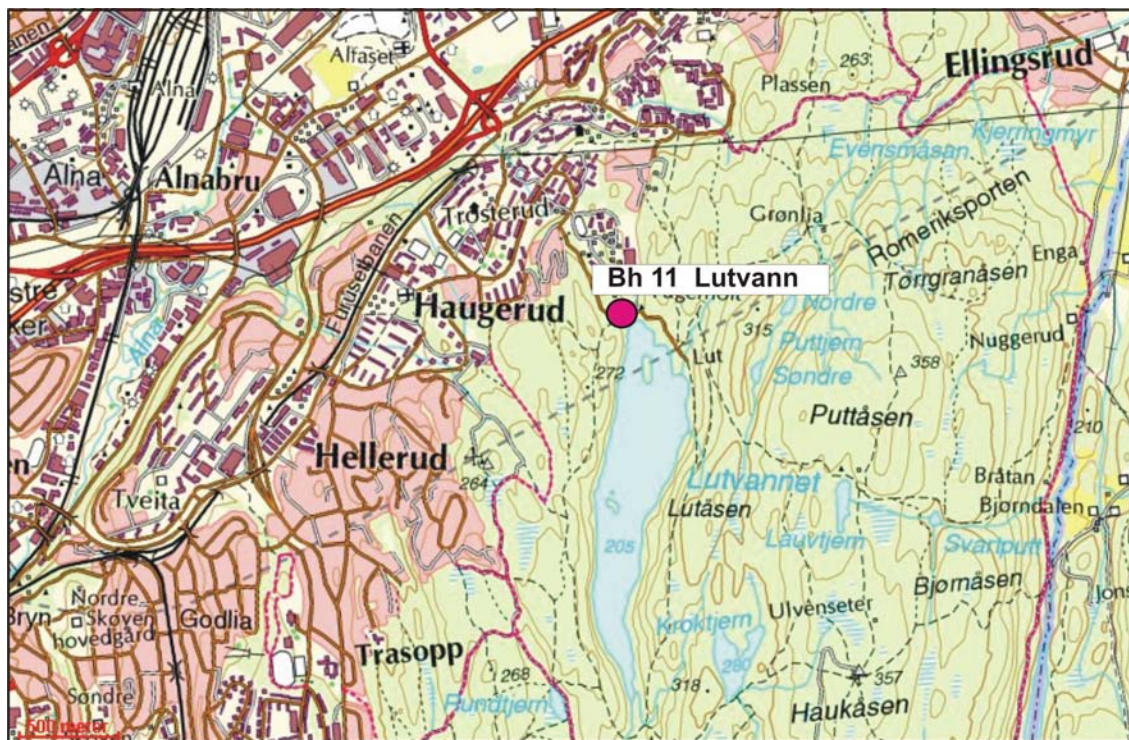
I forbindelse med lekkasjeproblerne og miljøproblemene under driving av Romeriksporten ble det boret flere brønner for overvåking av vannivå. NGU har gjort geofysisk logging i Bh 11 i nordenden av Lutvann. Dette ble gjort som en del av prosjektet "Miljøsikre og Samfunnstjenlige tunneler" (Rønning 2003 og Elvebakk & Rønning 2001).

Som en del av data presenteres typiske verdier for resistivitet, seismisk hastighet og total gammastråling i de bergarter som finnes i hullet.

Målingene ble utført høsten 1999 (akustisk televiwer) og høsten 2000 (optisk televiwer) av Harald Elvebakk og Jan S. Rønning. Supplerende målinger ble gjort i november 2005 (geofysiske logger).

## 2. LOKALITET

Bh11 er boret ved nordenden av Lutvann i Østmarka i Oslo, se figur 1 som viser et oversiktskart. Data for borehullet er vist i tabell 1. Bergartene ved Lutvann ligger utenfor Oslofeltets kambrosilurbergarter og tilhører prekambriske grunnfjellsbergarter (mellom/sen proterozoikum). Berggrunnen består av glimmergneis som stedvis inneholder granat og ganger av amfibolitt. Bilder fra lokaliteten er vist i figur 2.



Figur 1. Bh 1, Lutvann. Oversiktskart.

**Tabell 1. Borehullsdata for Bh 11, Lutvann, Oslo.**

| Lokalitet | Nord wgs 84 | Øst wgs 84 | Sone | Høyde m.o.h. | Dato logging       | Fall | Diam (cm) | Dyp (m) | Boring |
|-----------|-------------|------------|------|--------------|--------------------|------|-----------|---------|--------|
| Lutvann   | 6644025     | 604950     | 32V  | 215          | 1999, 2000<br>2005 | 75 ° | 14.5      | 53      | 1999   |



*Figur 2. Borehullslogging Bh 11, Lutvann, Oslo.*

### 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 11, Lutvann.**

| 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             |
| Lydhastighet, P- og S-bølge     | 4 m/min        | 20 cm            |
| Naturlig gammastråling          | 5 m/min        | 1 cm             |
| Borehullsavvik                  | 5 m/min        | 1 cm             |
| Akustisk televiwer              | 1 m/min        | 1 mm             |
| Optisk televiwer                | 1 m/min        | 1 mm             |
| Strømningsmåling                | 5 m/min        | 1 cm             |

Alle logger er gjort ned til 53 m. Opptaket fra optisk televiwer ble meget bra. Brønnen er artesisk, det renner vann ut av hullet.

