

NGU Rapport 2011.016

Geofysisk logging av borehull  
ved Arnestad skole, Asker



Rapport nr.: 2011.016		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Geofysisk logging av borehull ved Arnestad skole, Asker			
Forfatter: Harald Elvebakk		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Akershus		Kommune: Asker	
Kartblad (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1814 I Asker	
Forekomstens navn og koordinater: Arnestad skole, 6630237N 583546Ø 32V		Sidetall: 19 Kartbilag:	Pris: kr 75.-
Feltarbeid utført: 02.12.04 og 25.11.2006	Rapportdato: 01.02.2011	Prosjektnr.: 329500	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag:  <p>NGU har gjort borehullslogging i en 672 m dyp brønn ved Arnestad skole, Asker. Hovedhensikten var å måle temperaturgradienten. 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>. Deler av hullet ble filmet med optisk televiewer, men opptaket ble ikke tolkbart på grunn av dårlig sikt i vannet.</p> <p>Gjennomsnittlig temperaturgradient er 26.5 °C/km i kambrosilurbergartene, og 12.1 °C/km i den underliggende granitten.</p> <p>Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lydshastighet og naturlig gammastråling i bergarten Oslofeltets kambrosilurbergarter, kalkskifer/leirstein, alunskifer og underliggende granitt. Data er tatt fra massiv bergart. Avvik fra disse verdiene (mindre) av resistivitet og lydshastighet kan tyde på oppsprukket fjell.</p>			
Emneord: Geofysikk	Borehullslogging	Elektrisk måling	
Temperaturmåling	Naturlig radioaktivitet	Lydshastighet	
Optisk televiewer		Fagrapport	



## INNHold

1. INNLEDNING .....	7
2. LOKALITET .....	7
3. MÅLEMETODER OG UTFØRELSE .....	8
4. RESULTATER .....	9
4.1 Temperatur og vannkvalitet .....	9
4.2 Temperatur, vannets ledningsevne, naturlig gamma, resistivitet og lyd hastighet .....	13
4.3 Data, fysiske parametere .....	15
4.3.1 Naturlig gammastråling .....	15
4.3.2 Resistivitet .....	15
4.3.3 Lyd hastighet .....	16
4.3.4 Sammenstilling, Lyd hastighet, resistivitet og gammastråling .....	16
4.3.5 Optisk televiewer .....	17
4.4 Borehullsavvik .....	17
5. KONLUSJON .....	19
6. REFERANSER .....	19

## FIGURER

<i>Figur 1. Oversiktskart med Bh 2, Arnestad skole, Asker. ....</i>	<i>7</i>
<i>Figur 2. Borehullslogging ved Arnestad skole, Asker. ....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 3. Temperatur og temperaturgradient, Arnestad skole, Asker. Temperaturgradienten er vist med en beregning for 20 m intervall i midten og 100 m intervall til høyre. Begge kurvene viser samme trend, gradienten er høyere i Kambrosilur bergartene enn i den underliggende granitten. ....</i>	<i>10</i>
<i>Figur 4. Arnestad skole. Temperatur, temperaturgradient og resistivitet. Figuren er den samme som i figur 3, men med resistivitetsloggen til sammenligning med temperaturgradienten for 20 m intervall. Denne viser at det er samsvar med gradienten og bergartene, samt oppsprekking av fjellet. ....</i>	<i>11</i>
<i>Figur 5. Temperatur, ledningsevne, pH, Eh, O2 og NO3, Arnestad skole, Asker. ....</i>	<i>12</i>
<i>Figur 6. Arnestad skole. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, P- og S-bølge hastighet, porøsitet og geologisk logg. ....</i>	<i>14</i>
<i>Figur 7. Borehullsavvik Bh 2, Arnestad skole. Avvik i borehullsretning. Avviket ned til 475 m er målt, mens avviket 475-672 m er estimert på grunn av manglende data. ....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 11. Sprekkefrekvens histogram. ....</i>	<i>17</i>
<i>For 180 -390 m dyp .....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 8. Borehullsavvik Bh 2, Arnestad skole. Horisontalavvik. Avviket ned til 475 m er målt, mens avviket 475-672 m er estimert på grunn av manglende data. ....</i>	<i>18</i>

## TABELLER

Tabell 1. Borehullsdata for Bh 2, Arnestad skole, Asker .....	8
Tabell 2. Målte parametre. ....	8
Tabell 3. Målte gammaverdier Arnestad skole, Asker .....	15
Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 2, Arnestad skole, Asker .....	15
Tabell 5. P- og S-bølge hastighet i Bh 2, Arnestad skole, Asker .....	16
Tabell 6. Gjennomsnittlig lyd hastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 2, Arnestad skole, Asker .....	16



