

Rapport nr.: 2004.013		ISSN 0800-3416		Gradering: Åpen	
Tittel: Grunnvarmekartlegging i Asker og Bærum					
Forfatter: Kirsti Midttømme, Randi K. Ramstad, Arne Solli, Torbjørn Sørdal og Harald Elvebakk			Oppdragsgiver: Energiselskapet Asker og Bærum AS (nå Viken Energi AS)		
Fylke: Akershus			Kommune: Asker og Bærum		
Kartblad (M=1:250.000) Oslo			Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Asker, 1814 I		
Forekomstens navn og koordinater:			Sidetall: 44		Pris: kr 330,-
			Kartbilag:		
Feltarbeid utført: 1998-2003		Rapportdato: 26.02.2004		Prosjektnr.: 277108	Ansvarlig: <i>Jan S. Rønning</i>
Sammendrag: Geologien i området er avgjørende for om bruk av grunnvarme med energibrønn i fjell vil være et økonomisk lønnsomt alternativ. Tykke leir eller sandlag over fjell vil øke borekostnadene og berggrunnens egenskaper vil bestemme hvor mye energi som kan hentes ut per boremeter. Formålet med denne rapporten er å presentere geologisk informasjon og vise hvordan den informasjonen kan benyttes til å vurdere bruk av grunnvarme. Rapporten er inndelt i to hoveddeler der den første delen gir en oversikt over geologiske grunnvarmedata for Asker og Bærum og viser hvordan de kan benyttes til å finne antatt løsmassetykkelse og anbefalt boredyp . Den andre delen av rapporten viser hvordan den geologiske informasjonen er framskaffet og gir en detaljert rapportering av de geologiske undersøkelsene som er utført i forbindelse med prosjekt. Det er utført varmeledningsmålinger på 131 bergartsprøver fra Asker og Bærum. 10 borehull, inklusiv to på 500 m er undersøkt ved optisk videoinspeksjon og logging av temperatur, naturlig radioaktivitet og vannets ledningsevne. Termisk responstesting er utført i 8 energibrønner og geofysiske flymålinger, inklusiv kartlegging av radioaktiv stråling ble utført i Asker og Bærum sommeren 2003.					
Emneord: Grunnvarme		Varmeledningsevne		Borehullslogging	
Temperatur		Løsmassekartlegging		Varmestrøm	

INNHold

1.	INNLEDNING	5
2.	REGIONALE OVERSIKTER.....	6
2.1	Dyp til fjell (løsmassetykkelse).....	6
2.2	Anbefalt boredyp for energibrønn.....	7
2.2.1	Varmeledningsevne.....	11
2.2.2	Temperatur i grunnen	12
2.2.3	Varmestrøm.....	14
2.3	Permiske ganger.....	15
2.4	Kan jeg bruke grunnvarme fra en energibrønn i fjell?	16
3.	GEOLOGISK UNDERSØKELSER	17
3.1	Berggrunnsgeologien i Asker og Bærum.....	17
3.1.1	Generell geologi.....	18
3.1.2	Borehullslogger	19
3.1.2.1	Arnestad	21
3.1.2.2	Skaugum	23
3.1.2.3	Åstad	24
3.1.2.4	Borgen skole	25
3.1.2.5	EAB/Brynsveien 88A –bh1	27
3.1.2.6	Bryn Skole (Bh 3)	28
3.1.2.7	Staverhagan.....	29
3.1.2.8	Gullhaug skole	30
3.1.2.9	Sollihøgda	31
3.1.2.10	Småvatn	32
3.2	Berggrunnens varmeledningsevne.....	33
3.2.1	Prøver	33
3.2.2	Målemetode.....	35
3.2.3	Resultat.....	36
3.3	Termisk respons test	37
3.3.1	Resultat.....	40
3.3.2	Diskusjon.....	41
3.4	Temperatur i grunnen.....	41
3.5	Varmestrøm.....	42
4.	REFERANSER.....	44

FIGURER

Figur 1: Oversikt over løsmassetykkelse i Asker og Bærum kommune.	6
Figur 2: Andel energiforbruk fordelt over året.	7
Figur 3: Anbefalt boredyp for en energibrønn plottet mot berggrunnens varmeledningsevne.	10
Figur 4: Kart over antatt varmeledningsevne berggrunnen i Asker og Bærum.	11
Figur 5: Kart over temperatur i grunnen (T_g). Kartet viser antatt temperatur på 50 m dyp.....	13
Figur 6: Antatt varmestrom for Asker og Bærum.....	15
Figur 7: Bilde av en permisk gang (brun farge)	15
Figur 8: Permiske ganger i Bærum kommune.....	16
Figur 9: Et forenklet berggrunnsgeologisk kart over Asker og Bærum	17
Figur 10: Stratigrafisk søyle for de kambrosiluriske bergartene i Oslofeltet	19
Figur 11: Lokalisering og navnsetting av borehull hvor det er gjennomført geofysiske målinger.	20
Figur 12: Borehullenes plassering i den geologiske tidsskala.	21
Figur 13: Borehullsinformasjon fra det 500m dype borehullet ved Arnestad skole i Asker.	22
Figur 14: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Skaugum....	24
Figur 15: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Åstad.....	25
Figur 16: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Borgen	26
Figur 17: Overblikket synklinal. Blått illustrerer	26
Figur 18: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra EAB.....	27
Figur 19: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Bryn skole ...	28
Figur 20: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Staverhagan.	29
Figur 21: Loggedata fra det 500m dype borehullet ved Gullhaug skole i Bærum.	30
Figur 22: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra borehullet på Sollihøgda	31
Figur 23: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra Småvatn.....	32
Figur 25: Lokalitet og navnsetting av bergartsprøver innsamlet for måling av varmeledningsevne.	34
Figur 25: Apparat for måling av varmeledningsevne.....	35
Figur 26: Eksempel på varmeledningsmåling av prøve AB05P.	35
Figur 27: Målte varmeledningsevne til bergartsprøvene presentert som boksplokk.	36
Figur 28: NGUs termisk respons rigg under måling ved Bryn skole vinteren 2003.	37
Figur 29: Data fra TRT-måling i det 500m dype borehull ved Gullhaug skole.	38
Figur 30: Oversikt over energibrønner som er termisk respons testet vist på kart over antatt varmeledningsevne.	39
Figur 31: Varmeproduksjon i berartene i Asker og Bærum beregnet fra U-, Th- og K-innhold på overflaten.	43

1. INNLEDNING

Grunnvarme er energi lagret i grunnen. Denne energien kan utnyttes til oppvarming av hus og varmt vann. Uttak av grunnvarme skjer vanligvis fra borehull i fjell, også kalt energibrønner. En kollektorslange av plast monteres ned i et 100-200 meter dypt borehull. Kollektorslangen fylles med en frostvæskeblanding som sirkulerer og henter varme fra grunnen. Denne varmen kan nyttegjøres ved bruk av varmepumpe. Løsningen krever lite areal, og det eneste som synes på overflaten er et vanlig kumløkk.

Geologien i området er avgjørende for om bruk av grunnvarme med energibrønn i fjell vil være et økonomisk lønnsomt alternativ. Tykke leir- eller sandlag over fjell vil øke borekostnadene og fjellets egenskaper vil bestemme hvor mye energi som kan hentes ut per boremeter. Formålet med denne rapporten er å kunne presentere geologiske informasjon og vise hvordan den informasjonen kan benyttes til å vurdere bruk av grunnvarme og til riktig dimensjonering av en energibrønn.

Rapporten er inndelt i to hoveddeler:

Del 1 gir en oversikt over muligheten til å utnytte grunnvarme ved bruk av energibrønn i fjell, og del 2 viser hvordan den geologiske informasjonen er framskaffet samt en detaljert rapportering av de geologiske undersøkelsene som er utført i forbindelse med prosjektet.

Energialternativet med direkte bruk av opp-pumpet grunnvann er ikke omtalt i denne rapporten. Dette alternativet er ennå ikke vanlig for privatboliger her til lands. Dessuten er det begrensede områder i Asker og Bærum som er dekket med grove løsmasseavsetninger, og som er godt egnet for større grunnvannsuttak.

De geologiske undersøkelsene er utført i perioden 1998 –2003. Arbeidet er finansiert av det tidligere EAB AS (Energiselskapet Asker og Bærum) som nå er en del av Viken Energi AS. Rapporten tar også med resultater fra andre undersøkelser NGU har utført i Asker og Bærum.

NGUere som har deltatt i prosjektet er:

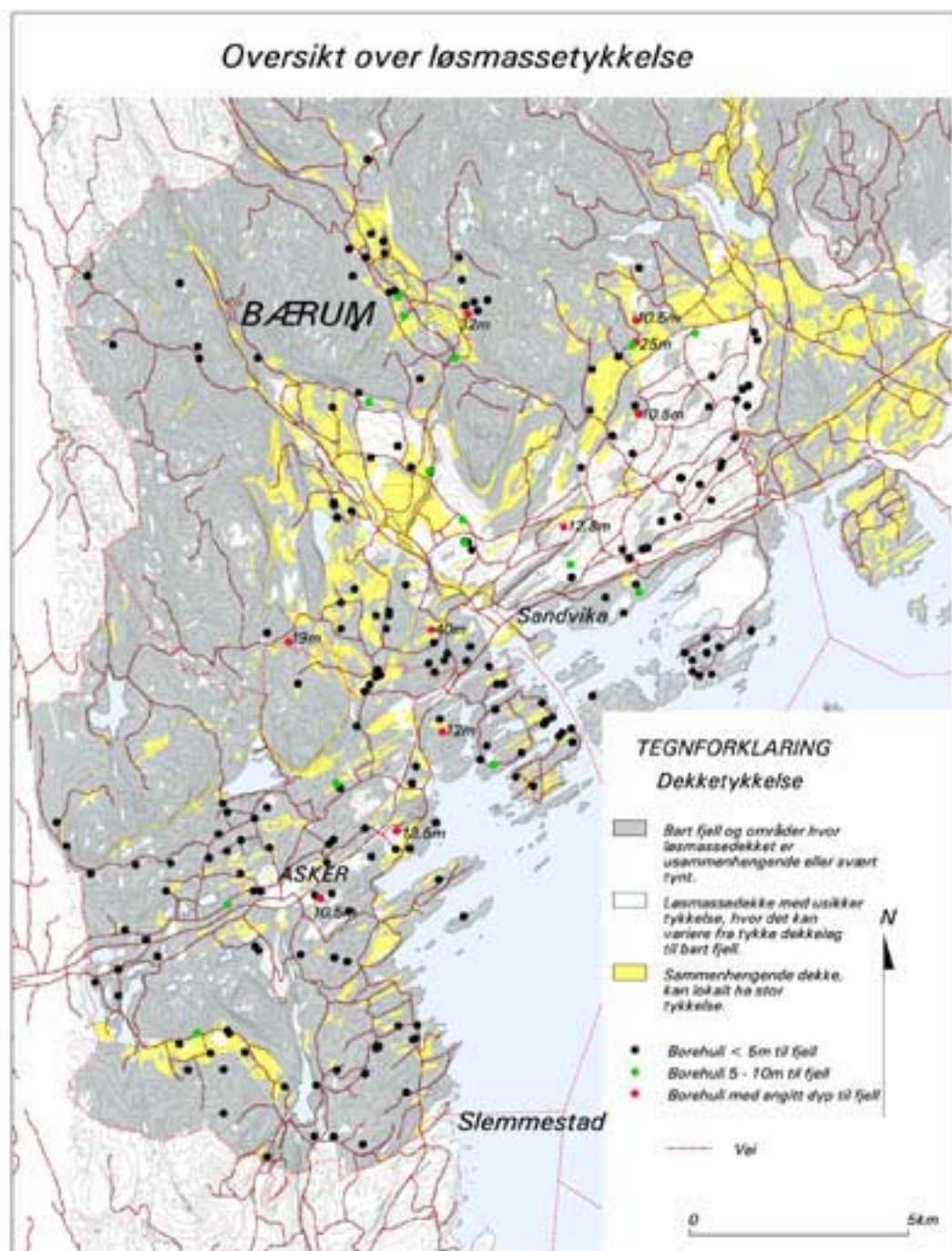
Harald Elvebakk	borehullslogging
Janusz Koziel	måling av varmeledningsevne og termisk respons testing
Kirsti Midttømme	prosjektleder, varmeledningmålinger
August Nissen	prøvetaking berggrunnsprøver
Øystein Nordgulen	berggrunnsgeolog
Odleiv Olesen	analyse av flymålinger, varmestømskart
Randi K. Ramstad	bearbeiding av data, termisk respons testing
Erik Prytz Reitan	internettpresentasjon
Helge Skarphagen	grunnvarmekonsulent
Trond Slagestad	berggrunnsgeolog
Arne Solli	berggrunn, tolking av opptak av optisk televiwer
Torbjørn Sørdal	kartframstilling
Bjørn Wissing	preparering varmeledningprøver

I tillegg har følgende studenter fra NTNU deltatt i prosjektet.

Even Brekke	termisk respons testing
Jo Nordstrand	innsamling bergartsprøver

2. REGIONALE OVERSIKTER

2.1 Dyp til fjell (løsmassetykkelse).



Figur 1: Oversikt over løsmassetykkelse i Asker og Bærum kommune.

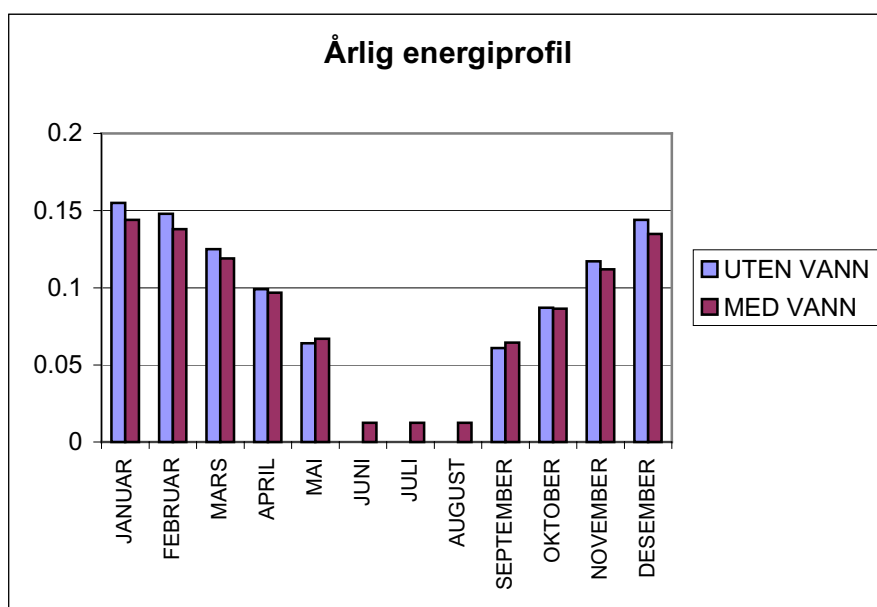
Tykke løsmasser (dvs sand, grus og leire) over fjellet vil øke borekostnadene fordi slike masser må sikres for ras. Sammenlignet med fjell har leire og sand isolerende egenskaper slik at det er lite energibidrag fra boremeterne i løsmassene. Figur 1 viser oversikt over løsmassetykkelse i Asker og Bærum. Kartet er basert på kvartærgeologisk kart (Nordahl-Olsen, T., 1987) I tillegg er "dyp til fjell" data fra brønnboringsdatabasen ved NGU benyttet.

Det er ofte store lokale variasjoner i løsmassetykkelse, og kart og datagrunnlaget er for dårlig til å kunne gi eksakte opplysninger om dyp til fjell. Det er ment å være en oversikt over de områder der det med stor sannsynlighet er tykke løsmasser. Det kan helt lokalt forekomme tykke løsmasser også i områder som er avmerket med grått.

2.2 Anbefalt boredyp for energibrønn

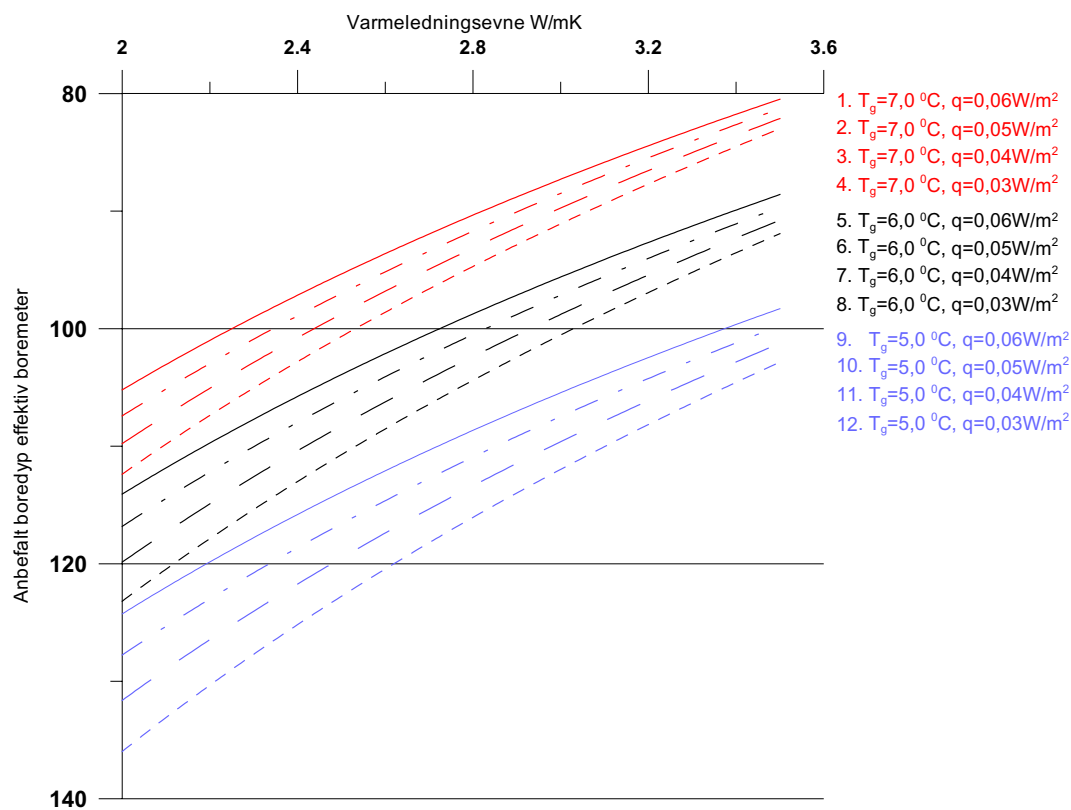
Hvor mye energi som kan hentes ut fra en energibrønn avhenger av berggrunnens termiske egenskaper. Viktige egenskaper er varmeledningsevne, temperatur og termisk gradient. Den termiske gradienten er bestemt av varmestrøm, som igjen er bestemt av berggrunnens radioaktive innhold.

Anbefalt boredyp for en hvilken som helst energibrønn i Asker og Bærum kan bestemmes fra Figur 3. Eneste forutsetning er at boligens energibehov (15 000, 20 000 eller 25 000 kWh/år), og de lokale verdiene for varmeledningsevne (Figur 4), temperatur i grunnen (Figur 5) og varmestrøm (Figur 6) er kjent. I Figur 3 er anbefalt boredyp plottet mot varmeledningsevne for 12 forskjellige alternativer med hensyn på temperatur i grunnen (T_g) og varmestrøm (q). Grafene er utarbeidet for 5 forskjellige energialternativ: 15 MWh, 20 MWh og 25 MWh pr år. For 20 og 25 MWh er det utarbeidet to alternativer et med oppvarming av rom og et med rom- og varmtvanns oppvarming. For det siste alternativet vil anlegget også benyttes i sommermånedene. Forskjellen på de to oppvarmingsalternativene er vist i Figur 2.

