

Hellested, forureningsundersøgelse NIRAS/Storstrøms Amt

Borehulslogging 2005
Boringerne 218.1987 (K2), 218.1986 (K1),
218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen



Hellested, forureningsundersøgelse NIRAS/Storstrøms Amt

Borehulslogging 2005

Boringerne 218.1987 (K2), 218.1986 (K1),
218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)

Per Rasmussen, Kurt Klitten & Per Jensen

Indhold

1	Introduktion og undersøgelsesprogram	3
2	Undersøgelsesresultater	5
2.1	Undersøgelsesboring 218.1987, K2	5
2.1.1	Tekniske forhold	5
2.1.2	Lagfølge	5
2.1.3	Temperatur- og ledningsevnelog uden pumpning	6
2.1.4	Temperatur- og ledningsevnelog under pumpning	6
2.1.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	6
2.1.6	Udtagning af vandprøver og vandkemiske analyseresultater	7
2.2	Flowlog og indstrømningsfordeling i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)	9
3	Bilags liste	11

1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For NIRAS blev der i september og oktober 2005 foretaget borehulslogging i 4 nye boringer beliggende i Hellested på Stevns.

Formålet med de gennemførte undersøgelser var at beskrive strømningsforhold i den øverste del af kalken som led i et afværgeprojekt. Lokalitetens og den centrale afværgeboringens placering fremgår af Figur 1. De undersøgte boringers placering fremgår af Figur 2.

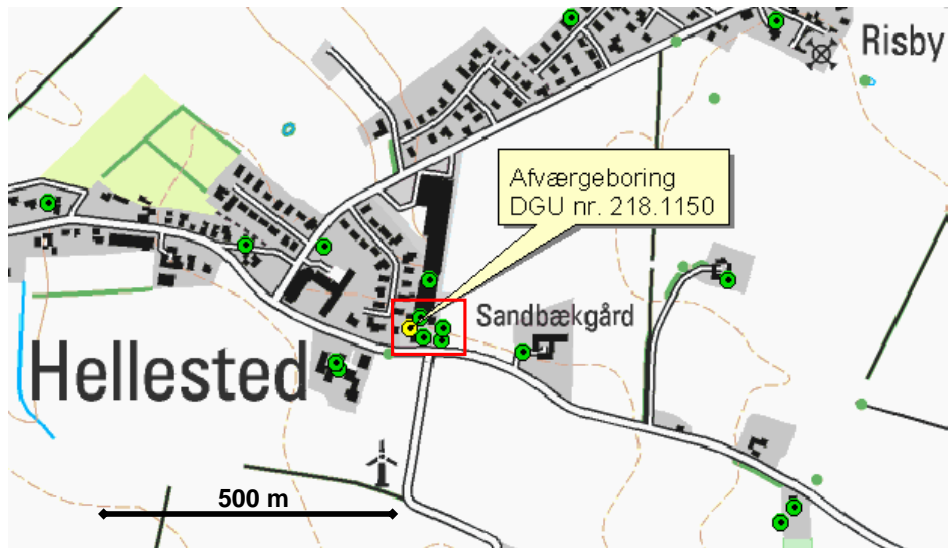


Fig. 1: Placering af den undersøgte lokalitet og afværgeboringen. Placeringen af de enkelte undersøgte boringer fremgår af Figur 2. Øvrige boringer angivet med grøn cirkel, er boringer som er registreret i GEUS's Jupiter boringsdatabase.

Logging-programmet omfattede en verifikation af den geologiske lagfølge i én boring (218.1987 (K2)) ved hjælp af gamma-log og induktions-log. Ledningsevne- og temperatur-log blev udført såvel uden som under pumpning fra boringen med henblik på at give indikation på intern strømning uden pumpning, samt identifikation af indstrømningszoner under pumpning. Logging programmet omfattede desuden propel flow-log og kaliber-log i boring 218.1987 (K2) til vurdering af indstrømningsforholdene i boringen.

