

Emdrup, Københavns Energi

Borehulslogging 2008
Boring DGUnr. 201.6719

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen



Emdrup, Københavns Energi

Borehulslogging 2008
Boring DGUnr. 201.6719

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

Indhold

1	Introduktion og undersøgelsesprogram	3
2	Undersøgelsesresultater	5
2.1	Boring 201.6719 Emdrup	5
2.1.1	Tekniske forhold	5
2.1.2	Lagfølge	5
2.1.3	Porøsitet	7
2.1.4	Temperatur uden og med pumpning	7
2.1.5	Ledningsevne uden og med pumpning	8
2.1.6	Flowlog, indstrømningsfordeling og filtersætning	8
3	Konklusioner og anbefalinger	10
4	Bilags liste	12

1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For Københavns Energi blev der i februar 2008 foretaget borehulslogging af en ny potentiel vandforsyningsboring ved Lersø Park Allé i Emdrup. Boringen blev udført i november 2007, og har fået DGU nr. 201.6719.

Boringens placering fremgår af Figur 1. Formålet med den gennemførte loggingundersøgelse var at verificere den geologiske lagfølge, vurdere vandets ledningsevne samt at bestemme de zoner, hvor der finder en vandtilstrømning til boringen sted.

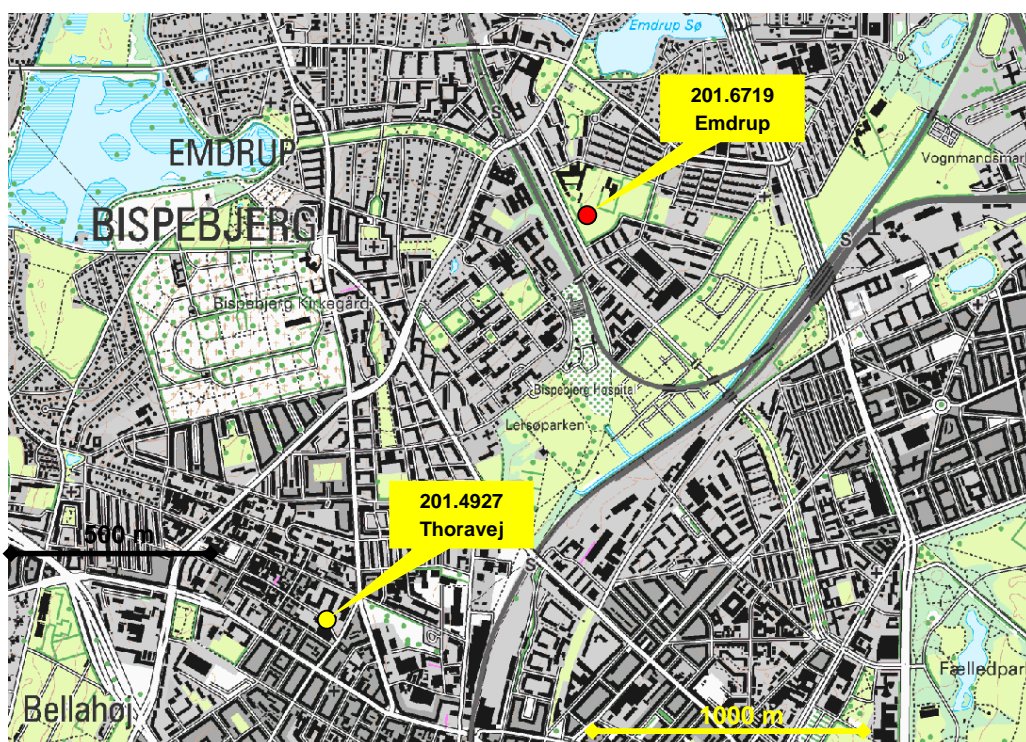


Fig. 1: Den undersøgte boring DGU nr. 201.6719, Emdrup, er angivet med rød cirkel (●). Den nærliggende boring DGU nr. 201.4927, Thoravej, er angivet med gul cirkel (●). Der er foretaget en sammenligning af loggingundersøgelser foretaget i de to borer.

Det normale GEUS logging program for vandindvindingsboringer omfatter en verifikation af den geologiske lagfølge ved hjælp af gamma-log, induktions-log og resistivets-log. Ledningsevne- og temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om eventuelle unormale ledningsevneforhold (saltvandspåvirkning, forurening mv.), indikation på intern strømning i boringen 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 kaliber-log. Sidstnævnte er nødvendig, fordi variationer i borehullets diameter og især forholdet imellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i kalken under forerøret vil influere stærkt på flow-loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørets diameter, og disse kan ved ældre borer være indikation på gennemtæringer. Forud for en flow-log udføres der altid en kalibreringstest af flow-sonden ved at køre den ned gennem hele boringen uden pumpning. En eventuel intern strømning imellem forskellige zoner i kalken eller mellem to filtre vil samtidig blive identificeret ved en sådan kalibrerings flow-log uden pumpning.

Det gennemførte borehulslog-program for boringen i Emdrup, DGU nr. 201.6719, fremgår af tabel 1.1. Flow-log samt temperatur- og ledningsevnelog under pumpning blev foretaget med en pumpeydelse på 5,1 m³/t.