## 1. INNLEDNING

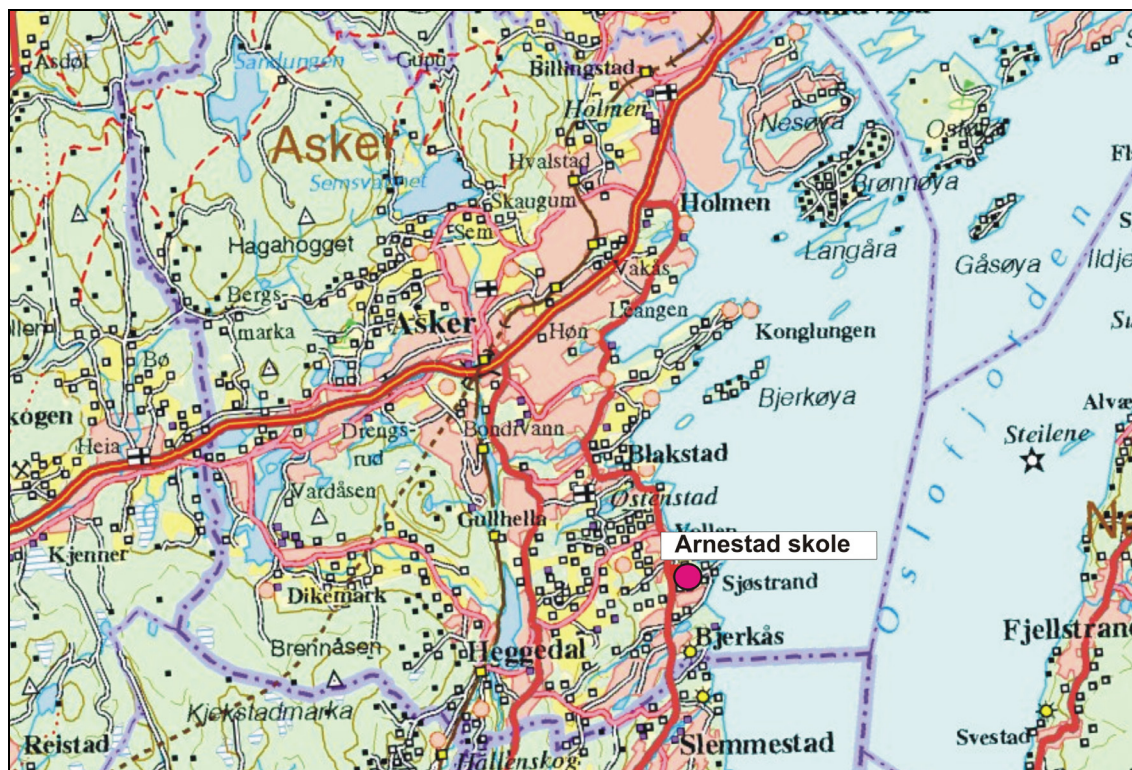
I forbindelse med et varmestrømsprosjekt i samarbeid mellom NGU og Statoil (Olesen et.al. 2007) har NGU gjort borehullslogging i et 672 m dypt borehull ved Arnestad skole, Asker. I prosjektets regi var man først og fremst interessert i temperaturen, men NGU logget en rekke parametre i tillegg. Det ble målt resistivitet, lydshastighet, naturlig gammastråling, ledningsevne i vann, pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>. Denne rapporten viser resultatene fra alle geofysiske logger.

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 i tiden 02.12.2004 og 25.11.2006 av Harald Elvebakk.

## 2. LOKALITET

Borehullet er boret ved Arnestad skole i Asker, se figur 1 som viser lokaliteten på et oversiktskart. Data for borehullet er vist i tabell 1. Berggrunnen består av Oslofeltets kambrosilur bergarter, kalkskifer, leirstein, og alunskifer. Under ligger en granitt. Bilder fra lokaliteten er vist i figur 2.



Figur 1. Oversiktskart med Bh 2, Arnestad skole, Asker.

**Tabell 1. Borehullsdata for Bh 2, Arnestad skole, Asker.**

Lokalitet	Nord wgs 84	Øst wgs 84	Sone	Høyde m.o.h.	Dato logging	Fall	Diam (cm)	Dyp (m)	Boring
Arnestad, Asker	6630237	583546	32V	11	02.12.04 25.11.06	vertikal	14.5	672	2004



*Figur 2. Borehullslogging ved Arnestad skole, Asker.*

### 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.**

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
pH, Eh, O <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub>	3 m/min	1 cm
Borehullsavvik	5 m/min	1 cm
Optisk televiewer	1 m/min	1 mm



Alle logger er gjort ned til 672 m bortsett OPTV, 0 – 480 m. Opptaket fra optisk televiwer ble meget dårlig (mørkt). Dette skyldes trolig fine partikler fra alunskiferen som fremdeles var i vannet. Opptaket er vanskelig å tolke.

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.

