

# Borehulslogging ved Fensmark

i borerne DGU nr. 216.346 og 216.629

Kurt Klitten



# Borehulslogging ved Fensmark

i borerne DGU nr. 216.346 og 216.629

Kurt Klitten

# 1. Introduktion og undersøgelsesprogram

Efter anmodning fra lektor Flemming Larsen, Miljø & Ressourcer, DTU, har GEUS i dagene 7-9 juni 2004 udført borehulslogging i to indvindingsboringer ved Fensmark vandværk, DGU nr. 216.346 og nr. 216.629, i relation til udtagning af vandprøver fra boringerne til vandkemisk undersøgelse under Miljøstyrelsens "Arsen projekt".

Formålet med borehulslogging af de to boringer var at få verificeret deres tekniske udbygning og den geologiske lagfølge, samt få bestemt indstrømningsfordelingen og eventuelle forskelle i ledningsevne i det indstrømmende vand.

Det normale GEUS logging program for vandindvindingsboringer omfatter en verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte boringer ved hjælp af gamma-log, induktions-log og resistivitets-log, medens ledningsevne & temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om forskelle i det indstrømmende vand, 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 kaliber-log. 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 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. I tilfælde af intern strømning mellem zoner i kalk eller mellem to filtre vil dette også blive identificeret ved denne kalibrerings flow-log uden pumpning.

**Tabel 1.1: Logging undersøgelserne i Fensmark, 2004**

Boring: Vandværks nr.:	??	??
DGU nr.	216.346	216.629
Logging dato:	7-8.06.2004	8-9.06.2004
Log metoder:		
Gamma	X	X
Resistivitet	X*	-
Induktion	X*	X*
Kaliber	X	X
Temp. & Ledningsevne	X	X
Temp. & Ledn. Under pumpn.	X	-
Flow uden pumpning	X	-
Flow under pumpn.	X	-
Heat pulse basis flow	-	-
Video	-	-

\*) Resistivitets- og Induktions-log ønskedes kun udført i kalksektionen.

Indvinding fra boringerne blev stoppet dagen før undersøgelsen, hvorimod indvindingen fra en naboboring til hver af de to undersøgte boringer fortsatte under logging undersøgelserne.

I tabel 1.1 ovenfor ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført i hver af boringerne. I boring, 216.346, gennemførtes det normale GEUS logging program, hvorimod der i boring 216.629 kun kunne udføres et begrænset program på grund af vanskeligheder med at føre log-sonderne fra den nedre del af forerøret og videre ned i filteret.

**Tabel 2.1: Boringeres udbygning ifølge boredata arkiv**

Boring DGU nr.	Vandværk nr	Boring udført	Terræn kote (m)	Boringsdybde (m)	Forerørsdybde (m)	Forerørs diam. (mm)	Filter sektioner(m) / diameter (mm)	Borediameter i kalk (mm)
216.346	?	1964	+66	94	68,9	165 Ø <sub>i</sub> ?	åben 68,9-94,0	ukendt
216.629	?	1977	+47	58	45,0	Ø <sub>y</sub> 216 PVC	42-57 /? <<216	250

Boreprofilet i 216.346 viste moræneler fra terræn og ned til Danien Bryozokalken i 65 dybde.

Boreprofilet i 216.629 viste postglacialt sand til 3 m, derefter moræneler til 44,5 m over smeltevandssand til 49,5 m, og igen moræneler til Bryozokalken i 51,5 m.

## 2. Sammenfatning af resultater

### 2.1 Boring DGU nr. 216.346

De forskellige borehuls-logs opmålt i boringen, er sammenstillet med boreprofil og teknisk udbygning på **Bilag 1**. Boringen var oprindeligt 94 m dyb, men de nederste 4 m synes nu fyldt op, idet log-sonderne ikke kunne komme dybere end 90 m. Ro vandspejlet står 35,56 m under terræn, hvilket også indikeres på temperatur- & ledningsevne-loggen målt uden pumpning fra boringen (se log kurverne Temp Q=0 og Ledn. Q=0 på **Bilag 1**)

Kaliber-loggen viser, at forerørets indre diameter  $\varnothing_i$  er 154 mm, og at forerøret slutter i 68 m dybde. I den åbne kalksektion ses diameteren generelt at være ca. 190 mm, men en enkelt stor kavitet med diameter helt op til 600 mm ses i 73 m dybde, ligesom der ses en udkragende kalkhylde med diameter på kun 100 mm i 84 m dybde.

