

# Hove Kildeplads, Københavns Energi

Borehulslogging af DGU nr. 200.5247,  
-5248 og -4571

Kurt Klitten, Per Rasmussen & Per Jensen



# Hove Kildeplads, Københavns Energi

Borehulslogging af DGU nr. 200.5247,  
-5248 og -4571

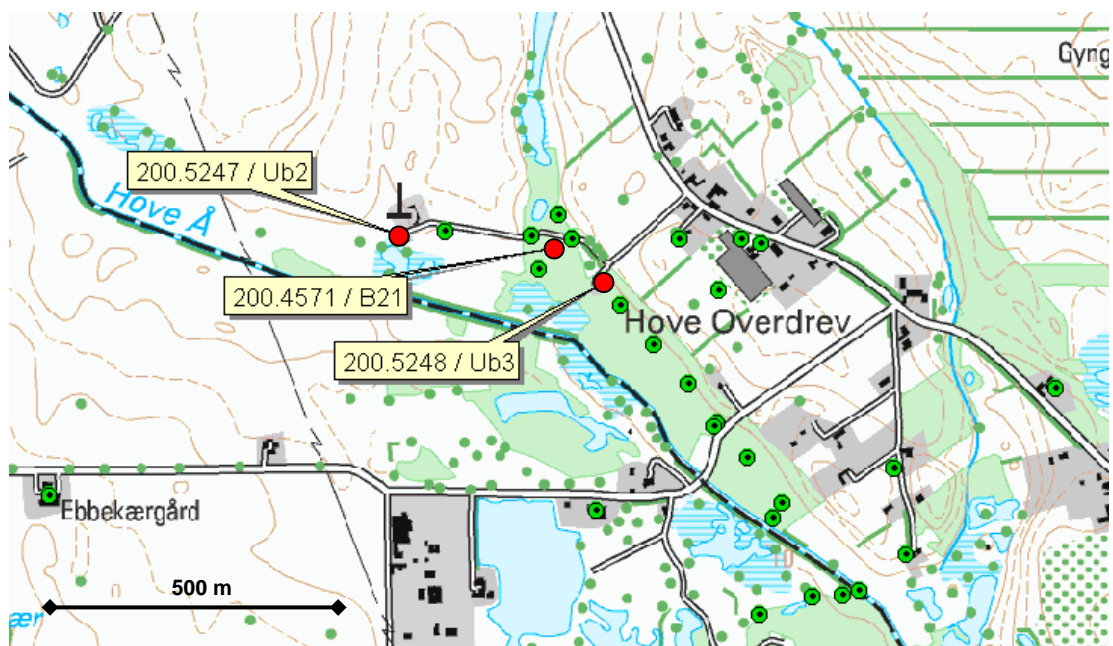
Kurt Klitten, Per Rasmussen & Per Jensen

# Indhold

<b>1</b>	<b>Introduktion og undersøgelsesprogram</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Sammenfatning af resultater</b>	<b>5</b>
2.1	Tekniske forhold .....	5
2.2	Geologi .....	5
2.3	Indstrømningsfordeling .....	6
2.4	Saltvandspåvirkning.....	6
2.5	Konklusion og anbefaling.....	7
<b>3</b>	<b>Logstratigrafi af kalken</b>	<b>9</b>
3.1	Korrelation af gamma- og induktionslogs.....	9
<b>4</b>	<b>Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer</b>	<b>11</b>
4.1	Undersøgelsesboring Ub2 (DGU nr. 200.5247).....	11
4.1.1	Tekniske forhold.....	11
4.1.2	Lagfølge .....	11
4.1.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	12
4.1.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	12
4.1.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	12
4.2	Undersøgelsesboring Ub3 (DGU nr. 200.5248).....	13
4.2.1	Tekniske forhold.....	13
4.2.2	Lagfølge .....	13
4.2.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	14
4.2.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	14
4.2.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	14
4.3	Indvindingsboring B21 (DGU nr. 200.4571) .....	15
4.3.1	Tekniske forhold.....	15
4.3.2	Lagfølge .....	16
4.3.3	Temperaturlog uden og med pumpning .....	16
4.3.4	Ledningsevnelog uden og med pumpning.....	17
4.3.5	Flowlog og indstrømningsfordeling.....	17
<b>5</b>	<b>Bilags liste</b>	<b>19</b>

# 1 Introduktion og undersøgelsesprogram

For Københavns Energi udførtes der i marts 2005 borehulslogging i 2 nye undersøgelsesboringer beliggende på Hove kildeplads imellem Gundsømagle og Smørumnedre: DGU nr. 200.5247 (Ub2) og DGU nr. 200.5248 (Ub3). På samme kildeplads er der tidligere, (maj 2000) foretaget borehulslogging i en ny indvindingsboring DGU nr. 200.4571 (B21). Resultaterne fra sidstnævnte er tidligere rapporteret til KE, men er medtaget i nærværende rapport for at have resultaterne fra alle 3 boringer sammenstillet i samme rapport. Boringerne placering fremgår af Figur 1. Formålet med de gennemførte logging undersøgelser var at forbedre grundlaget for planlægningen af en ombygning af kildepladsen, herunder især kendskab til risikoen for saltvandspåvirkning.



**Fig. 1:** Hove kildeplads - de 3 undersøgte boringer er angivet med henholdsvis DGU nr. og KE numre (●). Øvrige boringer angivet med grøn prik på kortet, er boringer i området som er registreret i GEUS's Jupiter boringsdatabase.

Indvindingen på kildepladsen sker fra kalksandskalken (Danien), som i boring DGU nr. 200.4571 (B21) træffes 7,4 under terræn, hvilket vil sige omkring kote +2 m. Denne boring er dog udbygget med forerør fra terræn til ca. 23 meter under terræn, herunder var boringen uforet.

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, indi-

kation 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 gennemtæring. Forud for en flow-log udføres der altid en kalibreringstest af log sonden ved at køre den ned gennem hele boringen uden pumpning. En eventuel intern strømning imellem zoner i kalk eller mellem to filtre vil også blive identificeret ved en sådan kalibrerings flow-log uden pumpning.

