

# Marbjerg Kildeplads, Københavns Energi

Borehulslogging af borerne: DGU nr. 199.1261,  
.1261, .1273 og .921

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

2. reviderede udgave



# **Marbjerg Kildeplads, Københavns Energi**

Borehulslogging af borerne: DGU nr. 199.1261,  
.1261, .1273 og .921

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

2. reviderede udgave

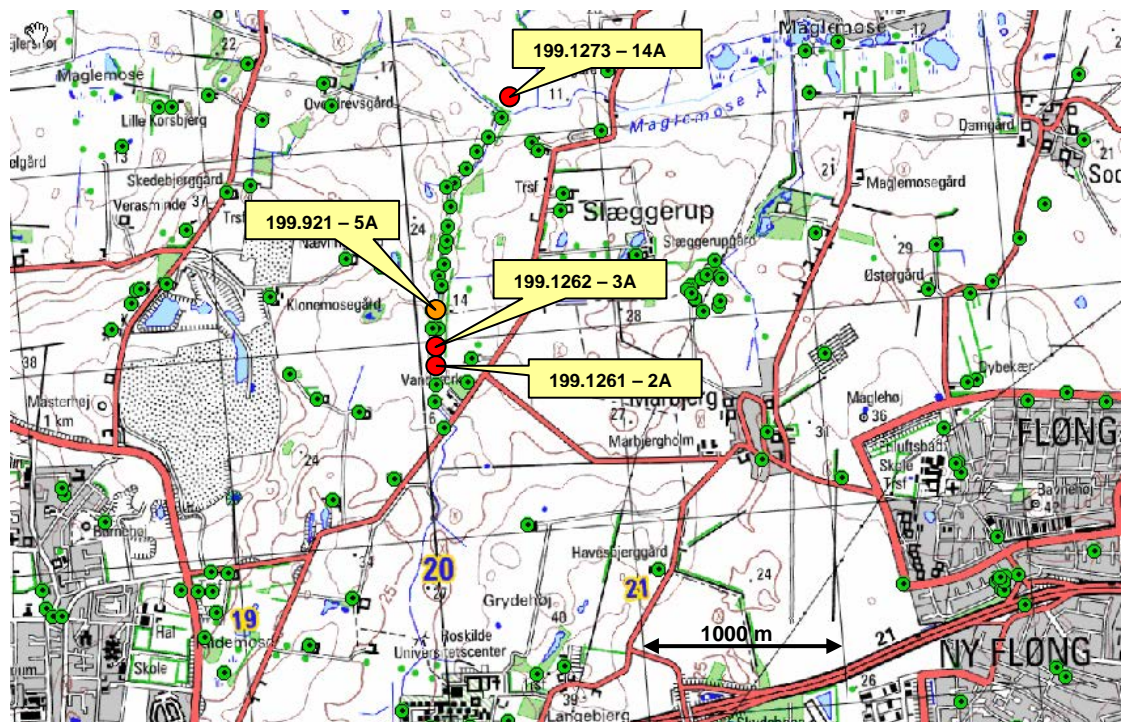
# Indhold

<b>1</b>	<b>Introduktion og undersøgelsesprogram</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Sammenfatning af resultater</b>	<b>5</b>
2.1	Tekniske forhold .....	5
2.2	Geologi .....	5
2.3	Saltvandspåvirkning.....	6
2.4	Indstrømningsforhold .....	6
2.5	Konklusion og anbefaling.....	7
<b>3</b>	<b>Undersøgelsesresultater fra de enkelte borer</b>	<b>8</b>
3.1	Boring 2A, DGU nr. 199.1261 .....	8
3.1.1	Tekniske forhold.....	8
3.1.2	Lagfølge .....	8
3.1.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	9
3.1.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	9
3.1.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	9
3.2	Boring 3A, DGU nr. 199.1262 .....	10
3.2.1	Tekniske forhold.....	10
3.2.2	Lagfølge .....	10
3.2.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	11
3.2.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	11
3.2.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	11
3.3	Boring 14A, DGU nr. 199.1273 .....	11
3.3.1	Tekniske forhold.....	11
3.3.2	Lagfølge .....	12
3.3.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	13
3.3.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	13
3.3.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	13
3.4	Boring 5A, DGU nr. 199.921 .....	14
3.4.1	Tekniske forhold.....	14
3.4.2	Lagfølge .....	14
3.4.3	Temperatur- og ledningsevnelog uden pumpning .....	15
<b>4</b>	<b>Bilags liste</b>	<b>16</b>

# 1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For KE, Københavns Energi, udførtes der i december 2005 og i januar 2006 borehulslogging i 3 nye borer beliggende på Marbjerg Kildeplads mellem Fløng og Himmelev. Boringerne har følgende DGU nr.: 199.1261 (2A), 199.1262 (3A) og 199.1273 (14A).

På samme kildeplads er der tidligere, dvs. i december 2002, foretaget borehulslogging i boring DGU nr. 199.921 (5A) i forbindelse med "SALT-KALK"-projektet. Resultaterne fra sidstnævnte er medtaget i nærværende rapport for at have resultaterne fra alle 4 borer sammenstillet i samme rapport. Boringernes placering fremgår af Figur 1.1. Formålet med de gennemførte logging undersøgelser var at dokumentere den geologiske lagfølge og at bestemme indstrømningsforholdene i boringen herunder evt. at opnå kendskab til risikoen for saltvandspåvirkning.



**Figur 1.1:** Marbjerg Kildeplads - de 3 undersøgte borer er angivet med henholdsvis DGU nr. og KE numre (●). Boring DGU nr. 199.921 er angivet med (●). Øvrige borer angivet med grøn prik på kortet, er borer i området som er registreret i GEUS's Jupiter boringsdatabase.

Indvindingen på kildepladsen sker fra Danién-kalken, som i boring DGU nr. 199.1261 (2A) træffes 22,5 m under terræn, hvilket vil sige omkring kote -6,7 m. I boring DGU nr. 199.1262 (3A) træffes kalken 27 m under terræn svarende til kote -11,5 m, i boring DGU nr. 199.921 (5A) i 18 m dybde, svarende til kote -3 m og i 199.1273 (14A) i ca. 19,5 m dybde, kote -5,7 m. Prækvartæroverfladen ses således at varierer mellem kote -3 m og -11,5 m.

Under gennemførelse af borehulslogging var borerne DGU nr. 199.1261 (2A), 199.1262 (3A) og 199.1273 (14A) udbygget med forerør til henholdsvis 24,2 m, 27,5 m og 17 m dybde.

Det normale GEUS logging program for vandindvindingsboringer omfatter en verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte borer ved hjælp af gamma-log, induktions-log og resistivitets-log, medens ledningsevne- og temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om eventuel saltvandspåvirkning, indikation på intern strømning uden pumpning, samt identifikation af indstrømningszoner under pumpning.

Programmet omfatter endvidere en fastsættelse af indstrømningen i de enkelte indstrømningszoner ved hjælp af flow-log under pumpning fra boringen, samt en kaliberlog. Sidstnævnte er nødvendig, fordi variation i borehullets diameter og især forholdet mellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i kalken lige under forerøret vil influere stærkt på flow-loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørs diameteren, og disse kan ved ældre borer være indikation på gennemtæringer. Forud for en flow-log udføres der altid en kalibreringstest af log sonden ved at køre den ned gennem hele boringen uden pumpning. En eventuel intern strømning imellem zoner i kalken eller mellem to filtre vil blive identificeret ved en sådan kalibrerings flow-log uden pumpning.

I Tabel 1.1 ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført i hver af de 3 borer. I de tre åbne kalkboringer, 2A, 3A og 14A, gennemførtes det normale GEUS logging program, dog blev der i 14A ikke foretaget resistivitetslog. I alle tre borer blev flow-log foretaget med en pumpeydelse på 36 m<sup>3</sup>/t. I den filtersatte boring, 5A, blev der i forbindelse med "SALT-KALK"-projektet gennemført et reduceret logging program. Kildepladsen var i drift under logging arbejdet i såvel 2002 som i 2005 og 2006.