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

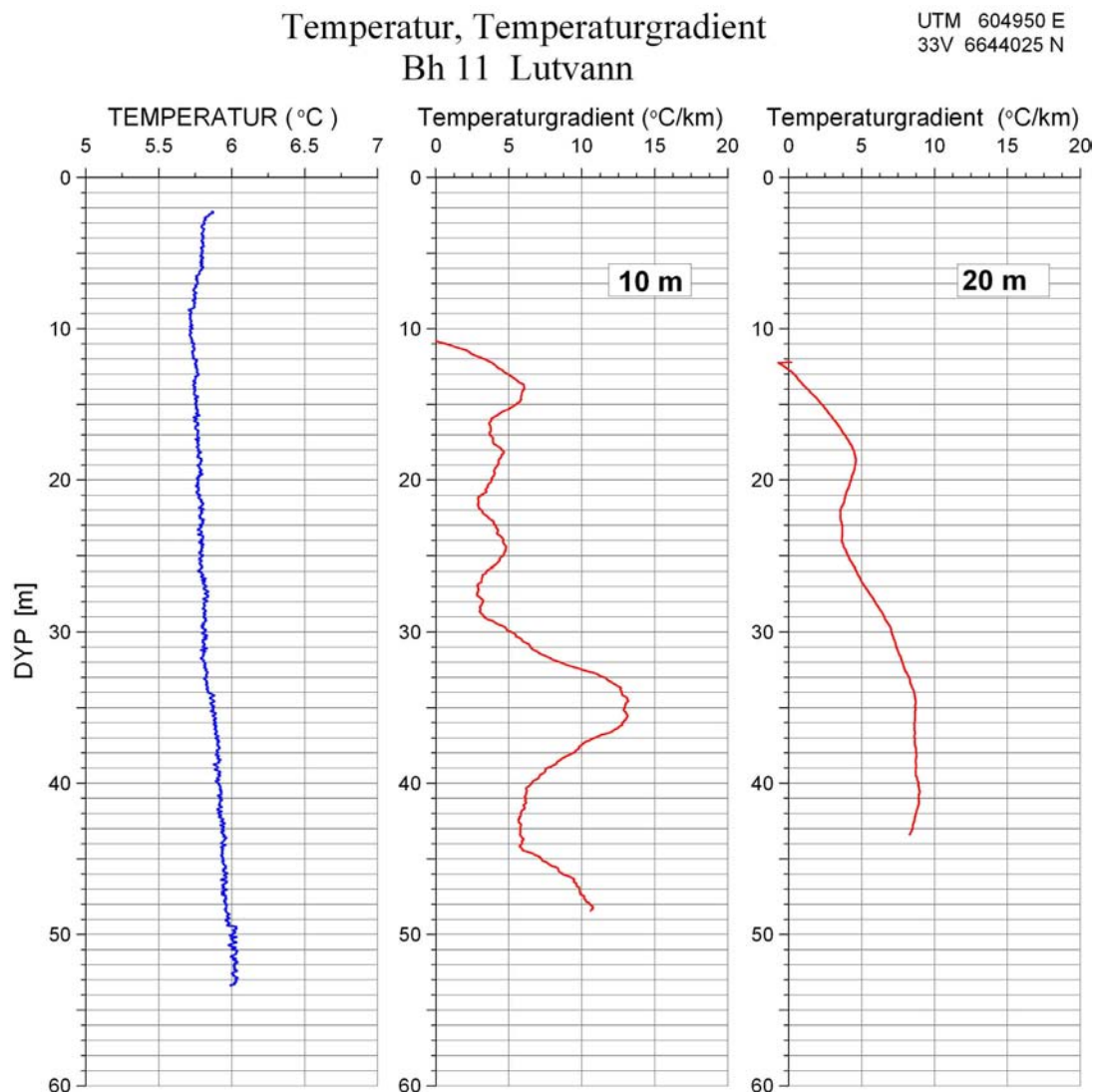


## 4. RESULTATER

Rapporten presenterer data både i kurveplott og i tabellform. Tabellene viser gjennomsnittsverdier for den lokale bergart og antas å være normale verdier for denne 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.

### 4.1 Temperatur

Figur 3 viser temperaturlogg med beregnet temperaturgradient. Gradienten er svært lav, 4 – 5 °C/km, spesielt over 30 m dyp. Dette skyldes innstrømming av vann i hullet på dette dyp og at vannet strømmer opp til overflaten og ut av hullet. Dermed blir vanntemperaturen lite påvirket av bergvarmen. Under 30 m øker gradienten noe, men er også der lav.



Figur 3. Temperatur og temperaturgradient, Bh 11 Lutvann, Oslo. Dyp angitt som lengde langs hullet.

## 4.2 Temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gamma, resistivitet, porøsitet, lyd hastighet og strømning.