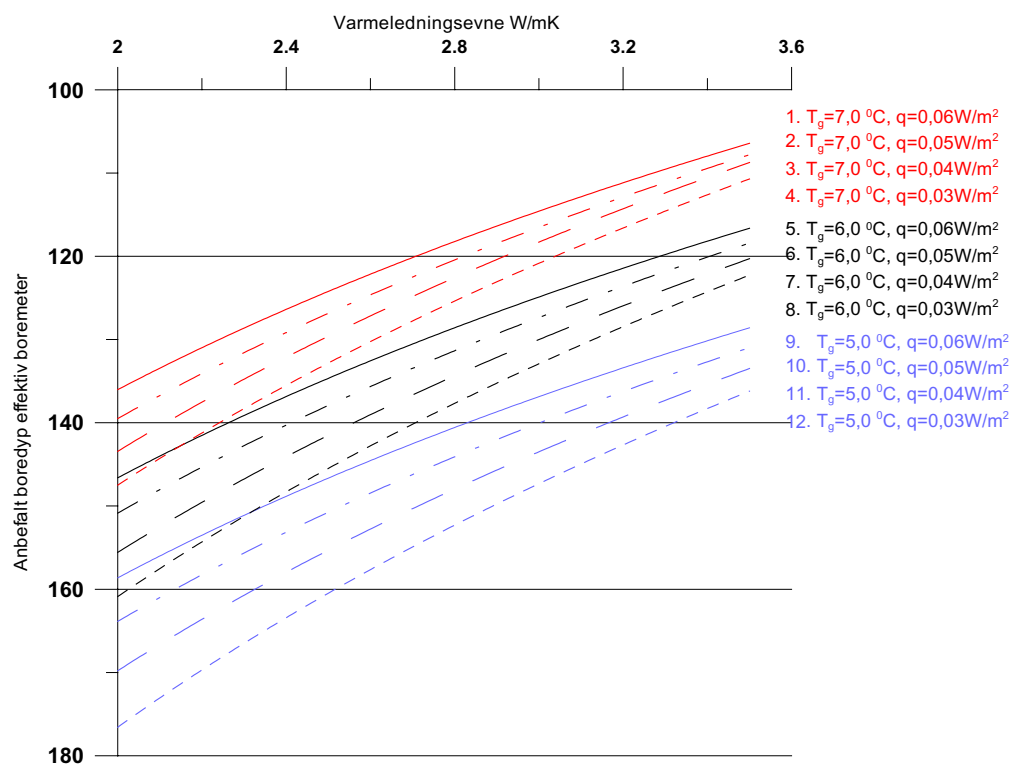


Figur 2: Andel energiforbruk fordelt over året. Søylen viser andel energiforbruk per måned av totale årlige energiforbruket. Blåe søyler er antatt energifordeling for et grunnvarmeanlegg som benyttes kun til oppvarming av huset. Røde søyler viser antatt energiforbruk for et anlegg som benyttes både til oppvarming av hus og varmtvann.

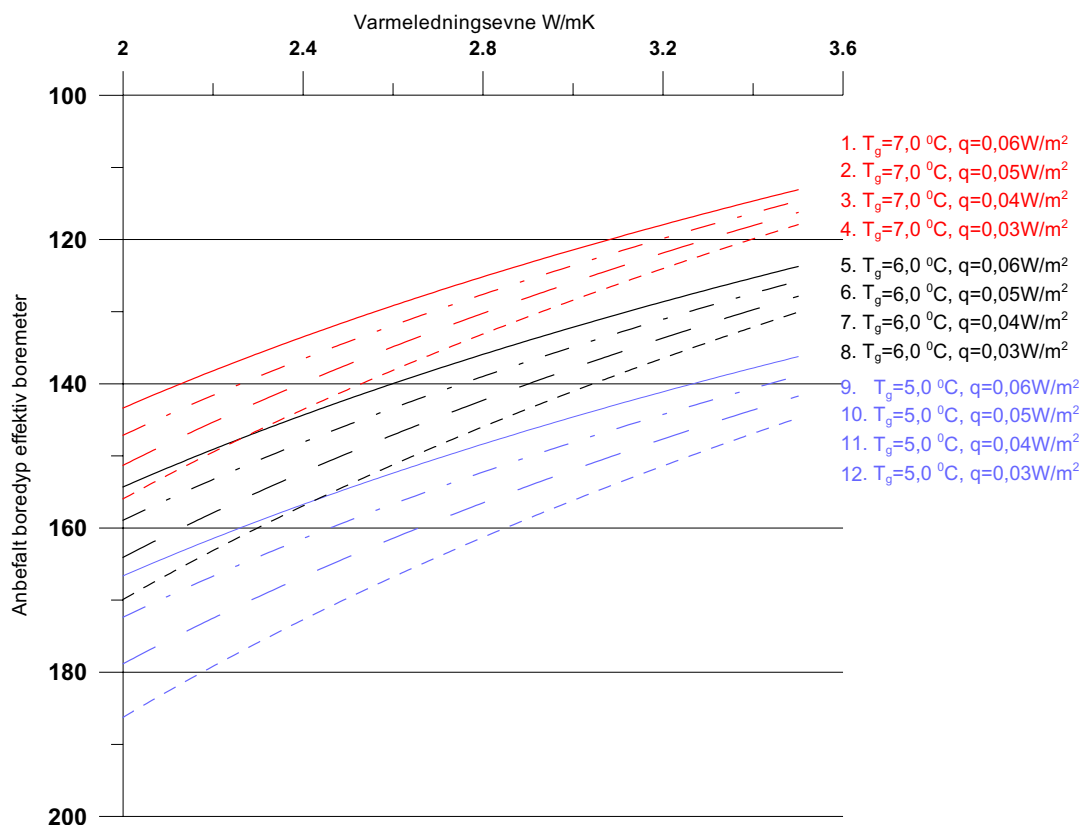
Årlig energiforbruk 15 MWh med varmt vann



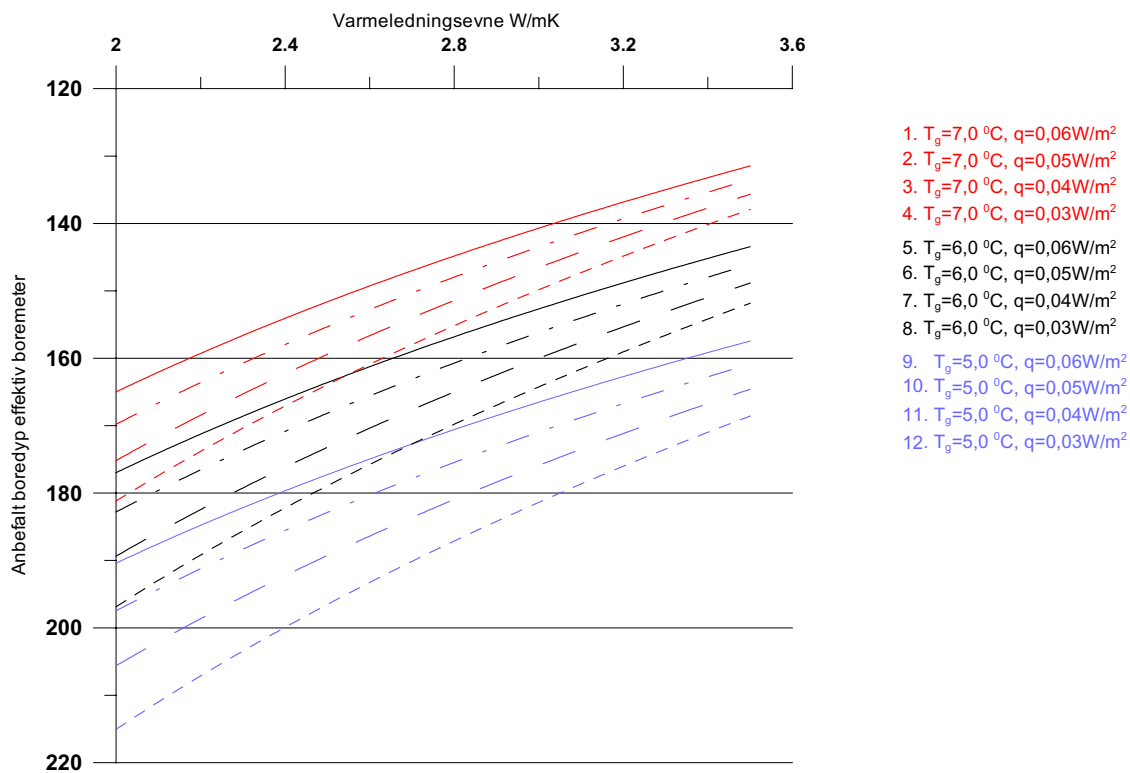
Årlig energiforbruk 20 MWh med varmt vann



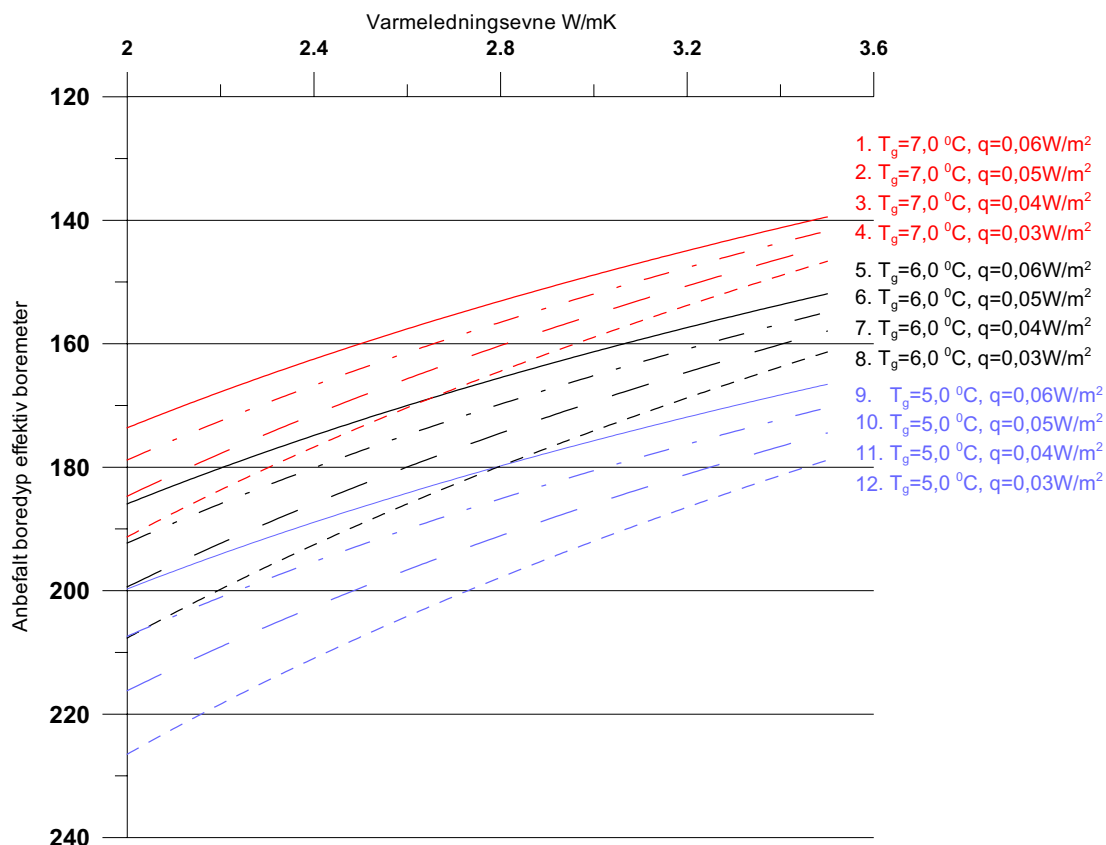
Årlig energiforbruk 20 MWh ikke inkl oppvarming av tappevann



Årlig energiforbruk 25 MWh med varmt vann



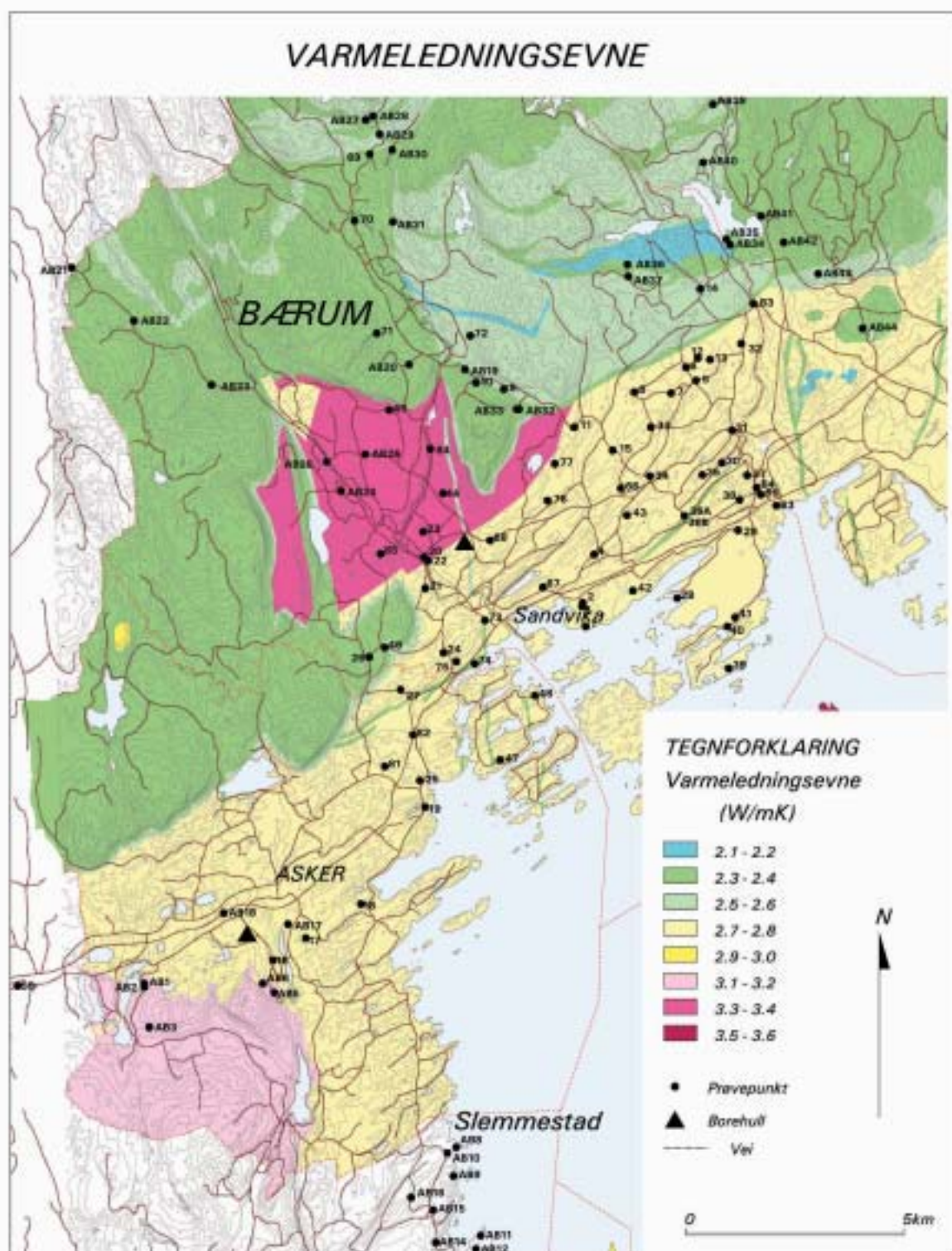
Årlig energiforbruk 25 MWh ikke inkl oppvarming av tappevann



Figur 3: Anbefalt boredyp for en energibrønn plottet mot berggrunnens varmeledningsevne. De 12 linjene viser variasjoner i boredyp ved variasjoner i varmestrøm og temperaturen i grunnen. De forskjellige grafene (figur 3a-e) viser anbefalt boredyp ved forskjellige energiforbruk og energiprofil. Effektive boremeter er boremeter under grunnvannsspeilet, dvs vannfylte boremeter.

Utrekningene som figur 3 er basert på, er utført med programmet Earth Energy Design (EED. Versjon 2). Det er et program for dimensjonering av energibrønner og større energilagere. Simuleringene er gjort for det som antas å være en standard energibrønn dvs en brønn med diameter 140 mm (5 1/2") med en 40 mm enkel U kollektor fylt med 25% etanol (med frysepunkt $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Som temperaturbegrensning er det satt at minimumstemperaturen i borehullet ikke skal underskride $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ i løpet av de første 25 årene anlegget er i drift.

2.2.1 Varmeledningsevne



Figur 4: Kart over antatt varmeledningsevne berggrunnen i Asker og Bærum. Kartet er basert på varmeledningmålinger utført på bergartsprøver og tilgjengelige berggrunnsgeologiske kart. Prøvelokaliteter er avmerket på kartet.

Berggrunnens varmeledningsevne er et mål på hvor godt berggrunnen leder varme. Godt ledende bergarter er gunstig med hensyn på energiuttak fra fjell. Ifølge simuleringene presentert i figur 3 anbefales det å bore 30 % dypere brønner i fjell med varmeledningsevne 2,0 W/m·K enn i berggrunn med varmeledningsevne 3,6 W/m·K.

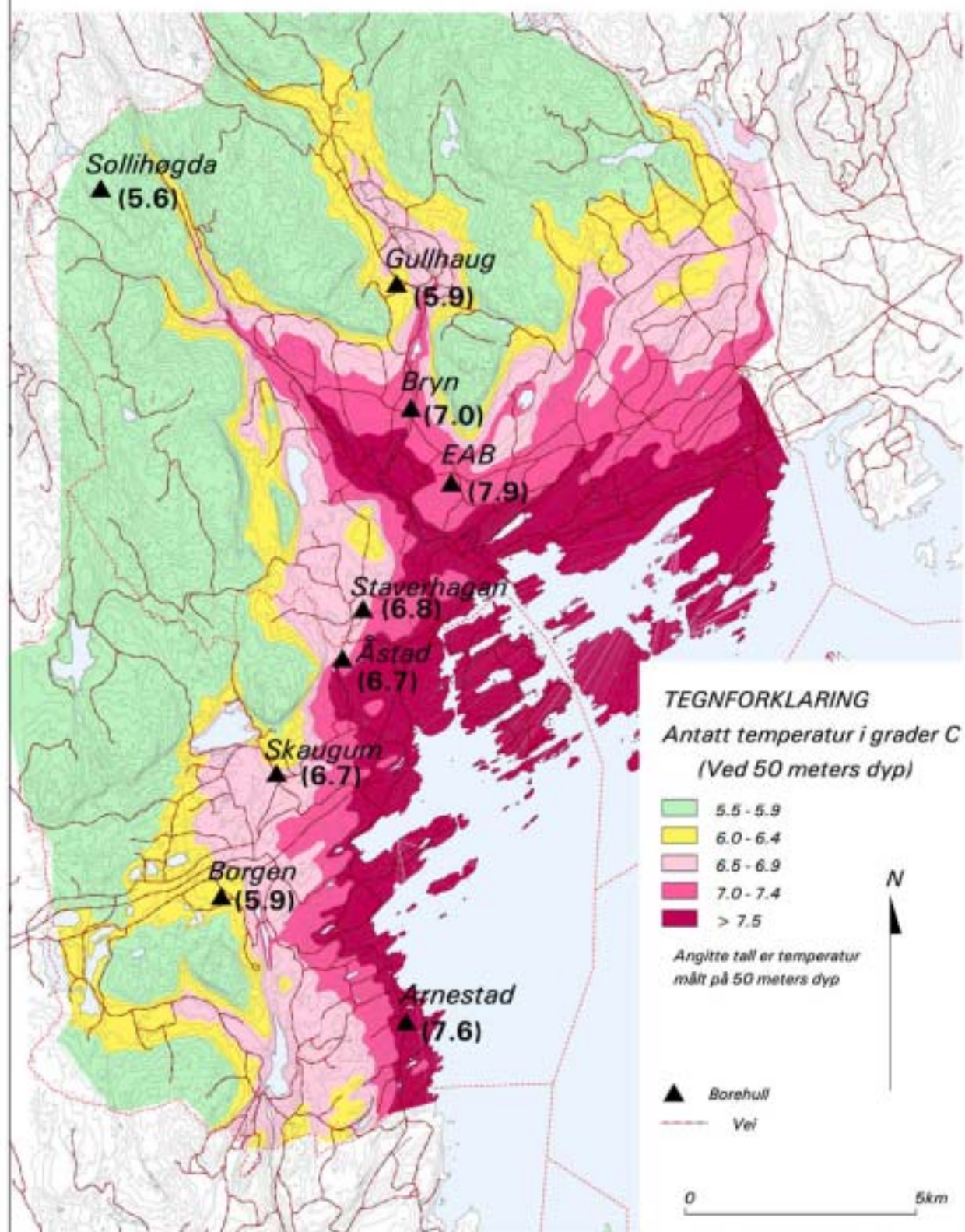
Berggrunnens varmeledningsevne er bestemt av bergartenes mineralogiske sammensetning og berggrunnens struktur. Basert på varmeledningmålinger og berggrunnskart (Naterstad m.fl., 1990) er det utarbeidet et varmeledningsskart over Asker og Bærum (Figur 4). Berggrunnsgeologien og varmeledningssmålingene er nærmere omtalt i kapittel 3.

