

NGU Rapport 2011.014

Geofysisk logging av borehull ved  
Drag, Tysfjord og Leknes, Lofoten



|   |                        |   |                        |                                     |
|---|------------------------|---|------------------------|-------------------------------------|
| Rapport nr.: 2011.014   |                        | ISSN 0800-3416  | Gradering: Åpen        |                                     |
| Tittel:<br>Geofysisk logging av borehull ved Drag, Tysfjord og Leknes, Lofoten  |                        |   |                        |                                     |
| Forfatter:<br>Harald Elvebakk & Jan S. Rønning  |                        |   | Oppdragsgiver:<br>NGU  |                                     |
| Fylke:<br>Nordland  |                        | Kommune:<br>Tysfjord, Vestvågøy                                       |                        |                                     |
| Kartblad (M=1:250.000)<br>Svolvær   |                        | Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)<br>1031 II Leknes og 1231 II Ulsvåg |                        |                                     |
| Forekomstens navn og koordinater:<br>Drag og Leknes, se sammendrag  |                        | Sidetall: 48  | Pris: kr 135.-         |                                     |
| Feltarbeid utført:<br>19.8. - 23.8.2006<br>17.6. - 20.6.2009  |                        | Rapportdato:<br>1.2.2011  | Prosjektnr.:<br>329500 | Ansvarlig:<br><i>Jan S. Rønning</i> |
| Sammendrag:   |                        |   |                        |                                     |
| <p>NGU har gjort borehullslogging i et 780 m dypt kjerneborehull ved Drag i Tysfjord og et 800 m dypt kjerneborehull ved Leknes i Lofoten. Hovedhensikten var å måle temperaturgradienten for å kartlegge varmestrøm i dype krystalline bergarter. I tillegg ble det utført geofysisk logging i hullet for å kartlegge berggrunnens fysiske egenskaper. Det ble målt resistivitet, lyd hastighet, naturlig gammastråling, ledningsevne i vann, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>. Hullene ble også logget med akustisk televiwer for å kartlegge oppsprekking. I tillegg er det tatt ut vannprøver for analyse.</p> <p>Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lyd hastighet og naturlig gammastråling i gneis/granitt (Tysfjordgranitt) på Drag, og i diorittisk/granittisk gneis på Leknes. Data er sammenstilt for massiv bergart. Avvik fra de oppgitte verdier (mindre) av resistivitet og lyd hastighet kan tyde på oppsprukket fjell.</p> <p>Det er liten variasjon i geologien i begge hullene. Gjennomsnittlig temperaturgradient er 17.0 °C/km på Drag og 19.0 °C/km på Leknes. Typiske verdier for resistivitet er 8000 - 10000 ohmm i Tysfjordgranitten og 5000 – 6000 ohmm i gneisen på Leknes. Store variasjoner i porevannets elektriske ledningsevne påvirker resistiviteten i fjellet. Seismisk P-bølgehastighet er 5200-5500 m/s i Drag Bh og 4900-5300 m/s i Leknes Bh. Total gammastråling er forholdsvis høy, 200 cps (API-standard), i Tysfjordgranitten og lav, 90 cps (API-standard), i gneisen på Leknes.</p> |                        |   |                        |                                     |
| Koordinater   |                        |   |                        |                                     |
| <b>Lokalitet</b>  | <b>Nord<br/>wgs 84</b> | <b>Øst<br/>wgs 84</b>   | <b>Sone</b>            | <b>Høyde<br/>m.o.h.</b>             |
| Drag  | 7547296                | 542688  | 33W                    | 24                                  |
| Leknes  | 7562103                | 443663  | 33W                    | 27                                  |
| Emneord: Geofysikk  |                        | Borehullslogging  | Elektrisk måling       |                                     |
| Temperaturmåling  |                        | Naturlig radioaktivitet   | Lyd hastighet          |                                     |
| Akustisk televiwer  |                        |   | Fagrapport             |                                     |



## INNHOOLD

|  |    |
|--|----|
| 1. INNLEDNING .....  | 9  |
| 2. LOKALITETER.....  | 9  |
| 3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE.....   | 11 |
| 4. RESULTATER .....  | 12 |
| 4.1 Drag .....   | 13 |
| 4.1.1 Temperatur og vannkvalitet .....   | 13 |
| 4.1.2 Naturlig gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet.....  | 16 |
| 4.1.3 Akustisk televiwer, Drag .....   | 18 |
| 4.2 Leknes.....  | 24 |
| 4.2.1 Temperatur og vannkvalitet .....   | 24 |
| 4.2.2 Naturlig gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet.....  | 27 |
| 4.2.3 Akustisk televiwer, Leknes Bh.....   | 29 |
| 4.3 Data, fysiske parametere.....  | 35 |
| 4.3.1 Naturlig gammastråling.....  | 35 |
| 4.3.2 Resistivitet.....  | 35 |
| 4.3.3 Lydhastighet.....  | 37 |
| 4.3.4 Sammenstilling, Lydhastighet, resistivitet og gammastråling. ....  | 38 |
| 4.4 Borehullsavvik.....  | 38 |
| 4.5 Sammenlikning av målt (i felt), logget (i borehull) og analysert (i lab) ledningsevne og pH i Drag og Leknes borehull..... | 40 |
| 5. KONLUSJON .....   | 43 |
| 6. REFERANSER .....  | 43 |

## FIGURER

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figur 1. Drag Bh og Leknes Bh. Oversiktskart.....</i>  | <i>9</i>  |
| <i>Figur 2. Drag Bh på Drag i Tysfjord kommune.....</i>   | <i>10</i> |
| <i>Figur 3. Leknes Bh på Leknes i Vågsøy kommune i Lofoten.....</i>   | <i>10</i> |
| <i>Figur 4. Logging Drag (venstre) og Leknes (høyre).....</i>   | <i>11</i> |
| <i>Figur 5. Borelokalitet i privat hage på Drag.....</i>  | <i>13</i> |
| <i>Figur 6. Temperatur og temperaturgradient i Drag Bh.....</i>   | <i>14</i> |
| <i>Figur 7. Temperatur, vannets ledningsevne, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>, Drag Bh, Tysfjord.....</i>   | <i>15</i> |
| <i>Figur 8. Drag Bh. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, ... tilsynelatende porøsitet og seismiske hastigheter. ....</i>                     | <i>17</i> |
| <i>Figur 9. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Drag Bh, 0 – 401 m. ....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Figur 10. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Drag Bh, 418 – 755 m. ....</i>  | <i>18</i> |
| <i>Figur 11. Opptak med akustisk televiwer, Drag Bh 540 – 547 m. ....</i>   | <i>19</i> |
| <i>Figur 12. Sprekkefrekvenshistogram for Drag Bh.....</i>  | <i>20</i> |
| <i>Figur 13. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Drag Bh, 0 – 400m. ....</i>  | <i>22</i> |
| <i>Figur 14. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Drag Bh, 400 – 780 m. ....</i>   | <i>23</i> |
| <i>Figur 15. Borelokalitet, Leknes Bh. ....</i>   | <i>24</i> |
| <i>Figur 16. Temperatur og temperaturgradient i Leknes Bh.....</i>  | <i>25</i> |
| <i>Figur 17. Temperatur, ledningsevne, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>, Leknes Bh.....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Figur 18. Leknes Bh. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, ... resistivitet, porøsitet og seismisk hastighet. Geologisk logg (Olesen et al 2007).....</i> | <i>28</i> |
| <i>Figur 19. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 0 – 215 m.....</i>   | <i>29</i> |
| <i>Figur 20. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 215-239 m. ....</i>  | <i>29</i> |
| <i>Figur 21. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 240 - 505 m. ....</i>  | <i>30</i> |
| <i>Figur 22. Sprekkefrekvenshistogram for Leknes Bh.....</i>  | <i>31</i> |



|  |           |
|--|-----------|
| <i>Figur 23. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Leknes Bh, 0 – 240 m.....</i>   | <i>33</i> |
| <i>Figur 24. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Leknes Bh, 240 – 500 m.....</i> | <i>34</i> |
| <i>Figur 25. Borehullsforløp Drag Bh. NØ-komponent (venstre) og retning (høyre).....</i>           | <i>39</i> |
| <i>Figur 26. Borehullsforløp Leknes Bh. NØ-komponent (venstre) og retning (høyre).....</i>         | <i>39</i> |
| <i>Figur 27. Logget ledningsevne vs analysert ledningsevne i Drag og Leknes borehull. ....</i>     | <i>41</i> |
| <i>Figur 28. Målt pH i felt vs analysert pH lab i Drag og Leknes borehull. ....</i>                | <i>41</i> |
| <i>Figur 29. Logget pH i borehull vs analysert pH lab i Drag og Leknes borehull.....</i>           | <i>42</i> |
| <i>Figur 30. Logget pH i borehull vs målt pH i felt i Drag og Leknes borehull .....</i>            | <i>42</i> |

## **TABELLER**

|   |    |
|---|----|
| Tabell 1. Borehullsdata for Drag Bh og Leknes Bh .....  | 11 |
| Tabell 2. Målte parametre i Drag Bh og Leknes Bh.....   | 11 |
| Tabell 3. Målte gammaverdier i Drag Bh.....   | 33 |
| Tabell 4. Målte gammaverdier i Leknes Bh.....   | 33 |
| Tabell 5. Målte resistivitetsverdier og ledningsevne i vann, Drag Bh.....                         | 34 |
| Tabell 6. Målte resistivitetsverdier og ledningsevne i vann, Leknes Bh.....                       | 34 |
| Tabell 7. P- og S-bølgehastighet i Drag Bh.....   | 35 |
| Tabell 8. P- og S-bølgehastighet i Leknes Bh.....   | 35 |
| Tabell 9. Gjennomsnittlig lyd hastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Drag Bh.....    | 36 |
| Tabell 10. Gjennomsnittlig lyd hastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Leknes Bh..... | 36 |
| Tabell 11. Analyseresultater av pH, ledningsevne, Cl og Na i Drag og Leknes borehull.....         | 40 |
| Tabell 12. Sammenstilling av målte pH- og ledningsevneverdier.....                                | 40 |

## **DATABILAG**

|  |    |
|--|----|
| Databilag 2. Data for gjennomsnittlig sprekkfrekvens i definerte soner, Drag Bh.....   | 46 |
| Databilag 3. Data for gjennomsnittlig sprekkfrekvens i definerte soner, Leknes Bh..... | 48 |





## 1. INNLEDNING

I forbindelse med et varmestrømsprosjekt i samarbeid mellom NGU og Statoil (Olesen et.al. 2007) har NGU gjort borehullslogging i et 800 m dypt borehull ved Drag i Tysfjord og ved Leknes i Lofoten. I prosjektets regi var man først og fremst interessert i temperaturen, men NGU logget en rekke parametre i tillegg. Denne rapporten viser resultatene fra alle geofysiske logger.

Som en del av data presenteres typiske verdier for total gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet i massiv bergart.

Målingene ble utført 19.8.-23.8.2006 av Jan S. Rønning og Harald Elvebakk og 17.6. – 20.6.2009 av Harald Elvebakk.

## 2. LOKALITETER

Figur 1 viser et oversiktskart med borehullenes plassering, Drag Bh og Leknes Bh.

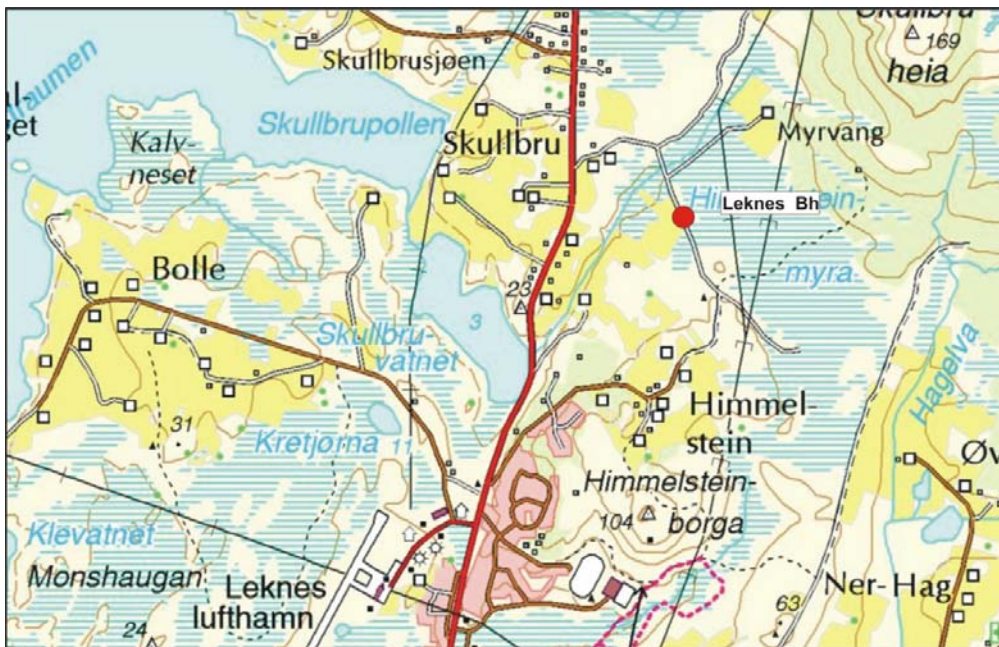


Figur 1. Drag Bh og Leknes Bh. Oversiktskart.

Figur 2 viser plasseringen av Drag Bh i Tysfjord kommune. Borehullet er 780 m dypt. Det er et kjerneborehull, med diameter 56 mm, og går hovedsakelig i granitt, granittisk gneis. Figur 3 viser plassering av Leknes Bh i Vågsøy kommune i Lofoten. Hullet er 800 m dypt, kjerneborehull, med diameter 56 mm, og bergarten er monsonittisk/diorittisk/granittisk gneis. Data for hullene er vist i tabell 1. Figur 4 viser logging ved Drag og Leknes.



Figur 2. Drag Bh på Drag i Tysfjord kommune.



Figur 3. Leknes Bh på Leknes i Vågsøy kommune i Lofoten.



**Tabell 1. Borehullsdata for Drag Bh og Leknes Bh.**

| Lokalitet | Nord wgs 84 | Øst wgs 84 | Sone | Høyde m.o.h. | Dato logging               | Fall | Diam (cm) | Dyp (m) | Boring |
|-----------|-------------|------------|------|--------------|----------------------------|------|-----------|---------|--------|
| Drag      | 7547296     | 542688     | 33W  | 24           | 19.-20.8.06<br>17.-18.6.09 | 90 ° | 5.6       | 780     | 2005   |
| Leknes    | 7562103     | 443663     | 33W  | 27           | 23.8.06<br>19.-20.6.09     | 90 ° | 5.6       | 800     | 2005   |



*Figur 4. Logging Drag (venstre) og Leknes (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 Drag Bh og Leknes Bh.**

| Målt parameter                  | Loggehastighet | Samplings tetthet |
|---------------------------------|----------------|-------------------|
| Temperatur, vannkvalitet        | 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 (HIRAT)      | 3-4 m/min      | 1 mm              |

Logging av temperatur, ledningsevne med vannkvalitet ble gjort i 2006. Oppfølgende målinger av resistivitet, seismisk hastighet og logging med akustisk televiwer ble gjort i 2009.

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.

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

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

Resistivetsdata er korrigeret for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead & Olsson 2004).

Den beregnede porøsiteten er ikke en eksakt størrelse. Det er en tilsynelatende porøsitet beregnet med en modifisert versjon av Archie's lov ut fra målt fjellresistivitet og ledningsevne i porevannet (Archie 1942). Tilsynelatende porøsitet  $\Phi$  kan finnes ut fra følgende sammenheng:

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

$\sigma$  = bergartens ledningsevne

$\sigma_w$  = ledningsevne i porevannet

$\sigma_s$  = overflatekonduktivitet

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).  $\sigma_s$  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 televiewer gir et bilde av innvendig borehullsvegg ved å prosessere gangtid og amplitude til en utsendt lydimpuls. Ved å digitalisere bildet kan en identifisere og beregne sprekkefall og retning. Sprekkefrekvens kan ut fra dette beregnes fortløpende langs hullet.

## 4.1 Drag

Boreplassen på Drag var i en privat hage, se figur 5. Temperaturmålingene ble utført i august 2006 (Kontikiprojektet, Olesen et. al 2007), mens de øvrige målinger ble gjort 17.6 - 18.6.2009. Det er granittisk gneis i hele hullet med innslag av pegmatittganger.