Gamma-loggen bekræfter grænsen til kalken i 65 m dybde ved det markante fald i tællertallet. Endvidere bekræfter gamma-loggen, at den kvartære lagserie overvejende består af moræneler, men der ses dog et par dybdesektioner, hvor gamma-strålingen er lav og derfor indikerer tilstedeværelse af sand-grus lag. Således fra 13,5 til 15 m, samt fra 17,5 til 25 m. Det vides imidlertid ikke, om der har været boret med et større arbejdsrør (10" ydre foringsrør) til 25 m, fra hvilken dybde gamma-strålingen viser en generel højere stråling end ovenover. I tilfælde af, at et større arbejdsrør har været anvendt til 25 m, er dette i så fald optrukket, og en opfyldning omkring det 154/166 mm indre forerør med varierende jordmateriale kan derfor være årsagen til den varierende gamma-stråling ovenover 25 m dybde.

Såvel induktions-loggen som resistivitets-loggen viser, at forerøret slutter i 68 m og at det er et **stålrør**, idet begge logs viser påvirkning ca. 1 m under røret (på grund af sondernes opbygning/målegeometri). Påvirkningen ved induktions-loggen ses som uendelig stor ledningsevne, og ved resistivitets-loggen som en uendelig lille resistivitet. Havde det været et PVC-rør ville induktions-loggen ikke være blevet påvirket, medens resistivitets-loggen ville have vist uendelig høje værdier.

Resistivitets- og induktions-loggen viser som forventet modsvarende variationer, d.v.s. lag med høj resistivitet og lav formationsledningsevne afspejlende tætte kalk- og flintlag, samt lag med lavere resistivitet og højere ledningsevne svarende til mere porøse kalkbænke. Den lave resistivitet og høje ledningsevne i 72,5 m dybde skyldes dog ikke et højporøst kalklag, men er forårsaget af den ekstraordinære store diameter og dermed store vandvolumen i boringen på den pågældende dybde. Det generelle niveau for de to logs, en resistivitet på ca. 100 ohmm og en ledningsevne på ca. 10 mS/m, viser, at porevandet i kalken er ferskvand og ikke er saltvandspåvirket.

Dette er også bekræftet af ledningsevne-loggen, som direkte måler ledningsevnen i vandet i borehullet, idet denne uden såvel som under pumpning fra boringen ( $Q = 5,5 \text{ m}^3/\text{t}$ ) viser en ledningsevne på 40 mS/m ved den aktuelle temperatur 9,8 C<sup>0</sup>, målt ved temperatur-loggen.

Såvel temperatur som ledningsevne er konstante i hele kalksektionen under pumpning, d.v.s. indstrømningerne giver sig ikke til kende ved forskelle i de to parametre.

Indstrømningszonerne ses derimod på flow-loggen under pumpning (her er  $Q = 8,1 \text{ m}^3/\text{t}$ ), idet tælleallet (rpm=rotationer per minut) ses at stige trinvist fra 34 rpm nederst i kalken til 80 rpm i forerøret. 34 rpm er netop basis tælleallet ved en nedførings-hastighed på 5 m/min uden pumpning, hvilket kan ses på Flow-log  $Q=0$ . På denne ses der to andre sektioner med tælleallet på henholdsvis 18 rpm og 51 rpm som følge af at der er kørt med to andre nedførings-hastigheder, henholdsvis 3 m/min og 7 m/min. Disse test er udført som en kalibreringstest af sonden.

For at få et mere detaljeret billede af indstrømningsfordelingen er der på **Bilag 1A** foretaget en diameter korrektion af de målte flow-log tælleallet, idet ændring i diameteren jo også påvirker vandets strømnings-hastighed og dermed flow-loggens tælleallet. Således ses der en stigning i tælleallet ved overgangen fra den åbne kalksektion til forerøret med en mindre diameter, uden at det nødvendigvis behøver at betyde, at der er sket indstrømning lige under forerøret. Ved diameter korrektion af flow-log tælleallet "normeres" sidstnævnte til forerørets diameter ved at blive multipliceret med faktoren  $K = (D/d)^2$ , hvor D er aktuel diameter i en given dybde ifølge kaliber-log, og d er forerørsdiameter (154 mm). Forinden er der dog foretaget en udjævning af diameter variationerne, se "Kaliber smooth" på **Bilag 1A**, ved anvendelse af et 15 punkts boxfilter (rullende midling over 15 målepunkter med 5 cm mellem hver måling), idet flow-log kurven efter diameter korrektionen ellers ville blive alt for varierende. Log-kurve 2 på **Bilag 1A** viser korrektionsfaktoren K. Log-kurve 3 er den målte ukorrigerede flow-log ved  $Q=8,1 \text{ m}^3/\text{t}$ , Log-kurve 4 er den ukorrigerede flow-log efter fradrag af basis tælleallet 34 rpm. Log-kurve 5 på **Bilag 1A** er den korrigerede flow-log, som fremkommer ved at log-kurve 4 multipliceres med log-kurve 2 (K).