2.2.2 Temperatur i grunnen

Temperaturen i grunnen (T_g) er et mål på hvor mye varme som er magasinert. Det er vanlig å anta at temperaturen i grunnen er en til to grader høyere enn midlere lufttemperatur gjennom året. På 20 – 30 m dyp vil temperaturen være stabil og uavhengig av årstidsvariasjoner. I bebygde strøk vil menneskelig aktivitet også påvirke temperaturen i grunnen. Vi har derfor valgt å benytte temperaturen i grunnen på 50 m dyp som standardverdi for T_g .

En oversikt over antatt temperatur i grunnen er vist i figur 5. Kartet er sammenstilt ut fra temperaturlogging i borehullene avmerket på kartet (se også avsnitt 3.1.2) og temperatursonene bestemt ut fra høyde over havet. Det presiseres at kartet er basert på et lite datamateriale slik at de antatte verdier vil være relativt usikre.

Tolkningskart temperatur/topografi

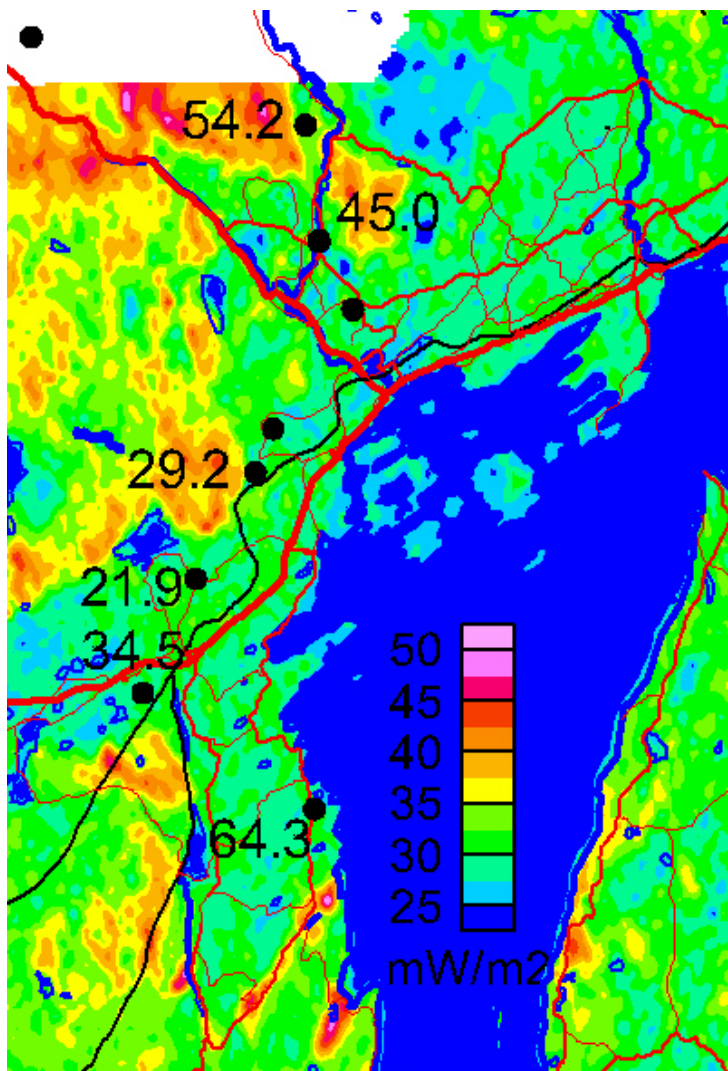


Figur 5: Kart over temperatur i grunnen (T_g). Kartet viser antatt temperatur på 50 m dyp.

2.2.3 Varmestrøm

Varmestrøm (q) er energibidraget fra jordas indre på grunn av spalting av radioaktive elementer i jordskorpa og i mantelen. Høy varmemstrøm vil medføre høy temperaturøkning med dypet. Varmestrømmen er i hovedsak bestemt av berggrunnens innhold av de radioaktive elementene av uran, thorium og kalium. Ut fra flymålinger av radioaktiv stråling samt temperaturlogging er det utarbeidet en oversikt over varmemstrøm (Figur 6). De angitte verdiene på kartet er beregnede varmemstrømsverdier basert på borehullslogging og varmeledningsmålinger. Se ellers avsnitt 3.5 for detaljer.

De to laveste verdiene (Åstad: $29,2 \text{ mW/m}^2$ og Skaugum: $21,9 \text{ mW/m}^2$) er beregnet fra 100m dype borehull. Det antas at temperaturgradienten i disse hullene er påvirket av klimaeffekter, og derfor er noe lavere enn den upåvirkede temperaturgradienten i området. Den høye varmemstrømsverdien på Arnestad ($64,3 \text{ mW/m}^2$) skyldes sannsynligvis et 100 m tykt lag med radioaktiv alunskifer på 350 m dyp. Varmestrømsverdiene i figur 6 er oppgitt i mW/m^2 ($0,001 \text{ W/m}^2$) mens varmemstrøm i Figur 3 er oppgitt i W/m^2 .



Figur 6: Antatt varmemstrøm for Asker og Bærum. Kartet er basert på beregninger vist i avsnitt 3.5. Angitte verdiene på kartet er varmemstrømsverdier beregnet fra temperaturlogging og varmeledningsmålinger.

2.3 Permiske ganger

Berggrunnen i Bærum kommune er rik på permiske ganger. Permiske ganger er mørke og i noen tilfeller lyse ganger, fra 1-15 meter tykke, som skjærer gjennom de øvrige bergartene, vanligvis i nord-sørgående retning. Gangene består gjerne av harde bergarter. Det gjør at de kan stikke opp av terrenget. Gangbergartene har vanligvis lav varmeledningsevne og langs gangene kan det være høy grunnvannstrømning. Det kan være vanskelig å bore i eller like ved en permisk gang, og der det er mulig, bør ikke energibrønnen plasseres i eller like ved en slik gang.



Figur 7: Bilde av en permisk gang (brun farge)

Kart over permiske ganger i Bærum er vist i figur 8. Kartet er basert på gamle registreringer og kan være noe unøyaktig. Det finnes sannsynligvis også flere ganger som ikke er registrert. Hvis man planlegger boring av en energibrønn i Bærum kommune kan det være nyttig å ta en kikk på fjellblotninger i nærområdet for å se om det er noen permiske ganger som kan gå gjennom eiendommen.



Figur 8: Permiske ganger i Bærum kommune.

2.4 Kan jeg bruke grunnvarme fra en energibrønn i fjell?

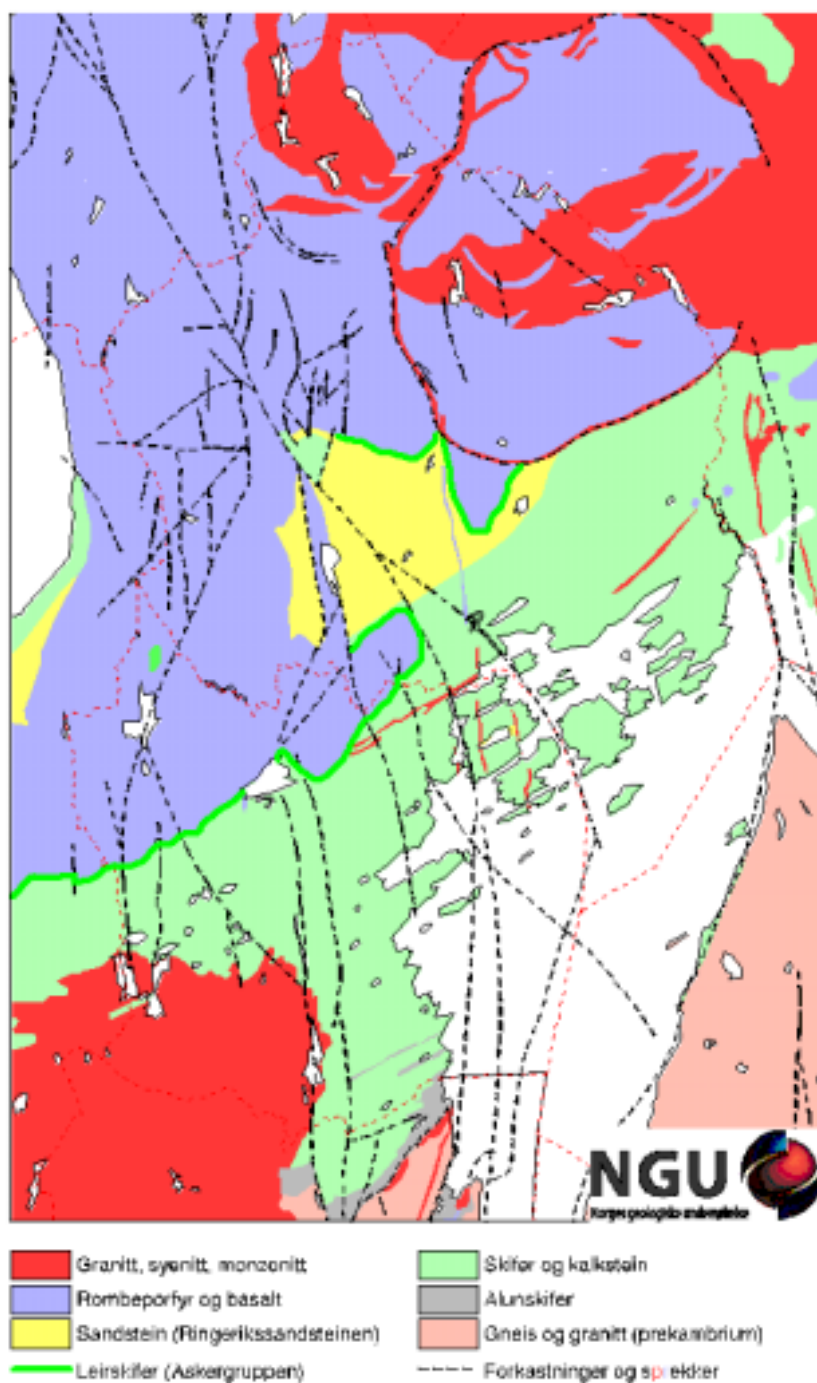
Det er mange faktorer som avgjør hva som er det beste energialternativet, og i denne rapporten er det kun fokusert på de geologiske forholdene som er avgjørende for kostnader og energiuttak fra et borehull i fjell. Den viktigste geologiske faktoren er løsmassmektigheten eller dyp til fjell. Hvis det kan være mer enn 50 meter ned til fjell, vil man ha en betydelig ekstrakostnad ved boring av brønnen. I tillegg vil man også ha en ekstra driftskostnad ved å sirkulere frostvæska gjennom de ekstra boremeterne. I positiv retning vil mektige løsmasser isolere berggrunnen, slik at man vanligvis vil ha høyere temperatur i berggrunnen, spesielt under tykke leiravsetninger.

Borekostnadene vil avgjøre lønnsomheten i et grunnvarmeanlegg. Kunnskap om løsmassetykkelse og anbefalt boredyp vil gi sikrere anslag over borekostnader og dermed bedre oversikt over lønnsomheten i å investere i et grunnvarmeanlegg.

3. GEOLOGISK UNDERSØKELSER

3.1 Berggrunnsgeologien i Asker og Bærum

Forenklet berggrunnsgeologisk kart over Asker og Bærum



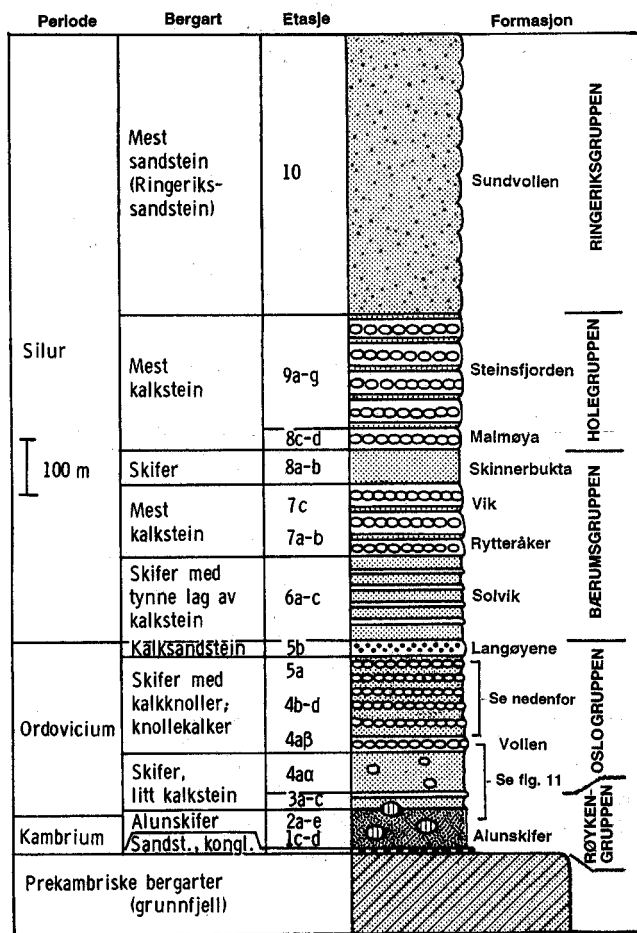
Figur 9: Et forenklet berggrunnsgeologisk kart over Asker og Bærum som viser fordelingen av de forskjellige bergartene.

3.1.1 Generell geologi

Bergartene i Oslo-området er dannet i tre forskjellige tidsepoker (Figur 9): I urtiden (prekambrium) for 1200-1500 millioner år siden ble det dannet gneiser og granitter som danner underlaget for de yngre bergartene. I kambrosilurtiden (550-400 millioner år) ble det avsatt skifer og kalkstein oppå dette gneisunderlaget. Nederst i skiferlagrekken finnes alunskifer, mens det øverst oppe ligger en kvartsrik sandstein (Ringerikssandsteinen). I perm-tiden (250-300 millioner år) fikk en dannet store mengder vulkanske bergarter (rombeporfyr) som til slutt ble gjennomvannet av granitter.

Gneisunderlaget kommer ikke til syne i dagen noen steder i Asker eller Bærum, men i dype borehull kan man treffe på gneisbergarten, særlig helt sør i Asker. Kambrosilur-lagrekka kan deles ytterligere inn i underenheter med formasjonsnavn (Figur 10). Denne inndelingen er hovedsakelig gjort etter fossilinnhold, men hver enhet inneholder også bestemte bergartstyper som gjør at enhetene delvis kan gjenkjennes selv i borehull. I bunnen av de kambrosiluriske bergartene finnes svarte, karbonholdige skifer (den såkalte alunskiferen) som kan være sterkt radioaktiv. Mektigheten av alunskiferen er 30 – 100 meter. Over alunskiferen finner man en veksling av skifer og kalkstein, og svært karakteristisk en type bergart der kalken forekommer som linser i skiferen, såkalt knollekalk. Stort sett er det slik at bergartene blir mer kalkrike jo høyere opp i lagrekken en kommer. Tykkelsen på skifer- og kalkdelen av lagrekken var cirka 500 meter da den ble avsatt.

Tykkelsen er størst i nord, og alle lagene kan gjenkjennes ved hjelp av fossiler. Hele lagpakken med kambrosiluriske skifer- og kalkbergarter opptrer i dag sterkt foldet og sammenskjøvet slik at tykkelsen, på grunn av interne repetisjoner, kan være mange ganger det den opprinnelig var da den ble avsatt. I nord ligger det et område med sandsteiner (Ringerikssandsteinen), som er relativt harde i forhold til skifer- og kalkbergartene under. Sandsteinene er ikke foldet i tilsvarende grad som resten av lagene, og tykkelsen kan være opptil 1000 meter.



Figur 10: Stratigrafisk søyle for de kambrosiluriske bergartene i Oslofeltet (Dons, 1996).

Over den kambrosiluriske lagrekken ligger det et tynt, flatliggende lag av røde leirskifre med skifer, sandstein og konglomerat som kalles Askergruppen. Tykkelsen av laget er 50 meter. Askergruppen er avsatt i sen karbon, etter foldningen av de underliggende bergartene. Skifrene i Askergruppen forvitrer svært lett og finnes bare blottet under enkelte brattkanter som Kolsås og Skaugumsåsen.

Over Askergruppen er det en serie av lavabergarter. Disse bergartene ble dannet under en vulkansk periode i permiden der lavastrømmer rant utover lagene i Askergruppen. Lavabergartene er mye hardere enn de andre bergartene og framkommer som en markert brattkant i terrenget (f. eks. Skaugumsåsen, Kolsås etc). Nederst i lavalagrekken er det et lag av mørk basalt. Basalter kan også forekomme lenger opp i serien, men for det meste består lavaene av såkalte rombeporfyre. Senere har berggrunnen blitt gjennomvannet av dyppergarter som granitt, syenitt (nordmarkitt) og monzonitt (larvikitt). Dyppergartene forekommer særlig i nord og vest, og ellers bare som tynne ganger i de sentrale delene av Asker og Bærum.

