

**Strø Nord Kildeplads,
Københavns Energi**

Borehulslogging - forundersøgelser for ombygning, 2004

Kurt Klitten, Erik Clausen & Per Jensen



**Strø Nord Kildeplads,
Københavns Energi**

Borehulslogging - forundersøgelser for ombygning, 2004

Kurt Klitten, Erik Clausen & Per Jensen

Indhold

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduktion og undersøgelsesprogram | 5 |
| 2 | Sammenfatning af resultater | 8 |
| 2.1 | Tekniske forhold..... | 8 |
| 2.2 | Geologi..... | 8 |
| 2.3 | Indstrømningsfordeling | 10 |
| 2.4 | Saltvandspåvirkning..... | 11 |
| 2.5 | Konklusion og anbefaling..... | 12 |
| 3 | Log-stratigrafi i kalken og lithologi | 14 |
| 3.1 | Korrelation af Induktions-logs | 14 |
| 3.2 | Korrelation af Resistivitets-logs | 16 |
| 3.3 | Korrelation af Gamma-logs..... | 16 |
| 4 | Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer | 18 |
| 4.1 | Ny boring Ub (192.1201)..... | 18 |
| 4.1.1 | Tekniske forhold | 18 |
| 4.1.2 | Lagfølge..... | 18 |
| 4.1.3 | Indstrømningszoner..... | 19 |
| 4.1.4 | Ledningsevne og temperatur, samt saltvandspåvirkning..... | 20 |
| 4.2 | Erstatningsboring N 18A (192.936) | 21 |
| 4.2.1 | Tekniske forhold | 21 |
| 4.2.2 | Lagfølge..... | 22 |
| 4.2.3 | Indstrømningszoner..... | 22 |
| 4.2.4 | Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning..... | 23 |
| 4.3 | Boring N 6 (192.57F) | 23 |
| 4.3.1 | Tekniske forhold | 23 |
| 4.3.2 | Lagfølge..... | 24 |
| 4.3.3 | Indstrømningszoner..... | 24 |
| 4.3.4 | Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning..... | 25 |
| 4.4 | Boring N 14 (192.57N) | 25 |
| 4.4.1 | Tekniske forhold | 25 |
| 4.4.2 | Lagfølge..... | 25 |
| 4.4.3 | Indstrømningszoner..... | 26 |
| 4.4.4 | Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning..... | 26 |
| 4.5 | Boring N 10 (192.57J)..... | 26 |
| 4.5.1 | Tekniske forhold | 26 |
| 4.5.2 | Lagfølge..... | 27 |
| 4.5.3 | Indstrømningszoner..... | 27 |
| 4.5.4 | Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning..... | 28 |
| 4.6 | Boring N 2 (192.57B) | 28 |
| 4.6.1 | Tekniske forhold | 28 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.6.2 | Lagfølge..... | 28 |
| 4.6.3 | Indstrømningszoner..... | 29 |
| 4.6.4 | Ledningsevne og temperatur samt saltvand..... | 29 |
| 4.7 | Boringerne S1A og S4A fra Strø Syd kildeplads | 29 |
| 5 | Bilags liste | 30 |

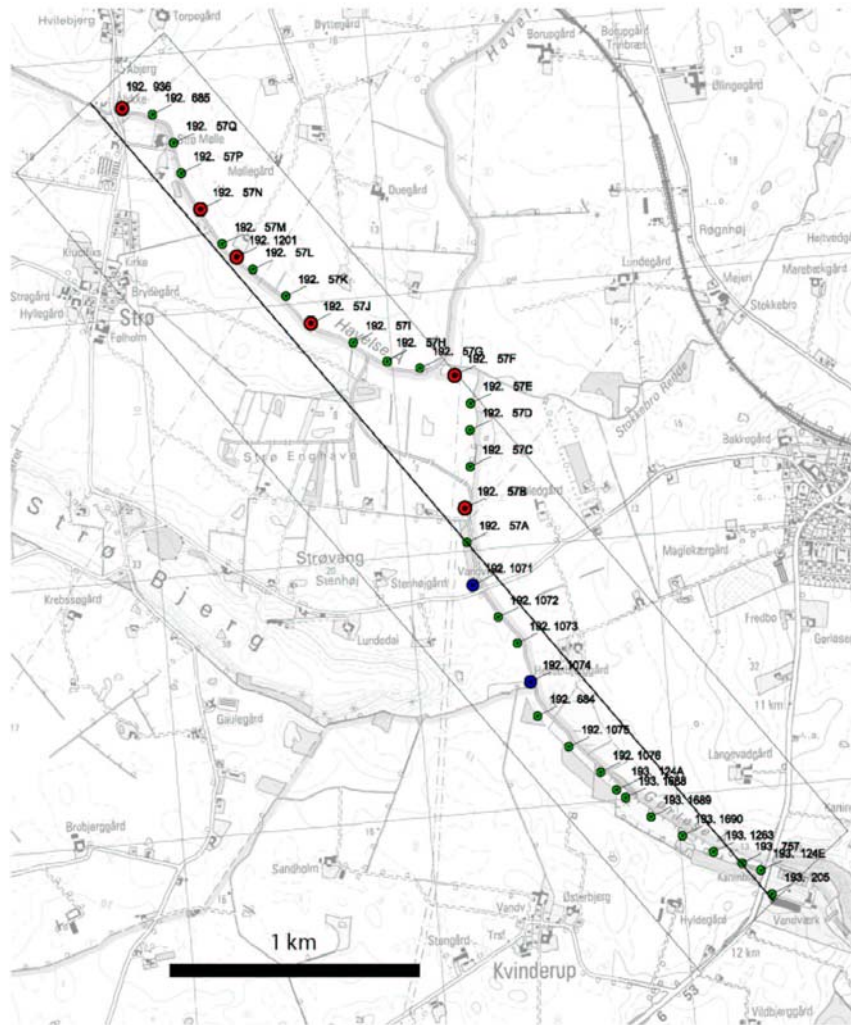


Fig. 1: Strø Nord og Strø Syd kildepladser – de nyligt undersøgte 6 borer er vist med rødt – 2 tidligere undersøgte borer på Strø Syd er vist med blåt.

1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For Københavns Energi udførtes der tidligt i 2004 borehulslogging dels i en ny undersøgelsesboring DGU nr. 192.1201 (Ub) og dels i 5 eksisterende indvindingsboringer (N2, N6, N10, N14 og N18A), alle beliggende på Strø Nord kildeplads imellem Gørløse og Skævinge i Nordsjælland. Hensigten var at forbedre grundlaget for planlægningen af en ombygning af kildepladsen, herunder især kendskab til risikoen for saltvandspåvirkning.

Indvindingen på kildepladsen sker fra kalksandskalken (Danien), som træffes 20-25 m under terræn, hvilket vil sige omkring kote -15 til -20 m, idet terræn koten ligger på +6m til +8m.

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 årsag til eventuel saltvandspåvirkning, 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 imellem 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 imellem zoner i kalk eller mellem to filtre vil dette også blive identificeret ved denne kalibrerings flow-log uden pumpning.

Tabel 1.1: Logging undersøgelser på Strø Nord kildeplads, 2004

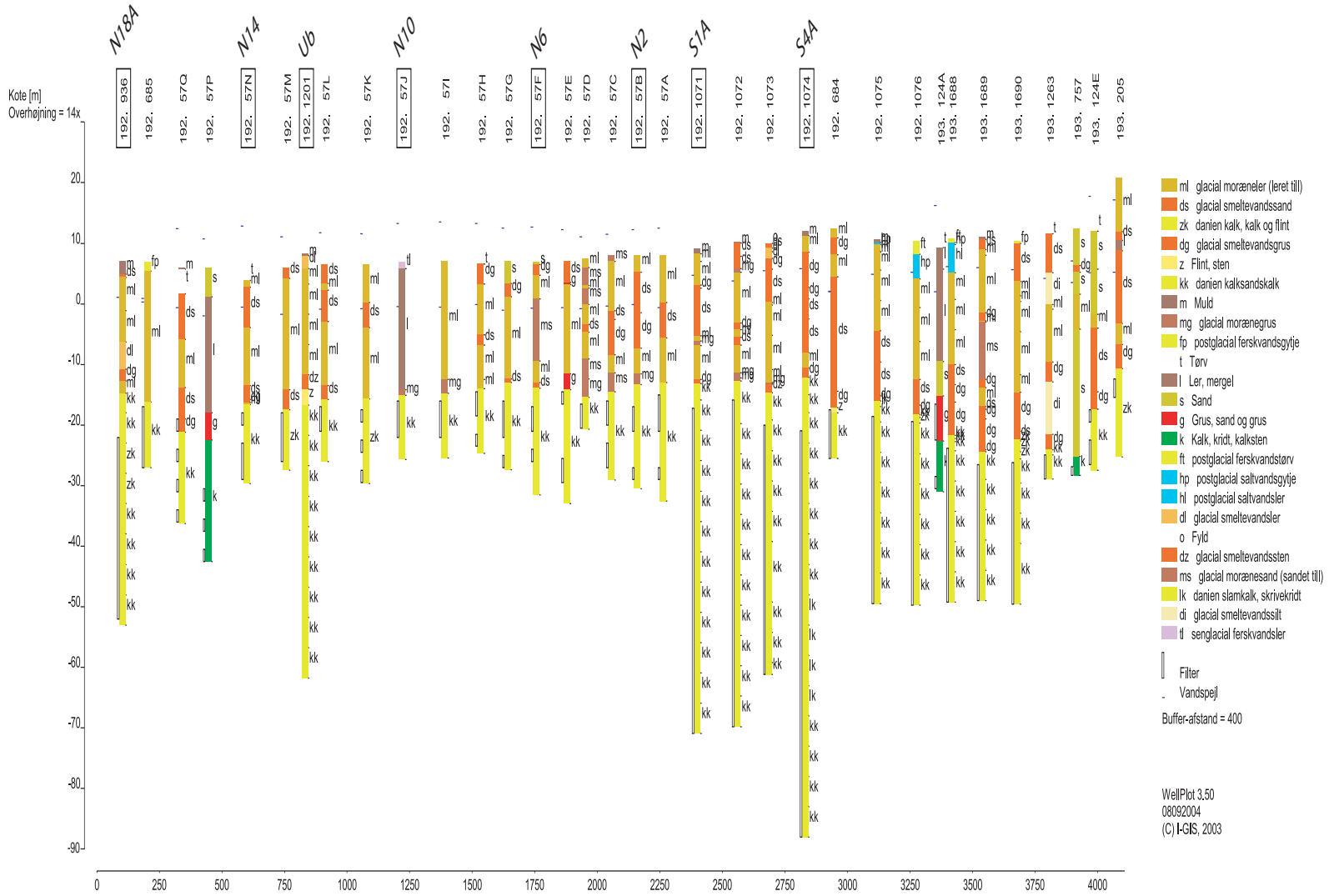
| Boring: | N 2 | N 6 | N 10 | Ub | N 14 | N 18A |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| DGU nr. | 192.57B | 192.57F | 192.57J | 192.1201 | 192.57N | 192.936 |
| Logging dato: | 15.03.2004 | 15.03.2004 | 12.03.2004 | 02.02.2004 | 10.03.2004 | 10.03.2004 |
| Log metoder: | | | | | | |
| Gamma | X | X | X | X | X | X |
| Resistivitet | - | - | - | X | - | - |
| Induktion | - | - | - | X | - | - |
| Kaliber | - | X | - | X | - | - |
| Temp. & Ledningsevne | X | X | X | X | X | X |
| Temp. & Ledn. Under pumpn. | - | - | - | X | - | - |
| Flow uden pumpning | X | X | X | X | X | X |
| Flow under pumpn. | - | - | - | X | - | - |
| Heat pulse basis flow | - | - | - | - | - | - |
| Video | - | - | - | X | - | - |

Kildepladsen var i drift under logging arbejdet såvel i februar som i marts, d.v.s. de gamle boringer var generelt stadig tilkoblet på hævert pumpesystemet. Kun enkelte naboboringer til den nye boring 192.1201 var midlertidigt udtaget af drift.

I tabel 1.1 ovenfor ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført i hver af borerne ifølge aftale med KE. I den nye undersøgelsesboring, Ub (DGU nr. 192.1201), gennemførtes det normale GEUS logging program, medens der i de fem øvrige kun udførtes et begrænset program med henblik på blot at belyse indstrømningsfordelingen ved hjælp af flow-log og vurdere saltvandspåvirkningen ved hjælp af ledningsevne-log. Ved sidstnævnte opnås der også automatisk en gamma-log og en temperatur-log, idet den anvendte ledningsevne-sonde er en kombineret sonde. I øvrigt kunne flow-log i disse fem borer udføres uden pumpning fra borerne, idet de alle havde et stærkt overløb (12 - 31 m³/t).

På det geologiske længdeprofil Fig. 2, ses de 6 undersøgte borerens boreprofil sammenstillet med boreprofiler fra alle øvrige borer på såvel Strø Nord som Strø Syd kildeplads. På sidstnævnte har GEUS tidligere udført logging undersøgelse af to borer, S1A og S4A. Resultaterne herfra er medtaget i denne rapport og anvendt til log-stratigrafisk korrelation med log-resultaterne fra Strø Nord.

Fig. 2: Geologisk længdesnit



2 Sammenfatning af resultater

2.1 Tekniske forhold

De 4 ældre eksisterende indvindingsboringer fra 1951-52 er kun mellem 32 og 38 m dybe og blev i sin tid udført med 8" eller 10" stålforerør til kalken, og som 8" åbne boringer ned i kalken. Efterfølgende er de så blevet udbygget med 125 mm støbejernsrør med muffe-samlinger og med et eller to filtre nede i kalken. I boringer med to filtre er der et 125 mm blænderør imellem filterne. Diameter over muffe-samlinger og i filterrør blev ved en kaliber-log målt til 100 mm. Der formodes at være udført gruskastning uden for filtersektionen, ligesom det formodes, at det oprindelige ydre foringsrør er trukket, og at opfyldningen omkring det indre støbejernsrør (125 mm) er udført med leret jordfyld evt. med cementudstøbning lige over kalken samt øverst nær terræn.

Den femte boring, som er fra 1991, blev udført med et 14" stålforerør ($\phi_i=354$ mm) til top af kalken i 22 m, og som 312 mm kalkboring til 60 m. Den er filtersat med et 8" PVC filterrør fra 29 til 59 m med gruskastning til top kalk og med cement/bentonit udstøbning omkring PVC forerør, idet stålforerøret er optrukket.

Den sjette og helt nye boring fra 2004 var endnu ikke færdig udbygget ved gennemførelsen af logging-programmet, idet resultatet heraf skulle indgå i beslutningsgrundlaget for udbygningen. Den stod derfor med 14" stålforerør til kalken ($\phi_i=365$ mm) i 25 m dybde, og derunder som åben 312 mm kalkboring til 70 m. Den er siden blevet færdigudbygget med tilbagestøbning med cement/bentonit til 60 m dybde, 225 mm filterrør fra 58 m til 26 m, og 225 mm PVC forerør fra 26 m til terræn. Det oprindelige stålforerør er optrukket, og der er udstøbt omkring PVC forerøret med cement/bentonit.

Tabel 2.1: Boringeres udbygning under logging – rækkefølge fra syd mod nord

| Boring DGU nr. | KE nr | Boring udført | Terræn kote (m) | Boringsdybde (m) | Forerørsdybde (m) | Forerørs diam. (mm) | Filter dybde sektioner (m) | Borediameter i kalk (mm) |
|----------------|-------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| 192.57B | N 2 | 1952 | +8 | 38,5 | 25,0 | 125 Stb.jern | 25-29 og 35-37 | 250 |
| 192.57F | N 6 | 1952 | +7 | 38,5 | 24,0 | 125 Stb.jern | 24-28 og 31-33 | 250 |
| 192.57J | N 10 | 1951 | +7 | 32,7 | 23,0 | 125 Stb.jern | 23-29 | 250 |
| 192.1201 | Ub | 2004 | +8,25 | 70,0 | 25,0 | 365 Stål | Åben | 312 |
| 192.57N | N 14 | 1951 | +6 | 35,7 | 24,0 | 125 Stb.jern | 24-26 og 29-35 | 250 |
| 192.936 | N 18A | 1991 | +7 | 60,0 | 29,0 | 225 PVC | 29 – 59 | 312 |

2.2 Geologi

På grund af støbejernsrørene i de fire gamle boringer og stålforerør i den nye boring kan verifikation af den kvartære lagfølge i disse i princippet kun opnås fra gamma-log, idet resistivits- og induktions-log ikke giver brugbare resultater i stålørdsdelen af en boring. Hvor der som her formodes at være foretaget udfyldning og udstøbning udenfor forerør

ovenover filtersektionerne i fem af de undersøgte borer, vil en tolkning af gamma-loggen i disse til verifikation af den kvartære lagfølge være forbundet med nogen usikkerhed. Kun i den ny boring 192.1201 er der ikke foretaget bagfyldning endnu, og gamma-loggen kan derfor give pålidelig information om kvartæret. Denne viser, at kvartæret overvejende består af ler (moræneler), men også indeholder mindre lag af sand-grus i dybderne ca. 3,5 m, 6 m, 14,5 m, 18 m og 21 m. Den faste kalk med lav gamma-stråling træffes i 23 m dybde med en overgangszone fra 21,5 til 23 m.

