NGI

Rapport / Report

Veksthus Tøyen - Geologiske undersøkelser og geovarme-prøvebrønn

Geologisk vurdering og termisk responstest av testbrønn

20110539-00-1-R
16. september 2011

Ved elektronisk overføring kan ikke konfidensialiteten eller autentisiteten av dette dokumentet garanteres. Adressaten bør vurdere denne risikoen og ta fullt ansvar for bruk av dette dokumentet.

Dokumentet skal ikke benyttes i utdrag eller til andre formål enn det dokumentet omhandler. Dokumentet må ikke reproduseres eller leveres til tredjemann uten eiers samtykke. Dokumentet må ikke endres uten samtykke fra NGI.

Neither the confidentiality nor the integrity of this document can be guaranteed following electronic transmission. The addressee should consider this risk and take full responsibility for use of this document.

This document shall not be used in parts, or for other purposes than the document was prepared for. The document shall not be copied, in parts or in whole, or be given to a third party without the owner's consent. No changes to the document shall be made without consent from NGI.

Hovedkontor:
Pb. 3930 Ullevål Stadion
0806 Oslo

Avd Trondheim:
Pb. 1230 Pirsenteret
7462 Trondheim

T 22 02 30 00
F 22 23 04 48

Kontonr 5096 05 01281
Org. nr 958 254 318 MVA

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Prosjekt

Prosjekt:	Veksthus Tøyen - Geologiske undersøkelser og geovarme-prøvebrønn
Dokumentnr.:	20110539-00-1-R
Dokumenttittel:	Geologisk vurdering og termisk responstest av testbrønn
Dato:	16. september 2011

Oppdragsgiver

Oppdragsgiver:	Erichsen og Horgen A/S
Oppdragsgivers kontaktperson:	Arnkell J. Petersen
Kontraktreferanse:	Oppdragsbekreftelse datert 4. juli 2011.

For NGI

Prosjektleder:	Marion Børresen
Utarbeidet av:	Erik Endre, Bjarni Reyr Krisjànsson og Marion Børresen
Kontrollert av:	Kirsti Midttømme

Sammendrag

Berggrunnen ved museene i Tøyenparken består av svartskifre fra kambrium - ordovicium. Plassering av borpunkt for prøveboring er blitt anbefalt ut fra geologiske kriterier som mulighet for å påtreffe mer kvartsrike gneiser og redusere problemer med gjennomføring av boring. Ut fra de geologiske kriteriene ble område A vurdert til å være best egnet.

Prøvebrønnen ble boret 4 – 6. juli 2011. De øverste 13,5 m besto av løsmasser (leire). Fra 13,5 til 200 m besto berggrunnen i hovedsak av svart skifer med innslag av mænaitt (gangbergart). Grunnfjell (gneis) ble ikke påtruffet.

BS EN ISO 9001
Sertifisert av BSI
Reg. No. FS 32989

Sammendrag (forts.)

Termisk responstest av testbrønnen ble utført 22 - 26. august 2011. Resultatene fra testen viser at *in situ* varmeledningsevnen er 2,8 W/m K. Borehullsmotstanden i testbrønnen er 0,07 K/(W/m) ved varmelast på 34 W/m og væskestrømning på 0,5 L/s.

Sammenlignet med resultater fra andre gelogiske enheter i Oslofeltet vurderes varmeledningsevneforholdene som middels gode. Temperaturen i grunnen er litt høyere enn det som tidligere er blitt målt i Oslo, noe som er gustig for drift av varmepumpe ved varmeuttak.

Innhold

1 Innledning 6

2 Geologisk vurdering 6

3 Boring og installasjon av testbrønn 10

4 Termisk responstest (TRT) 12

4.1 Testbrønnen 12
4.2 Temperatur i brønnen 12
4.3 Forventet varmeledningsevne 16
4.4 Termisk responstest (TRT) 19

5 Konklusjoner 23

6 Referanser 24

Vedlegg

Vedlegg A Borelogg
Vedlegg B Brønnrapport

Kontroll- og referanseside

1 Innledning

Universitetet i Oslo planlegger å bygge et nytt veksthus på Tøyen. I denne forbindelse er det ønskelig å utføre en utredning av forskjellige energiløsniger på området. NGI (Norges Geotekniske Institutt) er engasjert for å utrede mulighetene for geovarme ved å belyse de geologiske forutsetningene for en brønnpark.

Undersøkelsen har bestått av en geologisk vurdering av berggrunnen på området med vurdering av hvilken plassering som var mest egnet for installasjon av testbrønn, boring av testbrønn med prøvetaking av borkaks, etterfulgt av en termisk responstest i brønnen.

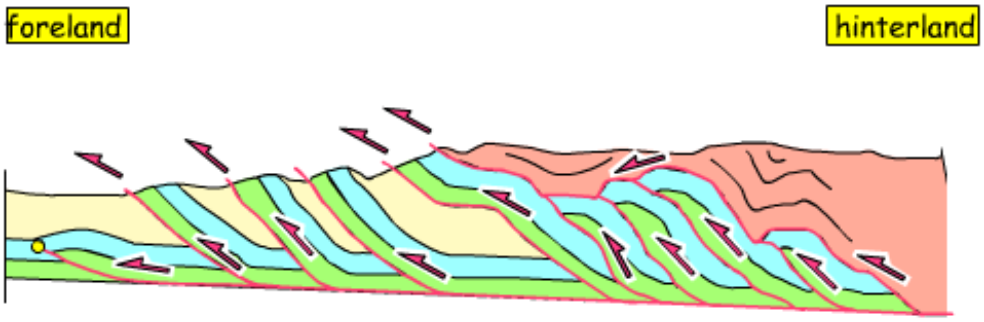
2 Geologisk vurdering

Det er tre aktuelle områder for plassering av borpunkt for prøveboring på Tøyen. Områdene er vist i Figur 1.

Figur 1 De tre aktuelle områder for plasseringen av borpunktet for prøveboring (A, B og C)

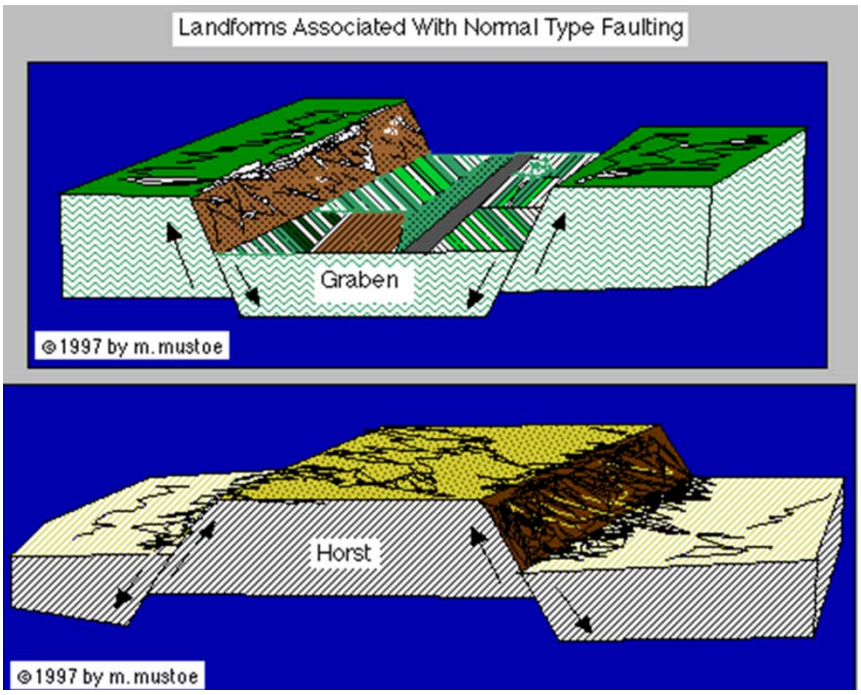
Berggrunnen ved museene i Tøyenparken består av svartskifre fra de lavere deler av sedimentlagene som i geologisk tid tilsvarer sent i kambrium og tidlig i ordovicium. Dersom denne sedimentære lagrekken hadde ligget uforstyrret av senere geologiske hendelser, slik som dannelsen av den kaledonske fjellkjeden (ca. 400 millioner år) og dannelsen av Osloriften i perm (ca. 270 millioner år), ville en ved ca. 100 m boring forvente å komme ned i bergarter (gneiser eller granittiske smeltebergarter) som ligger under de sedimentære svarte skifrene med horisonter av kalkstein. Borkakset viser imidlertid innslag av svartskifer også ved

186 m dyp. Denne forekomsten kan forklares ved repetisjon av bergartsagene der ett og samme lag (f.eks. alunskifer) brekkes opp og repeteres. Prinsippet er illustrert i Figur 2.



Figur 2 *Figuren viser prinsippet for hvordan ett og samme bergartslag kan repeteres. Dette kalles også "piggy back". Oslo lå i området som her kalles foreland*

Den andre viktige geologiske hendelsen i Osloregionen er dannelsen av den såkalte Oslograben eller Osloriften. I perm sprakk jordskorpen opp. Det førte til mye vulkanisme og blant annet dannelsen av mænaitter som er horisontale intrusive finkornede bergartssmelter av syenittisk sammensetning. Som en følge av vulkanismen oppførte skorpen seg som store blokker der noen blokker ble løftet mens andre sank inn.