Den korrigerede flow-logs tælleallet omregnes til sidst til procent af tælleallet i forerøret, som på log-kurve 5 på **Bilag 1A** ses at være 50 rpm. Den resulterende procentiske flow-log viser for høje værdier (>100%) på de første par metre lige under forerøret, hvor der jævnfør kaliber-log er større diameter, samt ved den meget store diameter i 73 m dybde. Erfaringsmæssigt har det vist sig, at dette ofte sker, at den anvendte korrektionsfaktor (som teoretisk er korrekt) netop ved pludselige store diametre resulterer i for stærk en diameter korrektion. Ses der bort fra disse overkorrigerede værdier kan der identificeres 5 indstrømningszoner ved de trinvis stigninger i dybderne 83 m, 82 m, 77-78 m, 75-76 m og 71-72 m, i hvilke der synes at indstrømme henholdsvis ca. 5 %, ca. 10%, ca. 15%, ca. 45% og ca. 25 %.

Indstrømningsfordelingen kan anvendes til planlægning af udtagning af enten niveauekontrollede vandprøver eller af akkumulerede vandprøver. I dette tilfælde blev prøverne udtaget som akkumulerede prøver, d.v.s. at de udtages ovenover hver af de identificerede indstrømningszoner under pumpning. Ud fra kendskabet om zonernes procentiske indstrømningsbidrag kan de akkumulerede prøvers kloridindhold omregnes til kloridindhold i de enkelte indstrømninger. Følgende balanceligning kan anvendes:  $Q_{n-1} \times C_{n-1} + Q_n \times C_n = Q_{n+1} \times C_{n+1}$  hvor Q er vandmængde i %, C er koncentration i mg/l, og n er den aktuelle indstrømningszone.

## 2.2 Boring 212.629

De forskellige borehuls-logs opmålt i denne boring, er sammenstillet med boreprofil og teknisk udbygning på Bilag 2. Ro vandspejlet står 15,71 m under terræn, hvilket også indikeres på temperatur- & ledningsevne-loggen målt uden pumpning fra boringen (se logkurverne Temp Q=0 og Ledn. Q=0 på **Bilag 2**)

Kaliber-loggen viser, at PVC-forerørets indre diameter  $\varnothing_i$  er 200 mm indtil 33 m dybde, hvorfra det mindskes til 190 mm til 41,5 m dybde. Fra denne dybde begynder åbenbart top af PVC-filteret, hvis indre diameter  $\varnothing_i$  ses at være 100 mm. Den mindre diameter på de nederste ca. 8 m af forerøret (fra 33 til 41,5 m) kan skyldes, at røret er trykket og ikke er helt cirkulært i tværsnit. Fra 19 m dybde ses der samlinger i forerøret for hver ca. 4 m.

Gamma-loggen bekræfter grænsen til kalken i 51,5 m dybde ved det markante fald i tælletal. Endvidere bekræfter gamma-loggens generelt høje tælletal over denne dybde, at den kvartære lagserie overvejende består af moræneler. Der ses dog en enkelt dybdesektion fra 16,5 til 18 m, hvor gamma-strålingen er lav og derfor indikerer tilstedeværelse af sand-grus lag. Det er overraskende, at det beskrevne gruslag fra 44,5 til 49,5 m ikke ses på gamma-loggen, hvor der kun ses et tyndt lag fra 49 til 50 m med lav gamma-stråling. Moræneleret fra 50 til 51,5 er derimod bekræftet på gamma-loggen.