3.1.2 Borehullslogger

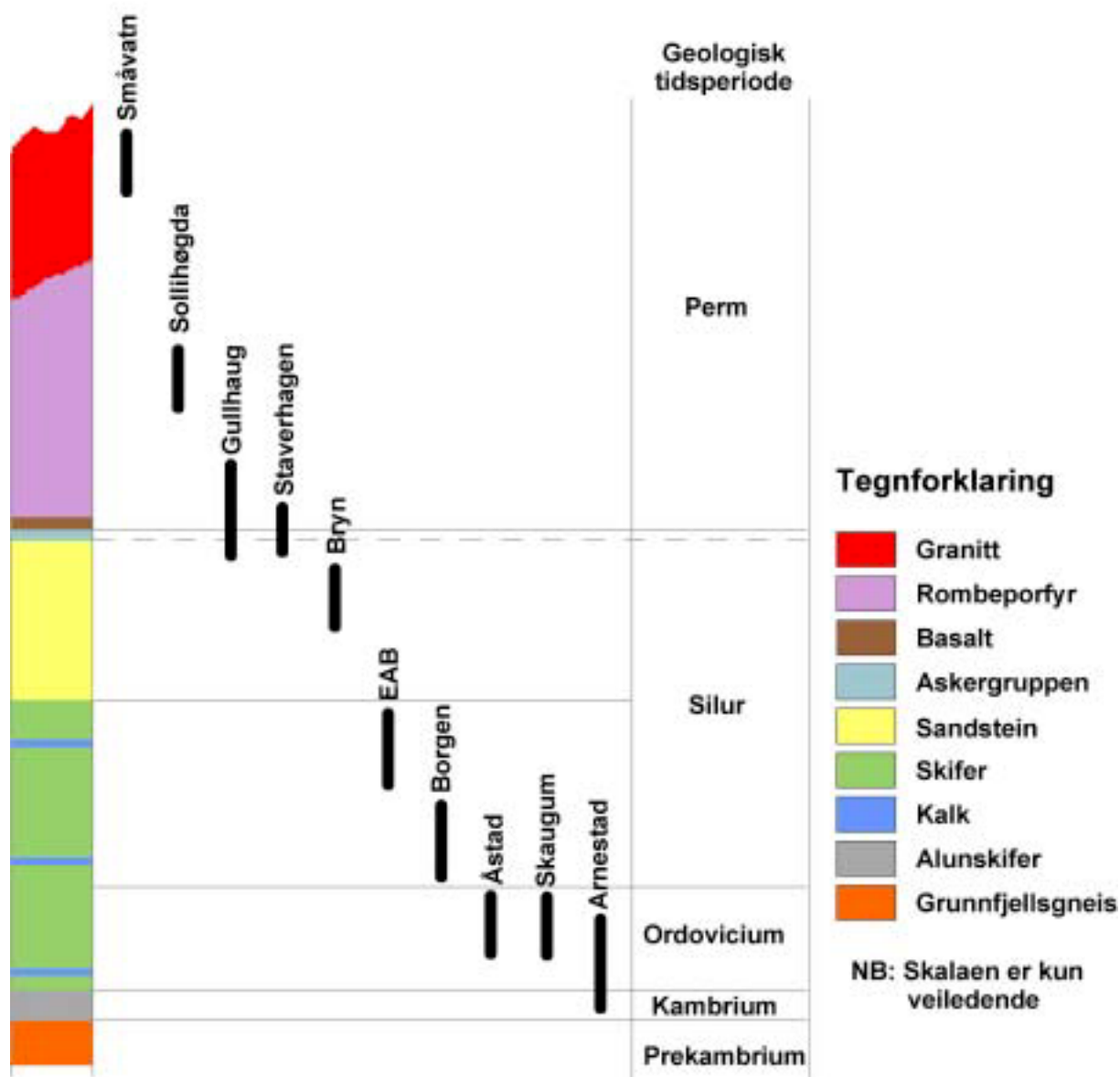
I det følgende gis en beskrivelse av berggrunnen i hvert borehull samt informasjon om temperatur, og grunnvannstrømning. Informasjonen er innhentet ved logging med optisk televiewer (videokamera) og logging av temperatur, vannets elektriske ledningsevne og naturlig radioaktiv stråling.

Geofysiske målinger i borehull Grunnvarmeprosjektet i Asker og Bærum



Figur 11: Lokalisering og navnsetting av borehull hvor det er gjennomført geofysiske målinger.

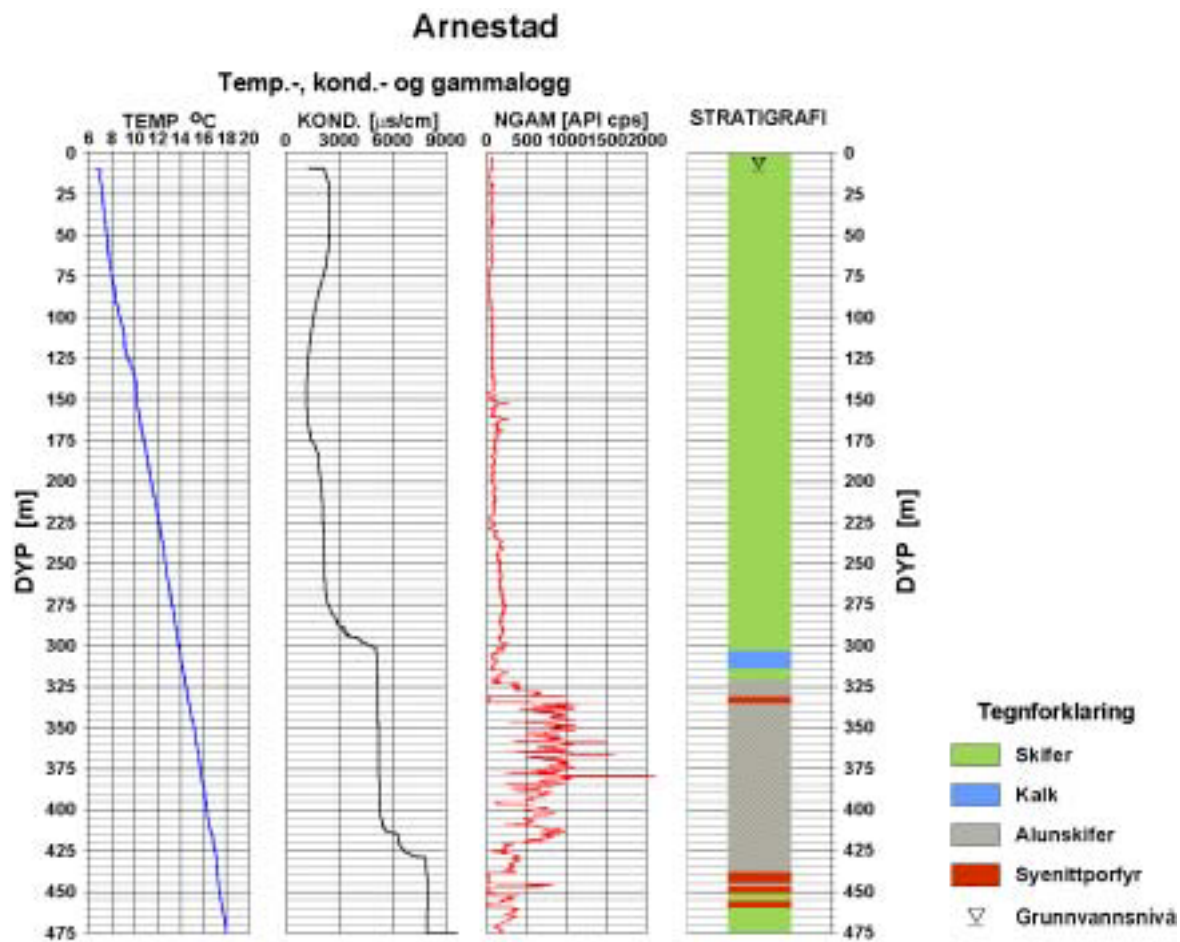
Borehullenes plassering i bergartsrekkefølgen



Figur 12: Borehullenes plassering i den geologiske tidsskala.

3.1.2.1 Arnestad

Hele televiever opptaket fra det 500 m dype borehullet ved Arnestad skole er mørkt og uklart. Årsaken til dette er trolig at det finnes alunskifer på 320 m dyp i borehullet. Alunskiferen inneholder svært mye finkornet grafitt som trolig blir dratt opp med vannet og setter seg på veggen i borehullet og gjør observasjoner vanskelig. I tillegg er dette langt ned i den kambrosiluriske lagrekka (se figur 12) der det overveiende er skifere som vil framtre som en mørk masse på opptaket.



Figur 13: Borehullsinformasjon fra det 500m dype borehullet ved Arnestad skole i Asker.

Grunnvannsspeilet er på 8,9 m dyp. På grunn av løsmasseoverdekning er det foringsrør helt ned til 18 m. Bergarten under 18 m er en skifer med kalkspatknoller. Lagene er flatliggende og av og til observeres hvite årer som trolig er sprekker fylt med kalkspat. Ved 37 m er det slutt på knollene og bergarten blir mer lagdelt med utydelige lag på 10-50 cm. Fra 71 m blir bergarten gradvis lysere og har uregelmessige hvite flekker. Ledningsevnen avtar gradvis fra dette nivået. Det antas at bergarten blir mer kalkspatholdig. Fra 95 m blir bergarten gradvis mørkere og ved ca 115 m helt svart. Noen lysere partier er synlig fra 136,5 m dyp og fra 145 m blir bergarten markert lysere, noe som tolkes som økt innhold av kalkspat. Ledningsevnen viser en markert nedgang helt til 150 m der den igjen begynner å øke. Gammaloggen gir to markerte utslag ved 153 m og 163 m. Begge disse utslagene antas å være partier av karbonholdige skifere med økende uraninnhold (som i alunskiferen) inne i det karbonatrike partiet. Mellom 115 m og 140 m er det visse uregelmessigheter på temperaturkurven. Det er usikkert hva det skyldes, men det er ingen spesielle observasjonene knyttet til stratigrafien i forbindelse med temperaturutslagene.

Etter 150 m blir også nivået på gammastrålingen noe høyere, noe som indikerer mer karbon (økende uraninnhold) i bergarten. Dette nivået holder seg helt til rundt 225 m hvor det er to kraftige dropp i gammaloggen på grunn av to kalkbenker på noen meter. Etter det blir nivået ennå noe høyere, men bergarten er her så mørk at det er vanskelig å se noe. Ensformigheten blir bare avbrutt av antydninger til noen få kalkbenker.

Vannets elektriske ledningsevne øker sterkt fra 275 m, men dette kan vanskelig spores på utseendet av bergarten. Fra ca. 300 m blir lagningen igjen godt synlig som form av mørkere og lysere lag. Et lyst parti mellom 304-314,7 m skyldes trolig den såkalte ortocer-kalken som er et markert ledehorisont over hele Oslo-feltet. Etter 315 m blir bergarten gradvis mer mørk, og gammastrålingen øker sterkt på

grunn av alunskiferens uraninnhold. Dette er uten tvil overgangen til alunskiferen. Mellom 330,8 m og 334,8 m er et lyst, massivt lag der gammastrålingen dropper til nesten ingen ting. Dette er trolig en gang av det som i Oslo-feltet går under navnet mænaitt (etter tjernet Mæna på Hadeland). Det er en finkornet bergart som består av kalifeltspat og kvarts. Denne typen bergart opptrer svært vanlig i overgangen mellom alunskifer og skifrene over. Etter dette blir opptaket så mørkt at det er vanskelig å tolke det visuelt. Mellom 330-420 m skyldes det at en går gjennom pakken med alunskifer som er mørk og ensartet. Fra 419 m er det igjen så vidt mulig å se lagning i bergarten. Gammaloggen synker kraftig fra dette nivået. Dette betyr trolig at en er kommet under alunskiferen. Opptaket er fortsatt meget mørkt, men dette skyldes antagelig at det fortsatt er mye karbon i vannet fra alunskiferen over. Mellom 438,3-445,3 m, 447,4-452,7 m og 456-459,7 m er det igjen lysere partier i skiferen der gammaloggen dropper til et svært lavt nivå. Dette skyldes trolig gangbergarter av noe slag, men det er ikke mulig å si hvilken type dette er.

Den egentlige tykkelsen på alunskiferen er bare ca. 70 meter. På grunn av foldning og forkastninger er den blitt fortykket mange ganger. Det er også mulig at den kan ha blitt skjøvet over bergarter som opprinnelig lå over den. Om borehullet hadde fortsatt dypere er det mulig at en på nytt hadde kommet over i alunskifer. I motsatt fall må en befinne seg like over kontakten til grunnfjellet. Profilet stopper på 474m.

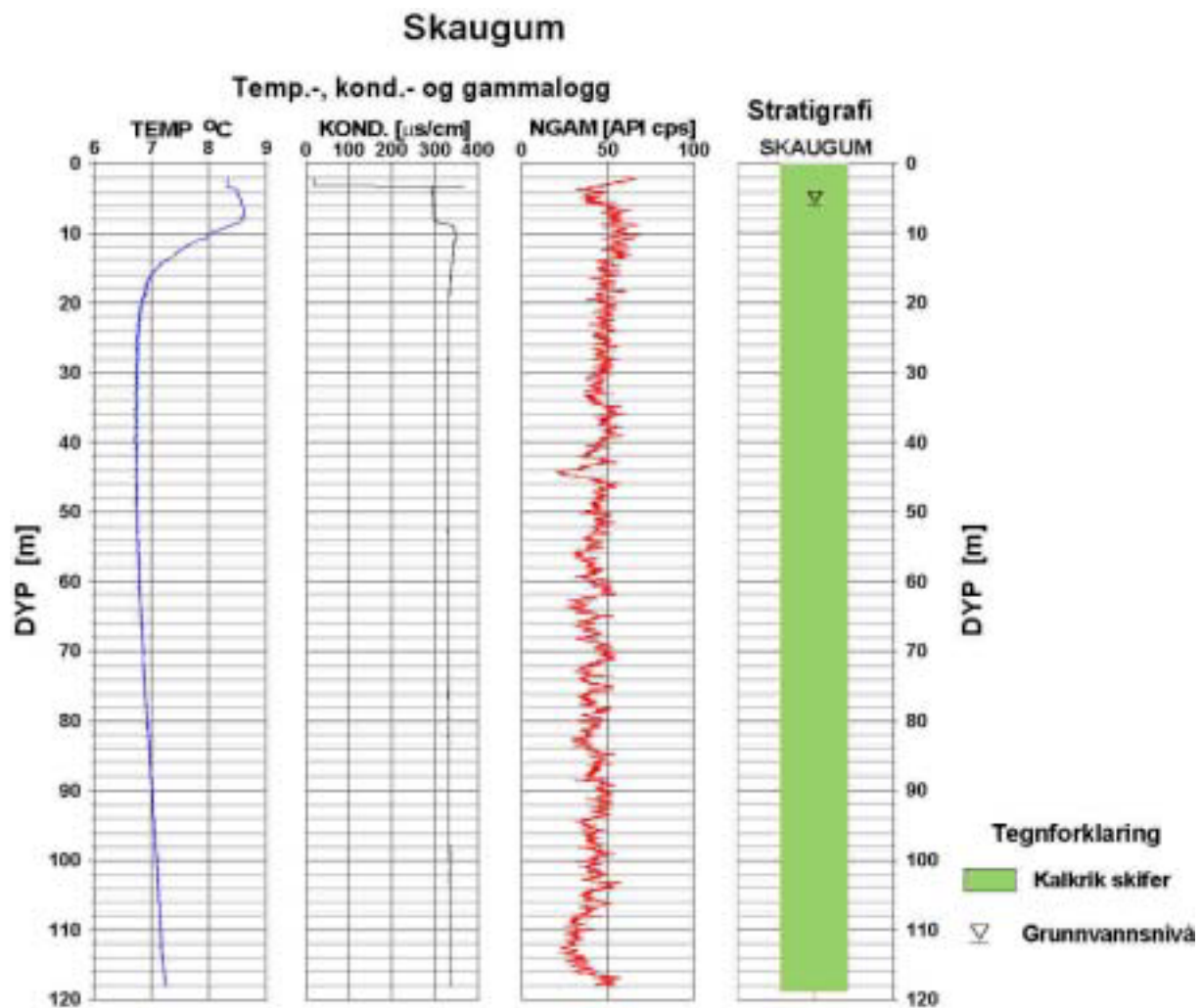
Nivået på elektrisk ledningsevne er i dette hullet langt over nivået til de andre hullene (Figur 13). Bare mellom ca 100-175 m ligger elektriske ledningsevnen under $500\mu\text{S}/\text{cm}$, mens den i de andre borehullene aldri når over $400\mu\text{S}/\text{cm}$ og vanligvis ligger rundt $200\mu\text{S}/\text{cm}$. Det er to alternative forklaringer på de høye verdiene for ledningsevnen i vannet i borehullet i Arnestad. Borehullet ligger ca 400 m fra fjorden og under 20 m høyere enn havnivået. Det er sannsynlig at grunnvannet i brønnen er påvirket av salt sjøvann. Den andre forklaringen er den 120 m tykke alunskiferen på 350 m dyp. Det er en mulighet for at alunskiferen har ført til mye grafitt i suspensjon i brønnen eller at grafitten har blitt smurt ut over veggene i borehullet, og at det er årsak til forhøyede verdier for elektrisk ledningsevne i hele brønnen.

Gjennomsnittlig temperaturgradient fra 55 m til bunnen av hullet er $2,5\text{ K}/100\text{ m}$. Hullet er satt på som loddhull men flater ut fra ca 250 m slik at det vertikale dyp i bunnen er ca 450 m. Tar en hensyn til dette øker temperaturgradienten til ca $2,8\text{ K}/100\text{ m}$ i den nederste del (250 – 475 m) av hullet. Dette antas å skyldes alunskiferens innhold av radioaktive elementer (uran) og er over gjennomsnittet for norske forhold. Forholdsvis høy temperatur dagnært (7°C ved 20 m dyp) kan skyldes et 16–17 m tykt isolerende leirlag over fjelloverflaten.

3.1.2.2 Skaugum

Videoinspeksjonen av borehullet ved Skaugum er mørkt og uklart noe som gjør det vanskelig å tolke bergartene. Borehullet faller med en vinkel på 60° mot nord. Vannspeilet står ved 3,3 m mens foringsrøret slutter ved 6,3 m. Bergarten under foringsrøret er en mørk skifer der det er boret mer eller mindre parallelt med lagflaten. Det er mulig at borehullet noen steder kan skjære samme lag uten at dette er mulig å dokumentere det fordi bergarten er såpass ensformig. Fra ca 80m er bergarten lysere, noe som trolig skyldes større innslag av kalk. Her ser det også ut til at bergarten flater noe ut. Strømningsmålinger utført i borehullet (Dalsegg m.fl., 2003) gir en antatt vanngiverevne på 2100 l/time. Innstrømningen skjer hovedsakelig fra 5 sprekker mellom 38 og 66 m dyp.

Temperaturen er høyest øverst i hullet ved ca 7 m, $8,5^\circ\text{C}$, og skyldes trolig årstidsvariasjon i de øverste 20 m. Temperaturen ved 50 m er $6,7^\circ\text{C}$ og temperaturgradienten er $0,8\text{ K}/100\text{ m}$ hvilket er under gjennomsnittet. En økning i ledningsevnen mellom 8 og 9 m kan skyldes vanninnstrømning da optisk televier viste oppsprekninger i dette området (Dalsegg m.fl., 2003).



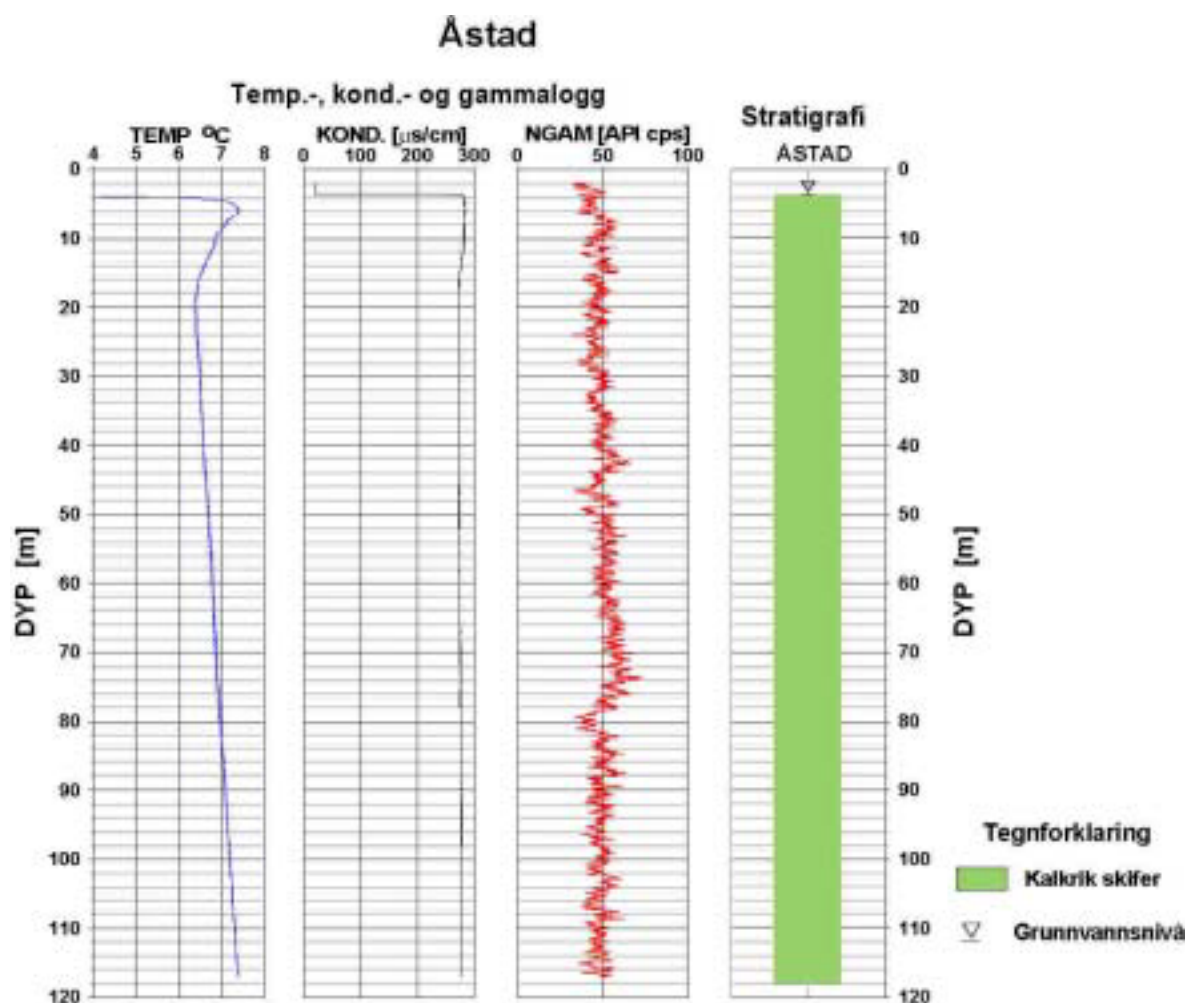
Figur 14: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra det 120 m dype borehull på Skaugum.