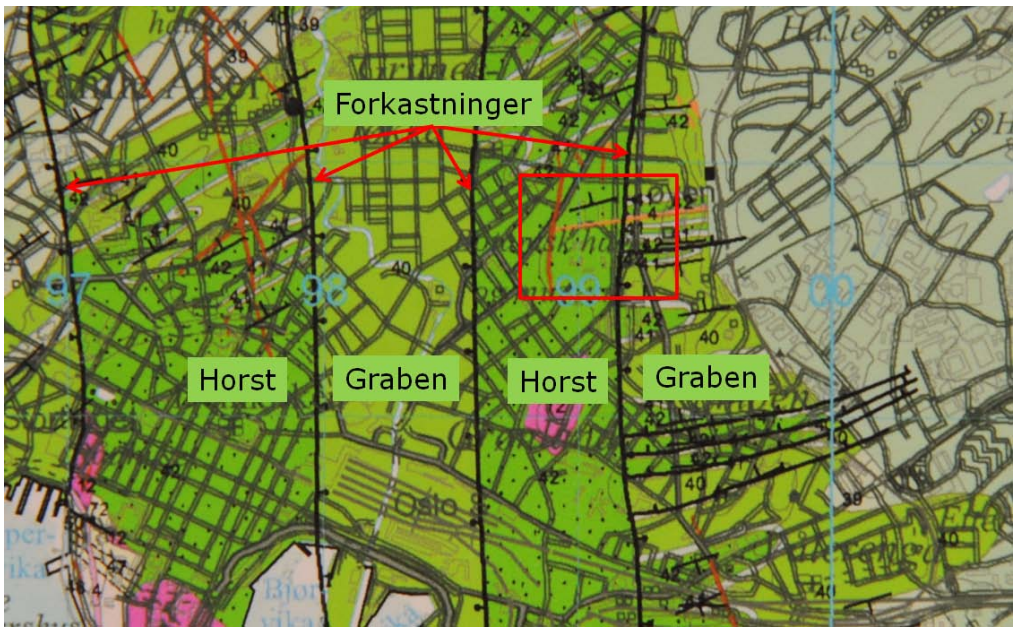


Figur 3 *Ved dannelsen av Oslograben sank noen blokker ned mens andre ble løftet*

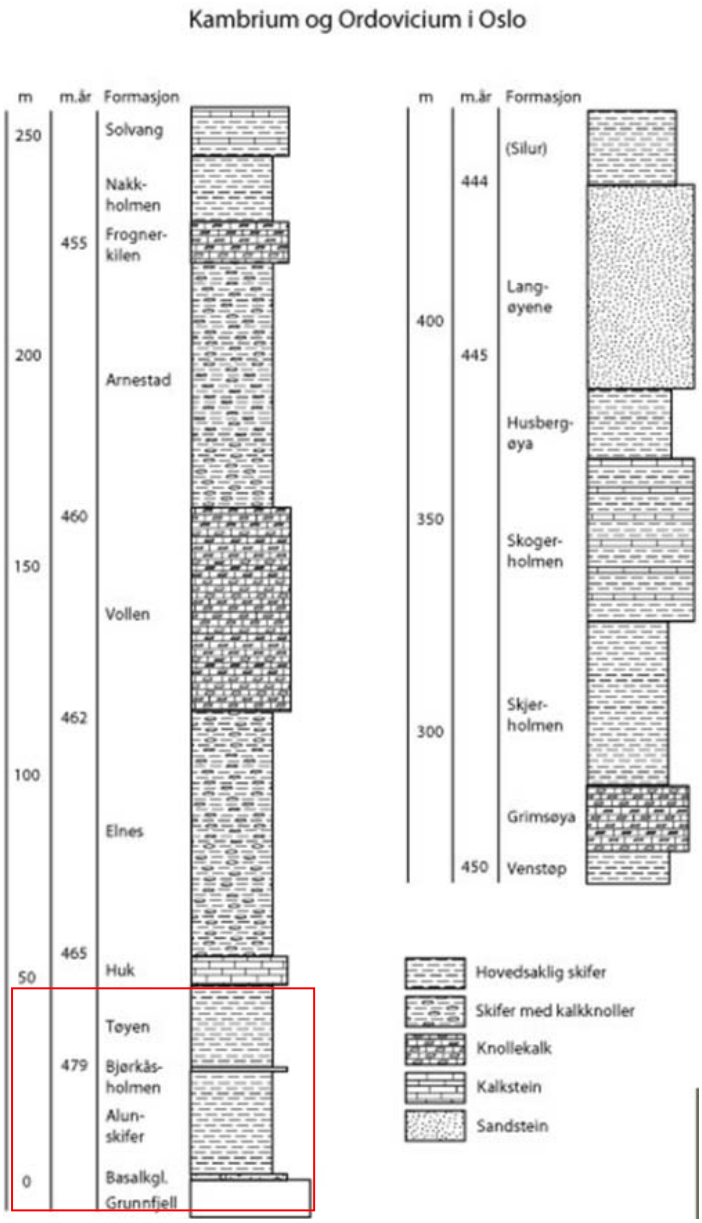
Området ved Tøyen er påvirket både av at det samme bergartslaget brekkes opp og dermed repeteres (Figur 2) og at det ble dannet horst- og grabenstrukturer (Figur 3).

Det er en fordel om deler av brønnen går i bergarter av granittisk sammensetning. Det er mest sannsynlig å påtreffe gneiser ved å bore i horststrukturer. Det er ikke forventet å finne gneis på lokaliteter som ligger i grabenstrukturer.

Et annet forhold relatert til selve boringen er å unngå områder gjennomsatt av sprekker som kan føre til boretekniske problemer og kollaps i brønnene. I det geologiske kartutsnittet i Figur 4 viser vertikale sorte streker plasseringen til markerte forkastninger. Ut fra denne kunnskapen er det derfor fordelaktig å trekke brønnparken i retning av geologisk museum i stedet for mot den tilgrensende parkeringsplassen.



Figur 4 *Det aktuelle området for prøveboring er markert med en rød firkant. Det vil være fordelaktig å bore i en horststruktur ut fra muligheten til å komme ned i gneiser under alunskiferen (utsnitt av berggrunnsgeologisk kart over Oslo, NGU kartblad 1:50 000 1914-IV)*

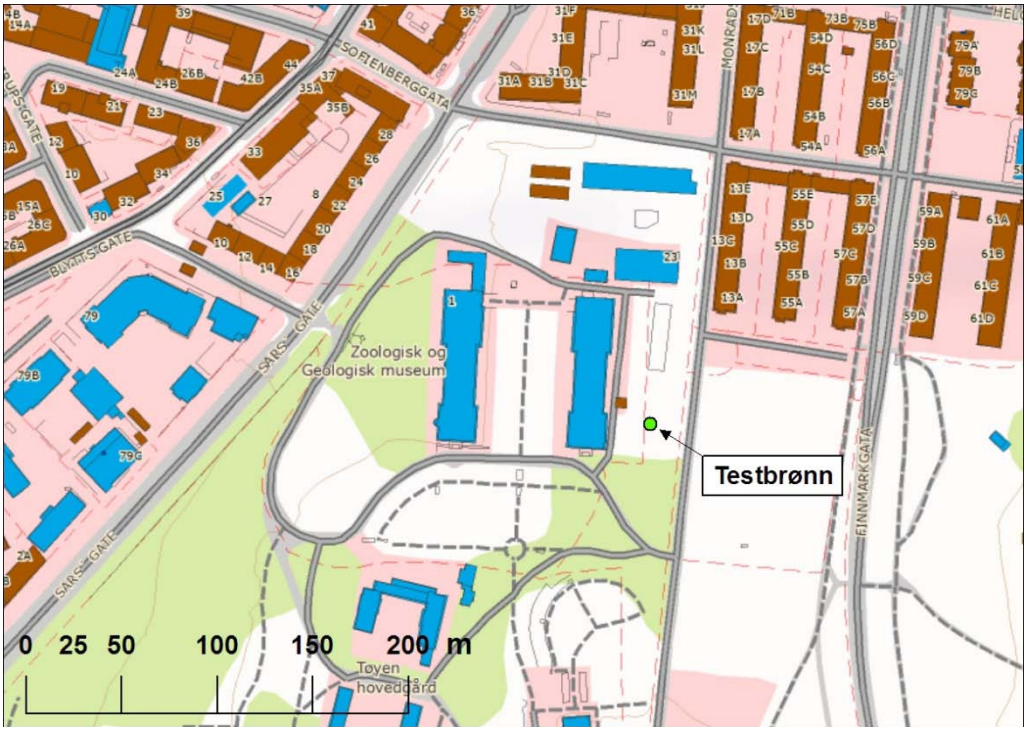


Figur 5 *Oppbygging av den sedimentære lagrekken kambrosilur i Oslo. Det er i hovedsak Tøyen- og alunskiferformasjonen en vil forvente å bore ned i. Som det framgår av figuren vil en ved en uforstyrret lagrekke påtreffe basalkonglomerat og grunnfjell (gneiser) allerede ved 50 m dybde.*

Ut fra geologiske kriterier av de tre aktuelle områdene for plassering av borpunkt for prøveboring på Tøyen (Figur 1) er område A best egnet.

3 Boring og installasjon av testbrønn

Boring og installasjon av testbrønnen ble utført av Brødrene Myhre i tidsrommet 4-6. juli 2011. Boringen ble utført med odex ned til 200 m. Plassering av testbrønnen er vist i Figur 6.