*Figur5. Borelokalitet i privat hage på Drag.*

### 4.1.1 Temperatur og vannkvalitet

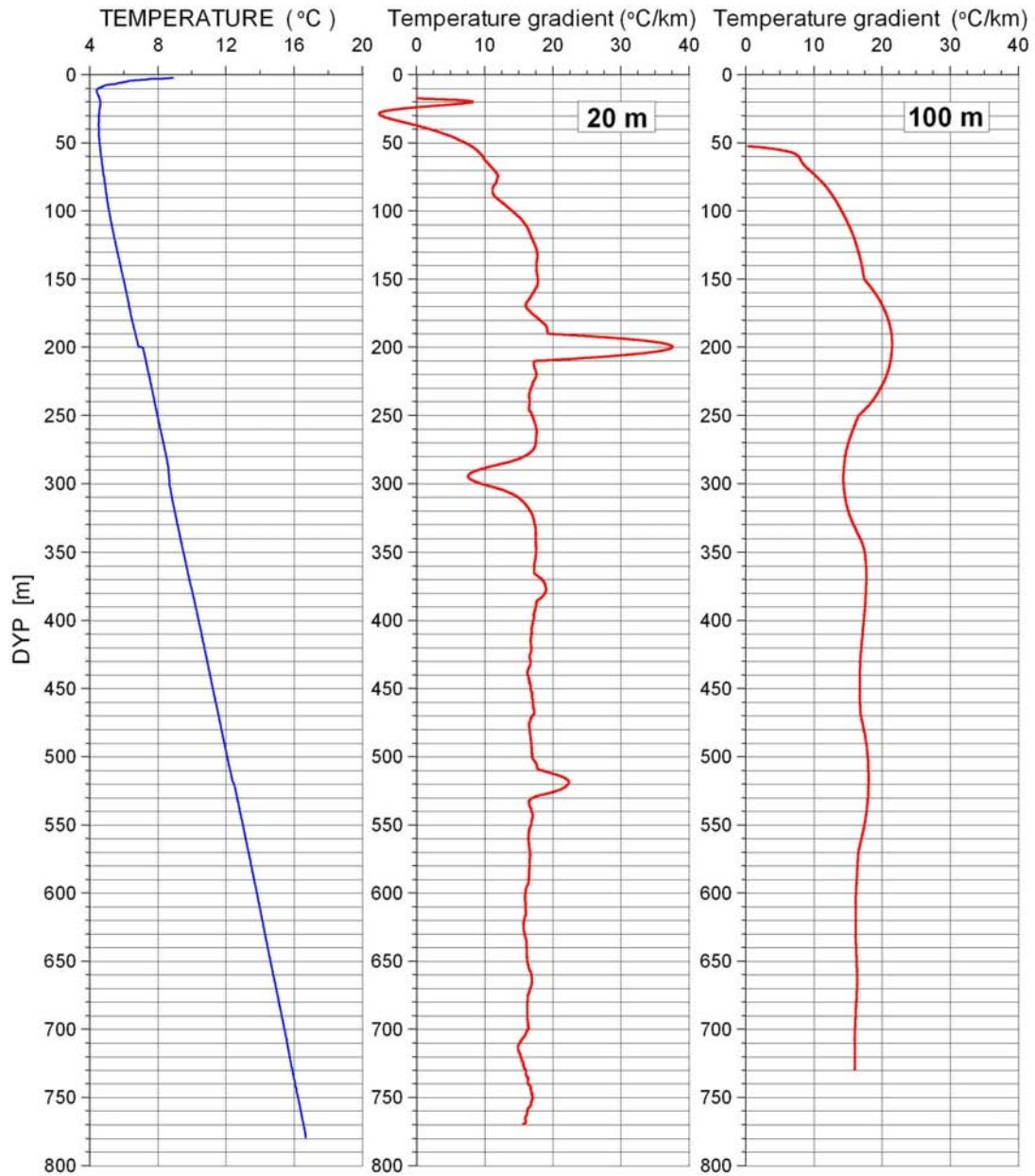
Figur 6 viser temperaturforløp og temperaturgradient for Drag Bh. Gjennomsnittlig gradient er  $17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  og bunntemperaturen er  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Varmestrømmen er beregnet til  $47\text{ mW}/\text{m}^2$  (Olesen et. al 2007).

Figur 7 viser temperatur og vannkvalitet for Drag Bh. Ledningsevnen i vann øker tydelig på flere nivåer i hullet. En kraftig økning ved 587 m dyp viser en ledningsevne på  $3000\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ . Dette er langt over vanlig ferskvann ( $<400\text{ }\mu\text{S}/\text{cm}$ ). En ser også at de andre parametre, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub> endrer seg kraftig ved dette dyp. En noe mindre endring i vannkvaliteten vises ved 200 m dyp. Det er analysert vannprøver fra 180, 600 og 770 m dyp. Resultatene er vist i databilag 1 og i kapittel 4.5 som også viser sammenlikning av logget, målt og analyserte verdier av ledningsevne og pH i Drag og Leknes borehull.

# Temperature, Temperature Gradient

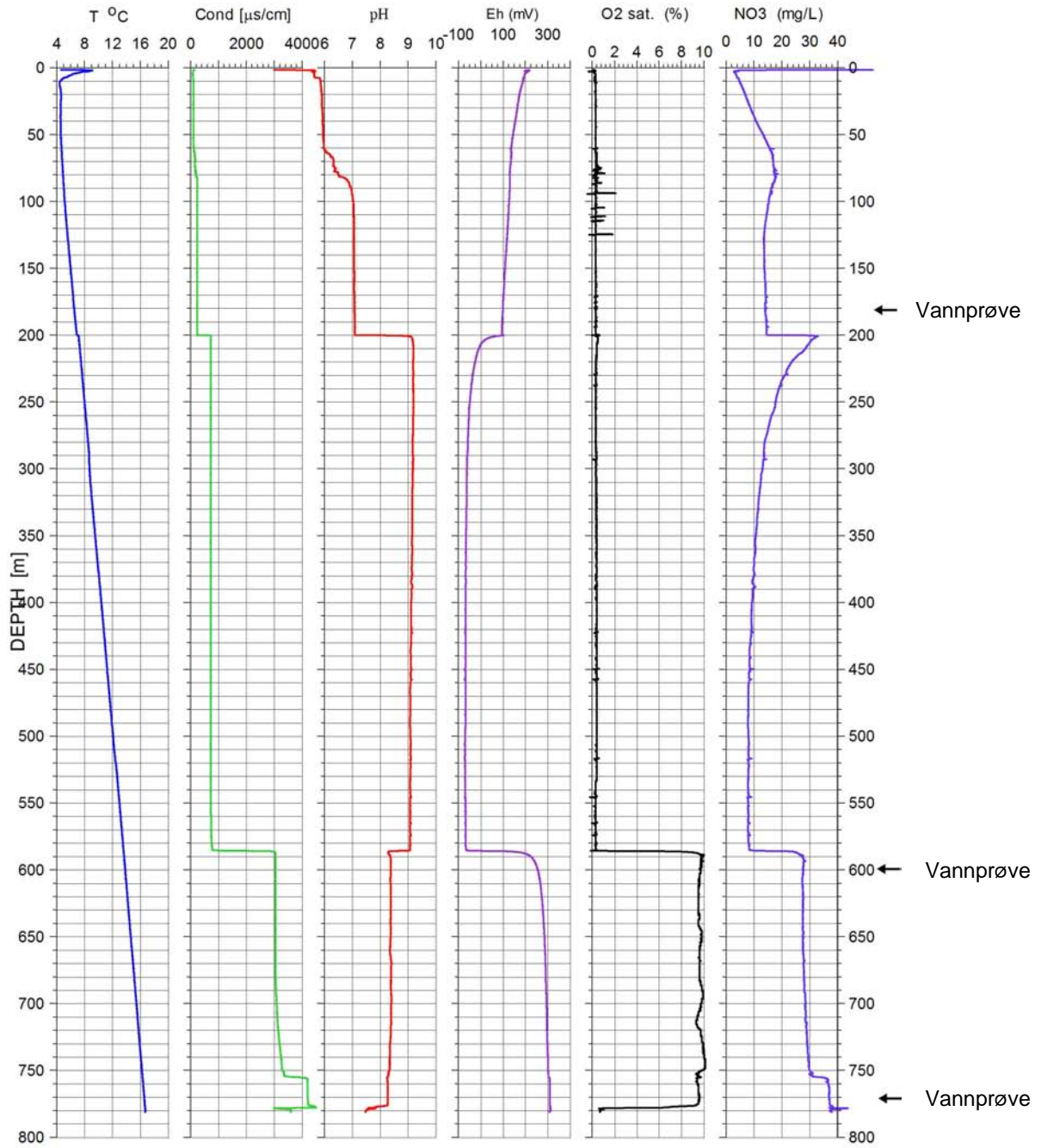
Drag  
19.08.06

UTM 542688 E  
33V 7547296 N  
24 moh.



Figur 6. Temperatur og temperaturgradient i Drag Bh.

# Drag



Figur 7. Temperatur, vannets ledningsevne, pH, Eh, O2 og NO3, Drag Bh, Tysfjord.

#### 4.1.2 Naturlig gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet

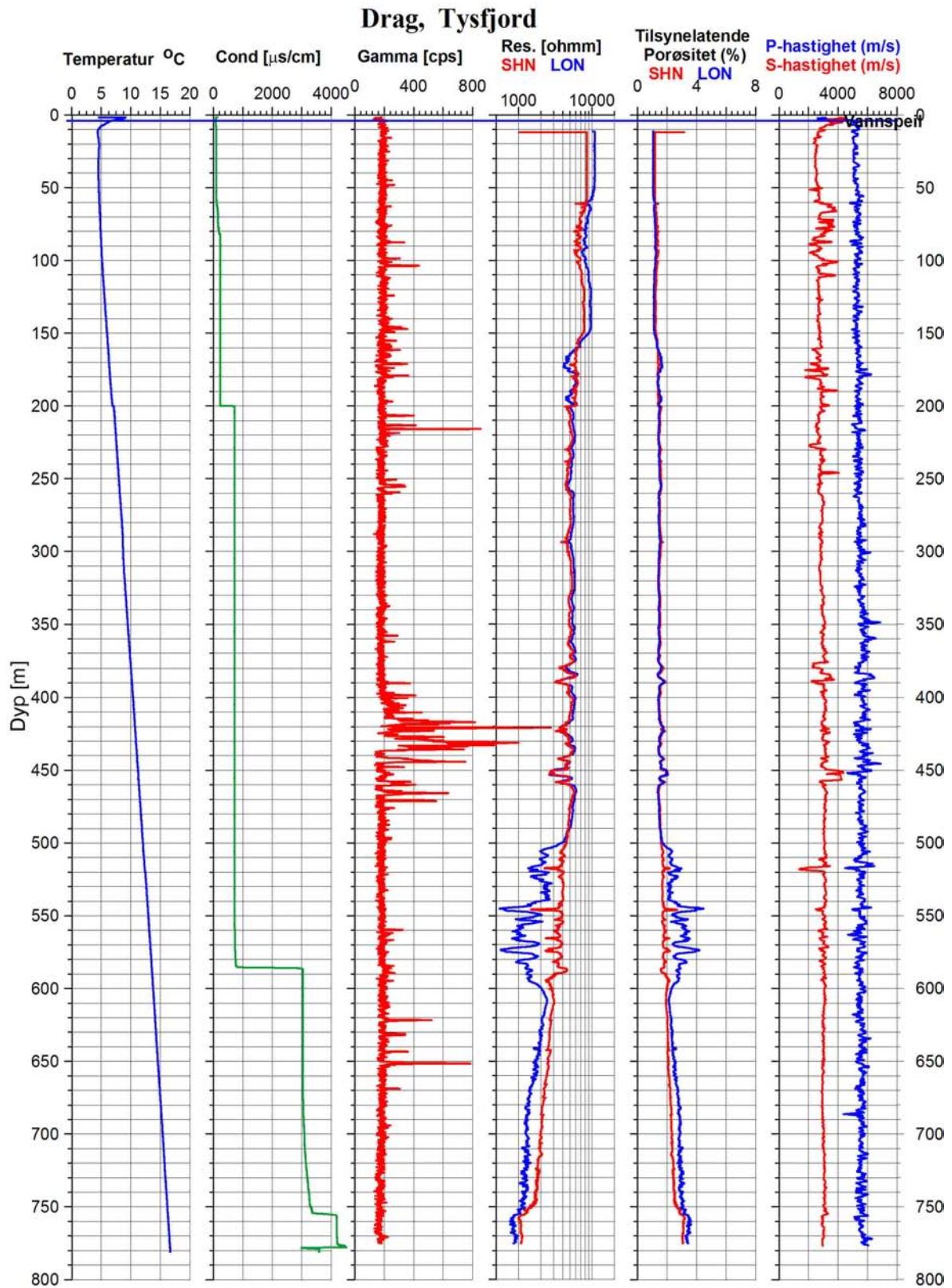
Figur 8 viser en sammenstilling av alle logger i Drag Bh.

Gammastrålingen er i utgangspunktet konstant på ca 200 cps i hele hullet. Dette kan tyde på samme bergart, granittisk gneis, i hele hullet. Stedvis ser en kraftige utslag opp mot 800 – 1000 cps. Dette skyldes mest sannsynlig radioaktive elementer (U, Th) som trolig finnes i observerte pegmatittganger. Kalium er nok også til stede, men gir vanligvis ikke så høy stråling.

Resistiviteten er høy i granitten, 8000 – 10000 ohmm. Resistiviteten avtar tydelig mot dypet, og en ser en tydelig sammenheng med øking i vannets ledningsevne. Resistiviteten er korrigert for vannets ledningsevne i hullet, men ikke for ledningsevnen i porevannet i bergarten. En ser også at Long Normal, som måler et stykke ut fra borehullsveggen, er mest påvirket av økt ledningsevne i vannet og viser lavest resistivitet. En sone mellom 500 og 600 m viser spesielt lav resistivitet og skyldes trolig oppsprekking. Dette bekreftes av resultatene fra akustisk televiwer, se senere.

Seismisk hastighet viser en svak økning mot dypet uten at en kan påvise tydelige endringer grunnet endring i bergartstype. P-bølgehastigheten ligger i området 5200 – 5500 m/s og S-bølgehastighet 2500 – 2800 m/s. Enkelte lavhastighetssoner kan observeres i forbindelse med sprekker.

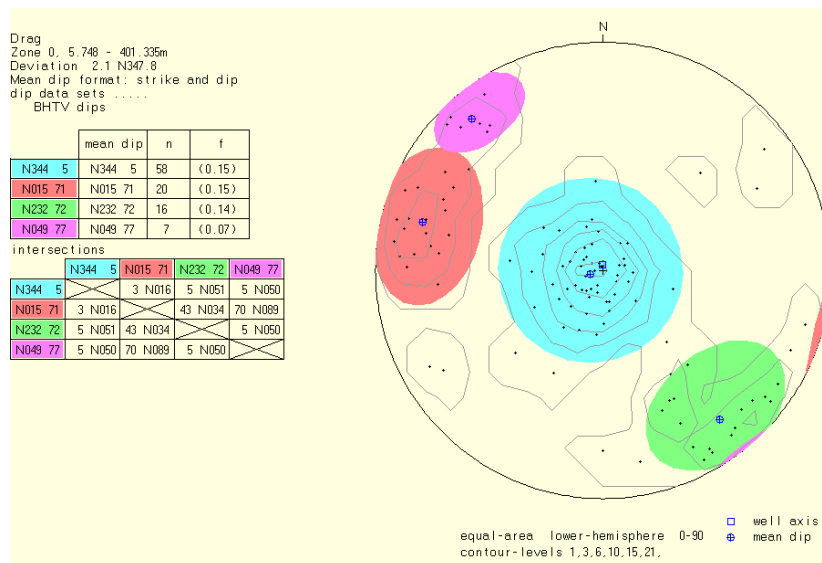




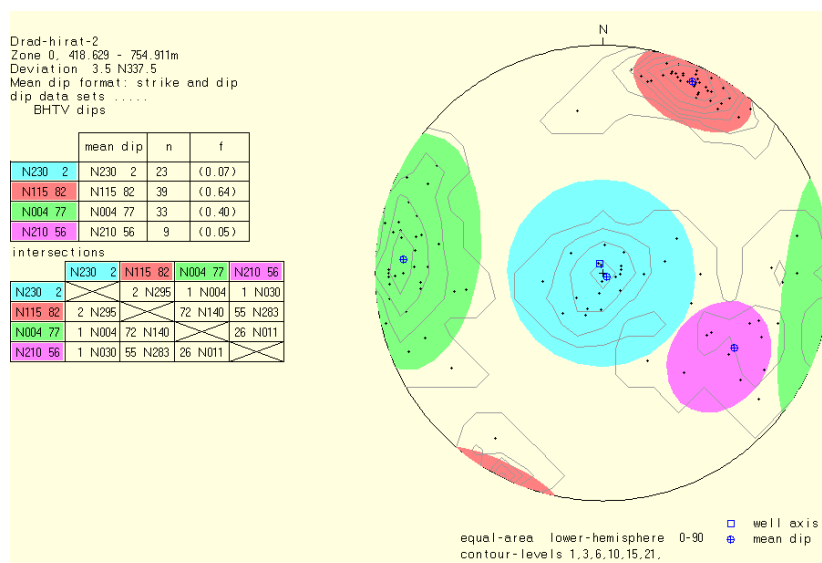
Figur 8. Drag Bh. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, tilsynelatende porøsitet og seismiske hastigheter.

### 4.1.3 Akustisk televierer, Drag

Det er logget med akustisk televierer i hele hullet. Alle sprekker i borehullet er digitalisert, og gjennomsnittlig strøk og fall er beregnet for definerte sprekkegrupper. Videre er det beregnet sprekkefrekvens. Hullet er delt i to seksjoner, 0-401 m og 401 -780 m. Figur 9 og 10 viser sprekkestereogram over observerte sprekker i de to seksjonene. Tabellen på figurene viser gjennomsnittlig strøk og fall for definerte sprekkegrupper (fargede sirkler) samt gjennomsnittlig sprekkefrekvens.



Figur 9. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Drag Bh, 0 – 401 m.

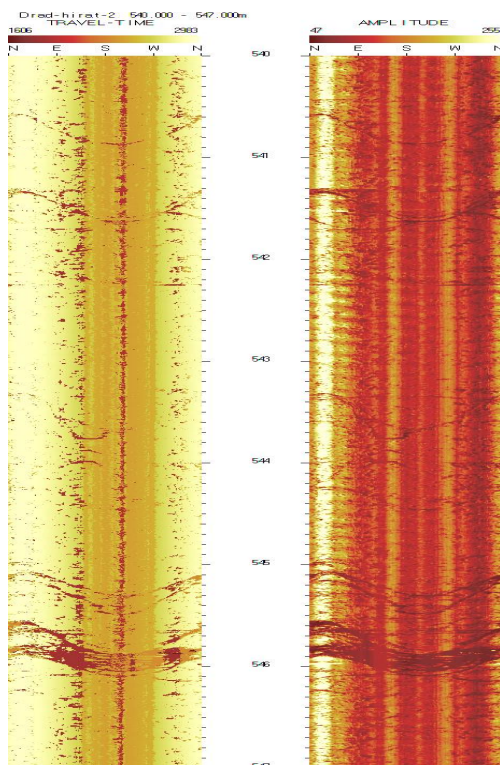


Figur 10. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Drag Bh, 418 – 755 m.

Figur 11 viser eksempel på opptak med akustisk televIEWer, 540 – 547 m. Opptaket viser prosessert bilde både med bruk av gangtid (travel time) og amplitude. Sprekker med sinusform indikerer sprekker som skjærer hullet i en vinkel større enn null.