3.1.2.3 Åstad

Grunnvannsspeilet i borehullet på Åstad er på 4 m (Figur 15). Berggrunnen i hele borehullet består av den vanlige skiferen med kalkknoller. Skifrene tilhører den øvre delen av lagrekka i ordovicium uten at det er mulig å si hvilke formasjoner det blir boret gjennom. Berggrunnen er sterkt foldet, enkelte steder står lagene nesten parallelt med borehullet, mens andre steder ligger de vinkelrett på borehullet. Mellom 60 og 70 meter antas innholdet av kalk å være noe lavere enn ellers i hullet, men både vannets elektrisk ledningsevne og gammastrålingen viser ingen spesielle variasjoner. Foldningen, pluss det faktum at bergarten varierer mellom kalkstein og skifer er også grunnen til at det dannes merkelige mønstre i borehullet.

Ved strømningsmålinger ble det avdekket en vannførende sone på 11 m dyp ellers ble det ikke oppdaget vannførende sprekker i borehullet (Dalsegg m.fl., 2003).

Høy temperatur øverst i hullet skyldes trolig årstidsvariasjon. Temperaturgradienten er 1,1 K/100 m og temperaturen ved 50 m er 6,8 °C. Det er ingen endringer i gradienten nedover hullet. En svak endring i temperaturgradienten og i ledningsevnen mellom 11 og 12 m skyldes oppsprekking og vanninnstrømning i dette området (Dalsegg m.fl., 2003).



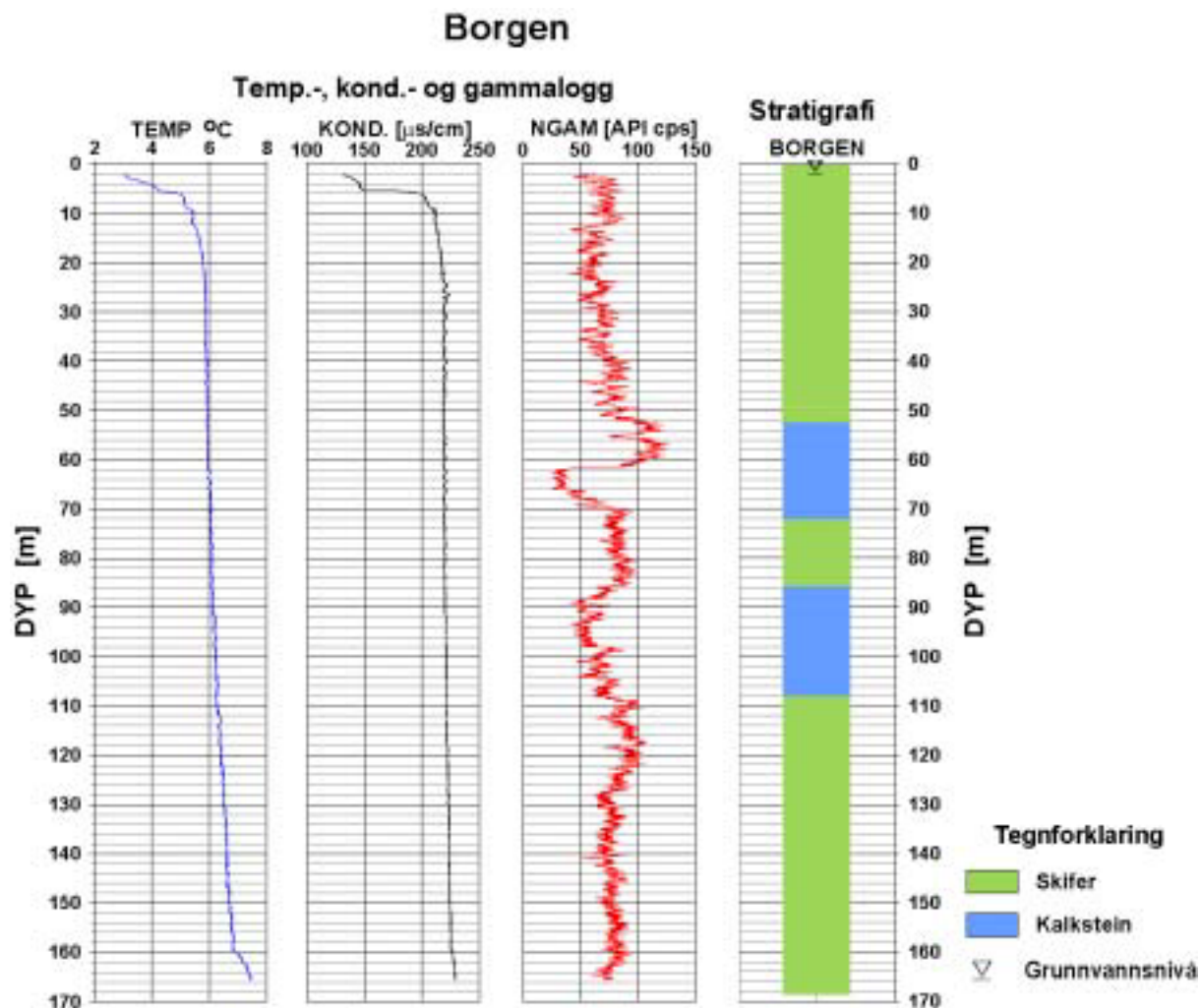
Figur 15: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra det 118m dype borehullet på Åstad.

3.1.2.4 Borgen skole

Vannspeilet står ved 1,9 meter, og borehullet er foret til 2,9 meter (Figur 16). Borehullet ved Borgen skole er spesielt fordi en her borer gjennom en overbikket synklinal. Dermed vil en passere de samme lagene to ganger på veien nedover (Figur 17).

Fra 2,9 meter og ned til ca 52 meter består bergarten av en veksling av skifer og kalkstein. I denne spesielle bergarten, som trolig tilhører Rytteråkerformasjonen, er det omtrent like mye leirstein som knollekalk. Fra 52 meter til 72 meter har en ren kalkstein. Den tilhører med stor sannsynlighet den såkalte pentameruskalken, kjent for sine fossiler av samme navn. Mellom 72-85,7 meter får en på nytt veksling av skifer og kalk. Dette er antatt å tilhøre lag som opprinnelig lå over pentameruskalken, men som nå ligger under (Figur 17). Helningen på lagene er steil. Mellom 85,7-109 meter kommer en igjen over i pentameruskalken, og fra 109 meter og nedover får en skifer og kalk som trolig tilsvarer de lagene som er på toppen av hullet.

Temperaturen er 5,9 °C på 50 m vertikalt dyp. Temperaturen er svært lav øverst i hullet (ca 3 °C), men øker raskt til ca 5,8 °C ved 20 m. Dette skyldes årstidsvariasjon ("vinterkulde") da hullet ble målt i slutten av april. Temperaturgradienten er lav, 0,6 K/100 m ned til 100 m. Under dette dyp er den 1,0 K/100 m. Tydelig økning i temperaturen fra 160 m kan skyldes vanninnstrømming fra åpen sprekk ved 159,5 m (Elvebakk 2001). Elektrisk ledningsevne øker litt på samme sted. Lav ledningsevne på vannet over 6 m skyldes trolig innstrømming av overflatevann (snøsmelting).



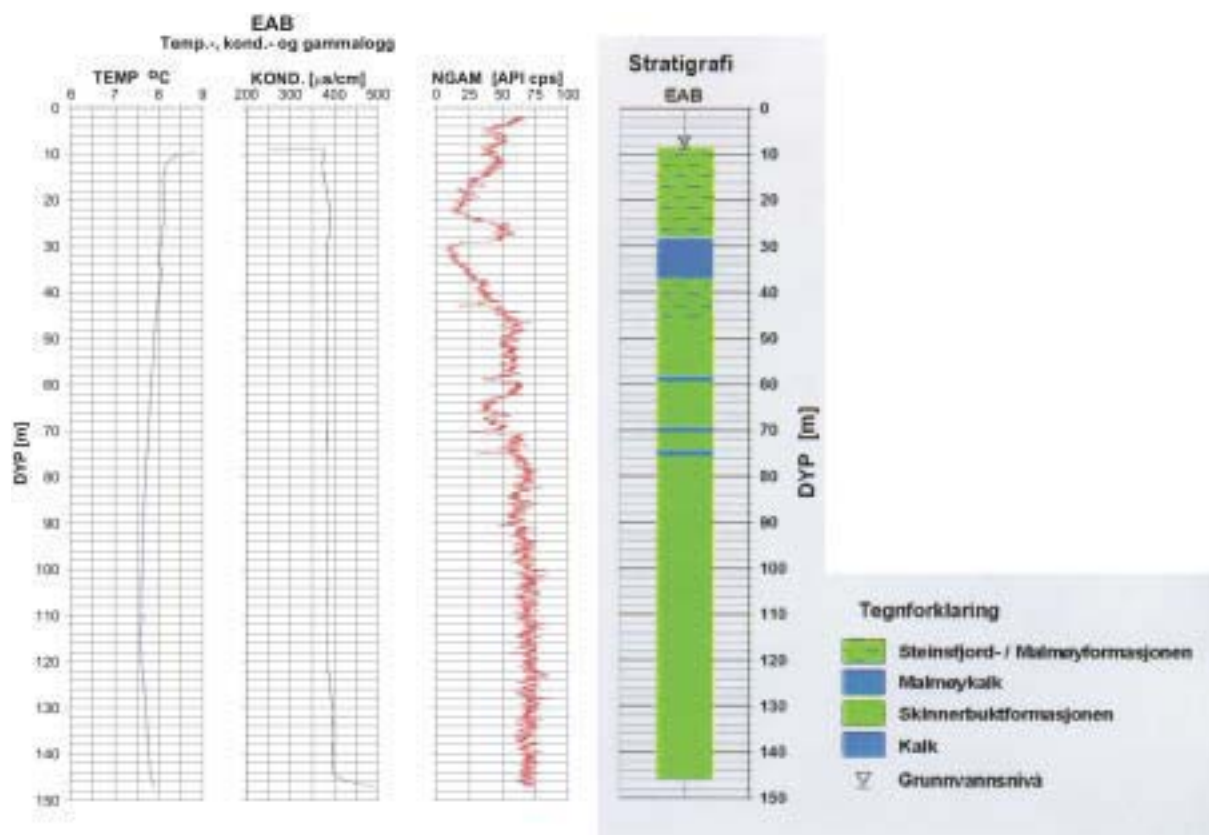
Figur 16: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra borehull ved Borgen skole i Asker.

Gammastrålingen viser noen uregelmessigheter i området fra 50 til 70 meter i det området der en har ren kalk. Muligens skyldes fallet i verdiene mellom 62 og 70 meter at kalksteinen er sterkt omvandlet til epidot i dette området. Denne omvandlingen skyldes at kalksteinen er blitt oppvarmet fra drammensgranitten som ligger bare en drøy kilometer sør for Borgen skole. Epidotomvandlingen er for øvrig tilstede i større eller mindre grad i hele borehullet i de kalkrike områdene.



Figur 17: Overblikket synklinal. Blått illustrerer pentameruskalken.

3.1.2.5 EAB/Brynsveien 88A –bh1

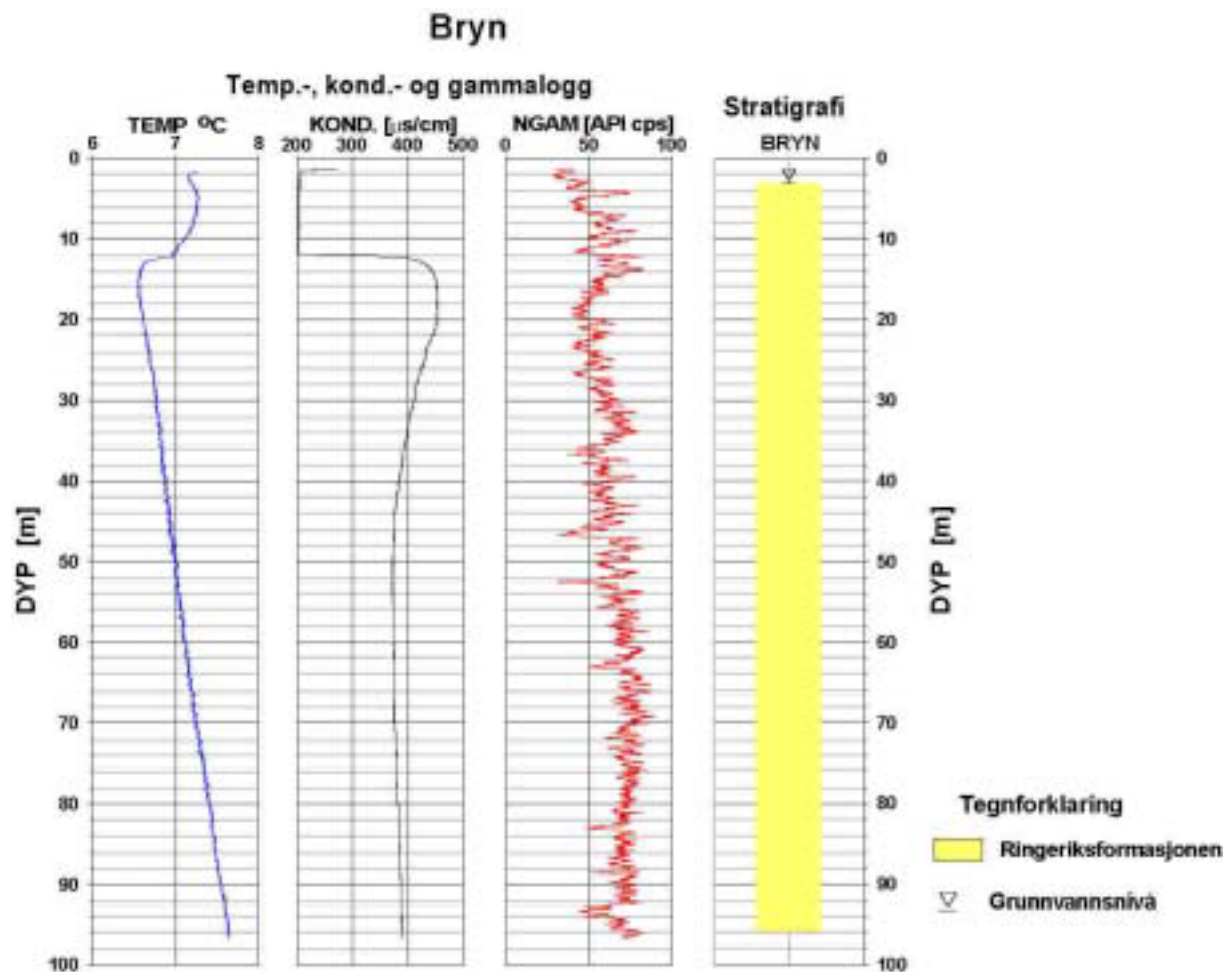


Figur 18: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra borehull ved EABs bygg i Brynsveien 88A.

Ifølge borerapporten er løsmasseoverdekningen 5 m. Optiske inspeksjonen viser at grunnvannsnivået er ved 8,7 m. Den øvre delen av borehullet består av knollekalk, en skifer med klumper av kalkstein. Denne enheten hører til den nedre delen av Steinshjordformasjonen og øvre delen av Malmøyformasjonen. Ved 29 m begynner en relativt ren kalkstein, Dette gir et markert fall i verdiene i gammaloggen. Denne kalksteinen er den såkalte Malmøykalken som er en del av Malmøyformasjonen. Kalksteinen blir etter hvert iblandet med mer skifer og ved ca 37 m stopper den. Ifølge borerapporten er det en vannførende sleppe ved ca 35 m dyp. Under 37 m består berggrunnen av knollekalk igjen. Både i knollekalken og i den rene kalksteinen er det spor av fossiler i form av koraller av ulike typer. Ved ca. 45 m begynner en svært mørk ensformig skifer der en knapt kan se noen lagning. Ensformigheten avbrytes bare av et par kalkbenker på noen desimetre ved 59 m, 70 m og 75 m. Disse benkene er markert som negative utslag på gammaloggen. Den mørke skiferen tilhører Skinnerbuktforsasjonen og skal inneholde en god del graptolitter. Borehullet stopper på 148,4 m. Total vannføring i borehullet er anslått til å være 4000 l/timen i borerapporten.

Temperaturen er forholdsvis høy i øvre del av hullet, 8,0 – 8,1 °C, ned til 40 m dyp. Dette er under det dyp en vanligvis har årstidsvariasjoner. Temperaturen synker helt ned til 114 m dyp (7,6 °C). Deretter begynner den å stige med en gradient på 1,1 K/ 100 m noe som er normalt. Temperaturen ved 50 m dyp er 7,9 °C. Årsaken til den relativt høye temperaturen i øvre deler av hullet er usikker. Menneskelig aktivitet som har påvirket grunnen over lang tid kan være en årsak. Bh 3 like i nærheten viser samme tendens, mens bh 2 viser litt lavere temperatur. Alle hullene har minimumstemperatur dypt under antatt årstidsvariasjonsgrensen.