Figur 6 Plassering av testbrønnen på Tøyen, Oslo

De øverste 13,5 m besto av løsmasser (leire). Det ble benyttet foringsrør i stål, samt vann under boringen. Foringsrøret ble avsluttet 4,5 m ned i fast fjell og overgangen ble tettet med bentonitt. Fra 18 m dybde ble det boret uten foringsrør og med trykkluft ned til 200 m.

Berggrunnen besto i hovedsak av svart skifer med innslag av mænaitt (gangbergart). Det er ikke kartlagt hvor stor andel av svartskiferen som kan klassifiseres som alunskifer. Man kom ikke ned i grunnfjellet (gneis). Det at man fremdeles er i svart skifer ved avsluttet boring, skyldes det de geologiske hendelsene beskrevet i Figur 2 og Figur 3.

Det ble tatt ut borkaksprøver hver 3. m som ble visuelt beskrevet. Borkakset er sannsynligvis fra etasjene 1 – 3b, alunskifer- og Tøyenformasjonen i lagrekken (Figur 5). Detaljer er gitt i boreloggen i Vedlegg A.

Boreriggen som ble benyttet i arbeidet er avbildet i Figur 7. Ved boring med kun trykkluft fungerer riggen som en støvsuger hvor finere (støv) og grovere partikler blir separert i to forskjellige hauger. De finere partiklene kom ut i haugen til venstre og de grovere til høyre på bildet. Prøver ble tatt av de grovere partiklene.

Det gikk raskt å bore i den svarte skiferen. Ned til rundt 100 m gikk hver borestreng ned i underkant av to minutter, noe som ble betegnet som raskt av borerne. Generelt kan den svarte skiferen betegnes som løst fjell. I denne ”myke” bergarten vil sprekker normalt presses sammen og slik danne en lite permeabel undergrunn. Det ble ikke påtruffet store, vanngivende soner. Det var et mindre vanninnslag rundt 165 m.

En enkel U 40 mm turbokollektorslange ble montert i brønnen. Den ble fylt med kuldebæremediumet HX35 (ferdigblandet etanolbasert frostvæske, 30% etanol). Det ble ikke benyttet avstandsklosser. Brønnen ble avsluttet med et solid brønnlokk. Borkaks ble samlet opp og fjernet med en minigraver etter at arbeidet var ferdig.

Figur 7 Borerigg benyttet til brønnboringen

4 Termisk responstest (TRT)

4.1 Testbrønnen

Data for den installerte testbrønnen er gitt i Tabell 1. Det ble påtruffet lite vann under boringen og i følge brønnrapporten var brønnkapasiteten estimert til ~300 liter/time ved blåsing etter boringen. Grunnvannsnivået var 16,85 m under bakkenivå 16. august 2011 (fra brønntoppen). Et undertrykk ble oppdaget da brønnlokket ble tatt av for å måle grunnvannsnivået.

Brønnrapport fra borefirmaet er gitt i vedlegg B.

Tabell 1 Brønninformasjon

Boredato	04-07-2011 til 06-07-2011
Dybde	200 m
Diameter av åpent hull	140 mm
Dybde til fjell	13,5 m
Foringsrør	18,0 m
Diameter foringrør	168,5 mm
Brønntopp over bakken	0,2 m
Grunnvannsnivå i brønn	16,85 m (fra brønntopp, 16-08-2011)
Kollektortype	Enkel U, Turbo-kollektor (PEM DN40 PN8 SDR 17)
Kollektorlengde	200 m
Diameter kollektor	40 mm
Kollektorvæske	HX-35 (30% etanol)

4.2 Temperatur i brønnen

Temperaturen i brønnen ble logget før utføring av termisk responstest (16-08-2011) og etter testen (29-08-2011). Temperaturmålingen før testen ble gjort syv uker etter boring. Det antas at den er representativ for *in situ* temperaturen i grunnen.

Temperaturen i brønnen ble målt ved å gradvis senke en temperatursonde (Vemco minilogger) ned i kollektorslangen. Temperatursonden registrerer temperaturen hvert 3. sekund med en nøyaktighet på ±0,1 ºC. Temperaturen i brønnen var 8,5°C ved 20 m dybde og økte til 11,7°C ved 200 m. Middeltemperaturen i borehullet fra 20 til 200 m er beregnet til å være 9,8ºC. Temperaturprofilene er vist i Figur 8. Ut fra temperaturprofilene kan man ikke se påvirkning av en eventuell grunnvannstrømning i selve brønnen. Sammen med blåsetesten utført etter boring indikerer dette en lav permeabilitet i fjellet rundt testbrønnen.

Temperaturmålingen utført 29. august ble gjort like etter avslutning av den termiske responstesten (Figur 8). Temperaturen i brønnen var på dette tidspunktet påvirket av varmetilførsel i brønnen som en følge av den termiske responstesten.

Påvirkningen er likevel dempet siden pumpingen av vann fortsatte i to døgn etter at varmeelementene var slått av.

Fouriers lov beskriver sammenhengen mellom varmestrøm (Q) fra et bestemt areal (A), temperturvariasjoner (dθ/dx) og varmeledningsevnen til materialet (λ) som følger:

$$Q = -\lambda A \frac{d\theta}{dx}$$

I vårt tilfelle er Q varmestrømningen til overflaten (W/m^2), dθ/dx er temperaturgradienten i undergrunnen (ºC/m) og λ er varmeledningsevnen til bergartene i undergrunnen (W/m K). Dette betyr at ved samme varmestrømning til overflaten gjenspeiler variasjonen i temperaturgradienten variasjonen i varmeledingsevnen til bergartene. Høy varmeledningsevne gir en lav temperaturgradient, mens lav varmeledningsevne gir en høy gradient.

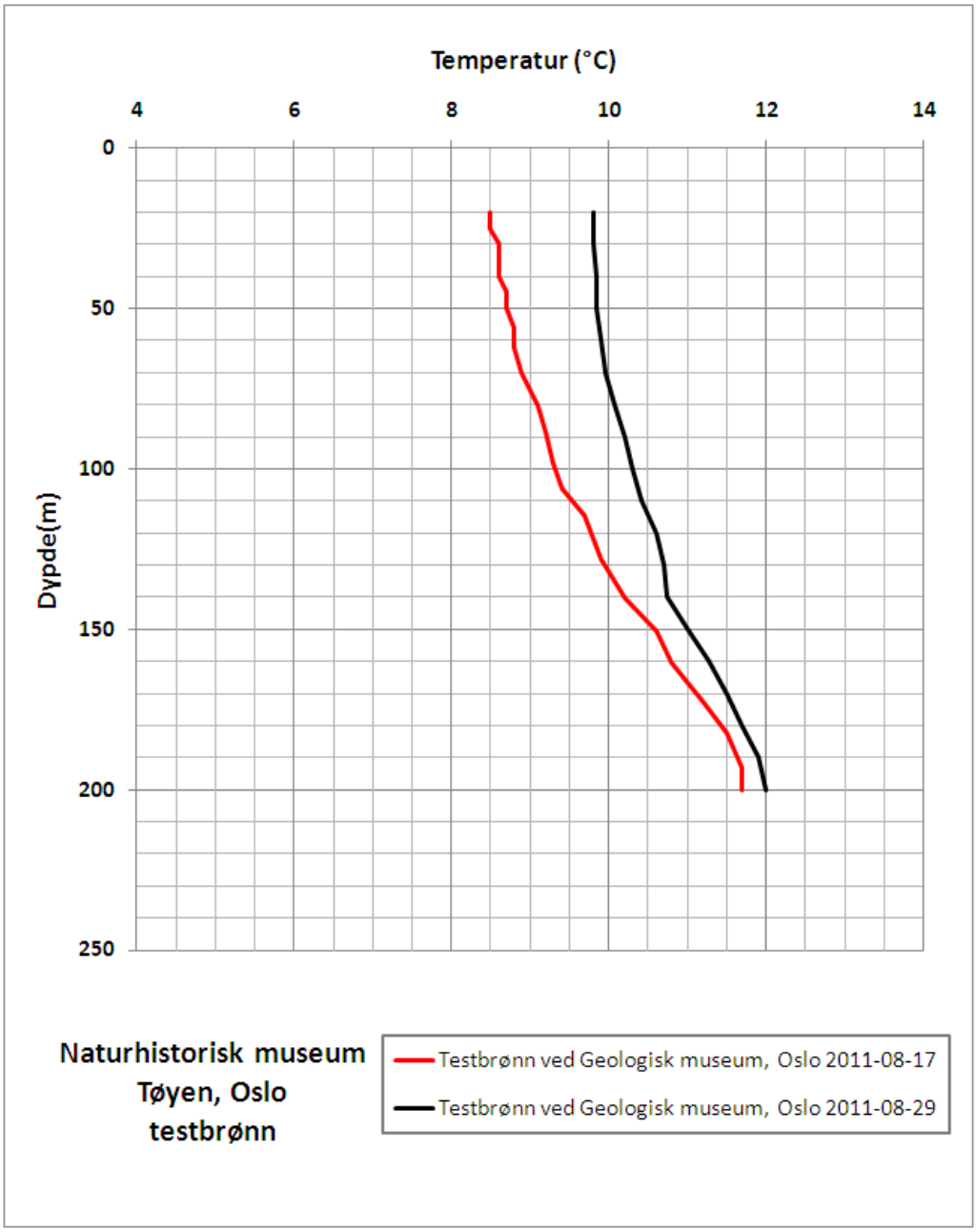
I berggrunnen dannes varme fra nedbrytning av de radioaktive elementene uran, thorium og kalium. Bergartenes naturlige konsentrasjonsforskjeller av disse elementene fører til variasjoner i varmestrømningen fra jordens indre, både horisontalt og vertikalt. Resultater fra analyse av bergarter i Osloområdet viser at varmeproduksjonen ligger mellom 1,5 $\mu W/m^3$ (Midttømme, 2000) og 30 $\mu W/m^3$ (Slagstad et al., 2009). Grunnfjell ved indre Oslofjord har lavest og alunskifer høyest varmeproduksjon.