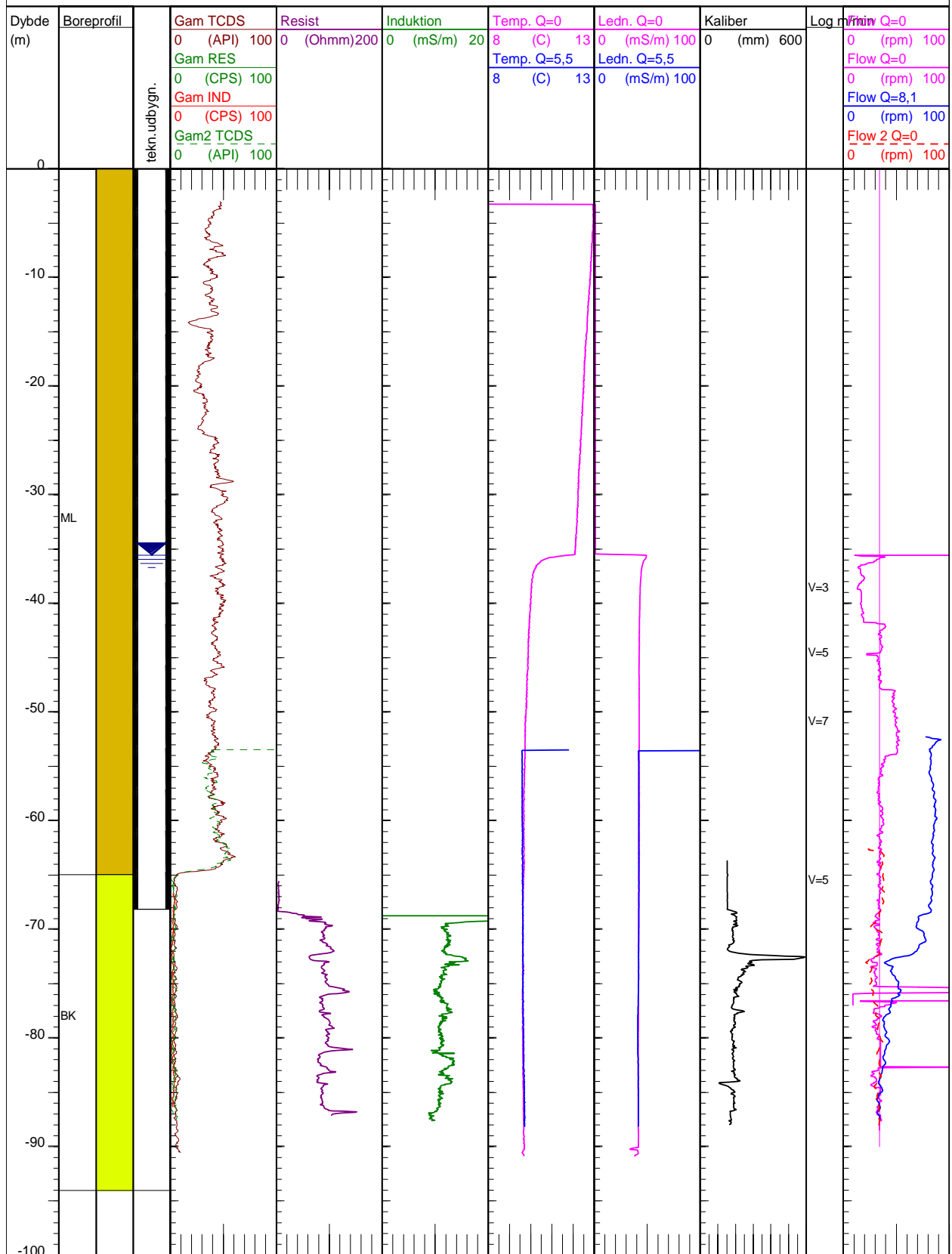
Det må formodes, at der har været boret med et større arbejdsrør (10" stålrør) til kalken i 51,5 m, og at dette er optrukket med en samtidig opfyldning omkring 200/216 mm PVC forerøret med det opborede jordmateriale. Den ekstraordinære høje gamma-stråling som kan observeres fra 3,5 m til 4,5 m og fra 42,5 m til 43,5 m kan derfor være tegn på to cement/bentonit afpropninger.

Induktions-loggen blev kun udført i kalksektionen. Den viser lokalt nogle kraftige udsving med høj ledningsevne, som skyldes metalstyr udenfor filteret. Det generelle niveau for formationsledningsevnen ses at være på ca. 13 mS/m, som viser, at porevandet i kalken er ferskvand og ikke er saltvandspåvirket.

Dette er også bekræftet af ledningsevne-loggen, som direkte måler ledningsevnen i vandet i borehullet. Uden pumpning fra boringen (Led. Q=0) viser denne en ledningsevne på 37 mS/m ved den aktuelle temperatur 9,0 C<sup>0</sup>, målt ved temperatur-loggen. Såvel temperatur som ledningsevne er konstante og ens i den filtersatte kalksektion og i den filtersatte kvartære sektion, hvor der skulle være et gruslag. Desværre kunne der ikke udføres logging under pumpning, men da boringen har været i drift umiddelbart forinden logging må det formodes, at der ikke er forskel på ledningsevnen i det indstrømmende vand fra kalken og fra gruslaget.

