

Husum, Københavns Energi

Borehulslogging 2008

DGUNr. 201.7006

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen



Husum, Københavns Energi

Borehulslogging 2008

DGUnr. 201.7006

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

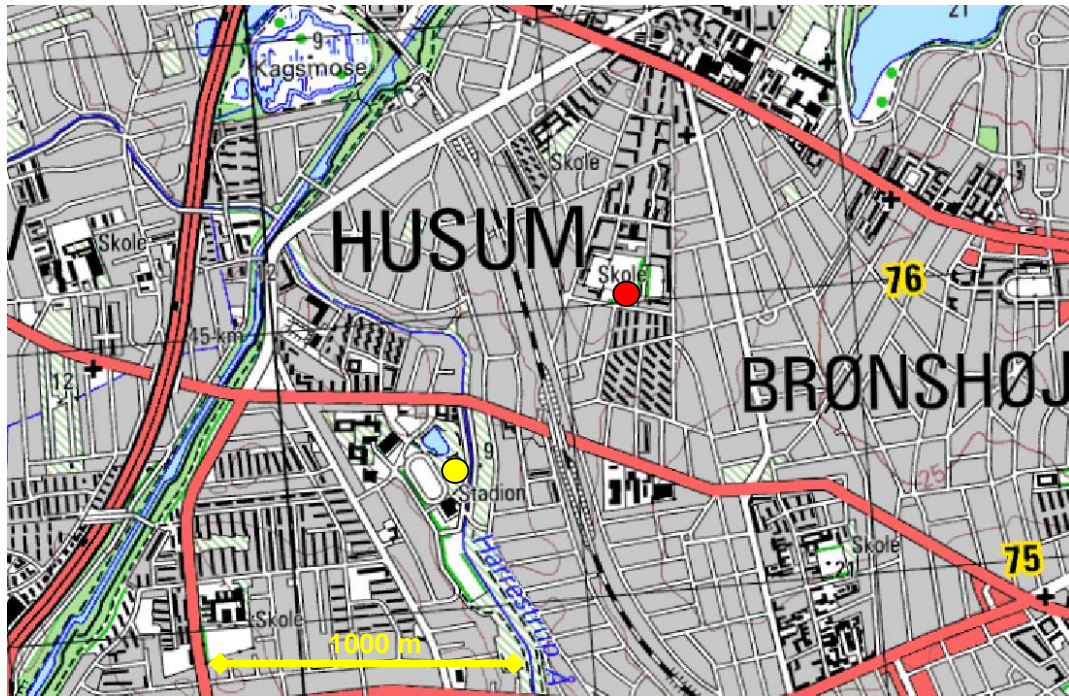
Indhold

1.	Introduktion og undersøgelsesprogram	3
2.	Undersøgelsesresultater	5
2.1	Boring 201.7006 Husum	5
2.1.1	Tekniske forhold	5
2.1.2	Lagfølge	5
2.1.3	Temperatur uden og med pumpning	6
2.1.4	Ledningsevne uden og med pumpning.....	7
2.1.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	7
3.	Sammenligning af flow-log og ledningsevne-log ved 2 pumpeydelse	9
4.	Bilag	11

1. Introduktion og undersøgelsesprogram

For Brøndborer Thomas Brøker blev der den 20.-21. oktober 2008 foretaget borehulslogging af en ny vandforsyningsboring ved Husumparken, Husum. Boringen blev udført for Københavns Energi medio oktober 2008, og har fået DGU nr. 201.7006.

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.



Figur 1. Den undersøgte boring DGUnr. 2001.7006, Husum, er angivet med rød cirkel (●) Den nærliggende boring DGU nr. 200.4309, Stadionparken, Rødovre, 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 resistivitets-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 forerørrets diameter, og disse kan ved ældre boringer 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 program for borehulslogging af boringen i Husum, DGU nr. 201.7006, fremgår af Tabel 1. Flow-log samt temperatur- og ledningsevne-log under pumpning blev foretaget med en pumpeydelse på 37,2 m³/t. Pumpen var placeret i 15 m dybde med en afsænkning til ca. 14 m dybde.

Tabel 1. Borehulslogging undersøgelser i Husum, boring DGUnr. 201.7006

	Boring: DGU nr. Logging dato:	Husum 201.7006 20.-21.10.2008
Log metoder:		
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

I Bilag 5 ses en oversigt over anvendte sonder, logging hastighed, data-filtreringsprocedure mm.

2. Undersøgelsesresultater

2.1 Boring 201.7006 Husum

2.1.1 Tekniske forhold

Boringen blev udført som en indirekte skylleboring og udbygget med et 355 mm jern/rustfrit stål forerør fra terræn til 19 m dybde. Der er anvendt cement som spærremateriale mellem forerør og formation. Fra 19 – 69 m dybde står boringen som en uforet åben kalkboring. Flere informationer om boringens udbygning og karakteristika fremgår af brøndborerrapporten, Bilag 1.