Innenfor et begrenset volum er varmeproduksjonen begrenset i forhold til varmestrømningen. Dette fører til at det er varmeledningsevnen i bergartene som styrer gradienten over korte avstander. Temperaturforholdene i overflaten kan imidlertid endre seg over tid og det er vanlig å se forstyrrelser i temperaturene. Noe som kan forstyrre er tidligere tiders klima, avskoging og større byggninger.

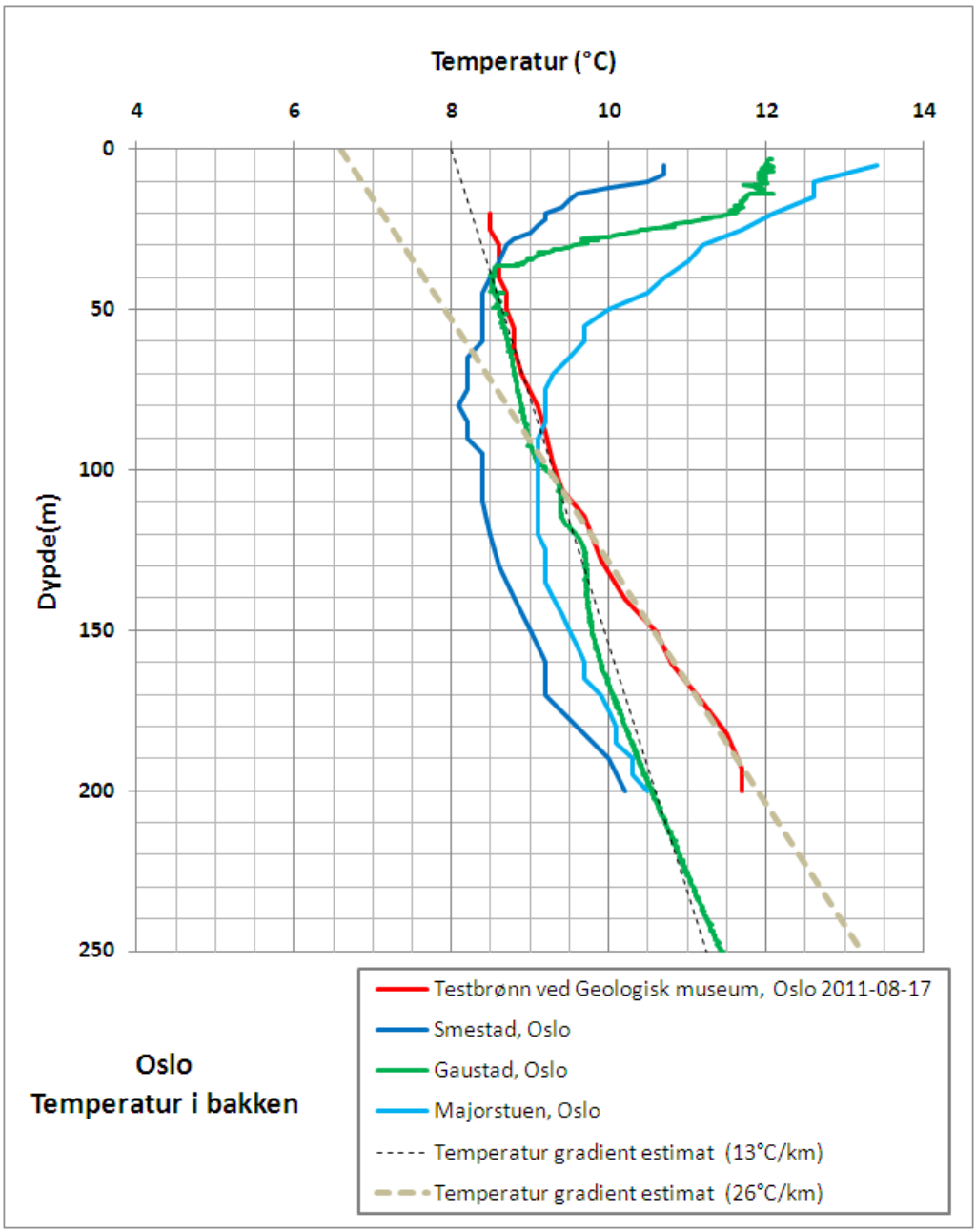
Resultatene fra temperturmålningen (Figur 9) viser to hovedgradienter. En lav gradient (13°C/km) ned til ca. 110 m og en betydelig høyere (26°C/km) mellom 130 og 200 m. Ved helt stabile temperturforhold skulle dette tilsi at gradientene tilhørte to forskjellige bergarter med ulik varmeledningsevne. Men borekaksprøvene viser at dette ikke er tilfellet her. Geologisk museum ble reist i årene 1911-17. Bygningen har nå stått der i nesten 100 år og har sannsyligvis påvirket temperaturen i grunnen, noe som fører til at gradienten er forstyrret ned til ca. 110 m. Figur 10 viser hvordan varme fra en større bygning påvirker temperaturen i grunnen over lang tid. Brønnen på Majorstuen på Figur 9 ligger nærmere en svær bygning enn testbrønnen ved Geologisk museum. Denne profilen blir da enda mer forstyrret sammenlignet med testbrønnen på Tøyen.

Temperaturgradienten i nedre del av brønnen samsvarer med resultatene fra dypere deler i andre brønner i Osloområdet som er boret i grå- og svartskifer fra kambrosilur (Figur 9). Dersom varmegradienten antas å være uforstyrret tilsvarer varmestrømningen i området 74 mW/m^2 , noe som er blant de høyeste registrerte verdiene for varmestrømning i Norge (Slagstad et al. 2008). Den relativt høye gradienten tilsvarer den middelshøye varmeledningsevnen som normalt måles i

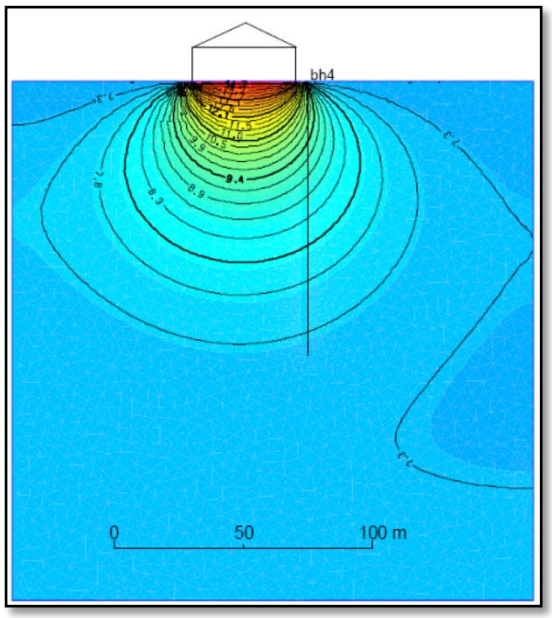
skifer og mænaitt, sammen en lokal varmeproduksjon fra de underliggende radioaktive alunskifrene i området.



Figur 8 Temperatur målt i testbrønnen før og etter utføring av den termiske responstesten