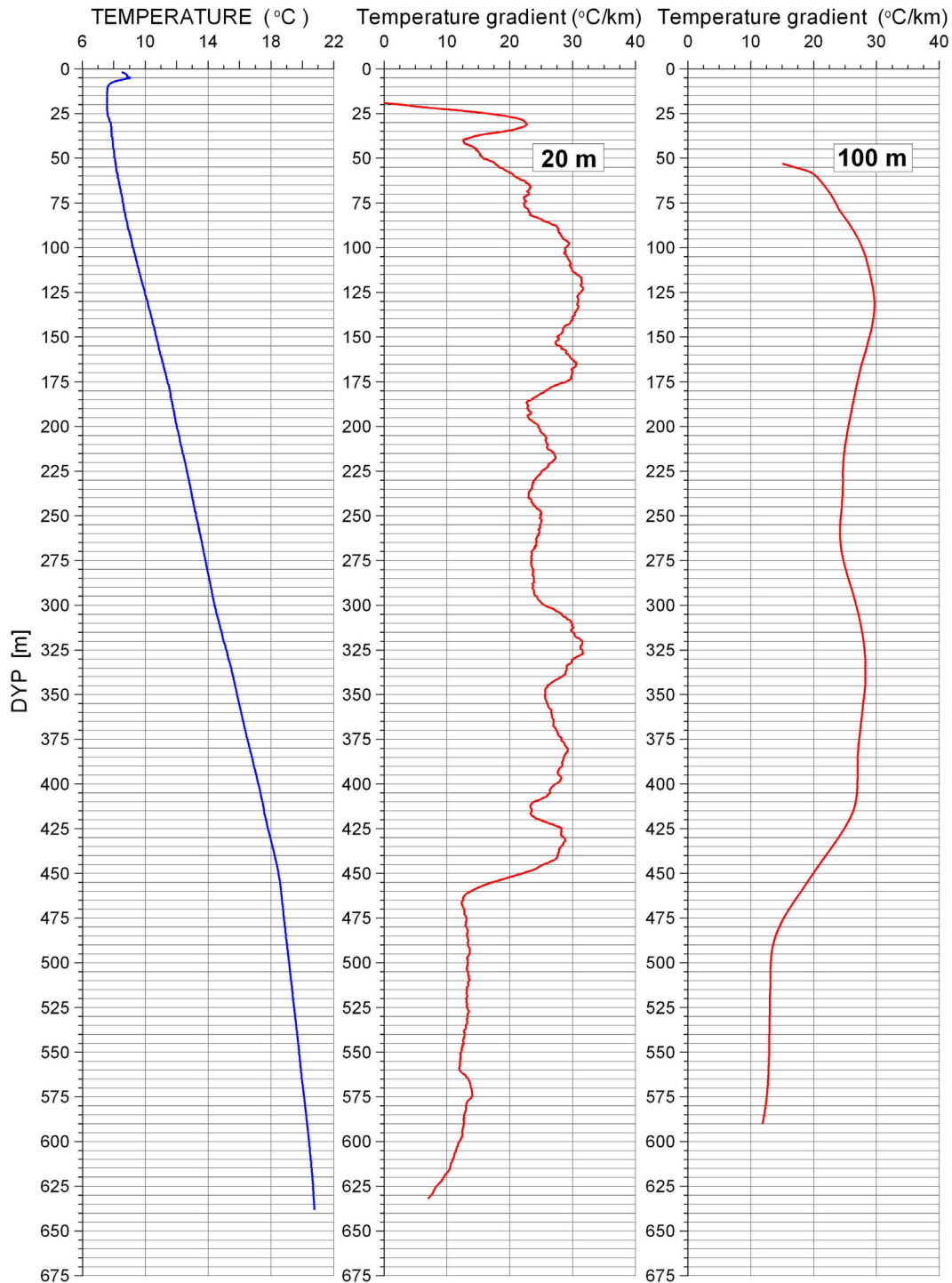
### **4.1 Temperatur og vannkvalitet.**

Figur 3 viser temperaturlogg med beregnet temperaturgradient. Dypet er vertikalt dyp korrigert for borehullsavvik. Gjennomsnittlig temperaturgradient er 26.5 °C/km i kambrosilur bergartene, ned til 450 m dyp. På grunn av bedre varmeledningsevne i granitten (mer kvarts) synker temperaturgradienten, til 12.1 °C/km under 450 m vertikalt dyp. Figur 4 viser temperatur, gradient og resistivitet. Resistivitetskurven viser tydelig overgangen til granitten som faller sammen med en tydelig nedgang i temperaturgradienten.

Figur 5 viser data fra vannkvalitetssonde. Foruten temperatur og ledningsevne måles pH, Eh, O<sub>2</sub> og NO<sub>3</sub>. Målingene viser små variasjoner i disse parametere. Ledningsevnen i vannet er forholdsvis høy og avtar nedover hulet.