Kaliber-loggen (Bilag 2) viser at bunden af forerøret er i 18,6 m dybde. Umiddelbart under forerøret i 18,8 m dybde ses en større kavitet på 480 mm. Fra 19,7 – 69,0 m dybde er borehullet meget regelmæssigt med en gennemsnitlig diameter på 317 mm, og der ses kun enkelte mindre kaviteter på op til 340 mm.

Under udførelse af flow-log samt temperatur- og ledningsevnelog under pumpning blev der pumpet med en kapacitet på 37,2 m³/t. Rovandspejlet blev den 20. oktober 2008 målt til 6,70 m under terræn.

2.1.2 Lagfølge

Prøver fra boringen er beskrevet af GEUS's boreprøvelaboratorium. Der blev derved tolket følgende aflejningsmiljø og alder ned gennem boringen:

<i>meter u.t.</i>	<i>bjergart</i>	<i>aflejningsmiljø</i>	<i>alder</i>
0 - 14	ler	glacigen	glacial
14 - 16	grus	ant. glaciofluvial	kvartær/danien
16 – 36	kalk/kridt	marin	danien
36 – 69	kalk/kridt	marin	maastrichtien

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

Gamma-loggen viser en relativt høj naturlig gammastråling gennem hele den kvartære lagserie, hvilket indikerer overvejende moræneler. Fra top af boring til ca. 6,7 m dybde ses en højere gammastråling og dermed mere lerholdig moræneler i forhold til intervallet 6,7 – 12,8 m dybde, hvor moræneleren ifølge prøvebeskrivelsen (Bilag 4) der mere gruset. I 12,8 m dybde stiger gammastrålingen igen. Prøvebeskrivelsen angiver et siltet og leret gruslag

med megen kalk. Den høje gammastråling i dette gruslag kunne tyde på at gamma-loggen er påvirket af cementspærren.

Toppen af kalken ses af gamma-loggen at være i 16,0 m dybde. I denne dybde falder den naturlige gammastråling markant.

Da forerøret er af jern kan der ikke foretages målinger med induktions- og resistivitets-log i den kvartære lagserie og i den øverste del af kalken.

Fra 20,0 m til 36,2 m dybde ses en relativt lav formationsledningsevne (induktions-log) og en relativt høj og varierende formationsmodstand (resistivitets-log). Dette forløb svarer godt til det variationsmønster som er observeret for lag af kalksandkalk i boring DGUnr. 200.4309, Rødovre Vandværk (Bilag 3). Denne boring er beliggende ca. 900 m sydvest for den her undersøgte boring (Figur 1). Formationsledningsevnen er den reciproke værdi af formationsmodstanden (Induktionsmåling (mS/m) = 1000/Resistivitsmåling (ohmm)).

I 36,2 m dybde ses et markant skift i formationsmodstanden (resistivitets-log) med mindre variationer, samt et lavere og lidt faldende modstandsniveau ned til ca. 46 m dybde. Det vurderes på denne baggrund at toppen af Skrivekridt er i 36,2 m dybde svarende til kote -21,6 m. I boring DGUnr. 200.4309 ses toppen af Skrivekridt i kote -24,1 m (Bilag 3).

I 56,0 – 58,6 m dybde ses en markant dobbelt peak i gammastråling, formationsledningsevne og –modstand som er karakteristisk for Kjølbjerggård Merglen (Bilag 2 og 3). Over dette niveau ses flere mindre mergellag. Under Kjølbjerggård Merglen er formationsledningsevne og -modstand mere konstant.

Under 59 m dybde ses en mere konstant formationsledningsevne på ca. 28,5 mS/m. Da formationsfaktoren for skrivekridt er ca. 4 giver en overslagsmæssig beregning at porevandet ledningsevne er ca. 114 mS/m ($4 \times 28,5 = 114$), hvilket svarer til den målte ledningsevne af grundvandet i boringen (Bilag 2)

2.1.3 Temperatur uden og med pumpning

I situationen uden pumpning er temperaturen konstant 9,7 °C i den åbne del af boringen fra bunden til ca. 21 m dybde. Herover stiger temperaturen til 11,0 °C i forerøret sandsynligvis som følge af påvirkning fra overfladen (Bilag 2 og afsnit 2.1.4)

Under pumpning er temperaturen fra bunden af boringen til 56,0 m dybde (toppen af Kjølbjerggård Merglen) konstant 9,7 °C. Herover falder temperaturen til 9,5 °C i 25,7 m dybde, faldet er mest markant i indstrømningsintervallet 27,0 – 36,0 m dybde. Herover stiger temperaturen til 9,7 °C ved bunden af forerøret. I forerøret kan den observerede temperaturstigning skyldes varmeafgivelse fra pumpen placeret i 15 m dybde.