I tabel 1.1 ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der blev udført i hver af de 3 boringer ifølge aftale med KE. I de to åbne kalkboringer, Ub3 og B21, gennemførtes det normale GEUS logging program, hvorimod resistivitets- og kaliber-log blev fravalgt i den allerede filtersatte boring Ub2. I boringerne Ub2 og Ub3 blev flow-loggen foretaget med en pumpeydelse på 36 m<sup>3</sup>/t, medens den i boring B21 blev foretaget med en ydelse på 120 m<sup>3</sup>/t. Kildepladsen var i drift under logging arbejdet i såvel 2000 som 2005.

**Tabel 1.1: Logging undersøgelser på Hove kildeplads**

Boring:	Ub2	Ub3	B21
DGU nr.	200.5247	200.5248	200.4571
Logging dato:	10.03.2005	9.03.2005	18.05.2000
Log metoder:			
Gamma	X	X	X
Induktion	X	X	X
Resistivitet	-	X	X
Temp. & Ledningsevne	X	X	X
Temp. & Ledn. under pumpning	X	X	X
Kaliber	-	X	X
Flow uden pumpning	X	X	X
Flow under pumpning	X	X	X
Heat pulse basis flow	-	-	-
Video	-	-	-

## 2 Sammenfatning af resultater

### 2.1 Tekniske forhold

De 2 boringer Ub2 og Ub3 er helt nye boringer afsluttet februar 2005 udført med 14" stålførerør ( $\varnothing=365$  mm) til kalken i 9,5 – 13,5 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 80 m. Den ene boring (Ub3) stod åben i kalken under logging arbejdet, medens den anden boring (Ub2) allerede var blevet udbygget med filtersætning og gruskastning i hele intervallet fra forerør til bund af boring. Den 3. boring (B21) udførtes i april – maj 2000 med 14" stålførerør til 22,8 m, og derunder som 312 mm kalkboring til 93 m. Boringen er nu udbygget med forerør, 250 mm til 22,7 m og derunder med filter og gruskastning til 93 m dybde, men under logging arbejdet i 2000 stod boringen som en åben kalkboring. Boringernes udbygning er summeret i tabel 2.1.

**Tabel 2.1: Boringernes udbygning under logging**

Boring DGU nr.	KE nr.	Boring udført	Terræn kote (m)	Boringsdybde (m)	Fore-rørsdybde (m)	Forerørs diameter. (mm)	Filter dybde sektioner (m)	Gruskastning	Borediameter i kalk (mm)
200.5247	Ub2	2005	+9,34	80,0	14,0	368 Stålrør	14 – 80	Ja	312
200.5248	Ub3	2005	+9,68	80,0	17,0	368 Stålrør	Åben 17 – 80	Nej	312
200.4571	B21	2000	+9,50	93,0	22,8	368 Stålrør	Åben 23 – 93	Nej	312

### 2.2 Geologi

Med hensyn til kalkens stratigrafi giver en sammenligning af gamma-logs og induktionslogs fra de to nye boringer med tilsvarende logs fra boring B21 en overraskende god korrelation. Gamma-maksima kan genfindes i omtrent samme dybde i alle tre boringer, og det samme gælder minima og maksima på Induktions-loggen, dvs. tætte kalkbænk med lav formations ledningsevne kan genfindes i alle tre boringer, og porøse bløde kalk lag med høj formationsledningsevne kan ligeledes genfindes i omtrent samme dybder. I Bilag 1 ses en sammenstilling af gamma-logs og induktionslogs fra de 3 boringer. Kalklagene synes at ligge omtrent vandrette, idet lag-sekvenserne kan følges fra boring til boring.

Fra B21 vides det, at skrivekridtet ligger i ca. 85 m. dybde. På basis af den omtrent vandrette lagdeling i den overliggende Danien kalk nævnt ovenfor, kan det antages at Skrivekridtoverfladen under kildepladsen ligeledes vil være omtrent vandret.

## 2.3 Indstrømningsfordeling

Flow-logs og ledningsevne-logs under pumpning viser, at den meget vandførende zone i ca. 70 m dybde dokumenteret ved tidligere logging i boring 21 (DGU nr. 200.4571), også optræder i de to nye boringer. I boring Ub2 indstrømmer 25% af pumpeydelsen i denne zone, og i Ub3 er det 50%.

I Ub2 indstrømmer i alt ca. 68% i de øverste ca. 15 m af filteret, og de resterende 7% indstrømmer 7 m over den nederste vandførende zone. Ledningsevnen på vandet fra den nedre vandførende zone er kun 43 mS/m svarende til 63 mS/m ved 25 C°, hvilket tyder på en forholdsvis lav ionstyrke. Der ses ingen forskelle på ledningsevnen i vandet fra de forskellige indstrømninger. Dette skal antagelig forklares ved, at der i perioden siden færdiggørelse af boringen er en meget kraftig intern strømning af vand fra de nederste to indstrømningszoner og op til de øverste fire zoner. Denne strømning andrager ca. 60% af strømningen i samme dybdeinterval når der pumpes, dvs. 60% af 32% af 36 m<sup>3</sup>/t er lig ca. 7 m<sup>3</sup>/t (se Flow Q=0, som ligger med højere tælletal end basistallet 30 rpm. for nedsænkingshastigheden af sonden, 5 m/min). For at få et sandfærdigt billede af ledningsevnen i vandet i den øvre del af kalken, skal der følgelig pumpes temmelig længe før denne opadstrømmende vandmængde er renpumpet fra den øvre del af kalken.