Figur 4 viser temperatur, ledningsevne, naturlig gammastråling, resistivitet, beregnet tilsynelatende porøsitet, lyd hastighet og strømning. Gammastrålingen er forholdsvis konstant og lav de øverste 20 m. I nedre del av hullet varierer strålingen noe som trolig skyldes varierende innhold av kalium (feltspat). Det er total gammastråling som måles og enheten cps er i API-standard, og data kan sammenlignes med andre data målt med samme standard.

Ledningsevnen i vannet er konstant ned til ca 33 m hvor den går tydelig ned. Dette tyder på vanninnstrømning ved dette dyp. Strømningsmåling i hullet viser tydelig innstrømning ved 33 m og at vannet strømmer oppover fra dette dyp.

P- og S-bølgehastighet er noe ujevn, spesielt i nedre halvdel av hullet. Det registreres flere lavhastighetssoner som indikerer oppsprukket fjell. Gjennomsnittlig P-bølgehastighet er 4900 m/s mens det registreres soner med hastigheter under 3000 m/s. S-bølgen er vanskelig å registrere og data er flere steder ikke tolkbare.

Resistiviteten er forholdsvis lav i glimmergneisen, 1000 – 2000 ohmm. Soner med tydelig høyere resistivitet observeres flere steder og faller sammen med lag av glimmergneis med høyt granatinnhold. Dette vises tydelig på televideoopptak, se senere. Resistivitetsdata er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter 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).

Porøsiteten  $\Phi$  kan finnes ut fra følgende sammenheng:

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

der

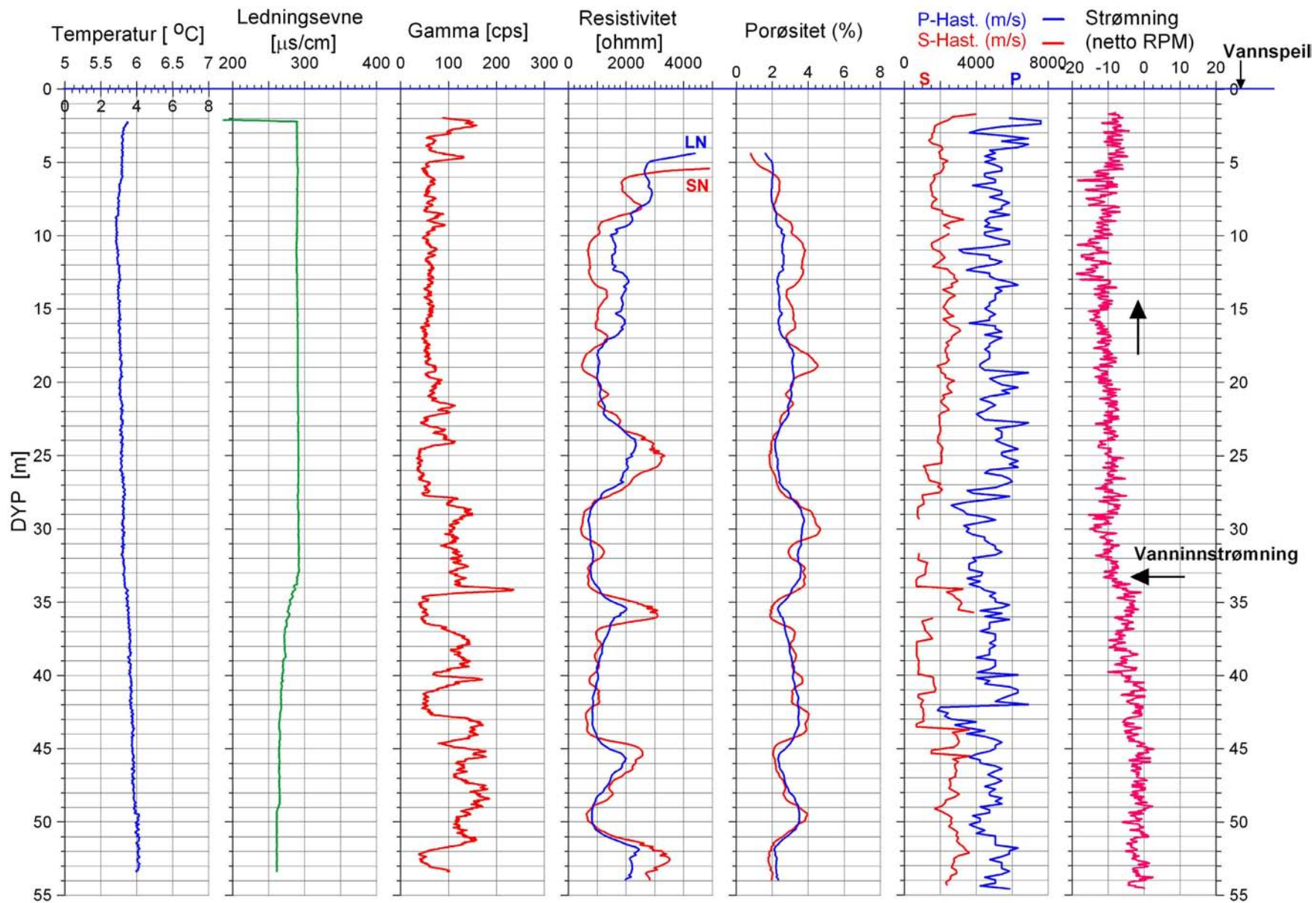
$\sigma$  = bergartens ledningsevne

$\sigma_w$  = ledningsevne i porevannet

$\sigma_s$  = 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).

