

**Kulturministeriet og Københavns Energi
Nyt skuespilhus og nyt Forsinkelsesbassin
på Kvæsthusbroen, København**

Flow-logging og Heat Pulse målinger i
boringerne GB/PU1, PU13 og PU36

Kurt Klitten



**Kulturministeriet og Københavns Energi
Nyt skuespilhus og nyt Forsinkelsesbassin
på Kvæsthusbroen, København**

Flow-logging og Heat Pulse målinger i
boringerne GB/PU1, PU13 og PU36

Kurt Klitten

1.	Introduktion	3
2.	Måleteknik og databehandling	4
2.1	Propel flow-log	4
2.2	Heat Pulse flow sonde.....	6
3.	Flow-log resultater	8
3.1	Boring GB/PU1	8
3.1.1	Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi	8
3.1.2	Flow-log resultater og konklusion.....	8
3.2	Boring GB/PU13.....	9
3.2.1	Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi	9
3.2.2	Flow-log resultater og konklusion.....	10
3.3	Boring GB/PU36.....	11
3.3.1	Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi	11
3.3.2	Flow-log resultater og konklusion.....	11
3.4	Sammenfatning	12
4.	Bilagsliste	14

1. Introduktion

GEUS har på foranledning af COWI udført flow-logging undersøgelser i de tre filtersatte kalkboringer, GB/PU1, GB/PU13 og GB/PU36 beliggende ved Kvæsthusgade i København. Undersøgelserne gennemførtes i den førstnævnte boring den 15 december 2003 og i PU13 den 16 december 2003, medens PU36 først blev undersøgt den 6 januar 2004 på grund af vanskeligheder med at identificere denne boring på området.

Et komplet logging undersøgelsesprogram var allerede blevet udført i hver af borerne i oktober 2003 af RAMBØLL, men da der opstod tvivl om de lidt uregelmæssige flow-log resultater, besluttedes det at lade GEUS udføre flow-log igen i borerne, men suppleret med Heat Pulse flow målinger.

Undersøgelsesernes formål var således så detaljeret og nøjagtigt som muligt at fastlægge indstrømningsfordelingen i filtrene under pumpning fra disse. Derfor udførtes der i hver boring dels kontinuert flow-logging med propel sonde, og dels diskrete flow-målinger på fastholdte dybdepositioner med Heat Pulse flow sonde og med samme pumpeydelse som anvendt ved propel flow-logging.

2. Måleteknik og databehandling

2.1 Propel flow-log

Sondens propel udfører omdrejninger som følge af det strømmende vand eller som følge af sondens bevægelse ned gennem boringen. Antal omdrejninger er proportionalt med vandets relative strømningshastighed i forhold til sonden, og en kalibrering blev indledningsvis udført i den første boring PU1, ved at føre sonden ned gennem boringen med tre forskellige hastigheder (3 m/min, 5 m/min og 8 m/min) og uden pumpning fra boringen. Derved opnås der tre punkter på kalibreringskurven, se Fig.1 nedenfor. Lignende kalibreringskontrol udførtes også i den sidst undersøgte boring, PU36, se Fig.1.

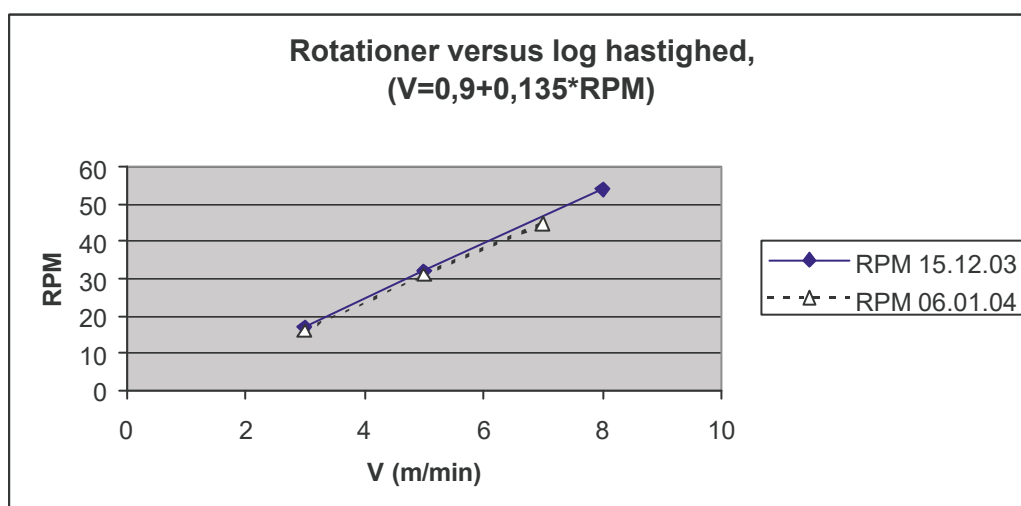


Fig.1. Kalibreringsgraf for GEUS propel sonde IFM2 (fabrikat Robertson Geologging).

Kalibreringen viser ved tilbageskæring af den retlinede kalibreringskurve til V-aksen, at sondens "død-hastighed" er 0,9 m/min, hvilket betyder, at sondens nedsænkningshastighed skal op over 0,9 m/min, før propellen drejer rundt - eller at vandets strømningshastighed skal være højere end 0,9 m/min for at kunne måles, hvis sonden holdes i en stationær dybde position.

Flow-log udføres normalt som en kontinuert måling af propellens omdrejningstal under en konstant pumpeydelse og ved en nedsækning af propel målesonden med konstant hastighed på 5 m/min imod det opad strømmende vand. Derved spiller sondens "død-hastighed" ingen rolle i praksis. Fra kalibreringskurven ses det, at sonden ved denne hastighed vil vise et "basis-rotationstal" på 31 (per minut), hvis der ikke strømmer vand, hvilket oftest er tilfældet på en delstrækning nederst i en boring. Ved øget strømning vil tælle-tallet stige, hvilket vil ses som et jævnt stigende tælle-tal på del-sektioner med jævn fordelt indstrømning (typisk for sand og grus lag), medens lokal indstrømning ved specifikke zoner

(typisk i kalk og kridt) vil medføre pludselige spring i tælleletal. På del-sektioner uden ny indstrømning vil tælleallet teoretisk være konstant. I praksis ses der dog ofte et fluktuerende tælleletal ud for eller lige ovenover zoner med stor indstrømning på grund af turbulent strømning. Hvis tælleallene fluktuerer generelt i hele boringen, er det indikation på manglende centrering af sonden i boringen (evt. ikke lodret "skæv" boring). I åbne kalkboringer uden filterrør ses ofte fluktuerende tælleletal, som da i regelen skyldes en varierende borehulsdiameter.

Store variationer i nedsænkningshastigheden af sonden vil også medføre fluktuationer i tælleallet, men med en elektrisk motordrevet kabeltromle vil en tilstræbt hastighed på 5 m/min kunne holdes indenfor 4,7-5,3 m/sek svarende til, at tælleletal varierer imellem 28 og 33, altså kun en ringe fluktuation. Betydningen af variation i nedsænkningshastigheden ses især lige efter opstart af én flow-log, d.v.s. på den første meter af en flow-log, idet det ofte tager en 20-30 sek at indstille hastigheden fra at være 0 til at være den ønskede 5 m/min.