**Tabel 1.1:** Logging undersøgelser på Marbjerg Kildeplads

Boring: DGU nr. Logging dato: Log metoder:	199.1261 2A 9.12.2005	199.1262 3A 12.12.2005	199.1273 14A 14.01.2006	199.921 5A 18.12.2002
Gamma	X	X	X	X
Induktion	X	X	X	X
Resistivitet	X	X	-	-
Temp. & Ledningsevne uden pumpning	X	X	X	X
Temp. & Ledningsevne under pumpning	X	X	X	-
Kaliber	X	X	X	-
Flow uden pumpning	X	X	X	-
Flow under pumpning	X	X	X	-

## 2 Sammenfatning af resultater

### 2.1 Tekniske forhold

Boringerne DGU nr. 199.1261 (2A), .1262 (3A) og .1297 (14A) er udført i perioden december 2005 til februar 2006. Boringerne er udført med 14" stålforerør (Ø = 355 mm) til kalken, og derunder som 312 mm kalkboring til ca. 50 m dybde. De tre boringer stod åben i kalken under logging arbejdet. Boring 199.921 (5A) blev udført maj 1979 og var under logging arbejdet i december 2002 udbygget med PVC forerør og filterrør samt gruskastning og bagfyld.

Boringernes udbygning under logging arbejdet fremgår af tabel 2.1.

**Tabel 2.1:** Boringernes udbygning under logging

DGU nr.	KE nr.	Boring udført	Terræn kote (m)	Boringsdybde (m)	Forerørsdybde (m)	Forerørs diameter. (mm)	Filter dybde sektioner (m)	Gruskastning	Borediameter i kalk (mm)
199.1261	2A	2005	+15,82	51,0	24,2	355 Stålrør	Åben 24,2 – 51	Nej	312
199.1262	3A	2005	+15,47	51,0	27,5	355 Stålrør	Åben 27,5 – 51	Nej	312
199.1273	14A	2006	+13,76	50,0	18,0	355 Stålrør	Åben 18 – 50	Nej	312
199.921	5A	1979	+15	50,6	20,6	225 PVC	20,6 – 50,6	Ja	312

### 2.2 Geologi

Ifølge boreprofil beskrivelserne (Bilag 5 og 6) består de 22 m og 27 m kvartære aflejringer i de to sydlige boringer (2A og 3A) overvejende af moræneler med mindre indslag af smeltevandssand øverst og nederst, hvorimod de 18 m kvartære aflejringer i den tredje sydlige boring (5A) udgøres af et ca. 13 m tykt lag af smeltevandsler over ca. 5 m moræneler (Bilag 8). I den fjerde og nordligste boring (14A) består kvartæret af ca. 8 m moræneler underlejret af ca. 10 m smeltevandssand (Bilag 7). De kvartære lagfølger i de tre nyeste boringer (2A, 3A og 14A) er kun i store træk bekræftet ved de udførte gamma-log, idet disse indikerer en lidt mere vekslende lagfølge med tilstedeværelse af flere ler- og sandlag end angivet på borebeskrivelserne. Det samme gør sig tilsyneladende også gældende ved den ældre boring (5A), men gamma-loggen er her udført efter boringens udbygning med PVC-forerør og filterrør, hvorfor bagfyld og forseglingsmateriale kan have influeret på gamma-loggens variationsmønster.

Prækvartæret udgøres af Danienkalk, som er truffet i en dybde varierende i de fire boringer mellem 18 og 27 m under terræn, svarende til en beliggenhed mellem kote -3 m og -11 m. På Bilag 9 er gamma-logs såvel som induktions-logs fra alle fire boringer sammenstillet og vist med dybdebeliggenheden i kote. I alle fire boringer viser gamma-

loggen i 36–40 m dybde (svarende til kote -21,5 til -24,5 m) et markant skifte i log-mønstret fra et varierende strålingsniveau på 10–25 API ovenover denne dybde til et lavere og mere konstant strålingsniveau på 5-10 API under denne dybde (Bilag 9). Dette indikerer et skifte fra kalksandskalk øverst til bryozokalk, idet kalksandskalk som regel har højere og mere varierende gammastråling end bryozokalk. Et sådant skifte er observeret ved boreprøvebeskrivelsen til den ældre boring DGU 199.921 (5A), idet 5 prøver fra kalken ned til 41 m dybde her er beskrevet som kalksandskalk, og den dybeste prøve fra 48 m dybde er beskrevet som bryozokalk. Derimod er der tilsyneladende ikke observeret kalksandskalk ved beskrivelsen af prøverne fra de tre nyeste boringer, hvor der kun er rapporteret bryozokalk.

Som vist på Bilag 9 er det muligt at korrelere gamma-log mønstrene i den øvre del af kalken i alle fire boringer, også selv om der er ca. 1.2 km afstand mellem de sydlige boringer og den nordligste. Dette underbygger tolkningen af, at denne del af gamma-loggen reflekterer tilstedeværelse af kalksandskalk. De indtegnede korrelationslinier indikerer, at lagene i denne type kalk har omtrent samme tykkelse, samt at de kun er svagt ondulerende, idet der kun er 2-3 m højdeforskel mellem minima og maksima.

## 2.3 Saltvandspåvirkning

Induktionsloggen viser i alle fire boringer, at den gennemborede del af Danienkalken (kalksandskalk over bryozokalk) er helt udvasket for det oprindelige saltvand, idet formationsledningsevnen er mindre end 15 mS/m svarende til en resistivitet på mere end 65 Ohmm i kalken ned til kote ca. -35 m (Bilag 9). Ledningsevnen af vandet i de fire boringer ses da også på ledningsevne-loggen uden pumpning såvel som under pumpning at være mindre end 50 mS/m ved aktuel temperatur, hvilket normalt afspejler et kloridindhold på langt mindre end 100 mg/l (Bilag 1, 2, 3 og 4).

## 2.4 Indstrømningsforhold

I alle de tre nye boringer har flow-log dokumenteret nytten af at bore dybere ned i kalken, idet de alle viser væsentlige indstrømninger også i den nedre del af den gennemborede kalk. Ved den nordligste boring (14A) er indstrømningen i den nedre del endda langt højere end i kalkens øvre del (Bilag 1, 2 og 3).

Ved de to sydlige boringer (2A og 3A) ses der også uden pumpning en stor intern strømning fra den nedre del til den øvre del af kalken som følge af undertryk i den øvre del forårsaget af indvinding fra nærliggende boringer på kildepladsen. I den sydligste boring (2A) ses der yderligere det overraskende, at selv under pumpning sker der udstrømning i den øvre kalk til naboboringen (Bilag 1 og 2).

## 2.5 Konklusion og anbefaling

Det er overvejende sandsynligt, at den øvre del af kalken ned til kote –20 til –23 m består af kalksandskalk, og at kalken herunder består af bryozokalk. Fra andre boringer i det østlige Sjælland vides det, at bryozokalken kan være op til 60 m tyk, hvorfor det underliggende Skrivekridt ved Marbjerg kildeplads først kan forventes omkring kote –80 m. Fra den netop afsluttede undersøgelse af saltvandsgrænsen (grundvand med klorid >300 mg/l) i kalken i Nordøstsjælland<sup>1</sup> vides det, at denne grænse som regel er sammenfaldende med grænsen mellem Danienkalken og Skrivekridtet. Endvidere er det observeret, at overgangszonen mellem fersk grundvand med mindre end 100 mg/l klorid og saltholdigt grundvand med mere end 300 mg/l klorid ofte kun er 10-20 m tyk. Samme undersøgelse har tillige vist, at der kan træffes stærkt vandførende indstrømningszoner (sub-horizontale sprækker) i alle dybder i Danienkalken helt ned til grænsen til Skrivekridtet.

Det kan derfor forventes, at den dybere del af Danienkalken under Marbjerg kildeplads helt ned til kote ca. –60 m om nødvendigt kan udnyttes til indvinding. Dette bør verificeres ved udførelse af en enkelt ca. 100 m dyb undersøgelsesboring, som føres mindst 5 m ned i Skrivekridtet beliggende antagelig fra kote ca. –80 m. Boringens prøvemateriale bør underkastes en omhyggelig litostratigrafisk og biostratigrafisk analyse, og det fornødne logging-program til fastlæggelse af log-stratigrafi, indstrømningsfordeling, den vertikale variation i kloridindholdet i kalkens porevand, samt saltvandsgrænsens beliggenhed bør udføres.

Endvidere kan det anbefales i boring 5A at lade udføre en supplerende loggingundersøgelse bestående af flow-log samt temperatur- og ledningsevne-log under pumpning med henblik på at fastlægge indstrømningsfordelingen også i denne boring.