Københavns Energi ønskede tillige at få bestemt porøsiteten i kalken, hvorfor der som supplement til det normale GEUS logging program også udførtes en Sonic-log. Denne log giver mulighed for at beregne porøsiteten i kalken.

Tabel 1.1: Logging undersøgelser i Emdrup, boring DGU nr. 201.6719

Log metoder:	Boring: DGU nr. Logging dato:	Emdrup 201.6719 20.2.2008
Gamma		X
Induktion, formationsledningsevne		X
Resistivitet, formationsmodstand		X
Temp. & Ledningsevne uden pumpning		X
Temp. & Ledningsevne under pumpning		X
Kaliber		X
Flow-log uden pumpning		X
Flow-log under pumpning		X
Full wave sonic-log		X

I Bilag 5 ses en oversigt over anvendte sonder, logging hastighed, sampling mm.

2 Undersøgelsesresultater

2.1 Boring 201.6719 Emdrup

2.1.1 Tekniske forhold

Boringen blev udført som en indirekte skylleboring og udbygget med et 250 mm pvc forerør fra terræn til 39 m dybde. Der er anvendt cement som spærremateriale mellem forerør og formation. Fra 39 – 75 m dybde står boringen som en uforet åben kalkboring. Flere informationer om boringens udbygning og data fremgår af brøndborerrapporten, Bilag 1.

Kaliber-loggen (Bilag 2) viser en varierende diameter på mellem 250 – 300 mm fra bund af forerør til 56,5 m dybde med enkelte kaviteter på op til 400 mm. Fra 56,5 – 67 m dybde er borehullet mere regelmæssigt med en diameter på 250 mm og med få kaviteter på op til 275 mm. Fra 67 m dybde til bund af boring har det åbne borehul en gennemsnitlig diameter på 242 mm, og der ses kun enkelte mindre kaviteter.

Under udførelse af flow-log samt temperatur og ledningsevnelog under pumpning blev der pumpet med en kapacitet på 5,1 m³/t. Rovandspejlet blev den 20. februar 2008 målt til 5,97 m under terræn.

2.1.2 Lagfølge

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

<i>meter u.t.</i>	<i>bjergart</i>	<i>aflejningsmiljø</i>	<i>alder</i>
0 - 4	ler	glacigen	glacial
4 - 6	sand og grus	glaciofluvial	glacial
6 - 12	ler	glacigen	glacial
12 - 18	grus	glaciofluvial	glacial
18 - 26	ler	glacigen	glacial
26 - 36	grus	glaciofluvial	glacial
36 - 70	kalk/kridt	marin	danien (københavn kalk formation)
70 - 70,7	ler	mangler	
70,7 - 75	kalk/kridt	marin	danien (københavn kalk formation)

Lagfølgen og laggrænser vurderet ud fra jordprøver og brøndborerens oplysninger er vist som "Boreprofil" på Bilag 2. En mere detaljeret beskrivelse af de enkelte boreprøver fremgår af Bilag 4.

Ud fra boreprøvebeskrivelser og induktions-log (formationsledningsevne) og med støtte i gamma-log er der foretaget en tolkning af den kvartære lagserie. Gamma-loggen ser dog ud til i nogen grad at være påvirket af cementspærren, idet gammastrålingsniveauet i visse delsektioner synes forhøjet. De peaks, der ses på induktions-loggen for hver ca. 6 meter i forerøret er påvirkninger fra enten metalskruer i forerøret eller metalstyr til centrering af sidstnævnte. I den åbne del af boringen er der foretaget en tolkning af geologien ud fra boreprøvebeskrivelser samt gamma-, induktions- og resistivitets-log (formationsmodstand).

I de øverste ca. 6 m af den åbne kalksektion lige under forerøret har det ikke været muligt at opnå pålidelige målinger af formationens resistivitet (Bilag 2). Dette skyldes sandsynligvis at der er tale om en ekstra god og tæt cementering lige under og omkring forerørets bund, som er hindrende for den returnerende målestrøm fra center-elektroden i at nå tilbage til den uisolerede del af log-kablet ca. 6 m ovenover center-elektroden.

Ca. 1,8 km sydvest for Emdrup-boringen findes boring DGU nr. 201.6719 (ved GEUS' tidligere domicil på Thoravej), hvor der tidligere er foretaget borehulslogging og foreligger en detaljeret beskrivelse af tilsvarende geologiske forhold. Resultater fra undersøgelserne i Thoravej-boringen (Bilag 3), som var en kerneboring til kalibrering af geofysiske borehuls-logs, er anvendt ved vurderingerne af undersøgelsesresultaterne fra Emdrup-boringen.

Dybde intervallerne fra ca. 1,5 – 4,9 m, fra 9,8 – 11,6 m og fra 18,8 – 23,0 m tolkes ud fra de udførte logs som moræneler, og hvorimellem der optræder lag af smeltevandsgrus. Direkte over kalken, som træffes i ca. 37,5 m dybde, ses yderligere et gruslag med en mægtighed på ca. 14 m, hvilket er 4-5 m mere end boreprofilet giver indtryk af (Bilag 2 og 4).