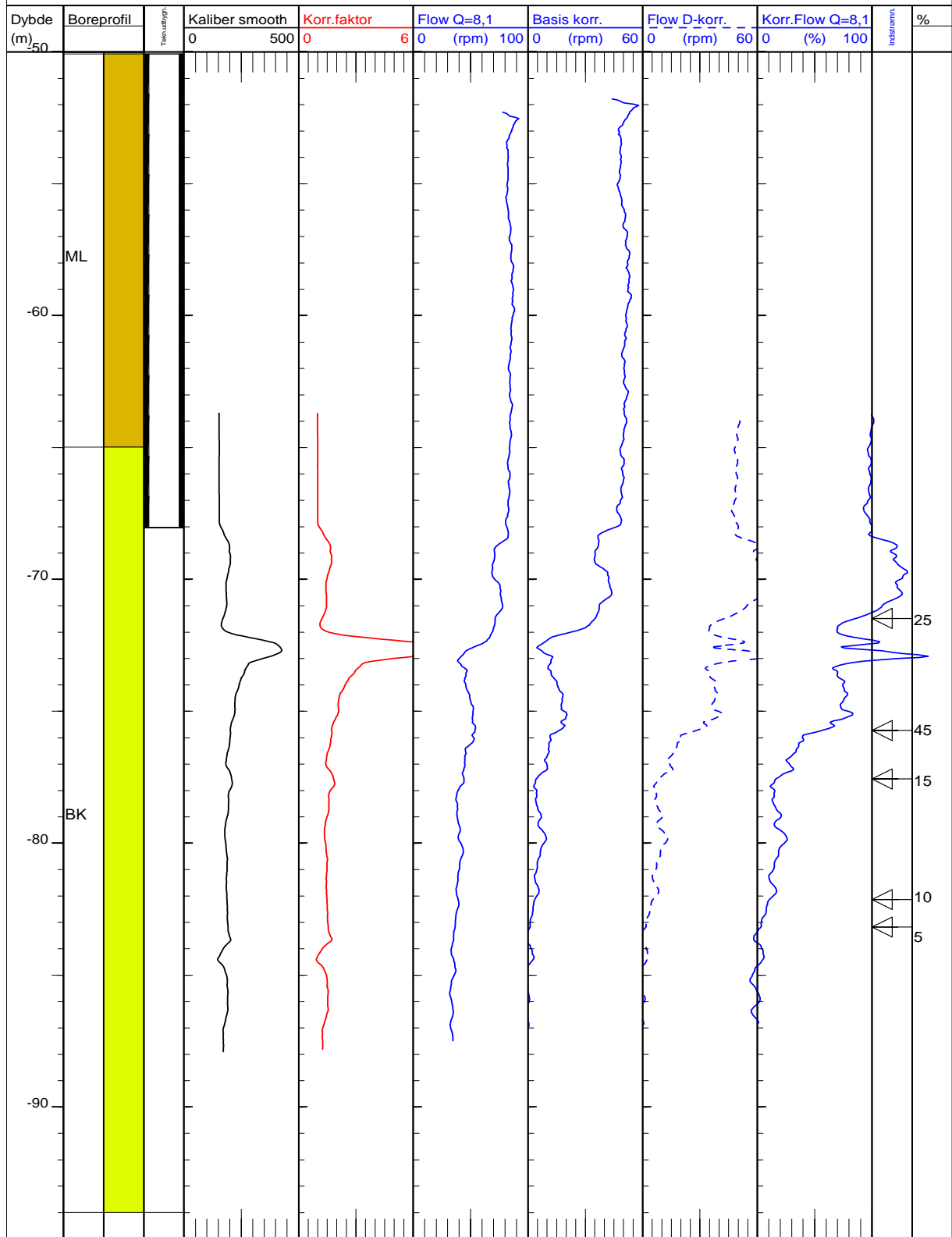
Der blev gjort flere forsøg på at føre flow-loggen ned igennem diameter indsnævringen ved top filter, men uden at det lykkedes. Derfor har indstrømningsfordelingen ikke kunnet bestemmes.

DGU nr. 216.346 Bilag 1  
 Fensmark vandværk: GEUS logging 7-8 juni 2004  
 Reference: Terræn





DGU nr. 216.346 Flow-log diam. korrigeret - Bilag 1A  
 Fensmark vandværk: GEUS logging 7-8 juni 2004  
 Reference: Terræn



DGU nr. 216.629

Bilag 2

Fensmark vandværk: GEUS logging 8-9 juni 2004

Reference: Terræn