Fokus i nærværende undersøgelse har været kalken og beliggenheden af grænsen til den overliggende kvartære lagserie. Hvad angår sidstnævnte så synes gamma-loggen i alle de 6 undersøgte borer at bekræfte brøndborerens information om grænsens beliggenhed indenfor +/- 1 m.

En log-stratigrafisk opdeling af kalken har været mulig i boring 192.1201, idet der i denne boring blev udført induktions- og resistivitets-logging, **Bilag 1**. Ved korrelation til tilsvarende logs fra GEUS undersøgelser af de tre nye 120 m dybe borer på Æbelholt kildeplads udført i 2002, og til logs fra den 100 m dybe boring 192.1074 (S4A) og den 80 m dybe boring 192.1071 (S1A), begge fra Strø Syd kildeplads og udført i 1999, ses der en bemærkelsesværdig god overensstemmelse, **Bilag 7** og **Bilag 8**. På basis heraf kan den 80-85 m tykke Danien kalk opdeles i 4 log-stratigrafiske sekvenser, som synes at afspejle generelle lithologiske forskelligheder: En 10-15 m "Øvre" sekvens med 1-2 m tykke lag med skiftende henholdsvis lille og stor ledningsevne – som må antages at afspejle, at lagene skifter mellem tykke porøse og tykke tætte kalk lag. En ca. 15 m "Øvre Mellem" sekvens med generelt lav, men dog hyppigt skiftende ledningsevne – som må antages at afspejle, at lagene hyppigt skifter mellem tynde porøse og tynde tætte kalk lag. En 25-30 m "Nedre Mellem" sekvens med generelt høj, og mindre skiftende ledningsevne - som synes at afspejle, at lagene skifter mellem tykke porøse og tynde tætte kalk lag. En ca. 20 m "Nedre" sekvens med generelt forholdsvis lav, men hyppigt skiftende ledningsevne – som i lighed med "Øvre Mellem" sekvensen synes at afspejle et hyppigt lagskifte mellem tynde porøse og tynde tætte kalk lag.

Den 70 m dybe nye boring 192.1201 på Strø Nord ses herved kun at være nået ca. 19 m ned i den "Nedre Mellem" sekvens, **Bilag 7 og 8**. Heraf kan udledes, at Skrivekridtet og dermed det stærkt saltvandspåvirkede grundvand (Klorid >300 mg/l) formodentlig først ville være nået i den nye boring (192.1201), hvis denne var boret gennem de resterende ca. 8 m "Nedre Mellem" sekvens og videre gennem den 20 m tykke "Nedre" sekvens, d.v.s. i alt 28 m dybere, hvilket vil sige i kote ca. -90 m.

På **Bilag 1 til 6** ses resultaterne af de udførte borehuls logs i hver af de seks borer. På hvert af disse bilag er der angivet det tilhørende boreprofil fra GEUS database "JUPITER". For boring 192.1201 på **Bilag 1** er der tillige vist den ovenfor omtalte log-stratigrafiske inddeling af kalken.

Ud fra en korrelation af gamma-logs fra de to borer på Strø Syd med gamma-logs i de 6 borer fra Strø Nord, se **Bilag 9**, og under anvendelse af kendskabet til beliggenheden af grænsen imellem log-sekvenserne "Øvre", "Øvre Mellem" og "Nedre Mellem" i boring 192.1201, er det muligt at angive disse grænsers beliggenhed også ved de øvri

ge boringer (N2, N6, N10, N14 og N18A). Derved er det også muligt, at vurdere deres filterplacering og indstrømningsfordeling i forhold til de tre øverste log-stratigrafiske sekvenser, idet ingen af boringerne på Strø Nord når ned i den fjerde og "Nedre" log-sekvens, se nedenstående tabel 2.3., samt **Bilag 1 til 6**.

2.3 Indstrømningsfordeling

Flow-logging udførtes som nævnt i de 5 ældre boringer uden at det var nødvendigt med pumpning fra disse, idet der var stærkt overløb fra boringerne, se tabel 2.3 nedenfor. Ved den nye boring 192.1201 udførtes der flow-log uden pumpning såvel som med pumpning.

Boringerne N2, N6 og N14 er udbygget med to filtre, og boring N10 kun med et filter. Alle filterne i disse fire boringer sidder i "Øvre" kalk, men i et par af boringerne når det nedre filter lige akkurat ned til toppen af "Øvre Mellem" sekvensen. De to dybere boringer, N18A og 192.1201, når begge gennem "Øvre Mellem" sekvensen og et stykke ned i "Nedre Mellem" sekvensen. Det fremgår af tabel 2.3, at der sker betragtelige indstrømninger til disse to boringer fra alle tre sekvenser. I samme tabel ses fordelingerne i de enkelte boringer som indstrømningsprocenter fra de filtersatte log-sekvenser.

Tabel 2.3: Indstrømningsfordeling i forhold til log-sekvenser - endvidere overløb, klorid, logging ledningsevne og –temperatur samt specifik ydelse

| Log sekvens: | 192.57B N2 (filter- bund: 37m) | | 192.57F N6 (filter- bund: 33m) | | 192.57J N10 (filter- bund: 29m) | | 192.1201 Ub (bund: 70 m) | | 192.57N N14 (filter- bund: 35m) | | 192.936 N18A (filter- bund: 59m) | |
|--|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|---------------------------------------|------|--------------------------------|--------------|---------------------------------------|--------------|--|--------------|
| "Øvre" | Filter1 Filter2 | 50 % 50 % | Filter1 Filter2 | 50 % 50 % | Filter | 100% | 25 m 25 % | 25 % | Filter1 Filter2 | 70 % 25 % | 30 m 33 m | 30 % 5 % |
| "Øvre Mel- lem" | | | | | | | 34-39 45 m | 25 % 15 % | | | 38-40 43-47 | 15 % 10 % |
| "Nedre Mel- lem" | | | | | | | 57 m 61 m | 30 % 5 % | | | 57 m | 40 % |
| Overløb m ³ /t | 13,4 | | 29,0 | | 29,5 | | 34** | | 31,3 | | 12,3 | |
| Klorid mg/l/år | 30/ 1952 | | 28/ 1952 | | 42/ 1951 | | 140/**2004 | | 66/ 1951 | | 48/ 2004 | |
| Log.ledn.evn. mS/m/år | 47 /*2004 | | 43/ *2004 | | 55/ *2004 | | 71/ **2004 | | 51/ *2004 | | 62/ *2004 | |
| Temp. C ⁰ | 9,1 | | 8,95 | | 8,9 | | 9,2 | | 8,9 | | 9,2 | |
| Specifik ydelse m ³ /t/m | 51,4/3,8= 13,5 | | 72,0/4,4= 16,4 | | 90,0/5,3= 17,0 | | 33,0/0,56= 58,9 | | 90,0/6,9= 13,0 | | 26,7/5,4= 4,9 | |

*) Bestemt på strømmende vand ved overløb fra boringen - **) bestemt under pumpning fra boringen før tilbagestøbning til 60 m. - ***) kloridbestemmelse efter tilbagestøbning til 60 m.

De fire gamle og ikke særlig dybe boringer ses at have særdeles høje specifikke ydelser, 13-17 m³/t/m, hvilket må skyldes filtersætningen i den øverste meget højtydende del af kalken. Til sammenligning har den dybere boring N18A en noget mindre (men stadig god) specifik ydelse, 4,9 m³/t/m, hvilket antagelig skyldes, at forerøret her er ført ned gennem de øverste 7 m af kalken og således afskærer tilstrømning fra den øverste del af kalken. I denne boring observeres der en særdeles produktiv indstrømningszone i 57 m dybde med 40% indstrømning.

Den ny 70 m dybe åbne kalkboring (192.1201) har ligeledes en særdeles høj specifik ydelse, 58,9 m³/t/m, men har også kun forerøret ført ca. 2 m ned i kalken samtidig med, at boringen har en stor indstrømning (30%) fra den samme zone i 57 m dybde som N18A, d.v.s. i "Nedre Mellem" Kalk. Flow-log uden pumpning fra boring 192.1201 viste en stærk intern strømning fra denne zone i "Nedre Mellem" sekvensen og fra "Øvre Mellem" og opad til den "Øvre" kalk med udstrømning af 16 m³/t i 25 m dybde lige under forerøret. Denne interne strømning må formodes også at ske efter færdigudbygningen af boringen med filter fra 58 m til 26 m, men med gruskastning til 24,5 m dybde, således at der stadig sker udstrømning i ca. 25 m dybde. Denne formodning bygger på, at det opad- og udstrømmende vand fra "Nedre Mellem" kalk og fra "Øvre Mellem" kalk har lavt sulfat- og højt kloridindhold, og tilsyneladende har påvirket naboboringernes vandkemi. Således viser en vandprøve udtaget i juni i år fra boring N12 et markant fald i sulfat og en markant stigning i klorid i forhold til tidligere prøver fra før etableringen af den ny boring 191.1201.

2.4 Saltvandspåvirkning

Der blev desværre ikke i forbindelse med logging arbejdet udtaget vandprøver til kloridbestemmelser fra det opstrømmende eller oppumpede vand fra nogen af de seks boringer. Fra de fire gamle og korte boringer (N2, N6, N10 og N14) findes der kun kloridtal fra boringernes etablering i 1951-52, se tabel 2.3. Disse kan derfor ikke forventes 50 år senere at være sammenlignelige med det overløbende vands ledningsevne, som blev bestemt ved logging. Dette er antagelig årsagen til, at der ikke ses en entydig sammenhæng mellem ledningsevne (varierende fra 43 til 55 mS/m) og kloridindhold (varierende fra 28 til 66 mg/l).

I den dybere boring N18A fra 1991 foreligger der en række bestemmelser af klorid og laboratorie-ledningsevne fra 1991, 1994, 1998 og 2001, og disse viser kloridværdier mellem 118 og 134 mg/l og ledningsevne mellem 67 og 71 mS/m (v. 12 C⁰). Den målte ledningsevne ved logging i N18A i år på 62 mS/m (v. 9,2 C⁰) indikerer derfor et fald i klorid, hvilket er bekræftet ved en vandprøve fra juni, hvor klorid var faldet markant til 48 mg/l og hvor laboratorieleddningsevnen også var 62 mS/m (v. 12 C⁰). Men samtidig var sulfat steget ligeså markant fra 11 mg/l til 40 mg/l, medens fluorid var faldet drastisk fra 0,85 mg/l til 0,44 mg/l. Dette indikerer en ændret indstrømningsfordeling med procentisk større tilgang af vand fra top kalk med højt sulfat- og lavt fluorid- og kloridindhold. En sådan ændring i indstrømningsfordelingen i N18A er formodentlig forårsaget af etableringen af den nye boring 192.1201, hvor der jo netop som beskrevet ovenfor forekommer en betragtelig intern strømning opad fra zonen i 57 m og fra zoner i "Øvre Mellem" kalk. Herved sænkes overtrykket lokalt i disse zoner, som derved vil bidrage med mindre tilstrømning til overløbet i N18A i forhold til de produktive zoner i "Øvre" kalk. Dette kan forklare de ovenfor nævnte observerede ændringer i de vandkemiske parametre i prøven fra N18A i juni i år sammenlignet med tidligere vandprøver.

Af data kan udledes, at i en kommende indvindingssituation med pumpning fra blandt andet de seks undersøgte boringer vil klorid og ledningsevne være større i det produce

rede vand fra de to dybe boringer 192.1201 og N18A end i de øvrige fire korte boringer, især på grund af den produktive zone i 57 m i "Nedre Mellem" kalk. I bunden af disse to boringer er ledningsevnen ved logging målt at være henholdsvis 85 mS/m i 70 m dybde i 192.1201 og 80 mS/m i 60 m dybde i N18A, og lige ovenover indstrømningerne i 57 m zonen er ledningsevnen henholdsvis 76 mS/m og 73 mS/m (v. aktuel temp. 9,4 C⁰).

For de fire korte boringer er det ikke entydigt, at klorid er højest, hvor dybden er størst. Således ses det overraskende allerede i 1951-52, at klorid var noget højere i N14 end i de øvrige tre korte boringer. Dette til trods for, at logging undersøgelsen i år har vist, at 70 % af indstrømningen i N14 sker i det øvre filter samtidig med at det nedre filter ikke sidder helt så dybt som eksempelvis i N2.

På **Bilag 10** er ledningsevne-logs fra de 6 undersøgte boringer på Strø Nord sammenstillet med tilsvarende logs fra de to tidligere undersøgte boringer på Strø Syd. Dybdeskalaen er i kote og værdiskalaen er logaritmisk fra 40 til 400 mS/m. Alle de viste ledningsevne-logs er udført enten under pumpning (S4A, Ub) eller umiddelbart efter pumpning (S1A), eller under overløb (N2, N4, N6, N10, N14 og N18A), hvorved de alle repræsenterer en indvindingsituation. De trinvis ændringer i ledningsevnen sker ved indstrømningszoner. Sammenstillingen illustrerer, at i lighed med Strø Syd kan det forventes også på Strø Nord, at det stærkt saltvandspåvirkede grundvand (>100 mS/m) først træffes under kote -80 m i lighed med Strø Syd. Endvidere illustreres det også, at det ikke nødvendigvis er boringen med den højeste ledningsevne ved bunden, som har den højeste ledningsevne på det opstrømmende eller oppumpede blandingsvand øverst. Ledningsevnen på blandingsvandet afhænger jo af indstrømningsfordelingen og især af, hvor stor en andel af den totale ydelse, som det kloridholdige vand nederst bidrager med.

Det er i øvrigt iøjnefaldende, at den mindst dybe boring, N10 (192.57J) har højere ledningsevne end de tre andre korte boringer. Det er muligt, at dette skyldes tilstrømning af vand med højere ledningsevne fra boring 192.1201. Som påvist under beskrivelsen af de enkelte boringer i kapitel 4, så står boring 192.1201 med en intern kortslutningsstrømning af vand fra zoner i "Nedre Mellem" og "Øvre Mellem" kalk til en udstrømningszone i ca. 25 m dybde i "Øvre" kalk. Udstrømningen er af en størrelsesorden af 16m³/t, og ledningsevnen af dette vand er ca. 70 mS/m.

2.5 Konklusion og anbefaling

Danien kalken træffes under Strø Nord kildeplads ca. 20-25 m under terræn, d.v.s. i kote ca. -15m. Kalken kan på basis af resistivitets- og induktions-logs og med støtte i gamma-logs opdeles i fire log-sekvenser: En "Øvre"-, en "Øvre Mellem"- og en "Nedre Mellem" samt en "Nedre" log-sekvens, hvoraf den "Nedre Mellem" og "Nedre" kan korreleres til lignende log-sekvenser i 3 nye boringer ved Æbelholt kildeplads. Her er kvartæret tykkere end på Strø kildeplads, hvorfor "Øvre" ikke er repræsenteret, og kun nogle få meter af "Øvre Mellem" er observeret.

Den "Øvre" og den "Nedre Mellem" sekvens adskiller sig generelt fra "Øvre Mellem" og "Nedre" sekvensernes log mønstre ved at vise tykkere lag med høj ledningsevne og lav resistivitet. Dette tyder på en gennemsnitlig højere porøsitet i "Øvre" og "Nedre Mellem" sekvenserne end i "Øvre Mellem" og "Nedre" sekvenserne. Grænsen imellem "Øvre"- og "Øvre Mellem" sekvensen ligger i kote -25 til -28 m, grænsen imellem "Øvre Mellem" og "Nedre Mellem" ligger i kote -43 til -45 m, og top af "Nedre" kalk sekvens kan forventes at ligge omkring kote -70 m. Skrivekridtet er ikke nået ved nogen af borerne på hverken Strø Syd eller Strø Nord, men ud fra at "Nedre" sekvens er ca. 20 m tyk ved Æbelholt kildeplads, kan top Skrivekridt på Strø kildeplads forventes i kote ca. -90 m. I den 100 m dybe boring S4A (192.1074) på Strø Syd blev Skrivekridtet ikke nået, og ligger således her dybere end kote -88 m. På Æbelholt blev Skrivekridt overfladen truffet i koterne -79 m, -80 m og -90 m.

Det stærkt kloridholdige grundvand med ledningsevne >100 mS/m svarende til >300 mg/l klorid, træffes normalt først ved top Skrivekridt, se efterfølgende kapitel 3, d.v.s. ca. 28 m dybere end bunden af den hidtil dybeste boring på Strø Nord, 192.1201. Men allerede i ca. 70 m dybde (kote -62 m) i denne boring synes ledningsevnen i kalkens porevand at være på 85 mS/m ved aktuel temperatur 9,6 C⁰, og i bunden af boring 192.936 = N18A i 60 m dybde er den 80 mS/m ved 9,4 C⁰.