# Lutvann Bh 11



Figur 4. Bh 11, Lutvann. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, beregnet tilsynelatende porøsitet, P- og S-bølgehastighet, og strømning.

### 4.3 Data, fysiske parametere

I det følgende presenteres typiske data for total gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet i ikke oppsprukket bergart. Bergarten er glimmergneis, stedvis med granat (prekambrium).

#### 4.3.1 Naturlig gammastråling

Tabell 3 viser data fra målt naturlig gammastråling i Bh 11, Lutvann, Oslo. Det er angitt maksimum, minimum, gjennomsnittsverdier og standardavvik.

**Tabell 3. Målte gammaverdier Bh 11, Lutvann, Oslo**

| Bergart               | Dyp [m] | Gamma [mean cps] | Gamma [min. cps] | Gamma [max. cps] | St.avvik. |
|-----------------------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| Glimmergneis          | 5 - 22  | 63               | 43               | 115              | 11        |
| Glimmergneis m/granat | 24 - 26 | 41               | 32               | 64               | 5         |

#### 4.3.2 Resistivitet

Tabell 4 viser målt resistivitet i Bh 11, Lutvann. Det er målt med ShortNormal og Long Normal elektrodekonfigurasjon. ShortNormal er resistiviteten i borehullsveggenes umiddelbare nærhet, mens LongNormal måler et større volum noen desimeter ut fra borehullsveggen. Målt resistivitet er korrigert for vannets ledningsevne, borehulldiameter og sondens diameter (Thunhead & Olsson 2004).

**Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 11, Lutvann, Oslo**

| Bergart               | Dyp [m] | Resistivitet [Mean Ohmm] | Resistivitet [Min. Ohmm] | Resistivitet [Max. Ohmm] | St.dev. | LN/SN |
|-----------------------|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-------|
| Glimmergneis          | 5 - 22  | 1160                     | 470                      | 2550                     | 493     | SN    |
| Glimmergneis m/granat | 24 - 26 | 3050                     | 2775                     | 3330                     | 156     | SN    |
| Glimmergneis          | 5 - 22  | 1730                     | 1000                     | 2900                     | 550     | LN    |
| Glimmergneis m/granat | 24 - 26 | 2175                     | 1990                     | 2350                     | 127     | LN    |

### 4.3.3 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 glimmergneis og glimmergneis m/granat i Bh 11, Lutvann, Oslo.

**Tabell 5. P- og S-bølgehastighet i Bh 11, Lutvann, Oslo.**

| <b>Bergart</b>           | <b>Dyp<br/>[m]</b> | <b>P-bølgehast.<br/>[mean m/s]</b> | <b>P-bølgehast.<br/>[min. m/s]</b> | <b>P-bølgehast.<br/>[max.m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Glimmergneis             | 5 - 22             | 4900                               | 3050                               | 6900                              | 625             |
| Glimmergneis<br>m/granat | 24 - 26            | 5900                               | 5400                               | 6300                              | 392             |

| <b>Bergart</b>           | <b>Dyp<br/>[m]</b> | <b>S-bølgehast.<br/>[mean m/s]</b> | <b>S-bølgehast.<br/>[min. m/s]</b> | <b>S-bølgehast.<br/>[max.m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|--------------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Glimmergneis             | 5 - 22             | 2260                               | 1460                               | 4550                              | 484             |
| Glimmergneis<br>m/granat | 24 - 26            | 2050                               | 1850                               | 2150                              | 86              |

Tabell 6 viser en sammenstilling av gjennomsnittlige verdier for lydhastighet, naturlig gamma og resistivitet i Bh 11, Lutvann, Oslo.

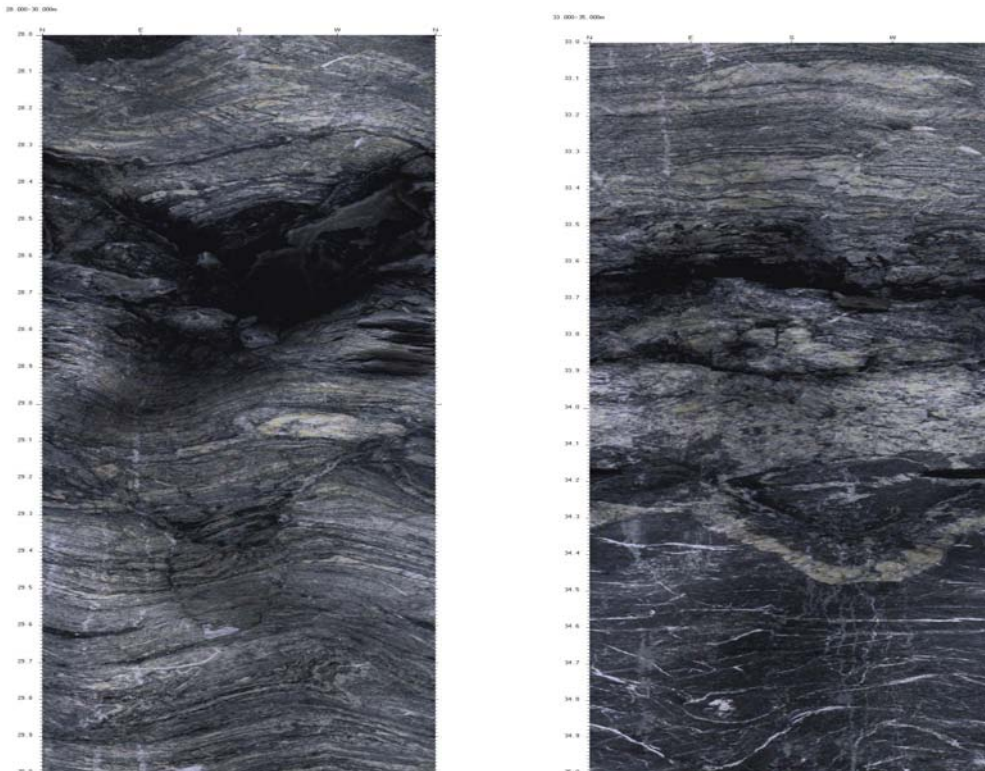
**Tabell 6. Gjennomsnittlig lydhastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 11, Lutvann, Oslo.**