---

<sup>1</sup> "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 1-6." Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2006/16-21.



## 3 Undersøgelsesresultater fra de enkelte boringer

### 3.1 Boring 2A, DGU nr. 199.1261

#### 3.1.1 Tekniske forhold

Boringen af 2A blev afsluttet december 2005. Boringen blev udført med 14" stålførerør ( $\varnothing=355$  mm) til 24,2 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 51 m dybde. Boringen stod åben i kalken under logging. Efterfølgende er boringen gruskastet fra 23 – 51 m dybde og filtersat i intervallet fra 27 – 51 m dybde. Det afsluttende forerør og filterrør har den diameter på 225 mm. Terrænkoten ved 2A er +15,82 m.

Kaliberloggen, Bilag 1, viser et forholdsvist regulært borehul i den åbne del af kalken med en indvendig diameter på ca. 350 mm fra 22 – 32 m dybde og ca. 305 mm fra 32 m til bund af boring.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på 36 m<sup>3</sup>/t uden nævneværdig afsænkning, hvilket viser at boringen har en meget høj specifik kapacitet.

#### 3.1.2 Lagfølge

På grundlag af de udtagne jordprøver ved borearbejdet er der tolket følgende aflejningsmiljø og alder ned gennem ned gennem boringen:

<i>m u. terræn</i>	<i>boreprøvebeskrivelse</i>	<i>aflejningsmiljø - alder</i>
0 - 0,7	fyld	
0,7 - 1,4	moræneler	terrigen - postglacial
1,4 - 2,8	smeltevandssten	glacigen - glacial
2,8 - 5,6	moræneler	glaciofluvial - glacial
5,6 - 20,4	moræneler	glacigen - glacial
20,4 - 22,1	smeltevandssten	glaciofluvial - glacial
22,1 – 51	bryozokalk	marin - danien

Detaljeret beskrivelsen af de enkelte boreprøver fremgår af Bilag 5.

I Bilag 1 er vist såvel boreprøveprofilen som logtolkningen af lagfølgen. Logtolkningen af lagfølgen er primært foretaget ud fra gamma-loggen. Den kvartære del består af veksellende lag af moræneler og sand. Logtolkningen viser et sandlag mellem 6 og 11 m dybde som ikke fremgår af boreprøveprofilen. I ca. 40 m dybde ses et markant skift i gam-

maloggen til en lavere og mere konstant gammastråling under 40 m. Dette kunne indikere et skift fra kalksandskalk til bryozokalk, hvilket dog ikke er bekræftet af borerapporten.

Formationsledningsevnen (induktionsloggen) i kalken afspejler først og fremmest variation i porøsitet, og der ses således kalkbænke med lavere ledningsevne og dermed ringere porøsitet i kalken i henholdsvis 29.4, 34.0, 38.6, 40.6, 42.8, 45.6 og 48.1 m dybde. Den mest markante ses i 34 m dybde (Bilag 1). De nævnte tætte kalkbænke fremgår også af resistivitetsloggen, hvor de fremstår som lag med højere resistivitet. Den højeste formationsledningsevne og dermed porøsitet ses i denne boring i den øverste og i den nederste del af kalken.

Hvor der er sammenfald mellem markant stor gammastråling og høj formationsledningsevne kan der forventes mergellag, hvilket ses i 38 m dybde.

### **3.1.3 Temperaturlog uden og med pumpning**

Under 43 m dybde er temperaturen konstant 9,2 C<sup>0</sup> såvel uden som under pumpning, over 43 m ses et mindre fald i temperaturen op gennem kalken indtil bund af forerør. Også på de 2 ledningsevnelogs ses en mindre ændring ved 43 m dybde, ligesom der i denne dybde ses markante peaks på induktions- og resistivitetslogs. I dette niveau viser flowloggen (Flow Q= 36 (%)) også en indstrømningszone.

### **3.1.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning**

Ledningsevneloggen viser et identisk ledningsevne forløb uden og med pumpning. Ledningsevnen er konstant 37 mS/m fra 16,5 m til 50 m dybde. Dog ses der en mindre ændring i ledningsevnen ved 43 m dybde, som nævnt ovenfor.

### **3.1.5 Flowlog og indstrømningsfordeling**

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser nederst i boringen og i forerøret et basis tælleantal på ca. 28 RPM (rotationer per minut). I intervallet 32 – 43,5 m er tælleantallet uden pumpning ca. 75 RPM. Fra 28 m falder tælleantallet jævnt til 28 RPM ved forerørets bund i 24,2 m dybde. Dette viser at der er en opadgående vandstrømning i denne boring med en indstrømningszone fra 43 – 50 m dybde og udstrømning fra 24.2 – 28 m dybde, som følge af undertryk i den øvre del af kalken forårsaget af nærliggende pumpeboringer. Udstrømningen sker til forskellige zoner i intervallet op til forerørets bund. Også flowlog foretaget under pumpning viser en betydelig intern strømning op gennem boringen (Flow Q = 36 m<sup>3</sup>/t (RPM)) med ind- og udstrømning i samme dybder (Bilag 1).

Sættes den oppumpede vandmængde (Q= 36 m<sup>3</sup>/t) til 100 % viser flowloggen (Flow Q = 36 m<sup>3</sup>/t (%)) der internt i boringen strømmer lige så meget vand fra den nedre del af kalken til den øvre del som der pumpes op, derfor er der anvendt en skala til 200% på

plottet. Flowloggen viser at der er en meget stor indstrømning i bunden af boringen, "110 %" i 50 m dybde, og "155 %" fra 50 – 43 m dybde.

## 3.2 Boring 3A, DGU nr. 199.1262

### 3.2.1 Tekniske forhold

Boringen af 3A blev afsluttet december 2005. Boringen blev udført med 14" stålforerør ( $\varnothing_i=355$  mm) til 27,5 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 51 m dybde. Boringen stod åben i kalken under logging. Efterfølgende er boringen gruskastet fra 26 – 50 m dybde og filtersat i intervallet fra 29 – 50 m dybde. Det afsluttende forerør og filterrør har den diameter på 225 mm. Terrænkoten ved 3A er +15,47 m.

Kaliberloggen, Bilag 2, viser et mere uregelmæssigt borehul end boring 2A i den åbne del af kalken med en gennemsnitlig diameter på ca. 305 mm og med kaviteter varierende fra 200 – 410 mm.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på 36 m<sup>3</sup>/t uden nævneværdig afsænkning, hvilket viser at boringen har en meget høj specifik kapacitet.

### 3.2.2 Lagfølge

På grundlag af de udtagne jordprøver ved borearbejdet er der tolket følgende aflejningsmiljø og alder ned gennem ned gennem boringen:

<i>m u. terræn</i>	<i>boreprøvebeskrivelse</i>	<i>aflejningsmiljø - alder</i>
0 - 0,7	fyld	
0,7 - 1,4	muld	terrigen - postglacial
1,4 - 24,8	moræneler	glacigen - glacial
24,8 – 30	sten	glaciofluvial - glacial
30 – 56	bryozokalk	marin - danien/nedre palæocæn

Beskrivelsen af de enkelte boreprøver fremgår af Bilag 6.

I Bilag 2 er vist såvel boreprøveprofilen som logtolkningen af lagfølgen. Logtolkningen af lagfølgen er primært foretaget ud fra gamma-loggen. Den kvartære del består ned til 21 m dybde af moræneler. Herunder viser gammaloggen et sandlag fra ca. 22 – 27 m dybde. Toppen af kalken er ifølge gammaloggen i 27 m dybde. I ca. 37,5 m dybde ses et markant skift i gammaloggen til en lavere og mere konstant gammastråling under 37,5 m. Dette kunne indikere et skift fra kalksandskalk til bryozokalk, hvilket dog ikke er bekræftet af borerapporten.

Formationsledningsevnen (induktionsloggen) i kalken afspejler først og fremmest variation i porøsitet, og der ses således markante kalkbænke med lavere ledningsevne og dermed ringere porøsitet i henholdsvis 31.2, 37.5, 40.0, 42.3, og 46.8 m dybde (Bilag 2). De mest udtalte ses i 37,5 og 42,3 m dybde. De nævnte tætte kalkbænke fremgår også af resistivitetsloggen, hvor de fremstår som lag med højere resistivitet. Derudover er porøsiteten ret ens i boringens kalksektion.