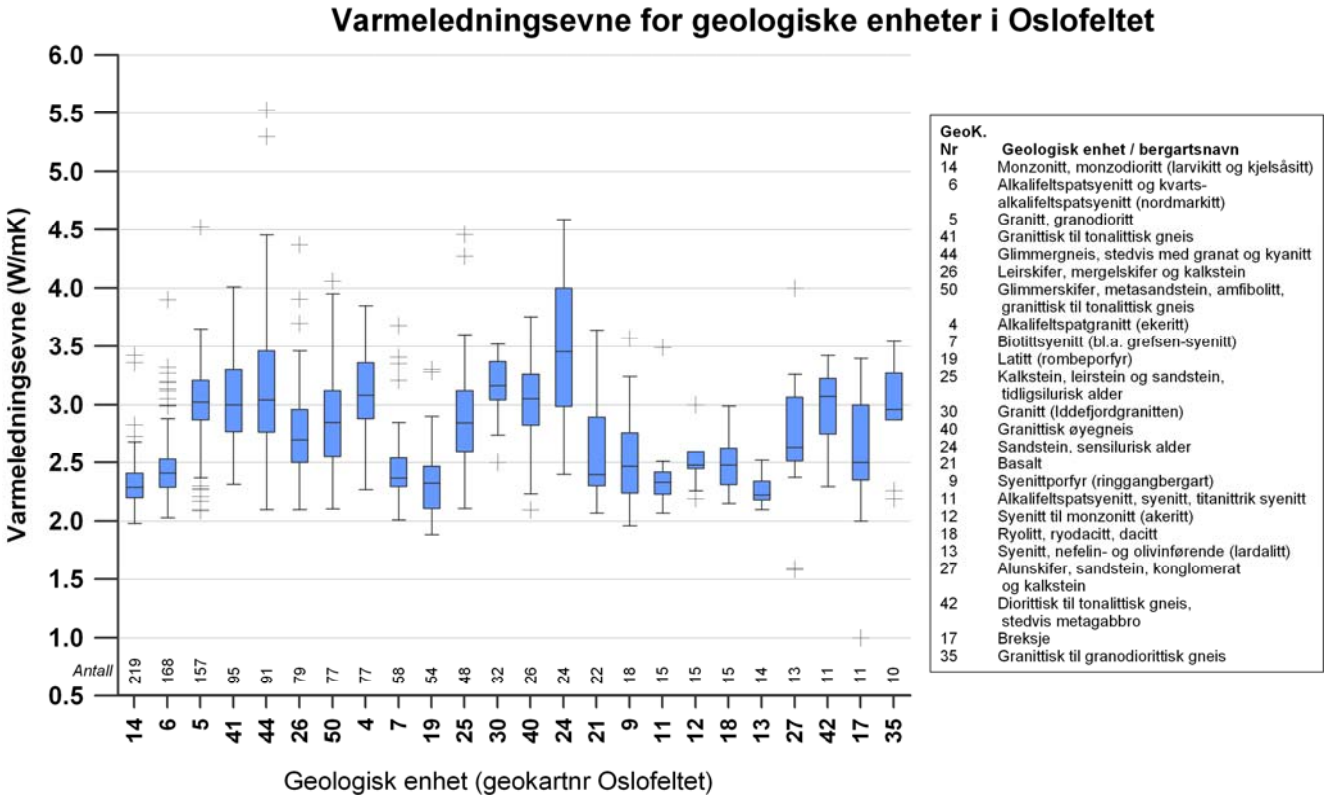
Figur 9 Temperatur målt i forskjellige brønner i Oslo. Temperaturdata fra Smestad og Majorstuen er fra tidligere NGI-prosjekter i kambrosilursk kalksteinskifer. Data fra Gaustad er oppgitt fra Geovarme (1999).



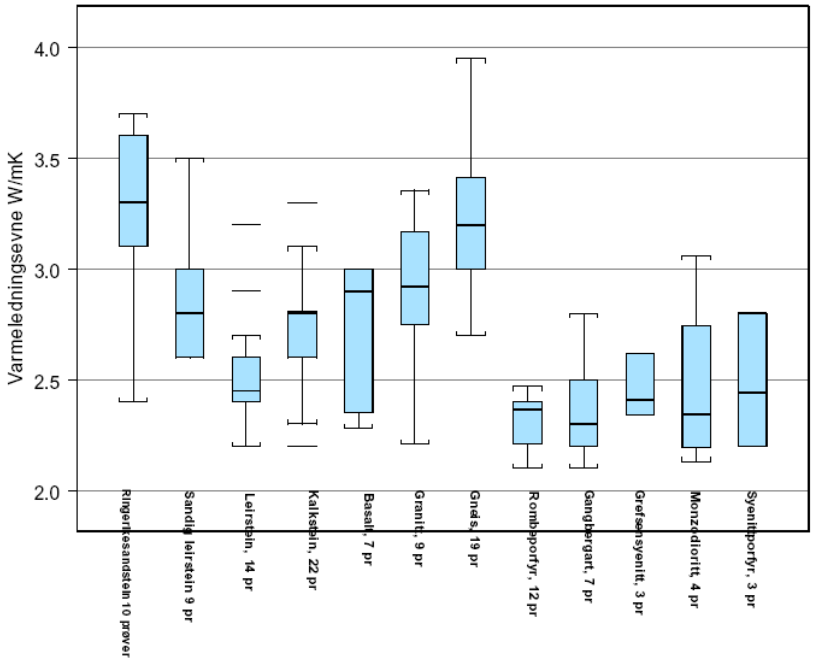
Figur 10 *Varmepåvirkning i grunnen fra store bygninger. Resultater fra simulering av 82 års varmepåvirkning fra Nordstrand skole (Liebel et al. 2009).*

4.3 Forventet varmeledningsevne

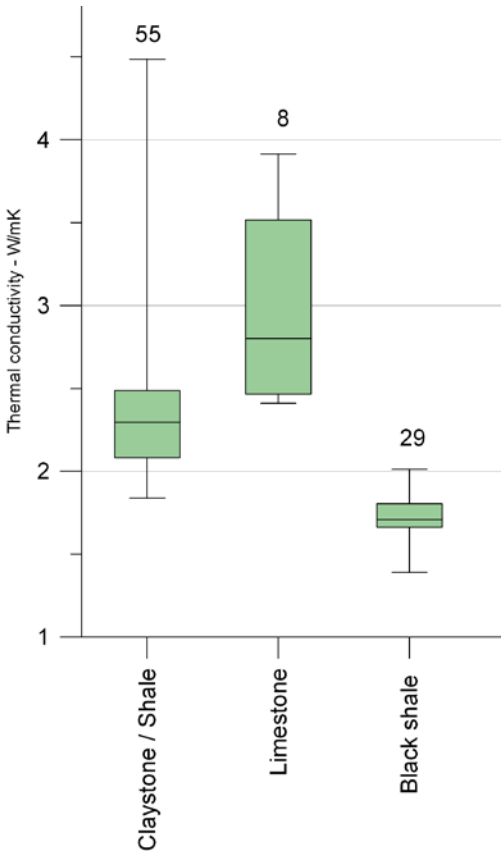
Basert på bergartene påtruffet under boring av testbrønnen, forventes det en lav til middels varmeledningsevne i brønnen. Varmeledningsevnemålninger på bergartsprøver fra Oslofeltet (Figur 11 og Figur 12) tilsier en forventet varmeledningsevne mellom 2,5 og 3 W/m K. Bergartsprøvene nr. 25, 26 og 27 i Figur 11 er geologiske enheter fra kambrosilurisk tid, men er yngre en Tøyenformasjonen (enhet 29 på Oslofeltets berggrunnskart). Resultater fra varmeledningsevnemålninger av svartskifer (Olesen et al. 2007) viser at den har lavere varmeledningsevne enn de fleste andre kambrosiluriske enheter (Figur 13).



Figur 11 *Varmeledningsevne på bergartsprøver fra Oslofeltet målt i perioden 2000-2008 (Ramstad et al. 2008)*



Figur 12 *Varmeledningsevne på bergartsprøver fra Asker og Bærum i Oslofeltet (Midttømme et al. 2000)*



Figur 13 *Varmeledningsmålinger på bergartsprøver i et 825 m dypt borehull på Hamar. Resultatene viser at svartskifer (black shale) har lavest varmeledningsevne av de kambrosiluriske bergartene. Varmeledningsevnen er mellom 1,5 og 2,0 W/mK (Olesen et al. 2007)*

4.4 Termisk responstest (TRT)

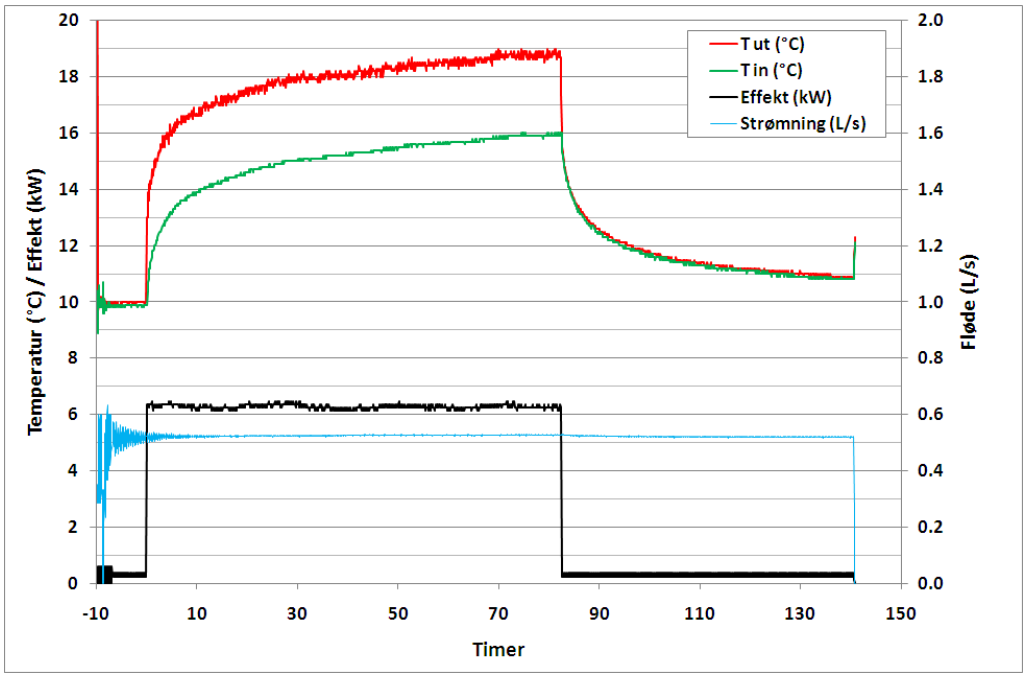
Termisk responstest av testbrønnen ble utført 22 - 26. august 2011 (Figur 14). Testen varte i 82 timer og ble gjennomført med en strømning på 0,52 l/s og en gjennomsnittsvarmelast på 6,30 kW. Før testen ble utført ble grunnvannsnivået målt til 16,85 m fra toppen av brønnrøret. Det gir en effektiv brønnlengde (kollektorslange i grunnvann) på 183 m. Beregnet *in situ* varmeledningsevne er 2,8 W/m K og borehullsmotstand 0,07 m K/W. Gjennomsnitlig temperaturforskjell mellom inn- og utgående væske var 2,86ºC. Samlet informasjon om TRT-testen er gitt i Tabell 2. Resultater fra testen er vist i Figur 15. Teori og formelverk for beregningene er beskrevet av Mogensen (1983), Eskilson (1987) og Hellström (1991).