# Temperature, Temperature Gradient Arnestad Bh 2

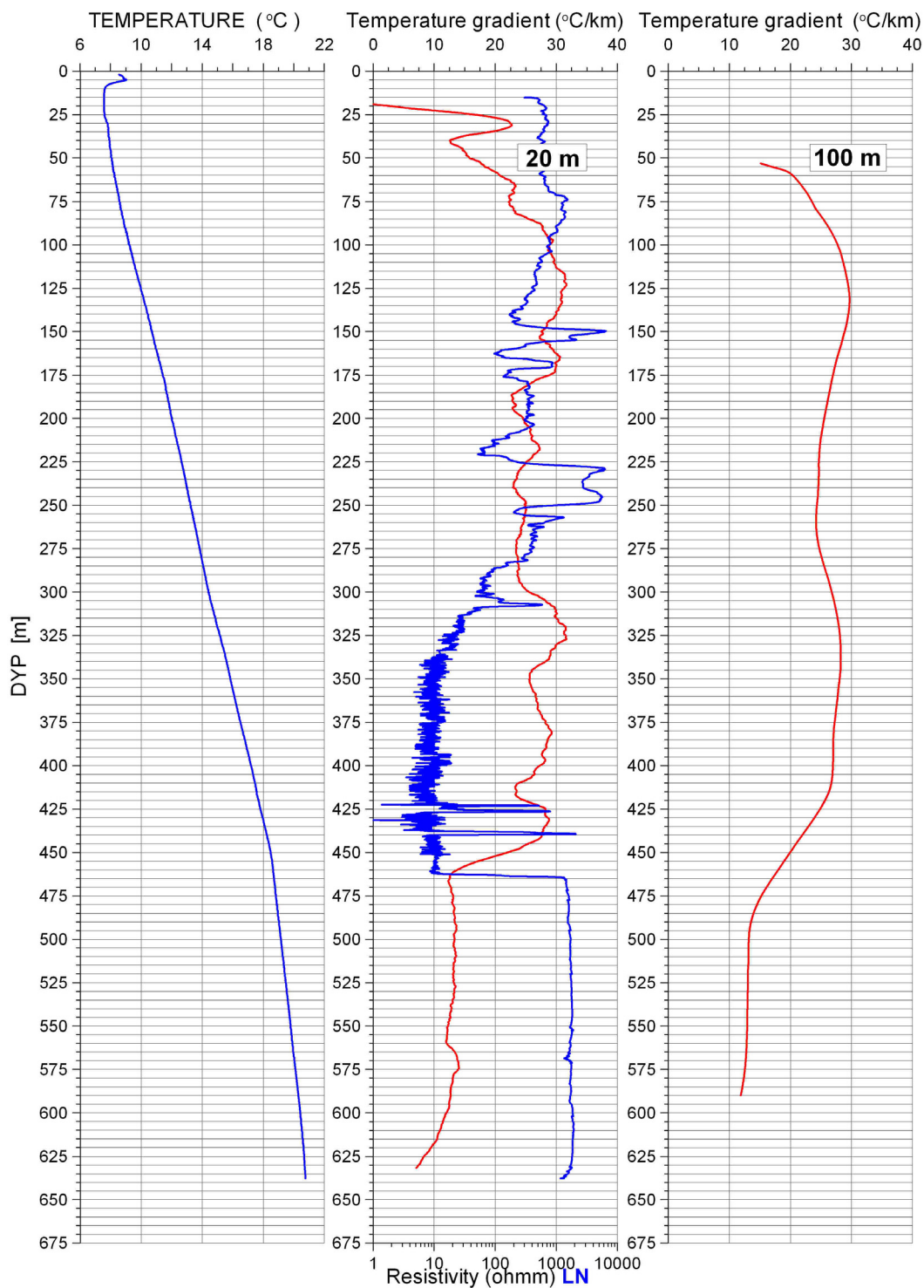
UTM 583546 E  
32V 6630237 N  
11 moh.



Figur 3. Temperatur og temperaturgradient, Arnestad skole, Asker. Temperaturgradienten er vist med en beregning for 20 m intervall i midten og 100 m intervall til høyre. Begge kurvene viser samme trend, gradienten er høyere i Kambrosilur bergartene enn i den underliggende granitten. Dypet er vertikalt dyp korrigeret for borehullsavvik.

# Temperature, Temperature Gradient Arnestad Bh 2

UTM 583546 E  
32V 6630237 N  
11 moh.