I Ub3 indstrømmer 25% indenfor de øverste 5 m af kalken under forerøret. Derudover indstrømmer de resterende 25% i to zoner imellem de øvre og den nedre vandførende zone, sidstnævnte omtalt ovenfor. Ledningsevnen i vandet fra den nedre meget vandførende zone er kun 39 mS/m svarende til 60 mS/m ved 25 C°, hvilket er omtrent som i Ub2. Ligesom ved Ub2 ses der heller ikke her forskelle på ledningsevnen i vandet fra de forskellige zoner, og også her er forklaringen den at en kraftig intern strømning opad fra den nedre zone og fra zonen i ca. 48 m og op til de øvre zoner, hvor vandet tabes. Vandmængden, som strømmer opad er ca. 50% af 65% af 36 m<sup>3</sup>/t, hvilket andrager ca. 11 m<sup>3</sup>/t. Også her skal der renpumpes længe før der kan opnås et sandfærdigt indtryk af ledningsevnen og dermed ionstyrken af vandet i den øvre del af kalken.

I B21 indstrømmer ca. 85% i en zone 70 – 73 m u.t. Ca. 15% af indstrømningen sker umiddelbart under forerøret 24 – 30 m u.t. Ledningsevnen i vandet fra den nedre meget vandførende zone er 50 mS/m svarende til 74 mS/m ved 25 C°, hvilket er lidt højere end i Ub2 og Ub3. Ligesom ved Ub2 og Ub3 ses der heller ikke her forskelle på ledningsevnen i vandet fra de forskellige zoner, og også her er forklaringen den at en kraftig intern strømning opad fra den nedre zone og op til de øvre zoner, hvor vandet igen tabes. Også her skal der renpumpes længe før der kan opnås et sandfærdigt indtryk af ledningsevnen og dermed ionstyrken af vandet i den øvre del af kalken.

## 2.4 Saltvandspåvirkning

En meget vandførende horisont optræder i ca. 70 m dybde under hele kildepladsen. Ledningsevnen af vandet herfra indikerer en lav ionstyrke og derfor antagelig ingen nævneværdig saltvandspåvirkning fra det kloridholdige grundvand i Skrivekridtet, som

jævnfør B21 træffes i ca. 85 m dybde. Forhøjet ledningsevne kan dog observeres i det stagnerende vand nederst i de to borer Ub2 og Ub3 nedenunder indstrømningszonen i ca. 70 m. Der ses også store indstrømninger i den øvre del af kalken, men ledningsevnen af vandet herfra giver ikke et sandfærdigt billede af ionstyrken i grundvandet i den øvre del af kalken. Årsagen hertil er, at der uden pumpning fra borerne sker "forurening" af det øvre vand ved kortslutningsstrømning fra den nedre del af kalken.

"Saltvandsgrænsen" ligger ved grænsen til Skrivekridt i 85 m dybde. Ved nedboring til denne formation stiger det kloridholdige grundvand op i boringen (B21), men bliver allerede fortyndet ved en lille indstrømning af fersk grundvand i 82 m dybde, og meget fortyndet ved den store indstrømning i 71 m dybde. Nye borer bør derfor kun udføres til 75 m dybde (kote -65 m), hvorved den samme meget vandførende horisont i ca. 70 m evt. træffes igen, samtidig med at der er en bufferzone på 10 m ned til det saltvandsholdige Skrivekridt.

## 2.5 Konklusion og anbefaling

Kalklagene synes at ligge omtrent vandrette, idet lag-sekvenserne kan følges fra boring til boring. En meget vandførende horisont optræder i ca. 70 m dybde under hele kildepladsen, og ledningsevnen af vandet herfra indikerer en lav ionstyrke og derfor antagelig ingen nævneværdig saltvandspåvirkning fra det kloridholdige grundvand i Skrivekridtet, som træffes i ca. 85 m dybde. Forhøjet ledningsevne kan dog observeres i det stagnerende vand nederst i de to borer Ub2 og Ub3 nedenunder indstrømningszonen i ca. 70 m. Der ses også store indstrømninger i den øvre del af kalken, men ledningsevnen af vandet herfra giver ikke et sandfærdigt billede af ionstyrken i grundvandet i den øvre del af kalken. Årsagen hertil er, at der uden pumpning fra borerne sker "forurening" af det øvre vand ved kortslutningsstrømning fra den nedre del af kalken.

Nye borer bør kun udføres til 75 m dybde (kote -65 m), hvorved den meget vandførende horisont i ca. 70 m evt. træffes, samtidig med at der er en bufferzone på 10 m ned til det kloridholdige Skrivekridt.

Det er ofte muligt at opnå en mere præcis vurdering af det resulterende klorid niveau ved forskellige scenarier for indvinding fra kalk, ved at fremskaffe data om klorid indholdet i det indstrømmende vand fra de forskellige dele af kalken. Dette kan ske ved 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 pumpning eller ved naturligt overløb. Ud fra kendskabet fra flow-log om zonernes procentvise 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. I tilfælde som disse tre borer, hvor der igennem lang tid efter borerne afslutning forekommer intern strømning fra den nedre kalk til den øvre, vil der skulle renpumpes i me-



get lang tid for at kunne udtage akkumulerede vandprøver fra den øvre kalk, som virkelig repræsenterer indstrømninger med vandkemi som i driftssituationen.

I stedet kan det anbefales med en MP1 pumpe at udtage vandprøve i alle de tre boringer (Ub2, Ub3 og 21) i dybdeniveauet ca. 60 m i situationen med kortslutningsstrømning, hvorved der fås et entydigt indtryk af vandkvaliteten fra den nedre del af kalken. Denne kan da sammenlignes med en vandkemisk analyse af en senere blandingsvandsprøve udtaget i driftssituationen, hvorved størrelsen af de vandkemiske parametre i vandet fra de øvre indstrømninger kan vurderes relativt.

Det kan desuden anbefales at lade udføre en ny flow-log af boring Ub3 efter at denne er blevet udbygget med filter for derved at opnå erfaring med betydningen af filterudbygning på indstrømningsfordelingen. En sådan flow-logging undersøgelse burde tillige udføres med tre forskellige pumpeydelse for derved at undersøge, om ydelsens størrelse influerer på indstrømningsfordelingen.