Der er foretaget optagelser med Optiske Televiwer (OPTV) i DGUnr. 218.1987 (K2). OPTV giver et kontinuert, detaljeret og 360^o orienteret billede af borehulsvæggen. Billedet giver mulighed for direkte at analysere lagfølger, hældninger, sprække retninger og aperturer ned gennem den åbne del af boringen. Optagelserne med OPTV i boring 218.1987 (K2) leveres på digitalt format og er ikke analyseret og rapporteret i denne rapport. **OBS: Dybdeangivelsen i filen, "Depth", skal fratrækkes 53 cm for at få dybden i meter under terræn.**

I 3 andre boringer, 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7), blev der foretaget flow-log og kaliber-log. Som følge af den lave tilstrømning til boringerne blev flow målingerne udført med en heat pulse sonde. Kaliber-log måler variation i borehullets diameter og bruges til justering af målinger med flow-loggen.

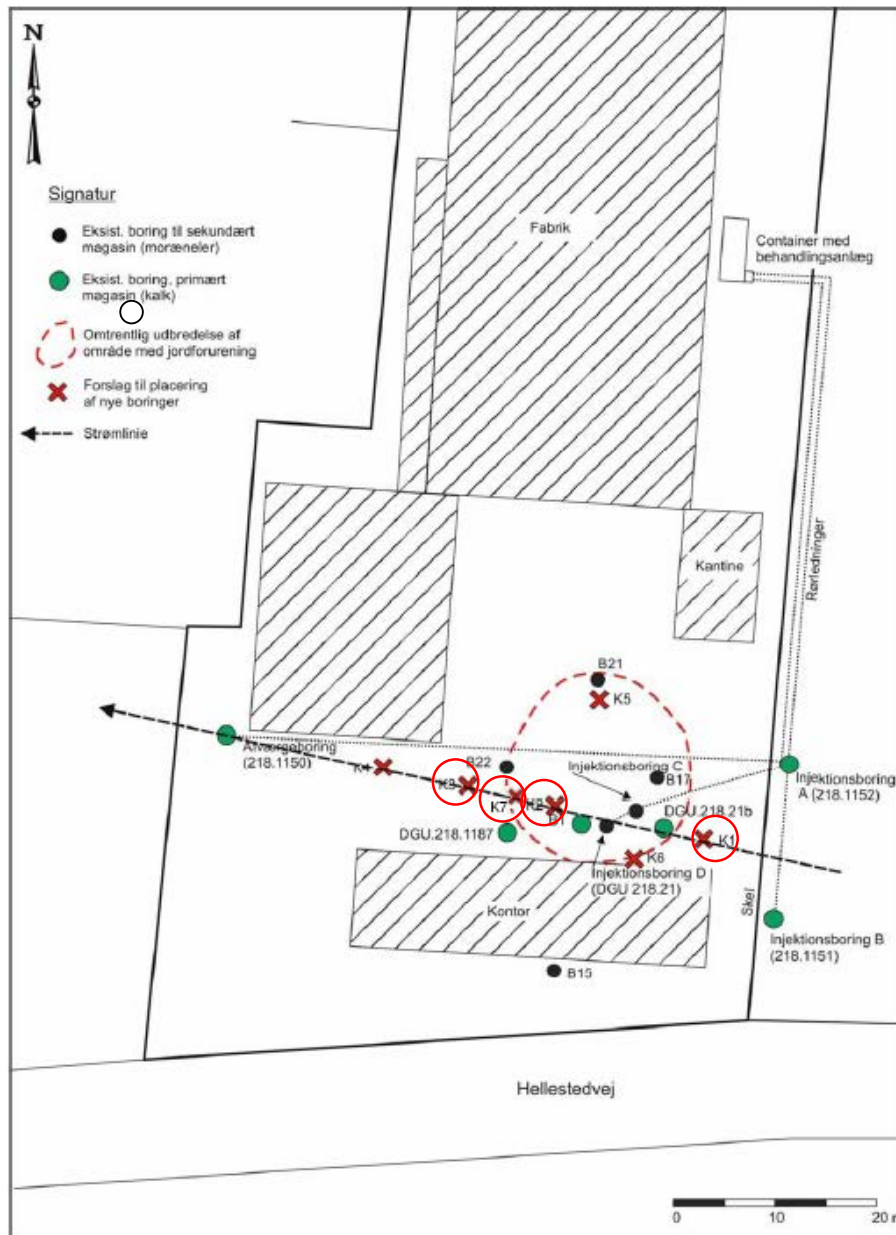


Fig. 2: Placering af undersøgte boringer. Der er foretaget logging af boringerne 218.1988 (K3), 218.1992 (K7), 218.1987 (K2) og 218.1986 (K1) (boringerne placering fra vest mod øst vist med lille rød cirkel ○ på figur).