| <b>Bergart</b>           | <b>Dyp<br/>[m]</b> | <b>P-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>S-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>Gamma<br/>[cps]</b> | <b>Resistivitet<br/>LN [ohmm]</b> | <b>Resistivitet<br/>SN [ohmm]</b> |
|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Glimmergneis             | 5 - 20             | 4900                     | 2260                     | 63                     | 1730                              | 1160                              |
| Glimmergneis<br>m/granat | 24 - 26            | 5900                     | 2050                     | 41                     | 2175                              | 3050                              |

### 4.4 Optisk televiewer

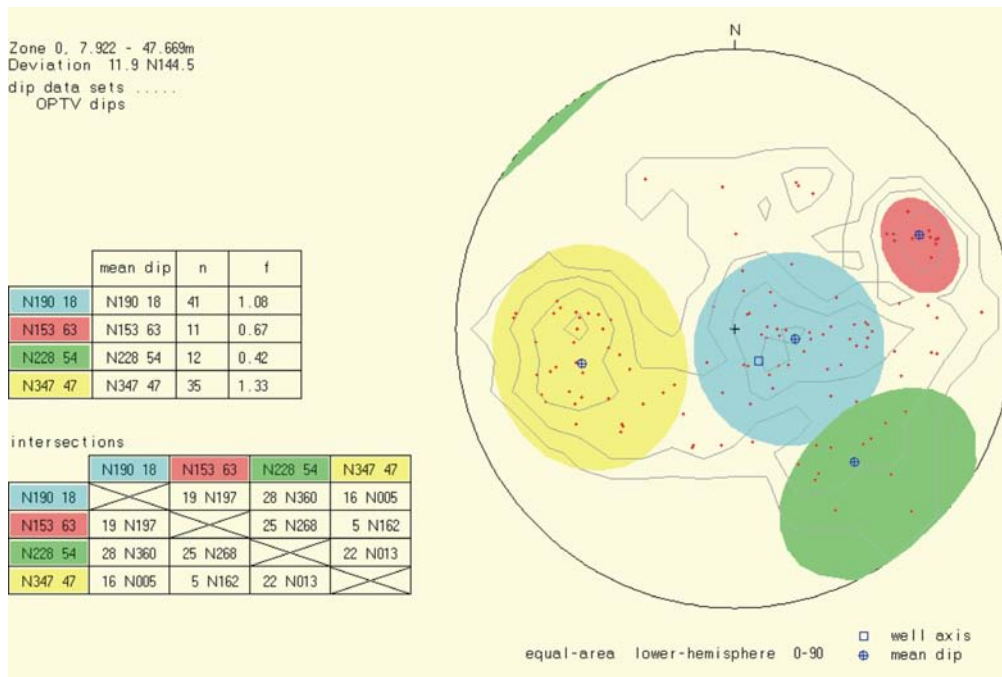
Det ble logget med optisk og akustisk televiewer i bh 11, Lutvann. Detaljerte tolkninger fra disse undersøkelsene er rapportert i NGU Rapport 2001.011 (Elvebakk & Rønning 2001) og NGU Rapport 2000.071 (Elvebakk & Rønning 2000).

Alle sprekker og strukturer er digitalisert med beregning av strøk og fall. Disse data er presentert i sprekkestereogram og sprekkefrekvenshistogram. Det ble oppdaget to tydelige åpne sprekkesoner hvor i alle fall den en var vannførende på 33 m dyp. Figur 5 viser OPTV-opptak som viser åpen sprekke ved 28.5 m og 33.5 m.