Der er konstateret gode vandførende horisonter i de tre øverste log-sekvenser af Danien kalken på Strø Nord. Den største vandføringsevne er imidlertid observeret i de øverste 5 m af den "Øvre" sekvens, hvilket har resulteret i meget høje specifikke ydelser på de fire ældre, men korte borer. Vandføringsevnen i den nederste log-sekvens kendes ikke på Strø Nord, men fra boring S4A (192.1074) på Strø Syd vides denne sekvens at bidrage med 35 % af ydelsen.

Sammenfaldende må det vurderes, at hvis der ved den igangværende ombygning af kildepladsen Strø Nord afspærres for indstrømning fra den øvre del af kalken samtidig med at borerne føres ned i 60-70 m dybde, må det påregnes, at det resulterende kloridtal vil blive højere på det producerede råvand end hvad der har været tilfældet hidtil med indvinding primært fra den øvre del af kalken.

Det er muligt at opnå en mere præcis vurdering af det resulterende klorid niveau ved forskellige scenarier for indvinding fra kalk, hvis der fremskaffes data om klorid indholdet i det indstrømmende vand fra de forskellige dele af kalken. Det kan derfor anbefales fremover ved lignende forundersøgelser at udtage niveaubestemte vandprøver fra de vigtigste indstrømningszoner med henblik på kloridbestemmelse af disse. Alternativt kan en mere simpel prøvetagningsmetode anvendes, der giver akkumulerede vandprøver ovenover hver af de identificerede indstrømningszoner, og udtaget enten under pumping eller ved naturligt overløb. Ud fra kendskabet fra flow-log 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.

3 Log-stratigrafi i kalken og lithologi

En igangværende forskningsundersøgelse af saltvandspåvirkningen i Danien-kalken i Nordøstsjælland, udført af GEUS i samarbejde med Miljø & Ressourcer, DTU, har påvist, at det residuale saltvand i Danien kalken i reglen er helt udvasket, men at det samme ikke er tilfældet i Skrivekridt med mindre at denne formation træffes ovenover kote ca. -60 m. Ligger Skrivekridtet derfor dybere end kote -60 m vil grænsen mellem Danien og Skrivekridt formationen som regel være grænsen til det stærkt kloridholdigt grundvand (>300 mg/l Cl).

I sådanne tilfælde ses grænsen på Resistivitets-logs ved, at resistiviteten i Skrivekridt formationen er mindre end 40 ohmm, og endvidere mere ensartet end i Danien kalken, hvor resistiviteten som allerede nævnt i tidligere kapitler varierer meget. På samme måde ses "saltvandsgrænsen" på Induktions-logs ved, at formationsledningsevnen stiger til værdier over 25 mS/m. En formationsledningsevne (EC_f) på 25 mS/m svarer til en porevandsledningsevne (EC_w) på 100 mS/m ved en formationsfaktor (F) på 4 (idet $EC_w = 4 \cdot EC_f$). Dette er en sandsynlig størrelsesorden på F i den øvre del af Skrivekridt, idet porøsiteten (P) i Skrivekridt ligger på ca. 50%, og formationsfaktoren F oftest sættes til $P^2 = 0,5^2 = 0,25$. D.v.s. at ledningsevnen i porevandet i toppen af Skrivekridtet, hvor dette ligger dybere end kote -60 m, er mindst 100 mS/m svarende til et kloridindhold på mindst 300 mg/l.

Det har således stor betydning at kende dybden til Skrivekridt formationen under en kildeplads for at kunne vurdere, til hvilken maksimal dybde nye borerer bør føres for at minimere risikoen for øget saltvandspåvirkning fra det kloridholdige grundvand i Skrivekridtet, og samtidig opnå størst mulige boringsydelse.

Med henblik på at fastsætte dybden til Skrivekridt grænsen under Strø Nord er der derfor foretaget korrelation af logs i borerne på Strø Nord kildeplads med logs fra dels 2 borerer på Strø Syd og dels 3 nye borerer på Æbelholt kildeplads. De sidstnævnte er ført 20-25 m ned i Skrivekridt. Æbelholt kildeplads ligger ca 6 km nord for Strø kildeplads, se **Fig. 3**.

3.1 Korrelation af Induktions-logs

På **Bilag 7** er induktions-logs sammenstillet i retning fra Strø Syd over Strø Nord til Æbelholt. Dybdeskala er i kote og værdiskala er logaritmisk fra 1 til 100 mS/m, hvorved forskellen i log-mønstrene imellem sekvenserne bliver større. Afstanden i lige linie fra den sydligste boring, 192.1074, til den nordligste boring, 187.1376, er ca. 8 km.

Grænsen mellem Danien og Skrivekridt er indlagt imellem de tre Æbelholt borerer ud fra boreprofilerne. Det ses, at den stemmer overens med et karakteristisk skifte i log-mønstret på Induktions-logs i de tre borerer: Fra en generel lav og hyppigt skiftende ledningsevne i Danien til en høj og mindre varierende ledningsevne i Skrivekridt.

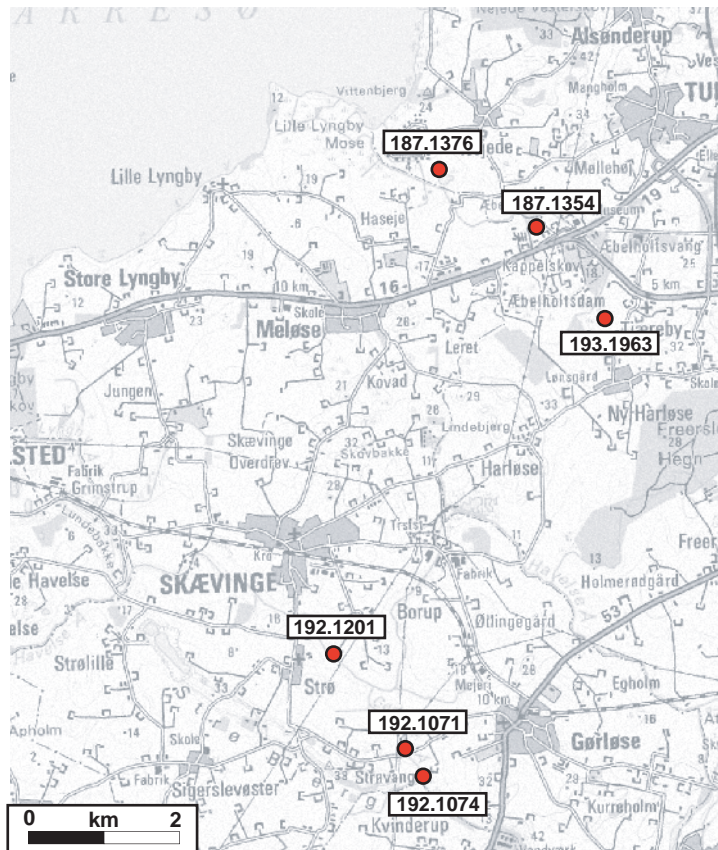


Fig. 3.: Placeringen af de 3 boringer fra Æbelholt kildeplads og de 3 boringer fra Strø kildeplads.

I Danien kalken er der indlagt korrelationslinier mellem genkendelige mønstre, og overordnet kan Danien kalken tilsyneladende inddeles i fire log-sekvenser med hver sit karakteristiske log-mønster, som synes at afspejle karakteristiske forskelle i lithologi:

- En 10-15 m "Øvre" sekvens med 1-2 m tykke lag med skiftende henholdsvis lille og stor ledningsevne – som må antages at afspejle, at lagene skifter mellem tykke porøse og tykke tætte kalk lag.
- En ca. 15 m "Øvre Mellem" sekvens med generelt lav, men dog hyppigt skiftende ledningsevne – som må antages at afspejle, at lagene hyppigt skifter mellem tynde porøse og tynde tætte kalk lag.
- En 25-30 m "Nedre Mellem" sekvens med generelt høj, og mindre skiftende ledningsevne - som må antages at afspejle, at lagene skifter mellem tykke porøse og tynde tætte kalk lag.
- En ca. 20 m "Nedre" sekvens med generelt forholdsvis lav, men hyppigt skiftende ledningsevne – som må antages at afspejle, at lagene hyppigt skifter mellem tynde porøse og tynde tætte kalk lag. Log-mønstret i især den nederste del af denne sekvens kan være forstyrret af, at ledningsevnen generelt viser en stigende tendens

p.g.a. et jævnt stigende kloridindhold i porevandet i Danien kalken lige over Skrivekridtet, se således 192.1074.

Af **Bilag 7** fremgår det, at "Øvre" og "Øvre Mellem" sekvenserne ikke eller næsten ikke er repræsenteret i de tre Æbelholt boringer, hvilket skyldes, at den kvartære lagserie er tykkere end på Strø kildeplads. Hertil kommer, at Skrivekridt overfladen i to af Æbelholt boringerne ligger ca. 10 m højere end den må formodes at ligge under Strø kildeplads.

3.2 Korrelation af Resistivitets-logs

På **Bilag 8** er på tilsvarende måde sammenstillet resistivitets-logs fra de samme boringer. Dybdeskala er naturligvis også her i kote, men værdiskala er lineær gående fra 0 til 200 ohmm, hvorved forskellen i log-mønstrene imellem sekvenserne bliver optimal. Ved loggen fra 187.1376 fra Æbelholt er værdiskalaen dog kun sat til 0-100 for derved visuelt at få samme variationsmønster som ved de øvrige logs. Resistiviteten ved boring 187.1376 er nemlig generelt lavere på grund af højere ledningsevne og dermed klorid i porevandet.

Grænsen mellem Danien og Skrivekridt er igen indlagt imellem de tre Æbelholt boringer ud fra boreprofilerne, men også på resistivitets-logs ses grænsen at være sammenfaldende med et karakteristisk skifte i log-mønstret i de tre boringer: Fra en generel høj og hyppigt skiftende resistivitet i Danien til en lav og mindre varierende ledningsevne i Skrivekridt.

Ligesom ved induktions-logs er der indlagt korrelationslinier mellem genkendelige mønstre i Danien kalken, og igen ses de samme fire log-sekvenser med hver sit karakteristiske log-mønster, som dog nu har modsat tendens, idet resistivitet er det reciprokke af ledningsevne. Høj resistivitet afspejler en tæt kalk med lille porøsitet, og lav resistivitet afspejler det modsatte, d.v.s. kalk med høj porøsitet.

Log-mønstret i den nederste del af "Nedre" sekvens kan ligesom ved induktions-logs være forstyrret af et jævnt stigende kloridindhold i porevandet i Danien kalken lige over Skrivekridtet, hvilket vil medføre, at resistiviteten i denne del viser en generelt faldende tendens, se således 192.1074.

Sekvensgrænserne ses kotemæssigt på Strø Nord og Syd at ligge i ca. -26 m for Øvre/Øvre Mellem, i kote ca. -44 m for Øvre Mellem/Nedre Mellem og i ca. -70 m for Nedre Mellem/Nedre. Skrivekridt formationen er som nævnt ikke nået, men kan forventes i kote ca. -90 m.

3.3 Korrelation af Gamma-logs

Som nævnt i det indledende kapitel, blev der kun udført et begrænset logging program i de fem af de seks undersøgte boringer på Strø Nord. Med henblik på at kunne vurdere, hvor dybt disse fem boringer når ned i ovennævnte kalk-sekvenser, er der på **Bilag 9**

foretaget en sammenstilling af Gamma-logs fra disse borer og med gamma-logs fra de to borer på Strø Syd og fra boring 192.1201 på Strø Nord.

Ud fra en korrelation af disse gamma-logs, se **Bilag 9**, og under anvendelse af kendskabet til beliggenheden af grænsen imellem de fire log-sekvenser i boring 192.1201 og i de to borer fra Strø Syd, er det muligt at angive grænsernes beliggenhed også ved de øvrige borer, N2, N6, N10, N14 og N18A. Ved N6 og N10 dog ikke med samme sikkerhed som ved de tre andre.

Det fremgår i øvrigt af **Bilag 9**, at gamma-strålingen i "Øvre" er generelt højere og mere varierende end i "Øvre Mellem". Endvidere at "Øvre Mellem" viser generelt lavere stråling end de to efterfølgende sekvenser, "Nedre Mellem" og "Nedre", som ikke indbyrdes synes at have nogen signifikante forskelle. Ud over de nævnte generelle forskelle i sekvensernes gamma-mønstre ses grænsen imellem "Øvre" og "Øvre Mellem" samt imellem "Øvre Mellem" og "Nedre Mellem" at kunne identificeres ved nogle karakteristiske og genkendelige gamma-maksima (**A, B og C på Bilag 9**) og nærliggende gamma-minima.

Det er ikke forsøgt at korrelere log-mønstrene i den kvartære del af lagserien, idet nærværende undersøgelse udelukkende fokuserer på den prækvartære lagserie. Der vil imidlertid i det følgende kapitel om de enkelte borer blive givet korte kommentarer til en sammenligning af gamma-log med boreprofilets oplysninger om kvartæret.

4 Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer

4.1 Ny boring Ub (192.1201)

4.1.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til +8,25m. Boringen er udført af KE i november 2004 til 70 m dybde, d.v.s. til kote ca. -62 m. Rovandspejlet står ca. 5 cm over terræn, og boringen er inden færdigudbygning meget højtydende med en specifik kapacitet på 58,9 m³/t/m.

Kaliber-loggen på **Bilag 1** viser, at boringen står med et arbejdsforerør med $\phi_i=365$ mm (stål) uden synlige samlinger til 25 m dybde. Herunder er boringen åben med en gennemsnitlig diameter på 325 mm. Der ses især lige under forerøret et interval på 2-3 m med betydelig større diameter på grund af indfald af kalk. Der ses også enkelte hylder med diameter helt ned til ca. 300 mm.

Propel flow-log uden pumpning (Flow Q=0, Bilag 1) ved en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleletal i forerørs sektionen og på den nederste del af det åbne hul på 28 rotationer per min (rpm) netop svarende til en relativ strømningshastighed på 5 m/min. Derimod ses der fra ca. 57 m dybde og op til lige under forerøret i 25 m dybde betydeligt højere og trinvis stigende tælleletal, som indikerer en intern strømning fra 57 m og opad med flere indstrømninger undervejs og udstrømning i 25 m. Ved sammenligning af det maksimale tælleletal før udstrømningen og før hulrummene under forerøret, f.eks. i 30 m dybde, hvor det er ca. 55 rpm, med tælletalet 70 rpm i samme niveau for flow-log under pumpning med 34 m³/t, kan det påvises, at den interne strømning andrager ca. 16 m³/t, som udstrømmer i 25 m dybde. Ved denne interne strømning indstrømmer ca. 60 % = 10 m³/t i en zone i ca. 57 m dybde, d.v.s. øverst i "Nedre Mellem" kalk, se nedenfor.

De 4 store lokale variationer, der ses fra 49 m til 56 m dybde på flow-log uden pumpning, ses nøjagtig de samme steder ved flow-log med pumpning (se også kommentar nedenfor), og må derfor antages at skyldes, at log-sonden under nedsænkningen fire gange står stille (mindre rotationstal) på en ujævnhed i kalkvæggen, og så pludselig dumper nedad med ekstra hastighed (større rotationstal).

4.1.2 Lagfølge

GEUS boreprofilen, se **Bilag 1**, er baseret på beskrivelse af 17 indsendte prøver, hvoraf de 7 er fra kvartæret og de 10 er fra kalken. Ifølge prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af 2,4 m smeltevandsler med lidt muld i toppen, og derefter af moræneler til 20 m

og endelig ca. 2,3 m grus og sten, som overvejende består af kalk og flint. Laggrænserne er opgivet af brøndborer, som oplyser, at kalken starter i 25 m med hårde flintlag imellem gruslaget i 22,3 m og kalken i 25 m.

Gamma-loggen bekræfter ved det generelt høje strålingsniveau, at der overvejende er ler til 20,5 m og at der fra ca. 23 m er kalk med generelt lav gamma stråling. Det mellemliggende lag af sten og grus ses øverst at have en lav stråling og derefter lidt højere stråling, hvilket kunne tyde på, at de enkelte gruskorn og sten øverst i laget kun består af kalk og flint, medens de i den nedre del af laget også har kaliumholdige mineraler repræsenteret (eksempelvis feldspat eller lerpartikler).

Med hensyn til kalken så er denne beskrevet som kalksandskalk. Fra korrelationen af induktions- og resistivitets-log, se kapitel 3., er det påvist, at kalken kan inddeles i 4 log-sekvenser, nemlig en "Øvre"-, en "Øvre Mellem"- og en "Nedre Mellem" samt en "Nedre" log-sekvens, som afspejler generelle lithologiske forskelle. I denne boring træffes grænsen imellem "Øvre" og "Øvre Mellem" sekvenserne i kote ca. -25 m svarende til ca. 33 m dybde, medens grænsen imellem "Øvre Mellem" og "Nedre Mellem" sekvens træffes i kote ca. -43 m, svarende til ca. 51 m dybde. Boringen er kun ført ca. 19 m ned i "Nedre Mellem" sekvens, og da denne i boring 192.1074 er 27 m tyk, og "Nedre" sekvens formodes fra Æbelholt boringerne at være ca. 20 m tyk, ville Skrivekridtet derfor antagelig være nået, hvis boringen var ført ca. 28 m dybere, d.v.s. i ca. 98 m dybde (ca. kote -90 m). I boring S4A (192.1074) på Strø Syd kildeplads blev Skrivekridtet endnu ikke truffet ved boringens slutdybde, i kote -88 m.