Kalken ses generelt at have en signifikant lavere gammastråling (ca. 16 API) end de kvartære aflejringer. Fra ca. 64 m dybde ses gammastrålingen i kalken yderligere at falde til ca. 9 API. Dette vides fra den ovennævnte boring på Thoravej at indikere overgangen fra kalksandskalk til bryozokalk. I sidstnævnte boring lå grænsen mellem de to kalkbjergarter i ca. 66 m dybde, dvs. i kote -49 m og i Emdrup boringen ligger grænsen i kote -44 m.

Ud for brøndborerens observerede lerlag i 70,0 til 71,5 m dybde i Emdrup boringen ses en markant dobbelt peak såvel på gamma-loggen som på induktions-loggen ca. 6 m nede i Bryozokalken. I samme dybde ses et dobbelt minimum på resistivitets-loggen. Lignende dobbelt peaks og dobbelt minimum ses i Thoravej boringen ca. 5 m under top af Bryozokalken (Bilag 2 og 3).

Peaks i gamma-strålingen, der ikke modsvares af tilsvarende peaks i formationsledningsevnen (induktions-loggen) eller af resistivitets minima, skyldes et højere indhold af uran i kalksandskalken snarere end at de skyldes ler. Sådanne peaks ses i Emdrup boringen f.eks. i dybde intervallet fra 57 m og ned til 63 m.

Variationer i formationsledningsevnen (induktionsloggen) og formationsmodstanden (resistivitetsloggen) i kalken, der ikke modsvares af tilsvarende variationer på gamma-loggen i kalken, afspejler først og fremmest variationer i porøsiteten. Der ses flere sådanne kalkbænke med lavere ledningsevne og højere resistivitet og dermed ringere porøsitet, mest markant er dette i 50,5 m, 58 – 60 m, 66 m, 69 m og 72 m dybde.

I dybde intervallet 55 m – 60 m viser induktions-loggen den laveste formationsledningsevne. I det samme dybde interval viser ledningsevne-loggen under pumpning den laveste ledningsevne for det tilstrømmende vand. Ovenover dette dybdeinterval ses såvel formationsledningsevnen som vandets ledningsevne under pumpning at stige svagt. Induktions-loggen afspejler således tilsyneladende såvel porevandets ledningsevne som porøsiteten i det nævnte interval (afsnit 2.1.3 og 2.1.5).

2.1.3 Porøsitet

Kalkbjergarternes porøsitet kan beregnes ud fra målinger foretaget med en Full Wave Sonic sonde. Denne sonde måler rejsetiden per længdeenhed for lydbølger (p-bølger) genereret og modtaget af sonden ned gennem boringen.

Porøsiteten er beregnet ud fra følgende udtryk (Wyllie's formel):

$$\text{Porøsitet} = 100 * (\text{ITT}-50)/(200-50)$$

hvor

ITT = målt "Interval Transit Time" ($\mu\text{s}/\text{ft}$)

"50" = 50 $\mu\text{s}/\text{ft}$, transit tid i tæt kalk (tabelværdi)

"200" = 200 $\mu\text{s}/\text{ft}$, transit tid i ferskvand (tabelværdi)

Sonic loggen omsat til porøsitet, viser, at porøsiteten af kalken generelt ligger mellem 20 % og 30 %, men at der ses dybde intervaller med porøsitet helt op til 40 %, ligesom der er flere intervaller med markant lave porøsiteter (0-20 %). Sidstnævnte ses netop at optræde ved de ovennævnte kalkbænke med lav formationsledningsevne og høj formationsresistivitet.

2.1.4 Temperatur uden og med pumpning

For begge temperatur-logs gælder, at der generelt er ret små variationer, dvs. fra 10,6 C⁰ til 11,0 C⁰. Den laveste temperatur i boringen (10,6 C⁰) ses i dybde intervallet 50 – 57 m indikerende indstrømning i dette interval i situationen med pumpning. I situationen uden pumpning stiger temperaturen op gennem boringen til 10,9 C⁰ i den nedre del af

forerøret. Den relativt høje grundvandstemperatur er ofte observeret ved borehulslogging i bymæssige områder, og kan f.eks. skyldes fjernvarme. I den øvre del af forerøret varierer temperaturen mellem 10,7 og 11,0 C⁰ sandsynligvis som følge af forskellige temperaturer i grundvandet i de kvartære gruslag udenfor forerøret.

2.1.5 Ledningsevne uden og med pumpning

I situationen uden pumpning er ledningsevnen fra bund af boring til ca. 1 m under forerøret konstant 91,0 mS/m. Herover og i forerøret er ledningsevnen konstant 85,5 mS/m.

Under pumpning ses en konstant ledningsevne på 92,7 mS/m fra bund af boring til ca. 57 m dybde. Ledningsevnen falder til 54,5 mS/m i 53 m dybde, og stiger herover jævnt til 80 mS/m i 40,2 m dybde (ca. 1 m under forerørets bund), hvor den stiger til 92,6 mS/m. Ledningsevnen indikerer således at det indstrømmende vand nederst i boringen med en ledningsevne på ca. 93 mS/m fortyndes ved flere indstrømninger i intervallet fra 65 m til 53 m til en ledningsevne på 54 mS/m. Ledningsevnen i porevandet i kalken under lerlaget i 70-71 m dybde er således højere end ovenover lerlaget, hvilket også ses på induktions-loggen, idet denne viser at formationsledningsevnen under lerlaget er 18 mS/m og ovenover dette kun er 10 mS/m.