2.1.4 Ledningsevne uden og med pumpning

I situationen uden pumpning er ledningsevnen konstant omkring 111 mS/m i den åbne del af boringen fra bunden til ca. 21 m dybde. Herover falder ledningsevnen til 62,6 mS/m i forerøret sandsynligvis som følge af påvirkning fra stillestående vand i forerøret (Bilag 2).

Under pumpning ses den højeste ledningsevne på 111 mS/m fra bunden af boringen til 59,4 m dybde. Herover falder ledningsevne gradvis ved hvert indstrømningsniveau (Bilag 2). Det største og mest markante fald i ledningsevne ses i intervallet fra 59,5 m – 48,7 m dybde, hvor ledningsevnen falder fra 108 mS/m til 74 mS/m. I kalksandskalken falder ledningsevnen fra 71,2 mS/m i 36,3 m dybde til 64,2 mS/m ved bunden af forerøret i 18,6 m dybde. Dette viser at ledningsevnen af det tilstrømmende vand falder op gennem boringen, og således fortyder det mere saltholdige vand i bunden af boringen mere og mere jo højere op i boringen der måles.

2.1.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5,0 m/min. Den kontinuerede propel flow-log under pumpning blev udført med en konstant pumpeydelse på 37,2 m³/t.

Flow-loggens rotationstal under pumpning er korrigeret for diametervariationer i boringen. Dette er gjort ved at korrigere rotationstallene i forerøret og i intervallet 18,6 til 19,7 m dybde i forhold til diameteren i den åbne del af boringen fra 19,7 – 69,0 m dybde. Der benyttes følgende formel til beregning af de korrigerede rotationstal (rpm): $rpm_{\text{korrigeret}} = rpm_{\text{målt}} \cdot (\frac{\varnothing_{\text{forerør}}}{\varnothing_{\text{åben boring}}})^2$, hvor $\varnothing_{\text{forerør}} = 355$ mm og $\varnothing_{\text{åben boring}} = 317$ mm. Der er ikke foretaget yderligere korrektion for den større kavitet i 18,8 m dybde.

Ved beregning af den procentvise indstrømningsfordeling er den korrigerede flow-log under pumpning først fratrukket basisrotationstallet på 252 rpm målt i situationen uden pumpning, og svarende til den anvendte logging hastighed på 5 m/min (se "Flow Q=0" på Bilag 2). Dernæst er flow-loggen normeret i forhold til et rotationstal på 902 rpm i forerøret minus basisrotationstallet.

På flow-loggen ("Q = 37 (%)", Bilag 2) er der identificeret i alt 10 indstrømningszoner hvoraf de to største i 19,4 m og 28,3 m dybde udgør henholdsvis 33 % og 21 % af den samlede tilstrømning til boringen. Der ses følgende overordnede indstrømningsfordeling i den gennemboede åbne kalksektion:

18,6 – 19,4 m: 33 %
19,5 – 36,1 m: 35 %
48,6 – 55,3 m: 20 %
54,8 – 65,4 m: 12 %

En tredjedel af tilstrømningen til boringen finder sted lige under forerøret mellem 18,8 og 19,4 dybde, og hovedparten af dette vand stammer sandsynligvis fra grusmagasinet over kalken og den øvre opsprækkede kalk. Fra bund af forerør til bund af kalksandskalk i 36,1

m dybde finder to tredjedele af den samlede tilstrømning til boringen sted. 20 % af tilstrømningen ses i intervallet fra 48,6 – 55,3 m dybde umiddelbart over mergellaget, og 10 % fra 54,8 – 65,4 m. Herunder ses ingen tilstrømning.

3. Sammenligning af flow-log og ledningsevne-log ved 2 pumpeydelse

I forbindelse med borehuls-logging af boring DGUnr. 201.7006, Husumparken, blev der foretaget flow-log samt temperatur- og ledningsevne-log under pumpning med to forskellige ydelser: 9 m³/t og 37 m³/t.

Til diskussion af pumpeydelsens indflydelse på resultatet af flow-log og ledningsevne-log opmålt under pumpning er der fremstillet en speciel figur, Bilag 6. Denne figur viser dels flow-logs og dels ledningsevne-logs opmålt med henholdsvis ydelsen 9 m³/t og 37 m³/t. Endvidere vises diameter-loggen samt flow-loggenes hastigheds-log (log-hastighed), idet ændringer i diameter eller i log-hastighed kan resultere i variationer i flow-loggen uden at disse skyldes variation i den strømmende vandmængde (vandflux: Q i m³/t) i en given dybde.