Tabell 2 Samlet informasjon om termisk responstest i testbrønnen

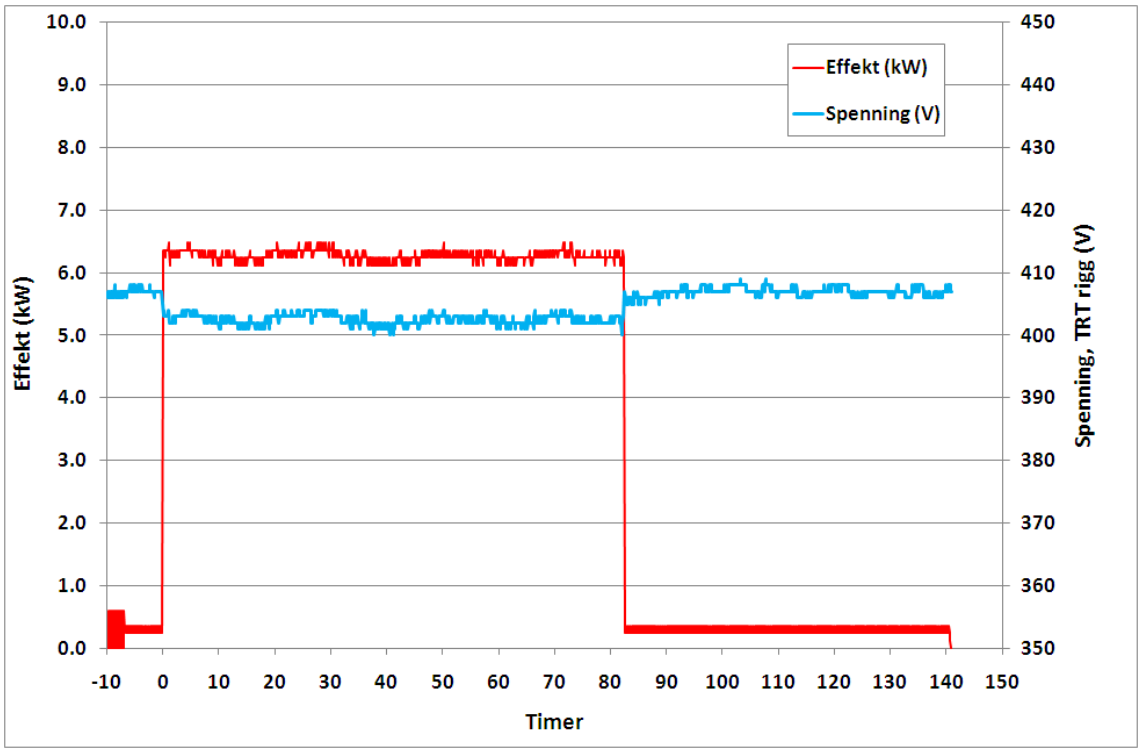
Test utført (dato)	22-08-2011 til 28-08-2011
Pumpestart	22-08-2011 12:03
Start varmetilførsel	22-08-2011 21:42
Stopp varmetilførsel	28-08-2011 08:06
Stopp pumpe	28-08-2011 18:19
Varighet pumping	150,4 timer
Varighet varmetilførsel	82,4 timer
Flødestrømning	0,52 L/s
Gjennomsnitt varmetilførsel fra varmeelementer fra pumpe	6301 W 6043 W 258 W
Effektiv brønndybde	183 m
Varmelast	34,4 W/m
Middels tempertur i væske før varmetilførsel etter 82,4 timer	 10,0 C 17,4 C
Varmeledningsevne	2,8 W/m K

Målingene ble utført under stabil spenning som vist på Figur 16. Spenningen faller litt når varmeelementene slås på, men holder seg stabil til de blir slått av igjen. Varmetilførselen fra varmeelementene er derfor stabil over tid. Lufttemperatur målt utenfor og inne i riggen er vist i Figur 17. Målningene ble utført på varme sommerdager og sammen med varmeproduksjonen fra transformatoren gir det høy temperatur inne i riggen.

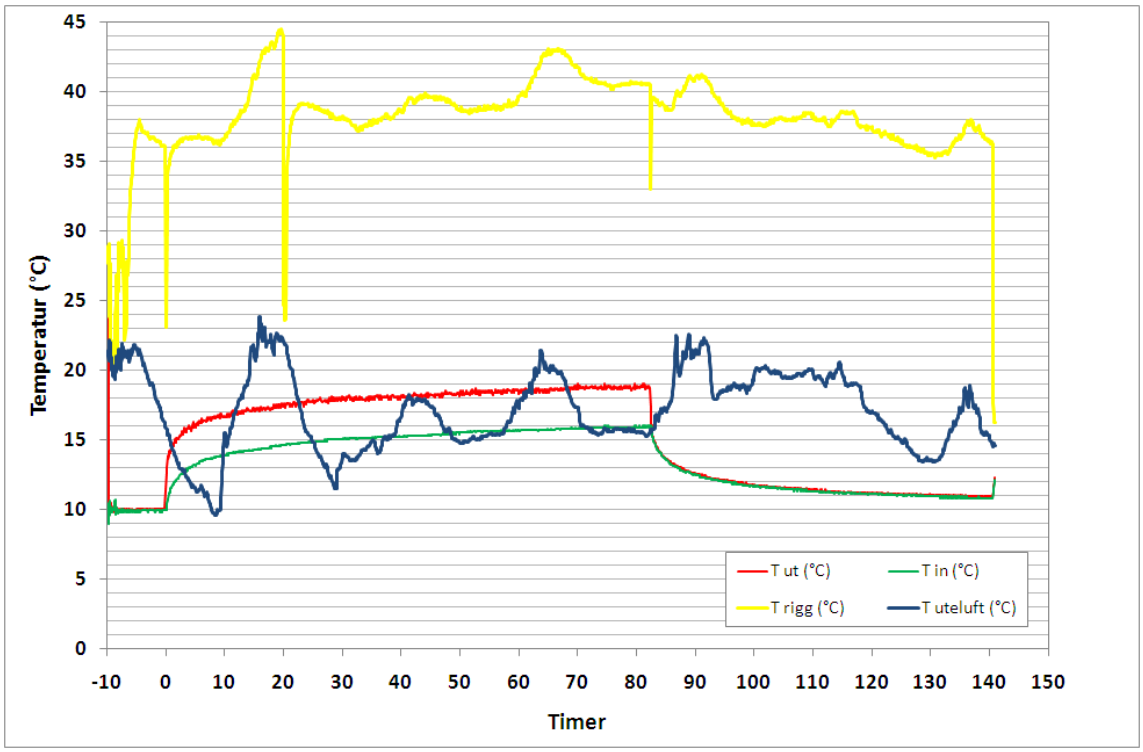
Figur 14 NGIs TRT-rigg i hagen øst for Geologisk museum på Tøyen



Figur 15 Resultater fra den termiske responstesten i testbrønn ved Geologisk museum på Tøyen i Oslo 22-28. august 2011

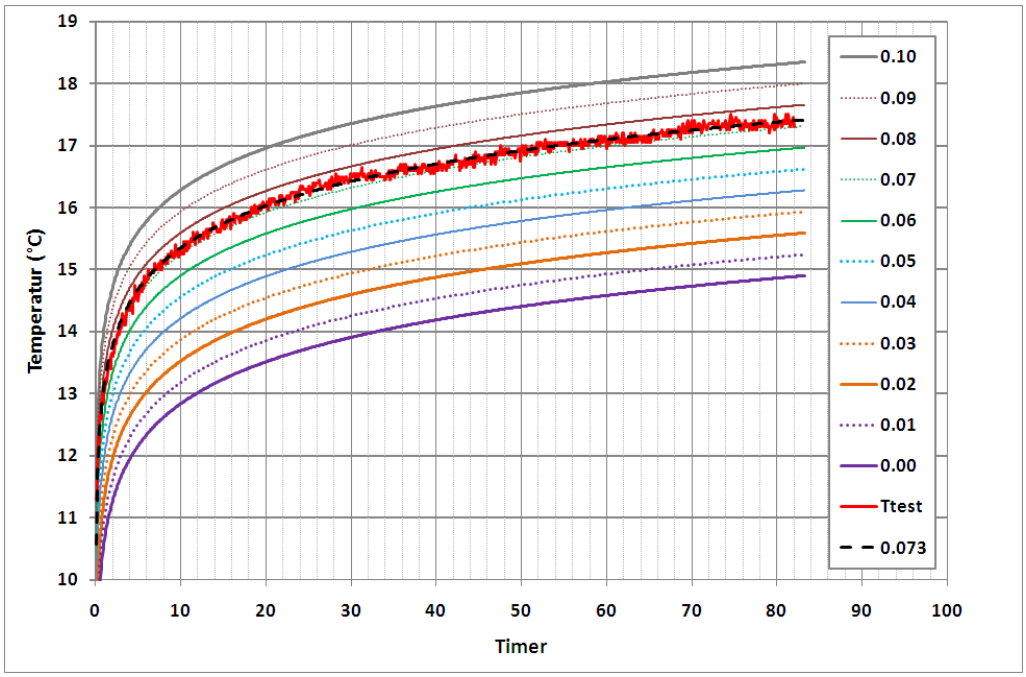


Figur 16 Målt spenning og effekt i termisk responstest 22 - 28. august 2011



Figur 17 Målt temperatur i TRT-rigg og utenfor (uteluft) i test 22 - 28. august 2011