3.1.2.6 Bryn Skole (Bh 3)

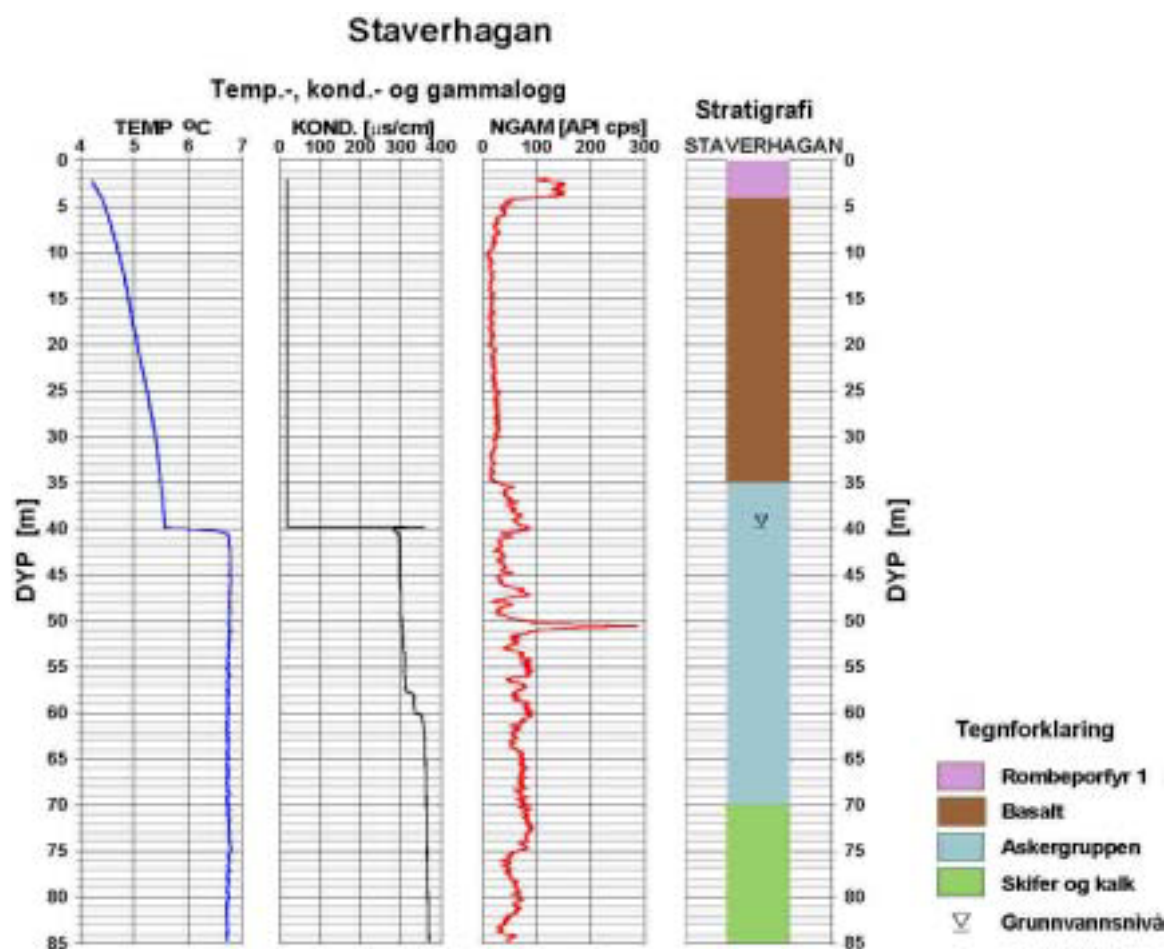


Figur 19 : Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra borehull ved Bryn skole i Bærum.

Dette er et godt opptak med temmelig ensartede bergarter. Videoinspeksjonen og borerapport viser at løsmassetykkelsen er 1,3 m og grunnvannspeilet i borehullet (Bh 3) ved Bryn skole er på 3 m dyp. Berggrunnen i hele det 99 m dype borehullet er Ringeriksformasjonen som her består av sandstein med enkelte skiferlag innimellom. I de øverste delene er sandsteinen svært regelmessig med lyse, kvartsrike lag med tynnere lag av skifer mellom. Fra ca. 50 m blir bergarten mer mørk og skiferholdig, men fortsatt er det lageveksling. Store vanninnslag er rapportert ved 13 m og 90 m dyp, og flere store sprekker vises på videoopptaket

Temperaturen øker jevnt nedover hullet med en gradient på 1,3 K/100 m hvilket er normalt. Åpen sprekk med vanninnstrømming ved 13 m dyp indikeres tydelig både på temperatur- og ledningsevneloggen. Temperaturen ved 50 m dyp er 7 °C. Temperaturen i fire andre brønner like ved viser samme forløp og samme verdier.

3.1.2.7 Staverhagan



Figur 20: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra det 85m dype borehullet på Staverhagan.

Brønnen starter på ca kote108, og grunnvannspeilet ligger på knapt 40 meters dyp. I den tørre delen av brønnen og i noen partier med uklart vann gir ikke video-opptaket med televiewer grunnlag for sikker identifikasjon av bergart. Ved å ta i bruk gammalogg og resistivitetsdata er det likevel mulig å finne dyp til viktige bergartsgrenser. Her kan vi støtte oss til data fra andre brønnlogger i Oslofeltet der det ikke er tvil om sammenhengen mellom bergartstype og respons fra gammalogg.

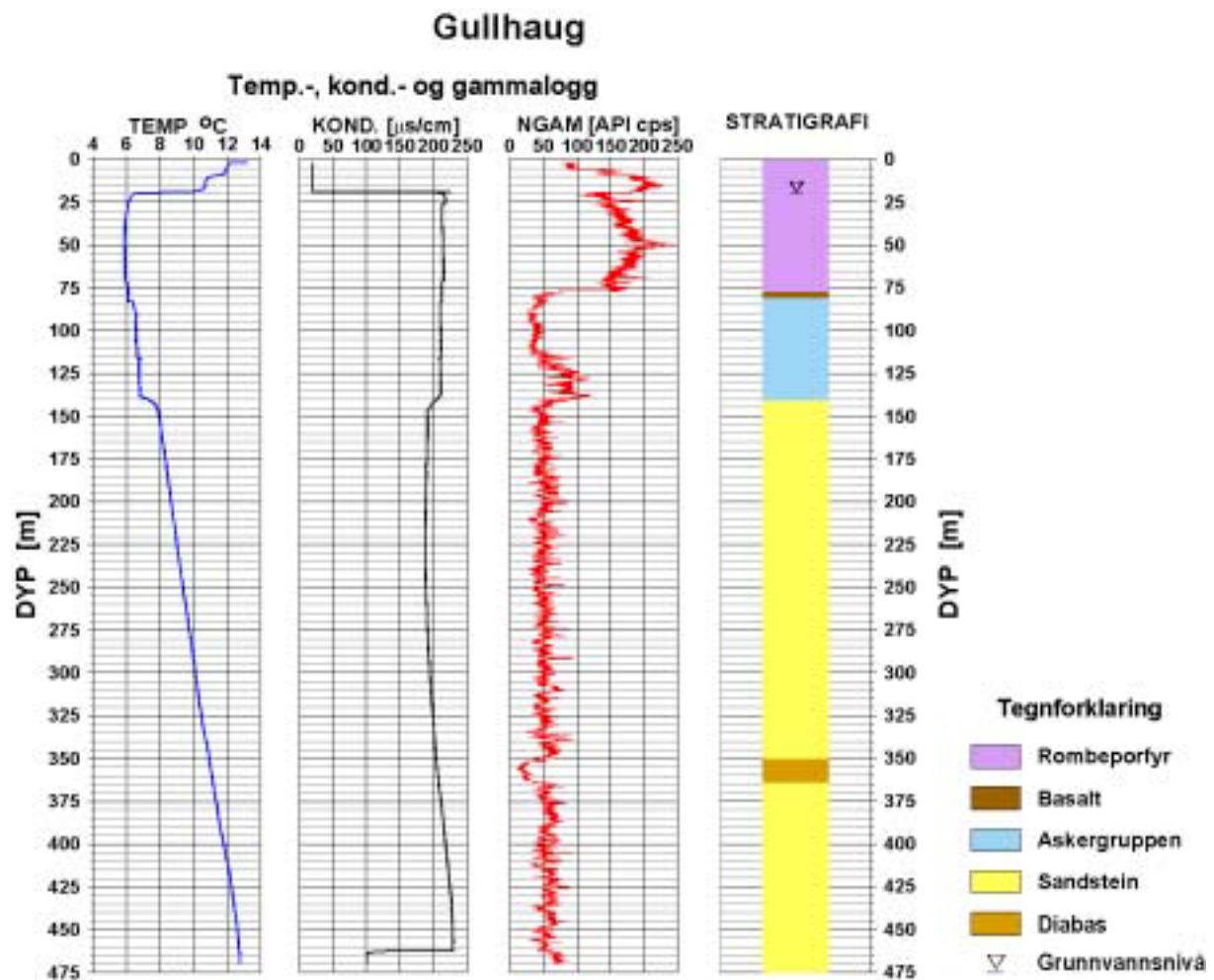
Øverst i borehullet er det ca 4 m med rombeporfyr (høy gammastråling). Fra ca 4 til 35 m består borehullet av basaltisk lava, stedvis med blærefyllinger, (meget lav gammastråling). De nederste meterne av intervallet er sterkt oppsprukket. Fra ca 35 til 75 m består berggrunnen av bergarter fra Askergruppen. Lagningen ligger horisontalt og flere steder er det lag med konglomerat. Detaljerte undersøkelser viser at nedre del av Askergruppen inneholder kismineraliseringer. (Dalsegg m.fl., 2003). Fra 75 m og til bunnen av borehullet er det skifer og knollekalk fra kambrosilur. Stedvis ses folding av lag. Her er det varierende, men relativt lav resistivitet. Resultatene bekrefter de omtrentlige mektighetene på basaltisk lava og Askergruppen i dette området. Tidligere tolkning av geologien i området Lagerudbekken-Staverhagan er publisert i Lutro & Nordgulen (2001).

Temperaturen i vannet viser ingen økning mot dypet og ligger konstant på 6,7 – 6,8 °C. En pumpe ble fjernet fra brønnen (80 m dyp) like før logging. Dette kan ha mikset vannet slik at den reelle temperaturgradienten ikke kom fram. 6,8 °C blir da gjennomsnittstemperaturen i brønnen.

3.1.2.8 Gullhaug skole

Grunnvannsspeilet står ved ca. 20 meter. Fra 20 m følger en regelmessig sekvens av rombeporfyr som tilhører underste rombeporfyr (RP1). Den er karakterisert av store og regelmessige romber. Rombene er gjerne ordnet slik at en kan se flytestrukturen i lavaen. Enkelte steder er det hulrom og uregelmessigheter i lavaen, og spesielt de nederste meterne av strukturene er uryddige.

Ved 77,2m begynner basalten som er nederste del av lavabergartene. Det er en helt mørk bergart som har en mer uregelmessig struktur enn rombeporfyrene, men de mekaniske egenskapene til de to bergartene er relativt like. Gamma-loggen (Figur 21) viser en markert fall i cps-verdiene i overgangen mellom rombeporfyr og basalten. Tykkelsen på basalten er bare 4 m.



Figur 21: Loggedata fra det 500m dype borehullet ved Gullhaug skole i Bærum.

Overgangen til Askergruppa ved 81,4 m markeres ved lagdelt struktur. Temperaturloggen viser et sprang på 0,5 °C i overgangen til Askergruppa. Borerne anmerket et mulig ras ved boring i det sjiktet. Det antas derfor at det er et større grunnvannsinnslag som er årsak til temperaturspranget.

Øverste laget av Askergruppa antas å være et konglomeratlag. Nedover består gruppa av sandsteins- og konglomeratlag i en finkornet mørk skifer der en knapt ser noen lagdeling. Askergruppa kan deles inn i tre formasjoner som alle kan skilles ut fra loggedataene:

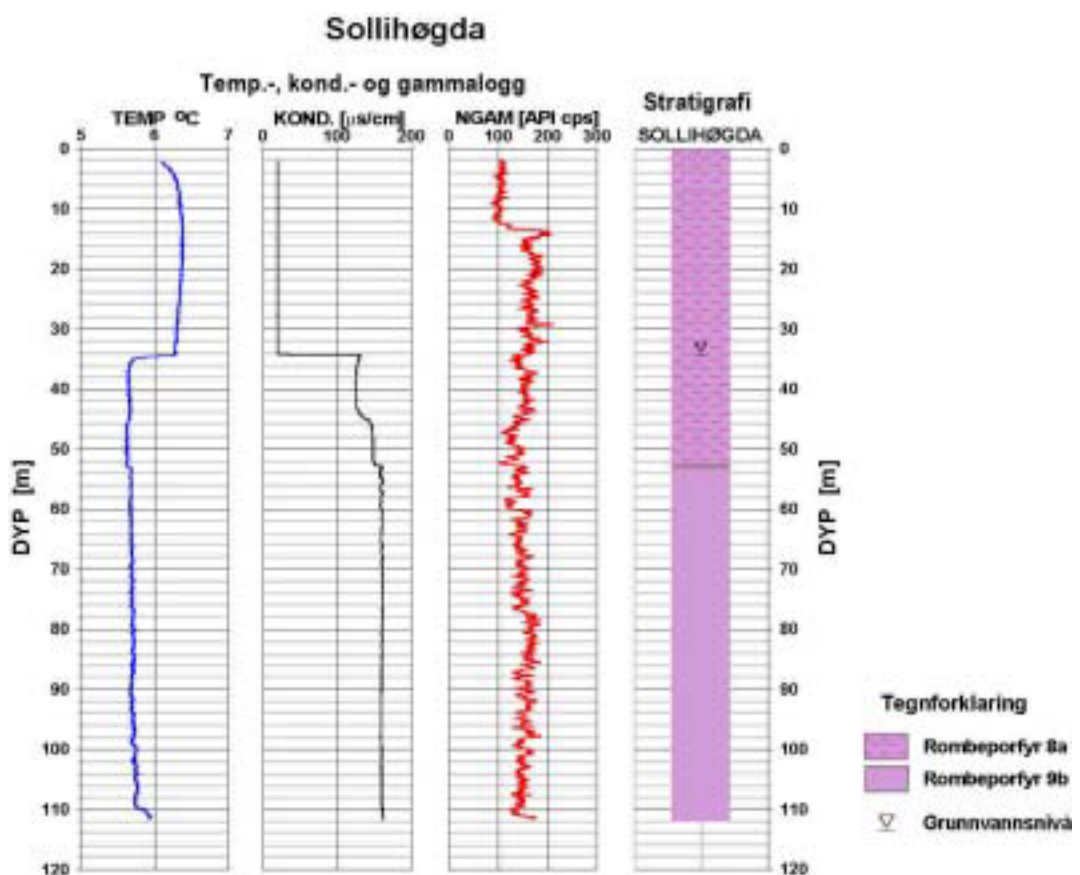
- 81,4 m-91,9 m: Skaugumformasjonen
- 91,9 m-112,3 m: Tanumformasjonen
- 112,3 m-139,9 m: Kolsåsformasjonen

Skillet mellom formasjonene er gjort på grunnlag av innhold av konglomerater og sandsteinsbenker. Kolsåsformasjonen, som for det meste er en svært ensartet rød skifer, kan også skilles ut fra gammalloggen da den har et høyere innhold av radioaktive elementer.

Ved 139,9 m er det et viktig skille i bergartene. Fra her og helt til enden av borehullet tilhører bergartene Ringeriksformasjonen. Hele sekvensen består av lys sandstein. Den er tydelig lagdelt, med lag som varierer i tykkelse fra 10 til 50 cm og lagene er atskilt av noen cm tykke skiferlag. Lagene ligger hele tiden ganske flatt. Enkelte steder er det lag av skifere som kan være opp til en meter tykke. Bergarten er svært homogen nedover, men på ca. 390 m dyp blir lagene tykkere og lagningen har ikke den rytmiske karakteren som lenger opp. Ensformigheten blir bare avbrutt av en diabasgang i området fra 350 m til 364,4 m. Gangen er relativt steiltstående (fall ca. 60°) slik at dens egentlige tykkelse er bare 5-7 m. Gangen vises tydelig på gammalloggen som en nedgang i cps. Overgangen mellom Askergruppa og Ringerikesandsteinen vises på alle loggene i Figur 20. Viktigst er at temperaturen gjør et sprang fra 7°C til 8°C over en distanse på bare 5 m. Borerne har loggført flere store slepper i forbindelse med bergartsgrensa. Det antas derfor at temperaturspranget skyldes et større grunnvannsinnslag. Ledningsevnen, som har vært relativt konstant mellom 20 og 140 m, faller med ca. 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ved overgangen til sandstein og gammalloggen faller fra verdier på ca 100 cps API til 50 cps API. Generelt viser videoinspeksjonen av brønnen flere områder med oppsprekning og breksjeringer som ikke er loggført som problemområde av borerne og som heller ikke har noen innflytelse på loggene.

Temperaturen er uryddig ned til 140 m påvirket av flere vanninnslag. Temperaturgradienten under dette dyp er konstant 1,6 K/100 m. Temperaturen ved 50 m er 5,9 °C.

3.1.2.9 Sollihøgda

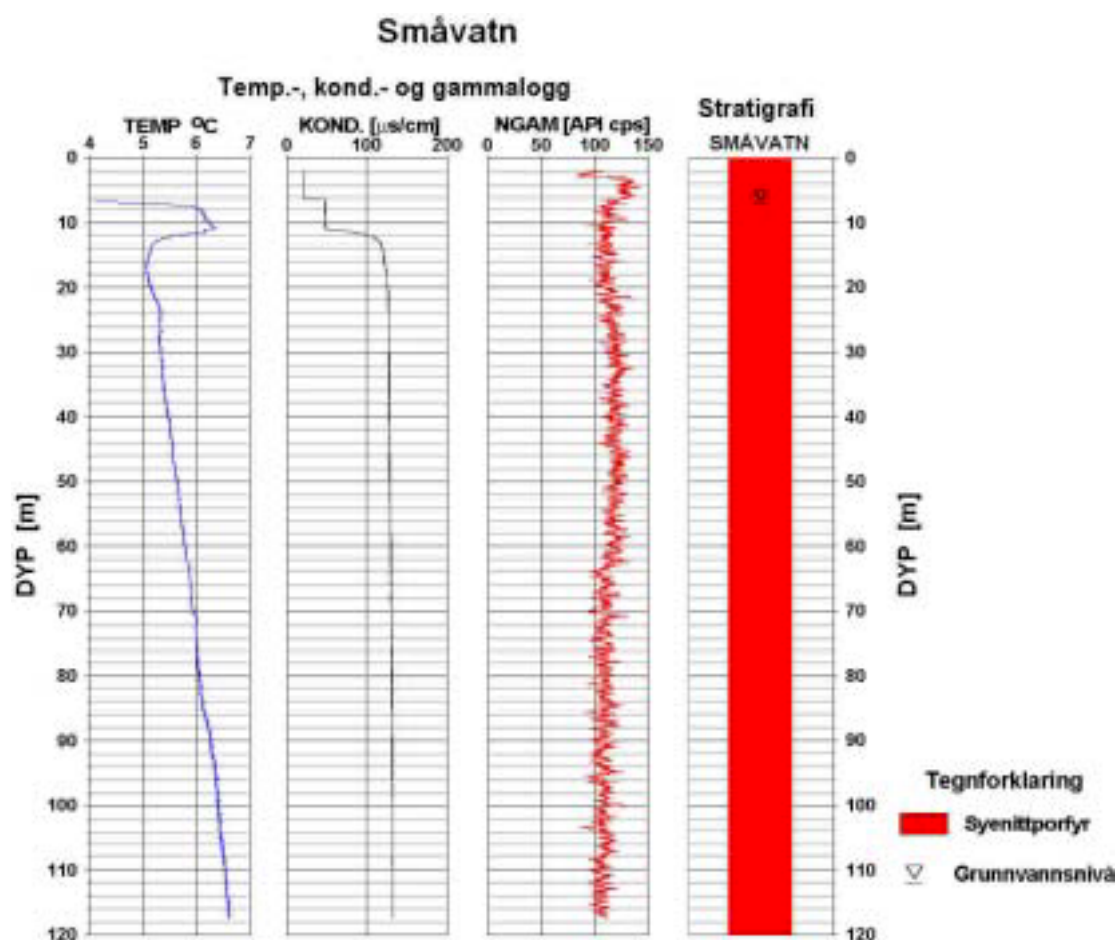


Figur 22: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra det 120m dype borehull på Sollihøgda.

Optisk inspeksjon av borehullet på Sollihøgda viser at borehullet er foret ned til 13,5 m. Grunnvannspeilet er på 34,3 m dyp. Berggrunnen i hele det 114 m dype borehullet består av rombeporfyre. Rombeporfyrene er spesielle ved at hver enkelt lavastrøm kan kartlegges på grunn av sitt utseende. I dette borehullet virker det å være et skille ved ca. 53m. Over dette har rombeporfyren litt mer spredte og store romber, mens den under har noe tettere og mindre romber. Dette antas å være overgangen mellom RP8a og RP9b. På overgangen er det et mørkt område som ser ut som et åpent rom, og det er ellers en god del breksjeringer i lavaene i dette området. Samtidig er det en liten økning både i temperatur og ledningsevne og en dropp i gammaloggen på dette stedet.