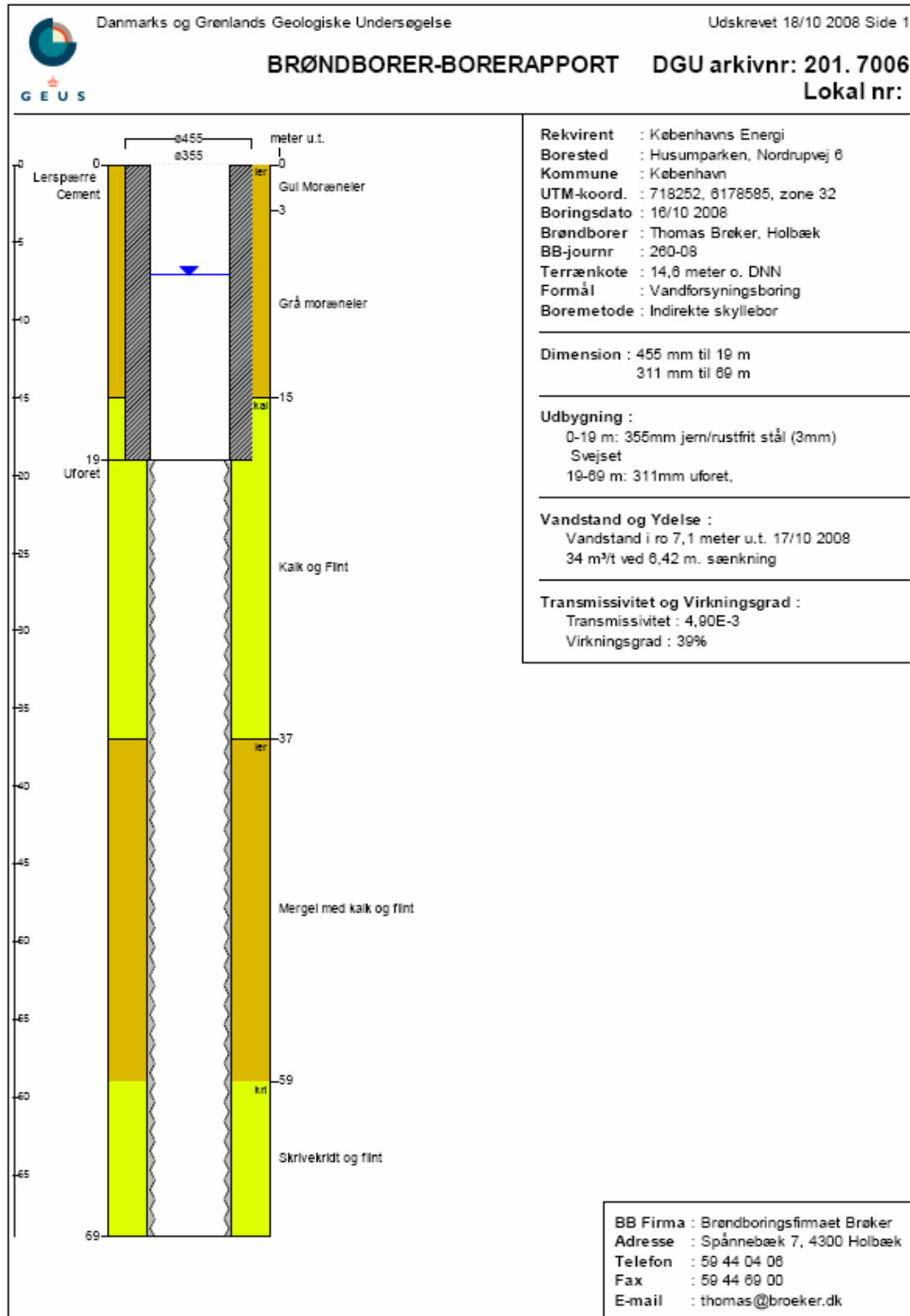
Af figuren Bilag 6 fremgår:

- 1) De to flow-logs er praktisk taget ens og tolkningen vil resultere i udpegning af de samme indstrømningszoner, men størrelsen af de enkelte indstrømninger vil afvige med mindre end 5 % (absolut størrelse).
- 2) På den nederste del fra 66 m til 55 m vil indstrømningerne bestemt ved 9 m³/t blive større end ved 37 m³/t.
- 3) Fra 55 m til 27 m vil de være ens.
- 4) Fra 27 m til forerør i 18 m vil indstrømningerne bestemt ved 9 m³/t blive mindre end ved 37 m³/t.
- 5) Tidligere erfaringer fra mange lignende forsøg med at udføre flow-log med forskellige ydelser i samme boring har vist, at indstrømninger på mindre end 1-2 % på den nederste strækning i en boring vil blive vanskeligere at identificere og bestemme jo mindre ydelse der anvendes. For den øvrige del af boringen hvor den samlede indstrømning udgør ca. 95 %, vil indstrømningsfordelingen stort set være uafhængig af pumpeydelsens størrelse.
- 6) I dette tilfælde, hvor såvel formationsvandets ledningsevne såvel som dets temperatur, varierer med dybden (stigende mod større dybde) giver temperatur- og ledningsevne-log begge mulighed for at identificere indstrømningszonerne ved de karakteristiske trinvis ændringer. Uden disse logs ville det have været vanskeligere præcist at identificere alle indstrømningszonerne ud fra flow-loggene, idet sidstnævnte lokalt viser store udsving som kamouflerer indstrømningerne.
- 7) Disse lokalt optrædende store udsving på flow-loggene ses at optræde på samme sted på begge flow-log. Ved sammenligning med diameter-loggen og med hastigheds-loggene ses det, at de store udsving hverken skyldes særlige indsnævninger i boringens diameter eller pludselige ændringer i logging-hastigheden (nedsænkings-hastigheden).
- 8) De fleste af de store udsving sker lige efter at sonden på vej nedad har passeret en indstrømningszone (27 m, 49 m, 51 m, 52 m, 55 m og 59 m, hvorfor det må antages at skyldes manglende centrering af sonden (for lille styr).
- 9) På figuren er kun vist de to ledningsevne-logs målt under pumpning, idet temperatur-loggene i princippet viser samme relative forløb. Men i modsætning til flow-loggene ses ledningsevne-loggene at være meget forskellige, selvom de viser de samme trinvis æn-

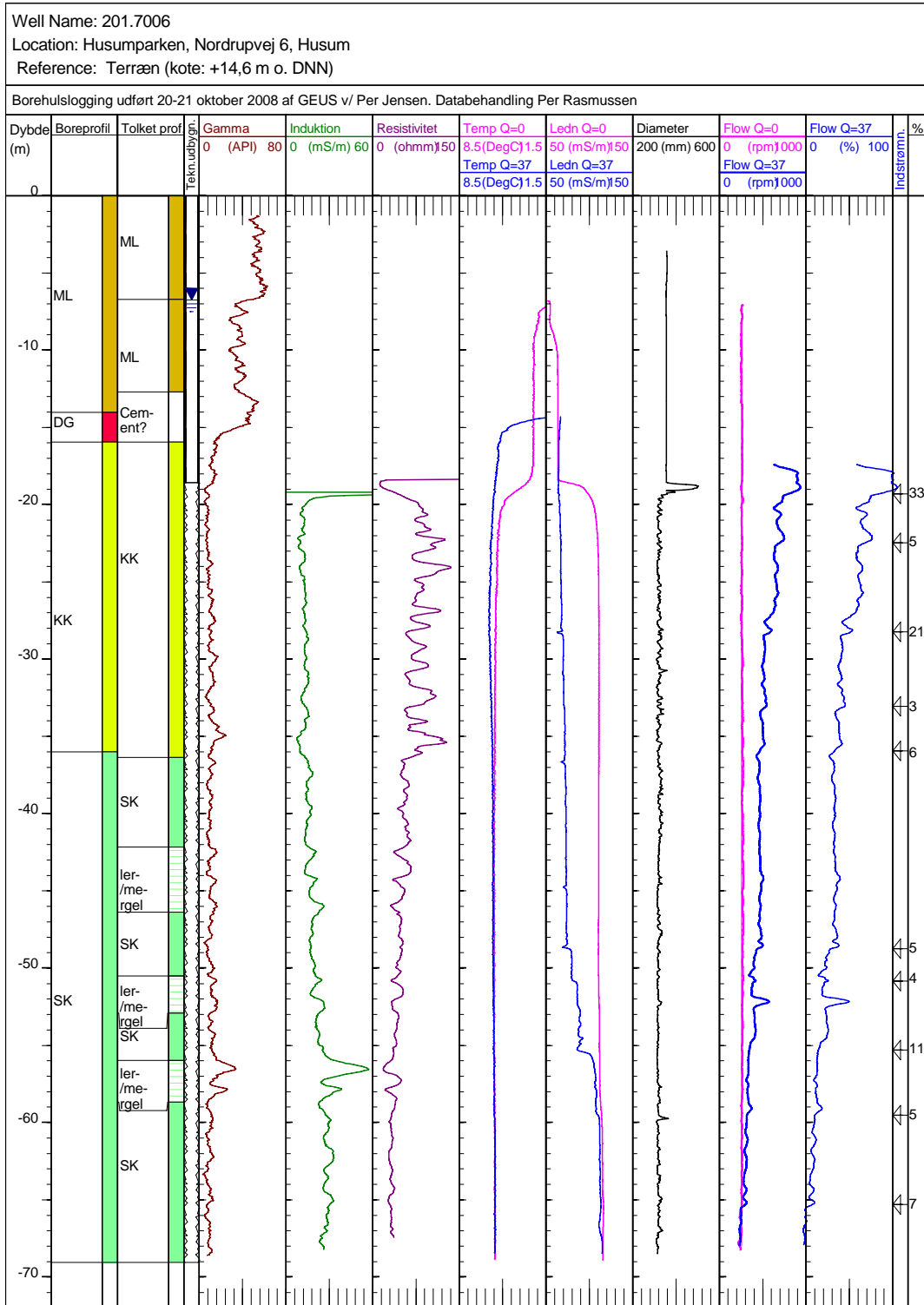
dringer. Da ledningsevnen på det indstrømmende vand i boringens nedre del er større end højere oppe i lagserien vil det opadstrømmende vand i boringen blive fortyndet ved hver indstrømning. Opstilles en massebalanceligning ved en af de store indstrømninger, kan det bekræftes, at den resulterende ledningsevne således som afspejlet ved de to logs, vil blive mindre jo større pumpeydelse der anvendes. Over ca. 49 m dybde stiger ledningsevne målt ved $9 \text{ m}^3/\text{t}$ svagt op gennem boringen, dette skyldes sandsynligvis at boringen ikke har været tilstrækkeligt renpumpet før udførelsen af denne log.