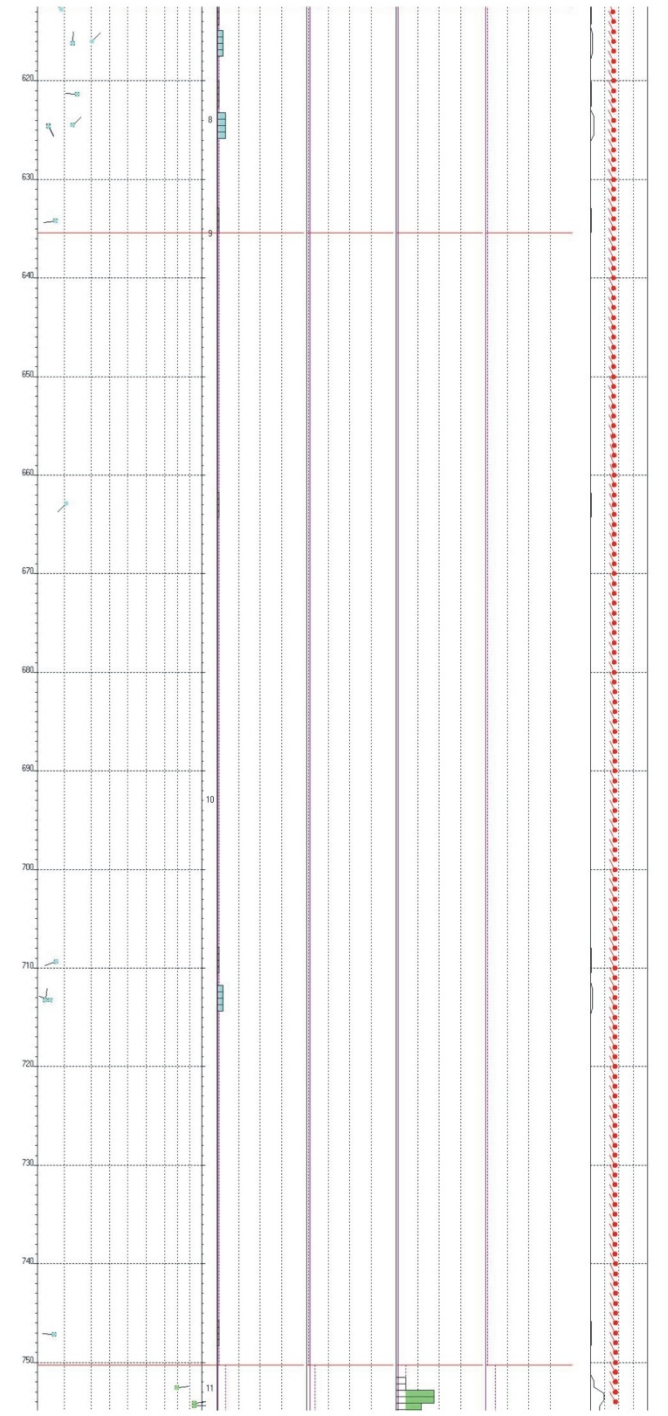
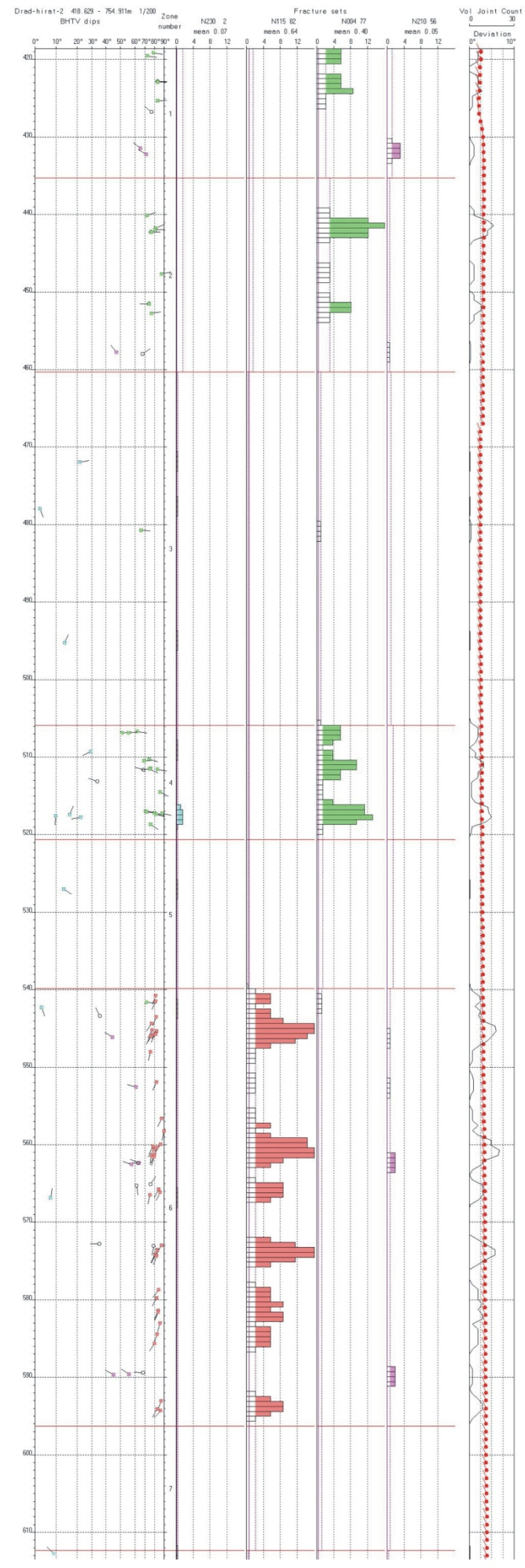
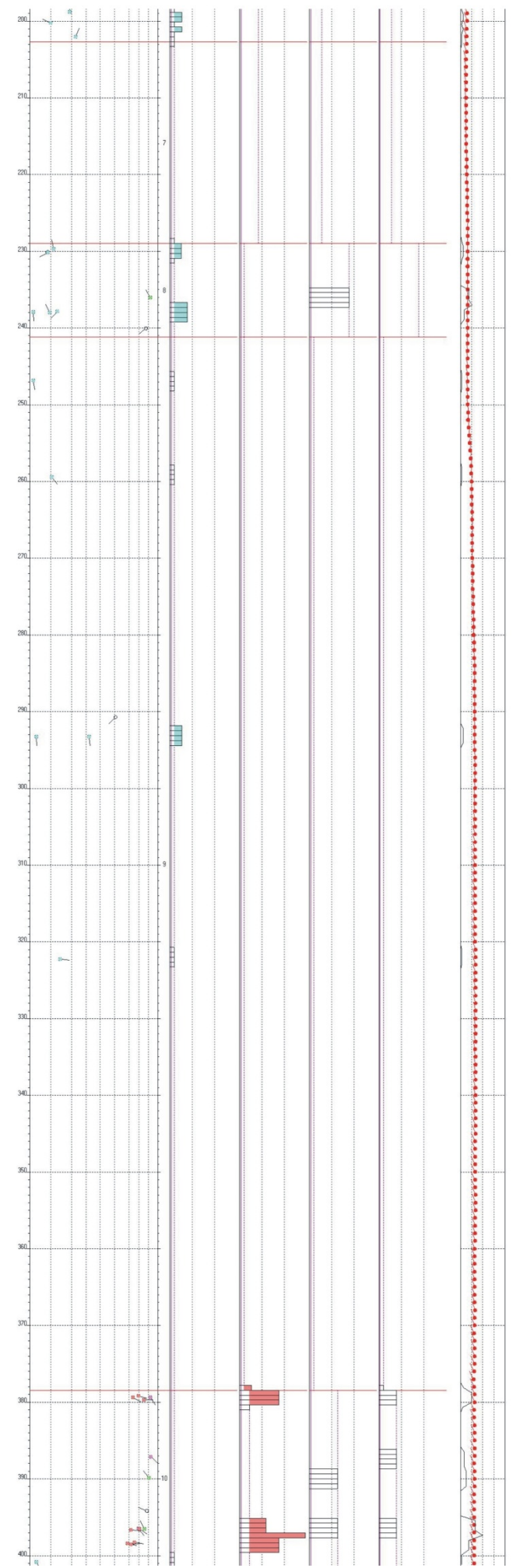
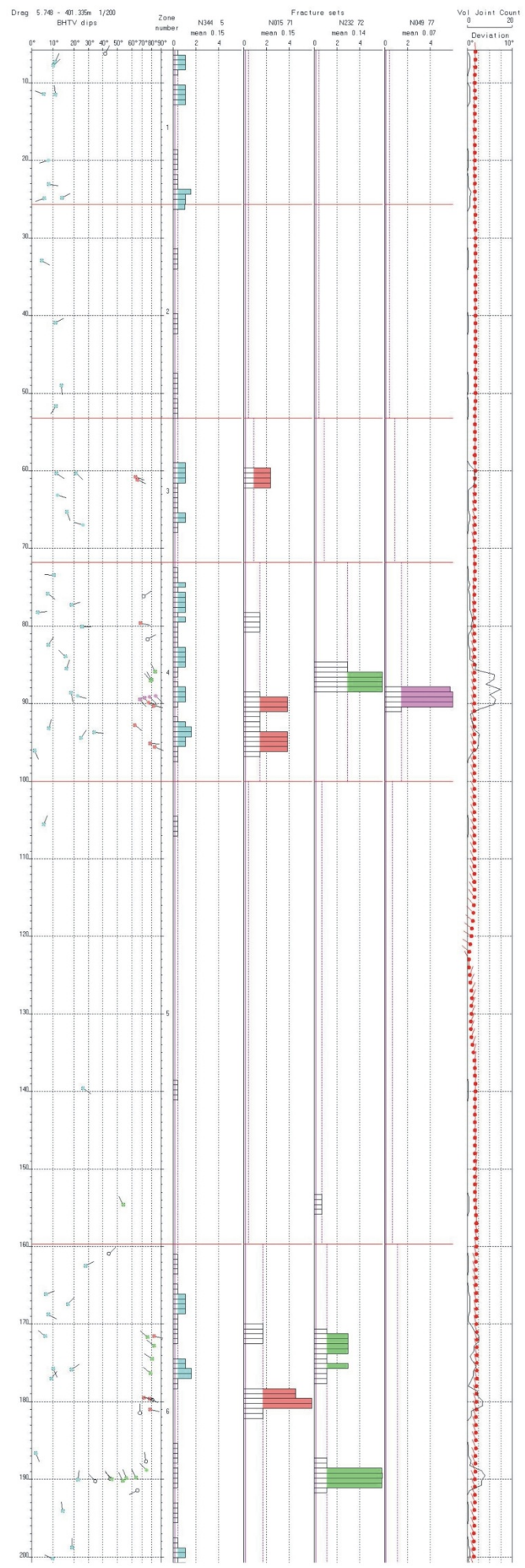
Figur 12 viser sprekkfrekvenshistogram av observerte sprekker i Drag Bh. Databilag 1 viser detaljerte data av sprekkfrekvenser. Hullet er delt inn i soner, og gjennomsnittlig sprekkfrekvens er beregnet innen hver sone. Fra histogrammene kan en se maksimal frekvens i hver sone. VJC (Volume Joint Count) viser summen av alle frekvenser i alle grupper.

Det er tydelig sammenheng mellom oppsprekking og resistivitet. I figur 13 og 14 er sprekkfrekvens, resistivitet og seismisk hastighet plottet sammen. Følgende soner i borehullet viser nedgang i resistiviteten og høy sprekkfrekvens: 60 – 100 m, 160 – 200 m, 390 – 460 m og 500 – 600 m. Mellom 500 og 600 m er det spesielt lav resistivitet og høy sprekkfrekvens. Mest sannsynlig skyldes den lave resistiviteten oppsprekking og ikke ledende mineraler. Uten televIEWer kunne en ikke sagt det med like stor sikkerhet. Også P-bølgnehastigheten indikerer sprekker i de angitte soner, men ikke så tydelig som resistiviteten. En ser også at Long Normal gir lavest resistivitet over sprekkesonene. Dette kan ha sammenheng med den høye ledningsevnen i porevannet, da et større volum vann influerer mer på resistiviteten enn hva tilfellet er for Short Normal.



Figur 11. Opptak med akustisk televIEWer, Drag Bh 540 – 547 m.

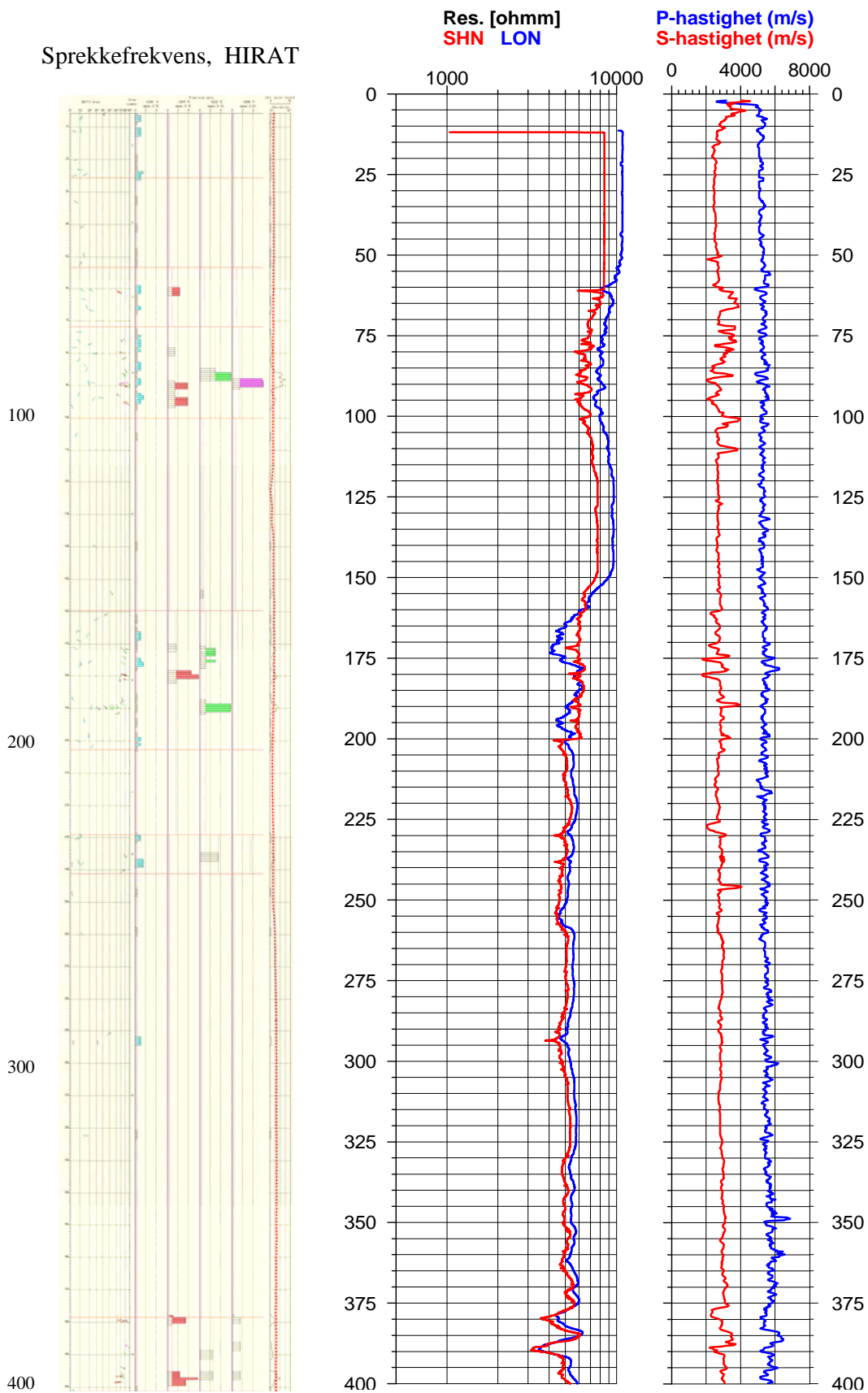




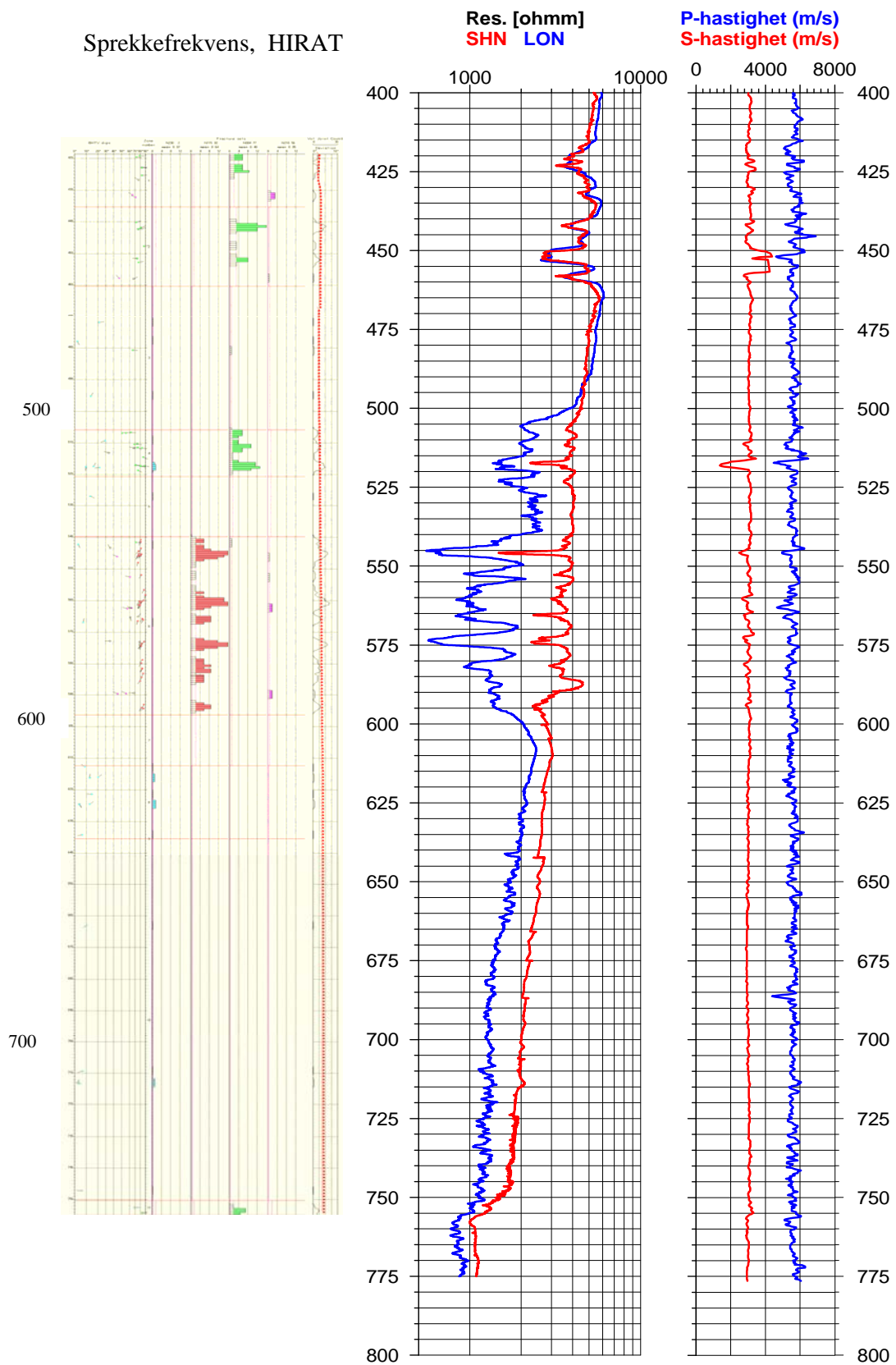
Figur 12. Sprekkefrekvenshistogram for Drag Bh







Figur 13. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Drag Bh, 0 – 400m.