Hvor der er sammenfald mellem markant stor gammastråling og høj ledningsevne kan der forventes mergellag, hvilket ses i 35,3 m dybde.

### **3.2.3 Temperaturlog uden og med pumpning**

Temperaturen falder svagt fra 9,2 C<sup>0</sup> i bunden af boringen til 9,1 C<sup>0</sup> ved bunden af forerøret i situationen uden pumpning og fra 9,2 C<sup>0</sup> til 9,0 C<sup>0</sup> under pumpning (Bilag 2).

### **3.2.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning**

Ledningsevneloggen viser et fald i ledningsevnen fra bunden af boringen til 49 m dybde fra 50 mS/m til ca. 45 mS/m, som er et ret konstant niveau for ledningsevnen op gennem boringen. Der ses dog mindre ændringer i ledningsevnen i dybderne 48.5, 47.5, 46, 41 og 34.9 m, som indikere indstrømningszoner (Bilag 2).

### **3.2.5 Flowlog og indstrømningsfordeling**

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser nederst i boringen og i forerøret et basis tælleantal på ca. 28 RPM (rotationer per minut). I intervallet 31 – 41 m dybde er tælleantallet uden pumpning op til ca. 58 RPM. Flowlog uden pumpning viser således en intern strømning i boringen med indstrømning fra 38 – 41.5 m dybde og udstrømning 30.8 – 32 m dybde. Den interne strømning er ikke så stor som i 2A. Den samlede strømning i boringen under pumpningen overstiger ikke pumpeydelsen på 36 m<sup>3</sup>/t.

Flowloggen under pumpning viser at ca. 55 % af indstrømningen i 3A finder sted i 40.7 – 48.7 m dybde, heraf 35 % omkring 41 m dybde.

## **3.3 Boring 14A, DGU nr. 199.1273**

### **3.3.1 Tekniske forhold**

Boringen af 14A blev afsluttet februar 2006. Boringen blev udført med 14" stålforerør (ø<sub>i</sub>=355 mm) til 17 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 50 m dybde. Boringen stod åben i kalken under logging. Efterfølgende er boringen gruskastet fra 20,5 – 50

m dybde og filtersat i intervallet fra 26 – 50 m dybde. Det afsluttende forerør og filterrør har den diameter på 225 mm. Terrænkoten ved 14A er +13,76 m.

Kaliberloggen, Bilag 3, viser store kaviteter på op til 800 mm fra 17 – 22,5 m dybde. Herunder ses et forholdsvist regulært borehul i den åbne del af kalken med en diameter på ca. 350 mm fra 22,5 m dybde til bund af boring.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på 36 m<sup>3</sup>/t uden nævneværdig afsækning, hvilket viser at boringen har en meget høj specifik kapacitet.

### 3.3.2 Lagfølge

På grundlag af de udtagne jordprøver ved borearbejdet er der tolket følgende aflejningsmiljø og alder ned gennem ned gennem boringen:

<i>m u. terræn</i>	<i>boreprøvebeskrivelse</i>	<i>aflejningsmiljø - alder</i>
0 - 0,3	fyld	
0,3 - 8,3	moræneler	glacigen - glacial
8,3 - 17,9	smeltevandssand	glaciofluvial - glacial
17,9 - 50	bryozokalk	marin – danien

Beskrivelsen af de enkelte boreprøver fremgår af Bilag 7.

I Bilag 3 er vist såvel boreprøveprofilen som logtolkningen af lagfølgen. Logtolkningen af lagfølgen er primært foretaget ud fra gamma-loggen. Den kvartære del består ned til 5 m dybde af moræneler. Herunder viser gammaloggen et sandlag fra ca. 5 – 19,5 m dybde. I ca. 37,4 m dybde ses et markant skifte i gammaloggen til en lavere og mere konstant gammastråling under 37,4 m. Dette kunne indikere et skift fra kalksandkalk til bryozokalk, hvilket dog ikke er bekræftet af borerapporten.

Formationsledningsevnen (induktionsloggen) i kalken afspejler først og fremmest variation i porøsitet, og der ses således kalkbænke med lavere ledningsevne og dermed ringere porøsitet i henholdsvis 27.5-29.5, 34.8, 37.2 og 48.8 m dybde (Bilag 3). Den mest markante ses i 27.5 – 29.5 m dybde. Den højeste formationsledningsevne og dermed porøsitet ses i denne boring i den øverste del af kalken, men især i den nederste del mellem 43 – 47 m dybde.

I 28 m dybde er der et sammenfald mellem markant højere gammastråling og højere ledningsevne, hvilket indikerer et mergellag.

### 3.3.3 Temperaturlog uden og med pumpning

Temperaturen falder svagt fra bunden af boringen til 44 m dybde, fra 8,6 C<sup>0</sup> til 8,5 C<sup>0</sup>. Dette svarer til den zone i bunden af boringen hvor der ikke sker tilstrømning til boringen, jf. flowloggen (Bilag 3). I situationen uden pumpning ses et fald i temperaturen fra ca. 27 m dybde og op gennem boringen, som følge af påvirkning fra overfladetemperaturen. Under pumpning er temperaturen konstant over 44 m dybde.

### 3.3.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning

Ledningsevneloggen uden pumpning viser lidt varierende ledningsevne omkring et gennemsnit på 48 mS/m, hvilket indikere en mindre intern strømning i boringen forårsaget af nærliggende pumpeboringer.

Under pumpning er ledningsevnen også ret konstant 48 mS/m. I 43,7 og 23,3 m dybde ses mindre variationer i ledningsevnen, ligesom der ses små variationer i intervallet 33,2 – 43,7 m dybde, svarende til det interval hvor den største vandtilstrømning finder sted.

### 3.3.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser stort set i hele boringen et basis tælleantal på ca. 28 RPM (rotationer per minut) med undtagelse af intervallet fra 38 m til 44 m, hvor tælleantallet er lidt mindre. I dette dybdeinterval er der således tale om en intern nedadrettet strømning i situationen uden pumpning (Bilag 3). Denne interne strømning ses i øvrigt også på ledningsevne-loggen som en konstant og lavere ledningsevne over dette dybdeinterval.

Sættes den oppumpede vandmængde ( $Q = 36 \text{ m}^3/\text{t}$ ) til 100% viser flowloggen (Flow  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{t}$  (%)) at der er en meget stor indstrømning i bunden af boringen, 76 % i 43 - 44 m dybde, og at de resterende 24 % indstrømmer i intervallet fra 35 – 38 m dybde. De lavere tælleantal fra ca. 26 m og videre op til forerøret kunne tages som et udtryk for udstrømning som følge af undertryk i den øvre del af kalken forårsaget af nærliggende pumpeboringer. Dette er imidlertid ikke tilfældet i denne boring, hvor de lavere tælleantal skyldes større diameter ved kaviteter i kalken. Der er ikke foretaget korrektion af flowloggen for disse kaviteter i den øvre del af kalken over 26 m, da flow log viser 100% flow fra 35 m til 26 m, men det vurderes at der ikke sker nogen indstrømning i boringen i det nævnte dybdeinterval fra 35 m og op til 17 m (forerør).

## 3.4 Boring 5A, DGU nr. 199.921

### 3.4.1 Tekniske forhold

Boringen er udført i maj 1979 med en boringsdybde på 50,6 m. Boringen er udbygget med forerør til 20,6 m dybde samt filter og gruskastning fra 20,6 – 50,6 m dybde.

### 3.4.2 Lagfølge

På grundlag af de udtagne jordprøver ved borearbejdet er der tolket følgende aflejningsmiljø og alder ned gennem ned gennem boringen:

<i>m u. terræn</i>	<i>boreprøvebeskrivelse</i>	<i>aflejningsmiljø - alder</i>
0 - 0,6	muld	
0,6 - 12,8	ferskvandsler	limnisk - senglacial
12,8 - 17,4	moræneler	glacigen - glacial
17,4 - 50,6	kalksandskalk og bryozokalk	marin -

Borerapporten angiver ferskvandsler fra 0,6 – 12,8 m dybde, herunder moræneler til top af kalk i ca. 17,4 m dybde (Bilag 8). Da gamma-loggen her er udført efter boringens udbygning med PVC-forerør og filterrør, kan bagfyld og forseglingsmateriale have influeret på gamma-loggens variationsmønster. Derfor er der ikke foretaget en logtolkning af den kvartære lagserie i denne boring.