Måleintensitet eller data optagelsesfrekvens kan vælges fra styresystemet, og vælges normalt til en måling for hver cm. Det svarer ved en sondehastighed på 5 m/min til en måling per 0,12 sek. På denne korte tid har sondens propel ikke udført en hel omdrejning. Uden vandstrømning, men med en sondehastighed på 5 m/min vil den have udført næsten en kvart omdrejning. Ved eksempelvis en vandstrømshastighed på 5 m/min svarende til ca 9 m³/t i en 8" boring vil den kun have udført ca en halv omdrejning imellem hver måling. Alligevel kan det lade sig gøre at måle med så kort tidsinterval som for hver 0.12 sek, fordi sonden er indrettet således, at den elektriske måleimpuls signal genereres næsten uafbrudt og proportionalt med propellens omdrejningshastighed.

Ved boringer, hvor der er forholdsvis kort afstand fra vandspejlet og ned til top af filter (som i disse boringer, 7 – 9 m) opstår der et praktisk problem med at sikre, at der kan måles flow fra mindst 1 m over top af filter for derved at få målt de maksimale rotationstal og Heat Pulse måledata i blænderøret ovenover filteret svarende til 100% vandmængde og maksimal strømningshastighed. Dette sker ved at tilpasse pumpeydelsen til det maksimale, men dog uden at afsænkningen når længere ned end til ca 3 meter over top filter (4 m ved Heat Pulse logging), således at der er plads til 1 m pumpe, 1 m flow-sonde (2 m ved Heat Pulse sonde, se nedenfor) og 1 m målestrækning inden sondens top støder mod bund af pumpe. Fra alle 3 boringer forelå der data fra "trinvis prøvepumping", som var meget nyttige for valget af ydelse (6 og 7 m³/t) og pumpens placering.

De udførte flow-logs er for hver boring sammenstillet på et bilag, som også viser boreprofillets lagfølge, samt filterplaceringen. De rå måledata er for flow-log uden pumping (Flow Q=0) såvel som for flow-log under pumping (Flow Q=6 eller 7 m³/t) blevet midlet ved, at for hver fem målinger svarende til 5 cm er disse data erstattet med gennemsnitsværdien, d.v.s. der fås et datasæt per 5 cm. Måleenheden for de således let midlede data kurver uden og under pumping er "antal rotationer per minut" (RPM).

Flow-loggen vises endelig som akkumuleret strømningmængde i procent af den totale pumpeydelse. Dette gøres ved omregning af de midlede (se ovenfor) rotationstal RPM (Flow Q=6 eller 7 m³/t) til procent af det gennemsnitlige rotationstal for målingerne i blænd-

røret ovenover filteret, som således sættes til 100 pct. Omregningen sker dog først efter, at alle rotationstal er reduceret med et fradrag for basis rotationstallet (=31 rpm) stammende for nedsækning af sonden (5 m/min) og uden pumpning, omtalt ovenfor. For sammenligning er RAMBØLL's flow-log også vist, og sammenligningen omtales under kapitlerne med måleresultater fra hver af borerne.

De resulterende flow-logs som akkumuleret strømningsmængde i procent af pumpeydelsen er til sidst tolket i henseende til lokalisering af indstrømningszoner og det procentiske bidrag fra hver af disse, og vist i sidste søjle på bilaget med flow-logs.

2.2 Heat Pulse flow sonde

Flow-logging med Heat Pulse flow sonden udføres som diskrete målinger på fastholdte dybdepositioner. Måleprincippet bag denne type sonde er, at der udsendes en kortvarig varmpuls fra en varmetråd anbragt i en lodret cylinder nederst på sonden, der er 220 cm lang. Cylinderen (længde=18 cm, indre diameter=4 cm) er åben i bund og i top således, at en eventuel lodret vandstrømning kan passere gennem cylinderrøret. Afhængig af retningen af en eventuel vandstrømning vil varmpulsen da enten strømme ud gennem top eller gennem bund af cylinderen. Dette overvåges ved hjælp af 2 thermistorer anbragt hhv. 5 cm over og under varmetråden i cylinderen. Målingen er en måling i tid (fra varmpulsen udsendes) af temperatur differensen mellem de to thermistorer, som nulstilles umiddelbart før pulsen affyres. Målingen er således en måling af tid (i sek.) fra varmpulsen afgives til den registreres som en relativ ændring i temperaturforskellen mellem de to thermistorer. En positiv ændring skyldes opad rettet strømning, se Fig.2 nedenfor, medens en negativ ændring skyldes nedad rettet strømning.

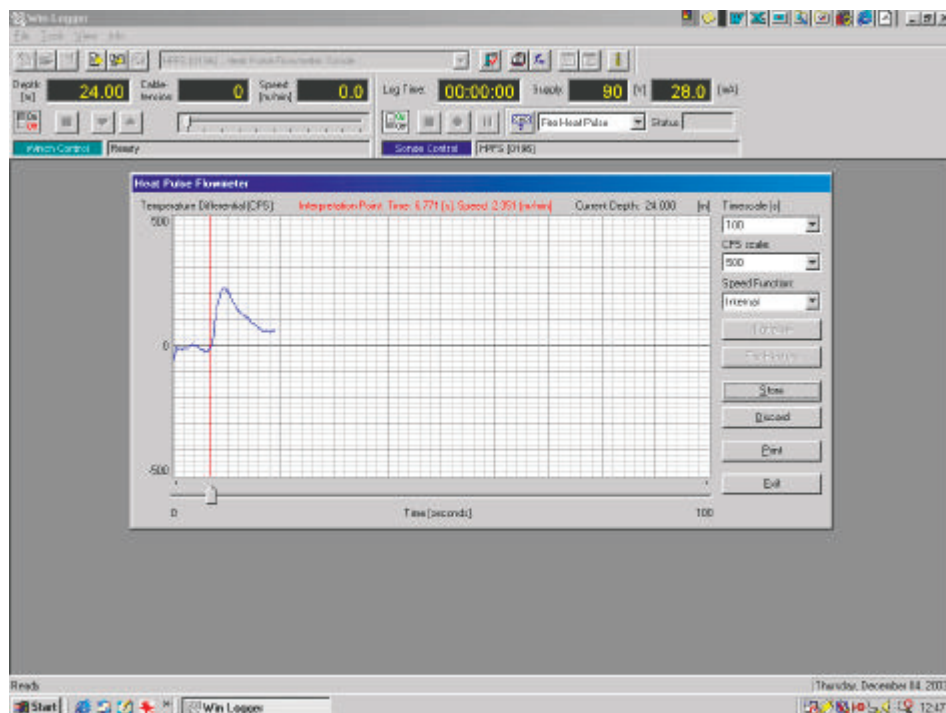


Fig. 2: En opad rettet Heat Puls målt i 24 m dybde og med pulstid på 6,77 sek.

Hvis der ikke er nogen vandstrømning i boringen, vil der efter mere end 30 sek. vise sig en positiv pulse med en forholdsvis stor periode. Dette skyldes konvektionsstrømning af varmepulsen, og den vil altid gå opad.