Figur 14. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Drag Bh, 400 – 780 m.

## 4.2 Leknes

Borelokaliteten var i et forholdsvis flatt beiteområde ikke langt fra Leknes sentrum, se figur 15. Temperaturmålingene ble gjort i august 2006. Resistivitet, seismisk hastighet og akustisk televiewer ble logget 19. – 20.6.2009. På grunn av tekniske problemer med en vinsj fikk en i 2009 ikke målt dypere enn 500 m.



Figur 15. Borelokalitet, Leknes Bh.

### 4.2.1 Temperatur og vannkvalitet

Figur 16 viser temperatur og temperaturgradient. Gjennomsnittlig gradient er  $19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{km}$  og bunntemperaturen er  $19.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . En tydelig nedgang i temperaturgradienten fra ca 570 m skyldes overgang til en finkornet grå gneis som har større varmeledningsevne enn de overliggende gneisene, se geologisk logg figur 18. Varmestrømmen er beregnet til  $45\text{ mW}/\text{m}^2$  (Olesen et. al 2007).

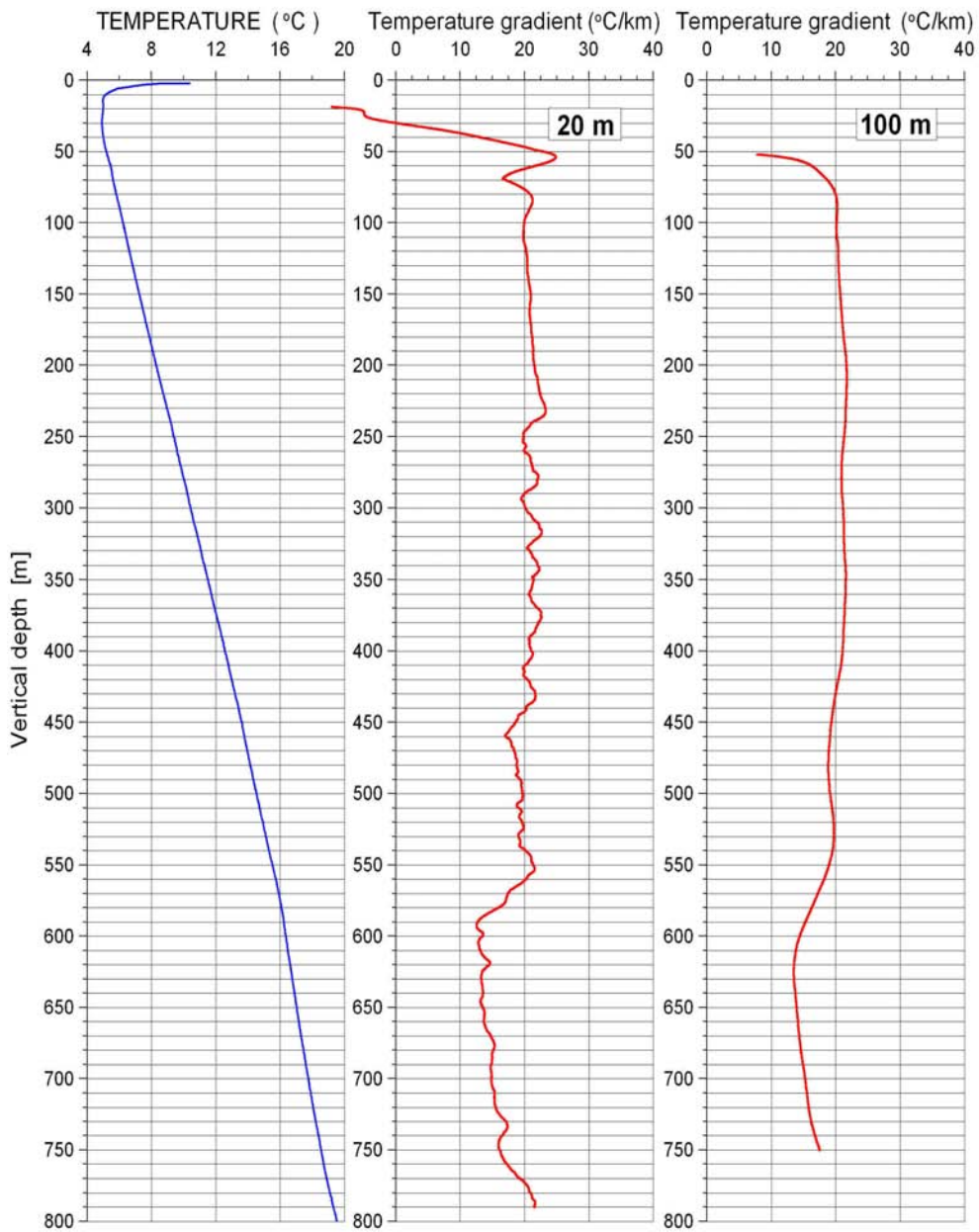
Figur 17 viser temperatur og vannkvalitet for Leknes Bh. Ledningsevnen i vann øker kraftig ved 60 m dyp. Tilsvarende endringer ser en for pH og  $\text{NO}_3$ . Ledningsevnen avtar på flere nivåer nedover i hullet og endringer vises også på de andre parametrene. Det er noe uvanlig med høy ledningsevne i øvre del av undergrunnen og avtagende mot dypet. Det er analysert vannprøver fra 40, 250, 500, 660 og 770 m dyp som viser at det er økning og minskning i Na og Cl, altså endring i saltinnholdet, som styrer ledningsevnen. Om det er inn-/utstrømning av vann på ulike nivåer som er årsaken er vanskelig å si. Resultatene fra analysene er vist i databilag 1 og kapittel 4.5 som også viser sammenlikning av logget, målt og analyserte verdier av ledningsevne og pH i Drag og Leknes borehull.



# Temperature, Temperature Gradient

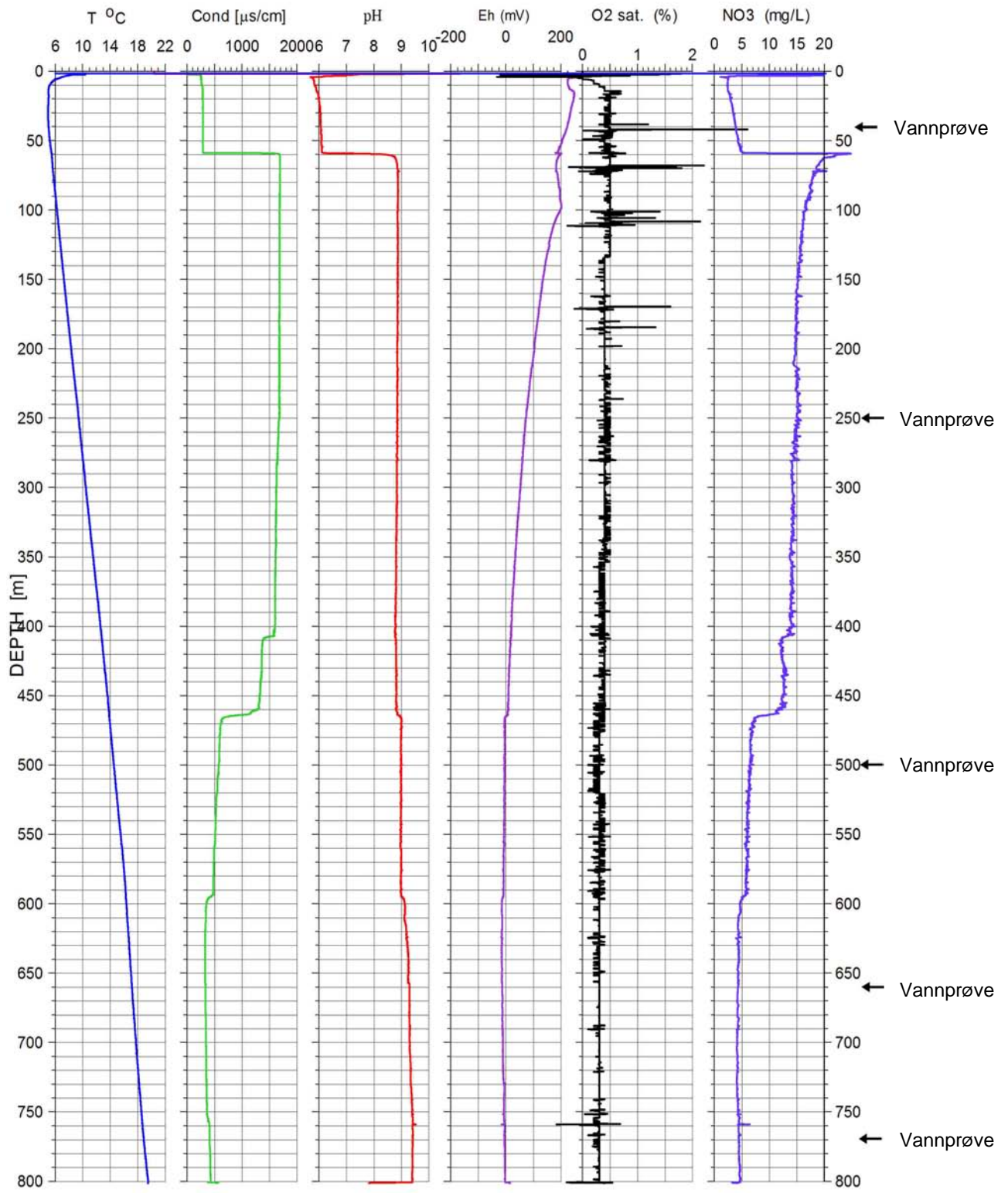
Leknes  
23.08.06

UTM 443663 E  
33V 7562103 N  
27 moh.



Figur 16. Temperatur og temperaturgradient i Leknes Bh.

# Leknes



Figur 17. Temperatur, ledningsevne, pH, Eh, O2 og NO3, Leknes Bh.

#### 4.2.2 Naturlig gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet

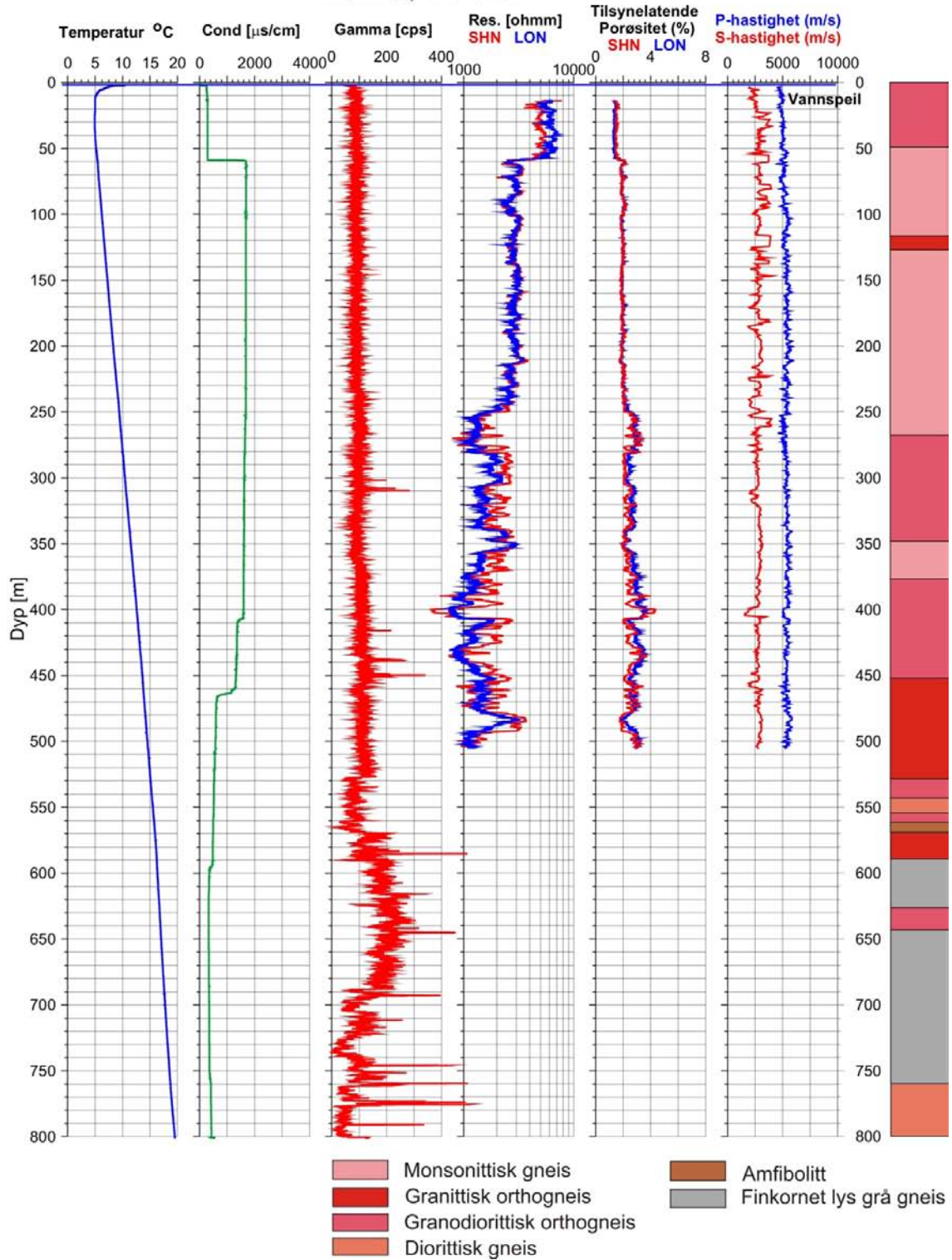
Figur 18 viser en sammenstilling av alle geofysiske logger i Leknes Bh.

Naturlig gammastråling er konstant og forholdsvis lav, 100-130 cps, ned til 530 m dyp. Denne delen av borehullet består av monsonittisk/granittisk og granodiorittiske gneiser (Olesen et. al 2007). Et lag med diorittisk/granodiorittisk gneis og amfibolitt mellom 530 og 580 m gir noe lavere gammastråling, 75 -100 cps. En underliggende lys grå gneis har en tydelig høyere stråling, ca 150-200 cps. Lokale utslag opp mot 500 cps kan skyldes U, Th eller K.

Resistivitet er som nevnt målt bare ned til 500 m i gneis. En ser at resistiviteten tydelig er påvirket av ledningsevnen i porevannet. I de øverste 60 m med normal ledningsevne, 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , er resistiviteten normal og høy, 5000 – 6000 ohmm. Med en økning i ledningsevnen ved 60 m til ca 1700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , faller resistiviteten til ca 3000 ohmm. Fra ca 250 m dyp faller resistiviteten ytterligere samt at den varierer mye. Dette antas å skyldes oppsprekking.

Seismisk P-bølgehastighet er forholdsvis konstant i den delen av hullet som er logget (ned til 500 m), 5000 – 5300 m/s. Det indikeres ingen tydelige lavhastighetssoner. Førsteankomst til S-bølgen er stedvis vanskelig å plukke, og den beregnede S-bølgehastigheten kan være noe usikker, 2700 – 2800 m/s.

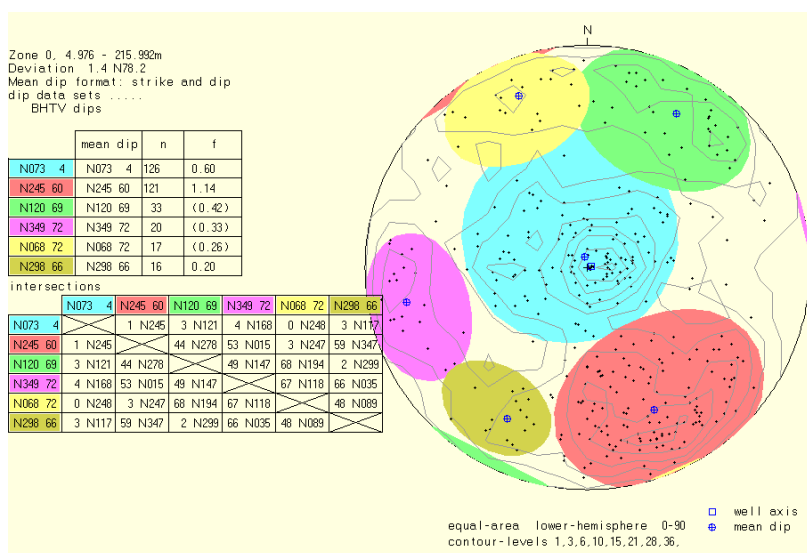
## Leknes, Lofoten



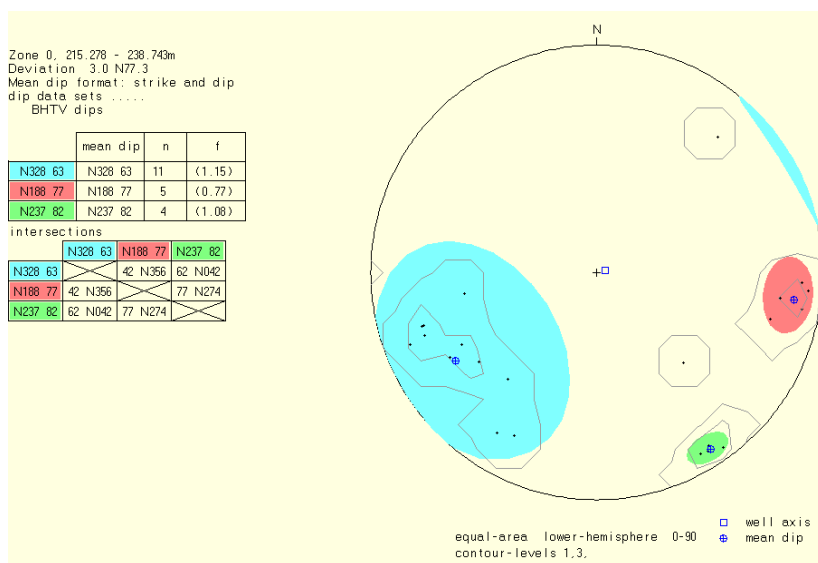
Figur 18. Leknes Bh. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gammastråling, resistivitet, porøsitet og seismisk hastighet. Geologisk logg (Olesen et al 2007).