2 Undersøgelsesresultater

2.1 Undersøgelsesboring 218.1987, K2

2.1.1 Tekniske forhold

Boringen er udført med 225 mm forerør i PVC til 9,5 meter under terræn. For at kunne udføre en kerneboring i kalken blev boringen udstøbt med cement i den kvartære del af boringen. Cementen er trængt op i forerøret og denne cement er efterfølgende gennemført i forbindelse med udførelse af kerneboringen i kalken fra 9,5 til 16,5 meter under terræn.

På kaliber-loggen (Bilag 1) ses kaviteter i cementen omkring 3,8 og 8,8 meter under terræn. Det kernede borehul er ganske regelmæssigt med en diameter på 145 mm fra 9,5 til 16 meter under terræn. I intervallet fra 12,7 – 13 m u.t. ses en mindre kavitet på op til 153 mm.

Som følge af boringens lave ydelse blev der under udførelse af flow-log med pumpning kun pumpet med en kapacitet på 220 l/time. Rovandspejlet blev den 29. september 2005 målt til 7,10 m under terræn.

2.1.2 Lagfølge

Gamma-loggen viser øverst et morænelerslag til 7,8 m dybde. Fra 7,8 – 9,4 m dybde ses lidt lavere gammastråling, hvilket indikere lag af smeltevandssand.

Fra 9,4 m til bund af boring ses et ret konstant lavt gammastrålingsniveau, typisk for kalken. I intervallet 13,7 – 14,7 m dybde ses en lidt højere gammastråling, i samme interval ses en stigning i såvel temperatur som ledningsevne målt uden pumpning (Bilag 1).

Der er i Bilag 1 vist gammastråling målt med 3 forskellige sonder. Der er god overensstemmelse i de målte variationer i gammastrålingen i boringen målt med de 3 forskellige sonder. Bemærk at gammastrålingen kan være påvirket af cementen i den forerede del af boringen.

Induktions-loggen (Bilag 1) understøtter lagfølgetolkningen foretaget på grundlag af gammaloggen i den kvartære del af boringen med en relativt højere resistivitet i moræneleren i forhold til i smeltevandssandet. Også resistivitetsmålingerne vil være påvirket af cementen i den forerede del af boringen. Den lavere resistivitet målt i intervallet 4,9 –

6,0 m dybde og lidt højere gammastråling i samme interval tolkes som et interval tilført ekstra cement.

Induktions-loggen viser formationsledningsevnen som først og fremmest viser variation i porøsitet. I toppen af kalken i 9,5 – 9,8 m dybde ses den største formationsledningsevne i kalk delen af boringen (Bilag 1). I intervallet fra 9,8 – 13,9 m dybde ses en lidt varierende men aftagende formationsledningsevne. Herunder er resistiviteten ret konstant.

2.1.3 Temperatur- og ledningsevnelog uden pumpning

Temperatur-loggen viser en jævn stigningen fra 12,9 – 13,3 C⁰ fra 16,2 - 14,8 m dybde. Herover ses en mere markant stigning af temperaturen til 14,5 C⁰ i 13,9 m dybde. Fra 10,0 – 8,7 m dybde ses igen en markant stigning temperaturen fra 15,7 – 18,5 C⁰, denne temperaturstigning skyldes sandsynligvis en direkte påvirkning gennem borerøret fra overfladen eller en påvirkning fra hærkning af den udstøbte cement, da så høje temperaturer ikke måles under pumpning (Bilag 1).

Ledningsevnen viser en jævn stigning op gennem boringen med 450 mS/m i 16,3 m dybde til 600 mS/m i 9,1 m dybde. I 14,4 – 13,7 og 9,8 – 9,1 m dybde ses mere markante stigninger i ledningsevnen.

2.1.4 Temperatur- og ledningsevnelog under pumpning

Temperaturen stiger under pumpning fra 11,8 C⁰ i bunden af boringen til 12,1 C⁰ 15,8 m dybde. Herover er temperaturen konstant til 13,8 m dybde. Fra 13,8 – 9,2 m dybde ses en jævn stigning i temperaturen til 12,8 C⁰ (Bilag 1).

Ledningsevnen under pumpning er fra konstant ca. 65 mS/m fra bund af boring til 12,9 m dybde. Herover stiger ledningsevnen jævnt til 169 mS/m i 9,5 m dybde.