Ovenover dybden 53 m øges ledningsevnen igen ved hver indstrømning for til sidst at være ca. 93 mS/m i forerøret. Det indstrømmende vand lige under forerøret må følgelig have en ledningsevne, der er betydeligt højere end den resulterende ledningsevne på 93 mS/m. Da indstrømningen lige under forerøret jævnfør nedenfor omtalte flow-log bidrager med 2/3 af den samlede ydelse, kan ledningsevnen af dette vand beregnes til 102 mS/m.

2.1.6 Flowlog, indstrømningsfordeling og filtersætning

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5,0 m/min. Den kontinuerte propel flow-log under pumpning blev udført med en konstant pumpeydelse på 5,1 m³/t.

Flow-loggens rotationstal under pumpning er først fratrukket basistallet på 125 rpm svarende til den anvendte logging hastighed på 5 m/min (se "Flow Q=0" på Bilag 2). Dernæst er rotationstallene i boringen under 62,7 m dybde gjort mindre svarende til at diameteren i denne dybde ændres fra 242 mm til 250 mm, som er den gennemsnitlige diameter i boringen over 62,7 m dybde og af forerøret. Der benyttes følgende formel til beregning af de korrigerede rotationstal for den nedre del af boringen: $\text{rpm}_{\text{korrigeret}} = \text{rpm}_{\text{målt}} \cdot (\varnothing_{\text{åben boring}})^2 / (\varnothing_{\text{forerør}})^2$, hvor $\varnothing_{\text{åben boring}} = 242$ mm og $\varnothing_{\text{forerør}} = 250$ mm. Der er ikke foretaget korrektion for kaviteter mellem bund forerør og 62,7 m dybde.

Sættes den oppumpede vandmængde (Q= 5,1 m³/t) til 100 % viser den korrigerede flowlog ("Q = 5,1 (%)", Bilag 2) følgende indstrømningsfordeling i den gennemborede åbne kalksektion:

39,1 – 40,1 m: 66 %
47,0 – 47,0 m: 8 %
54,8 – 55,3 m: 6 %
62,2 – 62,3 m: 4 %
65,7 – 65,8 m: 6 %
Under 75,0 m: 10 %

To tredjedele af tilstrømningen til boringen finder sted lige under forerøret mellem 39,1 m og 40,1 m dybde, og hovedparten af dette vand stammer sandsynligvis fra grusmagasinet over kalken. Grusmagasinet må forventes at have en væsentlig større transmissivitet end selv den øvre opsprækkede kalk. I intervallet 66 m til 41 m dybde er de identificerede indstrømningszoner ikke særligt markante, og sammenholdt med ledningsevnen målt under pumpning synes der at være tale om en relativt stor mængde indstrømninger i dette interval, hvor ca. 24 % af vandtilstrømningen til boringen finder sted.

3 Konklusioner og anbefalinger

Den gennemborede kalk består af kalksandskalk (København Kalk formationen) ned til ca. 64 m dybde, og herunder træffes Bryozokalk,

Ca. 6 m nede i Bryozokalken træffes en ca. 1 m tyk horisont med to lerlag, som tilsyneladende har en vis lokal udbredelse, idet de også optræder i Thoravej boringen ca. 2 km sydvest for Emdrup boringen.

Under denne lerhorisont har grundvandet en højere ledningsevne (>90 mS/m) end ovenover, hvor den er mindre end 60 mS/m. Indstrømningen fra Bryozokalken under lerhorisonten udgør ca. 10 % af ydelsen.

Øverst i kalken lige under forerøret indstrømmer ca. 65 % af ydelsen, og dette vand har en ledningsevne på lidt over 100 mS/m.

De resterende ca. 25 % indstrømmer fra en mængde sprækker fordelt imellem 45 og 65 m dybde, hvoraf kun de mest prominente er vist med pile på Bilag 2.

Det meste af såvel København Kalken som Bryozokalken har porøsitet mellem 20 og 30 %, men der ses sektioner med helt op til 40 % porøsitet, ligesom der findes meget tætte kalkbænke med næsten ingen porøsitet.