### 4.2.3 Akustisk televiwer, Leknes Bh

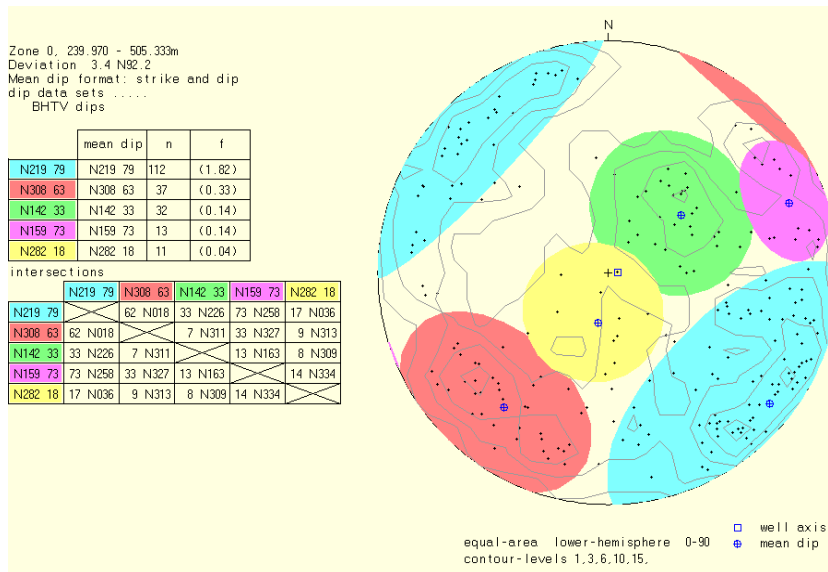
Det er logget med akustisk televiwer i de øverste 500 m av hullet. Alle sprekker er digitalisert, og gjennomsnittlig strøk og fall er beregnet for definerte sprekkegrupper. Videre er det beregnet sprekkefrekvens. Hullet er delt i tre seksjoner, 0-215 m og 215 -239 m og 240 – 505 m på grunn av tekniske problemer under logging. Figur 19, 20 og 21 viser sprekkestereogram over observerte sprekker i de tre seksjonene. Øverste tabell på figurene viser gjennomsnittlig strøk og fall for definerte sprekkegrupper (fargede sirkler) samt gjennomsnittlig sprekkefrekvens. Nedre tabell viser skjæringslinjen mellom de forskjellige midlere sprekkeplan. Hullet er middels til sterkt oppsprukket ned til 500 m. I de øverste 215 m er det en sprekkegruppe (blå) med lite fall, se figur 19. De øvrige sprekkegrupper har fall gjennomsnittlig fall fra 60 – 72 grader. Under ca 250 m forsvinner gruppen med lite fall, og oppsprekkingsmønsteret ser ut til å endres. Resistiviteten endrer seg også fra ca 250 m, se senere.



Figur 19. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 0 – 215 m.



Figur 20. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 215-239 m.



Figur 21. Sprekkestereogram over observerte sprekker i Leknes Bh, 240 - 505 m.

Figur 22 viser sprekkefrekvenshistogram av observerte sprekker i Leknes Bh. Databilag 2 viser detaljerte data av sprekkefrekvenser. Hullet er delt inn i soner, og gjennomsnittlig sprekkefrekvens er beregnet innen hver sone. Fra histogrammene kan en se maksimal frekvens i hver sone.

Leknes Bh er sterkt oppsprukket. I de øverste 60 m er resistiviteten høy, 5000 – 7000 ohmm, selv om bergarten er sterkt oppsprukket. Dette kan skyldes tette sprekker, lav porøsitet og lav ledningsevne i porevannet. Under 60 m faller resistiviteten til ca 3000 ohmm på grunn av økt ledningsevne i porevannet. I figur 23 og 24 er sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet plottet sammen. En kan flere steder se tydelig sammenheng mellom lav resistivitet og høy sprekkefrekvens. Short Normal gir best oppløsning. Fra ca 250 m faller resistiviteten ytterligere til 1000 – 2000 ohmm uten endring i porevannets ledningsevne. Det ser ut som om sprekkemønsteret endres. Sprekkegruppen med tilnærmet horisontalt fall er borte (blå sprekker over 250 m, gule under). Den dominerende sprekkegruppen er steil, N219 79, se figur 21. Det er nærliggende å tro at dette kan påvirke resistiviteten da det er samme bergart hele veien.

P-bølgnehastigheten gir ingen tydelige lavhastighetssoner. Ved 390 – 410 m går både P- og S-bølgnehastighet ned i en lavresistivitetszone. Det ser ut som om kombinasjonen høy ledningsevne i porevannet og oppsprekking ikke påvirker seismisk hastighet i samme grad som de påvirker resistiviteten.





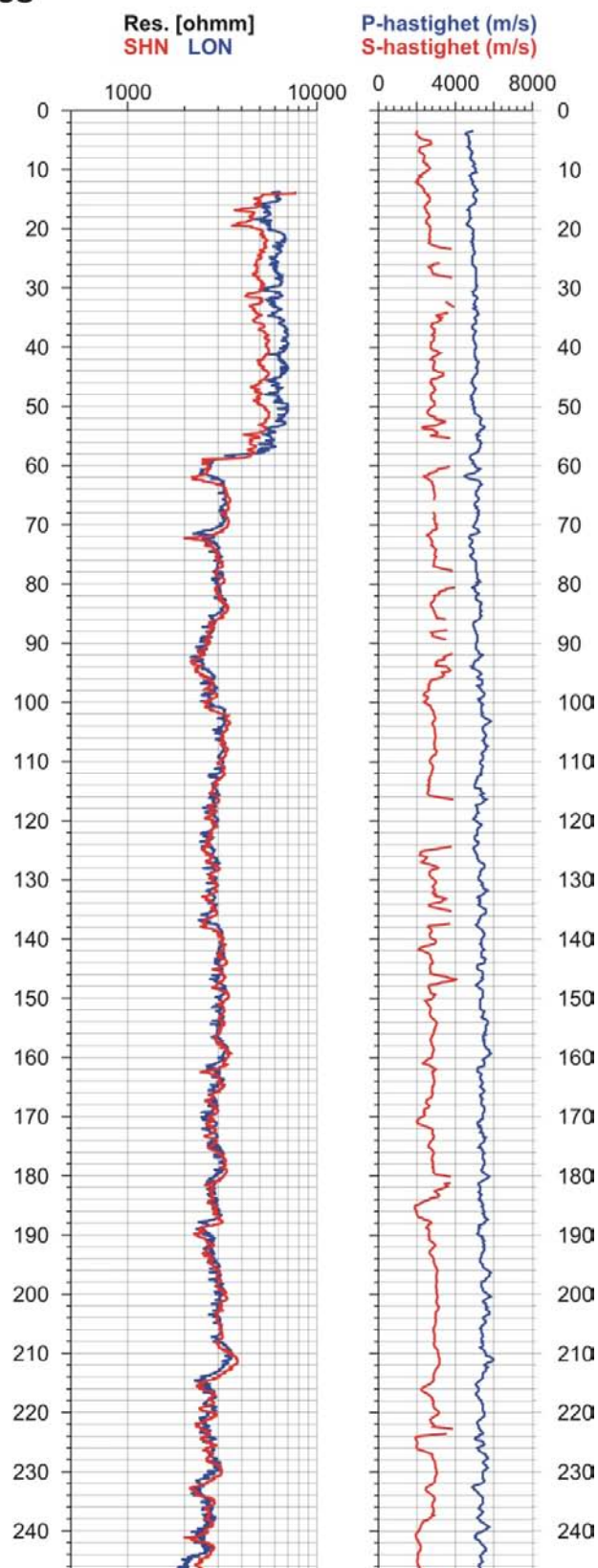
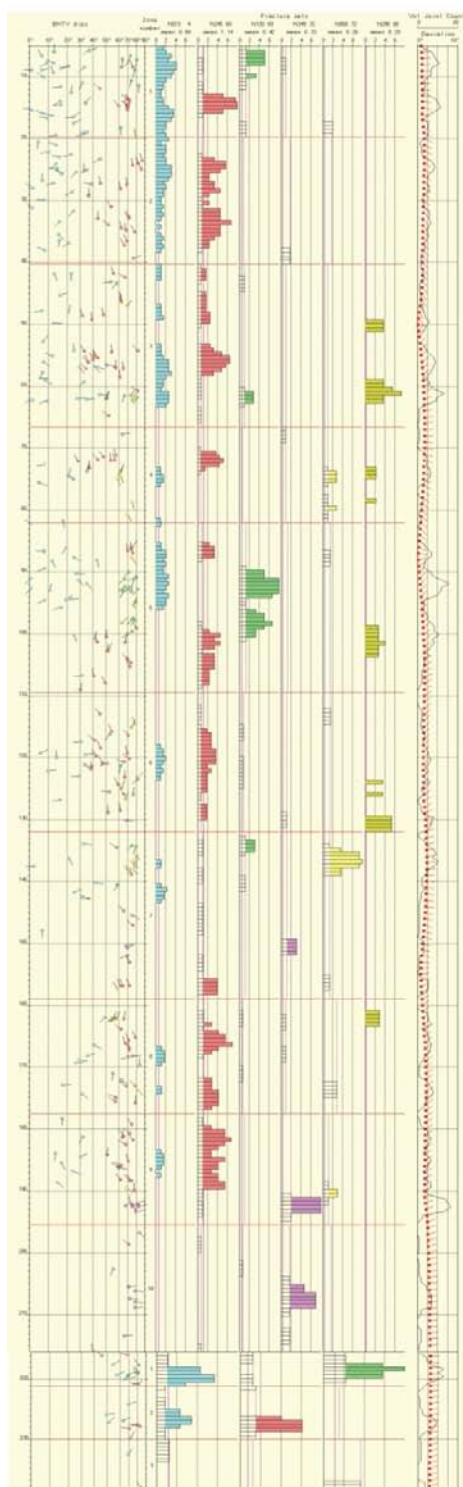
Figur 22. Sprekkefrekvenshistogram for Leknes Bh





# Leknes

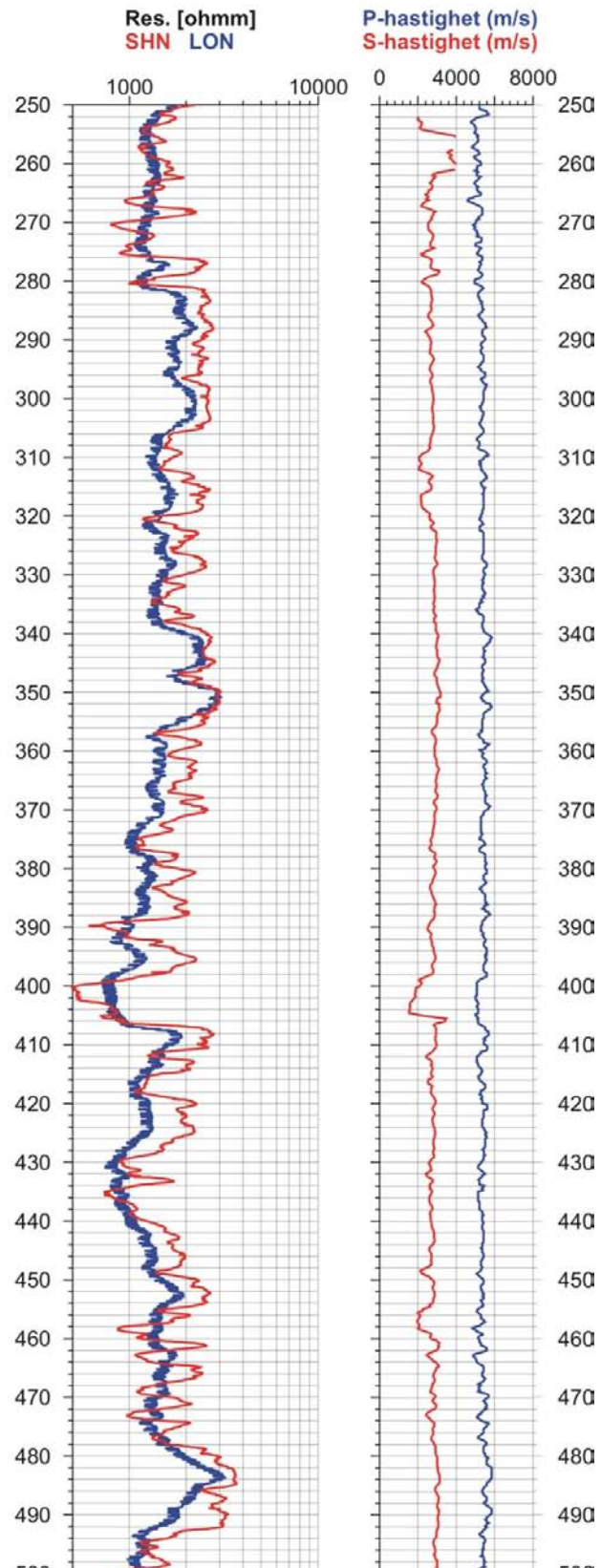
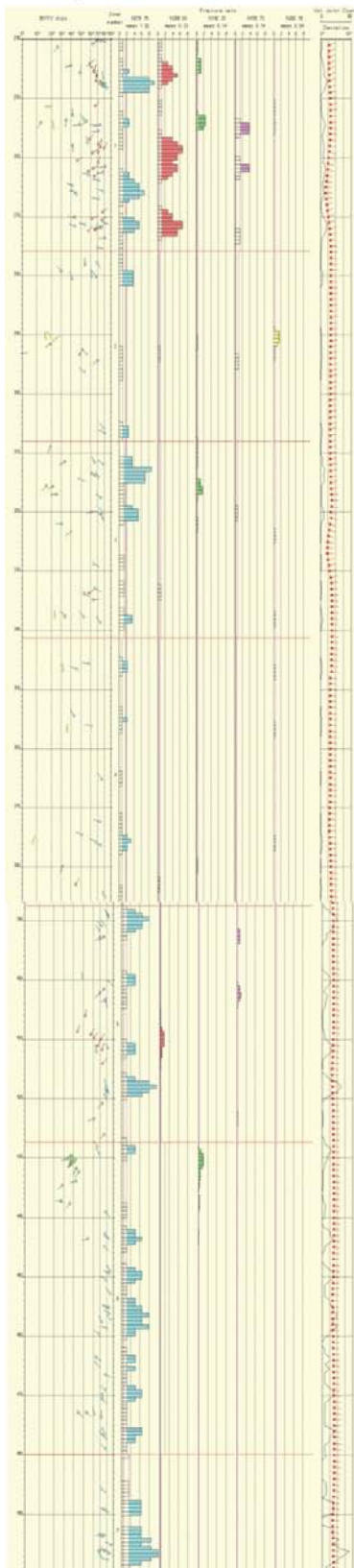
## Sprekkefrekvens



Figur 23. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Leknes Bh, 0 – 240 m.

# Leknes

## Sprekkefrekvens



Figur 24. Sprekkefrekvens, resistivitet og seismisk hastighet i Leknes Bh, 240 – 500 m.

### 4.3 Data, fysiske parametere

#### 4.3.1 Naturlig gammastråling

Tabell 3 og 4 viser data fra målt naturlig gammastråling i Drag Bh og Leknes Bh. Det er angitt gjennomsnittsverdier, maksimum, minimum og standardavvik.

**Tabell 3. Målte gammaverdier i Drag Bh**

| Bergart       | Dyp [m] | Gamma [mean cps] | Gamma [min. cps] | Gamma [max. cps] | St.avvik. |
|---------------|---------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| Gneis/granitt | 12 - 50 | 190              | 150              | 270              | 15        |
| Gneis/granitt | 110-150 | 200              | 150              | 360              | 24        |
| Gneis/granitt | 200-400 | 185              | 130              | 855              | 34        |

**Tabell 4. Målte gammaverdier i Leknes Bh**

| Bergart            | Dyp [m]  | Gamma [mean cps] | Gamma [min. cps] | Gamma [max. cps] | St.avvik. |
|--------------------|----------|------------------|------------------|------------------|-----------|
| Monsonittisk gneis | 4 - 55   | 88               | 54               | 116              | 9         |
| Monsonittisk gneis | 60 - 240 | 89               | 54               | 132              | 11        |

#### 4.3.2 Resistivitet

Tabell 5 og 6 viser målt resistivitet i hhv. Drag Bh og Leknes Bh. 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 i borehullet, borehullsdiameter og sondens diameter (Thunhead & Olsson 2004). Det er ikke korrigert for porevannets ledningsevne. En ser at med økende ledningsevne i porevannet avtar bergartens resistivitet.