Fabrikanten opgiver sondens maksimale måleområde til at være strømningshastigheder fra 0.1 m/min til 3 m/min svarende til troværdige pulstider op til 30 sek. men ikke under 1 sek. GEUS's erfaringer bekræfter de 30 sek. som den længste troværdige målbare pulstid, bl. a. også p.g.a. konvektionsstrømningen nævnt ovenfor. Ligeledes, at der kan måles pulstid helt ned til 0.5 sek. svarende til strømningshastigheder op til 6 m/min, men at der er ganske stor usikkerhed på målinger under 1 sek.

Især ved meget små strømningshastigheder er det vigtigt at der sikres tilstrækkelig stabiliseringsstid (mindst 3 min) efter flytning af sonden til ny dybdeposition før målinger påbegyndes. Dette skyldes den såkaldte "stempeleffekt" som ved snævre borehuller skaber strømning i boringen ved flytning af sonden. Denne effekt er især af betydning i den nedre del af snævre kalkboringer, hvis kalken her har ringe permeabilitet, så sonden ved nedføring vil fortrænge vand opad.

Endvidere er det også vigtigt at der går mindst 1 min imellem de enkelte målinger på samme position for at sikre tilstrækkelig tid til opladning af de store pulsgiver-kondensatorer for at få så kraftig en varmepuls som muligt.

På hver dybdeposition udføres der som regel minimum 3 målinger, og gennemsnittet af disse anvendes som den resulterende værdi. Jo større variationer mellem målingerne, jo flere målinger udføres på den enkelte dybdeposition.

På den enkelte borings bilag med log-resultater er der i første søjle efter filterplaceringen angivet måledybde og resulterende pulstid, samt ved pil markeret om strømningen ved den pågældende dybde er opad eller nedad. Idet pulsens rejseafstand er 5 cm, er strømningshastigheden dernæst beregnet ud fra pulstiderne, og vist som en graf på næstsidste log-søjle, HPFM calc. V i m/min. Til sammenligning er der for hver af boringerne i samme søjle på log-bilagene vist den beregnede strømningshastighed ud fra rotationstal (RPM) fra en af de viste propel flow-logs under anvendelse af formlen $V = (0,9 + 0,135 \cdot \text{RPM}) - 5$. Fradraget på 5 m/min er netop sondens nedføringshastighed, der jo som omtalt ovenfor under afsnit 2.1 giver et bidrag til rotationstallet.

Alle Propel flow-logs såvel som Heat Pulse målinger er udført med sonderne centreret ved hjælp af et fjederstyr.

3. Flow-log resultater

3.1 Boring GB/PU1

3.1.1 Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi

Boringen er udført til kote –16.8, men er kun filtersat til kote –14.7 m med gruskastning ned til oprindelig bundkote. De på RAMBØLL's gamma-log og resistivitets-logs optrædende marker horisonter er af GEUS & COWI tolket, se **Bilag 2**, som henholdsvis gamma-marker GM3 og log-sekvens marker H, idet der refereres til vedlagte GEUS logs, se **Bilag 1**, fra 1995 med log-stratigrafisk tolkning fra nærliggende boring TUBA 44, beliggende i Nyhavn. Borehuls-logging blev udført i denne boring som led i forundersøgelserne til Københavns Metro.

Af **Bilag 1** fremgår, at den log-stratigrafiske grænse G mellem den som regel vandførende Øvre København Kalk og den som regel ikke vandførende Mellem København Kalk ligger ca 5 m under marker H. I denne boring betyder det, at den nævnte grænse ligger i ca kote –18.5 m, idet marker H ses at optræde i kote –13.5 m, se **Bilag 2**.

Kalkens overflade træffes i kote –8.8 m, men der er filtersat op til kote –6.7, d.v.s. 2.1 m filter ud for smeltevandsgrus og morænegrus. Boringen er boret som 12" tør boring til kote –9.6 m, hvorefter den er kærneboret med 150 mm diameter til bund. Forinden opboring af kalken til 300 mm (12") og filtersætning med 225 mm udførte RAMBØLL foruden Kaliber-log også Induktions-log, Resistivitets-log med 2 typer sonder, Porosity- og Density-log, samt gamma-log. Efter opboring og filtersætning udførte RAMBØLL derefter flow-logging.

GEUS's flow-logging er udført med samme boringsudbygning som under RAMBØLL's flow-logging. Vandspejlet målt ved GEUS's logging til 1.35 m under terræn, d.v.s. i kote +0.35 m.

3.1.2 Flow-log resultater og konklusion

Resultaterne fra GEUS's flow-logging ses på **Bilag 3**. Flow-logging blev udført 2 gange med samme ydelse 6 m³/t og med praktisk taget samme, men overraskende resultat, se Flow 1 og Flow 2 som RPM, nemlig at rotationstallet er væsentlig lavere i filtersektionen ovenover kalken end det er i filtersektionen i kalken. Det samme forhold blev observeret ved Heat Pulse målingerne, som blev udført for hver meter. Ved disse var det yderligere overraskende, at der konstateredes en nedad rettet om end svag strømning ved den ene af de to målepositioner i filtersektionen over kalken, nemlig i kote –8.3, hvor også flow-logs viste de laveste tælleter.

Det er ikke umiddelbart let at opstille en plausibel forklaring på den lokalt optrædende nedad rettede strømning, selv om den viste sig ved alle de gentagne Heat Puls målinger i denne dybdeposition. Varierende vandtryk i sand-gruslaget som følge af bølgepåvirkning eller højvande er bragt i forslag, idet boringen står kun få meter fra havnebassinet og har direkte hydraulisk forbindelse mellem sand-grus laget og havnevandet gennem utætheder i havnespunsvæggen. Det kunne da betyde, at den opadrettede strømning i filteret i kalken fortsætter ud af filteret og op gennem sand-gruslaget udenfor filteret på siden modsat havnebassinet og ind øverst i filteret og videre op til pumpen. Den lokalt nedad rettede strømning inde i filteret må så være en del af vandpartiklernes vertikalt cirkulære banebevægelse i havnebassinet og i sand-gruslaget imellem spunsvæggen og boringen som følge af bølgegangen.

Ved udførelsen af propel flow-log ses der som nævnt et stærkt fald i strømmingen i samme kote niveau, men der er på dette tidspunkt, hvor denne type log udføres, ikke tale om nedadrettet strømning. Faldet må dog antagelig tilskrives samme fænomen.

Sammenlignes de procentiske flow-kurver med RAMBØLL's tilsvarende ses der kun et meget begrænset fald i strømmingen på RAMBØLL's log i det samme kote niveau. I kalken er der stort set overensstemmelse med undtagelse af en ejendommelig peak på RAMBØLL's log i kote -12.3 m. Da RAMBØLL's flow-log tilsyneladende er udført en dag med mindre påvirkning fra bølgegangsfænomenet, anbefales det at lade denne log danne grundlag for vurdering af indstrømningsfordelingen, når der ses bort fra den positive peak i kote -12.3 m og den negative peak i kote -8.3 m.