2.1.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinuerte propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser basis tælleletal på ca. 35 rpm. (rotationer per minut) (Bilag 1).

På grund af boringens lave ydelse blev den kontinuerte propel flow-log under pumpning udført med en pumpeydelse på kun 220 l/time. Ydelsen var for lav til at flow-loggen kunne vise en indstrømningsfordeling i boringen da flow-loggens rotationstal under pumpning var lig basistælleallet uden pumpning. Fra 10,5 – 10,0 m dybde ses et lidt højere rotationstal under pumpning. Men flow-loggen kunne ikke gennemføres i den øverste del af det åbne borehul på grund af afsænkningen af vandspejlet.

På bilag 1 er angivet 3 niveauer for indstrømning i boringen 9,5, 12 og 16 m dybde. Niveauerne er skønnet ud fra temperatur- og ledningsevnelog udført under pumpning.

Temperatur- og ledningsevnelog udført uden pumpning indikere at der også kan være tale om indstrømning i 13,8 m dybde (Bilag 1).

2.1.6 Udtagning af vandprøver og vandkemiske analyseresultater

I boring 218.1987 (K2) blev der udtaget vandprøver i 3 niveauer, i 9, 11 og 13 m dybde. Vandprøverne blev udtaget med en VALE pumpe under pumpning med en MP1 pumpe placeret i 8,5 m dybde og med en ydelse på 250 l/time.

Vandprøverne er analyseret for Trichlorethylen, og der er målt følgende koncentrationer:

9,0 m u.t.: 94 µg/l

11,0 m u.t.: 50 µg/l

13,0 m u.t.: 9,5 µg/l

Da flow-loggen ikke har kunnet give en eksakt vurdering af indstrømningen i de forskellige niveauer er der gennemført 4 scenarieberegninger af koncentrationen af Trichlorethylen i de 3 indstrømningsniveauer.

Den akkumulerede indstrømning under 13 m dybde er sat til henholdsvis 10 og 20 %, og den akkumulerede indstrømning under 11 m dybde til henholdsvis 40 og 60 %, hvorved indstrømningen imellem 9 og 11 m bliver 60 og 40 %.

Uden eksakte målinger af indstrømningfordelingen kan der ikke give eksakte værdier for koncentrationerne, men i Tabel 1 er størrelsesordenene anskueliggjort.

Tabel 1 viser at koncentrationen af Trichlorethylen i indstrømningen ovenover 11 m er væsentlig større end 94 mikrogram/l, samt at koncentrationen i indstrømningen imellem 13 og 11 m ligger et sted imellem 50 og 90 mikrogram/l. Endelig er det vist at koncentrationen i indstrømningen under 13 m dybde er på kun 9,5 mikrogram/l.

Der gælder følgende sammenhæng mellem vandmængde i % (PCT_N og PCT_{N+1}) for 2 efterfølgende vandprøver og deres koncentrationer (C_N og C_{N+1}) samt indstrømmet vandmængde ($PCT_{N+1} - PCT_N$) i dybdeintervallet imellem vandprøverne og koncentrationen (X_{iN}) i den indstrømmede vandmængde: $PCT_{N+1} * C_{N+1} = (PCT_{N+1} - PCT_N) * X_{iN} + PCT_N * C_N$

Tabel 1 Koncentrationsberegning ved akkumulerede indstrømninger, Boring 218.1987 (K2)

SCENARIO 1

Prøve- dybde (m)	Andel af Q i prøvedybde (%)	Indstrømning under prøvedybde (%)	Triclorethyl vandprøve (micro-g/l)	Triclorethyl indstrømnings zone (micro-g/l)
9	100		94	
		40		160
11	60		50	
		50		58
13	10		9,5	
		10		9,5

SCENARIO 2

Prøve- dybde (m)	Andel af Q i prøvedybde (%)	Indstrømning under Prøvedybde (%)	Triclorethyl Vandprøve (micro-g/l)	Triclorethyl indstrømnings zone (micro-g/l)
9	100		94	
		40		160
11	60		50	
		40		70
13	20		9,5	
		20		9,5

SCENARIO 3

Prøve- dybde (m)	Andel af Q i prøvedybde (%)	Indstrømning under prøvedybde (%)	Triclorethyl Vandprøve (micro-g/l)	Triclorethyl indstrømnings zone (micro-g/l)
9	100		94	
		60		123
11	40		50	
		20		91
13	20		9,5	
		20		9,5