**Tabell 5. Målte resistivitetsverdier og ledningsevne i vann, Drag Bh.**

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>Resistivitet [Mean Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Min. Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Max. Ohmm]</b> | <b>Ledn.e. [<math>\mu</math>S/cm]</b> | <b>St.dev</b> | <b>LN/SN</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Gneis/granitt       | 12 - 50        | 8475                            | 8450                            | 8500                            | 99                                    | 9             | SN           |
| Gneis/granitt       | 110-150        | 7600                            | 7100                            | 7750                            | 236                                   | 187           | SN           |
| Gneis/granitt       | 200-400        | 4950                            | 3150                            | 6150                            | 720                                   | 357           | SN           |

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>Resistivitet [Mean Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Min. Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Max. Ohmm]</b> | <b>Ledn.e. [<math>\mu</math>S/cm]</b> | <b>St.dev</b> | <b>LN/SN</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Gneis/granitt       | 12 - 50        | 10800                           | 10500                           | 10900                           | 99                                    | 68            | LN           |
| Gneis/granitt       | 110-150        | 9450                            | 8850                            | 9600                            | 236                                   | 210           | LN           |
| Gneis/granitt       | 200-400        | 5400                            | 3500                            | 6300                            | 720                                   | 380           | LN           |

**Tabell 6. Målte resistivitetsverdier og ledningsevne i vann, Leknes Bh.**

| <b>Leknes Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>Resistivitet [Mean Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Min. Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Max. Ohmm]</b> | <b>Ledn.e. [<math>\mu</math>S/cm]</b> | <b>St.dev</b> | <b>LN/SN</b> |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Monsonittisk gneis    | 13 - 55        | 5050                            | 3600                            | 7700                            | 280                                   | 453           | SN           |
| Monsonittisk gneis    | 60 - 240       | 2925                            | 1970                            | 3820                            | 1680                                  | 297           | SN           |

| <b>Leknes Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>Resistivitet [Mean Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Min. Ohmm]</b> | <b>Resistivitet [Max. Ohmm]</b> | <b>Ledn.e. [<math>\mu</math>S/cm]</b> | <b>St.dev</b> | <b>LN/SN</b> |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|---------------|--------------|
| Monsonittisk gneis    | 13 - 55        | 6200                            | 4600                            | 7100                            | 280                                   | 494           | LN           |
| Monsonittisk gneis    | 60 - 240       | 2900                            | 2170                            | 3600                            | 1680                                  | 244           | LN           |

### 4.3.3 Lydhastighet

Det er målt P- og S-bølge hastighet. Det er gjort full waveform prosessering ved programvare fra ALT (ALT 2006). Tabell 7 viser målt P- og S-bølge hastighet i Drag Bh mens tabell 8 viser P- og S-bølge hastighet i Leknes Bh.

**Tabell 7. P- og S-bølge hastighet i Drag Bh.**

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>P-bølge hast. [mean m/s]</b> | <b>P-bølge hast. [min. m/s]</b> | <b>P-bølge hast. [max. m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Gneis/granitt       | 12 - 50        | 5150                            | 5000                            | 5450                            | 108             |
| Gneis/granitt       | 110-150        | 5250                            | 4950                            | 5700                            | 120             |
| Gneis/granitt       | 200-400        | 5550                            | 4950                            | 6850                            | 256             |

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>S-bølge hast. [mean m/s]</b> | <b>S-bølge hast. [min. m/s]</b> | <b>S-bølge hast. [max.m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Gneis/granitt       | 12 - 50        | 2500                            | 2350                            | 2800                           | 83              |
| Gneis/granitt       | 110-150        | 2700                            | 2550                            | 3800                           | 165             |
| Gneis/granitt       | 200-400        | 2860                            | 2050                            | 4050                           | 205             |

**Tabell 8. P- og S-bølge hastighet i Leknes Bh.**

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>P-bølge hast. [mean m/s]</b> | <b>P-bølge hast. [min. m/s]</b> | <b>P-bølge hast. [max. m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|
| Monsonittisk gneis  | 4 - 55         | 4950                            | 4550                            | 5500                            | 160             |
| Monsonittisk gneis  | 60 - 240       | 5350                            | 4500                            | 6000                            | 213             |

| <b>Drag Bergart</b> | <b>Dyp [m]</b> | <b>S-bølge hast. [mean m/s]</b> | <b>S-bølge hast. [min. m/s]</b> | <b>S-bølge hast. [max.m/s]</b> | <b>St.avvik</b> |
|---------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| Monsonittisk gneis  | 4- 55          | 2750                            | 1950                            | 3950                           | 370             |
| Monsonittisk gneis  | 60 - 240       | 2800                            | 1900                            | 4100                           | 325             |

#### 4.3.4 Sammenstilling, Lydhastighet, resistivitet og gammastråling.

Tabell 9 og 10 viser en sammenstilling av gjennomsnittlige verdier for lydhastighet, naturlig gamma, resistivitet og vannets ledningsevne i hhv. Drag Bh og Leknes Bh.

**Tabell 9. Gjennomsnittlig lydhastighet, naturlig gammastråling, resistivitet og vannets ledningsevne i Drag Bh**

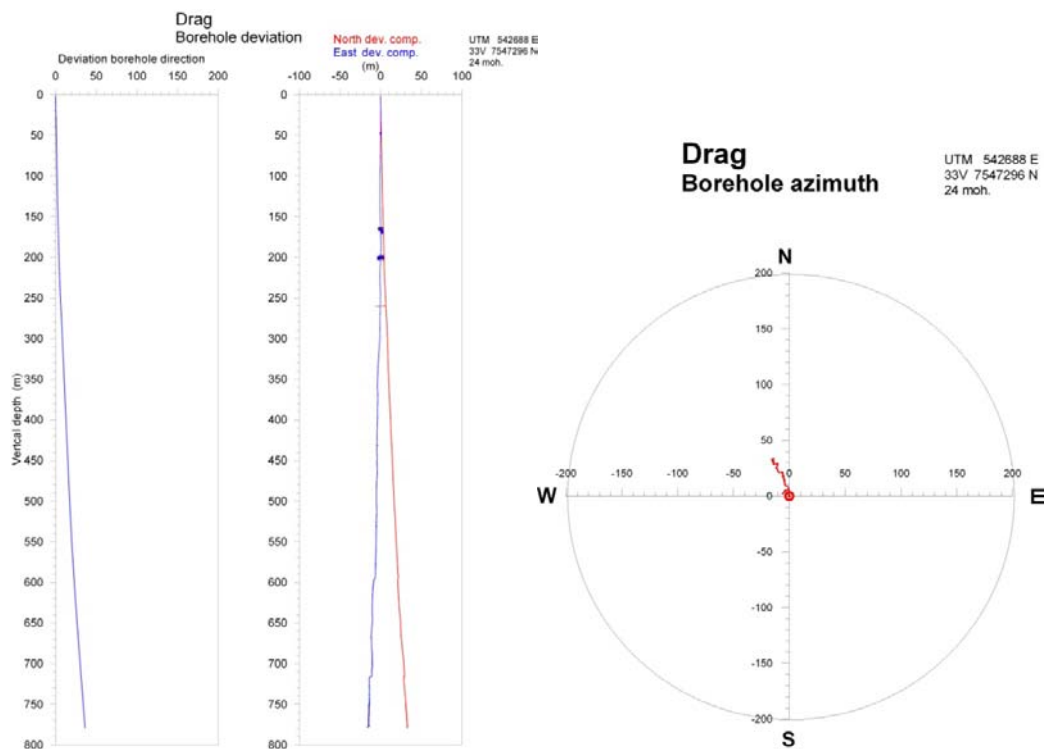
| <b>Bergart,<br/>Drag Bh</b> | <b>Dyp<br/>[m]</b> | <b>P-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>S-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>Gamma<br/>[cps]</b> | <b>Resistivitet<br/>LN [ohmm]</b> | <b>Resistivitet<br/>SN [ohmm]</b> | <b>Ledn.e.<br/>[µS/cm]</b> |
|-----------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Gneis/granitt               | 12 - 50            | 5150                     | 2500                     | 190                    | 10800                             | 8475                              | 99                         |
| Gneis/granitt               | 110-150            | 5250                     | 2700                     | 200                    | 9450                              | 7600                              | 236                        |
| Gneis/granitt               | 200-400            | 5550                     | 2860                     | 185                    | 5400                              | 4950                              | 720                        |

**Tabell 10. Gjennomsnittlig lydhastighet, naturlig gammastråling, resistivitet og vannets ledningsevne i Leknes Bh**

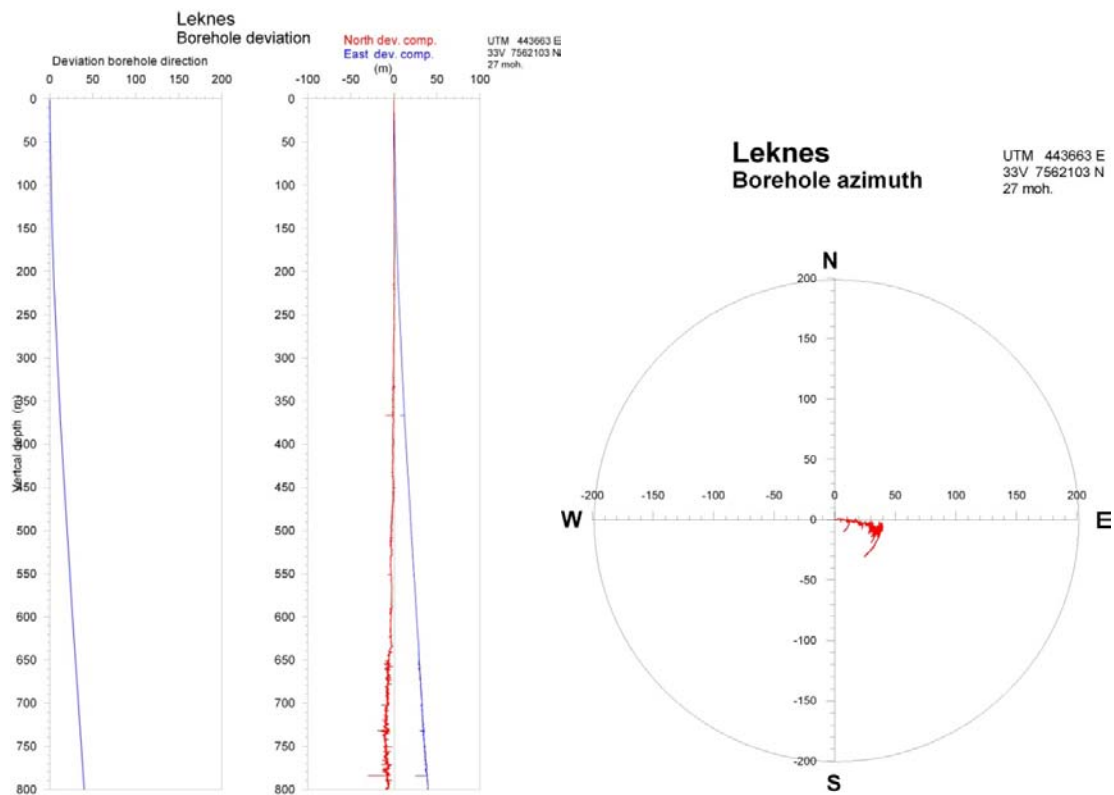
| <b>Bergart,<br/>Leknes Bh</b> | <b>Dyp<br/>[m]</b> | <b>P-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>S-bølge<br/>[m/s]</b> | <b>Gamma<br/>[cps]</b> | <b>Resistivitet<br/>LN [ohmm]</b> | <b>Resistivitet<br/>SN [ohmm]</b> | <b>Ledn.e.<br/>[µS/cm]</b> |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Monsonittisk<br>gneis         | 4- 55              | 4950                     | 2750                     | 88                     | 6200                              | 5050                              | 280                        |
| Monsonittisk<br>gneis         | 60 - 240           | 5350                     | 2800                     | 89                     | 2900                              | 2925                              | 1680                       |

#### **4.4 Borehullsavvik**

Borehullsavvik for Drag og Leknes er vist i figur 25 og 26. Borehullsforløpet ble målt med egen avvikssonde og viser borehullenes fall og retning. Uregelmessigheter nederst i Leknes borehull på retningsvinkelen kan skyldes magnetisk påvirkning.



Figur 25. Borehullsforløp Drag Bh. NØ-komponent (venstre) og retning (høyre).



Figur 26. Borehullsforløp Leknes Bh. NØ-komponent (venstre) og retning (høyre).

#### 4.5 Sammenlikning av målt (i felt), logget (i borehull) og analysert (i lab) ledningsevne og pH i Drag og Leknes borehull.

Ved borehullsmålingene i Drag og Leknes borehull ble det med NGUs vannprøvetaker tatt opp vannprøver fra forskjellige dyp. Prøvene ble tatt der det i borehullet var tydelige endringer i vannkvalitet. Disse prøvene ble senere analysert ved NGU lab. Måling av pH ble gjort på vannprøven i felt og logget kontinuerlig i borehull med NGUs vannkvalitetssonde. Ledningsevne ble logget med samme sonde i borehullet. En sammenlikning av resultatene er gjort.

Tabell 11 viser et utdrag av analyseresultatene fra NGU Lab, og viser pH, ledningsevne, Cl og Na. Det er tatt tre prøver på Drag (180, 600 og 770 m) og fem prøver i Leknes borehull (40, 250, 500, 660 og 770 m). Fullstendig analyse er vist i databilag 1.

**Tabell 11. Analyseresultater av pH, ledningsevne, Cl og Na i Drag og Leknes borehull.**

| Prøve id.          | Prøvetatt | Dyp | pH   | Ledn.evne | Cl     | Na     |
|--------------------|-----------|-----|------|-----------|--------|--------|
|                    |           | m   | pH   | µS/cm     | [mg/l] | [mg/l] |
| Drag 1, dyp 180m   | 20060819  | 180 | 7.31 | 212       | 12.0   | 32.2   |
| Drag 2, dyp 600m   | 20060819  | 600 | 7.45 | 2840      | 790    | 450    |
| Drag 3, dyp 770m   | 20060819  | 770 | 7.58 | 4060      | 1218   | 539    |
| Leknes 1, dyp 40m  | 20060823  | 40  | 6.47 | 248       | 28.5   | 18.3   |
| Leknes 2, dyp 250m | 20060823  | 250 | 8.26 | 1550      | 418    | 199    |
| Leknes 3, dyp 500m | 20060823  | 500 | 8.40 | 540       | 106    | 69.1   |
| Leknes 4, dyp 660m | 20060823  | 660 | 9.14 | 315       | 49.9   | 42.5   |
| Leknes 5, dyp 770m | 20060823  | 770 | 9.41 | 386       | 77.8   | 51.0   |

Tabell 12 viser

pH log : logget i borehull

pH felt : målt på vannprøve i felt

pH lab : målt i NGU Lab

σ log : logget ledningsevne i borehull ( µS/cm )

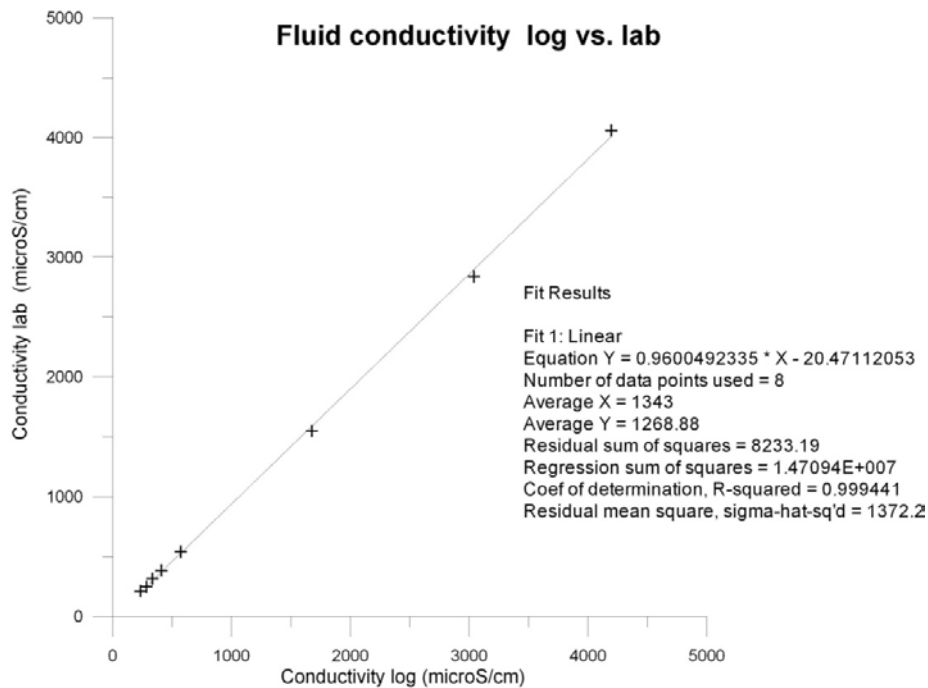
σ lab : analysert ledningsevne NGU Lab (µS/cm)

**Tabell 12. Sammenstilling av målte pH- og ledningsevneverdier ( µS/cm ).**

| Pr.nr. | pH log | pH felt | pH lab | σ log | σ lab |
|--------|--------|---------|--------|-------|-------|
| D 180  | 7.07   | 6.6     | 7.31   | 233   | 212   |
| D 600  | 8.37   | 9.4     | 7.45   | 3040  | 2840  |
| D 770  | 8.26   | 8.5     | 7.58   | 4195  | 4060  |
| L 40   | 6.07   | 6.4     | 6.47   | 285   | 248   |
| L250   | 8.85   | 9.5     | 8.26   | 1675  | 1550  |
| L 500  | 8.99   | 9.8     | 8.4    | 574   | 540   |
| L 660  | 9.3    | 9.7     | 9.14   | 334   | 315   |
| L 770  | 9.41   | 10.3    | 9.41   | 408   | 386   |

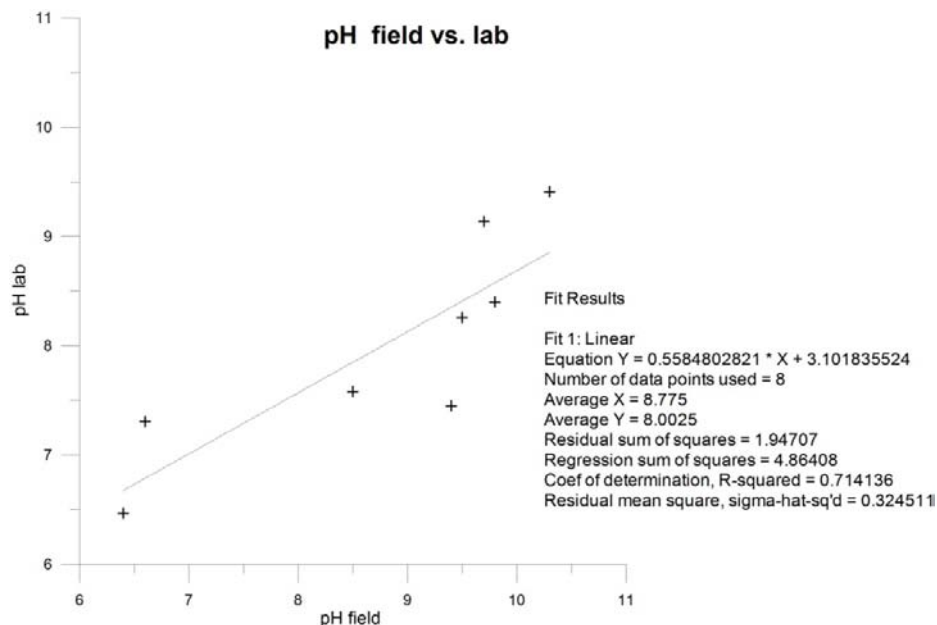


Figur 27 viser logget ledningsevne vs analysert ledningsevne. Data fra begge borehull er tatt med. Det er meget god overensstemmelse mellom logget ledningsevne og analysert i NGU Lab, med en stigningskoeffisient på 0,96 og regresjonskoeffisient på 0,9994.