Temperaturen varierer lite noe som nok skyldes at en pumpe ble fjernet fra brønnen like før logging. Brønnen benyttes også til vannforsyning slik at det hele tiden er utskifting av vannet i brønnen. Temperaturen ved 50 m dyp er 5,6 °C (Elvebakk & Skarphagen 2000).

3.1.2.10 Småvatn



Figur 23: Temperatur, elektrisk ledningsevne, naturlig gammastråling og stratigrafi fra det 120m dype borehull ved Småvatn.

Hele borehullet består av ensartede dypbergarter. I følge det geologiske kartet Oppkuven (Larsen m. fl. 2001) skal bergarten bestå av en syenittporfyr. Vannspeilet står ved 6,5m. Mellom 10,5 og 11,2m ser det ut til å være et nærmest åpent rom. Temperaturen i det sjiktet er høyere enn i resten av hullet noe som kan tyde på innstrømning av overflatevann. Ellers er det flere sprekker nedover i borehullet, men ingen av disse har noen synlig effekt på temperaturen eller vannets elektriske ledningsevne. Temperaturgradienten (vertikalt) er 1.8 K/100 m som er ganske høyt. Temperaturen ved 50 m dyp er lav, 5,7 °C. En antydning til mindre gradient mot bunnen kan skyldes utflating av hullet.

3.2 Berggrunnens varmeledningsevne

3.2.1 Prøver

87 bergartsprøver, merket 98001-98084 ble samlet inn sommeren 1998 og 44 bergartsprøver merket AB1-AB44 ble samlet inn høsten 2000. Tabell 1 viser oversikt over prøvestørrelse og antall prøver og målinger. Målingene på prøvene fra 1998 er tidligere rapportert i Midttømme m.fl. (2000). Prøvelokalitetene er vist på oversiktskart i Figur 24 og en oversikt over prøver inndelt etter bergartstype er vist i Tabell 2. For å unngå påvirkning fra frostspregning og forvitring, ble prøvene der det var mulig tatt fra byggegroper og veiskjæringer. Størrelsen på prøvene varierte fra 15 x 10 x 5 cm³ til 60 x 45 x 15 cm³.

Av de nye bergartsprøvene (AB1-44) ble det boret ut kjernep prøver med diameter 35 mm og lengde 30 mm. Prøvene ble boret ut i 2 forskjellige retninger vinkelrett på hverandre henholdsvis parallelt og normalt på lagretningen for de prøver med synlig foliasjon. Prøvene fra 1998 ble preparert som kvadratiske prøver.

Tabell 1. Oversikt over varmeledningsprøver og målinger

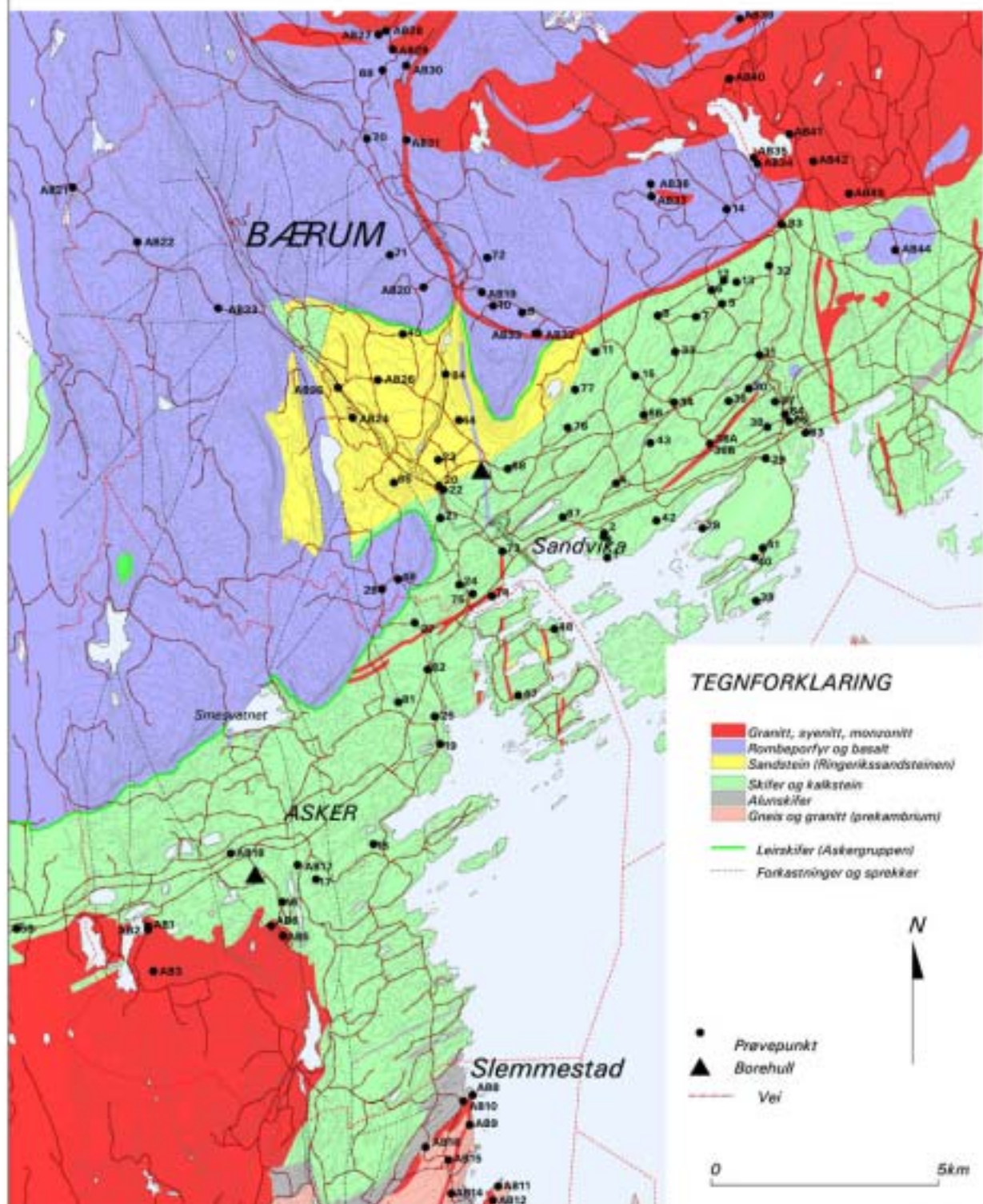
Prøveserie	År for innsamling	Prøvestørrelse	Antall bergartsprøver	Antall varmeledningsprøver	Antall varmeledningsmålinger
98000-98084	1998	kvadrat 4,0x4,0x1,0cm ³	87	237	860
AB1-AB44	2000	kjerner,d=35mm, l=30mm*	44	128	155
Totalt			131	365	1015

*Prøvelengde varierer innenfor 14-33mm med 82% av prøvene innenfor intervallet 30mm ± 3 mm

Tabell 2. Bergartsprøvene inndelt etter bergartstype

BERGART	ANT.	PRØVENUMMER. (980**)
Sandstein	7	23,44,45,85,AB24-26
Siltstein	8	24,48,67,73,78,80A,80B,84
Leirstein	21	1,5,6,8,12,13,16,17,22,31-34,36B,40,63,64,65,82,83, AB18
Kalkstein	24	2,4,11,15,18-21,25,27,29,35,38,39,41,47,66,68,76,77,79,81,AB17
Knollekalk i leirmatriks	1	42
Rombeporfyrrer	12	10,26,69-71, AB19-23, AB30, AB33
Basalt	8	9,14,46,72, AB31-32, AB36-37,
Gangbergart	7	3,7,28,36A,37,43,58
Intrusivbreksje	3	30, AB28, AB44
Granitt	13	59-61, AB01-06
Gneis	19	49-57, AB7-16,
Monzodioritt (akeritt)	4	AB27, AB29, AB39, AB43
Alkalifeltspatgranittporfyr	1	AB34
Syenitt (Grefsensyenitt)	3	AB35, AB41-42
Ignimbrit og lava	1	AB38
Syenittporfyr	3	74,75 AB40

PRØVEPUNKTKART MED NR.



Figur 25: Lokaltet og navnsetting av bergartsprøver innsamlet for måling av varmeledningsevne.



Figur 25: Apparatur for måling av varmeledningsevne.

3.2.2 Målemetode

Varmeledningsevne blir målt ved en transient metode beskrevet i Carslaw & Jaeger (1959) og Middleton (1993), og med et utstyr utviklet ved NGU (Figur 25). Målingene foregår ved at en konstant varmekilde med temp $160\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ settes 0,7-0,8 mm over prøven. Prøven er isolert på alle sideflatene. Temperaturen måles på undersiden av prøven. Termisk diffusivitet (α) beregnes ut fra tid - temperatur forløpet der temperaturen er logget hvert sekund over en periode på 10 min.

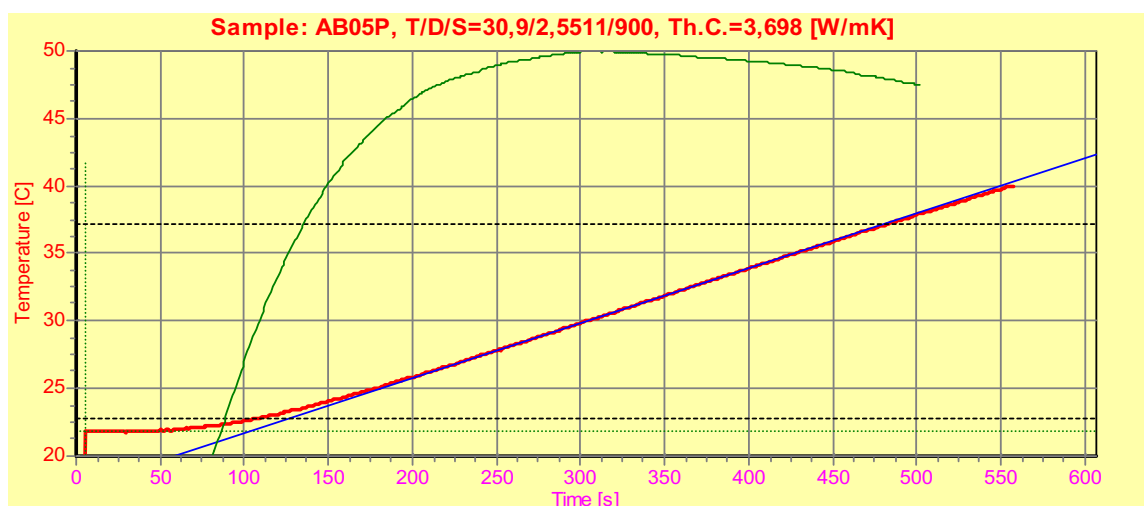
Varmeledningsevne (k) beregnes ut fra termisk diffusivitet, tetthet (ρ) og spesifikk varmekapasitet (c_p), ved ligning 1

$$k = \rho c_p \alpha$$

Lign. 1.

Målingene er korrigert med hensyn på prøvelengde. Kvalitetskontroll og bestemmelse av korreksjonsfaktor skjer ved måling på standardprøver av Pyrocera 9606. Reproduserbarheten på målinger er innenfor 10 %.

Målemetoden er endret noe fra den som ble benyttet til å måle varmeledningsevnen på prøvene fra 1998. Den største forskjellen er at det den gang ble brukt kontaktvarme, mens det fra 2001 benyttes strålevarme.

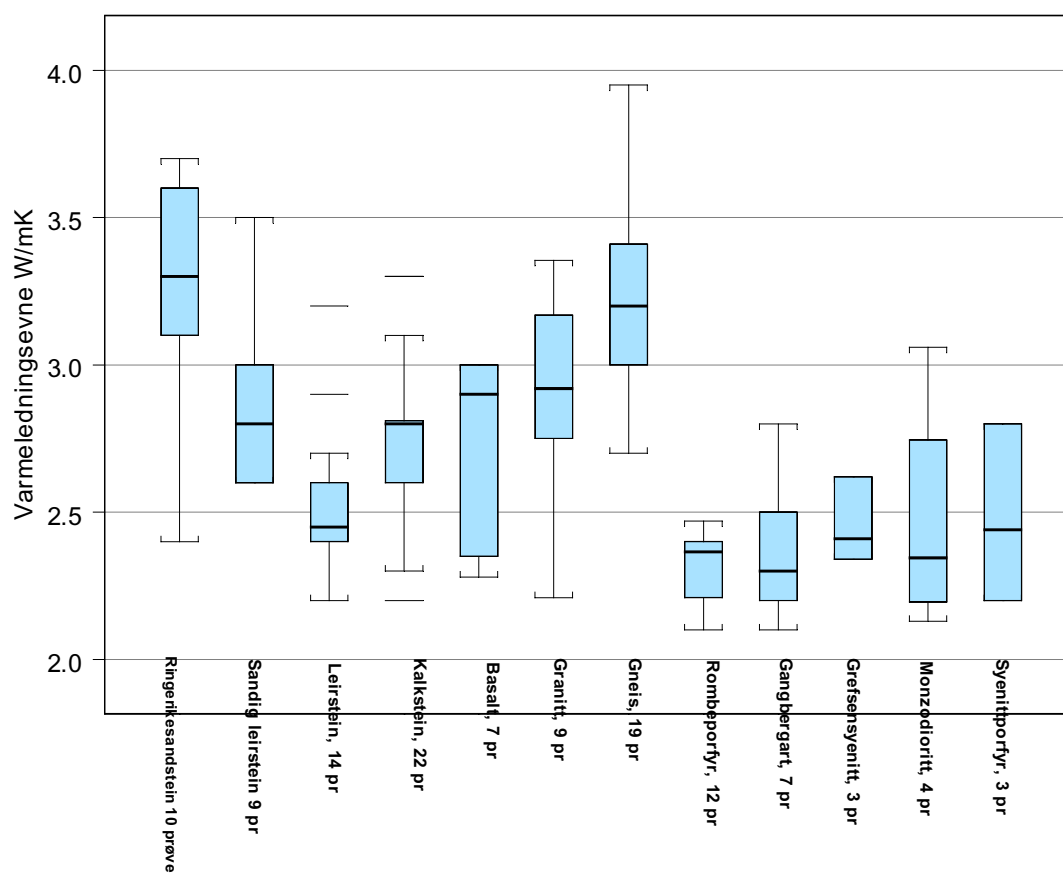


Figur 26: Eksempel på varmeledningsmåling av prøve AB05P. Temperatur er plottet mot tid (rød kurve). Grønn kurve angir stigningstallet for den plottede kurven. Beregningskurven (blå kurve) bestemmes ved maks stigningstall. T/D/S angir input parametrene: prøvetykkelse (mm), beregnet tetthet (g/cm^3) og spesifikk varme ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$). Varmeledningsevne bestemmes ut fra beregningskurvens stigningstall og krysningspunkt når $T=0$. Varmeledningsevnen for AB05P er beregnet til $3,7\text{ W/mK}$.

3.2.3 Resultat

Det er valgt å slå sammen alle varmeledningsmålingene, både de som ble målt på prøvene fra 1998 og de nyeste målingen. For de fleste bergartstypene virker det å være godt samsvar mellom de to måleseriene selv om målemetoden og prøvestørrelse er endret. Det er også valgt å slå sammen alle målinger på alle varmeledningsprøver fra en bergartsprøve. Den målte varmeledningsevne er middelverdien for alle målinger som er utført på prøver preparert fra den bergartsprøven.

Varmeledningsevne til bergartsprøvene



Figur 27: Målte varmeledningsevne til bergartsprøvene presentert som boksplott. Boksen angir øvre og nedre kvartil (25 % og 75% verdien). Medianverdien er avmerket med uthevet strek i boksen, og øvre og nedre grense er avmerket som haler til boksen. Verdier som er lengre fra kvartilverdien enn 1,5 ganger boksens lengde betraktes som "slengere" og er plottet med egen linje.

Varmeledningsmålingene viser at det for flere av bergartene er store interne forskjeller. Bortsett fra kalkstein og gneis er det lite antall prøver for hver bergartstype. En prøve med avvikende varmeledningsevne vil for de andre bergartstypene ha stor betydning for de statistiske verdiene for den bergarten.

For basalt og gneis var det dårlig samsvar mellom målingene fra de forskjellige prøveseriene. For basalt er noe av årsaken at det ble benyttet høyere verdi for spesifikk varmekapasitet for den første prøveserien. For gneisene ble de første prøvene tatt på Nesodden, mens de siste prøvene ble tatt i Røyken. Årsaken til høyere varmeledningsevne for de siste prøvene antas å være at det er prøvetatt forskjellige gneistyper.

Tabell 3:Varmeledningsevner til bergarter - medianverdi og verdi benyttet på varmeledningskartet (figur 4).

Bergart	Antall prøver	Medianverdi	Anvendt verdi
Ringerikesandstein	10	3,3	3,3
Leirstein	23		2,7
<i>Sandig leirstein</i>	9	2,7	
<i>Leirstein</i>	14	2,4	
Kalkstein	22	2,7	2,7
Basalt	7	2,8	2,5
Rombeporfyr	12	2,3	2,3
Gangbergart	7	2,3	2,3
Grefsensyenitt	3	2,4	2,4
Monzodioritt	4	2,3	2,4
Syenittporfyr	3	2,4	2,4
Ignibritt og lava	1	2,5	2,5
Kvarts og alkalifeltspatsyenitt	1	2,6	2,6
Intrusivbreksje	2	2,1	2,3
Granitt	9	2,9	3,1
<i>Drammensgranitt</i>	7	3,2	3,1
Gneis	19	3,2	3,2
<i>Gneis, Nesodden</i>	9	3,1	3,4
<i>Gneis, Røyken</i>	10	3,4	3,4

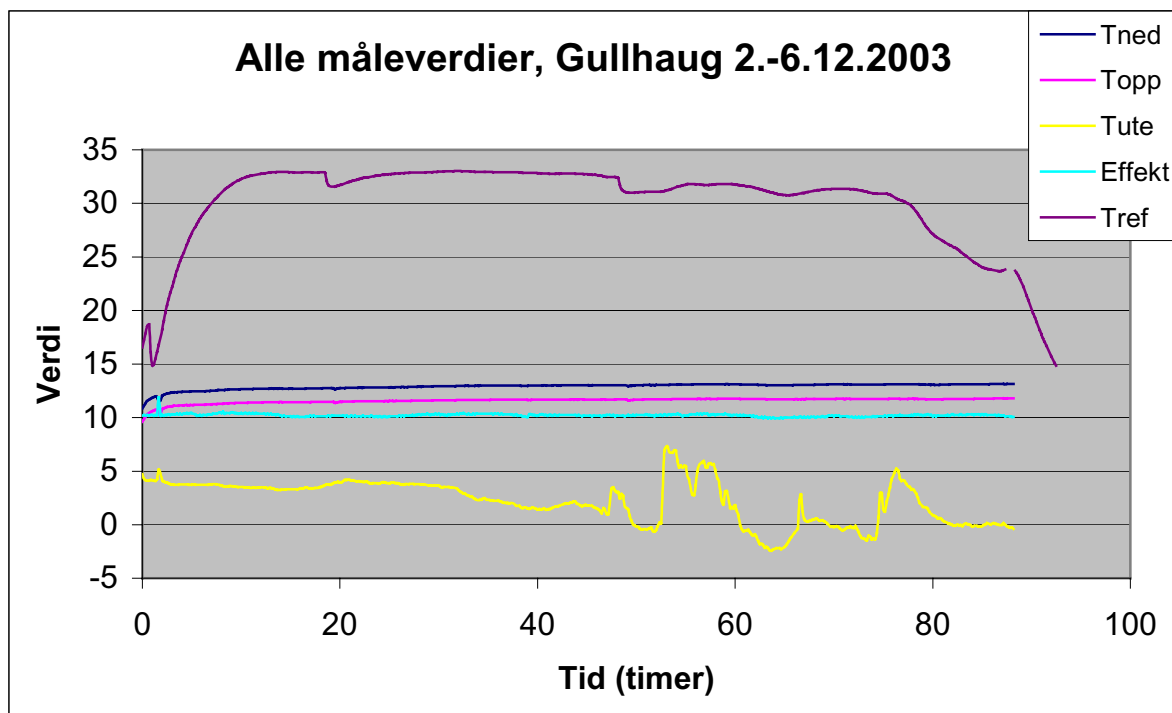
3.3 Termisk respons test

NGU har utført 4 termisk respons tester av energibrønner i Asker og Bærum i perioden 2002-2003. I tillegg har Geoenergi AS utført 4 målinger i perioden 1999-2000. Ved termisk respons testing måles det effektive energiuttaket (også kalt effektiv varmeledningsevne) fra et borehull samt borehullsmotstanden mellom berggrunnen og kollektorvæska. Energiuttaket og borehullsmotstand er viktige parametere ved dimensjonering av større grunnvarmeanlegg. Målingene foregår med en termisk respons rigg (Figur 28). Ved å sirkulere varmt vann i kollektorslanger i en energibrønn og registrere energitapet i brønnen over tid kan man bestemme effektivt energiuttak og borehullsmotstand. Detaljert informasjon om målemetode finnes i Brekke (2003) og Gehlin (2002)