SCENARIO 4

Prøve- dybde (m)	Andel af Q i prøvedybde (%)	Indstrømning under prøvedybde (%)	Triclorethyl vandprøve (micro-g/l)	Triclorethyl indstrømnings zone (micro-g/l)
9	100		94	
		60		123
11	40		50	
		30		64
13	10		9,5	
		10		9,5

2.2 Flowlog og indstrømningsfordeling i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)

På grund af den lave ydelse af borerne 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7) er flow-målingerne foretaget med en Heat pulse sonde. Princippet i Heat pulse sonden er at sonden placeres stationært i én dybde, hvor der fra sonden udsendes en varme puls ("heat pulse"). En sensor placeret 5,0 cm fra varmekilden registrerer den tid som det tager for varme pulsen at bevæge sig de 5 cm. Målingerne gentages et antal gange i hver dybde indtil der måles en konstant heat pulse tid. Sonden flyttes til en ny dybde og målingerne gentages.

I borerne 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7) er der foretaget målinger med intervaller på 25 cm. Målingerne er foretaget under pumpning, ydelserne fremgår af Tabel 2. Det blev tilstræbt at målingerne med heat pulse sonden først blev gennemført når vandstandssænkningen som følge af oppumpningen var stabiliseret. Målingerne er startet i forerøret og gentaget for hver 25 cm ned gennem borerne indtil der ikke længere registreres et flow, dvs. når den målte heat pulse hastighed er over 30 sek. De enkelte heat pulse målinger fra hvert niveau fremgår af Bilag 4.

Tabel 2. Tekniske oplysninger og pumpeydelse for boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)

Boring	Kalk overflade (m u. t.)	DTH boring Start (m u.t.)	DTH boring Slut (m u.t.)	Bund boring (m u.t.)	Bund forerør (m u.t.)	Pumpe ydelse * (m ³ /time)
K1	9,0	9,4	13,0	13,25	9,2	0,84
K3	9,5	9,6	13,5	13,40	9,3	0,80
K7	9,3	9,3	16,3	16,0	9,0	0,55

* Pumpe ydelse under heat pulse målinger

Der er foretaget en måling af boringernes diametervariation med kaliber-log. Udstrømning af cement ved samlinger og bund af forerør ses som markante peaks på kaliber-loggen (Bilag 2).

For hvert heat pulse måleniveau i de 3 borer er der beregnet en vandstrømning ud fra den gennemsnitlige strømningshastighed og diameteren i det pågældende niveau. For at kunne foretage en mere direkte sammenligning af vandstrømningen i de enkelte niveauer i borerne, er der foretaget en normering af vandstrømningen i de enkelte niveauer i forhold til diameteren i forerøret ($\varnothing_i = 220$ mm). Resultaterne fremgår af Tabel 3.

Tabel 3. Niveaubestemt vandstrømning i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)

	K1	K3	K7
Dybde (m u.t.)	$Q_{\text{norm, 220}}$ (m ³ /h)	$Q_{\text{norm, 220}}$ (m ³ /h)	$Q_{\text{norm, 220}}$ (m ³ /h)
$Q_{\text{målt}}^*$	0,84	0,80	0,55
8,75			0,772
9,00	0,392		0,386
9,25	0,655	0,995	1,330
9,50	0,442	0,554	n.f.
9,75	0,923	n.f.	
10,00	0,579		
10,25	0,362		
10,50	0,652		
10,75	0,176		
11,00	0,144		
11,25	n.f.		

$Q_{\text{målt}}^*$: Pumpeydelse ved stabilt vandspejl

n.f.: no flow

 Måling foretaget i forerør

I boring 218.1986 (K1) ses stigninger i vandstrømningen i dybderne 11, 10,5 og 9,75 m. I dybden 9,75 m er vandstrømningen på niveau med den målte strømning i forerøret (pumpeydelsen). Mellem 9,75 og 9 med dybde ses et fald i strømningen, hvilket sandsynligvis skyldes turbulens forårsaget af cement peaken i 9,3 m dybde.