Endring i middelsvæsketemperaturen over tid som er målt i testen samenlignet med teoretisk simulert temperaturutvikling i brønnen, viser at borehullsmotstanden (R_b) i testbrønnen ved varmelast på 34,4 W/m og væskestrømning på 0,5 L/s er 0,073 K/(W/m) (Figur 18). Estimert varmekapasitet i fjell brukt i simuleringen er 2,3 MJ/m^{3}K. Forventet nøyaktighet på resultatene på Rb ved bruk av denne metodikken er ±0,005 K/(W/m) (Gehlin, 1998).



Figur 18 *Bestemmelse av borehullsmotstand (R_b) i testbrønnen ved varmelast på. Endringen av middeltemperaturen i borehullet T_{test} stemmer med den svarte kurven som er simulert med en borehullsmotstand R_b = 0,073·K/(W/m)*

Erfaring fra grunnvannsfylte energibrønner med standard enkel-U kollektorslage i Sverige viser at ved varmetilførsel ligger borrhullmotstanden (R_b) ofte mellom 0,07 og 0,09 K/(W/m), mens det ved varmeuttak ligger mellom 0,10 og 0,12 K/(W/m) (Hellström og Kjelsson, 1998).

Tabell 3 *Samlet erfaring fra feltester og laboratorieforsøk fra Sverige på borehullmotstand (R_b) i standard enkel- og dobbel-U kollektorer i grunnvannsfyllte brønner (Hellström og Kjelsson, 1998)*

Kollektortype	R_b, Varmetilførsel	R_b, Varmeuttak
Enkel-U	0,07-0,09 K/(W/m)	0,10-0,12 K/(W/m)
Dobbel-U	0,035-0,055 K/(W/m)	0,06-0,08 K/(W/m)

5 Konklusjoner

Berggrunnen ved museene i Tøyenparken består av svartskifre fra kambrium - ordovicium. Plassering av punkt for prøveboring er blitt anbefalt ut fra geologiske kriterier som mulighet for å påtreffe mer kvartsrike gneiser og redusere problemer med gjennomføring av boring. Ut fra de geologiske kriteriene av de tre aktuelle områdene for plassering av borpunkt for prøveboring, er område A vurdert til å være best egnet.

Prøvebrønnen ble boret 4-6. juli 2011. De øverste 13,5 m besto av løsmasser (leire). Fra 13,5 til 200 m besto berggrunnen i hovedsak av svart skifer med innslag av mænaitt (gangbergart). Det er ikke kartlagt hvor stor andel av svartskiferen som kan klassifiseres som alunskifer. Man kom ikke ned i grunnfjellet (gneis).

Temperaturen i brønnen er 8,5°C i 20 m dybde og øker til 11,7°C ved 200 m. Middeltemperaturen i borehullet fra 20 til 200 m er 9,8ºC.

Termisk responstest av testbrønnen ble utført 22.-26. august 2011. Testen varte i 82 timer og ble gjennomført med en strømning på 0,5 l/s og en gjennomsnitlig varmelast på 6,30 kW. Beregnet *in situ* varmeledningsevne er 2,8 W/m K. Borehullsmotstanden i testbrønnen er 0,07 m K/W ved varmelast på 34 W/m og væskestrømning på 0,5 L/s.

Sammenlignet med resultater fra andre gelogiske enheter i Oslofeltet vurderes varmeledningsevneforholdene som middels gode.

Temperaturen i grunnen er litt høyere enn det som tidligere er blitt målt i Oslo, noe som er gustig for drift av varmepumpe ved varmeuttak.

Det er ønskelig med høy permeabilitet i grunnen. Høy permeabilitet øker effektiviteten til hver brønn på grunn av vannets bevegelse inn og ut av brønnen, noe som gir tilgang til et større areal for varmeoverføring. Den lave permeabiliteten som er indikert i testbrønnen betyr at området ikke drar nytte av denne gunstige egenskapen på samme måte som en mer permeabel grunn ville ha gjort.

6 Referanser

Eskilson P. (1987). Thermal Analysis of Heat Extraction Boreholes. Lund-MPh-87/13.

Gehlin S. (1998). Thermal Response Test. In-Situ Measurements of Thermal Properties in Hard Rock. Luleå University of Techology, Licentiate Thesis.

Hellström G. (1991). Ground Heat Storage. Dept. Of Mathematical Physics, Lund Institute of Technology, Sweden.

Hellström G. og Kjellsson E. (1998). Thermal Performance of Borehole Heat Exchangers. Proc. of Conf. at the Richard Stockton Collage, Ponona, USA, March 16-17, 1998.

Liebel H.T., Huber K., Frengstad B., Ramstad R.K., Brattli B. (2009). Thermogeology in the Oslo region and Kristiansand – Results from thermal response tests (TRT) with and without artificially induced groundwater flow. NGU Rapport 2009-069, Norges Geologiske Undersøkelse, 57 s.

Midttømme, K. (2000). Temperaturgradienter, varmestrøm og radioaktiv energi i Osloområdet. Geological Survey of Norway, Report 2000.006.

Mogensen P. (1983). Fluid to Duct Wall Heat Transfer in Duct System Heat Storages. Proc. Int. Conf. On Subsurface Heat Storage in Theeory and Practice. Stockholm, Swenden, Jun 6-8, 1983, P. 652-657.

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 Rapport 2007.042. Norges geologiske undersøkelse, 438 s.

Ramstad, R.K., Tiarks H., Midttømme K. (2008). Ground source energy – Thermal conductivity map in the Oslo region. Poster shown at NGU's stand at the 33rd International Geologic Congress Oslo, August 6-14th.

Slagstad, T., Balling N., Elvebakk H., Midttømme K., Olesen O., Olsen L., Pascal C. (2009). Heat-flow measurements in Late Paleoproterozoic to Permian geological provinces in south and central Norway and a new heat-flow map of Fennoscandia and the Norwegian-Greenland Sea. Tectonophysics 473: 341-361.

Vedlegg A - Borelogg

Boring Veksthus Tøyen 4-6. juli 2011

Boreentreprenør: Brødrene Myhre

Dybde (m)	Boretid (min.)	Type bergart	kommentarer
0-1	-	Løsmasser: jord	
1-3	-	Løsmasser: leirig, sandig	
3-4,5	-	Løsmasser: Leire, brun	
4,5-6	-	Løsmasser: Leire, blå	
6-9	-	Løsmasser: Leire, blå	
9-12	-	Løsmasser: Leire, blå	
12-13,5	-	Løsmasser: Leire, blå	
13,5-15	-	Løst fjell, svart skifer	
15-16,5	-	Løst fjell, svart skifer	
16,5-17	-	Skifer, svart, hardere	
17-18	-	Skifer, mørk grå	
18-21	4	Stein, lys brun	Boring uten foringsrør fra 18 m
21-23	5	Stein, lys brun	
23-24		Stein, mørk grå	
24-27	2	Skifer, svart	
27-30	2	Skifer, svart	
30-33	2	Skifer, svart	
33-36	2	Skifer, svart	
36-39	2	Skifer, svart	
39-42	2	Skifer, svart	
42-45	1	Skifer, svart	
45-47	3	Skifer, mørk grå	
47-48		Skifer, svart	
48-51	3	Skifer, svart	
51-54	2	Skifer, svart	
54-57	1	Skifer, svart	
57-60	2	Skifer, svart	
60-63	2	Skifer, svart	
63-66	1	Skifer, svart	
66-69	2	Skifer, svart	
69-72	1	Skifer, svart	
72-75	1	Skifer, svart	
75-78	2	Skifer, svart	
78-81	2	Skifer, svart	
81-82,5	2	Skifer, mørk grå	
82,5-84		Skifer, svart	
84-87	1	Skifer, svart	