Gammaloggen (Bilag 4) indikerer, at top af kalken er omkring 22 m dybde, kote –8 m. I ca. 39 m dybde (kote –24 m) ses et markant skifte i gammaloggens mønster til en lavere og mere konstant gammastråling under 39 m, svarende til et skifte fra kalksandskalk øverst til bryozokalk nederst. De øverste fire prøver i henholdsvis 24 m, 30 m, 35 m og 41 m er da også beskrevet som kalksandskalk, og den nederste prøve fra 48 m som bryozokalk. Men på grund af boreteknikken (tør- og slagboring) og den anvendte prøvetagningsmetode (sandspand) behøver prøven udtaget i 41 m dybde ikke nødvendigvis entydigt at repræsentere bjergarten i 41 m dybde.

Induktionsloggen ses at være kraftigt påvirket af metalgenstande ved filtersætningen af boringen (skrue og filterstyr). Men minimumsværdierne kan dog give en indikation af variationen i formationsledningsevnen og dermed porøsiteten i kalkdelen af boringen. Den relativt laveste porøsitet ses i 31 – 38 m dybde (kote -16 til -23 m), og den relativt største porøsitet i 41 – 45 m dybde (kote -26 til -30 m).

### **3.4.3 Temperatur- og ledningsevnelog uden pumpning**

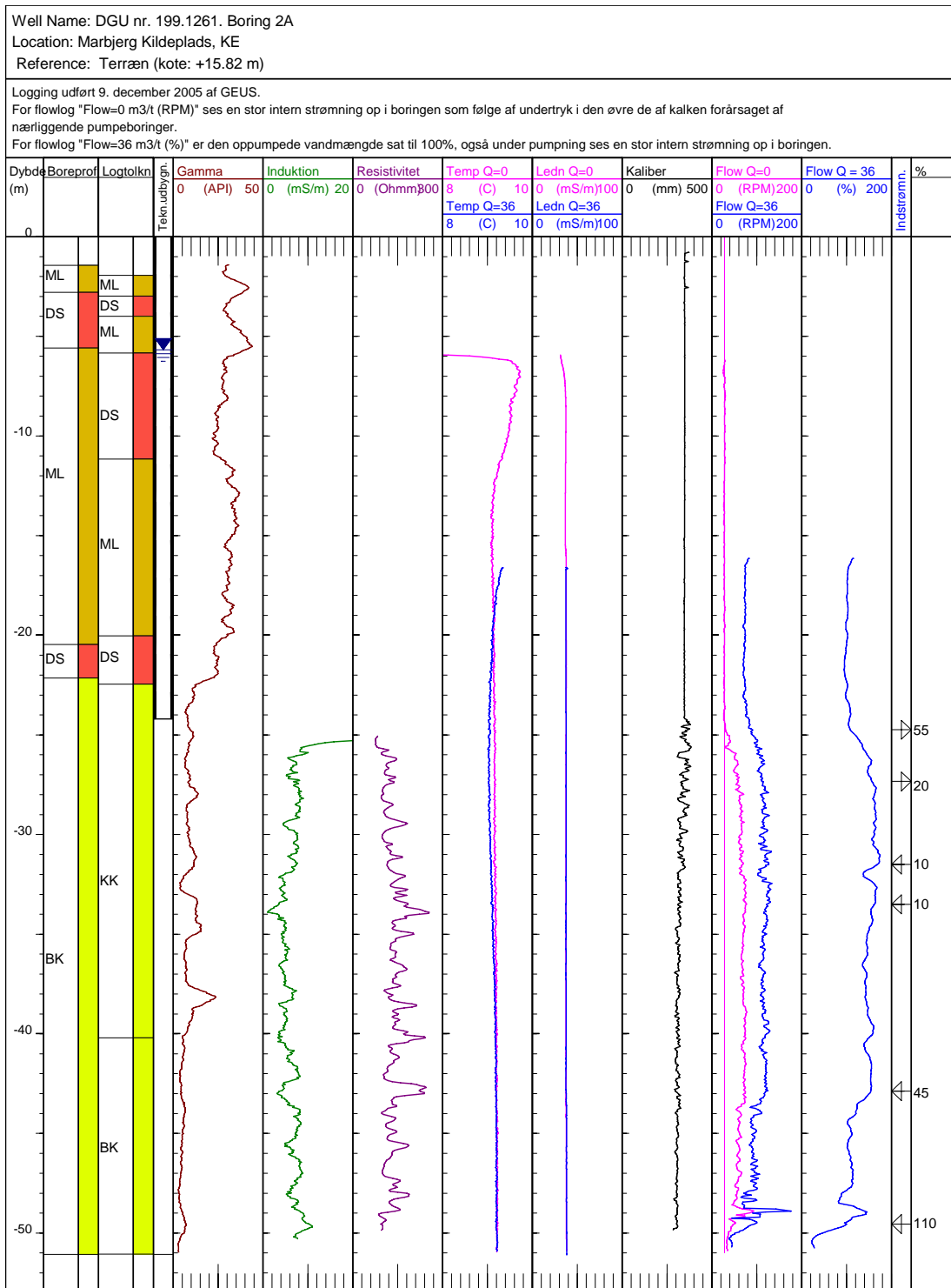
Temperaturen uden pumpning falder jævnt op gennem boringen fra 9,2 C<sup>0</sup> i 50 m dybde til under 8,4 C<sup>0</sup> øverst i grundvandssøjlen. I bunden af boringen i 50 m dybde er ledningsevnen ca. 50 mS/m. Ledningsevnen er i 48 m dybde faldet til 38 mS/m. Ledningsevnen er konstant op gennem boringen 38 mS/m.