4. Bilag

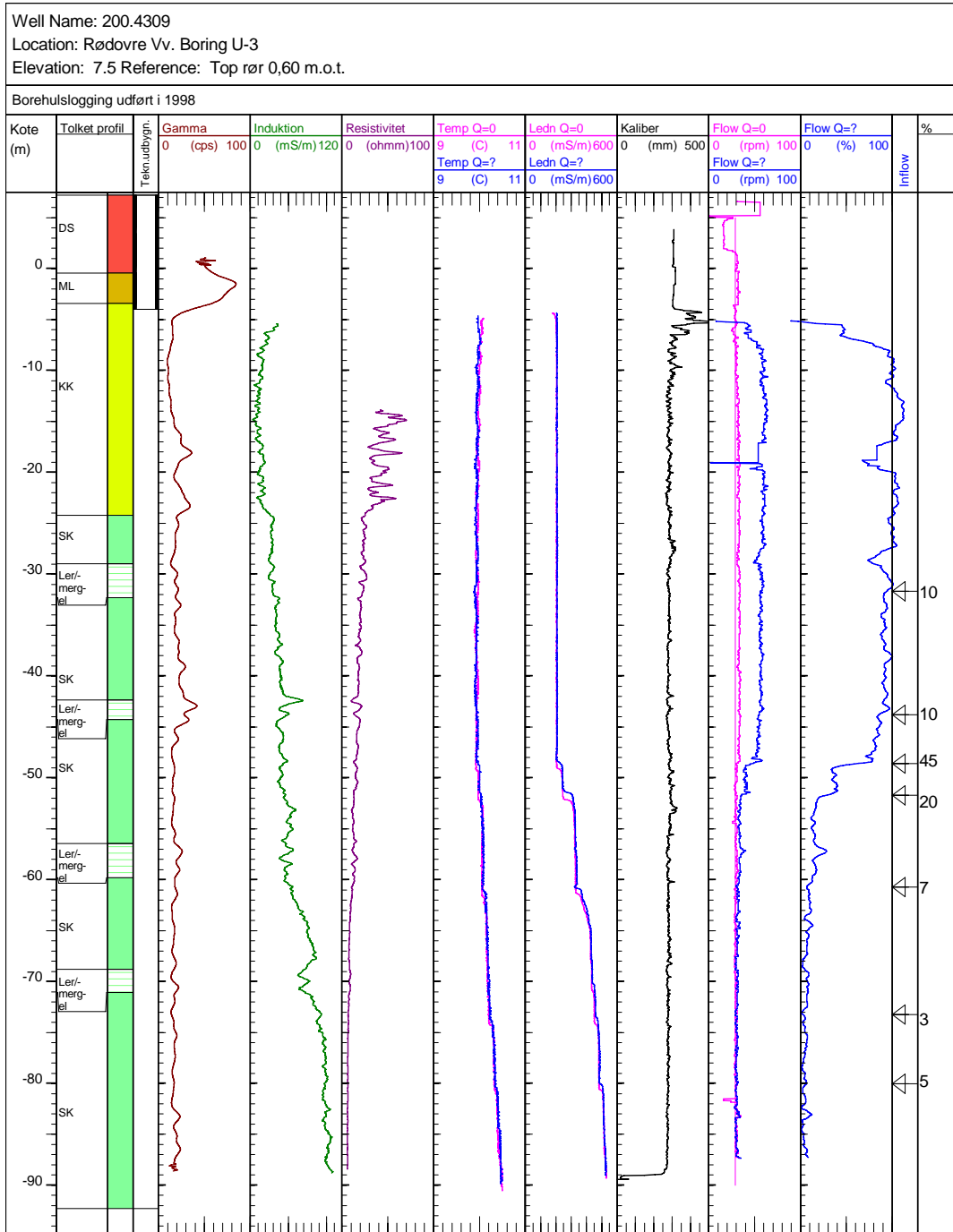
- Bilag 1: Brøndborer rapport med teknisk udbygning af boring DGUnr. 201.7006
- Bilag 2: GEUS borehuls-logs fra boring DGUnr. 201.7006, Husumparken, Husum
- Bilag 3: GEUS borehuls-logs fra boring DGUnr. 201.4309, Stadionparken, Rødovre
- Bilag 4: Borerapport med prøvebeskrivelser fra boring DGUnr. 201.7006
- Bilag 5: Anvendte sonder, log-hastighed, sampling mm.
- Bilag 6: Flow-log og ledningsevne-log ved 2 pumpeydelse