## 3 Logstratigrafi af kalken

### 3.1 Korrelation af gamma- og induktionslogs

På Bilag 1 er gammalogs og induktionslogs fra de 3 borerer sammenstillet i retning fra vest mod øst: Ub2-B21-Ub3. Afstanden mellem borererne er henholdsvis 250 m (Ub2-B21) og 100 m (B21-Ub3). Dybdeskala er i kote.

Gammalogs fra Ub2 viser i forhold til de 2 øvrige borerer et generelt højere og mere ensartet strålingsniveau, hvilket må være en følge af, at denne boring var gruskastet inden logging. Dette er i og for sig overraskende, idet en ren kvartsgrus ikke skulle indeholde kaliumholdige mineraler og derfor ikke skulle bidrage til gamma-stråling. De øvrige 2 borerer stod som åbne kalkboringer.

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

- En 20-25 m "Øvre" sekvens (mellem horisonterne A og C - Bilag 1) med 6-8 m tykke subsekvenser adskilt af markante horisonter (A, B og C - Bilag 1) med relativt høj gammastråling og formationsledningsevne. Denne "Øvre" sekvens synes karakteriseret ved en gennemsnitlig højere gamma-stråling end den følgende sekvens, og en gennemsnitlig højere formationsledningsevne og dermed gennemsnitlig højere porøsitet. Variationen i gamma-stråling og formationsledningssevne vides fra tidligere undersøgelser at afspejle, at lagene skifter mellem porøse og tætte kalklag.
- En ca. 30 m "Mellem" sekvens (mellem horisonterne C og E - Bilag 1) med generelt lav gammastråling. I en 10 meter zone øverst i sekvensen (mellem horisonterne C og D - Bilag 1) ses hyppigt skiftende gamma-strålingsniveauer og en gennemsnitlig lavere og mere varierende formationsledningsevne. Denne subsekvens C-D synes derfor at være domineret af flere tykke, tætte kalkbænke.
- En "Nedre" sekvens (under horisonten E - Bilag 1) hvor gammastrålingen er større svarende til niveauet i den "Øvre" sekvens. Denne sekvens er i borererne Ub2 og Ub3 ca. 15 m, fra omkring kote -55 til bund af borererne i omkring kote -70 m, men ses i boring B21 at fortsætte helt ned Skrivekridtet, dvs. ca. 15 m dybere. En markant horisont F (Bilag 1) omkring kote -64 m ses på såvel gamma- som induktionsloggen. Under denne F horisont ses i boring B21 på såvel gamma- som induktionslog et mønster med markante maksima og minima som tyder på at de enkelte såvel porøse som tætte kalk lag er tykkere og mere signifikante end i de overliggende subsekvenser F-E og E-D.

De markante sekvenser og horisonter således som angivet på Bilag 1 viser en relativt vandretliggende lagserie med sekvenser af næsten ens tykkelse i de 3 undersøgte borer.

## 4 Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer

### 4.1 Undersøgelsesboring Ub2 (DGU nr. 200.5247)

#### 4.1.1 Tekniske forhold

Boringen af Ub2 blev afsluttet februar 2005. Boringen blev udført med 14" stålførerør ( $\varnothing=365$  mm) til 14 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 80 m. Ub2 blev filtersat og gruskastet i hele intervallet fra førerør til bund af boring inden logging, og derfor er der ikke foretaget hverken kaliberlog eller resistivitetslog i boringen. Terrænkoten ved Ub2 er +9,43 m.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på  $36 \text{ m}^3/\text{t}$  uden nævneværdig afsækning, hvilket viser at boringen har en meget høj specifik kapacitet.

#### 4.1.2 Lagfølge

Gammaloggen viser øverst et ret homogent kvartært lag af moræneler, der ca. 7 meter under terræn afløses af 5 meter vekslende lag, Bilag 2. Ved overgangen til Danien kalken (kalksandskalk) i 12 m dybde falder strålingsniveauet markant. Herfra og til bund af boring synes kalken på basis af gamma-strålingen at kunne inddeles i tre sekvenser med grænser i ca. 35 m og i ca. 65 m dybde, hvor den mellemste sekvens fra 35 til 65 m dybde har en generelt lavere stråling end de to andre. I Kalken ses både ved 26 m, ved 72 m og ved 78 m dybde tydelige "marker horisonter" (B, E og F på Bilag 1), som må formodes at være mergel- eller lerholdige lag.

Induktionsloggen, Bilag 2, er vist på logaritmisk skala for at få fremhævet variationsmønstret i kalken, idet dette er blevet neddæmpet som følge af gruskastningen omkring filteret. Loggen er tydeligt påvirket af de metalstyr, som er sat på filterrøret til centrering af dette. Påvirkningen viser sig som kraftige udslag på induktionsloggen for hver ca. 6 m (fjernet på Induktionsloggen på Bilag 1). På trods af disse forstyrrende anomalier ses induktionsloggens variationsmønster stort set at følge gamma-loggens, dvs. den øverste sekvens viser tydeligt en større variation end de to øvrige sekvenser, ligesom den nederste sekvens har en lidt større variation og gennemsnitligt en lidt højere ledningsevne end den mellemste sekvens. Formationsledningsevnen i kalken afspejler først og fremmest variation i porøsitet, og der ses således især i den øverste sekvens, men også i toppen af den mellemste sekvens at forekomme flere ret tykke kalkbænke med meget lav ledningsevne og dermed ringe porøsitet. Ligeledes ses der især i den øverste sekvens flere lag med meget høj ledningsevne og dermed stor porøsitet. Hvor der er

sammenfald mellem markant stor gammastråling og høj ledningsevne kan der forventes mergellag, hvilket netop er tilfældet for gamma-marker horisonterne nævnt ovenfor.