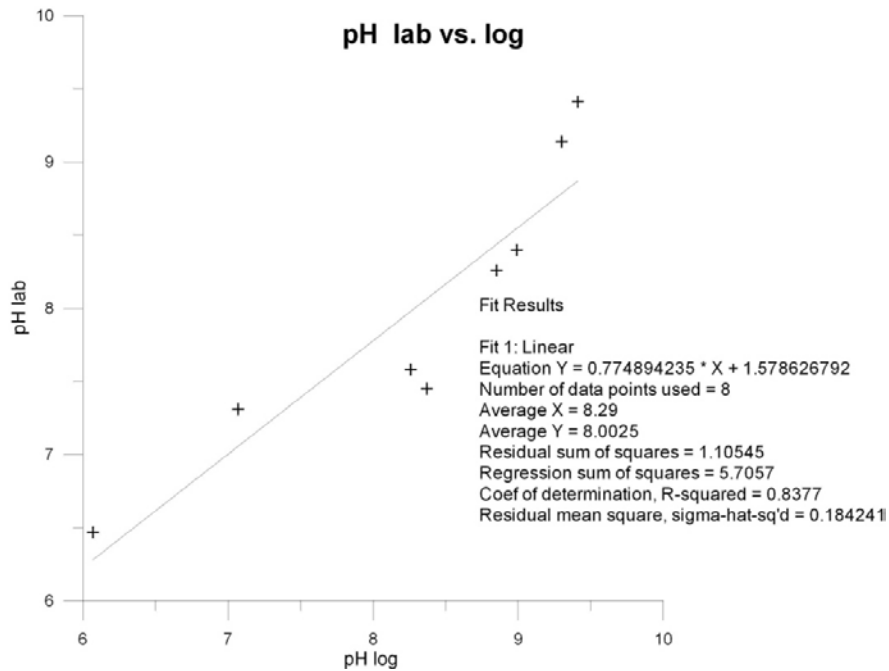
Figur 27. Logget ledningsevne vs analysert ledningsevne i Drag og Leknes borehull.

Figur 28 viser pH felt vs pH lab. Prøver fra begge hull er tatt med. Det er tydelig sprik mellom felt og lab, med stigningskoeffisient på 0.55 og  $R^2 = 0.71$ .



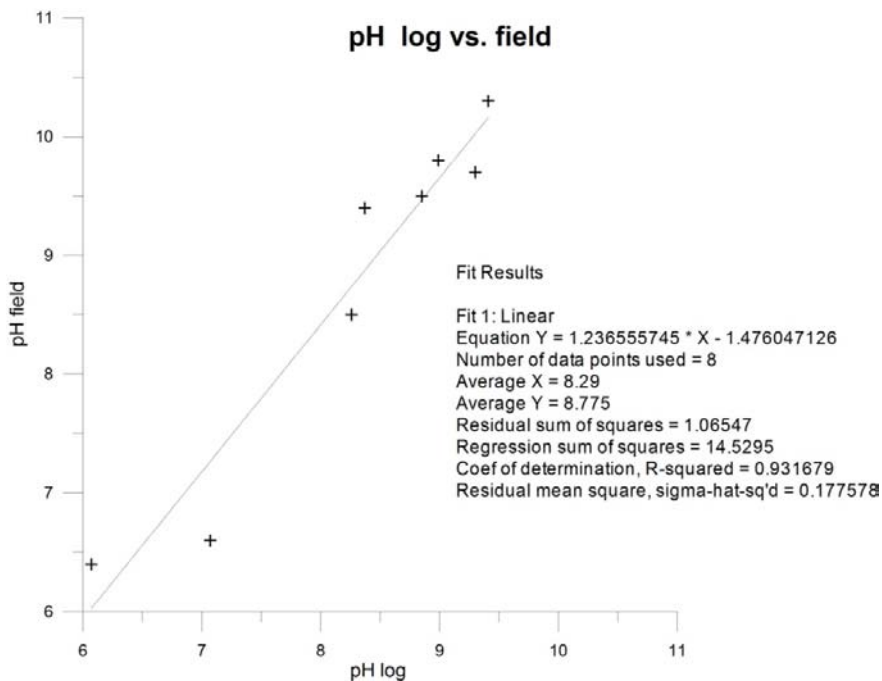
Figur 28. Målt pH i felt vs analysert pH lab i Drag og Leknes borehull.

Figur 29 viser logget pH vs analysert pH i Drag og Leknes borehull. Her er det bedre sammenheng mellom datasettene med stigningskoeffisient 0.77 og  $R^2 = 0.837$ . Logging i borehull stemmer bedre med labanalysen enn pH-analysen i felt.



Figur 29. Logget pH i borehull vs analysert pH lab i Drag og Leknes borehull.

Figur 30 viser logget pH i borehull vs målt pH i felt i Drag og Leknes borehull. Det er god tilpasning mellom disse datasettene med  $R^2 = 0.93$ , og stigningskoeffisient 1.23. Det er best korrelasjon mellom pH logget i Bh og analyse i felt.



Figur 30. Logget pH i borehull vs målt pH i felt i Drag og Leknes borehull

## 5. KONLUSJON

NGU har gjort borehullslogging i et 780 m dypt kjerneborehull ved Drag i Tysfjord og et 800 m dypt kjerneborehull ved Leknes i Lofoten. Hovedhensikten var å måle temperaturgradienten for å kartlegge varmestrøm i dype krystalline bergarter. I tillegg ble det utført geofysisk logging i hullet for å kartlegge berggrunnens fysiske egenskaper. Det ble målt resistivitet, lydshastighet, naturlig gammastråling, ledningsevne i vann, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>. Hullene ble også logget med akustisk televiwer for å kartlegge oppsprekking. I tillegg er det tatt ut vannprøver for analyse.

Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lydshastighet og naturlig gammastråling i gneis/granitt (Tysfjordgranitt) på Drag, og i diorittisk/granittisk gneis på Leknes. Data er sammenstilt for massiv bergart. Avvik fra de oppgitte verdier (mindre) av resistivitet og lydshastighet kan tyde på oppsprukket fjell.

Det er liten variasjon i geologien i begge hullene. Gjennomsnittlig temperaturgradient er 17.0 °C/km på Drag og 19.0 °C/km på Leknes. Typiske verdier for resistivitet er 8000 - 10000 ohmm i Tysfjordgranitten og 5000 – 6000 ohmm i gneisen på Leknes. Store variasjoner i porevannets elektriske ledningsevne påvirker resistiviteten i fjellet. Seismisk P-bølgehastighet er 5200-5500 m/s i Drag Bh og 4900-5300 m/s i Leknes Bh. Total gammastråling er forholdsvis høy, 200 cps (API-standard), i Tysfjordgranitten og lav, 90 cps (API-standard), i gneisen på Leknes.

## 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.

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., Ramstad, R. K., Rønning, J. S., Skilbrei, J. R., Slagstad, T., & Wissing, B. 2007: KONTIKI Final Report, Continental Crust and Heat Generation in 3D. *NGU Report 2007.042*.

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

| Analysedato | NGU Prøve nr. | Kontrakt | Prøve id.          | Prøvetatt | Dyp | pH   | p-alkalitet | t-alkalitet | Ledn.-evne | Fargetall | Turbiditet | Prøve id.     | F-     | Cl-    | NO2-   |
|-------------|---------------|----------|--------------------|-----------|-----|------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|---------------|--------|--------|--------|
|             |               |          |                    |           | m   | pH   | mmol/l      | mmol/l      | mS/m       | -         | FTU        |               | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] |
| 9.5.2006    | 49421         | 20060357 | Drag 1, dyp 180m   | 20060819  | 180 | 7.31 |             | 1.51        | 21.2       | 75.6      | 2.8        | NGU nr. 49421 | 3.48   | 12.0   | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49422         | 20060357 | Drag 2, dyp 600m   | 20060819  | 600 | 7.45 |             | 0.31        | 284        | 5.6       | 4.3        | NGU nr. 49422 | 1.49   | 790    | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49423         | 20060357 | Drag 3, dyp 770m   | 20060819  | 770 | 7.58 |             | 0.29        | 406        | 3.3       | 73         | NGU nr. 49423 | 1.10   | 1218   | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49424         | 20060357 | Leknes 1, dyp 40m  | 20060823  | 40  | 6.47 |             | 1.43        | 24.8       | 130       | 13         | NGU nr. 49424 | 0.20   | 28.5   | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49425         | 20060357 | Leknes 2, dyp 250m | 20060823  | 250 | 8.26 |             | 0.35        | 155        | 3.1       | 27         | NGU nr. 49425 | 4.70   | 418    | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49426         | 20060357 | Leknes 3, dyp 500m | 20060823  | 500 | 8.40 | <0.04       | 0.37        | 54.0       | 3.5       | 37         | NGU nr. 49426 | 4.14   | 106    | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49427         | 20060357 | Leknes 4, dyp 660m | 20060823  | 660 | 9.14 | 0.08        | 0.29        | 31.5       | 4.9       | 34         | NGU nr. 49427 | 4.54   | 49.9   | < 0.05 |
| 9.5.2006    | 49428         | 20060357 | Leknes 5, dyp 770m | 20060823  | 770 | 9.41 | 0.13        | 0.31        | 38.6       | 9.0       | 54         | NGU nr. 49428 | 4.30   | 77.8   | < 0.05 |

| Prøve id.          | Br-    | NO3-   | PO43-  | SO42-  | Anioner   | Prøve id. | Si     | Al     | Fe     | Ti     | Mg     | Ca     | Na     | K      | Kationer | Balanse | Mn     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|
|                    | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] | [mg/l] |           |           | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] |          |         | [mg/L] |
| Drag 1, dyp 180m   | 0.11   | < 0.05 | < 0.2  | 5.73   | 2.095913  | 49421     | 6.77   | 0.157  | 2.11   | 0.0066 | 3.08   | 10.7   | 32.2   | 2.46   | 2.25     | -3.56   | 0.105  |
| Drag 2, dyp 600m   | 3.46   | 0.11   | < 0.2  | 102    | 23.73834  | 49422     | 3.04   | 0.086  | 0.0114 | 0.0032 | 29.6   | 67.2   | 450    | 13.8   | 25.71    | -4.00   | 0.0045 |
| Drag 3, dyp 770m   | 4.48   | 0.14   | < 0.2  | 144    | 36.210767 | 49423     | 2.93   | 0.053  | 0.0064 | 0.0038 | 25.2   | 229    | 539    | 16.6   | 37.37    | -1.57   | 0.0618 |
| Leknes 1, dyp 40m  | 0.21   | 0.61   | < 0.2  | 5.48   | 2.3111619 | 49424     | 7.24   | 0.121  | 18.4   | 0.0064 | 2.85   | 29.5   | 18.3   | 3.88   | 2.60     | -5.91   | 2.01   |
| Leknes 2, dyp 250m | 1.58   | < 0.05 | < 0.2  | 82.3   | 13.24278  | 49425     | 4.94   | 0.033  | 0.0432 | 0.0046 | 4.67   | 129    | 199    | 1.48   | 15.51    | -7.90   | 0.0911 |
| Leknes 3, dyp 500m | 0.45   | 0.06   | < 0.2  | 54.0   | 4.1402381 | 49426     | 4.67   | 0.039  | 0.0245 | 0.0037 | 0.840  | 34.5   | 69.1   | <0.5   | 4.80     | -7.34   | 0.0292 |
| Leknes 4, dyp 660m | 0.27   | < 0.05 | < 0.2  | 39.0   | 2.34546   | 49427     | 5.91   | 0.058  | 0.0472 | 0.0038 | <0.05  | 17.8   | 42.5   | <0.5   | 2.74     | -7.70   | 0.0060 |
| Leknes 5, dyp 770m | 0.38   | 0.05   | < 0.2  | 28.0   | 3.0244471 | 49428     | 8.15   | 0.088  | 0.0419 | 0.0037 | <0.05  | 26.2   | 51.0   | 0.57   | 3.54     | -7.86   | 0.0021 |

| Prøve id.          | P      | Cu     | Zn     | Pb     | Ni     | Co     | V      | Mo     | Cd      | Cr     | Ba     | Sr     | Zr     | Ag     | B      | Be     | Li     |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L]  | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] |
| Drag 1, dyp 180m   | <0.05  | <0.005 | 1.31   | <0.005 | <0.005 | <0.001 | <0.005 | 0.0098 | <0.0005 | <0.002 | 0.345  | 0.0867 | 0.0040 | <0.005 | 0.086  | <0.001 | 0.0140 |
| Drag 2, dyp 600m   | 0.080  | <0.005 | 0.677  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | 0.0091 | 0.0112 | <0.0005 | <0.002 | 0.0637 | 0.664  | 0.0033 | <0.005 | 0.075  | <0.001 | 0.0261 |
| Drag 3, dyp 770m   | 0.116  | <0.005 | 0.492  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | 0.0084 | 0.0133 | <0.0005 | <0.002 | 0.0640 | 3.13   | 0.0033 | <0.005 | 0.054  | <0.001 | 0.0614 |
| Leknes 1, dyp 40m  | 0.080  | <0.005 | 1.26   | <0.005 | <0.005 | 0.0022 | 0.0072 | <0.005 | <0.0005 | <0.002 | 0.454  | 0.139  | 0.0034 | <0.005 | 0.023  | <0.001 | <0.005 |
| Leknes 2, dyp 250m | 0.123  | <0.005 | 0.569  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | 0.0061 | 0.0221 | <0.0005 | <0.002 | 0.0743 | 3.34   | 0.0048 | <0.005 | <0.02  | <0.001 | 0.0233 |
| Leknes 3, dyp 500m | 0.054  | <0.005 | 0.509  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | <0.005 | 0.0224 | <0.0005 | <0.002 | 0.0766 | 8.27   | 0.0037 | <0.005 | <0.02  | <0.001 | 0.0146 |
| Leknes 4, dyp 660m | <0.05  | <0.005 | 0.503  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | <0.005 | 0.0206 | <0.0005 | <0.002 | 0.0957 | 0.289  | 0.0041 | <0.005 | <0.02  | <0.001 | 0.0157 |
| Leknes 5, dyp 770m | <0.05  | <0.005 | 0.537  | <0.005 | <0.005 | <0.001 | <0.005 | 0.0199 | <0.0005 | <0.002 | 0.138  | 0.499  | 0.0041 | <0.005 | <0.02  | <0.001 | 0.0209 |

| Prøve id.          | Sc     | Ce     | La     | Y      | As     | Sb     | Y      | Nb    | Ag    | In    | Sb    | Cs     | Nd    | Sm     | Hf     | Yb     | Ta    |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
|                    | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | [mg/L] | µg/l   | µg/l  | µg/l  | µg/l  | µg/l  | µg/l   | µg/l  | µg/l   | µg/l   | µg/l   | µg/l  |
| Drag 1, dyp 180m   | <0.001 | <0.02  | <0.005 | 0.0012 | <0.01  | <0.005 | 1.11   | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.287 | 0.158  | 4.00  | 0.635  | 0.0433 | 0.0841 | <0.01 |
| Drag 2, dyp 600m   | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0145 | <0.05 | 0.048 | <0.01 | 1.97  | 1.98   | 0.015 | 0.0027 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |
| Drag 3, dyp 770m   | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0394 | <0.05 | 0.023 | <0.01 | 2.16  | 1.64   | 0.011 | 0.0023 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |
| Leknes 1, dyp 40m  | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.952  | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.212 | 0.0725 | 0.921 | 0.169  | 0.0306 | 0.140  | <0.01 |
| Leknes 2, dyp 250m | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0523 | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.181 | 0.875  | <0.01 | <0.002 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |
| Leknes 3, dyp 500m | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0189 | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.223 | 0.474  | <0.01 | <0.002 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |
| Leknes 4, dyp 660m | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0166 | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.255 | 0.429  | 0.014 | 0.0028 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |
| Leknes 5, dyp 770m | <0.001 | <0.02  | <0.005 | <0.001 | <0.01  | <0.005 | 0.0165 | <0.05 | <0.01 | <0.01 | 0.521 | 0.308  | 0.013 | 0.0025 | <0.001 | <0.002 | <0.01 |