Sammenfattende vurderes det derfor og med støtte i GEUS's logs, at 50 % af indstrømmingen sker nederst i filteret og indstrømmer formodentlig fra en zone i kalken beliggende under filterbund (kote -14,7), men ovenover boringens bund (kote -16,8). Yderligere 10% indstrømmer i kote -12,3, og 5% mere i kote -9,6, samt 35% i intervallet fra kote -8,2 og op til kote -6,7m.

3.2 Boring GB/PU13

3.2.1 Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi

Boringen er udført til kote -18.4, men er kun filtersat til kote -17.2 m med gruskastning ned til oprindelig bundkote. De på RAMBØLL's gamma-log og resistivitets-logs optrædende marker horisonter er af GEUS & COWI tolket, se **Bilag 4**, som henholdsvis gamma-marker GM3 og log-sekvens marker H og H1, idet der refereres til vedlagte GEUS logs, se **Bilag 1**, fra 1995 med tidligere udført log-stratigrafisk tolkning fra nærliggende boring TUBA 44, beliggende i Nyhavn.

Af **Bilag 1** fremgår, at den log-stratigrafiske grænse G mellem den som regel vandførende Øvre København Kalk og den som regel ikke vandførende Mellem København Kalk ligger

ca 5 m under marker H. I nærværende boring betyder det, at den nævnte grænse ligger i ca kote -18.7 m, idet marker H ses at optræde i kote -13.7 m, se **Bilag 4**.

Kalkens overflade træffes i kote -8.6 m, og der er kun filtersat op til kote -9.2, d.v.s. top af filter er 0.6 m under kalkens overflade. Der er således ikke filtersat i aflejringerne over kalken, som udelukkende synes at bestå af sand- og grus fyld. Boringen er boret som 12" tørboring til kote -11.0 m, hvorefter den er kærneboret med 150 mm diameter til bund. Forinden opboring af kalken til 300 mm (12") og filtersætning med 225 mm udførte RAMBØLL sit logging program med undtagelse af flow-log, der først blev udført efter at boringen var opboret og filtersætning gennemført.

GEUS's flow-logging er udført med samme boringsudbygning som under RAMBØLL's flow-logging. Vandspejlet målt ved GEUS's logging til 1.32 m under terræn, d.v.s. i kote +0.48 m.

3.2.2 Flow-log resultater og konklusion

Resultaterne fra GEUS's flow-logging ses på **Bilag 5**. Flow-logging blev ligesom i PU1 udført 2 gange, og begge gange med en samme, men lidt højere ydelse, 7 m³/t. Denne boring ligger lidt længere væk fra havnebassinet, og er som nævnt ovenfor ikke filtersat ovenover kalken. Der ses da heller ikke det samme overraskende fald i rotationstallet som ved PU1. Derimod ses et rotationstal, der øges trinvis fra et basistællelital på 31 nederst i filteret svarende til ingen vandstrømning og til ca 70 RPM i blændrøret over filteret svarende til maksimal vandstrømning. Boringen synes således ikke påvirket af bølgegangsfænomenet.

Heat Pulse målingerne er udført for hver meter, og bekræfter i store træk flow-loggens resultater, hvilket ses ved at sammenligne den beregnede hastighedsgraf HPFM calc. V med hastighedsgrafen beregnet ud fra Flow log 2. Dog synes HPFM hastighederne øverst i filter og i blændrør at ligge for højt formodentlig fordi HPFM sondens måleområde er overskredet. Sonden er i virkeligheden mest velegnet til at dokumentere svage strømninger.

Sammenlignes de procentiske flow-kurver med RAMBØLL's tilsvarende ses der en lignende trinvis stigning i den akkumulerede procentiske vandstrømning, men dog med den forskel, at RAMBØLL's fra kote ca -16 ligger med lidt højere værdier og når 100% lidt tidligere end GEUS's logs. Den samme om end mindre markante ejendommelig peak på RAMBØLL's log ses også her og i omtrent samme kote, -12.0 m. Det må derfor formodes, at den skyldes en uregelmæssighed på kablet, som forårsager en bevægelse af sonden uregelmæssighedens passage over dybdemålehjulet.

Da forskellen mellem GEUS's to flow-logs er væsentlig mindre end forskellen mellem GEUS's logs og RAMBØLL's anbefales det at lade GEUS's flow-logs danne grundlag for vurdering af indstrømningsfordelingen i kalken.

Sammenfattende vurderes det derfor, at 55 % af indstrømningen sker mellem kote -16.5 og kote -16.0, d.v.s. ca. 1 m over filterets bund. Der er ingen indstrømning nederst i filteret.

Yderligere 10% indstrømmer i kote –12.3, og de resterende 35% i kote –10.0, d.v.s. 0.8 m under top af filter.

3.3 Boring GB/PU36

3.3.1 Teknisk udbygning, geologi og stratigrafi

Denne boring er udført til kote –20.7, men er kun filtersat til kote –17.8 m med gruskastning ned til oprindelig bundkote. De på RAMBØLL's gamma-log og resistivitets-logs optrædende marker horisonter er af GEUS & COWI tolket, se **Bilag 6**, som henholdsvis gamma-marker GM3 og log-sekvens marker H og H1, idet der refereres til vedlagte GEUS logs, se **Bilag 1**, fra 1995 med tidligere udført log-stratigrafisk tolkning fra nærliggende boring TUBA 44, beliggende i Nyhavn.

Af **Bilag 1** fremgår, at den log-stratigrafiske grænse G mellem den som regel vandførende Øvre København Kalk og den som regel ikke vandførende Mellem København Kalk ligger ca 5 m under marker H. I nærværende boring betyder det, at den nævnte grænse ligger i ca kote –19.2 m, idet marker H ses at optræde i kote –14.2 m, se **Bilag 6**.

Kalkens overflade træffes i kote –10.0 m, men der er filtersat op til kote –8.8, d.v.s. 1.2 m filter ud for smeltevandsgrus, der overlejrer kalken. Boringen er boret som 12" tørboring til kote –12.2 m, hvorefter den er kærneboret med 150 mm diameter til bund. Forinden opboring af kalken til 300 mm (12") og filtersætning med 225 mm udførte RAMBØLL sit logging program med undtagelse af flow-log, som først blev udført efter at kalksektionen var opboret og filtersætning gennemført.

GEUS's flow-logging er udført med samme boringsudbygning som under RAMBØLL's flow-logging. Vandspejlet målt ved GEUS's logging til 1.89 m under terræn, d.v.s. i kote -0,19 m.

3.3.2 Flow-log resultater og konklusion

Resultaterne fra GEUS's flow-logging ses på **Bilag 7**. Flow-logging blev i denne boring udført ikke mindre end 4 gange på grund af, at der igen observeredes samme fænomen som i PU1, nemlig et fald i rotationstallet i den øvre del af filteret. Alle fire flow-logs udførtes med samme ydelse, 6 m³/t, og de opnår deres maksimale tælleantal 70 RPM allerede omkring kote –12 og for Flow-log 3 og 4 igen i blændrøret ovenover filteret. Flow-log 1 og 2 er startet for tæt på top filter, d.v.s. med for få målinger i blændrøret, og har øjensynligt haft problemer med at indstille til den korrekte log-hastighed 5 m/min inden sonden nåede ned i filteret. På den øverste del skal der derfor lægges mest vægt på Flow-log 3 og 4.