Dybde (m)	Boretid (min.)	Type bergart	kommentarer
87-90	2	Skifer, svart	
90-93	2	Skifer, svart	
93-96	2	Skifer, svart	
96-98	4	Skifer, mørk grå	
98-99		Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
99-102	7	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
102-105	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
105-108	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
108-111	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
111-112,5	5	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
112,5-113,5		Skifer, svart	
113,5-114		Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
114-117	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
117-120	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
120-123	5	Stein, lys grå, hard, iblanda svart skifer	Menalitt (sill/dike)
123-126	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
126-129	7	Skifer, svart	
129-132	6	Stein, mørk grå, hard	
132-135	7	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
135-138	6	Stein, lys grå, hard	Menalitt (sill/dike)
138-141	6	Skifer, svart	
141-144	3	Skifer, svart	
144-147	3	Skifer, svart	
147-150	5	Stein, mørk grå, hard	Menalitt (sill/dike)
150-153	3	Skifer, svart	
153-156	2	Skifer, svart	
156-159	3	Skifer, svart	
159-162	7	Stein, mørk grå, hard. Iblandet noe lys stein og krystaller	Krystaller: svovelkis + hvite, grå og grønne krystaller
162-165	8	Stein, mørk grå, hard. Iblandet noe lys stein og krystaller	**Fuktigere, antakeligvis vanninnslag**
165-168	9	Stein, mørk grå, hard. Iblandet noe lys stein og krystaller	
168-171	10	Stein, mørk grå, hard. Iblandet noe lys stein og krystaller	
171-174	(22)	Stein, mørk grå, hard. Iblandet noe lys stein og krystaller	Renset røret med vann v 173 m
174-177	3	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	Våte masser
177-180	7	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	Våte masser

Dybde (m)	Boretid (min.)	Type bergart	kommentarer
180-183	5	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	Våte masser
183-186	6	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	Våte masser
186-189	8	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	
189-192	6	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	
192-195	7	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	
195-198	5	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	
198-200	5	Skifer, svart. Iblandet noe grå stein og krystaller	

Boring avslutta ved 200 m

Vedlegg B - Brønnrapport

Brønnskjema

iht Forskrift om oppgaveplikt ved brønnboring. Vannressursloven §46

16394

☒ Brønn i fjell ☐ Brønn i løsmasser ☐ Sonderboring

LOKALISERING

Fylke: Oslo Kommune: Oslo Stedfestelsesmetode: 1

Kartdatum WGS 84 UTM Sone: 32 ØV-koordinat: 599118 NS-koordinat: 6643785 (se baksiden for koder)

Borestedets postadresse: TØYEN - Naturhistorisk Museum | Gårdsnr. | Bruksnr. | Festenr. | Seksjonsnr.

Brønneieren Etternavn: NGI Fornavn: | Telefon (arbeid) | Telefon (privat)

Brønneiers postadresse (fylles bare ut hvis forskjellig fra borestedets postadresse): Sarsgt. 1, 0562 Oslo

Brønnens bruk (se baksiden for koder): Vannforsyning ☐ Brukskode ____ Energi ☒ Brukskode ____ Undersøkelse / Sonderboring ☒ Brukskode 2

Borefirma: BR. MYHRE Boredato: 060711 Borerens navn: Ove Karlsen

Konsulent (personnavn) | Konsulentfirma | Konsulentrapport nr.

Totalt dyp av brønn (målt fra overflaten) 200 | Dyp til fjell (målt fra overflaten) 13.5 m | Stabil vannstand etter boring (målt fra overflaten) ____ m | Dato målt ____

BORELOGG

Dyp fra (m)	Dyp til (m)	Evt. vanninnslag (liter/time) > 1000	500-1000	50-500	< 50	Merknader (løsmasseprofil, skifte i slamfarge, bergart, hardt/løst fjell etc.)
0	13.5					LÆRE
13.5	30				X	SVART
30	90				X	SVART
91	120					SVART
121	140					GRÅ
141	200					SVART

(Fortsett på baksiden)

BRØNNINFO

Boring: Loddrett ☒ Skrå ☐ Horisontal ☐ Borehull diameter 140 mm

Hvis skråboring, angi: Avvik fra loddlinjen ____ 0°–90° Retning iht Nord ____ 0°–360°

V Ø 270° 90°

Brønnrør/Foringsrør: Materiale Stål ☒ Rustfritt stål ☐ Plast ☐ Annet ____ Lengde 18 m Diameter 168,5 mm

Filter (bruk baksiden hvis flere filter): Plassering (målt fra overflaten) Fra ____ m til ____ m | Diameter ____ mm Lysåpning ____ mm | Type ____ Materiale Stål ☐ Rustfritt stål ☐ Plast ☐ Annet ____

Kapasitet målt ved avsluttet boring (**før** evt. sprengning / trykking) 300 liter/time

Kapasitet **før** sprengning / trykking målt ved: Blåsing ☒ Prøvepumping ☐ Stigningstest ☐ med varighet ____ min / time / dag

Vannkvalitet: Antall vannprøver innsamlet ____ | Prøve(r) sendt for analyse til (laboratorienavn) ____ i ____

KAPASITETSØKNING

☐ Ved sprengning ☐ Ved hydraulisk trykking

Kapasitetsøkning utført av (firma) | Firmaadresse | Dato uttført

Kapasitet **etter** sprengning/trykking: Kapasitet ____ liter/time | Målt ved Blåsing ☐ Prøvepumping ☐ Stigningstest ☐ med varighet ____ min / time / dag | Stabil vannstand **etter** sprengning/trykking (målt fra overflaten)

Mansjett plassering: Mansjettdyp 1 Maks. trykk ____ kp/cm² dyp ____ m Min. trykk ____ kp/cm² | Mansjettdyp 2 Maks. trykk ____ kp/cm² dyp ____ m Min. trykk ____ kp/cm² | Mansjettdyp 3 Maks. trykk ____ kp/cm² dyp ____ m Min. trykk ____ kp/cm²

Kommentar

(Fortsett på baksiden)

Kopi av skjema sendes
- oppdragsgiver
- NGU - Brønndatabase, 7491 Trondheim

Dato | Ansvarlig person fra borefirma Navn ____ Signatur ____

Kontroll- og referanseside/
Review and reference page

NGI

Dokumentinformasjon/*Document information*		
Dokumenttittel/*Document title* Veksthus Tøyen - Geologisk vurdering og termisk responstest av testbrønn		**Dokument nr/*Document No.*** 20110539-1
Dokumenttype/*Type of document* ☒ **Rapport/*Report*** ☐ **Teknisk notat/*Technical Note***	**Distribusjon/*Distribution*** ☐ **Fri/*Unlimited*** ☒ **Begrenset/*Limited*** ☐ **Ingen/*None***	**Dato/*Date*** 16. september 2011 **Rev.nr./*Rev.No.***
Oppdragsgiver/*Client* Erichsen & Horgen A/S		
Emneord/*Keywords* alum shale, clay shale, environmental geotechnology, groundwater well		

Stedfesting/*Geographical information*	
Land, fylke/*Country, County* Oslo	**Havområde/*Offshore area***
Kommune/*Municipality* Oslo	**Feltnavn/*Field name***
Sted/*Location* Tøyen	**Sted/*Location***
Kartblad/*Map* 1914 IV	**Felt, blokknr./*Field, Block No.***
UTM-koordinater/*UTM-coordinates*	

Dokumentkontroll/*Document control*

Kvalitetssikring i henhold til/*Quality assurance according to* NS-EN ISO9001

Rev./ *Rev.*	**Revisjonsgrunnlag/*Reason for revision***	**Egen-kontroll/ *Self review* av/*by:***		**Sidemanns-kontroll/ *Colleague review* av/*by:***		**Uavhengig kontroll/ *Independent review* av/*by*:**		**Tverrfaglig kontroll/ *Inter-disciplinary review* av/*by:***	
0	Originaldokument	MB		KMi					

Dokument godkjent for utsendelse/ *Document approved for release*	**Dato/*Date***	**Sign. Prosjektleder/*Project Manager***
	16. september 2011	Marion Børresen

NGI (Norges Geotekniske Institutt) er et internasjonalt ledende senter for forskning og rådgivning innen geofagene. Vi utvikler optimale løsninger for samfunnet, og tilbyr ekspertise om jord, berg og snø og deres påvirkning på miljøet, konstruksjoner og anlegg.

Vi arbeider i følgende markeder: olje,gass og energi, bygg, anlegg og samferdsel, naturskade og miljøteknologi. NGI er en privat stiftelse med kontor og laboratorier i Oslo, avdelingskontor i Trondheim og datterselskap i Houston, Texas, USA.

NGI ble utnevnt til "Senter for fremragende forskning" (SFF) i 2002 og leder "International Centre for Geohazards" (ICG).

www.ngi.no

NGI (Norwegian Geotechnical Institute) is a leading international centre for research and consulting in the geosciences. NGI develops optimum solutions for society, and offers expertise on the behaviour of soil, rock and snow and their interaction with the natural and built environment.

NGI works within the oil, gas and energy, building and construction, transportation, natural hazards and environment sectors. NGI is a private foundation with office and laboratory in Oslo, branch office in Trondheim and daughter company in Houston, Texas, USA.

NGI was awarded Centre of Excellence status in 2002 and leads the International Centre for Geohazards (ICG).

www.ngi.no

Hovedkontor/Main office:
PO Box 3930 Ullevål Stadion
NO-0806 Oslo
Norway

Besøksadresse/Street address:
Sognsveien 72, NO-0855 Oslo

Avd Trondheim/Trondheim office:
PO Box 1230 Pirsenteret
NO-7462 Trondheim
Norway

Besøksadresse/Street address:
Pirsenteret, Havnegata 9, NO-7010 Trondheim

T: (+47) 22 02 30 00
F: (+47) 22 23 04 48

ngi@ngi.no
www.ngi.no

Kontonr 5096 05 01281/IBAN NO26 5096 0501 281
Org. nr/Company No.: 958 254 318 MVA

BSI EN ISO 9001
Sertifisert av/Certified by BSI, Reg. No. FS 32989