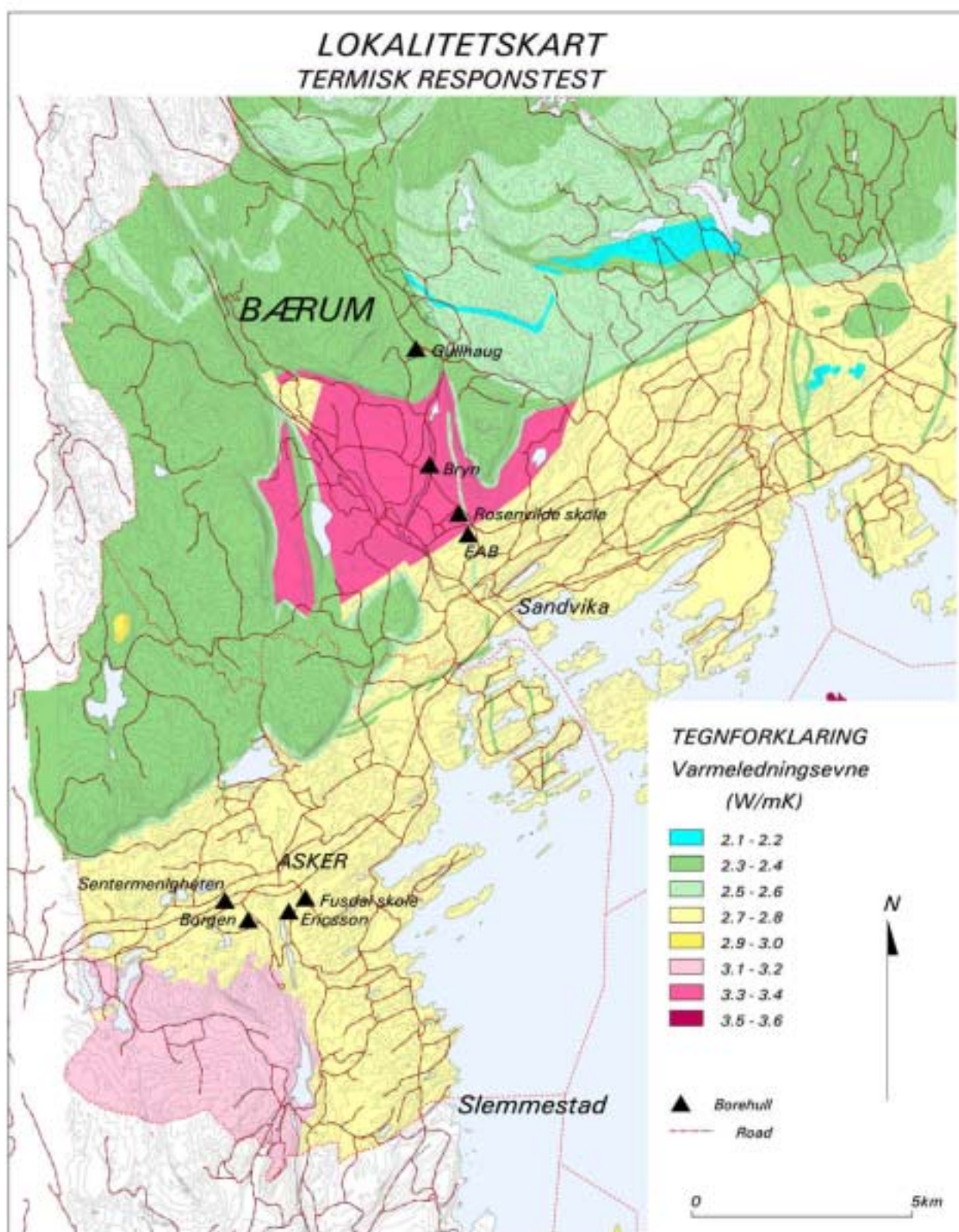


Figur 28: NGUs termisk respons rigg under måling ved Bryn skole vinteren 2003.

Som eksempel er data fra termisk respons testing fra måling på Gullhaug i desember 2003 vist i Figur 29.



Figur 29: Data fra TRT-måling i det 500m dype borehull ved Gullhaug skole. Effekt uttak er beregnet til $7,7 \text{ W/mK}$ og borehullsmotstand $0,08 \text{ m} \cdot \text{K/W}$. Tned og Topp er temperatur målt i frostvæska som strømmer henholdsvis ned og opp av borehullet. Tute er utetemperatur. Effekt er effekten på varmeelementet og Tref er temperaturen i "maskinrommet" under måling.



Figur 30. Oversikt over energibrønner som er termisk respons testet vist på kart over antatt varmeledningsevne.

3.3.1 Resultat

Tabell 4. Resultat og data for termisk respons testing

	Utført av	Utført når	Borehulls motstand (m·K/W)	Effekt uttak (W/mK)	Aktivt boredyp (m)	Benyttet effekt (kW)	Strømnings måling (l/s)	Uforstyrret temp. (°C)	Antatt varme- ledn.evne (W/mK)	Vanngiver- evne (l/time)
Borgen skole, BH 6A	NGU	03.2003	0,09	3,1	194,8	6,8	1,62	6,1	2,7	3000
Borgen skole, BH 7B	NGU	03.2003	0,07	3,1	191,4	6,6	1,60	6,1	2,7	20000
EAB	NGU	11.2003	0,06	3,8	139,7	6,8	1,22	8,7	2,7	> 7000
Bryn skole BH3	NGU	01.2003	0,06	3,2	97,0	6,9	0,74	7,0	3,3	5000
Gullhaug	NGU	12.2003	0,08	7,7*	480	10,2	1,00	9,5	2,3	Mye
Sentermenigheten	Geoenergi	02.1999	0,07	5,0	131,5	10,0		6,5	2,7	Mye
Ericsson AS	Geoenergi	07.2000	0,055	3,6	194	9,8		8,6	2,7	
Fusdal skole	Geoenergi	11.1999	0,05	3,2	158,5	9,2		8,1	2,7	
Rosenvilde skole	Geoenergi	08.2000	0,065	3,1	158	9,8		8,3	3,3	

* Usikker resultat. TRT målinger er ikke utført i så dype borehull før.

3.3.2 Diskusjon

Det antas at effekt målt ved termisk respons testing er noe høyere enn berggrunnens varmeledningsevne fordi termisk respons verdien også inkluderer energibidrag fra grunnvannsstrømning. Inhomogeniteter i berggrunnen rundt et borehull, som ganger og lokale variasjoner i mineralogi og tekstur, vil også føre til at en standard varmeledningsverdi for den bergartstype ofte er unøyaktig og som regel gir en underestimert varmeledningsevne for berggrunnen.

Flere av målingene vist i Tabell 4 antas å være usikre. For enkelte borehull der det er god grunnvannstrømning virker det å være en korrelasjon mellom den effekt målingen er utført ved og beregnet effektverdi pga thermosiphon effekt (Brekke, 2003; Gehlin, 2002). Hvis målingen er utført med høy varmeeffekt måles høyere effektverdi fra grunnen. Flere av målingene i Asker og Bærum er utført med høy effekt, noe som kan ha påvirket resultatet. Flere av boringene er dypere enn det som er normalt, og det virker å være en sammenheng mellom boredyp og beregnet effektverdi. Noe av varmen som forsvinner i borehullet skyldes sannsynligvis påvirkning mellom varm og kald kollektorslange og ikke god varmeledningsevne.

Angående borehullsmotstand er denne parameteren sterkt påvirket av uforstyrret temperatur i grunnen. For NGU sine målinger er temperaturen bestemt ved borehullslogging, mens den for Geoenergi sine målinger er bestemt ved oppstarten av TRT målingen. Det er ikke samsvar mellom disse to metodene for temperaturmålinger. For målingene ved Borgen skole er BH 7B noe skråboret. Den høye borehullsmotstanden for denne brønnen antas å skyldes skråboringen.

NGU har i dag for liten erfaring med termisk respons målinger til å benytte disse målingene som dimensjonerende for effektuttaket for et større området. Det jobbes med å få bedre erfaring med slike målinger, og i dimensjonering av større anlegg på et begrenset område anbefales bruk av termisk responstesting.

3.4 Temperatur i grunnen

Temperatur i grunnen er påvirket av lufttemperaturen, snøoverdekning, sol-skygge effekter, vegetasjonsdekket, berggrunnens varmeledningsevne, det radioaktive innholdet i berggrunnen, jordskorpepykkelse, menneskelig aktivitet, historiske klimaendringer og grunnvannstrømning. Temperaturen er målt ved borehullslogging. Temperaturloggen er vist i kapittel 3.1.2 om borehullslogger. Nøyaktigheten på målingene er oppgitt til $\pm 0,5$ °C. For å få minst mulig påvirkning fra boring ble temperaturlogging utført minst to uker etter boring.

Temperaturen over grunnvannsspeilet er påvirket av lufttemperaturen og temperaturen generelt ned til 30 m dyp kan være påvirket av årstidsvariasjoner i lufttemperaturen. Først ved 30 m dyp kan man forvente en stabil grunntemperatur. Denne temperaturen forventes å være 1 til 2 °C høyere enn midlere årstemperatur for luft. Årsaken til at den er høyere er snødekket som isolerer grunnen i den kaldeste årstiden. For områder med liten snøoverdekning som eksempel brøytede parkeringsplasser eller vindutsatte områder kan temperaturen i grunnen være noe lavere enn området for øvrig.

Et forventet temperaturprofil vil ha minimumstemperatur i sjiktet mellom 1-30 m dyp avhengig av når på året temperaturloggingen foregår. Fra 30 m dyp øker temperaturen lineært med 1,0–2,0 K pr 100 m pga varmestrøm. Erfaringer fra temperaturlogging de siste årene viser at minimumstemperaturen ofte registreres dypere enn 30 m. For en av brønnene ved EAB ble minimumstemperaturen målt på 120 m dyp. Årsaken til de negative temperaturgradientene er enten menneskelig aktivitet som har varmet opp eller endret innstrålinga i grunnen og dermed påvirket de øvre sjikt av grunnen. De siste 100 års klimaendring med global oppvarming har også ført til høyere temperatur i de øvre sjikt av grunnen.

Grunnvannsinnslag kan påvirke temperaturen i grunnen. Hvis kaldt eller varmt vann strømmer inn i borehullet vil det vises som temperatursprang på temperatur-dyp profilet (eks Gullhaug, Figur 21).

For temperaturdataene fra Asker og Bærum, korrigert for antatt menneskelig påvirkning, er det er godt samsvar mellom høyde over havet og temperatur på 50 m. Temperatursonene vist i kartoversikt i figur 5 er bestemt ut fra høyde over havet og temperaturlogger fra borehull. Det presiseres at kartet er basert på et lite datamateriale slik at de antatte verdier vil være relativt usikre.

Tabell 5 viser en oversikt over undersøkte brønner med hullengde, vertikalt dyp og temperaturforhold.

Tabell 5.

Borehull	Hullengde [m]	Vertikalt dyp [m]	Temp. (50) [°C]	T.gradient [°C/100 m]	Kommentar
Småvatn	121	97	5,7	1,8	
Sollihøgda	101	99	5,6	0	Brønn nylig i produksjon. Pumpe fjernet før logging.
Gullhaug	470	450	5,9	1,6	Temp. påvirket av vanninnslag ned til 150 m.
Staverhagan	87	87	6,8	0	Pumpe fjernet like før logging.
Bryn	99	97	7,0	1,3	Vanninnslag ved 12 m.
EAB	148	144	7,9	1,1 (fra 114 m)	Påvirket av menneskelig aktivitet? Klimaeffekt?
Borgen	167	164	5,9	1,0 fra (100 m)	
Åstad	118	106	6,7	1,1	
Skaugum	119	107	6,7	0,8 (fra 60 m)	
Arnestad	475	450	7,6	2,5 2,8	55 – 250 m 250 – 450 m, alunskifer

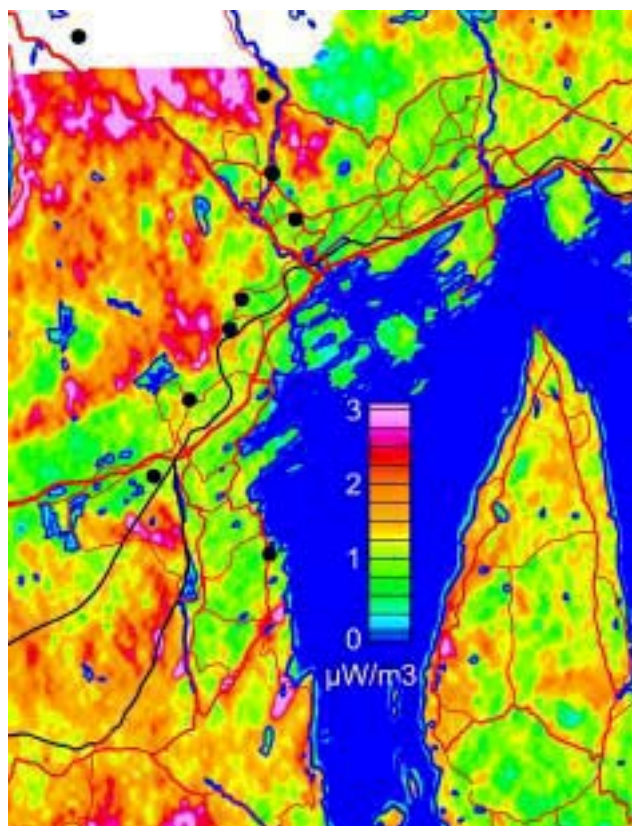
3.5 Varmestrøm

Varmestrøm består av et bidrag fra jordens indre og varme produsert i jordskorpen. Sistnevnte kan beregnes ut fra skorpens innhold av elementene uran, thorium og kalium. Innholdet av disse elementene er beregnet på grunnlag av radiometriske målinger fra fly. Flymålingene er utført av Fugro på oppdrag fra NGU sommeren 2003. Radioaktiv varmeproduksjon er bestemt ut fra innholdet av uran, thorium og kalium fra ligning. 2 (Rybach, 1973).

$$A = \rho(9,52C_U + 2,56C_{Th} + 3,48C_K) \cdot 10^{-5} \quad \text{Lign.2}$$

A	-	varmeproduksjon, $\mu\text{W}/\text{m}^3$
C_U	-	innhold av uran, xppm
C_{Th}	-	innhold av thorium, ppm
C_K	-	innhold av kalium, %
ρ	-	tetthet til berggrunnen, kg/m^3

Kart over varmeproduksjon i Osloområdet er vist i Figur 31. Det er ikke korrigert for løsmasse-overdekning og lignende som påvirker den radioaktive strålingen fra berggrunnen. Det er heller ikke korrigert for variasjoner i berggrunnen med dypet.



Figur 31: Varmeproduksjon i bergartene i Asker og Bærum beregnet fra U-, Th- og K-innhold på overflaten. Brønner hvor det er utført borehullslogger er avmerket på kartet.

Total varmestrøm (varmestrøm fra mantelen og produsert varme i jordskorpen) er beregnet ut fra varmeproduksjon ved ligning 3 (Pinet & Jaupert, 1987). Det finnes flere lineære korrelasjoner mellom varmestrøm og varmeproduksjon for det baltiske skjold, men ifølge Kukkonen, (1993) er det bra samsvar mellom de forskjellige ligningene som er blitt benyttet.

$$Q = 22,0 + 7,2A \quad \text{Lign 3.}$$

Q	-	varmestrøm, mW/m ²
A	-	varmeproduksjon, μW/m ³

Kart over total varmestrøm er vist i Figur 6.

4. REFERANSER

Brekke, E. 2003: Energiuttak fra fjell. Et studium av data fra termisk responstesting. Hovedoppgave. Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, NTNU. 76s.

Carslaw, H.S & Jaeger, J.C 1959: *Conduction of heat in solids*. Oxford Univ Press. Inc.

Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2003: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging, Jong-Asker, Asker og Bærum kommuner, Akershus. *NGU Rapport 2003.006*. 69s

Dalsegg, E., Elvebakk, H. & Rønning, J.S. 2003 b: Tunnelprosjektet. Geofysiske bakkemålinger og borehullslogging på Krokskogen, Hole og Ringerike kommuner, Buskerud. *NGU Rapport 2003.007*.

Dons, J.A. & Bockelie, J.F. 1996: Oslo-traktenes geologi med 25 turbeskrivelser. *Vett & Viten*. 207 s.

Elvebakk, H. 2001: Inspeksjon av borebrønn ved Borgen skole, Asker kommune, Akershus. *NGU Rapport 2001.036*.

Elvebakk, H. & Skarphagen, H. 2000: Borehullsinspeksjon med Optisk televiewer, Sollihøgda Vannverk, Bærum kommune, Akershus. *NGU Rapport 2000.137*.

Gehlin, S. 2002: Thermal Response Test. Methode Development and Evaluation. Doctoral Thesis. Luleå University of Technology 2002.39.

Kukkonen, I.T. 1993: Heat flow map of northern and central parts of the Fennoscandian Shield based on geochemical surveys of heat producing elements. *Tectonophysics*, 225, 3-13.

Larsen B.T., Nilsen, O., Sæther E. & Lutro, O. 2001: Berggrunnskart Oppkuven 1815 II, M1:50 000, foreløpig utgave.

Lutro, O. & Nordgulen Ø. 2001: Geologiske forhold langs planlagt jernbanetrase i området Langerudbekken – Åstaddalen. *NGU-Rapport 2001.002*

Middleton, M.F. 1993: A transient method of measuring the thermal properties of rocks. *Geophysics*, 58, 357-365.

Midttømme, K., Hilmo, B.O., Skarphagen H. & Nissen A. 2000: Kartlegging av energipotensialet i berggrunnen på kartblad Bekkestua, Bærum kommune: Varmeledningsevnen til bergarter. *NGU Rapport 2000.036*: 105 s.

Naterstad, J., Bockelie, J.F., Bockelie, T., Graversen, O., Hjelmeland, H., Larsen, B.T. & Nilsen, O. 1990: Asker 1814 I *Berggrunnskart M*. 1:50 000, NGU.

Nordahl-Olsen, T. 1987: Asker 1814 I *Kvartærgeologisk kart* 1: 50 000, NGU.

Pinet, C. & Jaupart, C. 1987: The vertical distribution of radiogenic heat production in the Precambrian crust of Norway and Sweden. Geothermal implications. *Geophys. res. Lett.*, 14 260-263.

Rybach, L. 1973: Wärmenproduktionbestimmungen an Gesteinen der Schweizer Alpen. *Beitr. Geol. Schweiz Geotech. Ser.*, 51, 43pp.