Denne boring ligger ligesom PU1 kun nogle få meter fra havnebassinet, og er ligesom denne også filtersat ovenover kalken. Det faldende rotationstal øverst i kalken og ud for grus-

laget sammenholdt med boringens beliggenhed synes således at indikere påvirkning fra bølgegangsfænomenet.

Heat Pulse målingerne er her udført for hver halve meter, og bekræfter i store træk flow-loggens resultater, hvilket ses ved at sammenligne den beregnede hastighedsgraf HPFM calc. V med hastighedsgrafen beregnet ud fra Flow log 3. Dog synes de maksimale HPFM hastighederne omkring kote -12 og i blændrør at ligge for højt, igen formodentlig fordi HPFM sondens måleområde er overskredet. Sonden er i virkeligheden mest velegnet til at dokumentere svage strømninger.

Sammenlignes de procentiske flow-kurver med RAMBØLL's tilsvarende ses der at være stor overensstemmelse til GEUS's logs på sektionen ovenover kote -12, hvor også RAMBØLL's log viser maksimal akkumuleret strømning. RAMBØLL's måleværdier her er ikke blot en lokal peak som ved PU1 og PU13, men derimod høje værdier over 0.5 m interval ligesom ved GEUS's logs inklusiv Heat Pulse målingerne. Det må derfor formodes, at RAMBØLL's højere værdier omkring kote -12 i denne boring ikke skyldes en uregelmæssighed på kablet, men at de afspejler den virkelige strømningssituation. Nedenunder kote -12 viser RAMBØLL's procentiske flow-log generelt 10-15 % lavere værdier ved samme dybde.

Da forskellen mellem GEUS's fire flow-logs med undtagelse af de øverste metre på Flow-log 1 og 2 er væsentlig mindre end forskellen mellem GEUS's logs og RAMBØLL's anbefales det at lade GEUS's flow-logs 3 og 4 danne grundlag for vurdering af indstrømningsfordelingen i kalken.

Sammenfattende vurderes det derfor, at 50 % af indstrømningen sker mellem kote -16.5 og kote -16.0, d.v.s. ca. 1.5 m over filterets bund. Der er ingen indstrømning nederst i filteret. I intervallet fra kote -14.3 til kote -12.3 indstrømmer de resterende 50% fra en række tætliggende sprækker. Fra kote -11.5 og op til kote -9.0 mistes 25% af vandføringen i filteret, og på de øverste 20 cm af filteret indstrømmer den 25% igen, men dette er ikke en afspejling af den virkelige indstrømningsfordeling i sand-grus laget.

3.4 Sammenfatning

I tabellen nedenfor er de konkluderende vurderinger af indstrømningsfordelingen i de tre boringer sammensstillet:

	PU1 (baseret på RAMBØLL's log)	PU13 (GEUS's logs)	PU36 (GEUS's logs)
Sand-grus	-6.8 til -8.2: 35 %	Ingen filter	Kan ikke bestemmes
Kalk	-9.7: 5 %	-10: 35%	
Kalk	-12.3: 10%	-12.3: 10 %	-12.3 til -14.3: 50 %
Kalk	Under -14.5 men over -16.8: 50 %	-16.0 til -16.5: 55 %	-16.0 til -16.5: 50 %

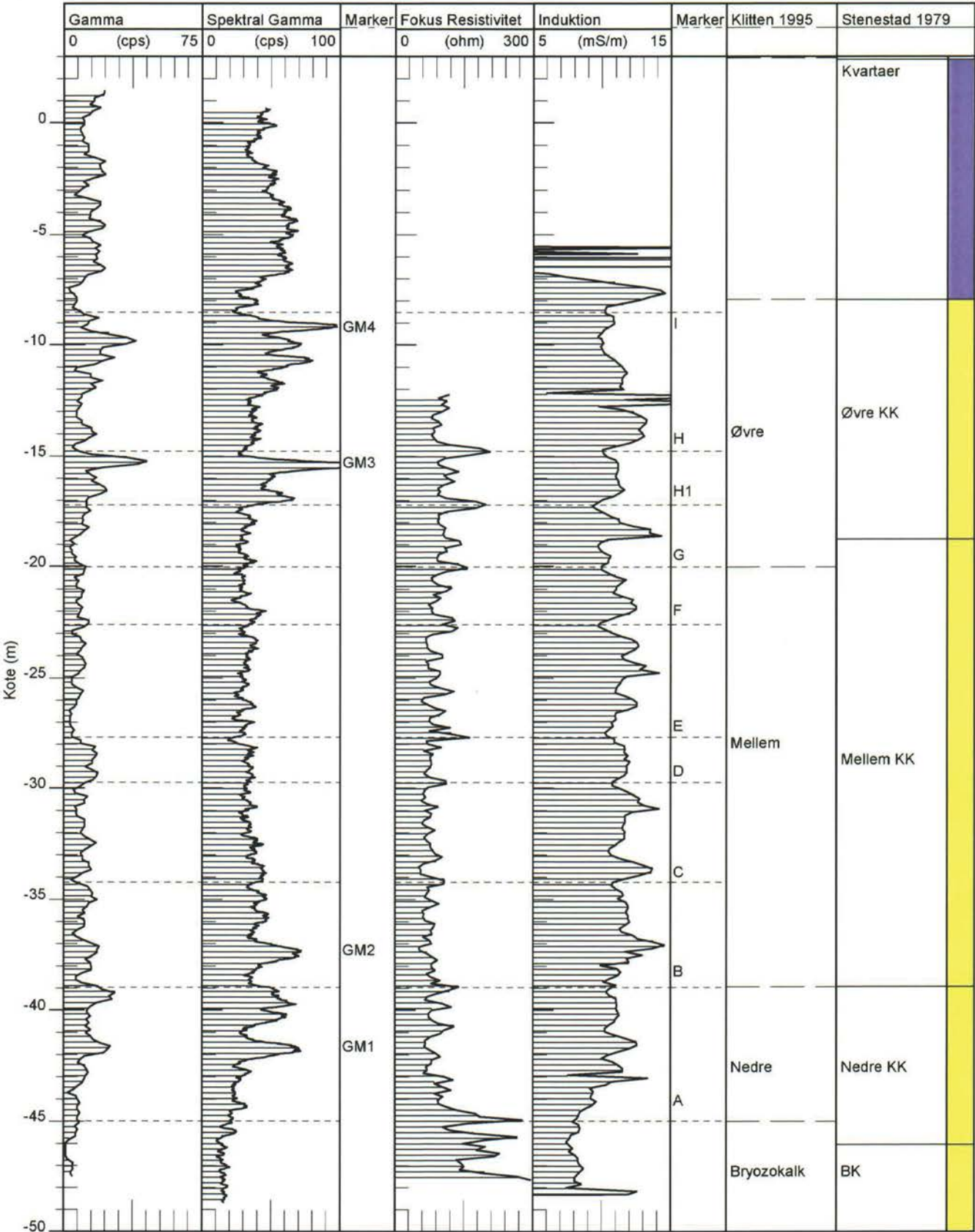
Der ses at være et stort sammenfald i zonernes dybdemæssige beliggenhed i de tre boringer, men nogen forskel i zonernes vandføring bortset fra den nederste.