4.1.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 34 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 5 m dybde. Loggens rotationstal RPM (Flow Q=34 m³/t) er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stålforerøret er sat til 100 pct. efter først et fradrag for basis rotationstallet for nedsænkningshastigheden 5 m/min =28 rpm (se Flow Q=0), og dernæst efter et tillæg på 25% (se nedenfor) af tællertallet i forerøret på grund af dettes større diameter (365 mm) i forhold til det åbne borehul, 325 mm. Tællertal i forerøret skal gøres større svarende til at forerørets diameter ændres fra 365 mm til 325 mm for at kunne sammenligne tællertal i det åbne hul med tællertal i forerør. $(RPM_1/RPM_2 = V_1/V_2 = (D_2/D_1)^2$; Tillæg på RPM₁ er lig RPM₂-RPM₁ = RPM₁ * (D₁/D₂)² - RPM₁ = RPM₁ ((365/325)² - 1) = RPM₁ (1,25-1) = RPM₁ * 0.25)

Den resulterende flow-log, **Bilag 1**, viser, at der sker indstrømning fra zoner i alle tre log-sekvenser: 25 % indstrømmer i "Øvre" kalk lige under forerøret, 25 % fra tre zoner i "Øvre Mellem" kalk i intervallet 34 m til 39 m og 15 % fra endnu en zone i "Øvre Mellem" i 36 m dybde, og endelig 35 % fra to zoner i "Nedre Mellem" kalk i henholdsvis 58 m og 61 m. Indstrømningszoner og bidrag i pct er vist i sidste søjle på **Bilag 1**.

Det er i øvrigt værd at hæfte sig ved, at indstrømningsfordelingen ved den interne strømning er anderledes end indstrømningsfordelingen ved pumpning fra boringen, idet

der i sidstnævnte situation jo også trækkes vand ind fra zonen i 25 m dybde lige under forerøret, hvor den interne strømning udstrømmer. Således bidrager zonen i 57 m under pumpning med 30 % af den udpumpede vandmængde, medens den samme zone bidrager med 60 % af den internt udstrømmende vandmængde.

Det skal også nævnes, at der på flow-loggen i 6 forskellige dybder ses nogle dramatiske fald i strømningen, hvoraf det øverste lige under forerøret skyldes en stor lokal diameterudvidelse (hulrum) som følge af kalkudfald. De øvrige i dybdeintervallet 46 m til 56 m skyldes at sonden under nedsænkningen har hængt stille på et kalkfremspring, og så pludselig bliver fri og falder et stykke nedad indtil kablet igen er strakt. Disse uregelmæssigheder er der set bort fra ved ovennævnte tolkning af indstrømningsprocenterne, og der er valgt ikke at fjerne dem ved at redigere i data.

4.1.4 Ledningsevne og temperatur, samt saltvandspåvirkning

Ledningsevne-loggen såvel som temperatur-loggen under pumpning med $Q = 34 \text{ m}^3/\text{t}$, se **Bilag 1**, er omtrent sammenfaldende med de tilsvarende logs uden pumpning bortset fra oppe i forerøret, hvor temperaturen på det stagnerende vand aftager opefter, medens det opadstrømmende vands temperatur viser en konstant værdi i forerøret helt op til pumpen i 5 m dybde.

Den manglende forskel imellem log uden pumpning sammenlignet med log under pumpning skyldes, at der som omtalt ovenfor i afsnit 4.1.1. også sker opadgående intern strømning i boringen, selv om der ikke pumpes. Dette betyder, at det opadstrømmende vand fra bunden bliver trinvis koldere opefter og også trinvis får lavere ledningsevne, hvor hvert trin netop afspejler en indstrømning af vand med lavere temperatur og lavere ledningsevne end det opadstrømmende vand i den pågældende dybde. Derved ses eksempelvis temperaturen at falde fra $9,6 \text{ C}^0$ ved bunden til $9,3 \text{ C}^0$ i forerøret, og ledningsevnen at falde fra at være 85 mS/m ved boringens bund til at være 71 mS/m i forerøret. Ved et par af indstrømningszonerne (25 m og 39 m) er temperaturforskellen til det opadstrømmende vand meget lille, hvorfor det er vanskeligt at se ændringen på temperatur-loggen i de pågældende dybdeniveauer. Derimod kan alle de ovenfor omtalte Flow-log indstrømningszoner identificeres ved et trin på ledningsevne-loggen.

Konklusion vedr. indstrømningsfordeling og ledningsevne: Efter indstrømning af 35 % af ydelsen fra de to zoner i "Nedre Mellem" kalk er ledningsevnen faldet fra 85 mS/m til 76 mS/m . Efter yderligere indstrømning af 40 % af ydelsen fra de fire zoner i "Øvre Mellem" kalk falder ledningsevnen til 70 mS/m . De sidste 25 % indstrømning lige under forerøret medfører en svag stigning til 71 mS/m .

Erfaring efter tilbagestøbning til 60 m dybde: For at mindske risikoen for saltvandspåvirkning fra den nedre del af "Nedre" kalk er der foretaget en tilbagestøbning fra 70 m dybde til 60 m dybde med en cement/bentonit blanding. Derved er den nederste indstrømning på ca. 5% afskåret, og boringen skulle derfor bevare ca. 95 % af sin specifikke ydelse, som før tilbagestøbningen var $58,9 \text{ m}^3/\text{time/m}$. Den specifikke er imidlertid blevet observeret af KE Partner til kun at være $19,9 \text{ m}^3/\text{time/m}$, hvilket må tilskrives det

ekstraordinære tryktab som følge af filtersætning med gruskastning. En beregning af T-værdien fra prøvepumpningsdata før og efter tilbagestøbning og filtersætning viser, at T-værdien netop er nedsat med ca. 6 %, se **Bilag 1A**. Dette bekræfter, at den mistede indstrømning ved tilstøbningen netop er af samme størrelsesorden som den nederste indstrømning bestemt ved flow-log.

En beregning af virkningsgraden (forholdet imellem teoretisk afsenkning og observeret afsenkning) ud fra de to sæt prøvepumpningsdata (før og efter tilbagestøbning) ved pumpetid 120 min bekræfter ligeledes, se **Bilag 1A**, at det betydelige fald i den specifikke ydelse skyldes at virkningsgraden på grund af filterudbygningen er faldet fra ca. 2 til ca 0,7. Ved disse beregninger er magasintallet S skønnet til 0,001, men en faktor 10 mere eller mindre på denne værdi betyder ikke så meget for beregningen af den teoretiske afsenkning, idet parameteren S indgår i et udtryk, som er logaritmisk.

Ledningsevnen på pumpevandet fra boringen efter tilbagestøbningen er målt til 76 mS/m v. 12 C⁰ og kloridindholdet er bestemt til 140 mg/l. Til sammenligning viste ledningsevne-loggen 71 mS/m v. aktuel temperatur 9,2 C⁰ på pumpevandet før tilbagestøbningen, hvilket svarer til 77 mS/m v. 12 C⁰, så der ses ikke at være opnået nogen umiddelbar nedsættelse af ledningsevne og dermed kloridindhold ved tilbagestøbningen.

4.2 Erstatningsboring N 18A (192.936)

4.2.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen +7,0 m. Boringen er udført af Københavns Vandforsyning i april 1991 til 60 m dybde, d.v.s. til kote ca. -53 m. Rovandspejlet står over terræn, idet boringen stod med overløb under logging arbejdet. Ved boringens udførelse i 1991 stod vandspejlet 5,9 m under terræn, og en 6 timers prøvepumpning efter færdigudbygning med filter viste da en specifik kapacitet på $26,7/5,4 = 4,9 \text{ m}^3/\text{t/m}$.

Der blev ikke udført Kaliber-log, idet boringen står med et $\varnothing_i=225 \text{ mm}$ PVC forerør til 29 m og herunder $\varnothing_i=225 \text{ mm}$ PVC filter til 59 m dybde. Boringen er oprindeligt boret med $\varnothing_i=354 \text{ mm}$ stålforerør til top kalk i 22 m, og derefter med 312 mm i kalk. Der er gruskastet omkring filteret og op til top kalk og udfyldt med Bentonit/cement omkring PVC blænderøret under optrækning af stålørret.

Propel flow-log uden pumpning omtales normalt under dette afsnit, idet en sådan log informerer om, hvorvidt der er intern strømning i boringen (kortslutning) eller ej (jævnfør afsnit 4.1.1. under boring 192.1201 ovenfor). I dette tilfælde, hvor boringen har et overløb på ca. $12 \text{ m}^3/\text{t}$, er loggen at sammenligne med en flow-log under pumpning. Diskussionen af denne log (Flow overløb $12 \text{ m}^3/\text{t}$, **Bilag 2**) er derfor anført nedenfor i afsnit 4.2.3.

4.2.2 Lagfølge

GEUS boreprofilen, se **Bilag 2**, er baseret på beskrivelse af 15 indsendte prøver, hvoraf de 7 er fra kvartæret og de 8 er fra kalken. Ifølge prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af 2,1 m muld og moseaflejringer over 0,45 m smeltevandssand ovenpå moræneler til 13,2 m. Herunder ca. 1,9 m smeltevandsgrus og endelig afsluttende med 2,1 m moræneler. Laggrænserne er opgivet af brøndborer, som oplyser, at kalken starter i 21,8 m.

Gamma-loggen bekræfter ved det generelt høje strålingsniveau, at kvartæret overvejende udgøres af ler til 20,4 m. Detaljer i den kvartære lagfølge kan imidlertid ikke udtolkes, idet gamma-strålingen fra de kvartære lag er forstyrret af gammastråling fra bentonit-cement bagfyldningen. Det kraftige fald i 20,5 m tyder på at kalken starter her og ikke først i 21,8 m.

Kalken er beskrevet som kalksandskalk. Ved korrelation af gamma-log med gamma-log i andre og dybere borer, se afsnit 3.3 ovenfor og **Bilag 9**, er grænsen imellem "Øvre"- og "Øvre Mellem"- samt imellem "Øvre Mellem"- og "Nedre Mellem" sekvensen fastlagt. Grænserne træffes i henholdsvis kote ca. -28 m, d.v.s. i 35 m dybde og i kote -45 m svarende til 52 m dybde. Boringen er således kun ført ca. 8 m ned i "Nedre Mellem" sekvens, og da Skrivekridt overfladen som nævnt tidligere formodes at træffes ca. 47 m under grænsen imellem "Øvre Mellem" og "Nedre Mellem", ville Skrivekridtet derfor antagelig være nået, hvis boringen var ført ca. 39 m dybere, d.v.s. til ca. 99 m dybde (ca. kote -92 m). Den "Øvre" del af kalken ses i lighed med den forrige boring at have et varierende men generelt højere gamma-strålingsniveau end i de underliggende kalk-sekvenser.

4.2.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log uden pumpning men ved et overløb på ca. 12 m³/t, udførtes ved den normale logging hastighed på 5 m/min. Loggens rotationstal (rpm) er omregnet til pct. af overløbsydelsen ved, at rotationstal i blænderet ovenover filteret er sat til 100 pct. efter at være fradraget basis rotationstallet 28 rpm for logging hastighed 5 m/min.

Den resulterende flow-log, **Bilag 2**, viser, at der sker indstrømning fra zoner i alle tre sub-sekvenser: 30 % indstrømmer i "Øvre" kalk i toppen af filteret og ca. 5 % mere fra "Øvre" kalk lidt længere nede i filteret. Fra fire zoner i "Øvre Mellem" kalk i intervallet 38 m til 47 m indstrømmer i alt 25 %, og endelig er der en indstrømning på hele 40 % nederst i boringen i "Nedre Mellem" kalk i 57 m, d.v.s. fra omtrent samme dybde som en tilsvarende indstrømningszone i boring 192.1201. Indstrømningszoner og bidrag i pct er vist i sidste søjle på **Bilag 2**.

4.2.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning

Ledningsevne- og temperatur-loggen under overløb med $Q = 12 \text{ m}^3/\text{t}$, se **Bilag 2**, viser samme forløb, nemlig en opad trinvis faldende ledningsevne og temperatur med første fald i ca. 57 m, næste i ca. 46,5 m, næste i ca. 40 m og endelig det sidste i ca. 29,5 m. Hvert af disse svarer til en af de ovenfor omtalte indstrømningszoner, hvor der således må indstrømme vand med en lavere temperatur og lavere ledningsevne end det opadstrømmende vand i den pågældende dybde. Derved falder temperaturen fra $9,4 \text{ C}^0$ ved bunden til $9,2 \text{ C}^0$ ved overløbet øverst i forerøret, og ledningsevnen falder fra at være 80 mS/m ved boringens bund til at være 62 mS/m ved overløbet øverst i forerøret. Ved sammenligning med flow-log ses det, at der er tre andre af de i alt 7 identificerede indstrømningszoner (33 m, 38 m og 43 m), som ikke resulterer i fald hverken i temperatur eller ledningsevne, og hvor det indstrømmende vand derfor må have samme temperatur og ledningsevne som det opadstrømmende vand i det pågældende dybdeniveau.

Konklusion: Hovedindstrømningerne til boringen sker i henholdsvis top og bund af filteret med henholdsvis 30 % og 40 %. De resterende 30 % indstrømmer i 5 andre dybdeniveauer. Det resulterende blandingsvand har en ledningsevne på 62 mS/m ved aktuell temperatur $9,2 \text{ C}^0$. En vandprøve udtaget i juni i år viste kun 48 mg/l klorid. Før etableringen af den nye boring 192.1201 var ledningsevnen og kloridindholdet i blandingsvandet i boring 18A henholdsvis ca. 70 mS/m og ca. 120 mg/l. Indstrømningsfordelingen må derfor formodes at have været anderledes, d.v.s. have haft et større bidrag fra zonen nederst i filteret end de nuværende 40 %. Årsagen til den formodede ændring i indstrømningsfordelingen må skyldes, at den ny boring 192.1201 netop også trækker vand fra zonen i 57 m. Som allerede nævnt ovenfor i afsnit 4.1.1. indstrømmer der således i den ny boring 192.1201 i ca. 57 m dybde ca. 60 % af den interne strømning på $16 \text{ m}^3/\text{t}$.

4.3 Boring N 6 (192.57F)

4.3.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen +7,0 m. Boringen er udført for Københavns Vandforsyning i september 1952 til 38,5 m dybde, d.v.s. til kote ca. -31,5 m. Rovandspejlet står over terræn, idet boringen stod med overløb under logging arbejdet. Ved boringens udførelse i 1951 stod vandspejlet 5,6 m under terræn, og en prøvepumpning efter færdigudbygning med filter viste da en specifik kapacitet på $72/4,4 = 16,4 \text{ m}^3/\text{t/m}$, hvilket er en høj kapacitet.

Ved denne boring udførtes Kaliber-log for at finde en forklaring på det overraskende forløb på flow-log kurven, se **Bilag 3**. Det var ikke oplyst i Jupiter databasen, hverken at filter diameteren (100 mm) var mindre end blænderørsdiameteren på 125 mm, eller at der var muffesamlinger med mindre diameter, 100 mm, i blænderørene. Boringen står således med et $\phi_1=125 \text{ mm}$ støbejernsrør til 24 m og herunder $\phi_1=100 \text{ mm}$ filterrør i to dyb

desektioner, 24 til 28 m og 31 til 33 m, og med $\phi_i=125$ mm blænderør imellem. Boringen er oprindeligt boret med 8 eller 10" stålførerør til kalk i ca. 23 m, og derefter som 8" i kalken. Der formodes at være gruskastet omkring filtersektioner og blænderør til top kalk og bagfyldt med lerjord omkring støbejernsrøret under optrækning af stålførerøret, og eventuelt med cementudstøbning lige over kalken og øverst nær terræn, idet det var den tids praksis. Det er uvist hvorfor filtrene blev sat som beskrevet og uden at udnytte boringens fulde dybde til 38,5 m.

Propel flow-log udførtes uden pumpning ligesom ved de øvrige gamle borer, idet boringen havde et overløb på ca. $29 \text{ m}^3/\text{t}$. Diskussionen af denne log (Flow overløb $29 \text{ m}^3/\text{t}$, **Bilag 3**) er derfor anført nedenfor i afsnit 4.3.3.

4.3.2 Lagfølge

GEUS boreprofilen (se **Bilag 3**) er baseret på beskrivelse af 6 indsendte prøver, hvoraf de 5 er fra kvartæret og kun en er fra kalken. Ifølge prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af sand og smeltevandsgrus til 2,3 m. Derunder moræneler til 6,2 m, som underlejres af morænesand til 16,4 m. Herunder er der igen moræneler til 20 m, og endelig et tyndt lag smeltevandssand til kalken, som er opgivet af brøndborer til at være i 20,9 m.