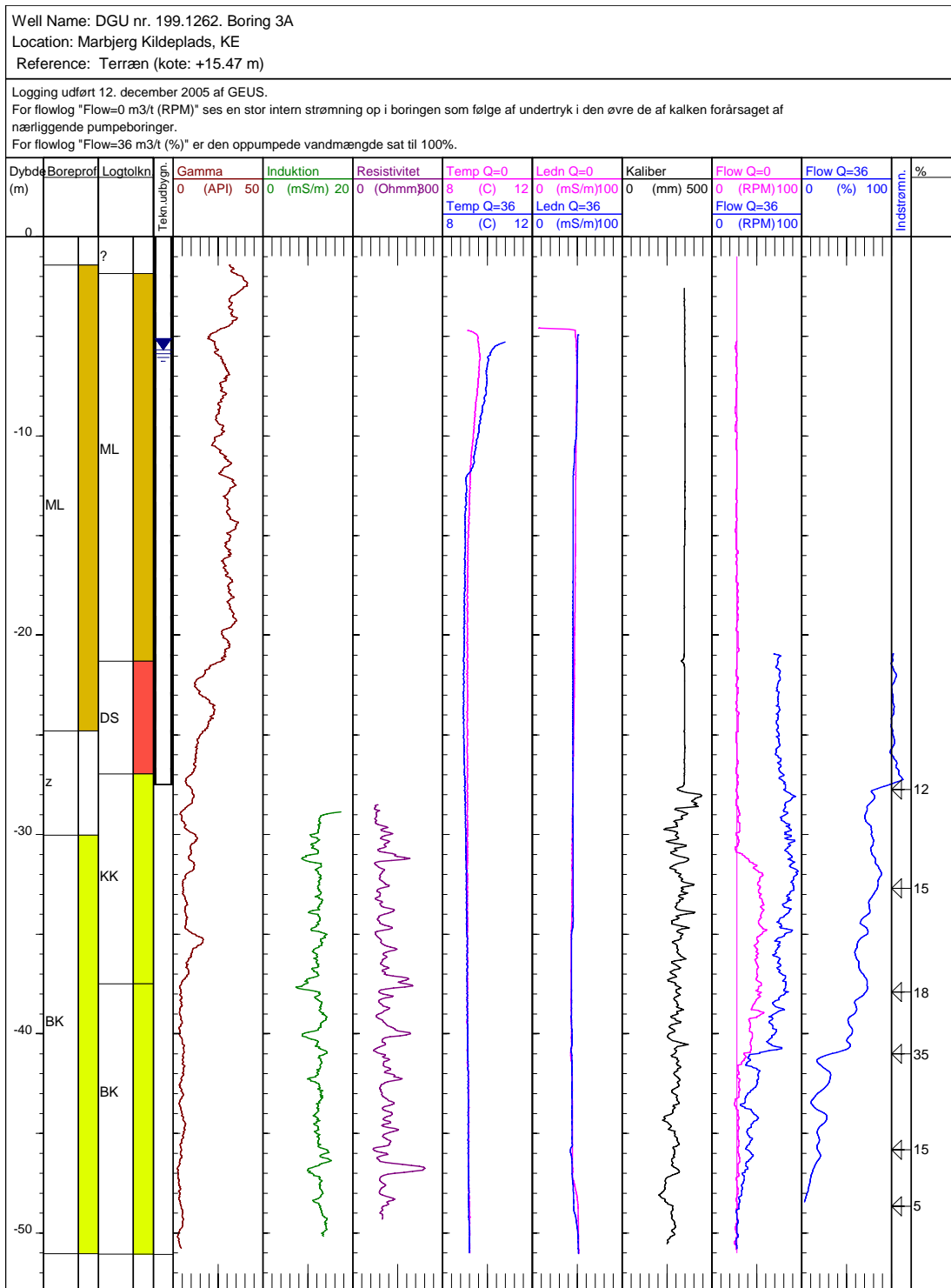
## 4 Bilags liste

- Bilag 1: GEUS borehuls logs fra boring DGU nr. 199.1261, Bor. 2A
- Bilag 2: GEUS borehuls logs fra boring DGU nr. 199.1262, Bor. 3A
- Bilag 3: GEUS borehuls logs fra boring DGU nr. 199.1273, Bor. 14A
- Bilag 4: GEUS borehuls logs fra boring DGU nr. 199.921, Bor. 5A
- Bilag 5: Borerapport fra boring DGU nr. 199.1261, Bor. 2A
- Bilag 6: Borerapport fra boring DGU nr. 199.1262, Bor. 3A
- Bilag 7: Borerapport fra boring DGU nr. 199.1273, Bor. 14A
- Bilag 8: Borerapport fra boring DGU nr. 199.921, Bor. 5A
- Bilag 9: Korrelation af gamma- og induktions-logs fra boring: 2A, 3A, 5A og 14A