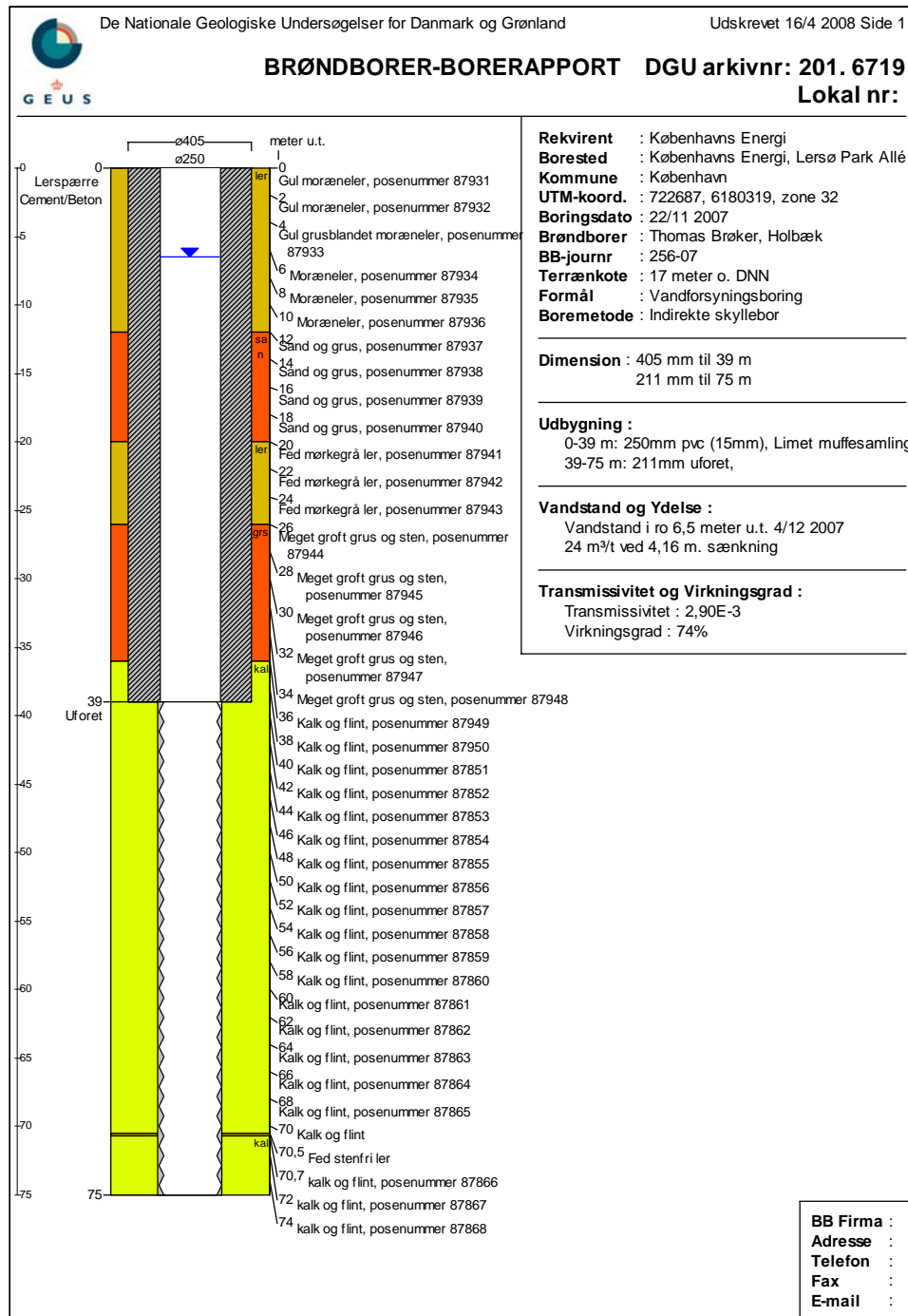
- Hvis den forhøjede ledningsevne i vandet fra den øverste del af kalken skyldes forhøjet klorid indhold, kan dette være en indikation på påvirkning fra vejsaltning eller anden overfladeaktivitet, og dermed en indikation på dårlig grundvandsbeskyttelse. Derfor anbefales det at udtage en vandprøve specielt af det indstrømmende vand øverst i kalken til kemisk analyse.
- Viser det sig, at det øvre vand er klorid forurennet eller forurennet af andre stoffer, bør den øvre del af kalken afspærres.
- En vandanalyse fra hele boringen viser et indhold af Vinylklorid i grundvandet.
- For at minimere kloridbelastningen af denne såvel som eventuelle kommende boringer på kildepladsen, kan den nederste del af kalken op til lerhorisonten tilbagestøbes, og fremtidige boringer kan eventuelt stoppes ved lerhorisonten. Forinden bør der dog i denne boring udtages en vandprøve specielt fra kalken under lerhorisonten til fastsættelse af kloridkoncentrationen her. Ledningsevnelog samt induktions-log sammenholdt med blandingsvandets kloridindhold på 96 mg/l tyder dog ikke på en kloridkoncentration over ca. 100 mg/l i bunden af boringen.
- Da København Kalk - Bryozokalk grænsen i denne boring ligger i kote ca. -47 m, og Bryozokalk formodes at være ca. 50 m tyk, vil Skrivekridtet antagelig først træffes i kote ca. -97 m. Erfaringer fra projektet "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland" viser at saltvandsgrænsen (>300 mg/l klorid) som regel er sammenfaldende med toppen af Skrivekridt, når denne ligger dybere end