Gamma-loggen kan ikke siges at afspejle ovennævnte kvartære lagserie, idet der ikke ses en klar overensstemmelse med høj stråling ved ler og lavere ved sand-grus lag. Denne manglende overensstemmelse skyldes antagelig bagfyldets varierende beskaffenhed.

Det kraftige fald i gamma-strålingen i 20,5 m kunne tyde på, at kalken starter her og ikke i 20,9 m. Den ene prøve fra kalken er beskrevet som kalksandskalk. Ved korrelation af gamma-logs jævnfør afsnit 3.3 ovenfor og **Bilag 9** er det sandsynliggjort, at boringens nedre filter (31-33 m) ikke når ned til grænsen imellem "Øvre"- og "Øvre Mellem"- kalk, som her træffes i kote ca. -28 m, d.v.s. i ca. 35 m dybde, se **Bilag 3**. Boringens oprindelige bund var således ca. 3 m nede i "Mellem" kalken, idet boreddybden som nævnt ovenfor var 38,5 m.

4.3.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log uden pumpning men ved et overløb på ca. $29 \text{ m}^3/\text{t}$, udførtes ved den normalt anvendte logging hastighed på 5 m/min. Loggens rotationstal (rpm) er omregnet til pct. af overløbsydelsen ved, at rotationstal i blænderøret ovenover øverste filter er sat til 100 pct ud for hver af muffesamlingerne, idet diameteren ved disse kun var 100 mm ligesom i filtersektionerne. Derfor ses der maksimale rotationstal som peaks over hver muffesamling, hvorimod rotationstallet er lavere i blænderørssektionerne imellem muffesamlingerne og imellem filtrene, fordi diameteren her er 125 mm. Før omregningen til pct. er rotationstal fratrukket basis rotationstallet 28 rpm svarende til logging hastigheden 5 m/min.

Den resulterende flow-log, **Bilag 3**, viser, at der indstrømmer 50 % i begge filtre, samt at indstrømningen i det øvre filter sker øverst i dette, medens indstrømningen til det nedre filter sker nederst i dette.

4.3.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning

Temperatur-loggen viser en anelse højere temperatur, $9,06\text{ C}^0$, på vandet fra nedre filter sammenlignet med temperaturen efter øvre filter, hvor den er $8,97\text{ C}^0$. Derimod der ses en lidt lavere ledningsevne, 42 mS/m , på vandet fra det nedre filter sammenlignet med ledningsevnen ovenover indstrømningen i øvre filter, hvor den er 44 mS/m . Den lave ledningsevne indikerer et lavt Kloridindhold.

4.4 Boring N 14 (192.57N)

4.4.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen $+6,0\text{ m}$. Boringen er udført for Københavns Vandforsyning i februar 1951 til $35,7\text{ m}$ dybde, d.v.s. til kote ca. -30 m . Rovandspejlet står over terræn, idet boringen stod med overløb under logging arbejdet. Ved boringens udførelse i 1951 stod vandspejlet $6,9\text{ m}$ under terræn, og en prøvepumpning efter færdigudbygning med filter viste da en specifik kapacitet på $90/6,9 = 13,0\text{ m}^3/\text{t/m}$, hvilket er en ret høj kapacitet.

Der blev ikke udført Kaliber-log, idet tilsvarende muffesamlinger og mindre filter diameter kan forventes således som dokumenteret ved kaliber loggen i den forrige boring N6. Flow-loggens udseende har bekræftet, at dette er tilfældet. Boringen står med et $\varnothing_i=125\text{ mm}$ støbejernsrør til 24 m og herunder $\varnothing_i=100\text{ mm}$ filterrør i to dybdesektioner, $24\text{ til }26\text{ m}$ og $29\text{ til }35\text{ m}$, og med $\varnothing_i=125\text{ mm}$ blænderør imellem. Boringen er boret og udbygget efter samme praksis som beskrevet i afsnit 4.3.1. under forrige boring N6.

Propel flow-log uden pumpning (Flow overløb $31\text{ m}^3/\text{t}$, **Bilag 4**) diskuteres nedenfor i afsnit 4.3.3., idet der var et overløb fra boringen på ca. $31\text{ m}^3/\text{t}$.

4.4.2 Lagfølge

GEUS boreprofilen (se **Bilag 4**) er baseret på beskrivelse af 7 indsendte prøver, hvoraf de 6 er fra kvartæret og kun en er fra kalken. Ifølge prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af $2,1\text{ m}$ tørv over $1,1\text{ m}$ moræneler, som er underlejret af smeltevandssand til $9,9\text{ m}$. Herunder er der igen moræneler til $19,5\text{ m}$, og endelig smeltevandssand og grus til $22,3\text{ m}$ med et $0,3\text{ m}$ tyndt lag moræneler lige over kalken. Laggrænserne er opgivet af brøndborer, som har oplyst, at kalken starter i $22,6\text{ m}$.

Gamma-loggen kan ikke siges at afspejle ovennævnte kvartære lagserie, idet der ikke ses en klar overensstemmelse med høj stråling ved ler og lavere ved sand-grus lag. Denne manglende overensstemmelse skyldes antagelig bagfyldets varierende beskaffenhed.

Det kraftige fald i gamma-strålingen i 21,5 m tyder på, at kalken starter her og ikke først i 22,6 m. Denne er beskrevet som kalksandskalk. Ved korrelation af gamma-logs er det jævnt afsnit 3.3 og Bilag 9 sandsynliggjort, at boringen lige akkurat er ført ned gennem grænsen til "Øvre Mellem"- kalk, som træffes i kote ca. -29 m, d.v.s. ca. 35 m dybde, se **Bilag 4**, og begge filtrene sidder således i "Øvre" sekvens.

4.4.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log uden pumpning men ved et overløb på ca. 31 m³/t, udførtes ved den normale logging hastighed på 5 m/min. Loggens rotationstal (rpm) er omregnet til pct. af overløbsydelsen på samme måde som beskrevet i afsnit 4.3.3. under forrige boring, N6.

Den resulterende flow-log, **Bilag 4**, viser, at hovedindstrømning sker øverst i det øvre filter, hvor der indstrømmer 65 %. Midt i det øvre filter ses der også en mindre indstrømning på 5 %. De resterende 30 % indstrømmer i 3 zoner i det nedre filter, hvoraf de 15 % kommer lige over grænsen til "Øvre Mellem" kalk i 35 m.

4.4.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning

Temperatur-loggen viser samme temperatur, 9,0 C⁰, på vandet fra nedre og fra øvre filter, hvorimod der ses en lidt højere ledningsevne, 54 mS/m, på vandet fra det nedre filter. De 65 % indstrømning i det øvre filter nedsætter denne ledningsevne til 51 mS/m, hvorfor ledningsevnen på vandet fra det øvre filter må være $(51 \cdot 100 - 54 \cdot 35) / 65 = 49$ mS/m. Kloridindholdet må forventes at være lavt.

4.5 Boring N 10 (192.57J)

4.5.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen +7,0 m. Boringen er udført for Københavns Vandforsyning i april 1951 til 32,7 m dybde, d.v.s. til kote ca. -26 m. Rovandspejlet står over terræn, idet boringen stod med overløb under logging arbejdet. Ved boringens udførelse i 1951 stod vandspejlet 6,3 m under terræn, og en prøvepumpning efter færdigudbygning med filter viste da en specifik kapacitet på $90 / 5,3 = 17,0$ m³/t/m, hvilket er en meget høj kapacitet.

Der blev ikke udført Kaliber-log, idet muffesamlinger og mindre filter diameter kan forventes således som dokumenteret ved kaliber loggen i boring N6. Flow-loggens udseende har bekræftet, at dette er tilfældet. Boringen står som de øvrige gamle boringer med et $\phi_i=125$ mm støbejernsrør til lidt ned i kalken, d.v.s. til 23 m og herunder med et $\phi_i=100$ mm filterrør til 29 m, idet den længste rørlængde på støbejernsfiltere var 6 m. Boringen er boret og udbygget efter samme praksis som beskrevet i afsnit 4.3.1. under boring N6.

Propel flow-log (Flow overløb $29 \text{ m}^3/\text{t}$, **Bilag 5**) udførtes under et overløb fra boringen på ca. $29 \text{ m}^3/\text{t}$, og diskuteres derfor nedenfor i afsnit 4.4.3.

4.5.2 Lagfølge

GEUS boreprofilen på **Bilag 5** er tilsyneladende kun baseret på beskrivelse af 3 indsendte prøver, hvoraf de 2 er fra kvartæret og en er fra kalken. De to prøver fra kvartæret repræsenterer henholdsvis det 1,2 m tykke øverste lag af sen-glacialt ferksvandsler, og det kun 0,9 m tykke lag af morænegrus lige over kalken. Størstedelen af kvartæret, d.v.s. fra 1,2 m til 21,2 m er ikke beskrevet, idet der antagelig ikke forelå nogen prøve, men af brøndborer oplyst som værende ler og mergel. Laggrænserne er opgivet af brøndborer, som har oplyst, at kalken starter i 22,1 m.

Gamma-loggen indikerer ved sin forholdsvis store variation en betydelig mere varierende kvartær lagserie, men det er usikkert, om det skyldes en variation i bagfyldets beskaffenhed eller om det er lagene, der skifter.

Det kraftige fald i gamma-strålingen i 21,5 m tyder på, at kalken starter her og ikke først i 22,1 m. Den ene prøve fra kalken er beskrevet som kalksandskalk. Ved korrelation af gamma-logs er det sandsynliggjort jævnfør afsnit 3.3 ovenfor og **Bilag 9**, at boringen lige netop har passeret grænsen imellem "Øvre"- og "Øvre Mellem"- kalk i Kote ca. -25 m, d.v.s. i ca. 32 m dybde, se **Bilag 5**, og bunden af filteret i 29 m sidder derfor over denne grænse.

4.5.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log uden pumpning men ved et overløb på ca. $29 \text{ m}^3/\text{t}$, udførtes ved den normale logging hastighed 5 m/min. Loggens rotationstal (rpm) er omregnet til pct. af overløbsydelsen på samme måde som beskrevet i afsnit 4.3.3. under boring N6.

Den resulterende flow-log, **Bilag 5**, viser, at hovedindstrømning sker øverst i filteret, hvor der indstrømmer 75 %. Derudover ses 2 små indstrømninger på 5 % længere nede i filteret, og endelig kommer der 15 % ved bunden af filteret.

4.5.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvandspåvirkning

Temperaturen ses at være 9.15 C^0 nederst i filteret, men den store indstrømning øverst i filteret nedsætter temperaturen til ca. 9.0 C^0 . Ligeledes ses den lidt højere ledningsevne nederst i filteret, 63 mS/m , at blive mindre først ved den lille indstrømning i 25 m, og dernæst ved den store indstrømning øverst i filteret. Blandingsvandet ender derfor med at have en ledningsevne på 55 mS/m , hvorfor Klorldindholdet må forventes at være lavt.

4.6 Boring N 2 (192.57B)

4.6.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen $+8,0\text{ m}$. Boringen er udført for Københavns Vandforsyning i december 1952 til $38,5\text{ m}$ dybde, d.v.s. til kote ca. $-30,5\text{ m}$. Rovandspejlet står over terræn, idet boringen stod med overløb under logging arbejdet. Ved boringens udførelse i 1951 stod vandspejlet $4,2\text{ m}$ under terræn, og en prøvepumpning efter færdigudbygning med filter viste da en specifik kapacitet på $51,4/3,8 = 13,5\text{ m}^3/\text{t/m}$, hvilket er en høj kapacitet.

Ved denne boring udførtes der heller ikke Kaliber-log, idet muffesamlinger og mindre filter diameter kan forventes således som dokumenteret ved kaliber loggen i boring N6. Flow-loggens udseende har bekræftet, at dette er tilfældet. Boringen står som de øvrige gamle boringer med et $\varnothing_i=125\text{ mm}$ støbejernsrør til lidt ned i kalken, d.v.s. til 25 m og herunder med et $\varnothing_i=100\text{ mm}$ filterrør i to dybdesektioner, 25 til 29 m og 35 til 37 m , og med $\varnothing_i=125\text{ mm}$ blænderør imellem. Det er uvist hvorfor filtrerne blev sat som beskrevet og uden at udnytte boringens fulde dybde til $38,5\text{ m}$. Boringen er boret og udbygget efter samme praksis som beskrevet i afsnit 4.3.1. under boring N6.

Propel flow-log udførtes ligesom ved de øvrige gamle boringer uden pumpning, idet boringen havde et overløb på ca. $13\text{ m}^3/\text{t}$. Diskussionen af denne log (Flow overløb $13\text{ m}^3/\text{t}$, **Bilag 6**) er derfor anført nedenfor i afsnit 4.2.3.

4.6.2 Lagfølge

GEUS boreprofilet (**Bilag 6**) synes at være baseret på beskrivelse af 6 indsendte prøver, hvoraf de 5 er fra kvartæret og kun en er fra kalken. Ifølge prøvebeskrivelsen består **Kvartæret** øverst af moræneler til $2,8\text{ m}$. Derunder smeltevandssand til $9,5\text{ m}$ og smeltevandsgrus til $15,3\text{ m}$. Endelig moræneler til $19,5\text{ m}$ efterfulgt af morænegrus ovenpå kalken, som er opgivet af brøndborer til at være i $21,3\text{ m}$.

Gamma-loggen afspejler delvis ovennævnte kvartære lagserie, idet strålingen er højest ved de to lag af moræneler, ligesom morænegruset har højere stråling end smeltevandssand og grus. Men grænserne er ikke alle sammenfaldende med skift i gammastrålings

niveau, og bagfyldets eventuelle indflydelse på strålingsniveauet kan igen være en forstyrrende faktor.

Det kraftige fald i gamma-strålingen i 21,3 stemmer overens med, at kalken starter i denne dybde. Den ene prøve fra kalken er beskrevet som kalksandskalk. Ved korrelation af gamma-logs jævnfør afsnit 3.3 ovenfor og **Bilag 9** er det sandsynliggjort, at boringens bund lige akkurat når ned under grænsen til "Øvre Mellem"-kalk, som her træffes i kote ca. -30 m, ca. 38 m dybde, se **Bilag 6**. Det nederste filter når således ikke ned i "Øvre Mellem" kalk, hvorfor begge filtrene sidder i "Øvre" kalk sekvens.

4.6.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log uden pumpning men ved et overløb på ca. 13 m³/t, udførtes ved den normalt anvendte logging hastighed på 5 m/min. Loggens rotationstal (rpm) er omregnet til pct. af overløbsydelsen på samme måde som beskrevet i afsnit 4.3.3. under boring N6.

Den resulterende flow-log, **Bilag 6**, viser, at der indstrømmer 50 % i begge filtre, samt at indstrømningen i det øvre filter sker øverst i dette, hvilket også gælder for størstedelen af indstrømningen til det nedre filter.

4.6.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Temperatur-loggen viser en anelse højere temperatur, 9,2 C⁰, på vandet fra nedre filter sammenlignet med temperaturen efter øvre filter, hvor den er 9,15 C⁰. Ledningsevnen ses ligeledes at falde en anelse efter indstrømningen øverst i det øvre filter fra 48 mS/m til 45 mS/m. Den lave ledningsevne indikerer et lavt Kloridindhold.