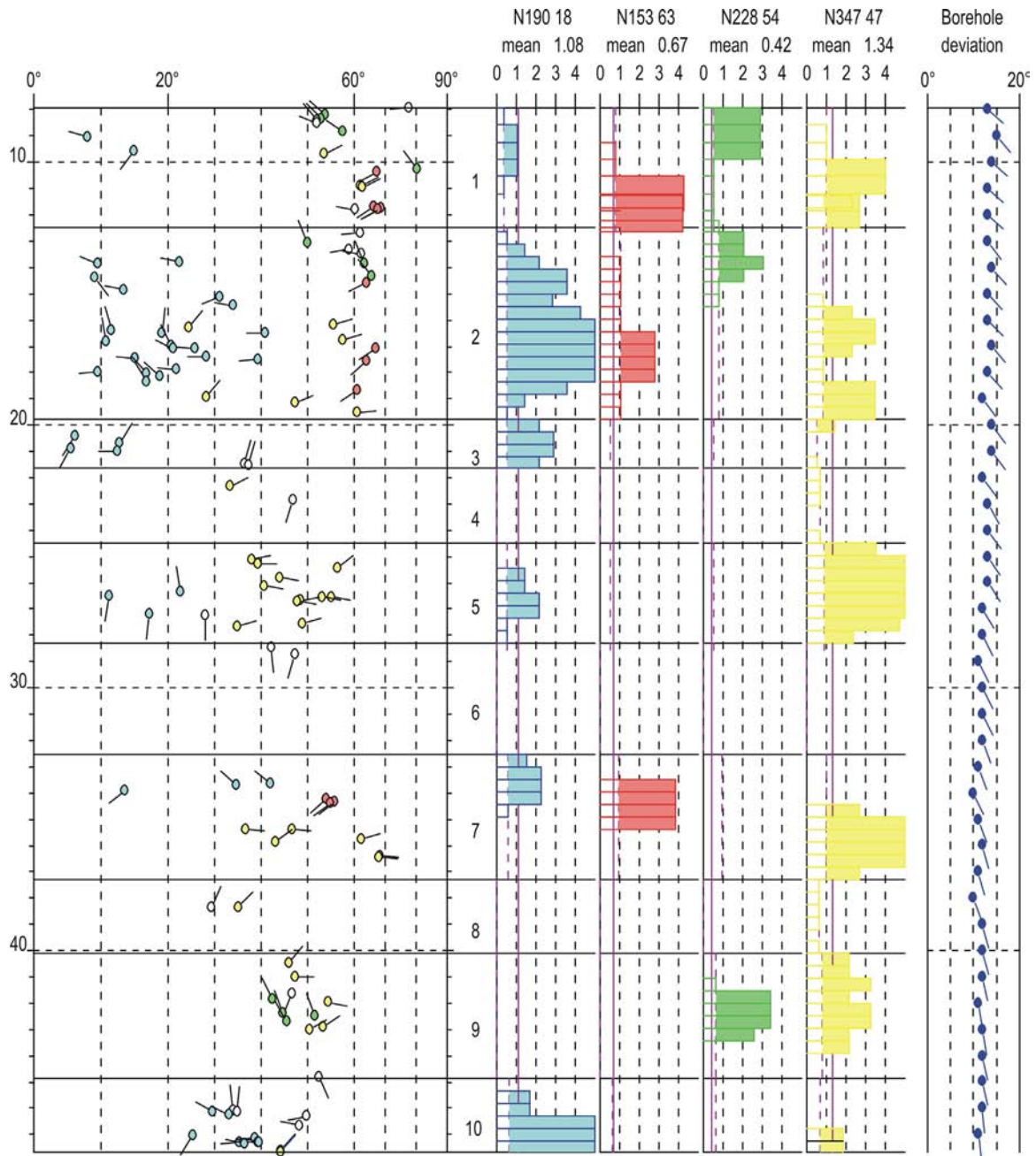
Figur 5. Åpen sprekk ved 28.5 m (venstre) og ved 33.5 m (høyre). Optisk televiewer.

Figur 6 viser sprekkestereogram over observerte sprekker i Bh 11, Lutvann. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall.



Figur 6. Bh 11, Lutvann. Sprekkestereogram over observerte sprekker. Optisk televiewer.

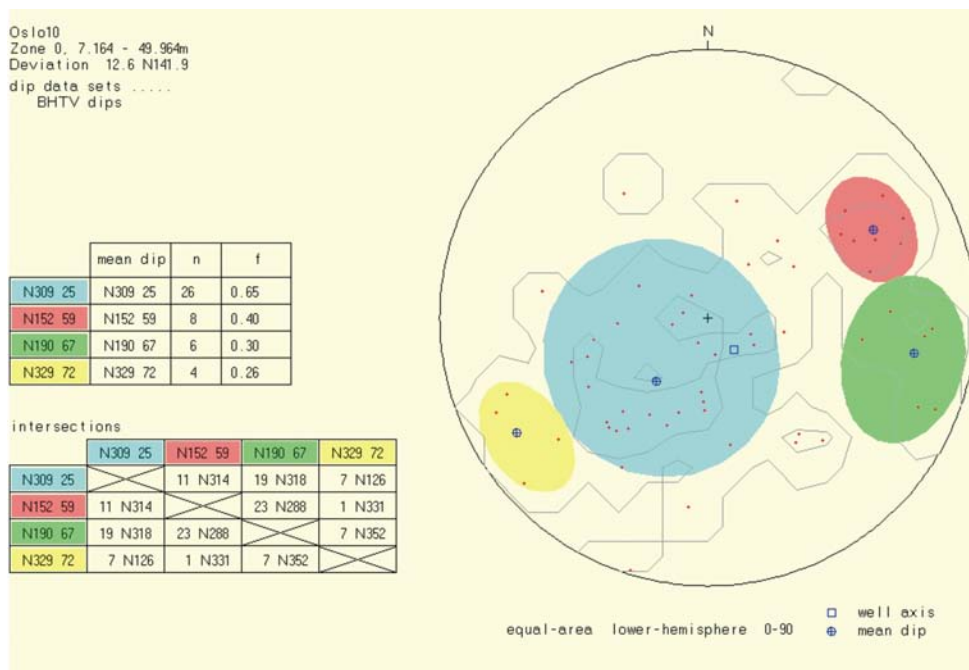
Figur 7 viser frekvenshistogram som viser individuelle sprekker, sprekkedefrekvenshistogram, og borehullsforløp. Mange av sprekkene er sekundære mineraliserte sprekker, spesielt over 20 m, og vil ikke påvirke resistivitet og seismisk hastighet i stor grad.