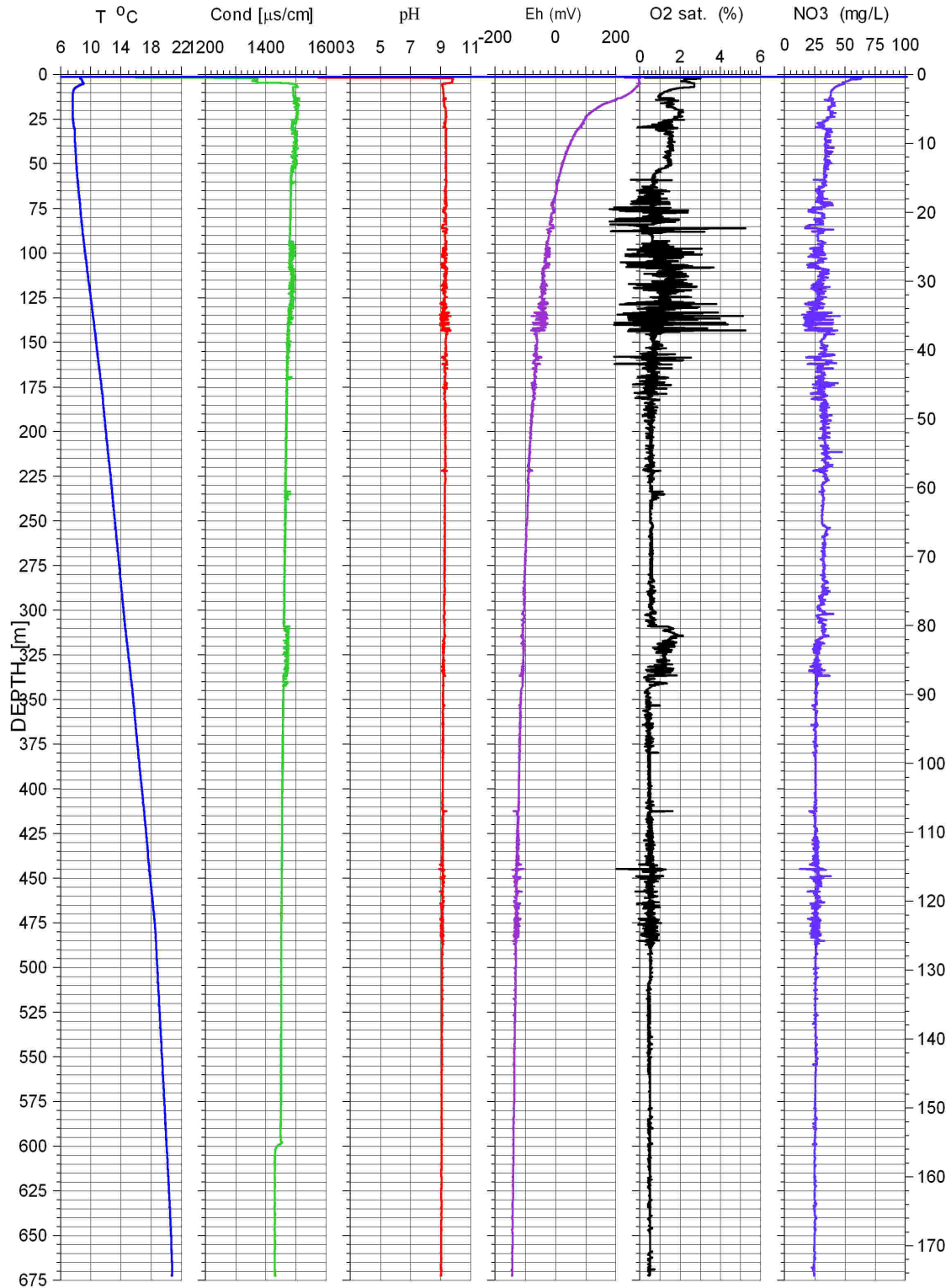


Figur 4. Arnestad skole. Temperatur, temperaturgradient og resistivitet. Figuren er den samme som i figur 3, men med resistivitetsloggen til sammenligning med temperaturgradienten for 20 m intervall. Denne viser at det er samsvar med gradienten og bergartene, samt oppsprekking av fjellet. Dypet er vertikalt dyp korrigert for borehullsavvik.

# Arnestad Bh 2

25.11.2006

Vannspeil: 1.18 m



Figur 5. Temperatur, ledningsevne, pH, Eh, O2 og NO3, Arnestad skole, Asker. Dypet er angitt som lengde langs borehullet.

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

Figur 6 viser temperatur, ledningsevne, naturlig gammastråling, resistivitet, porøsitet og lyd hastighet samt en forenklet geologisk logg. *Temperaturloggen* er beskrevet ovenfor (4.1). *Ledningsevnen* i vannet, kolonne to fra venstre i figur 6, er avtagende mot dypet og har kun små utslag som kan skyldes åpne sprekker med inn- eller utstrømmende vann. *Gammastrålingen* er forholdsvis lav i kambrosilur, noe høyere i granitten og høy i alunskiferen. Alunskiferen skiller seg tydelig ut fra ca 325 m til ca 425 m. Det er innslag av alunskifer helt ned til granitten som starter på 485 m dyp. Det er total gammastråling som måles og enheten cps er i API-standard, og data kan sammenlignes med andre data målt med samme standard..