Bilag 2



Bilag 3





BORERAPPORT

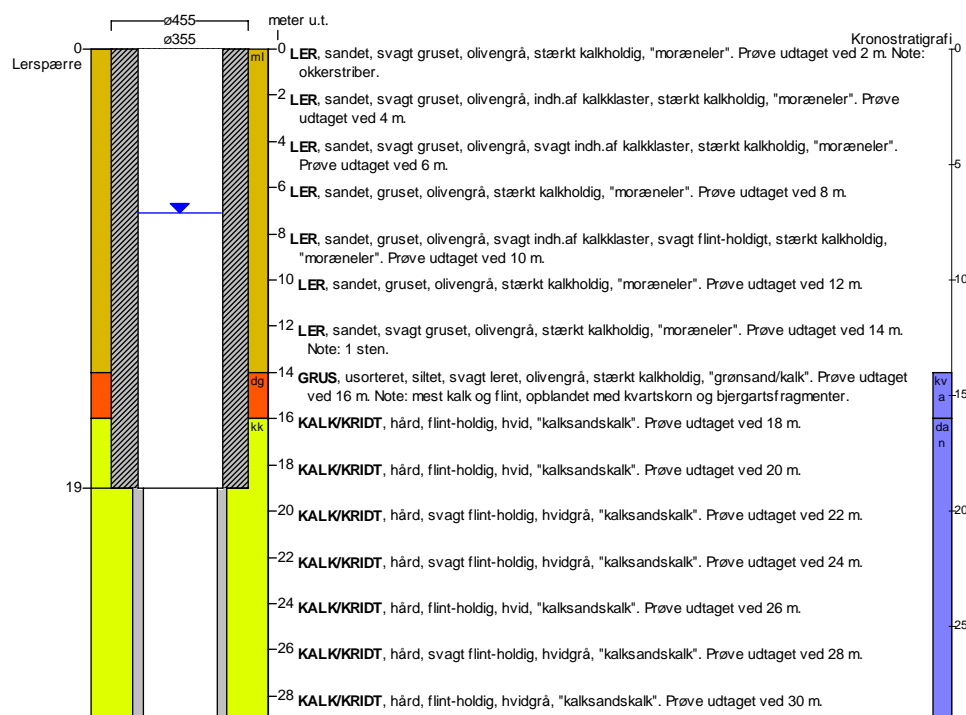
DGU arkivnr: 201. 7006

Borested : Husum Boldbane 2700 Brønshøj		Kommune : København Region : Hovedstaden
Boringsdato : 8/10 2008	Boringsdybde : 69 meter	Terrænkote : 14,6 meter o. DNN
Brøndborer : Thomas Brøker, Holbæk		Prøver
MOB-nr :		- modtaget : 22/10 2008 antal : 35
BB-journr : 260-08		- beskrevet : 24/10 2008 af : NBL/TC
BB-bornr :		- antal gemt : 0
Formål :	Kortblad : 1513 INØ	Datum : ED50
Anvendelse :	UTM-zone : 32	Koordinatkilde : Brøndborer
Boremethode : Indirekte skyllebor	UTM-koord. : 718334, 6178791	Koordinatmetode :