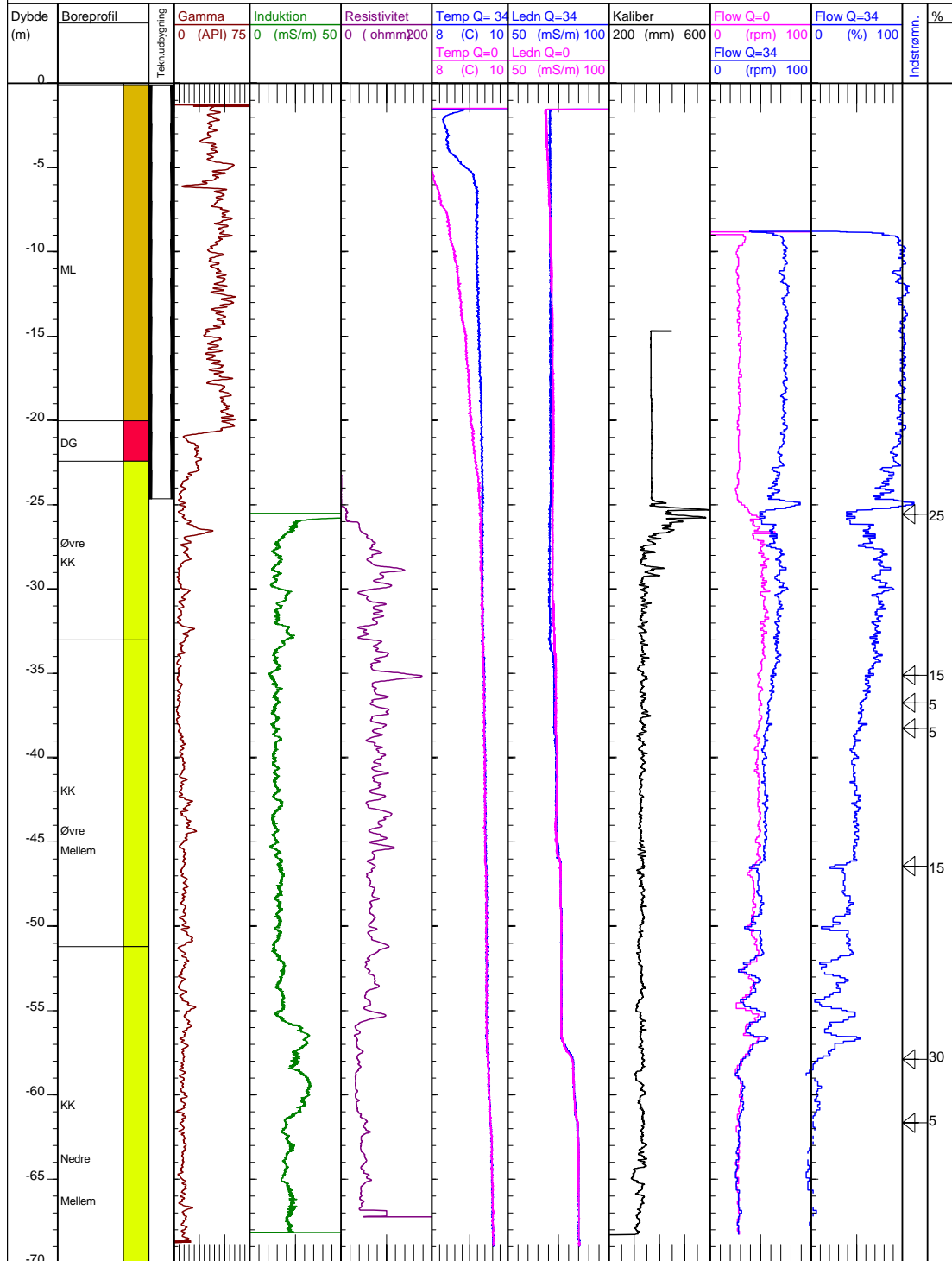
4.7 Boringerne S1A og S4A fra Strø Syd kildeplads

Logging undersøgelser blev udført af GEUS i 1999 i S4A (DGU nr. 192.1074) og i S1A (DGU nr. 192.1071) i 2002. Resultaterne og tolkningerne heraf medtages i nærværende rapport som henholdsvis **Bilag 11** og **Bilag 12**. En beskrivelse og diskussion heraf er ikke medtaget her, idet de tidligere er rapporteret til Københavns Energi.

5 Bilags liste

- Bilag 1: GEUS borehuls logs fra ny undersøgelsesboring Ub (DGU 192.1201)
- Bilag 1A: Sænkningsskurver, T-værdier og virkningsgrad for Ub (DGU 192.1201)
- Bilag 2: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring N18A (DGU 192.936)
- Bilag 3: GEUS borehuls logs fra indvindingsboring N6 (DGU 192.57F)
- Bilag 4: GEUS borehuls logs fra indvindingsboring N14 (DGU 192.57N)
- Bilag 5: GEUS borehuls logs fra indvindingsboring N10 (DGU 192.57J)
- Bilag 6: GEUS borehuls logs fra indvindingsboring N2 (DGU 192.57B)
- Bilag 7: Log-stratigrafisk korrelation af induktions-logs
- Bilag 8: Log-stratigrafisk korrelation af resistivitets-logs
- Bilag 9: Log-stratigrafisk korrelation af gamma-logs
- Bilag 10: Sammenstilling af ledningsevne-logs
- Bilag 11: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring S4A (DGU 192.1074)
- Bilag 12: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring S1A (DGU 192.1071)

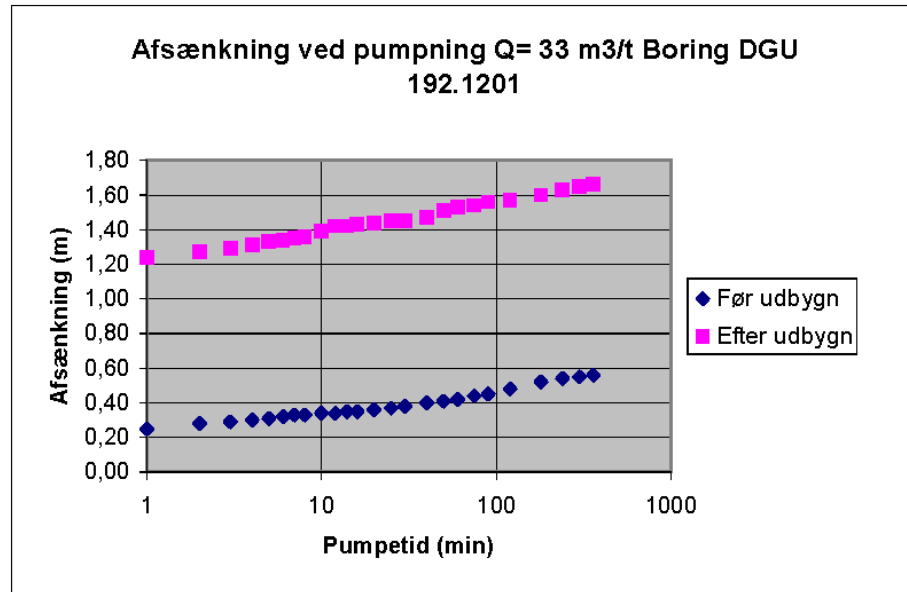
DGU nr. 192.1201 (Ub)
 Strø Nord kildeplads - GEUS logging: 02-02-2004
 Reference: Terræn: + 8,25 m



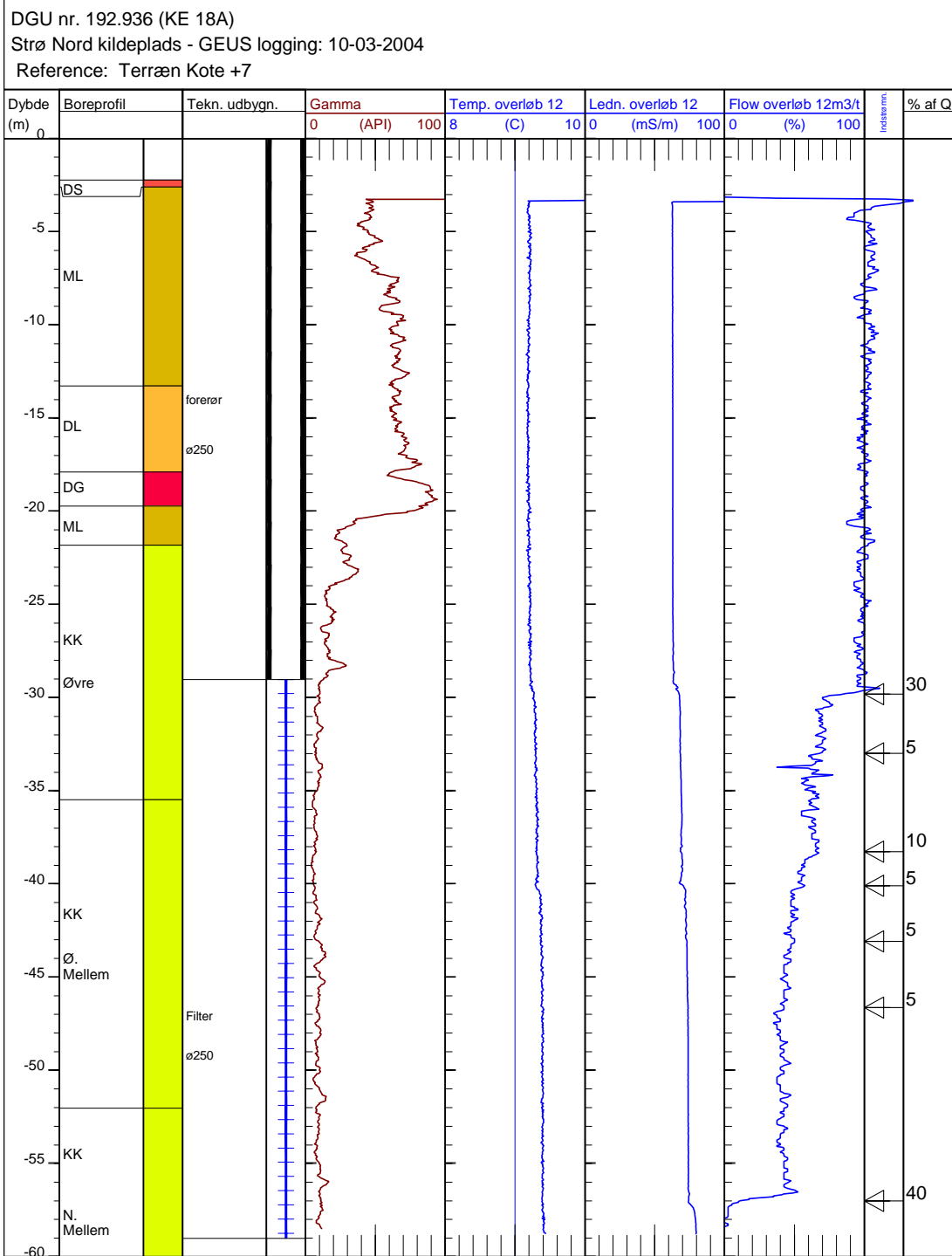
BILAG 1.

Strø Nord - boring DGU 192.1201 Prøvepumpning med $Q=33 \text{ m}^3/\text{t}$ før og efter tilbagesøbning og filterudbygning

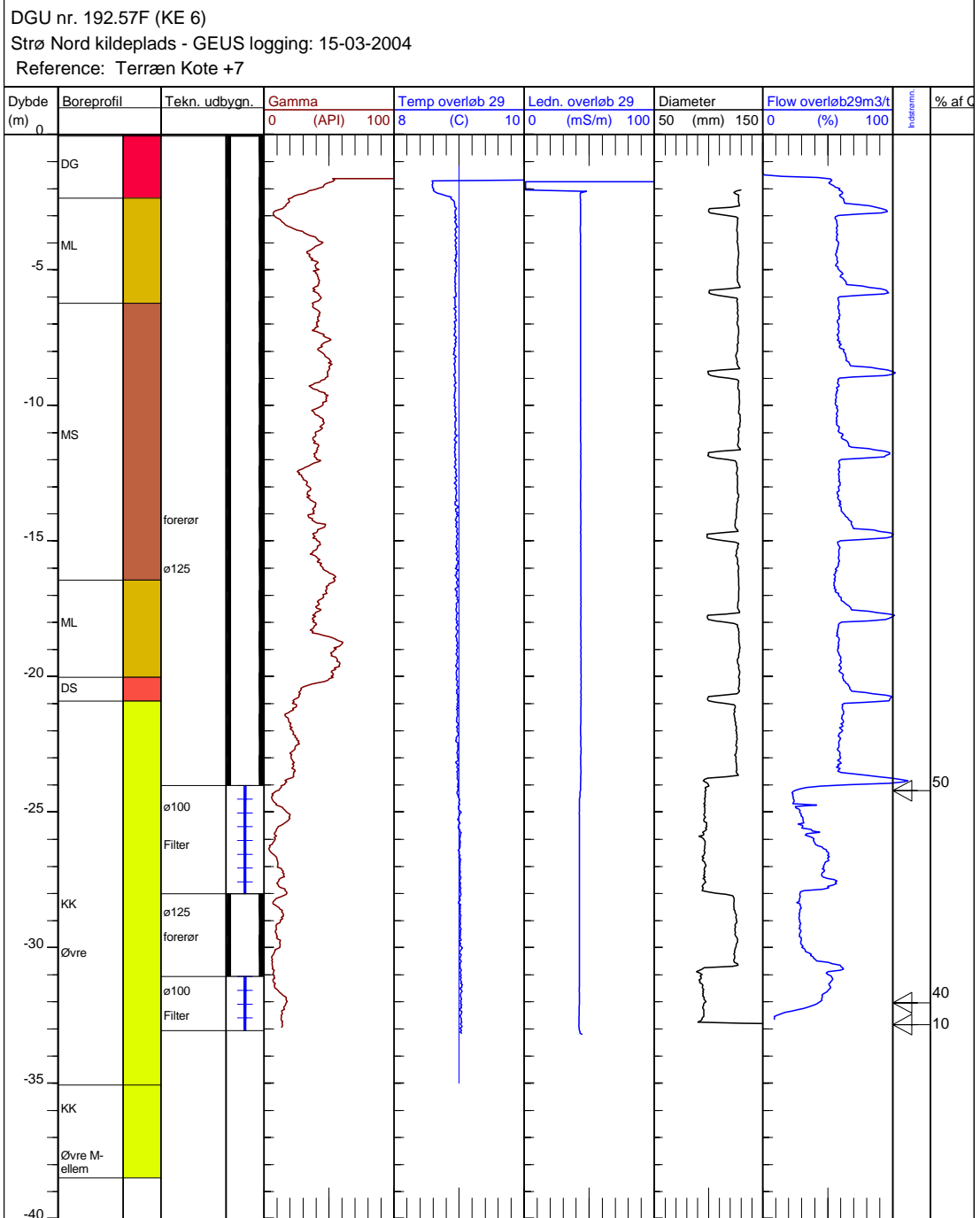
| Tid (min) | VS 29-01-04 | VS 17-02-04 | s før (m) | s efter (m) |
|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|
| 0 | 0,92 | 1,09 | | |
| 1 | 1,17 | 2,33 | 0,25 | 1,24 |
| 2 | 1,20 | 2,36 | 0,28 | 1,27 |
| 3 | 1,21 | 2,38 | 0,29 | 1,29 |
| 4 | 1,22 | 2,4 | 0,30 | 1,31 |
| 5 | 1,23 | 2,42 | 0,31 | 1,33 |
| 6 | 1,24 | 2,43 | 0,32 | 1,34 |
| 7 | 1,25 | 2,44 | 0,33 | 1,35 |
| 8 | 1,25 | 2,45 | 0,33 | 1,36 |
| 10 | 1,26 | 2,48 | 0,34 | 1,39 |
| 12 | 1,26 | 2,51 | 0,34 | 1,42 |
| 14 | 1,27 | 2,51 | 0,35 | 1,42 |
| 16 | 1,27 | 2,52 | 0,35 | 1,43 |
| 20 | 1,28 | 2,53 | 0,36 | 1,44 |
| 25 | 1,29 | 2,54 | 0,37 | 1,45 |
| 30 | 1,30 | 2,54 | 0,38 | 1,45 |
| 40 | 1,32 | 2,56 | 0,40 | 1,47 |
| 50 | 1,33 | 2,6 | 0,41 | 1,51 |
| 60 | 1,34 | 2,62 | 0,42 | 1,53 |
| 75 | 1,36 | 2,63 | 0,44 | 1,54 |
| 90 | 1,37 | 2,65 | 0,45 | 1,56 |
| 120 | 1,40 | 2,66 | 0,48 | 1,57 |
| 180 | 1,44 | 2,69 | 0,52 | 1,60 |
| 240 | 1,46 | 2,72 | 0,54 | 1,63 |
| 300 | 1,47 | 2,74 | 0,55 | 1,65 |
| 360 | 1,48 | 2,75 | 0,56 | 1,66 |



| | T (m ² /sek) | Ændring (%) | Q (m ³ /t) | r (m) | t (min) | S | 2,3*Q/4πIT | 4Tt/r ² S | Log(4Tt/r ² S) | s ^{teoretisk} | s ^{observeret} | Virkningsgrad |
|-------|-------------------------|-------------|-----------------------|-------|---------|-------|------------|----------------------|---------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
| Efter | 0,0112 | 6,7 | 33 | 0,112 | 120 | 0,001 | 0,150028 | 25676020,41 | 7,40952771 | 1,111633 | 1,57 | 0,71 |
| Før | 0,0120 | | 33 | 0,162 | 120 | 0,001 | 0,140026 | 13149127,96 | 7,11889695 | 0,996828 | 0,48 | 2,08 |