| Prøve id.          | W    | Tl    | Bi    | Th    | V     | Mn      | Cu    | Zn      | Ga    | Ge    | Li   | Be    | B    | Rb   | Zr   | Mo   | Cd    |
|--------------------|------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|-------|
|                    | µg/l | µg/l  | µg/l  | µg/l  | µg/l  | µg/l    | µg/l  | µg/l    | µg/l  | µg/l  | µg/l | µg/l  | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l | µg/l  |
| Drag 1, dyp 180m   | 5.18 | <0.05 | <0.01 | 0.717 | 0.165 | ICP-AES | 0.794 | ICP-AES | 0.074 | 0.124 | 10.9 | 0.023 | 93.2 | 10.9 | 4.18 | 10.0 | 0.101 |
| Drag 2, dyp 600m   | 609  | 0.147 | <0.01 | <0.02 | 0.108 | 3.89    | 2.18  | ICP-AES | 1.04  | 0.117 | 21.4 | <0.01 | 77.5 | 98.7 | 4.17 | 11.3 | 0.097 |
| Drag 3, dyp 770m   | 612  | 0.165 | <0.01 | <0.02 | 0.069 | ICP-AES | 1.74  | ICP-AES | 0.873 | 0.198 | 44.0 | <0.01 | 51.6 | 130  | 4.68 | 17.1 | 0.133 |
| Leknes 1, dyp 40m  | 7.94 | <0.05 | <0.01 | 0.094 | 2.49  | ICP-AES | 2.31  | ICP-AES | 0.067 | <0.05 | 2.42 | 0.035 | 42.2 | 1.93 | 2.84 | 1.34 | 0.066 |
| Leknes 2, dyp 250m | 13.5 | <0.05 | <0.01 | <0.02 | 0.156 | ICP-AES | 0.476 | ICP-AES | 0.702 | <0.05 | 18.4 | <0.01 | 11.4 | 7.46 | 5.11 | 25.1 | 0.188 |
| Leknes 3, dyp 500m | 10.1 | <0.05 | <0.01 | <0.02 | 0.450 | ICP-AES | 0.351 | ICP-AES | 0.840 | <0.05 | 10.9 | <0.01 | 7.9  | 2.73 | 4.92 | 24.5 | 0.183 |
| Leknes 4, dyp 660m | 15.8 | <0.05 | <0.01 | <0.02 | 0.378 | 5.62    | 0.649 | ICP-AES | 1.08  | <0.05 | 12.1 | <0.01 | 8.1  | 1.99 | 4.49 | 21.3 | 0.166 |
| Leknes 5, dyp 770m | 25.1 | <0.05 | <0.01 | <0.02 | 0.241 | 1.63    | 0.432 | ICP-AES | 1.01  | 0.065 | 15.9 | <0.01 | 11.7 | 2.93 | 4.53 | 19.7 | 0.166 |

| Prøve id.          | La    | Ce    | Pb    | Al   | Cr   | Co    | Ni   | U      | P    | I    | K       | As    | Se   |
|--------------------|-------|-------|-------|------|------|-------|------|--------|------|------|---------|-------|------|
|                    | µg/l  | µg/l  | µg/l  | µg/l | µg/l | µg/l  | µg/l | µg/l   | µg/l | µg/l | µg/l    | µg/l  | µg/l |
| Drag 1, dyp 180m   | 4.00  | 7.87  | 0.542 | 138  | 0.52 | 0.677 | 2.68 | 5.23   | <5   | <5   | ICP-AES | 1.13  | <1   |
| Drag 2, dyp 600m   | 0.019 | 0.020 | 0.287 | 77.9 | 0.27 | 0.072 | 0.50 | 3.76   | <5   | <5   | ICP-AES | 0.454 | <1   |
| Drag 3, dyp 770m   | 0.022 | 0.020 | <0.05 | 52.7 | 0.28 | 0.105 | 1.35 | 2.99   | <5   | 14.1 | ICP-AES | 0.212 | <1   |
| Leknes 1, dyp 40m  | 0.980 | 2.22  | 1.23  | 110  | 1.20 | 2.16  | 2.19 | 0.272  | 35.4 | 9.1  | ICP-AES | 0.590 | <1   |
| Leknes 2, dyp 250m | <0.01 | <0.01 | 0.150 | 34.6 | 0.29 | 0.080 | 0.53 | 0.677  | <5   | 10.3 | 1320    | 1.83  | <1   |
| Leknes 3, dyp 500m | <0.01 | <0.01 | <0.05 | 43.6 | 0.36 | 0.051 | 0.24 | 0.495  | <5   | 8.5  | 338     | 2.30  | <1   |
| Leknes 4, dyp 660m | 0.018 | 0.026 | 0.133 | 61.8 | 0.53 | 0.048 | 0.21 | 0.267  | <5   | 12.5 | 295     | 0.515 | <1   |
| Leknes 5, dyp 770m | 0.017 | 0.021 | 0.073 | 78.7 | 0.36 | 0.041 | 0.23 | 0.0979 | <5   | 19.4 | 555     | 0.943 | <1   |

## Forklaring på tabellene i databilag

### Databilag 2 . Data for definerte soner i borehullet for hver sprekkegruppe

Zone deviation:

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

Top og base - Sonens topp og bunn langs borehullet

No data - Antall sprekker i sonen

Mean dips and frequencies:

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

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

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

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

RGLDIPv6.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS

borehole **DRAG Bh**

zone from 5.000 to 401.000 m

North ref is magnetic

22 Sep 2009

Data is classed into 1 types

3 BHTV\_dips

Quality cut-off level: \*

Mean well deviation: 2.1°deg to N347.8°

4 small-circles defined

|   | SEARCH AREA |       |       | MEAN DIP |     | n  | f    |
|---|-------------|-------|-------|----------|-----|----|------|
|   | azim        | pl    | cone  | strike   | dip |    |      |
| 1 | 270.0°      | 85.3° | 33.4° | 344°     | 5°  | 58 | 0.15 |
| 2 | 284.2°      | 19.5° | 23.6° | 15°      | 71° | 20 | 0.15 |
| 3 | 140.1°      | 21.8° | 23.4° | 232°     | 72° | 16 | 0.14 |
| 4 | 321.8°      | 12.0° | 14.3° | 49°      | 77° | 7  | 0.07 |

Total number of data = 101

Number of data unaccounted for = 13

| ZONE No. | DEVIATION |       | DEPTHS m |        | No. DATA | MEAN DIPS and FREQUENCIES |     |    |      |     |     |   |      |     |     |   |      |     |     |   |      |
|----------|-----------|-------|----------|--------|----------|---------------------------|-----|----|------|-----|-----|---|------|-----|-----|---|------|-----|-----|---|------|
|          | Dev       | Azim  | TOP      | BASE   |          | Str                       | Dip | n  | f    | Str | Dip | n | f    | Str | Dip | n | f    | Str | Dip | n | f    |
| 1        | 1.7       | 350.9 | 5.75     | 25.63  | 9        | 293                       | 4   | 8  | 0.40 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 2        | 1.8       | 359.0 | 25.63    | 53.22  | 4        | 65                        | 6   | 4  | 0.15 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 3        | 1.7       | 352.7 | 53.22    | 71.82  | 7        | 60                        | 8   | 5  | 0.27 | 23  | 64  | 2 | 0.24 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 4        | 1.6       | 342.3 | 71.82    | 100.04 | 29       | 343                       | 9   | 14 | 0.50 | 16  | 75  | 6 | 0.79 | 237 | 81  | 3 | 0.81 | 47  | 76  | 4 | 0.53 |
| 5        | 1.3       | 353.7 | 100.04   | 159.70 | 3        | 23                        | 13  | 2  | 0.03 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 241 | 54  | 1 | 0.03 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 6        | 1.8       | 341.4 | 159.70   | 202.68 | 34       | 301                       | 10  | 14 | 0.33 | 14  | 78  | 4 | 0.41 | 228 | 68  | 9 | 0.60 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 7        | 1.3       | 355.1 | 202.68   | 228.98 | 0        | 0                         | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 8        | 1.6       | 358.0 | 228.98   | 241.16 | 7        | 190                       | 5   | 5  | 0.41 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 239 | 82  | 1 | 0.75 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 9        | 2.9       | 347.7 | 241.16   | 378.44 | 6        | 62                        | 11  | 5  | 0.04 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 10       | 3.1       | 334.8 | 378.44   | 401.33 | 15       | 63                        | 3   | 1  | 0.04 | 13  | 65  | 8 | 0.79 | 237 | 78  | 2 | 0.57 | 50  | 78  | 3 | 0.52 |

RGLDIPv6.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS

borehole **DRAG Bh**  
 zone from 418.000 to 754.000 m  
 North ref is magnetic  
 22 Sep 2009

Data is classed into 1 types  
 3 BHTV\_dips

Quality cut-off level: \*

Mean well deviation: 3.5°deg to N337.5°

4 small-circles defined

| SEARCH AREA |                    | MEAN DIP |     | n  | f    |
|-------------|--------------------|----------|-----|----|------|
| azim        | pl cone            | strike   | dip |    |      |
| 1           | 270.0° 89.3° 34.0° | 230°     | 2°  | 23 | 0.07 |
| 2           | 26.1° 10.0° 17.2°  | 115°     | 82° | 39 | 0.64 |
| 3           | 276.4° 11.2° 33.2° | 4°       | 77° | 33 | 0.40 |
| 4           | 126.0° 36.3° 19.0° | 210°     | 56° | 9  | 0.05 |

Total number of data = 104  
 Number of data unaccounted for = 11

| ZONE No. | DEVIATION |       | DEPTHS m |        | No. DATA | MEAN DIPS and FREQUENCIES |     |   |      |     |     |    |      |     |     |    |      |     |     |   |      |
|----------|-----------|-------|----------|--------|----------|---------------------------|-----|---|------|-----|-----|----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|---|------|
|          | Dev       | Azim  | TOP      | BASE   |          | Str                       | Dip | n | f    | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n | f    |
| 1        | 2.6       | 344.7 | 418.63   | 435.31 | 8        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 3   | 80  | 5  | 1.64 | 214 | 68  | 2 | 0.36 |
| 2        | 3.2       | 346.5 | 435.31   | 460.32 | 9        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 350 | 83  | 7  | 2.18 | 231 | 47  | 1 | 0.06 |
| 3        | 2.6       | 339.9 | 460.32   | 505.87 | 4        | 334                       | 10  | 3 | 0.07 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 2   | 66  | 1  | 0.05 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 4        | 2.8       | 342.5 | 505.87   | 520.62 | 22       | 165                       | 11  | 4 | 0.28 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 11  | 75  | 16 | 3.92 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 5        | 3.0       | 343.4 | 520.62   | 539.86 | 1        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 6        | 3.4       | 339.0 | 539.86   | 596.31 | 55       | 299                       | 2   | 2 | 0.04 | 115 | 82  | 39 | 3.81 | 7   | 72  | 1  | 0.05 | 205 | 54  | 6 | 0.19 |
| 7        | 3.8       | 335.4 | 596.31   | 612.35 | 0        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 8        | 4.0       | 334.5 | 612.35   | 635.44 | 8        | 271                       | 4   | 8 | 0.35 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 9        | 0.0       | 180.0 | 635.44   | 635.44 | 0        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 10       | 4.2       | 334.2 | 635.44   | 750.26 | 5        | 168                       | 5   | 5 | 0.04 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |
| 11       | 4.4       | 329.6 | 750.26   | 754.91 | 3        | 0                         | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 356 | 79  | 3  | 2.89 | 0   | 0   | 0 | 0.00 |

RGLDIPv6.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS

borehole **LEKNES**  
zone from 4.000 to 215.000 m  
North ref is magnetic  
28 Sep 2009

Data is classed into 1 types  
3 BHTV\_dips

Quality cut-off level: \*

Mean well deviation: 1.4°deg to N 78.2°

6 small-circles defined

| SEARCH AREA |        |       |       | MEAN DIP |     |     |      |
|-------------|--------|-------|-------|----------|-----|-----|------|
|             | azim   | pl    | cone  | strike   | dip | n   | f    |
| 1           | 330.9° | 76.1° | 40.2° | 73°      | 4°  | 126 | 0.60 |
| 2           | 151.3° | 29.5° | 35.4° | 245°     | 60° | 121 | 1.14 |
| 3           | 26.8°  | 23.5° | 28.9° | 120°     | 69° | 33  | 0.42 |
| 4           | 256.7° | 21.5° | 22.9° | 349°     | 72° | 20  | 0.33 |
| 5           | 335.9° | 21.6° | 23.1° | 68°      | 72° | 17  | 0.26 |
| 6           | 213.0° | 24.5° | 18.2° | 298°     | 66° | 16  | 0.20 |

Total number of data = 333  
Number of data unaccounted for = 25

| ZONE No. | DEVIATION |       | DEPTHS m |        | No. DATA | MEAN DIPS and FREQUENCIES |     |    |      |     |     |    |      |     |     |    |      |     |     |   |      |    |    |   |      |
|----------|-----------|-------|----------|--------|----------|---------------------------|-----|----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|---|------|----|----|---|------|
|          | Dev       | Azim  | TOP      | BASE   |          | Str                       | Dip | n  | f    | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n | f    |    |    |   |      |
| 1        | 1.2       | 100.5 | 4.98     | 19.73  | 47       | 174                       | 7   | 28 | 1.91 | 236 | 67  | 9  | 1.49 | 98  | 72  | 6  | 1.32 | 324 | 63  | 1 | 0.15 | 86 | 79 | 1 | 0.35 |
| 2        | 1.5       | 126.8 | 19.73    | 40.26  | 45       | 156                       | 12  | 23 | 1.14 | 252 | 64  | 19 | 2.00 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 341 | 77  | 1 | 0.22 | 0  | 0  | 0 | 0.00 |
| 3        | 0.9       | 85.0  | 40.26    | 66.56  | 53       | 22                        | 9   | 22 | 0.85 | 247 | 50  | 21 | 1.23 | 119 | 69  | 3  | 0.30 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0  | 0  | 0 | 0.00 |
| 4        | 1.4       | 111.1 | 66.56    | 81.95  | 20       | 209                       | 4   | 5  | 0.33 | 251 | 46  | 7  | 0.64 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 347 | 64  | 1 | 0.16 | 71 | 66 | 4 | 0.67 |
| 5        | 1.0       | 58.3  | 81.95    | 109.53 | 56       | 65                        | 9   | 19 | 0.70 | 254 | 62  | 13 | 1.02 | 129 | 73  | 15 | 1.73 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 63 | 75 | 1 | 0.14 |
| 6        | 1.6       | 51.1  | 109.53   | 131.99 | 37       | 129                       | 2   | 8  | 0.36 | 245 | 54  | 15 | 1.16 | 121 | 65  | 3  | 0.30 | 6   | 68  | 1 | 0.13 | 76 | 76 | 1 | 0.18 |
| 7        | 1.6       | 90.0  | 131.99   | 158.93 | 30       | 15                        | 21  | 8  | 0.32 | 239 | 68  | 8  | 0.75 | 121 | 71  | 3  | 0.33 | 337 | 69  | 2 | 0.22 | 66 | 73 | 7 | 0.92 |
| 8        | 1.8       | 51.8  | 158.93   | 177.53 | 29       | 12                        | 29  | 6  | 0.37 | 241 | 68  | 12 | 1.73 | 117 | 51  | 2  | 0.16 | 346 | 64  | 2 | 0.26 | 49 | 82 | 1 | 0.39 |
| 9        | 1.9       | 58.7  | 177.53   | 195.49 | 31       | 59                        | 14  | 7  | 0.40 | 236 | 67  | 15 | 2.17 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 345 | 77  | 6 | 1.67 | 64 | 69 | 2 | 0.31 |
| 10       | 2.9       | 78.6  | 195.49   | 215.99 | 10       | 0                         | 0   | 0  | 0.00 | 233 | 54  | 2  | 0.16 | 113 | 56  | 1  | 0.08 | 2   | 74  | 6 | 1.31 | 0  | 0  | 0 | 0.00 |

RGLDIPv6.2 DIP DATA INTERPRETATION: FRACTURE ANALYSIS

borehole **LEKNES**  
zone from 239.000 to 505.000 m  
North ref is magnetic  
29 Sep 2009

Data is classed into 1 types  
3 BHTV\_dips

Quality cut-off level: \*

Mean well deviation: 3.4°deg to N 92.2°

5 small-circles defined

| SEARCH AREA |        |       |       | MEAN DIP |     |     |      |
|-------------|--------|-------|-------|----------|-----|-----|------|
|             | azim   | pl    | cone  | strike   | dip | n   | f    |
| 1           | 133.5° | 8.9°  | 46.1° | 219°     | 79° | 112 | 1.82 |
| 2           | 221.1° | 22.5° | 32.2° | 308°     | 63° | 37  | 0.33 |
| 3           | 46.7°  | 58.1° | 29.1° | 142°     | 33° | 32  | 0.14 |
| 4           | 67.8°  | 17.4° | 17.8° | 159°     | 73° | 13  | 0.14 |
| 5           | 200.9° | 74.8° | 24.9° | 282°     | 18° | 11  | 0.04 |

Total number of data = 205  
Number of data unaccounted for = 16

| ZONE No. | DEVIATION |      | DEPTHS m |        | No. DATA | MEAN DIPS and FREQUENCIES |     |    |       |     |     |    |      |     |     |    |      |     |     |   |      |     |    |   |      |
|----------|-----------|------|----------|--------|----------|---------------------------|-----|----|-------|-----|-----|----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|---|------|-----|----|---|------|
|          | Dev       | Azim | TOP      | BASE   |          | Str                       | Dip | n  | f     | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n  | f    | Str | Dip | n | f    |     |    |   |      |
| 1        | 2.7       | 84.8 | 239.97   | 275.89 | 68       | 203                       | 70  | 24 | 1.74  | 311 | 65  | 25 | 1.80 | 147 | 34  | 7  | 0.23 | 170 | 77  | 5 | 0.51 | 300 | 14 | 2 | 0.06 |
| 2        | 3.3       | 85.3 | 275.89   | 307.96 | 17       | 233                       | 67  | 8  | 0.61  | 304 | 49  | 1  | 0.05 | 149 | 19  | 1  | 0.03 | 145 | 70  | 1 | 0.08 | 266 | 11 | 4 | 0.13 |
| 3        | 3.3       | 90.0 | 307.96   | 341.32 | 27       | 219                       | 75  | 14 | 1.42  | 325 | 58  | 1  | 0.06 | 154 | 23  | 6  | 0.19 | 168 | 63  | 1 | 0.06 | 300 | 27 | 2 | 0.07 |
| 4        | 3.2       | 95.3 | 341.32   | 387.51 | 15       | 205                       | 64  | 10 | 0.44  | 303 | 45  | 1  | 0.03 | 115 | 32  | 1  | 0.03 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 271 | 25 | 3 | 0.07 |
| 5        | 3.6       | 94.8 | 387.51   | 427.28 | 31       | 243                       | 88  | 15 | 5.46  | 298 | 62  | 8  | 0.45 | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 150 | 72  | 6 | 0.42 | 0   | 0  | 0 | 0.00 |
| 6        | 3.7       | 94.5 | 427.28   | 479.88 | 47       | 223                       | 89  | 28 | 7.57  | 0   | 0   | 0  | 0.00 | 140 | 38  | 16 | 0.37 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0  | 0 | 0.00 |
| 7        | 3.7       | 96.9 | 479.88   | 505.33 | 16       | 29                        | 89  | 13 | 10.51 | 301 | 57  | 1  | 0.08 | 111 | 29  | 1  | 0.04 | 0   | 0   | 0 | 0.00 | 0   | 0  | 0 | 0.00 |