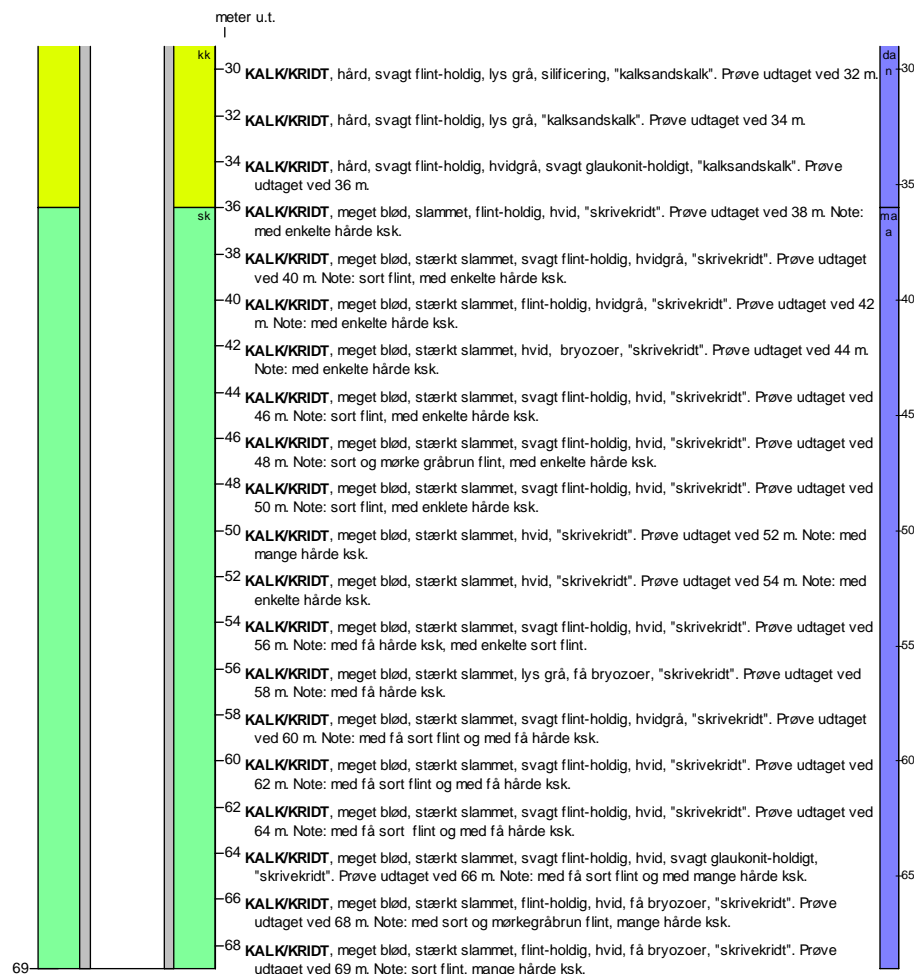
	Ro-vandstand	Pejledato	Ydelse	Sænkning	Pumpetid
Indtag 1 (seneste)	7,1 meter u.t.	17/10 2008	34 m³/t	6,41 meter	1 time(r)

Tilbagepejling

Indtag 1 Tid: 0min Vsp: 13,52m , Tid: 1min Vsp: 9,7m , Tid: 3min Vsp: 8,29m , Tid: 5min Vsp: 7,97m , Tid: 7min Vsp: 7,74m , Tid: 10min Vsp: 7,64m , Tid: 16min Vsp: 7,47m , Tid: 20min Vsp: 7,43m , Tid: 30min Vsp: 7,38m , Tid: 40min Vsp: 7,34m , Tid: 50min Vsp: 7,31m , Tid: 60min Vsp: 7,29m , Tid: 62min Vsp: 7,29m



fortsættes..

BORERAPPORT
DGU arkivnr: 201. 7006

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

meter u.t.		
0	- 14	glacigen - glacial
14	- 16	ant. glaciofluvial - kvartær/danien
16	- 36	marin - danien
36	- 69	marin - maastrichtien

Bilag 5

Tabel 2. Anvendte sonder, logging hastighed, datafiltrering mm.

Sonde nr.	Måling	Log-hastighed (m/min)	Log-retning	Måletæthed (cm)	Midling af målinger (cm)	Udglatning (Boxcar: 7 point window)	Fil navn
TCDS3719	Naturlig gammastråling	3,0	Ned	1	5	Ja	201.7006-1
TCDS3719	Temperatur og ledningsevne ^{*)} af væske, uden pumpning	3,0	Ned	1	5	Nej	201.7006-1
TCDS3719	Temperatur og ledningsevne ^{*)} af væske, under pumpning	3,0	Ned	1	5	Nej	201.7006-10
INDG1832	Induktion, formationens elektriske ledningsevne	3,0	Op	1	5	Nej	201.7006-2
GLOG1652	Resistivitet, formationens elektriske modstand	3,0	Op	1	5	Nej	201.7006-3
3LACS615	Kaliber, 3-arme	3,0	Op	1	5	Nej	201.7006-8
HRFM5837	Flow-log, uden pumpning	5,0	Ned	1	5	Ja	201.7006-5
HRFM5837	Flow-log, under pumpning	5,0	Ned	1	5	Ja	201.7006-9

^{*)} Ledningsevnen vises ved aktuel temperatur, ledningsevnen er IKKE korrigeret til 25 °C.

Bilag 6