### 4.1.3 Temperaturlog uden og med pumpning

Temperatur-loggen uden og med pumpning er identiske med undtagelse af forerørssektionen, hvor det stagnerende vand, som man kunne vente, har lidt lavere temperatur end det opadstrømmende blandingsvand under pumpning. Temperaturen på begge logs er således konstant  $9,6\text{ C}^0$  til ca. 71 m u.t., hvor den stiger trinvis først  $0,1\text{ C}^0$  og derefter  $0,05\text{ C}^0$  i 75 m. Endelig på de sidste fire meter stiger temperaturen jævnt til sluttemperaturen  $9,8\text{ C}^0$  i 79 m dybde. Dette variationsmønster tyder således på strømning opad fra 75 m dybde og til lige under forerøret med indstrømning i 75 m og 71 m dybde såvel uden som med pumpning.. Eventuelle indstrømninger højere oppe i kalken i situationen med pumpning giver sig således ikke til kende ved små fald i temperaturen.

### 4.1.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning

Loggen viser et identisk ledningsevne forløb uden og med pumpning. Ledningsevnen er konstant 43 mS/m fra top til 71 m dybde. Herunder ses at ledningsevnen stiger i spring i henholdsvis 71 m dybde og i 75 m dybde, hvilket indikerer samme strømningssituation som nævnt ovenfor under temperaturlog. Eventuelle indstrømninger højere oppe i kalken i situationen med pumpning giver sig således ikke til kende ved ændringer i ledningsevnen.

### 4.1.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinueret propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser nederst i boringen et basis tælleantal på ca. 30 rpm. (rotationer per minut). I intervallet 26 – 71 m u.t. er tælleantallet uden pumpning ca. 60 rpm. Fra 31 m falder tælleantallet trinvis til ca. 30 rpm. ved forerørets bund i 14 m. Dette viser i lighed med temperatur- og ledningsevnelog uden pumpning, at der er en opadgående vandstrømning i denne boring fra omkring 71 m u.t. og op til 14 m u.t., men her ses endvidere, at udstrømningen sker til forskellige zoner i intervallet op til forerørets bund.

Anvendes tælleantallet 30 rpm. som basistal viser den resulterende flow-log at ca. 25% af indstrømningen under pumpning med  $Q = 36\text{ m}^3/\text{t}$  sker omkring 70 m u.t. (et par procent af disse indstrømmer allerede i 74-75 m dybde), og at 48% af indstrømningen sker i intervallet fra forerøret og ned til 20 m u.t. Herudover indstrømmer ca. 7% i 63 m dybde, og de resterende 20% indstrømmer i flere zoner i intervallet 23-31 m. Før omregningen til pct. er rotationstal fratrukket basis rotationstallet 30 rpm. svarende til logging hastigheden 5 m/min (Bilag 2).

## 4.2 Undersøgelingsboring Ub3 (DGU nr. 200.5248)

### 4.2.1 Tekniske forhold

Boringen af Ub3 blev afsluttet februar 2005. Boringen blev udført med 14" stålforerør ( $\varnothing=365$  mm) til 17 m dybde, og derunder som 312 mm kalkboring til 80 m. Boringen stod som en åben kalkboring under logging arbejdet. Terrænkote ved boringen er +9,68 m.

Kaliberloggen, Bilag 3, viser et forholdsvis regulært borehul med en diameter på ca. 360 mm. Der ses dog diameterudvidelser (kaviteter) op til ca. 480 mm i de øverste 15 m af den åbne kalksektion, og mest markant i intervallet mellem 17 – 24 m u.t. Boringens dimension aftager tilsyneladende lidt med dybden, og fra ca. 60 m dybde er diameteren omkring 340 mm.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på  $36 \text{ m}^3/\text{t}$  uden nævneværdig afsænkning, hvilket viser at boringen i lighed med den forrige boring Ub2 har en meget høj specifik kapacitet.

### 4.2.2 Lagfølge

Gammaloggens generelt høje strålingsniveau til ca. 14 m, Bilag 3, bekræfter brøndbo-reoplysningen om tilstedeværelse af moræneler til denne dybde. Kalken er truffet i ca. 14 m, hvilket ses ved et fald i strålingsniveauet. Herfra og til bund af boring synes kalken på basis af gamma-strålingen og endnu mere tydeligt end ved den forrige boring at kunne inddeles i de tre sekvenser, hvor den mellemste sekvens fra 34 til 65 m dybde har en generelt lavere stråling end de to andre. De markante "marker horisonter" B, E og F fra Bilag 1 ses også her og i omtrent samme dybder som ved den forrige boring, men hertil kommer den tidligere omtalte horisont C ved ca. 34 m dybde.

Induktions- og resistivitetslogs viser som forventet et modsat variationsmønster. Når formationsledningsevnen på induktionsloggen således er lav svarende til tætte kalk- eller flintlag, ses der tilsvarende høje resistiviteter – og når formationsledningsevnen er høj svarende til kalklag med høj porøsitet eller eventuel mergel, ses der tilsvarende lave resistiviteter. Specielt i den "Øvre" sekvens i de øverste 10 m af den "Mellemste" sekvens ses der på begge logs tydelig indikation på mange tætte kalkbænke. I alle tre sekvenser ses der ligeledes tydelige indikationer på subsekvenser med ret tykke lag med meget høj porøsitet (19,5 – 22,5 m, 29-34 m og 44-50 m). Derudover ses sammenfald mellem gamma-marker horisonter og lag med høj ledningsevne og lav resistivitet, som derfor må antages at indeholde mergel.

Den generelt lidt højere formationsledningsevne (17 mS/m) og tilsvarende lavere resistivitet (60 ohmm), som ses i den nederste del af boringen fra 71 – 80 m, tyder på, at formationens porevand her har et lidt højere indhold af klorid end i den overliggende kalk.