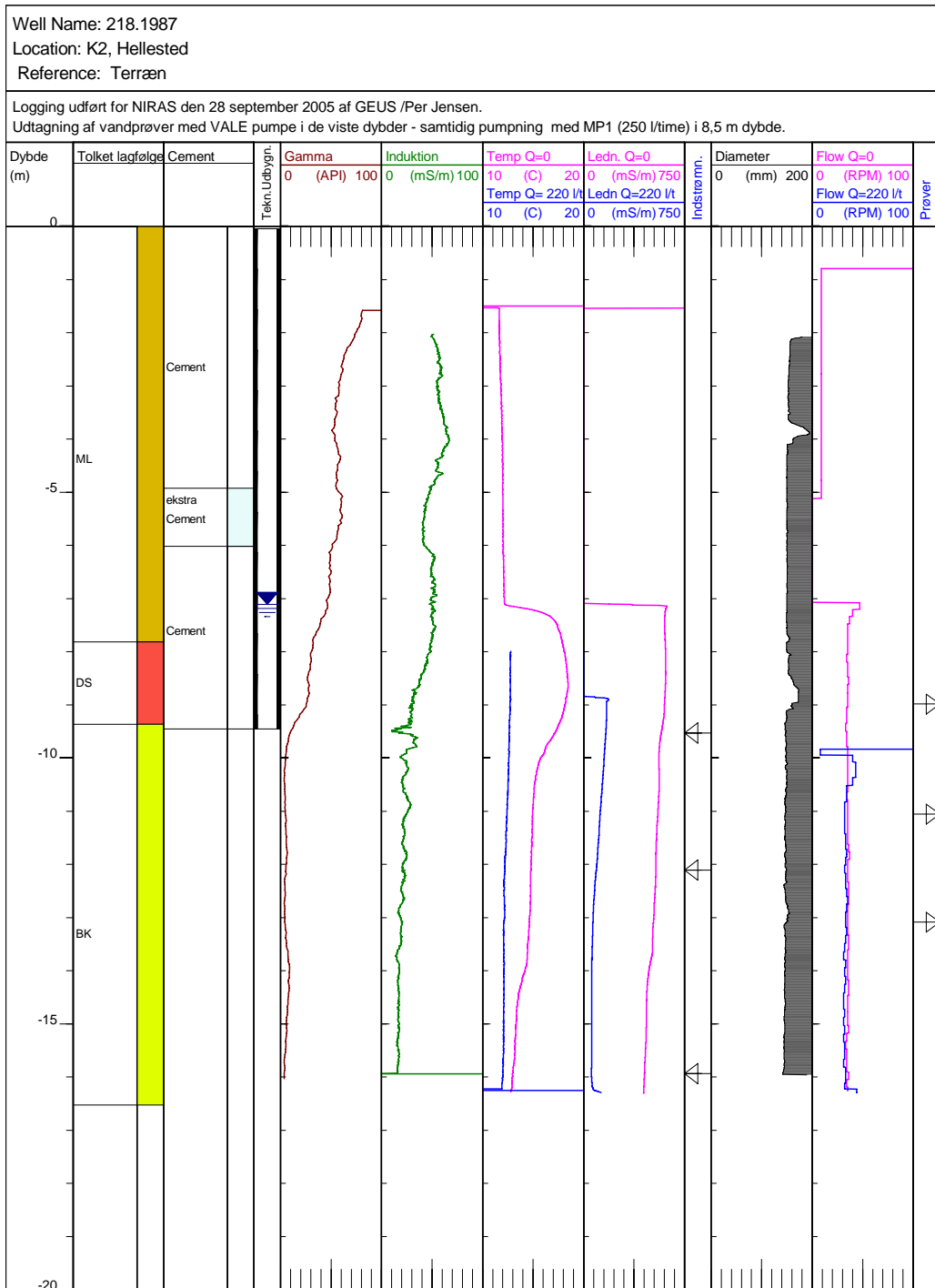
Den væsentligste usikkerhedsfaktor på heat pulse målingerne er turbulens, som enten kan hidrøre fra kaviteter i boringen, eller fra at vandstrømningen under pumpning ikke er stabiliseret.