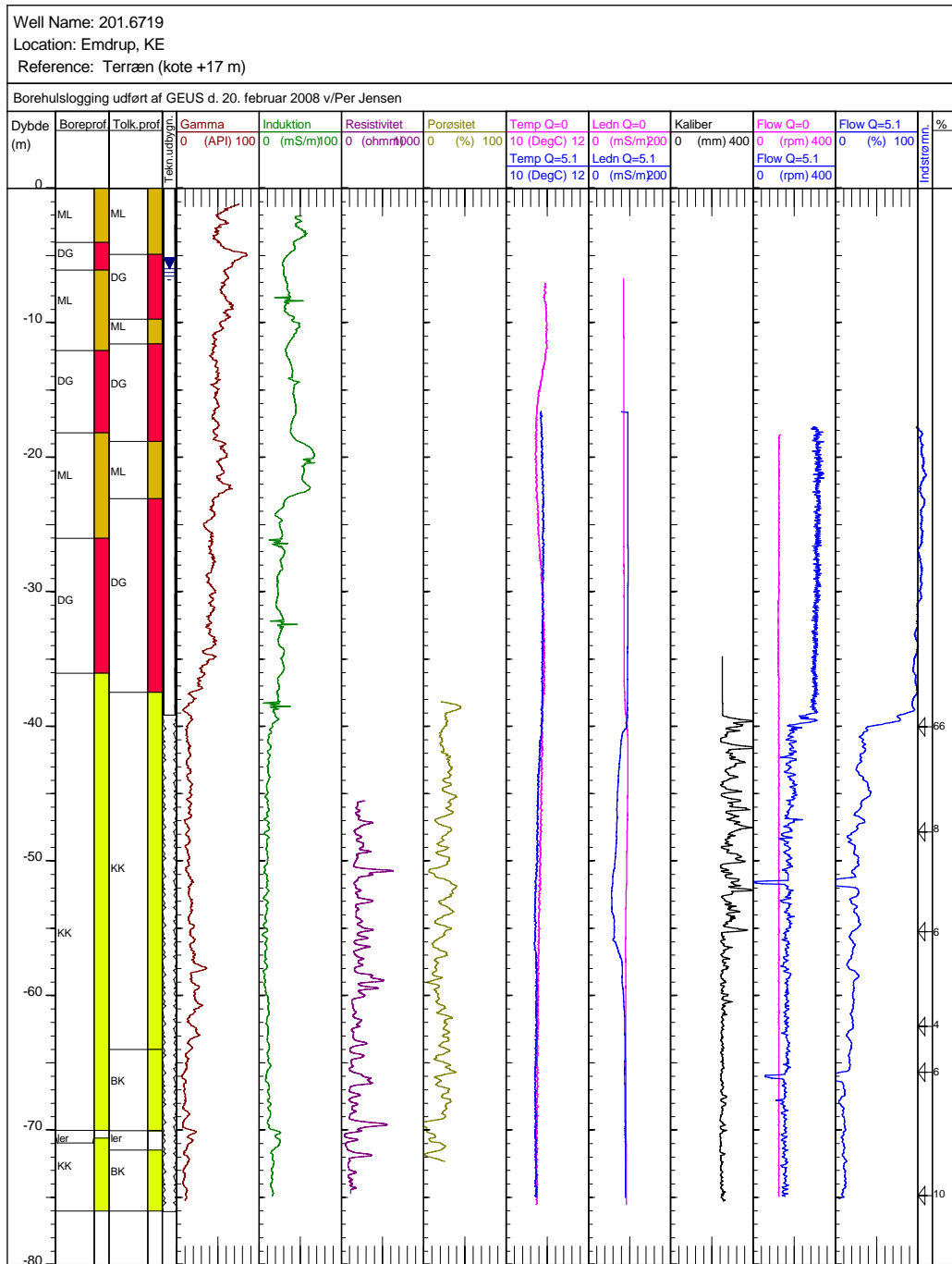
kote -60 m. Det anbefales derfor at bore mindst én boring på denne kildeplads ned til Skrivekridt, for derved at få klarhed over, hvor tykt det ferskvandsførende kalkmagasin er under kildepladsen, og få fastlagt kloridindholdet og variationen i dette i Danienkalken under lerhorisonten.

- Også i lyset af, at der er indikation på forurening af den øvre del af kalkmagasinet med Vinylklorid, må det være af betydning at udnytte hele det ferskvandsførende kalkmagasin.
- Lignende dybe boringer ned til Skrivekridt blev udført i 1990'erne på en række af KE's kildepladser, hvorved der blev indhøstet værdifulde hydrogeologiske oplysninger om dybden til Skrivekridtet og til saltvandspåvirket grundvand.