Figur 7. Bh 11, Lutvann. Sprekkedefrekvenshistogram. Optisk televiewer.

## 4.5 Akustisk televierer

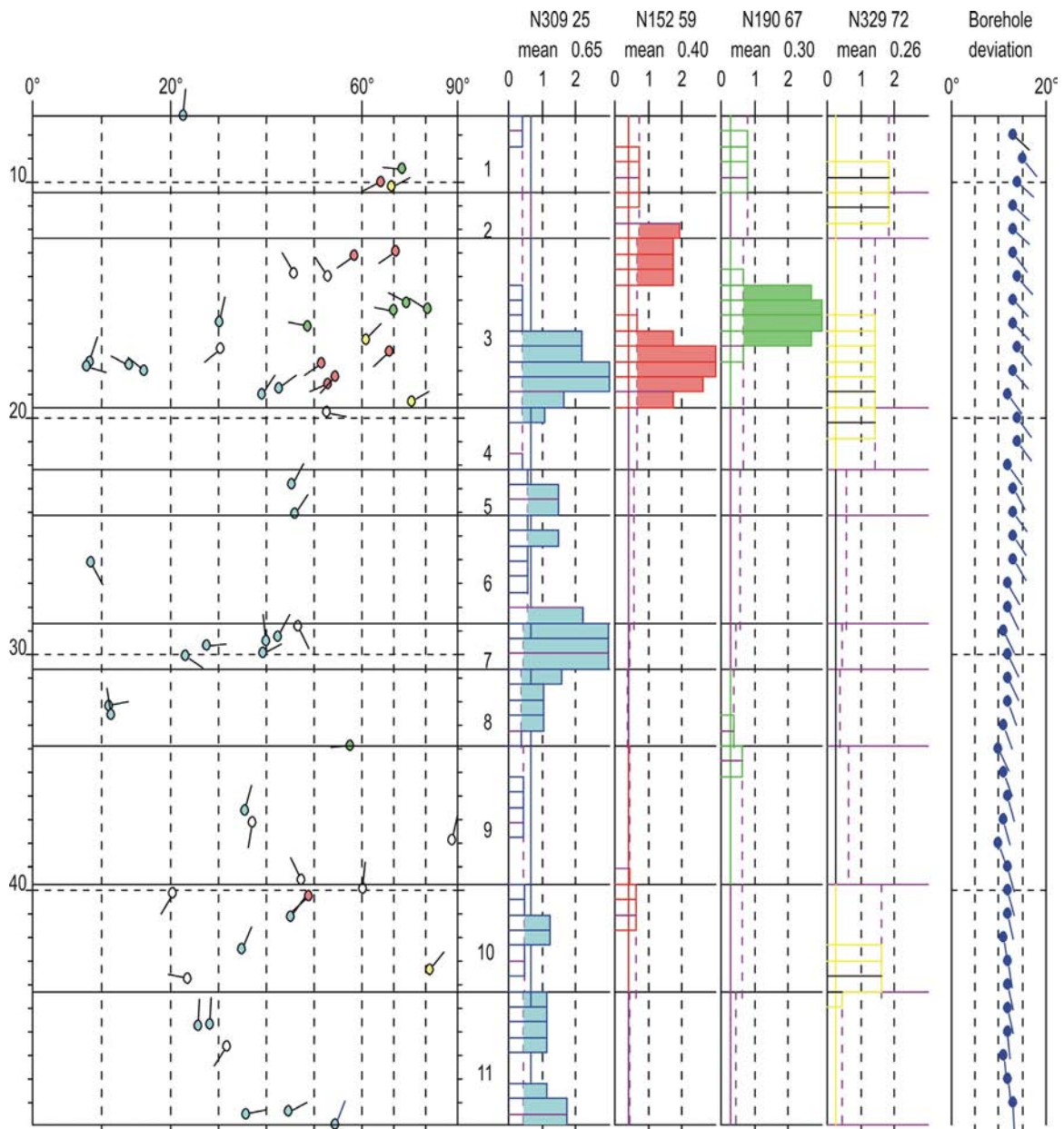
Tolkning av data fra akustisk televierer foregår på samme måte som ved optisk televierer. Data presenteres på samme måte. Tolkning fra Bh 11 viser færre sprekker med akustisk noe som trolig skyldes at en med akustisk televierer ikke "ser" mineraliserte (fylte) sprekker så lett som med optisk (Elvebakk & Rønning 2001). Figur 8 viser sprekkestereogram over indikerte sprekker med akustisk televierer. Tabellen på figuren viser definerte sprekkegrupper med gjennomsnittlig strøk og fall.