Med en sandsynlig formationsfaktor på 5 for kalksandskalk betyder en formationsledningsevne på 17 mS/m at porevandets ledningsevne ved den aktuelle temperatur 9,8 C<sup>0</sup> er på 85 mS/m nederst i boringen (svarende til 120 mS/m ved 25 C<sup>0</sup>). En sådan ledningsevne for grundvand i kalkreservoirer med et normalt ret højt indhold af bikarbonat (>350 mg/L) betyder et forhøjet kloridindhold, som dog i reglen er mindre end 150 mg/l. Ovennævnte formationsfaktor er forholdet mellem porevandets og formationens ledningsevne. I bjergarter, hvor materialet ikke selv har nogen ledningsevne, som i kalk, afhænger formationsfaktoren alene af porøsiteten i bjergarten.

### 4.2.3 Temperaturlog uden og med pumpning

Temperatur-loggen uden og med pumpning er identiske fra bunden og op til ca. 40 m dybde. Ligesom ved den forrige boring tyder dette på en strømning opad, som i situationen uden pumpning synes at fortsætte helt op til forerøret, idet temperaturen er konstant hertil. I selve forerøret aftager temperaturen i det stagnerende vand som ventet opefter.

Temperaturen i det opadstrømmende vand under pumpning ses at falde gradvist i intervallet fra 40 m til 30 m fra 9,6 C<sup>0</sup> til 9,5 C<sup>0</sup> og stige igen en anelse først i ca. 23 m og dernæst lige under forerøret, således at temperaturen i blandingsvandet på vej op til pumpen ender med igen at være 9,6 C<sup>0</sup>. I modsætning til temperaturloggen under pumpning ved den forrige boring er det ikke alene indstrømningszonerne nederst i boringen, som giver sig til kende ved små temperaturændringer, men også indstrømningszonerne højere oppe i kalken.

### 4.2.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning

Loggen viser et identisk ledningsevne forløb uden og med pumpning. Ledningsevnen er konstant 39 mS/m fra top til 70 m dybde. Herunder ses at ledningsevnen stiger i spring i henholdsvis 70, 71 og 75 m dybde, hvilket indikere indstrømningszoner såvel uden som med pumpning. Indstrømningszonerne højere oppe i kalken, som kan ses på temperatur-loggen under pumpning, giver sig ikke til kende ved ændringer i ledningsevnen på det opadstrømmende blandingsvand.

### 4.2.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser nederst i boringen et basis tælleantal på ca. 29 rpm. (rotationer per minut). I intervallet 20 – 63 m u.t. er tælleantallet uden pumpning ca. 50 rpm. I forerøret er tælleantallet igen faldet til 29 rpm. svarende til målingerne i bunden af boringen. Dette viser i lighed med temperatur- og ledningsevne-log, at der som ved den forrige boring er tale om en opadgående intern vandstrømning fra omkring 70 m u.t. til forerørets underkant i 17 m u.t. og med indstrømning også i 48 m dybde. Da tælleantallet på 50 rpm falder af et par omgange undervejs før forerøret, sker der udstrømning i et par zoner i den "Øvre" kalksekvens, nemlig i ca. 30 m og i ca. 19 m ut.

Anvendes tælleallet 29 rpm. som basistal, viser den resulterende flow-log at ca. 50% af indstrømningen under pumpning med  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{t}$  sker omkring 70 m u.t., og at ca. 25% af indstrømningen sker i intervallet under forerøret fra 17 til 20 m u.t. Før omregningen til pct. er rotationstal fratrukket basis rotationstallet 29 rpm. svarende til logging hastigheden 5 m/min (Bilag 3). De resterende 25 % indstrømmer i en to-tre zoner i intervallet 30 til 50 m ut.

Det skal også nævnes, at der på begge flow-loggene i de samme 3 forskellige dybder i intervallet 64 – 70 m ses nogle dramatiske fald i strømningen. Dette 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. Denne situation indtræffer ofte hvor boringsdiametere som i denne boring aftager med dybden eller hvor boringen ikke står fuldstændig lodret. Disse uregelmæssigheder er der set bort fra ved ovennævnte tolkning af indstrømningsprocenterne, og der er valgt ikke at bortredigere dem i data.

## **4.3 Indvindingsboring B21 (DGU nr. 200.4571)**

### **4.3.1 Tekniske forhold**

Borehols-logging blev gennemført 18. maj 2000, og på daværende tidspunkt var boringens nummer "5a", dette er efterfølgende ændret til "B21" i forbindelse med, at boringen nu er en indvindingsboring.

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er ifølge Jupiter databasen +9,5 m. Boringen er udført af Københavns Vandforsyning i maj 2000 til 93 m dybde, dvs. til kote ca. -83,5 m. Boringen var på logging tidspunktet kun udbygget med jernforerør  $\varnothing = 368 \text{ mm}$  til ca. 24,16 meter under terræn, og stod herunder som åben kalkboring. Toppen af forerøret stod ca. 0,85 meter over terræn, og vandspejlet blev målt til 0,47 meter under top af forerør, hvilket betyder at der er overtryk i boringen og at vandspejlet stod ca. 0,38 meter over terræn.

Kaliberloggen, se Bilag 4, viser et lidt mere irregulært borehul end i den forrige boring. Selv i forerøret med en diameter på ca. 360 mm ses der indsnævring nederst, som påvirker flow-loggens tælleallet i forerøret, se senere. På de første 15 m i den åbne kalk ses der en meget varierende diameter med enkelte kaviteter op til ca. 450 mm. Fra ca. 40 m dybde ses boringens dimension at aftage svagt med dybden således at den i 85 m dybde er omkring 280 mm.

Under udførelse af temperatur- og ledningsevnelog samt flowlog med pumpning blev der pumpet med en kapacitet på  $120 \text{ m}^3/\text{t}$  uden nævneværdig afsænkning, hvilket viser at denne boring i lighed med de forrige har en endog meget høj specifik kapacitet.