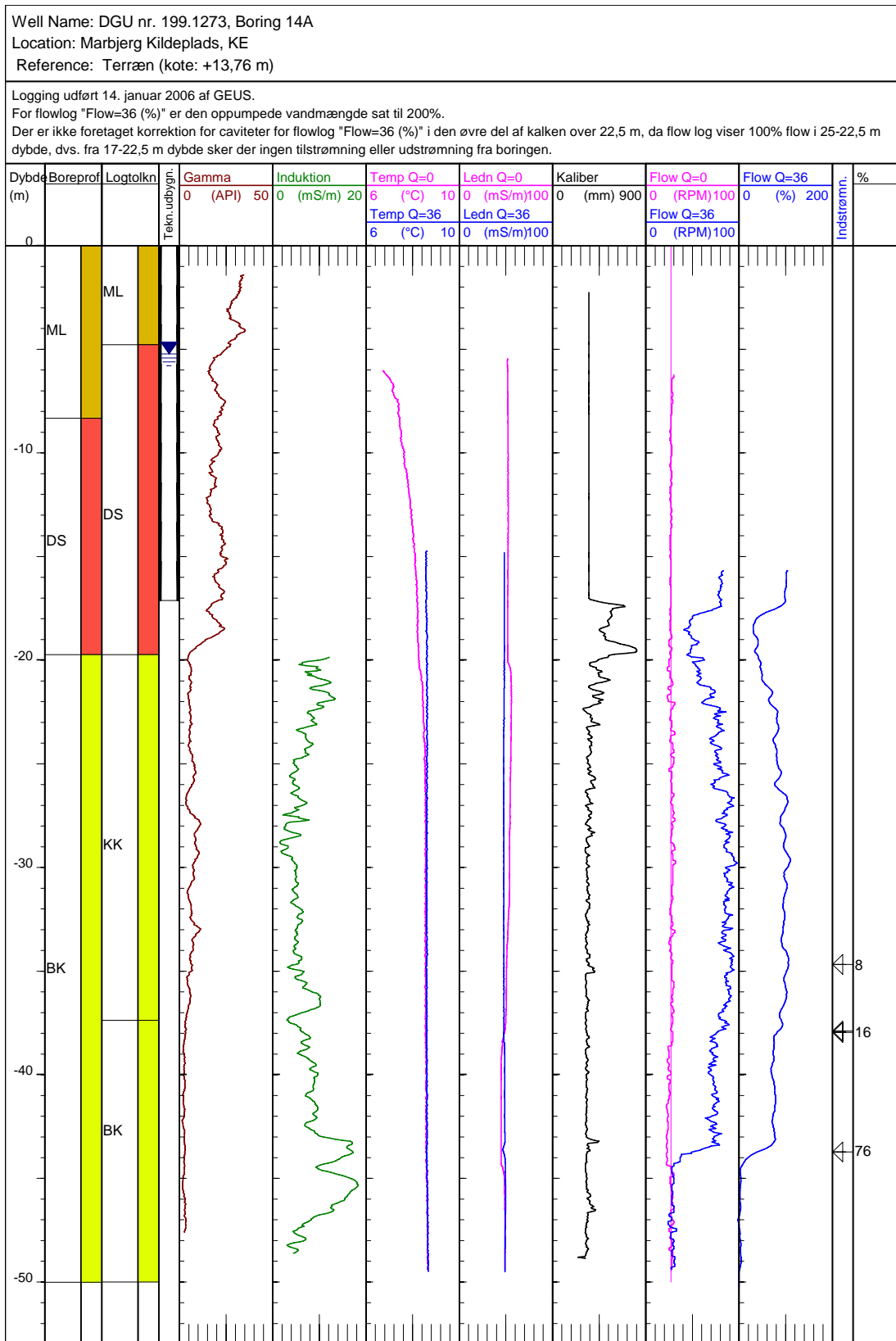
# BILAG 1

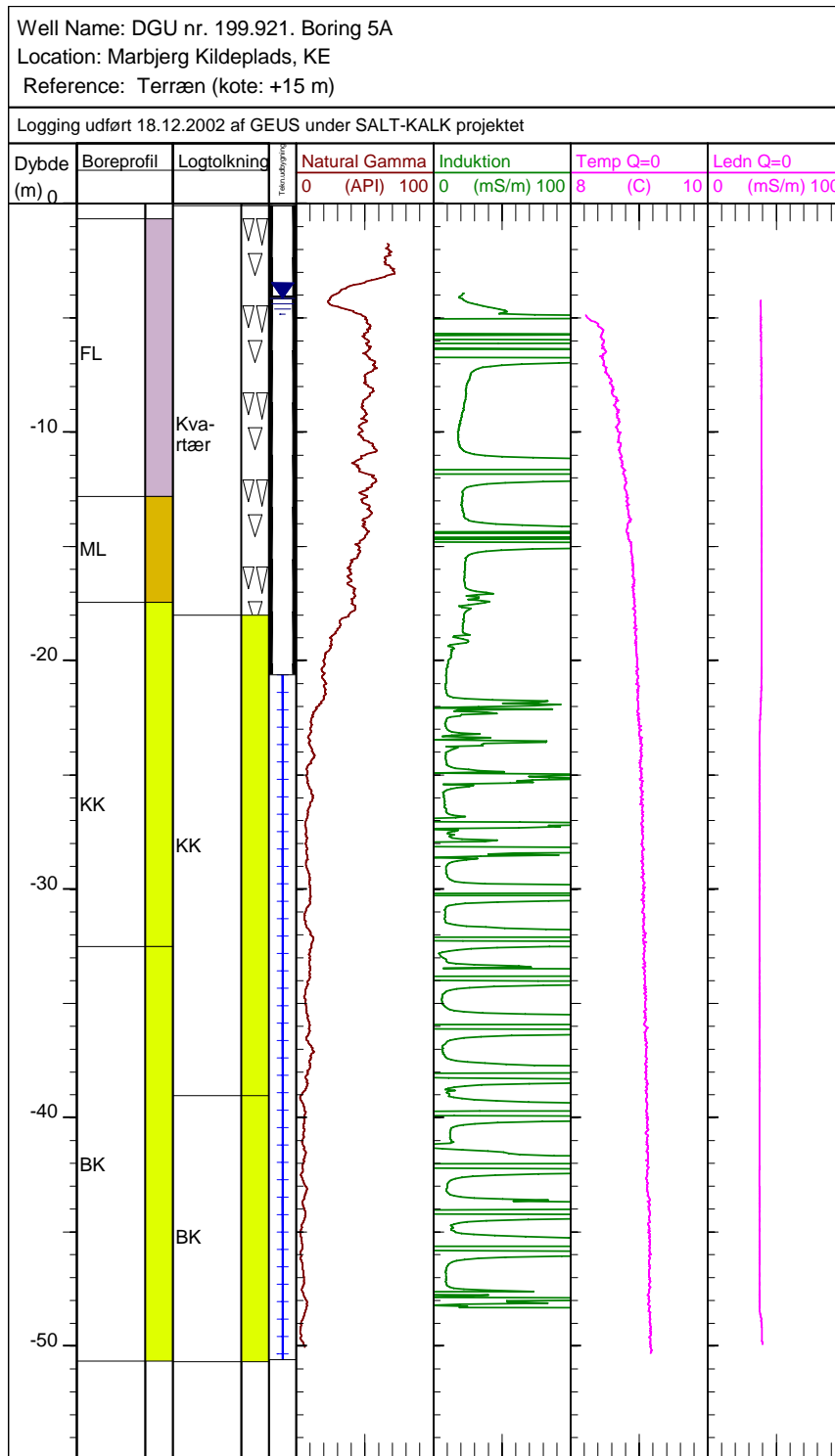


# BILAG 2



# BILAG 3







## BORERAPPORT

DGU arkivnr: 199. 1261

**Borested** : Marbjerg Kildeplads, Lejre Vandværk  
4000 Roskilde  
Erstatningsbor. 2A

**Kommune** : Roskilde  
**Amt** : Roskilde

**Boringsdato** : 27/12 2005

**Boringsdybde** : 51 meter

**Terrænkote** : 15,82 meter o. DNN

**Brøndborer** : Københavns Vandforsyning (fra 2003 KE Partner)

**MOB-nr** :

**Prøver**

- **mødtaget** : 1/2 2006 **antal** : 14

**BB-journr** :

- **beskrevet** : 3/2 2006 **af** : TC

**BB-bornr** : Marbjerg 2A

- **antal gemt** : 0

**Formål** : Vandværksboring

**Kortblad** : 1513 IVSØ

**Datum** : ED50

**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

**Koordinatkilde** : Brøndborer

**Boremethode** : Lufthæve

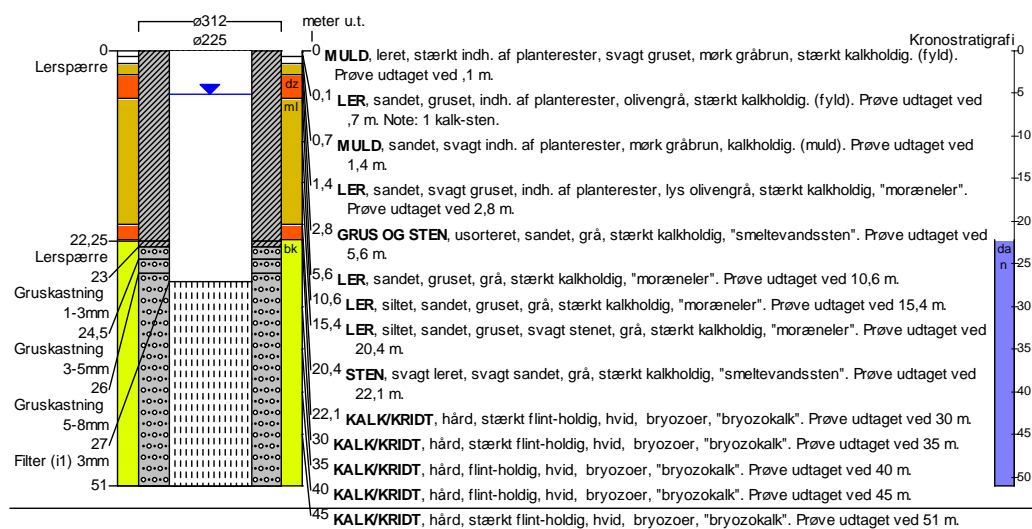
**UTM-koord.** : 697521, 6173843

**Koordinatmethode** : Differential GPS

	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sækning	Pumpetid
<b>Indtag 1</b> (seneste)	5,15 meter u.t.	27/12 2005	36 m <sup>3</sup> /t	0,96 meter	6 time(r)

## Tilbagepejling

**Indtag 1** Tid: 2min Vsp: 5,9m , Tid: 6min Vsp: 5,75m , Tid: 10min Vsp: 5,69m , Tid: 30min Vsp: 5,58m , Tid: 60min Vsp: 5,54m , Tid: 90min Vsp: 5,5m , Tid: 120min Vsp: 5,49m



## Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.

0 - 0,7	fyld
0,7 - 1,4	terrigen - postglacial
1,4 - 2,8	glacigen - glacial
2,8 - 5,6	glaciofluvial - glacial
5,6 - 20,4	glacigen - glacial
20,4 - 22,1	glaciofluvial - glacial
22,1 - 51	marin - danien



## BORERAPPORT

DGU arkivnr: 199. 1262

**Borested** : Marbjerg Kildeplads, Lejre Vandværk  
4000 Roskilde  
Erstatningsboring 3A

**Kommune** : Roskilde  
**Amt** : Roskilde

**Boringsdato** : 10/1 2006

**Boringsdybde** : 56 meter

**Terrænkote** : 15,47 meter o. DNN

**Brøndbore** : Københavns Vandforsyning (fra 2003 KE Partner)

**MOB-nr** :

**Prøver**

- **mødtaget** : 1/2 2006 **antal** : 15

**BB-journr** :

- **beskrevet** : 3/2 2006 **af** : CN

**BB-bornr** : Marbjerg 3A

- **antal gemt** : 0

**Formål** : Vandværksboring

**Kortblad** : 1513 IVSØ

**Datum** : ED50

**Anvendelse** :

**UTM-zone** : 32

**Koordinatkilde** : Brøndbore

**Boremetode** : Lufthæve

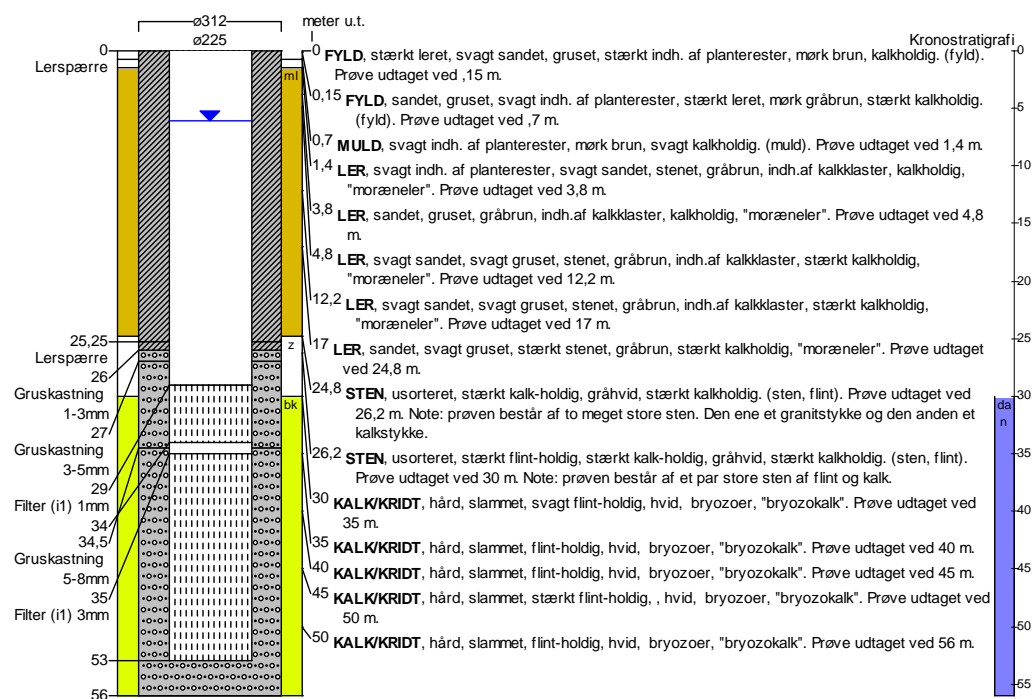
**UTM-koord.** : 697525, 6173932

**Koordinatmetode** : Differential GPS

Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sækning	Pumpetid
	6,08 meter u.t.	10/1 2006	36 m³/t	1,8 meter	6 time(r)

## Tilbagepejling

**Indtag 1** Tid: 2min Vsp: 6,66m , Tid: 6min Vsp: 6,55m , Tid: 10min Vsp: 6,5m , Tid: 30min Vsp: 6,4m , Tid: 60min Vsp: 6,31m , Tid: 120min Vsp: 6,24m



fortsættes..