Figur 8. Bh 11, Lutvann. Sprekkestereogram over indikerte sprekker. Akustisk televierer.



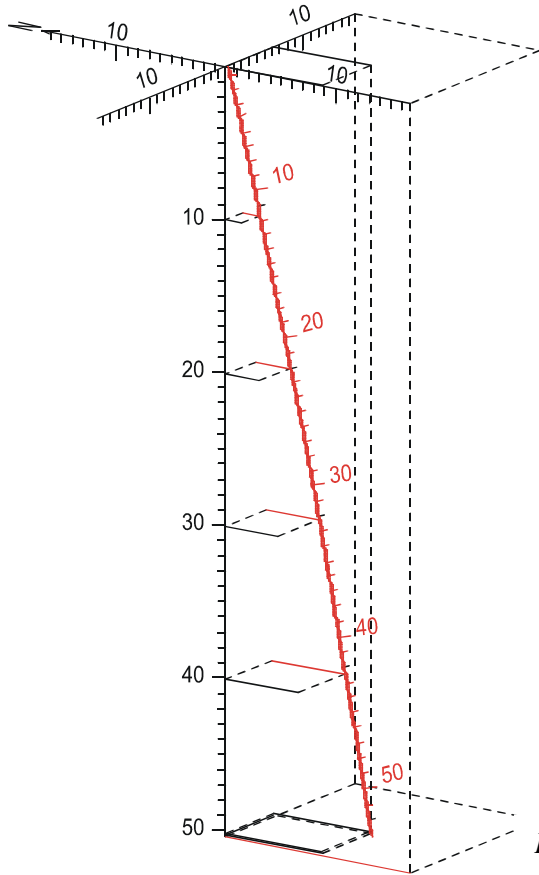
Figur 9 viser individuelle sprekker, sprekkefrekvenshistogram og borehullsforløp for akustisk televiever.



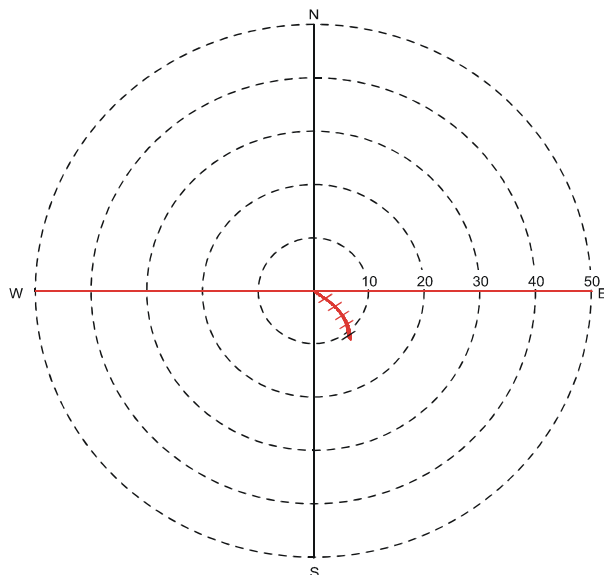
Figur 9. Bh 11, Lutvann. Sprekkefrekvenshistogram. Akustisk televiever.

## 4.6 Borehullsavvik

Borehullsavvik er vist i figur 11 og 12. Borehullsforløpet ble målt med OPTV-sonden. Hullet ble boret med  $75^{\circ}$  fall og forløpet avviker ikke mye fra det. Retningen er mot sørøst.



Figur 10. Borehullsforløp, Bh 11, Lutvann, 3D projeksjon



Figur 11. Bh 11, Lutvann. Horisontalprojeksjon

## 5. KONLUSJON

NGU har gjort borehullslogging i et 53 m dypt borehull ved Lutvann i Oslo. I forbindelse med lekkasjeprobemene og miljøproblemene under driving av Romeriksporten ble det boret flere brønner for overvåking av vannivå.

Det er utført geofysisk logging i brønnen for å kartlegge berggrunnens fysiske egenskaper. Det ble målt resistivitet, lydshastighet, naturlig gammastråling, ledningsevne i vann og vannstrømning. Brønnen er inspisert med optisk og akustisk televiwer. Brønnen er artesisk og det er påvist en vannførende sprekk ved 33 m dyp.

Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lydshastighet og naturlig gammastråling i grunnfjellsbergarten glimmergneis som stedvis inneholder granat. Avvik fra de oppgitte verdier (mindre) av resistivitet og lydshastighet kan tyde på oppsprukket fjell.

## 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. & Rønning, J.S., 2000: Inspeksjon av borehull med akustisk televiwer ved Lutvann og Nøklevann, Østmarka, Oslo. *NGU Rapport 2000.071*.

Elvebakk, H. & Rønning, J.S., 2001: Borehullsinspeksjon. En utprøving og sammenligning av Optisk og Akustisk televiwer. *NGU Rapport 2001.011*.

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

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