### 4.3.2 Lagfølge

Gammaloggen på Bilag 4 viser øverst et ret homogent kvartært lag af moræneler, der ca. 7 meter under terræn afløses af kalksandskalk med en signifikant lavere stråling. Kalken kan som i de forrige boringer på basis af gammastrålingsmønstret inddeles i de tre tidligere omtalte sekvenser, hvor den "Mellemste" adskiller sig fra den "Øvre" og den "Nedre" ved et generelt lavere strålingsniveau. De markante "marker" horisonter B og F fra Bilag 1 ses også her og kun i mindre grad horisonterne A, C og E. Skrivekridtet er truffet i ca. 85 m dybde, men der ses ikke nogen entydig forskel i gammastrålingen i den "Nedre" sekvens i Danien og den øvre del af Skrivekridt. Grænsen kan således ikke defineres på basis af en gamma-log.

Induktions- og resistivitetslogs viser som forventet et modsat variationsmønster, der i store træk er analogt til variationsmønstrene i de tilsvarende logs fra den forrige boring, Ub3. Hvad der derfor er omtalt omkring lithologiske variationer i sidstnævnte boring gælder også for boring B21.

Fra ca. 72 m u.t. ses en svagt stigende ledningsevne og tilsvarende faldende modstand, og fra ca. 85 m u.t. sker der et drastisk fald i formationsresistiviteten fra i gennemsnit 60 ohmm ovenover til mindre end 25 ohmm, og tilsvarende en markant stigning i formationsledningsevnen fra i gennemsnit 15 mS/m til over 40 mS/m. Disse ændringer sker netop ved grænsen til Skrivekridt, og det vides fra andre lignende undersøgelser, at en formationsledningsevne på mere end 25 mS/m og en tilsvarende formationsresistivitet på mindre end 40 ohmm betyder, at formationen, hvilket vil sige, at Skrivekridtet her har et relativt stort indhold af residualt saltvand. Formationsfaktoren i den øvre del af Skrivekridtet kan erfaringsmæssigt sættes til 4,5. En formationsledningsevne på 40 mS/m betyder derfor at porevandets ledningsevne er ca. 180 mS/m ved aktuel temperatur eller 260 mS/m ved 25 C<sup>0</sup>. Koncentrationen af klorid i vand fra Skrivekridt med en sådan ledningsevne vil typisk ligge i størrelsesordenen 600 mg/l, når indholdet af de andre betydningsfulde ioner er i den normale størrelsesorden for dette reservoir (eksempelvis Na ca. 400 mg/l, Mg ca. 50 mg/l, Ca ca. 70 mg/l, SO<sub>4</sub> ca. 40 mg/l, HCO<sub>3</sub> ca. 400 mg/l og NO<sub>3</sub> = 0 mg/l).

Ligesom omtalt ved den forrige boring betyder ledningsevnen på 15-17 mS/m i den "Nedre" sekvens af Danien kalken, at porevandet her har en ledningsevne på ca. 85 mS/m ved den aktuelle temperatur, hvilket indikerer at kloridkoncentrationen kan være op til 150 mg/L. Dette skal ikke forveksles med ledningsevnen og dermed kloridkoncentrationen i vandet i denne del af selve boringen, idet begge er højere som følge af opadstrømmende vand fra Skrivekridtet, se senere under diskussion af temperatur- og ledningsevne-logs.

### 4.3.3 Temperaturlog uden og med pumpning

Temperatur-loggen uden og med pumpning er identiske med undtagelse af forerørssektionen, hvor det stagnerende vand, som man kunne vente, har lidt lavere temperatur end det opadstrømmende blandingsvand under pumpning. Temperaturen på begge logs

er således konstant 10,2 C<sup>0</sup> til ca. 71 m u.t., hvor den stiger trinvis først til 10,5 C<sup>0</sup> og derefter igen til 10,7 C<sup>0</sup> i 83 m. Endelig igen til 11,3 C<sup>0</sup> i 90 m dybde. Dette variationsmønster tyder således på strømning opad helt fra bunden af boringen og til lige under forerøret med indstrømning i 90 m, 83 m og 71 m dybde såvel uden som med pumpning. Eventuelle indstrømninger højere oppe i kalken i situationen med pumpning giver sig således ikke til kende ved små fald i temperaturen.

#### 4.3.4 Ledningsevnelog uden og med pumpning

Loggen viser et identisk ledningsevne forløb uden og med pumpning. Variationer med dybden følger det samme mønster som beskrevet for temperatur-loggen ovenfor, dog med den forskel at ledningsevnen målt uden pumpning er konstant også i den øvre del af vandsøjlen inde i forerøret. Ledningsevnen er således konstant ca. 50 mS/m fra toppen af boringen til 71 m u.t., Herunder ses at ledningsevnen stiger i spring i henholdsvis 71 m dybde til 125 mS/m og i 83 m dybde til 175 mS/m, hvilket indikerer samme strømnings- og indstrømningssituation som nævnt ovenfor under temperaturlog.

Hertil kommer det overraskende, at i 90 m dybde og i 92 m falder ledningsevnen i 2 trin igen til niveauet for blandingsvandet, dvs. til ca. 50 mS/m. Sidstnævnte kan forklares ved at der nederst på grund af den som oftest tætte Skrivekridt formation står en rest af boreskyllevæsken, som naturligt vil være præget af ledningsevnen af vandet fra de mest vandførende zoner i Danien kalken. Ganske små indstrømninger af kloridholdigt porevand fra Skrivekridtet i 92 m og i 90 m øger ledningsevnen til de nævnte 175 mS/m, som imidlertid fortyndes til 125 mS/m ved den første målbare (Flow-log) indstrømning i 82 m, og atter fortyndes kraftigt ved den store indstrømning i 71 m dybde. Eventuelle indstrømninger højere oppe i kalken i situationen med pumpning giver sig derimod ikke til kende ved ændringer i ledningsevnen, hvilket betyder at sådanne indstrømninger har samme ledningsevne 50 mS/m.