---

**Aflejringsmiljø - Alder** (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

meter u.t.

0	-	0,7	fyld
0,7	-	1,4	terrigen - postglacial
1,4	-	24,8	glacigen - glacial
24,8	-	30	glaciofluvial - glacial
30	-	56	marin - danien/nedre palæocæn





**BORERAPPORT**

**DGU arkivnr: 199. 1273**

**Borested** : Marbjerg kildeplads, Lejre Vandværk  
4000 Roskilde  
Erstatning

**Kommune** : Gundsø  
**Amt** : Roskilde

**Boringsdato** : 16/2 2006      **Boringsdybde** : 50 meter      **Terrænkote** : 13,76 meter o. DNN

**Brøndborer** : Københavns Vandforsyning (fra 2003 KE Partner)  
**MOB-nr** :  
**BB-journr** :  
**BB-bornr** : Marbjerg 14A

**Prøver**  
- **modtaget** : 14/2 2006    **antal** : 14  
- **beskrevet** : 27/2 2006   **af** : TC  
- **antal gemt** : 0

**Formål** : Vandværksboring  
**Anvendelse** :  
**Boremethode** : Lufthæve

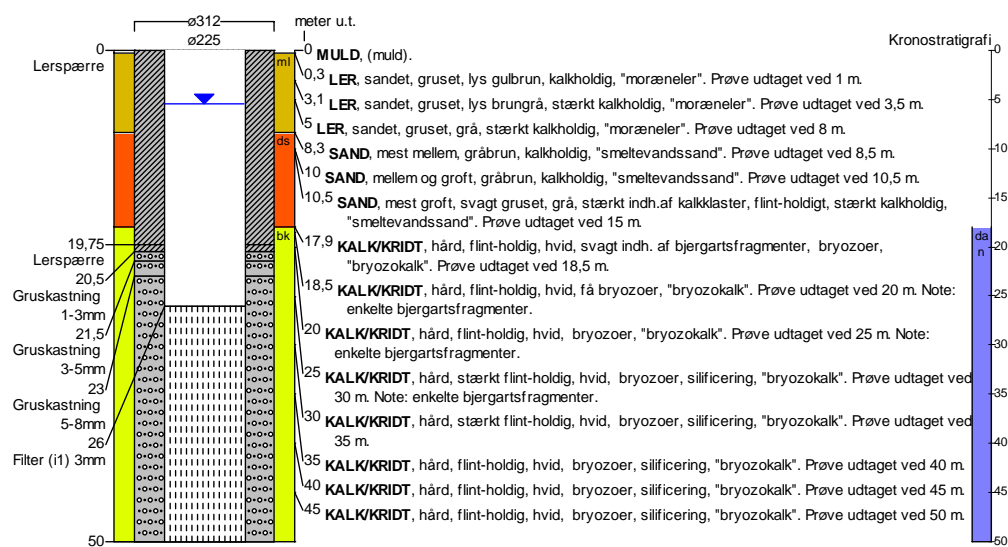
**Kortblad** : 1513 IVSØ  
**UTM-zone** : 32  
**UTM-koord.** : 697808, 6175003

**Datum** : EUREF89  
**Koordinatkilde** : Brøndborer  
**Koordinatmetode** : Differential GPS

	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
<b>Indtag 1</b> (seneste)	5,39 meter u.t.	16/2 2006	36 m <sup>3</sup> /t	0,7 meter	6 time(r)

**Tilbagepejling**

**Indtag 1** Tid: 2min Vsp: 5,6m , Tid: 6min Vsp: 5,58m , Tid: 10min Vsp: 5,57m , Tid: 30min Vsp: 5,55m , Tid: 60min Vsp: 5,52m



**Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)**

meter u.t.	
0 - 0,3	mangler
0,3 - 8,3	glacigen - glacial
8,3 - 17,9	glaciofluvial - glacial
17,9 - 50	marin - danien



## BORERAPPORT

DGU arkivnr: 199. 921

**Borested** : Marbjerg Vandværk. Bor.5a  
4000 Roskilde

**Kommune** : Gundsø  
**Amt** : Roskilde

**Boringsdato** : 16/5 1979

**Boringsdybde** : 50,6 meter

**Terrænkote** : 15 meter o. DNN

**Brøndborer** : Københavns Vandforsyning (fra 2003 KE Partner)

**MOB-nr** :

**BB-journr** :

**BB-bornr** :

**Prøver**

- modtaget :

- beskrevet : 24/6 1982 af : G

- antal gemt :

**Formål** : Vandforsyningsboring

**Kortblad** : 1513 IVSØ

**Datum** : ED50

**Anvendelse** : Tørboring/slagboring

**UTM-zone** : 32

**Koordinatkilde** :

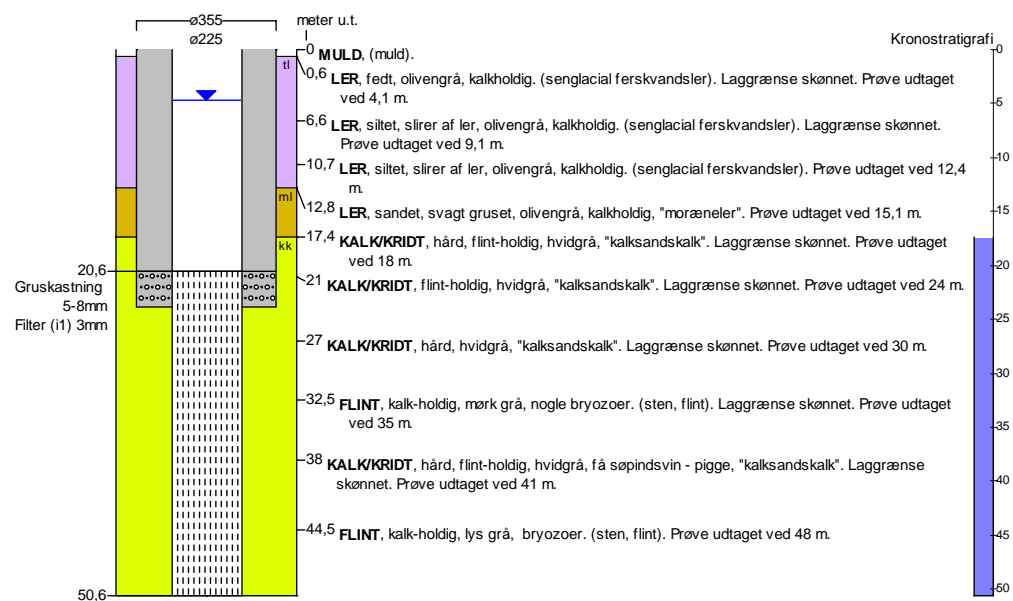
**Boremethode** : Tørboring/slagboring

**UTM-koord.** : 697507, 6174124

**Koordinatmethode** : Dig. på koor.bord

Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
	4,7 meter u.t.	16/5 1979	13,3 m <sup>3</sup> /t	0,4 meter	2,3 time(r)

**Notater** : Yderligere kapacitet: 13.3/0.43 (pumpet 5.3 time) Tilbagepejling: Efter 3,10,30 og 60 min. er vsp. henholdsvis 5.0, 4.92, 4.83 og 4.78 m.u.t.. Kote fra KV.



**Aflejringsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)**

meter u.t.

0 - 0,6	
0,6 - 12,8	limnisk - senlacial
12,8 - 17,4	glacigen - glacial
17,4 - 50,6	marin -