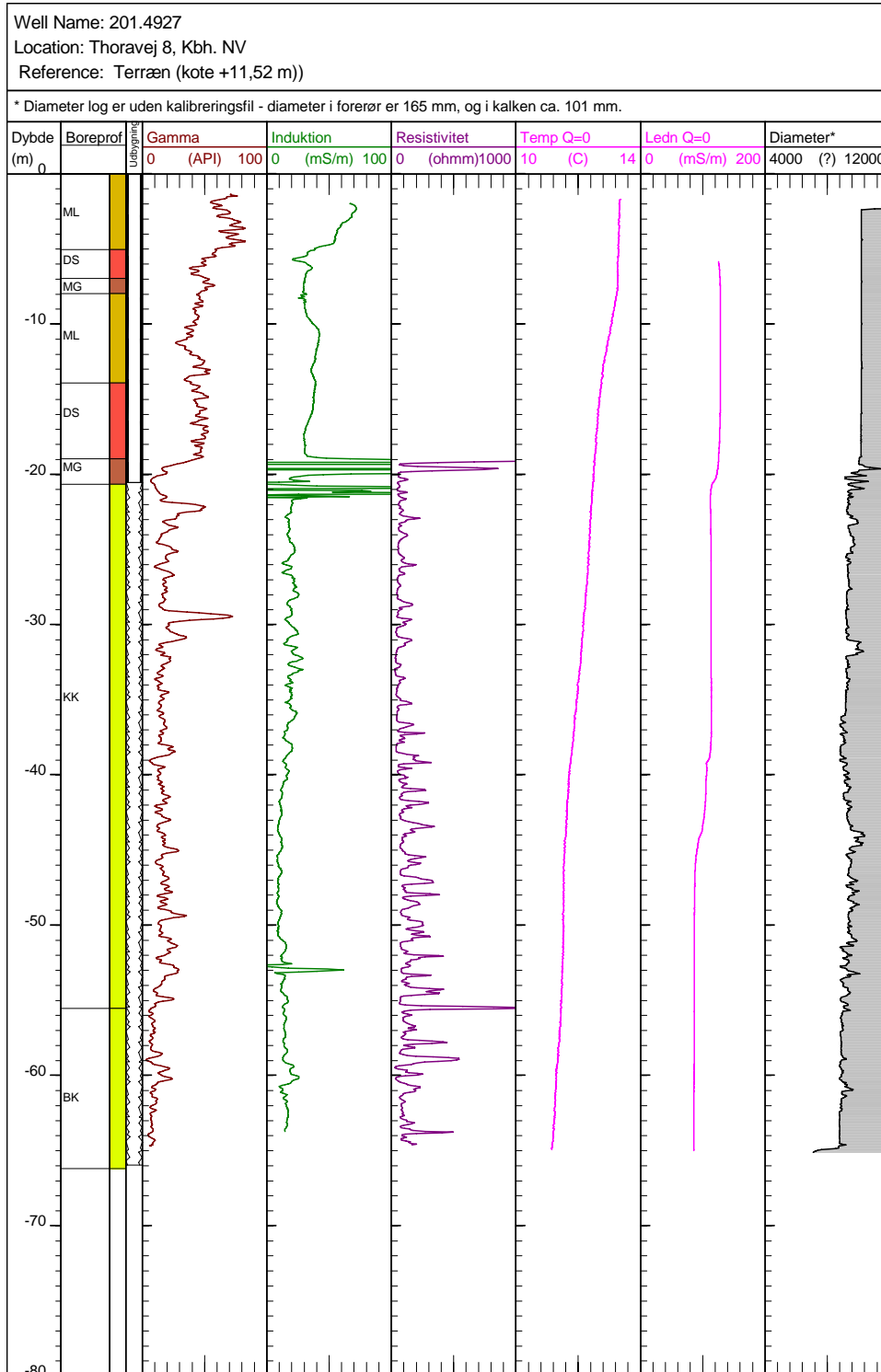
4 Bilags liste

- Bilag 1: Brøndborer rapport med teknisk udbygning af boring DGUnr. 201.6719
- Bilag 2: GEUS borehuls-logs fra boring DGUnr. 201.6719, Emdrup
- Bilag 3: GEUS borehuls-logs fra DGUnr. 201.4927, Thoravej, København NV
- Bilag 4: Borerapport med prøvebeskrivelser fra boring DGUnr. 201.6719
- Bilag 5: Anvendte sonder, log-hastighed, sampling mm.





BILAG 3





BORERAPPORT

DGU arkivnr: 201. 6719

Borested : Københavns Energi, Lersø Park Allé
2100 København Ø

Kommune : København
Amt : Københavns Kom.

Boringsdato : 22/11 2007

Boringsdybde : 75 meter

Terrænkote : 17 meter o. DNN

Brøndborer : Thomas Brøker, Holbæk
MOB-nr :
BB-journr : 256-07
BB-bornr :

Prøver
- **modtaget** : 4/12 2007 **antal** : 38
- **beskrevet** : 14/12 2007 **af** : TC
- **antal gemt** : 0

Formål : Vandforsyningsboring
Anvendelse :
Boremetode : Indirekte skyllebor

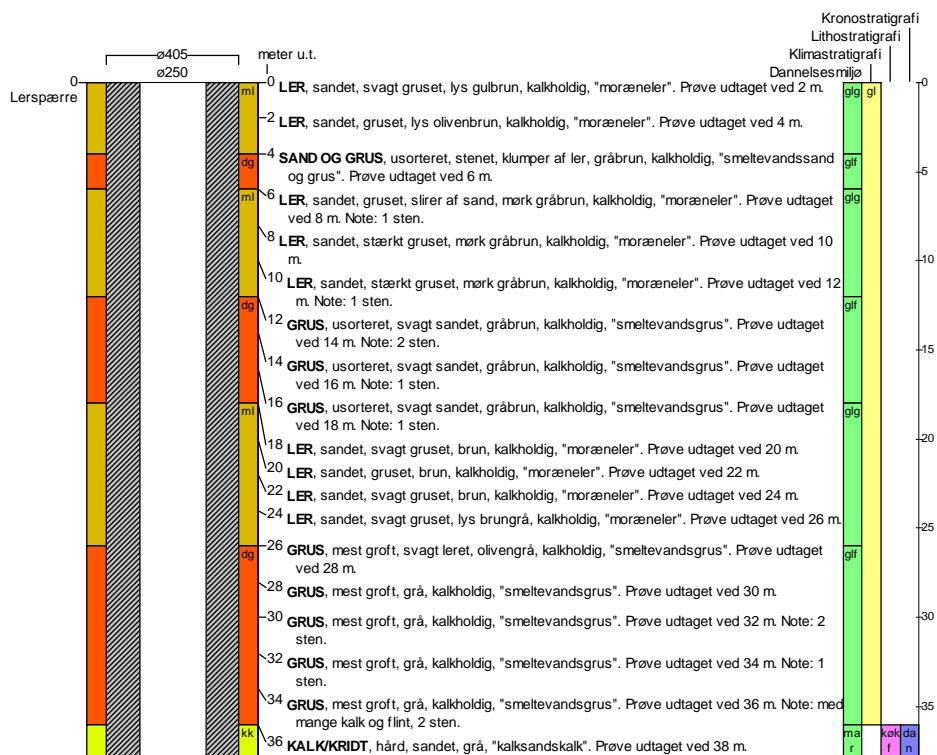
Kortblad : 1513 INØ
UTM-zone : 32
UTM-koord. : 722687, 6180319