Selv om de udførte flow-logs og Heat Pulse målinger er stærkt forstyrrede af bølgegangs-effekten i netop de to boringer, PU1 og PU36, som også var filtersat i grus-laget, var det alligevel muligt at fastlægge indstrømningsfordelingen mellem kalken og det overliggende grus-lag i den ene boring, PU1. Her indstrømmer således 35 % af ydelsen fra grus-laget og 65 % fra den del af kalken, som er gennemboret, d.v.s. ned til boringens oprindelige slut-dybde, kote –16.8 m. Derimod var det ikke muligt tilsvarende at vurdere indstrømningen fra den øvre del af kalken og fra grus-laget i PU36.

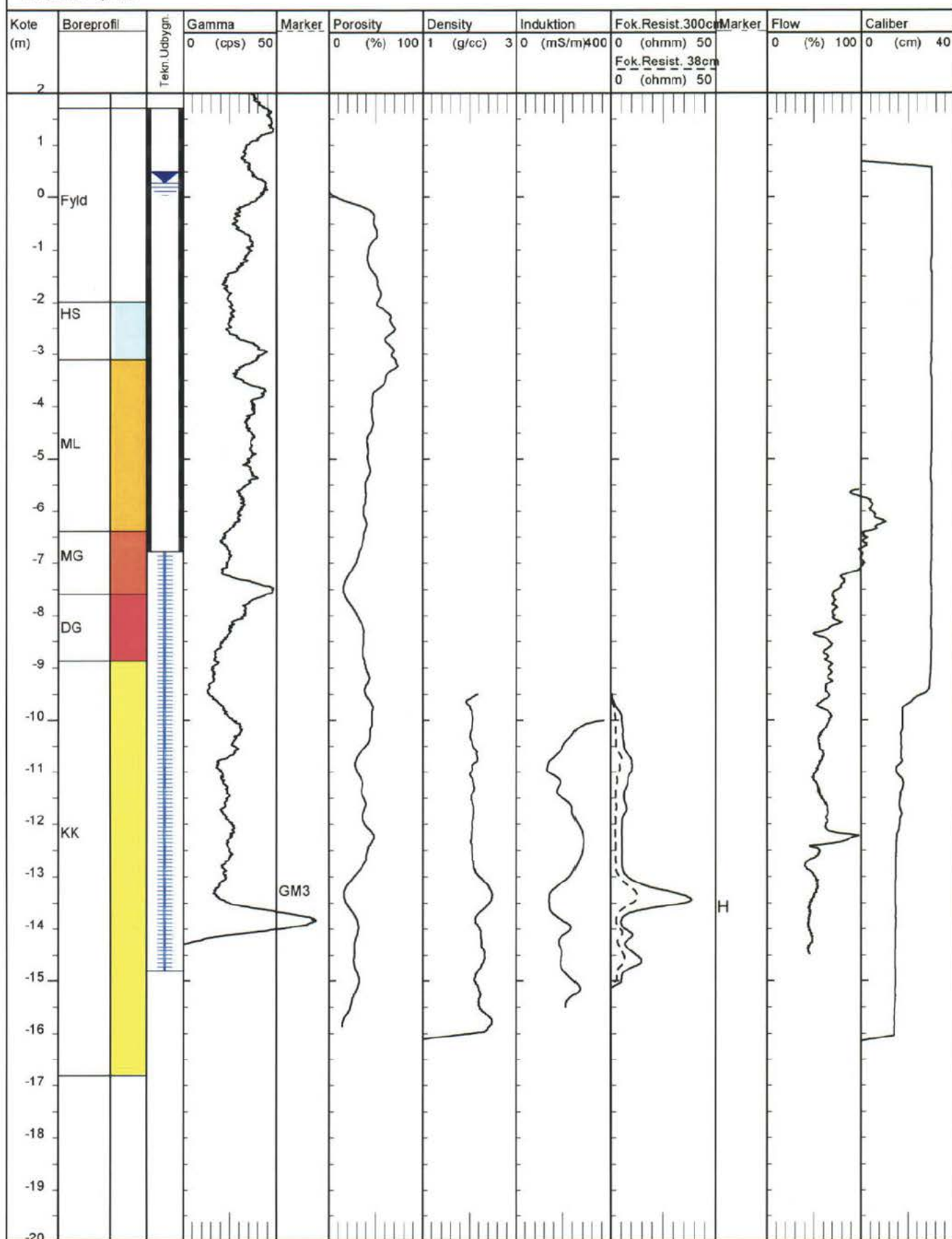
4. Bilagsliste

- Bilag 1: Log-stratigrafi i København kalk - Boring KNP1=TUBA 44= DGU 201.3111, Nyhavn.
- Bilag 2: Boring GB/PU1 – RAMBØLL Borehulslogging
- Bilag 3: Boring GB/PU1 – GEUS Flow-logging og Heat Pulse målinger
- Bilag 4: Boring GB/PU13 – RAMBØLL Borehulslogging
- Bilag 5: Boring GB/PU13 – GEUS Flow-logging og Heat Pulse målinger
- Bilag 6: Boring GB/PU36 – RAMBØLL Borehulslogging
- Bilag 7: Boring GB/PU36 – GEUS Flow-logging og Heat Pulse målinger

BILAG 1: Boring KNP1, TUBA44, DGU 201.3111 - Nyhavn
 GEUS logging for Metro forundersøgelserne 1995
 Terraen +2,95 m