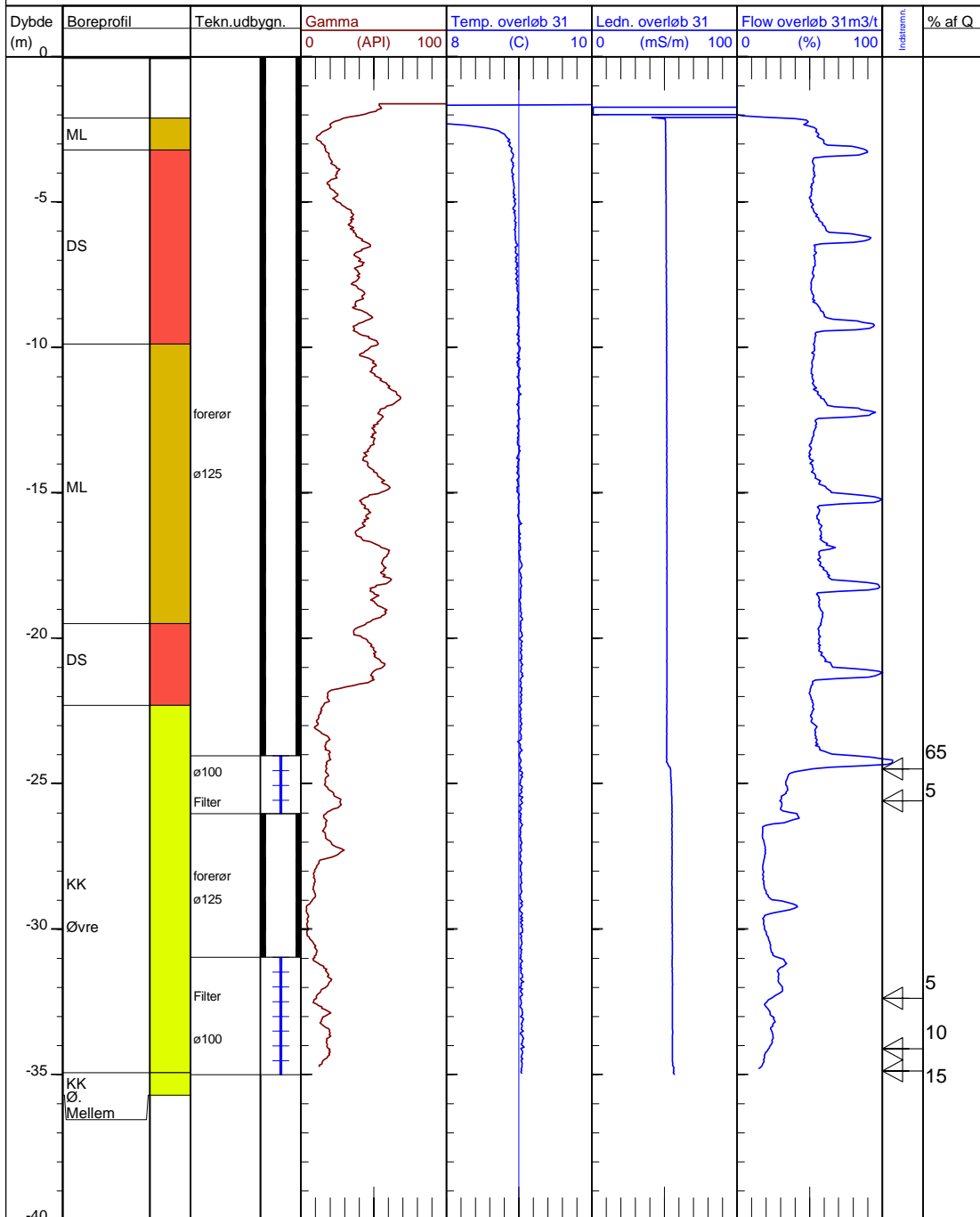


BILAG 2.



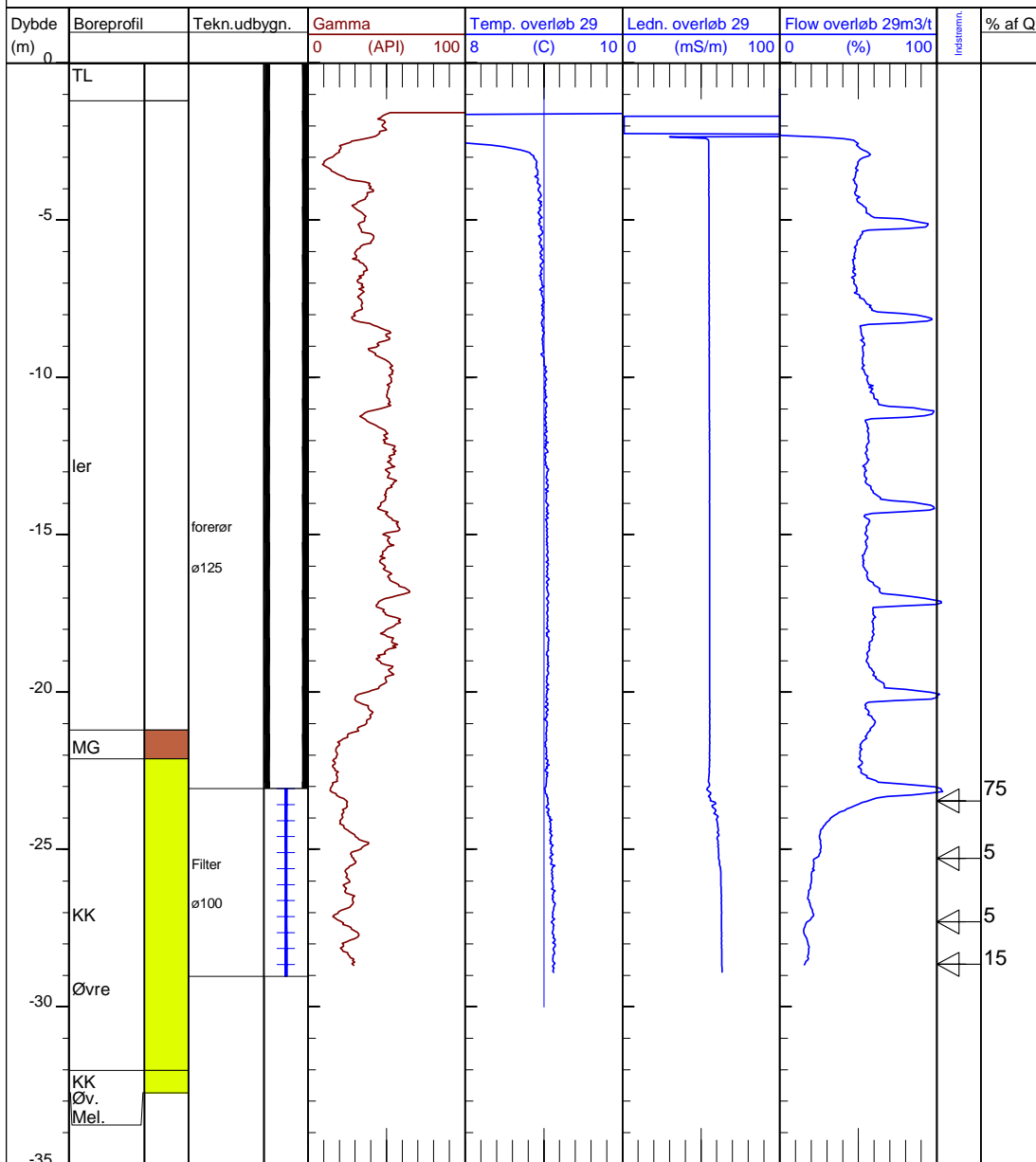
BILAG 3

DGU nr. 192.57N (KE 14)
 Strø Nord kildeplads - GEUS logging: 10-03-2004
 Reference: Terræn Kote +6



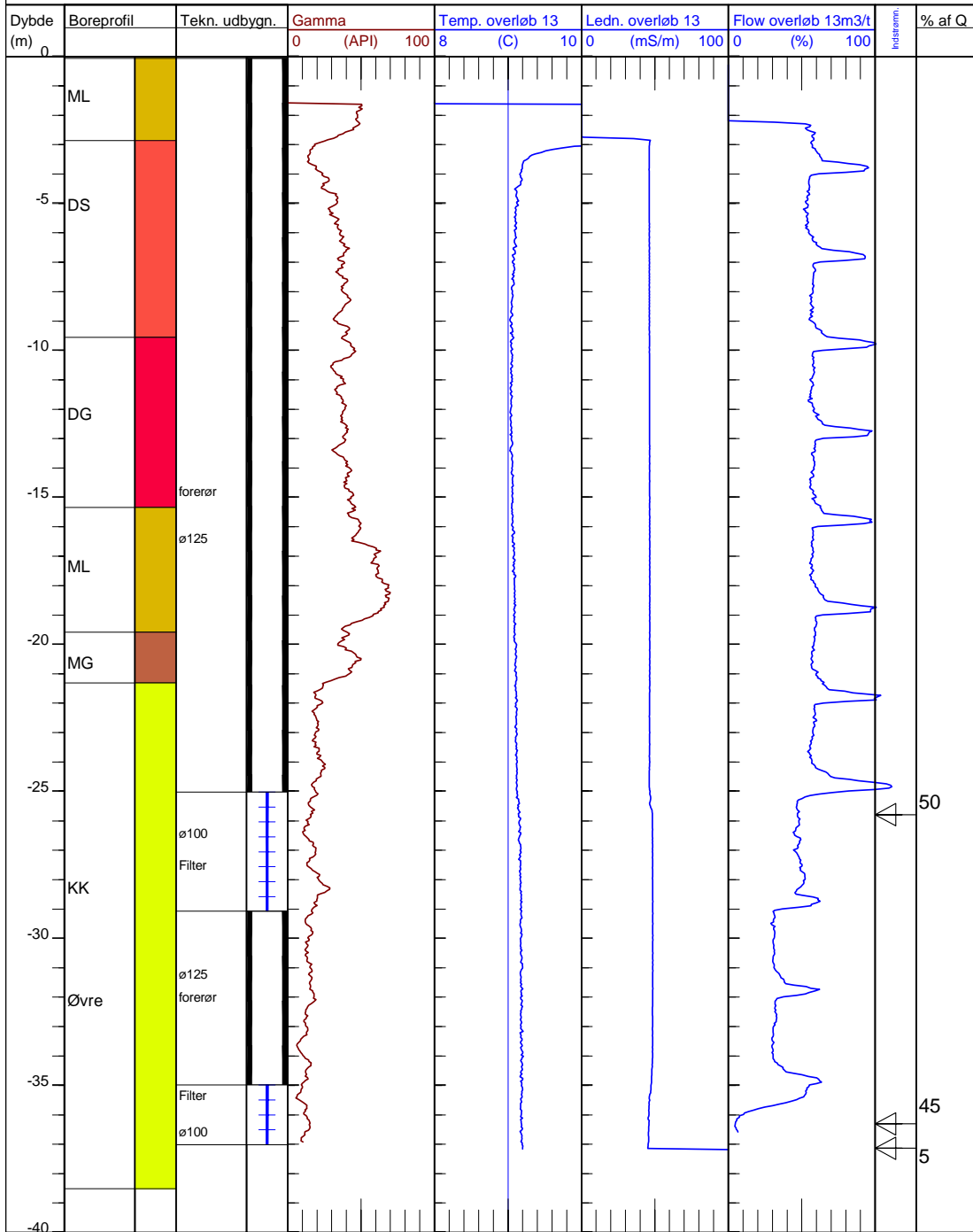
BILAG 4

DGU nr. 192.57J (KE 10)
 Strø Nord kildeplads - GEUS logging: 12-03-2004
 Reference: Terræn Kote + 7

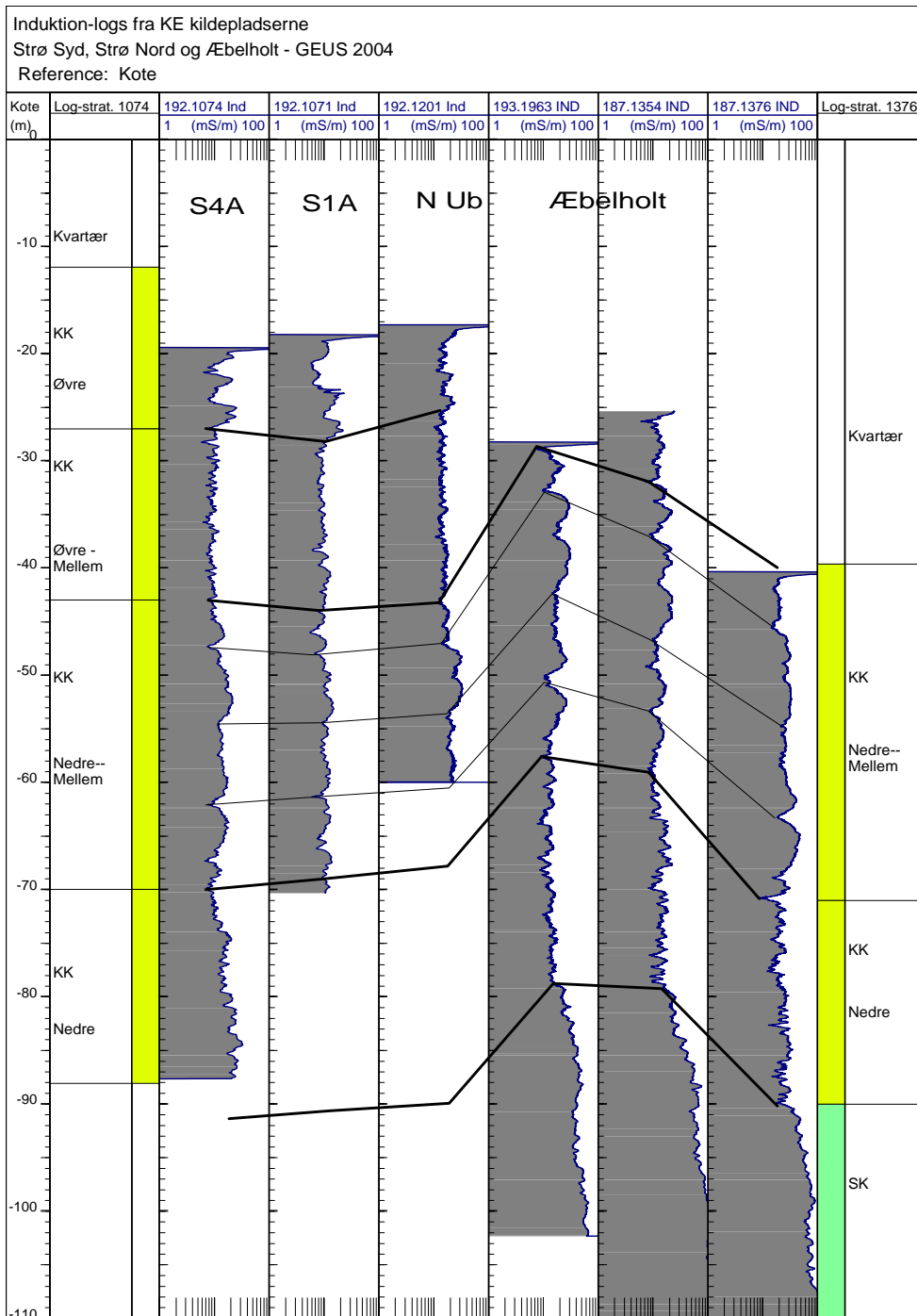


BILAG 5.