Datum : EUREF89
Koordinatkilde : Brøndborer
Koordinatmetode : KMS digitale kort

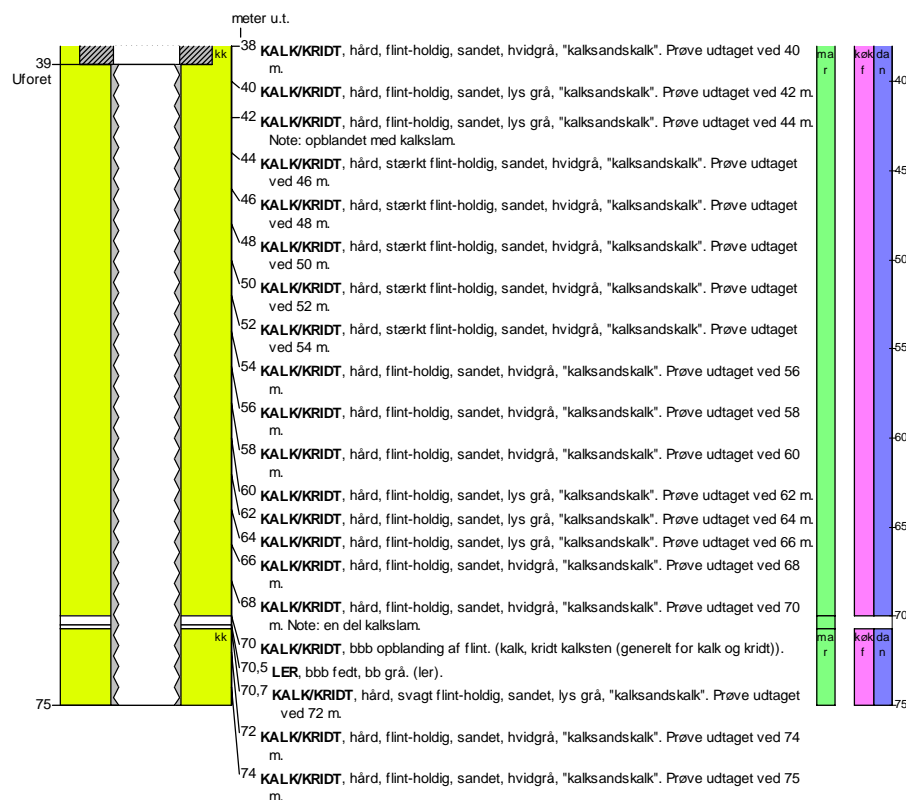
Indtag 1 (seneste)	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
(seneste)	ikke indtastet	4/12 2007	24 m³/t	4,16 meter	

Tilbagepejling

Indtag 1 Tid: 83min Vsp: 6,8m



fortsættes..



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

meter u.t.			
0	-	4	glacigen - glacial
4	-	6	glaciofluvial - glacial
6	-	12	glacigen - glacial
12	-	18	glaciofluvial - glacial
18	-	26	glacigen - glacial
26	-	36	glaciofluvial - glacial
36	-	70	marin - danien (københavn kalk formation)
70	-	70,7	mangler
70,7	-	75	marin - danien (københavn kalk formation)

Anvendte sonder, logging hastighed, sampling mm.

Sonde nr.	Måling	Log-hastighed (m/min)	Log-retning	Måletæthed (cm)	Midling af målinger (cm)	Udglatning (Boxcar: 7 point window)
TCDS3719	Naturlig gammastråling	3,0	Ned	1	5	Ja
TCDS3719	Temperatur og ledningsevne af væske, uden pumpning	3,0	Ned	1	5	Nej
TCDS3719	Temperatur og ledningsevne af væske, under pumpning	3,0	Ned	1	5	Nej
INDG1832	Induktion, formationens elektriske ledningsevne	3,0	Op	1	5	Nej
Guard RES 9072C Century	Resistivitet, formationens elektriske modstand	6,0	Op	1	5	Nej
3LACS1704	Kaliber, 3-arme	3,0	Op	1	5	Nej
HRFM4047	Flow-log, uden pumpning	5,0	Ned	1	5	Nej
HRFM4047	Flow-log, under pumpning	5,0	Ned	1	5	Ja
FWSV	Akusisk hastighed, porøsitet (full wave sonic log)	3,0	Op	1	5	Ja