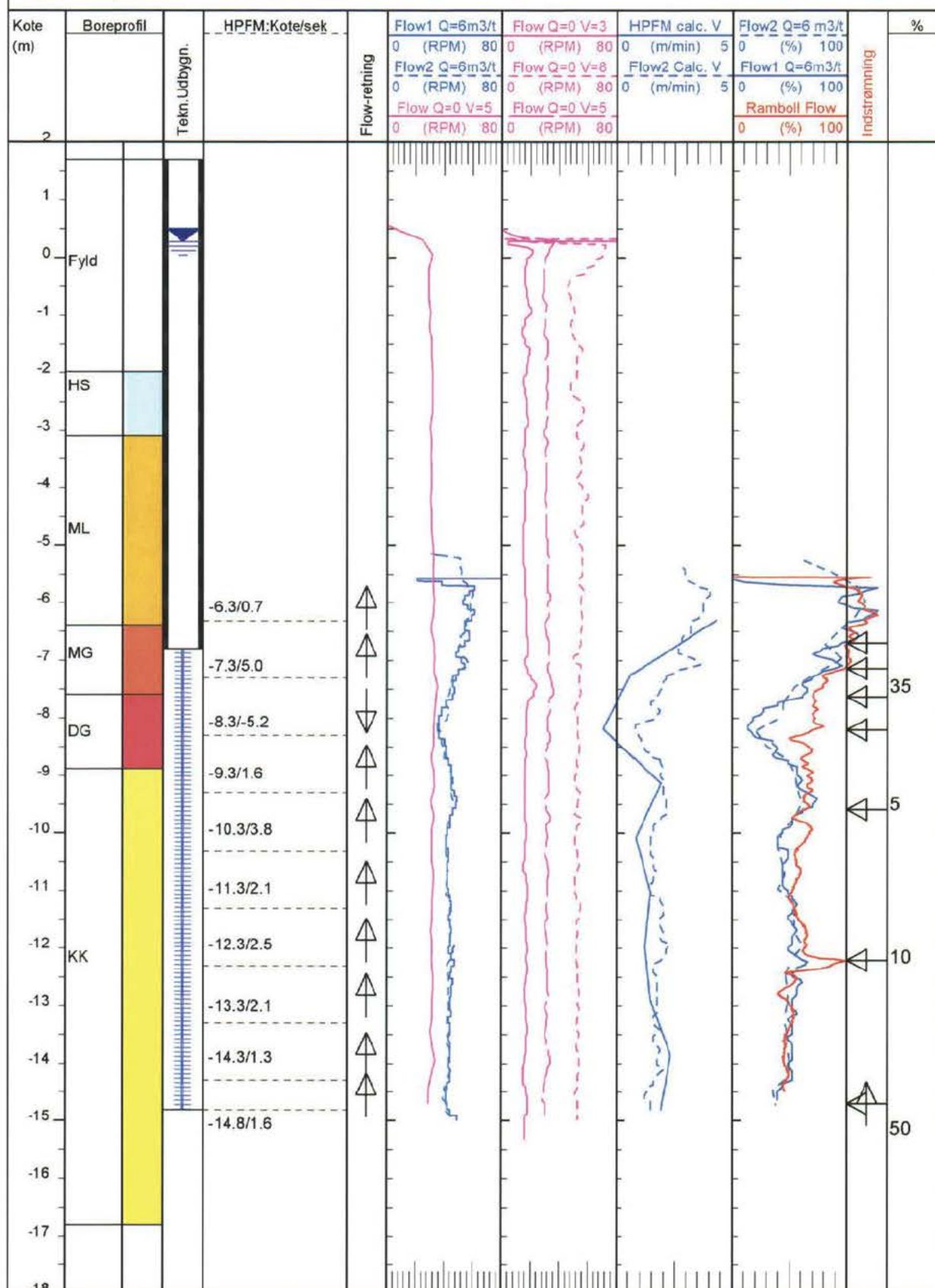
Terraæn +1,7 m



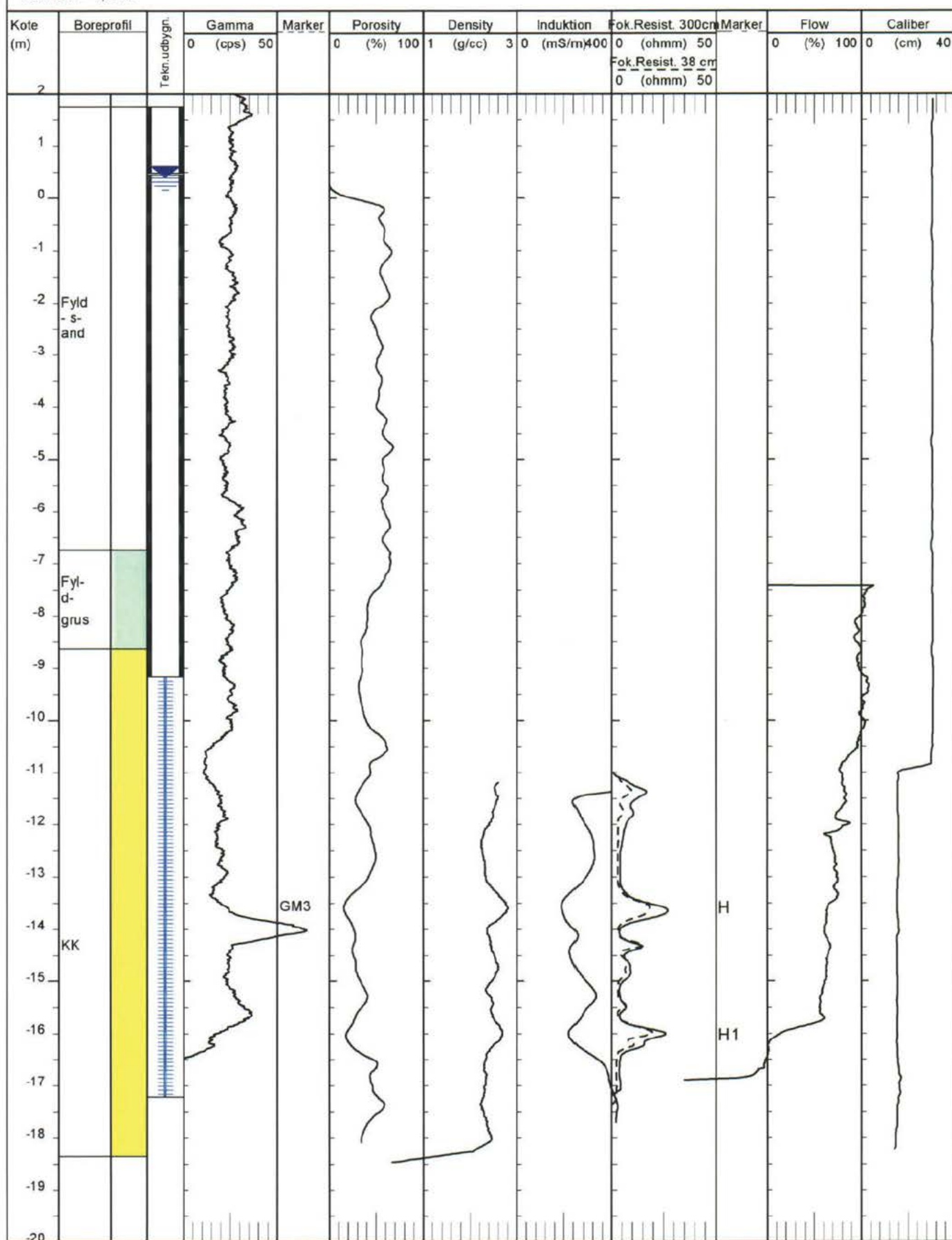
BILAG 3: GEUS logging i Boring GB/PU1

Kvaesthusbroen: 15.12.03

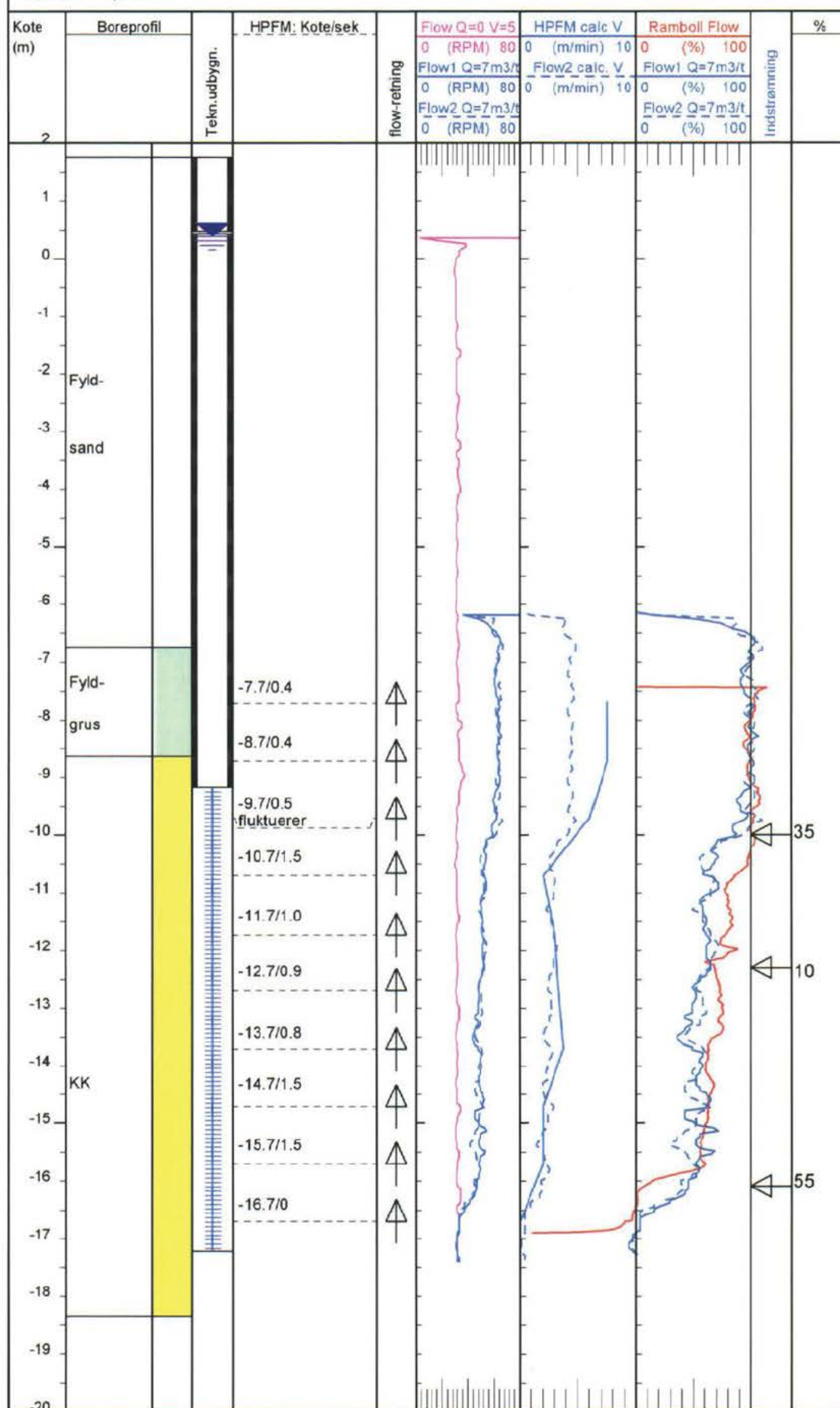