*Resistiviteten* er svært lav i alunskiferen, 1 - 10 ohmm. Resistiviteten i kambrosilur bergartene varierer noe, men ligger for det meste mellom 500 og 1000 ohmm i uoppsprukket fjell. Granitten har høy resistivitet, men Long Normal elektrodekonfigurasjon gir betydelig lavere resistivitet enn Short Normal. Mulig årsak kan være den høye ledningsevnen i vannet (og porevannet?). Resistivitetsdata er korrigert for vannets ledningsevne i borehullet, borehulldiameter og sondens størrelse (diameter) (Thunhead 2004).

*P- og S-bølge hastighet* varierer en del i kambrosilurskiferne. Det er tydelig høyest hastighet i granitten. P- og S-bølgene samsvarer til stor grad med resistivitetsloggen, hvor høye utslag kan skyldes innslag av tykkere lag av kalkbergart eller skifer, samt lave utslag kan skyldes soner med oppsprukket fjell.

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

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

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

der

$\sigma$  = bergartens ledningsevne

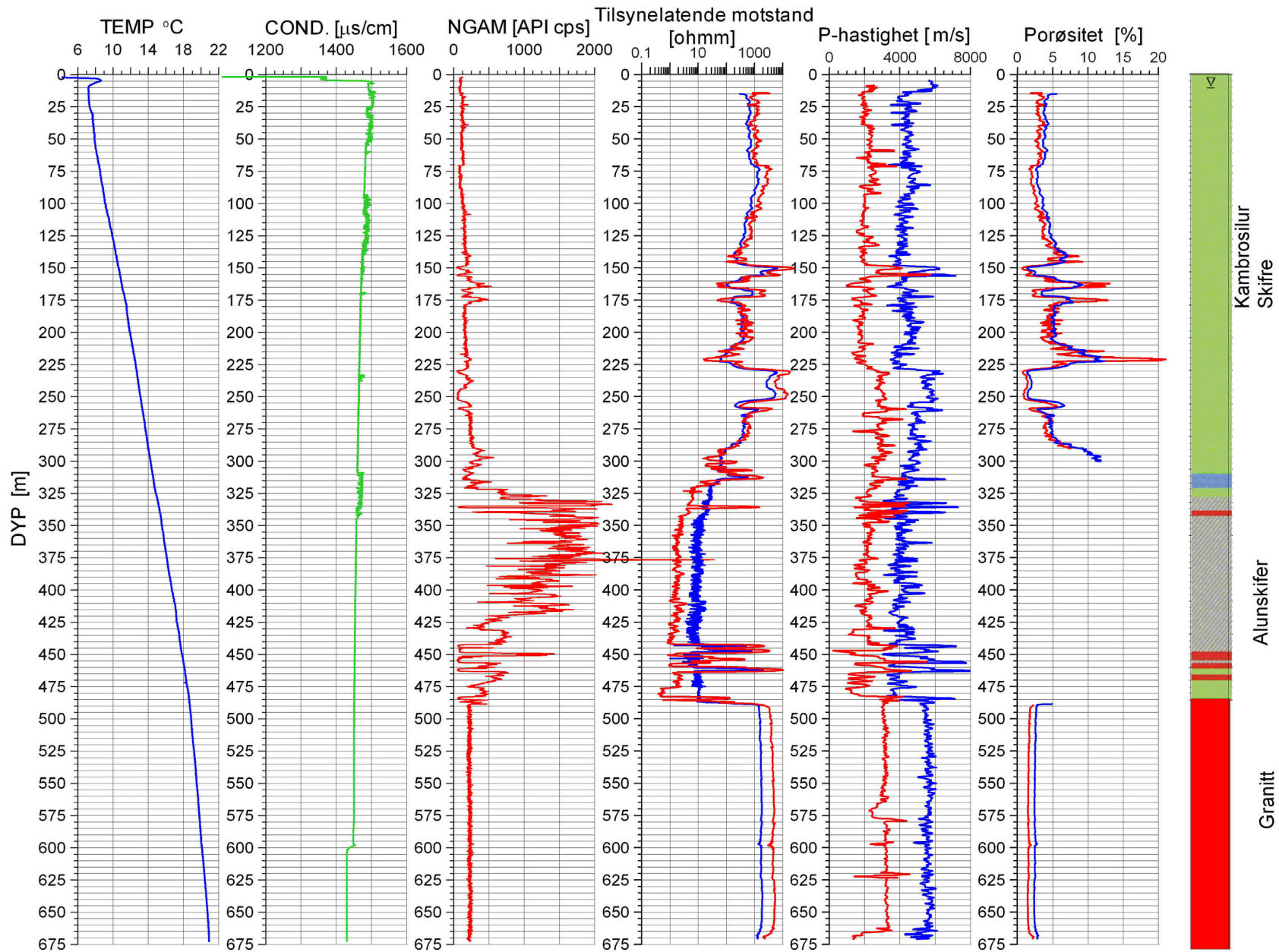
$\sigma_w$  = ledningsevne i porevannet

$\sigma_s$  = 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).