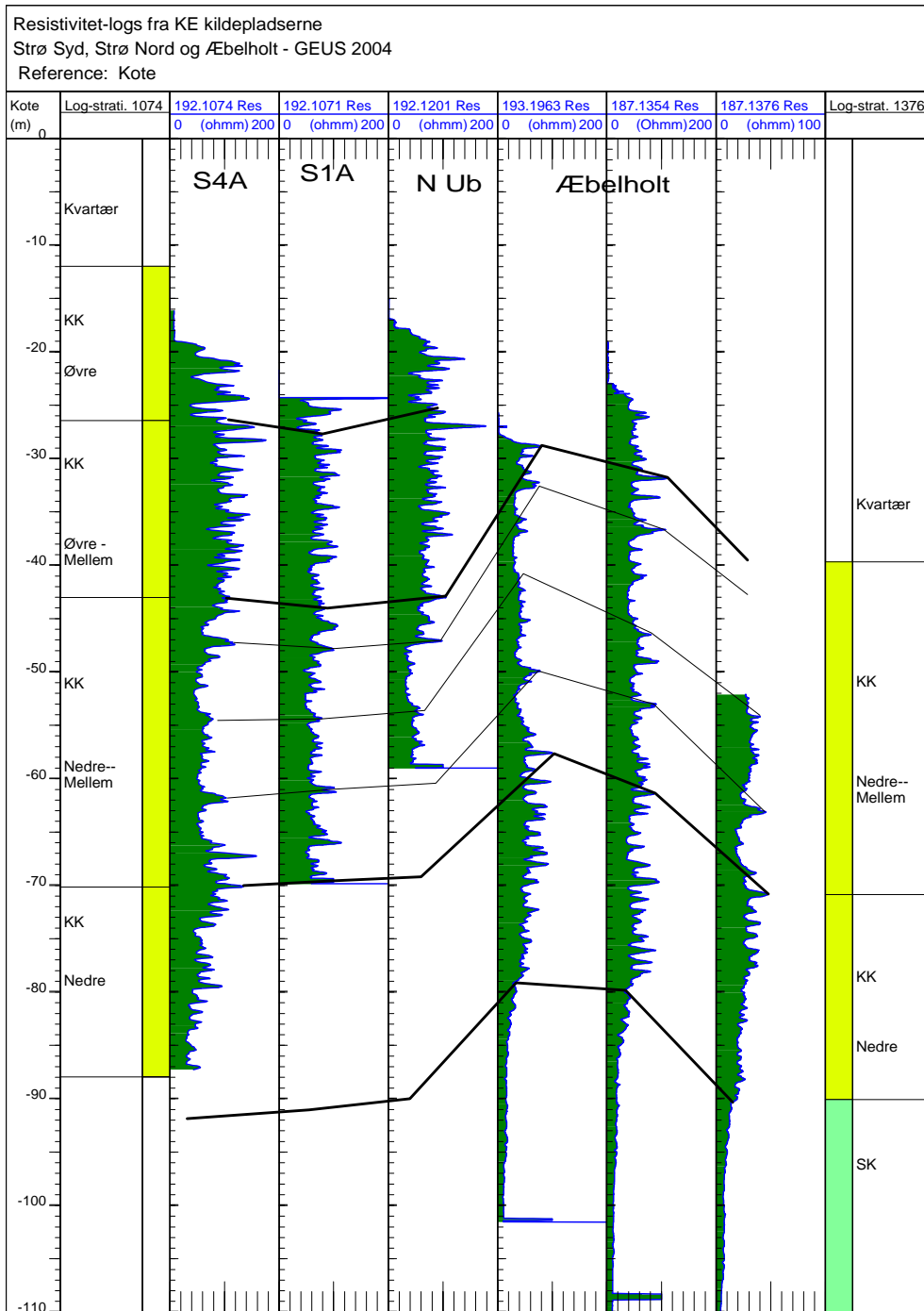
DGU nr. 192.57B (KE 2)
 Strø Nord kildeplads - GEUS logging: 15-03-2004
 Reference: Terræn Kote +8



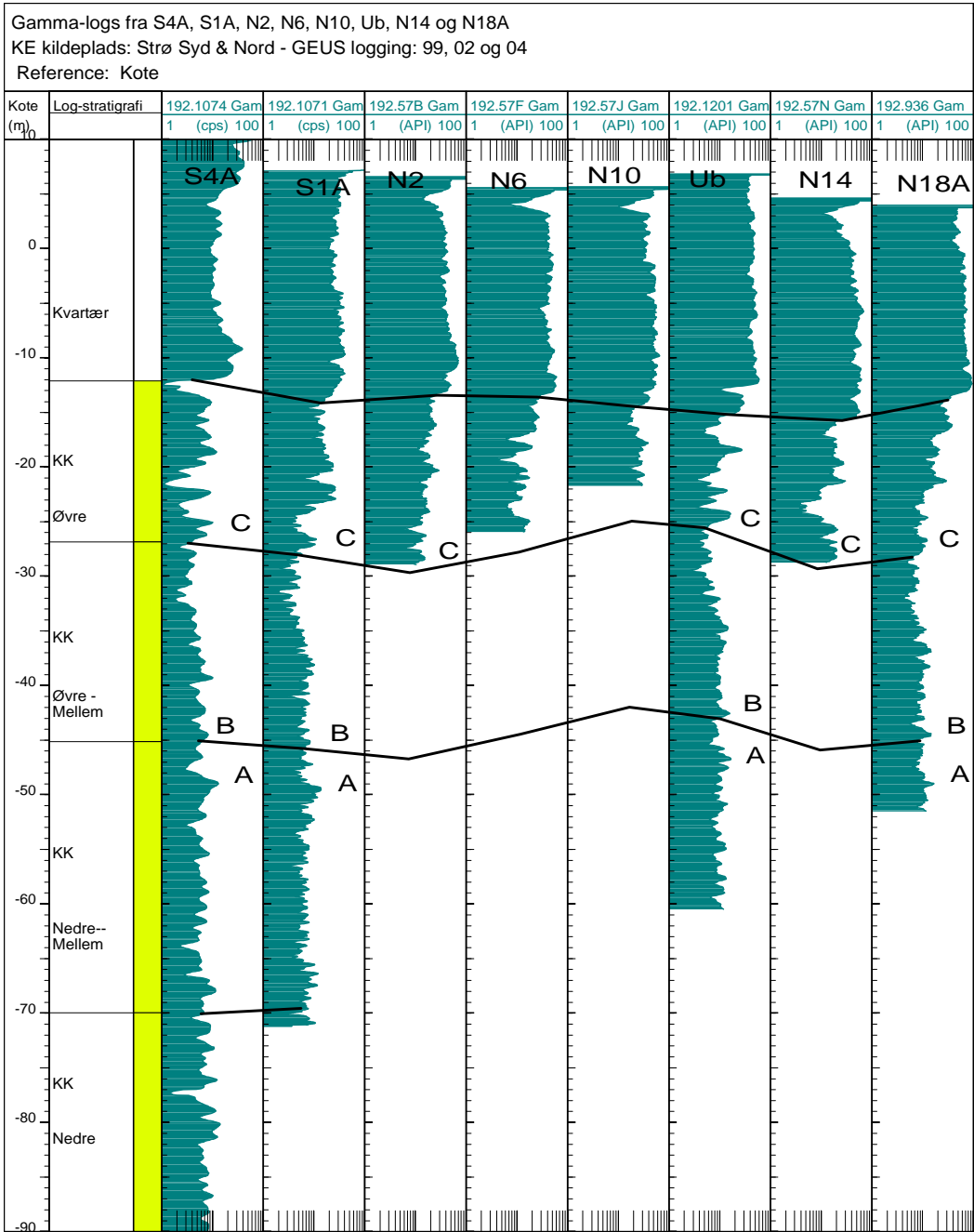
BILAG 6.



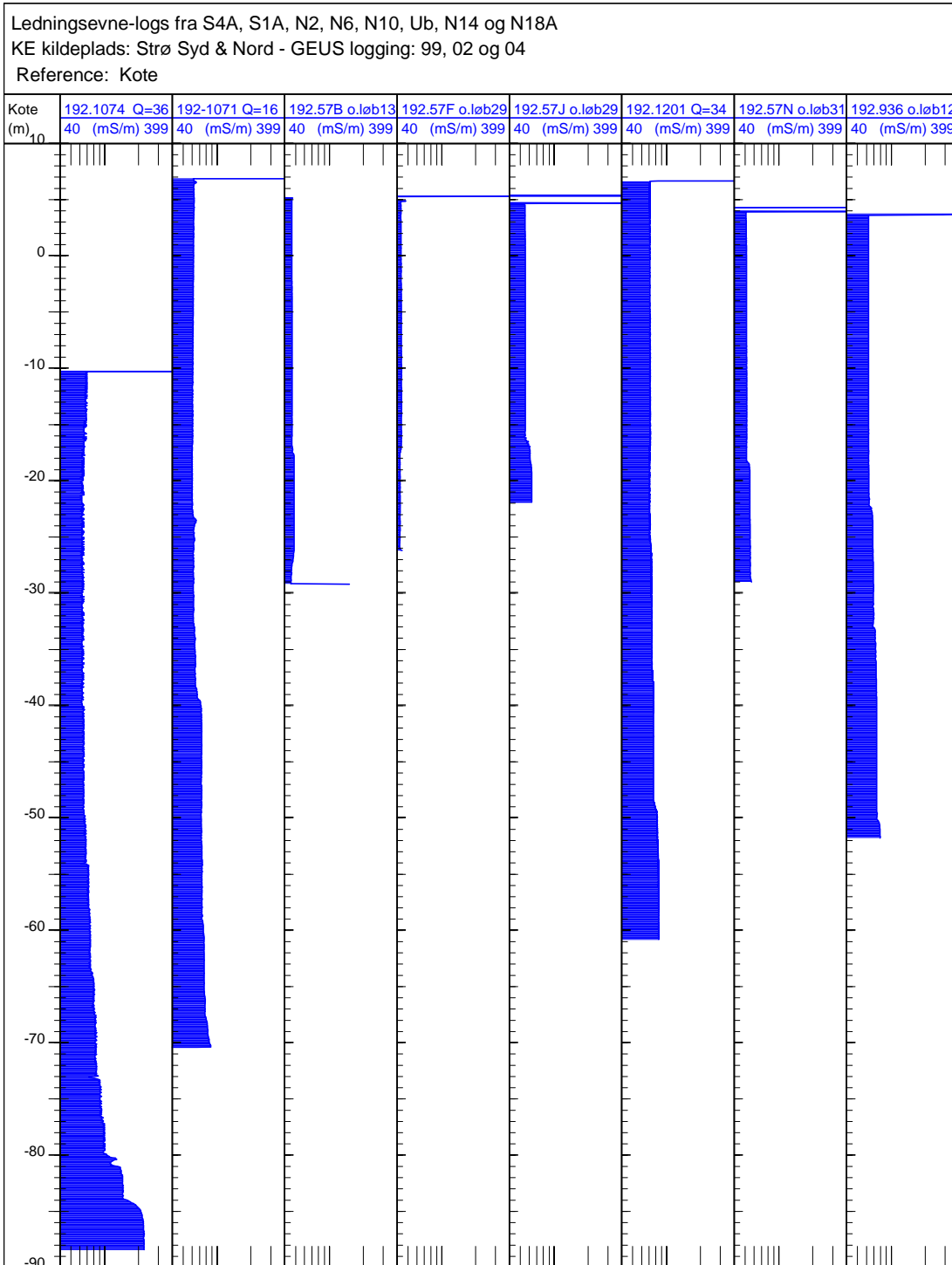
BILAG 7.



BILAG 8.

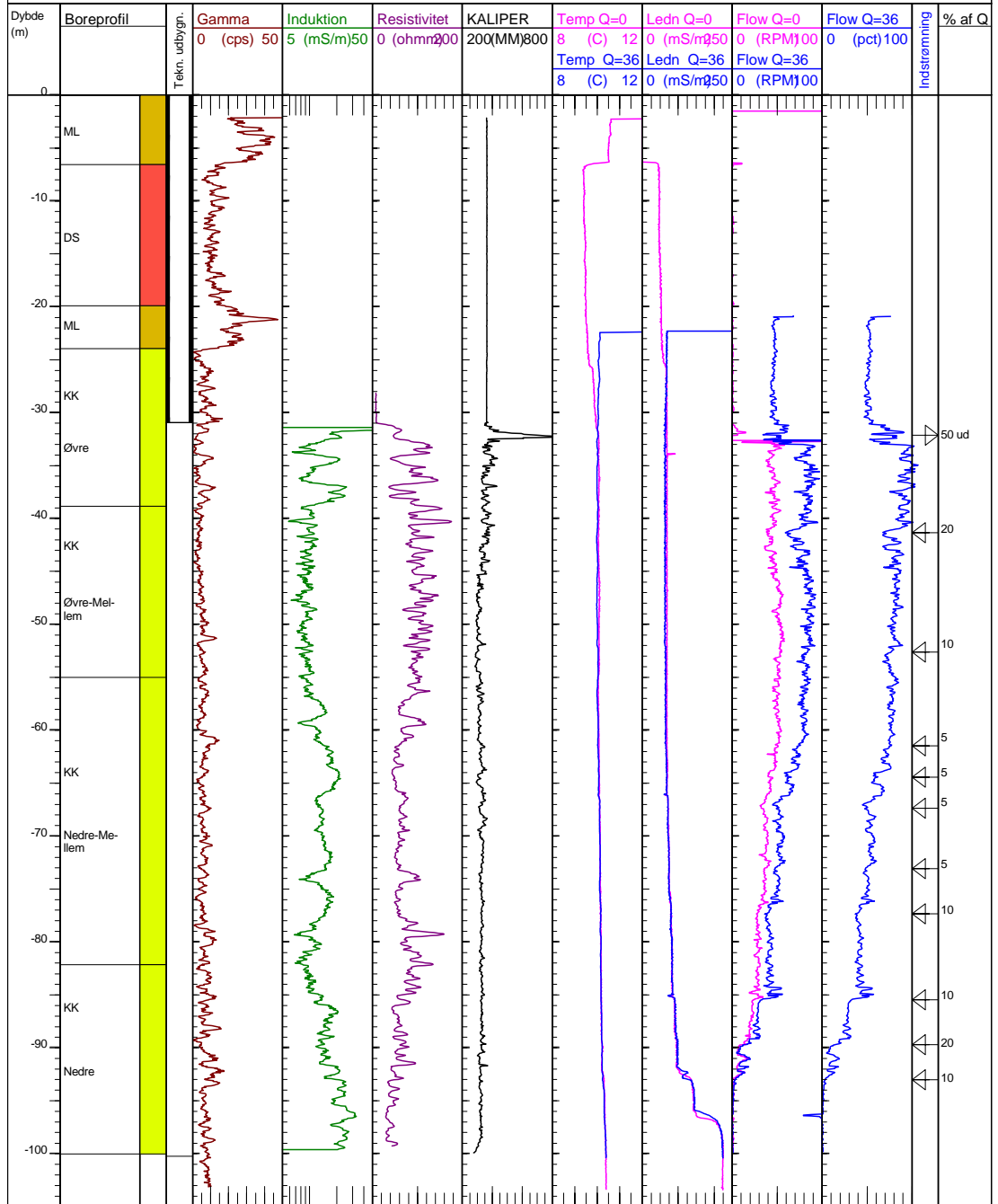


BILAG 9.

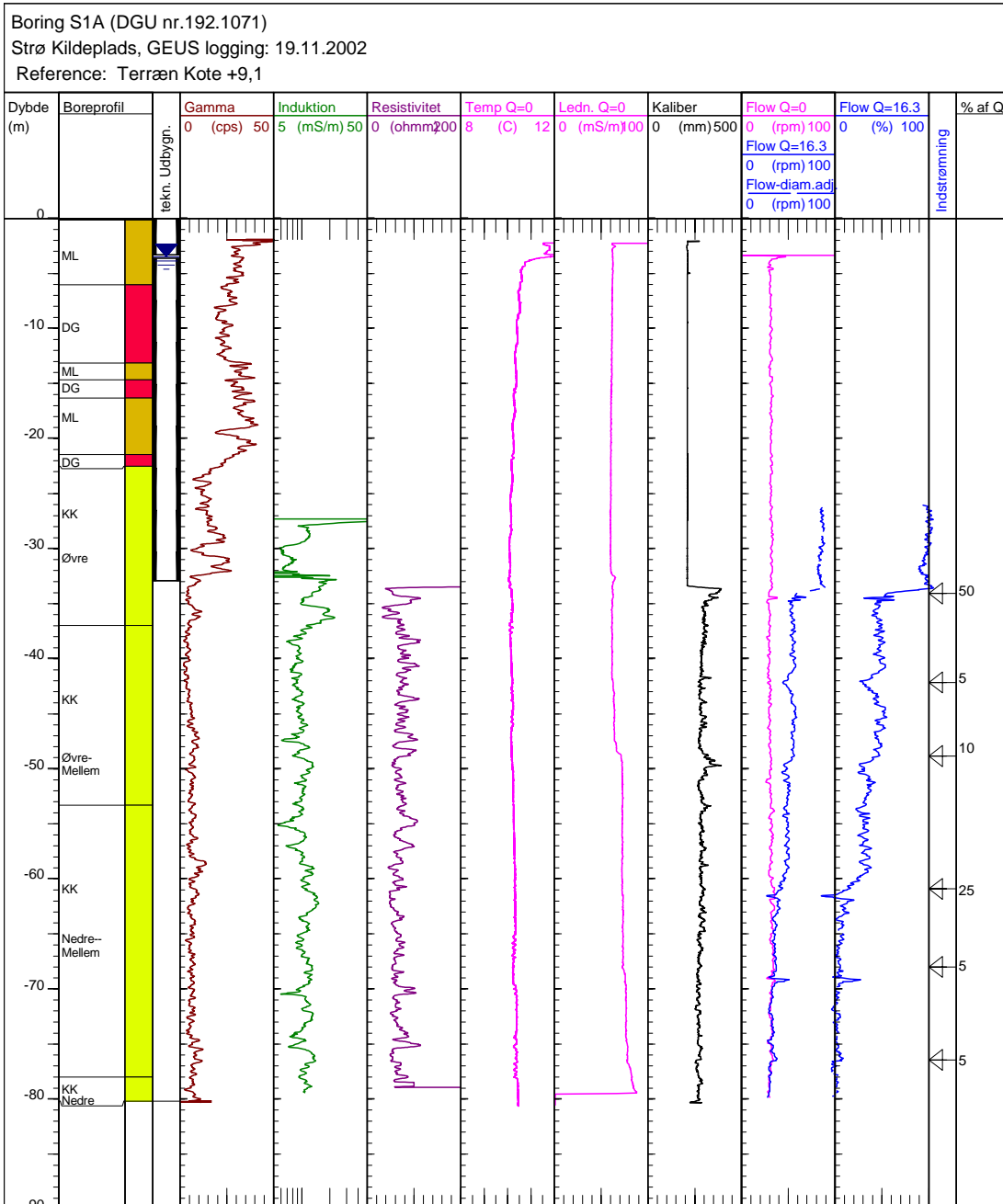


BILAG 10.

Boring 4A (DGU 192.1074)
 Strø kildeplads, GEUS logging: 11.03.99
 Reference: Terræn Kote +12



BILAG 11.



BILAG 12.