Terræn +1,7 m



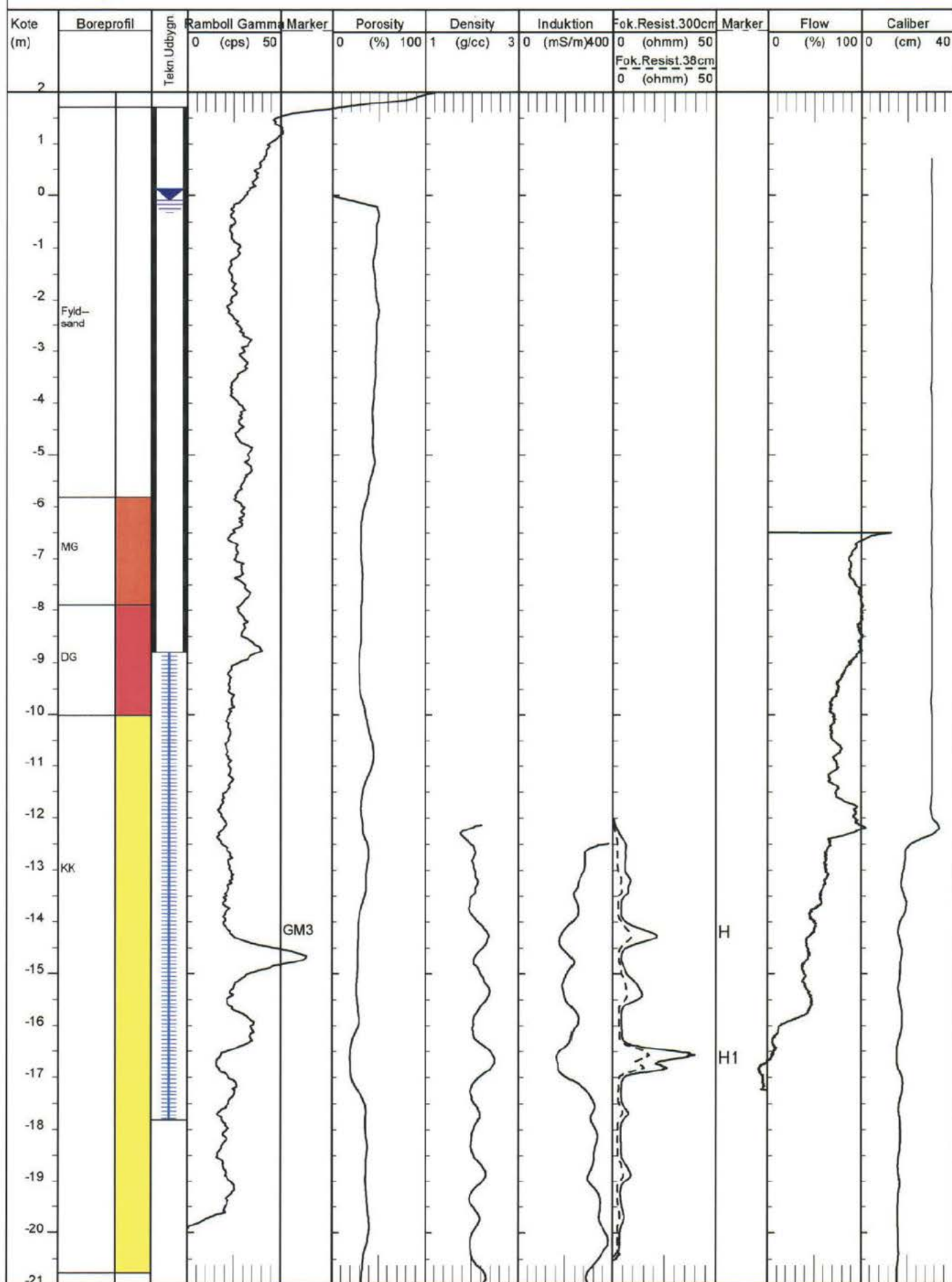
Terræn +1,8 m



Terræn +1,8 m



Terræn +1,7 m



BILAG 7: GEUS logging i Boring GB/PU36

Kvaesthusbroen: 06.01.04

Terræn +1,7 m