Til høyre er en *geologisk logg*, basert på televiwer og data fra loggene beskrevet over (Figur 6). Her ser en at overgangen mellom bergartene ikke er skarp, men gradvis, noe som også speiles i de geofysiske loggene (figur 6).





Figur 6. Arnestad skole. Temperatur, ledningsevne i vann, naturlig gamma, resistivitet, P- og S-bølgehastighet, porøsitet og geologisk logg. Dypet er angitt som lengde langs borehullet.

### 4.3 Data, fysiske parametere

I det følgende presenteres typiske data for total gammastråling, resistivitet og seismisk hastighet i ikke oppsprukket bergart. Dette er data fra antatt massiv bergart som er lite oppsprukket bedømt ut fra nevnte parametere og optisk televiwer. Bergartene er Oslofeltets kambrosilurbergarter, kalkskifer, leirstein, og alunskifer. Under ligger en granitt.

#### 4.3.1 Naturlig gammastråling

Tabell 3 viser data fra målt naturlig gammastråling (API-standard) i Bh 2 Arnestad skole. Det er angitt maksimum, minimum, gjennomsnittsverdier og standardavvik.

**Tabell 3. Målte gammaverdier Arnestad skole , Asker.**

Bergart	Dyp [m]	Gamma [mean cps]	Gamma [min. cps]	Gamma [max. cps]	St.avvik.
Kalkskifer, Leirstein	20 -70	123	80	205	16
Alunskifer	350 - 400	1450	465	3700	368
Granitt	500 - 550	225	175	277	14

#### 4.3.2 Resistivitet

Tabell 4 viser målt resistivitet i Bh 2 Arnestad skole. 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, borehullsdiameter og sondens diameter (Thunhead & Olsson 2004).

**Tabell 4. Målte resistivitetsverdier i Bh 2, Arnestad skole, Asker.**

Bergart	Dyp [m]	Resistivitet [Mean Ohmm]	Resistivitet [Min. Ohmm]	Resistivitet [Max. Ohmm]	St.dev.	LN/SN
Kalkskifer, Leirstein	20 - 70	1100	600	1750	212	SN
Alunskifer	350 - 400	1.9	0.1	6.2	0.9	SN
Granitt	500 - 550	4300	3500	4900	282	SN

Kalkskifer, Leirstein	20 - 70	660	490	900	68	LN
Alunskifer	350 - 400	9.8	4.6	17.8	2.0	LN
Granitt	500 - 550	1670	1510	1810	65	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 kalkskifer/leirstein, alunskifer og granitt i Bh 2, Arnestad skole, Asker.

**Tabell 5. P- og S-bølgehastighet i Bh 2, Arnestad skole, Asker.**

<b>Bergart</b>	<b>Dyp [m]</b>	<b>P-bølgehast. [mean m/s]</b>	<b>P-bølgehast. [min. m/s]</b>	<b>P-bølgehast. [max.m/s]</b>	<b>St.avvik</b>
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	4400	3350	5200	298
Alunskifer	350 - 400	4150	3100	5800	443
Granitt	500 – 550	5625	5025	6075	170

<b>Bergart</b>	<b>Dyp [m]</b>	<b>S-bølgehast. [mean m/s]</b>	<b>S-bølgehast. [min. m/s]</b>	<b>S-bølgehast. [max.m/s]</b>	<b>St.avvik</b>
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	2200	1550	3700	308
Alunskifer	350 - 400	2100	1350	2900	313
Granitt	500 – 550	3175	3000	3400	75

### 4.3.4 Sammenstilling, Lydhastighet, resistivitet og gammastråling

Tabell 6 viser en sammenstilling av gjennomsnittlige verdier for lydhastighet, naturlig gamma og resistivitet i Bh 2, Arnestad skole.

**Tabell 6. Gjennomsnittlig lydhastighet, naturlig gammastråling og resistivitet i Bh 2, Arnestad skole, Asker.**

<b>Bergart</b>	<b>Dyp [m]</b>	<b>P-bølge [m/s]</b>	<b>S-bølge [m/s]</b>	<b>Gamma [cps]</b>	<b>Resistivitet LN [ohmm]</b>	<b>Resistivitet SN [ohmm]</b>
Kalkskifer Leirstein	20 - 70	4400	2200	123	660	1100
Alunskifer	350 - 400	4150	2100	1450	9.8	1.9
Granitt	500 – 550	5600	3175	225	1670	4300