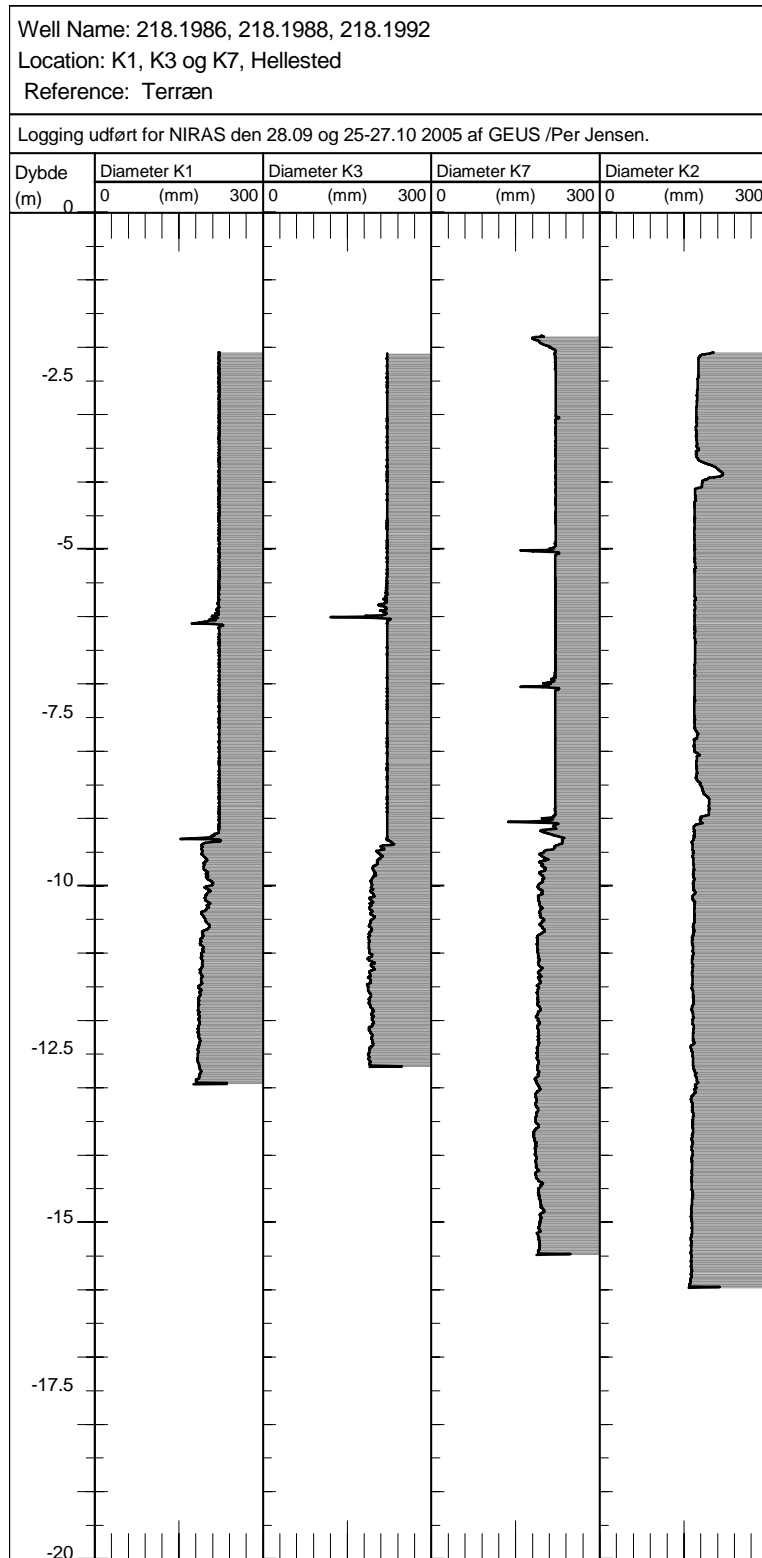
I boring 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7) er registreret meget korte indstrømningsintervaller. Den dybeste indstrømning i 218.1988 (K3) er målt i 9,5 m dybde og i K7 i 9,25 m dybde, for begge boringer er dette 25 cm under bund af forerøret.

I 218.1992 (K7) ses store variationer i strømning over et kort interval fra 9,25 – 8,75 m dybde, hvilket sandsynligvis skyldes turbulens forårsaget af kaviteten i 9,3 m dybde og af cement peaken i 9,0 m dybde (Bilag 2).