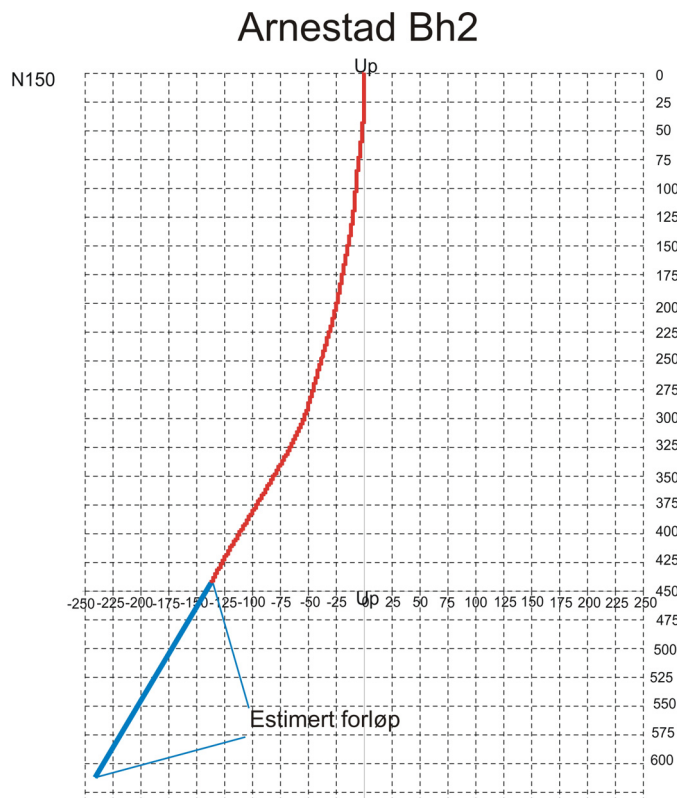


#### 4.3.5 Optisk televierer

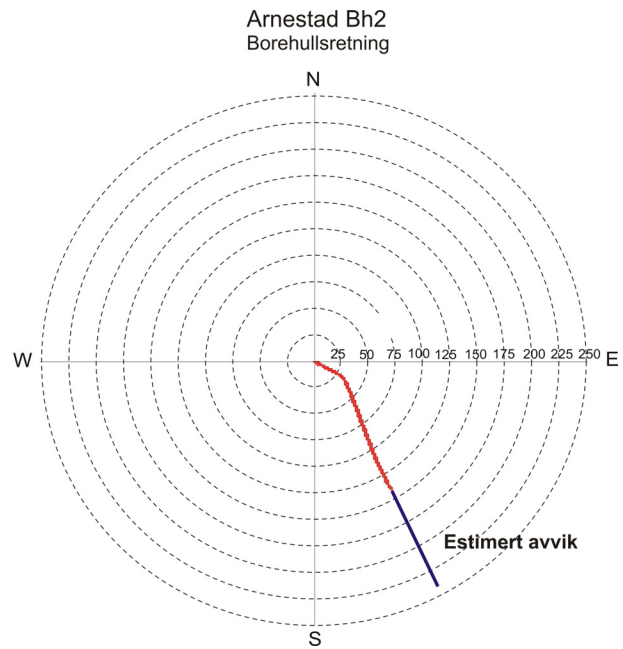
Det ble logget med optisk televierer (OPTV) ned til 475 m. Data var imidlertid av så dårlig kvalitet at de ikke er tolket. Bildet var meget mørkt (dårlig sikt) trolig på grunn av mørke partikler fra alunskiferen i vannet.

#### 4.4 Borehullsavvik

Borehullsavvik er vist i figur 7 og 8. Borehullsforløpet ble målt med OPTV-sonden og er derfor målt bare til 475 m. Hullet går mot sørsørøst og har et avvik fra vertikalen på 140 m på 475 m dyp og et fall på 65 grader fra horisontalen. Estimert avvik bunnen av hullet er ca 240 m.



Figur 7. Borehullsavvik Bh 2, Arnestad skole. Avvik i borehullsretning. Avviket ned til 475 m er målt, mens avviket 475-672 m er estimert på grunn av manglende data.



*Figur 8. Borehullsavvik Bh 2, Arnestad skole. Horisontalavvik. Avviket ned til 475 m er målt, mens avviket 475-672 m er estimert på grunn av manglende data.*

## 5. KONLUSJON

NGU har gjort borehullslogging i en 672 m dyp brønn ved Arnestad skole, Asker. Hovedhensikten var å måle temperaturgradienten. 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>. Deler av hullet ble filmet med optisk televiewer, men opptaket ble ikke tolkbart på grunn av dårlig sikt i vannet.

Gjennomsnittlig temperaturgradient er 26.5 °C/km i kambrosilur bergartene, og 12.1 °C/km i den underliggende granitten.

Det er målt og beregnet typiske verdier av resistivitet, lydshastighet og naturlig gammastråling i bergarten Oslofeltets kambrosilurbergarter, kalkskifer/leirstein, alunskifer og underliggende granitt. Data er tatt fra massiv bergart. 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.

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. 217