3 Bilags liste

- Bilag 1: GEUS borehuls logs fra boring 218.1987 (K2)
- Bilag 2: GEUS kaliber logs fra boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7) og 218.1987 (K2)
- Bilag 3: Beregning af flow i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3), 218.1992 (K7)
- Bilag 3: Heatpulse enkeltmålinger fra boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3) og 218.1992 (K7)





Beregning af flow i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3), 218.1992 (K7)

Boring K1

Dybde (m)	HP tid (sek)	V (m/s)	Diam (mm)	Areal (m ²)	Q (m ³ /h)	Q _{norm, 220} (m ³ /h)	Test Q (m ³ /h)	Bemærkning
9,00	17,5	0,00286	220	0,038	0,392	0,392	0,837	
9,20								Bund forerør
9,25	9,0	0,00555	212	0,035	0,705	0,655		
9,50	8,6	0,00581	190	0,028	0,593	0,442		
9,75	4,5	0,01116	194	0,030	1,188	0,923		
10,00	8,2	0,00607	201	0,032	0,693	0,579		
10,25	13,7	0,00365	203	0,032	0,425	0,362		
10,50	6,6	0,00757	196	0,030	0,822	0,652		
10,75	22,1	0,00226	191	0,029	0,233	0,176		
11,00	26,4	0,00190	190	0,028	0,193	0,144		
11,25	n.f.							

Boring K3

Dybde (m)	HP tid (sek)	V (m/s)	Diam (mm)	Areal (m ²)	Q (m ³ /h)	Q _{norm, 220} (m ³ /h)	Test Q (m ³ /h)	Bemærkning
9,00							0,800	
9,25	6,9	0,00727	220	0,038	0,995	0,995		
9,30								Bund forerør
9,50	9,0	0,00559	203	0,032	0,651	0,554		
9,75	n.f.							

Boring K7

Dybde (m)	HP tid (sek)	V (m/s)	Diam (mm)	Areal (m ²)	Q (m ³ /h)	Q _{norm, 220} (m ³ /h)	Test Q (m ³ /h)	Bemærkning
8,50							0,554	
8,75	8,9	0,00564	220	0,038	0,772	0,772		
9,00	11,6	0,00430	198	0,031	0,477	0,386		Bund forerør
9,25	5,0	0,01008	218	0,037	1,355	1,330		
9,50	n.f.							
9,75	n.f.							

- HP tid: strømningstid for heat pulse for 5 cm, gennemsnit af enkeltmålinger, se Bilag 4
- n.f.: no flow
- Q_{norm, 220}: strømning i boring normeret i forhold til diameter i forerør på 220 mm
- Test Q: strømning i forerør målt med pumpe

Heatpulse enkeltmålinger i boring 218.1986 (K1), 218.1988 (K3), 218.1992 (K7)

Boring K1

Dybde (m)	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	Middel
9,00	16,77	18,23	17,81	16,67	17,81						17,46
9,25	8,54	9,22	10,89	7,50	8,13	9,79					9,01
9,50	8,59	8,91	7,24	9,22	9,06						8,60
9,75	4,58	4,68	4,38	4,38	4,38						4,48
10,00	8,13	9,64	8,07	6,69	8,65						8,24
10,25	9,32	15,94	13,13	15,42	13,33	11,72	12,71				13,71
10,50	5,99	5,64	5,04	8,82	6,88	7,43	8,79	6,18	6,46	4,86	6,61
10,75	24,79	20,42	20,83	21,46	23,02						22,10
11,00	19,69	33,85	24,06	25,00	30,00	26,46					26,38
11,25	n.f.										

Boring K3

Dybde (m)	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	Middel
8,75	n.f.										
9,00	n.f.										
9,25	5,16	4,32	10,99	11,46	5,73	18,33	8,49	7,76	5,83	5,42	6,88
9,50	16,30	12,92	5,05	7,03	10,57	9,32	10,31	6,82	10,68	7,92	8,95
9,75	n.f.										

Boring K7

Dybde (m)	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	# 6	# 7	# 8	# 9	# 10	Middel
8,50	n.f.										
8,75	15,00	7,08	10,42	8,54	9,27	6,93	7,71	10,31			8,86
9,00	13,28	11,04	9,01	14,01	12,66	10,00	12,19				11,62
9,25	4,90	4,90	4,74	5,05	5,21						4,96
9,50	n.f.										
9,75	n.f.										

- n.f.: no flow
- 14,48 værdi ikke medtaget i gennemsnitsberegning