#### 4.3.5 Flowlog og indstrømningsfordeling

Kontinuert propel flow-log blev opmålt i boringen med nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Flow-log uden pumpning viser nederst i boringen, Bilag 4, et basis tælleletal på ca. 29 rpm. (rotationer per minut). I intervallet 30 – 71 m u.t. er tælleallet uden pumpning ca. 48 rpm. og mellem 24 – 30 m u.t. ca. 35 rpm. I sidstnævnte interval er der sammenfald mellem faldende tælleletal og større borehulsdiameter (jf. beskrivelsen af kaliberlog ovenfor). Over 24 m u.t. falder tælleallet til ca. 30 rpm. svarende til målingerne i bunden af boringen. Dette viser som for de 2 øvrige boringer at der er en opadgående vandstrømning også i denne boring fra omkring 71 m u.t. til 24 – 30 m u.t.

Anvendes tælleallet 29 rpm. som basistal viser den resulterende flow-log at ca. 85% af indstrømningen under pumpning med  $Q = 36 \text{ m}^3/\text{t}$  sker omkring 70 m u.t., og at ca. 15% af indstrømningen sker over et 6 m dybdeinterval lige under forerøret, dvs. 24 – 30 m

u.t. Før omregningen til pct. er rotationstal fratrukket basis rotationstallet 29 rpm. svarende til logging hastigheden 5 m/min (Bilag 4).

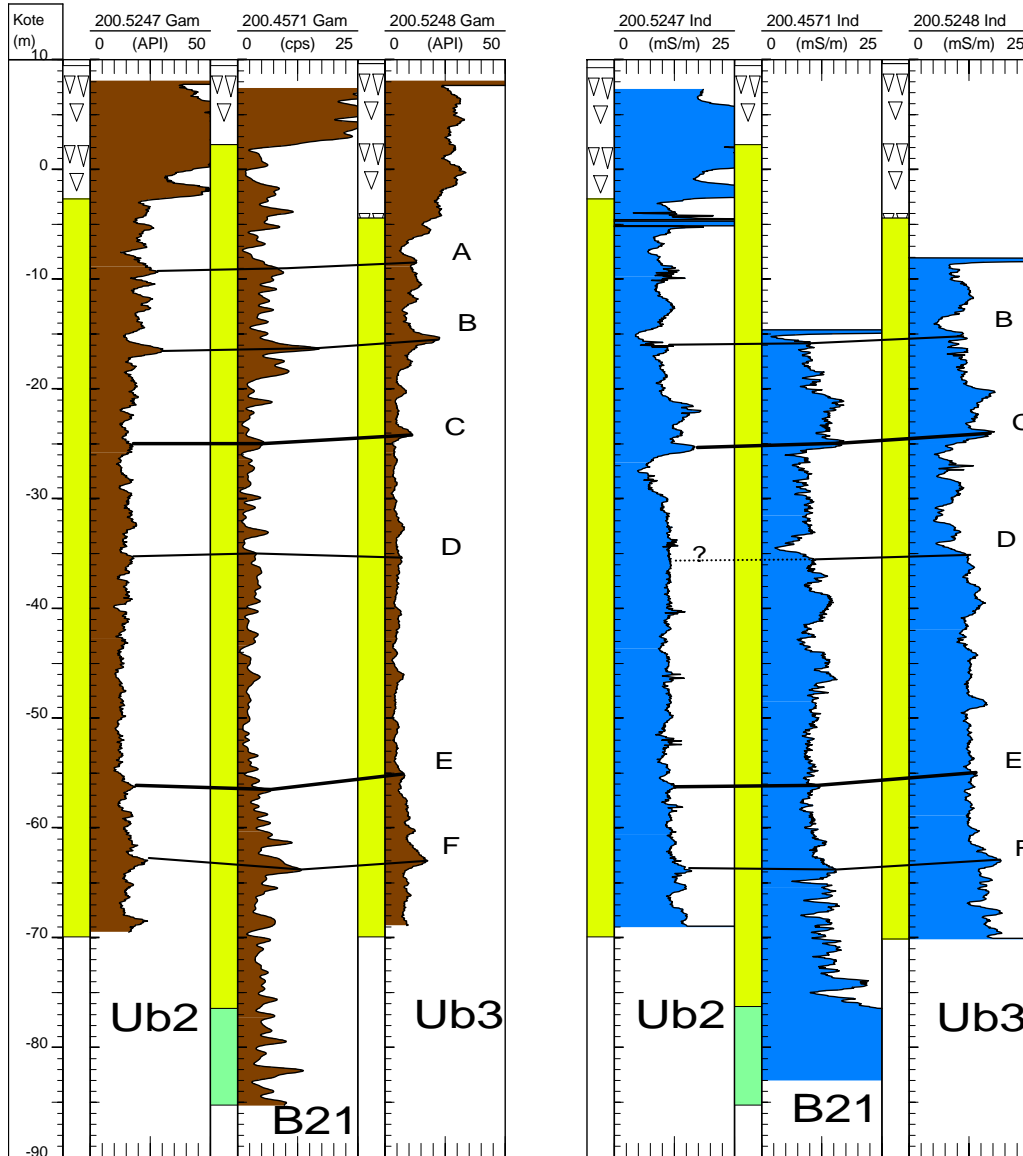
Det er bemærkelsesværdigt, at der også i denne boring og i samme dybdeinterval 64 – 70 m som ved boring Ub3 ses nogle dramatiske fald i tælleletal på begge flow-logs, men her dog mest markant på loggen under pumpning. Årsagen må være den samme som nævnt under Ub3, nemlig at sonden under nedsænkningen 3 gange i det pågældende dybdeinterval har hængt stille på et kalkfremspring, og så pludselig bliver fri og falder et stykke nedad indtil kablet igen er strakt. Denne situation indtræffer ofte i åbne kalkboringer, hvor boringsdiameteren aftager med dybden kombineret med at boringen ikke står fuldstændig lodret. De nævnte uregelmæssigheder er der set bort fra ved ovennævnte tolkning af indstrømningsprocenterne, og der er valgt ikke at bortredigere dem i data.

## 5 Bilags liste

- Bilag 1: Korrelation af gamma- og induktionslogs fra Ub2, B21 og Ub3
- Bilag 2: GEUS borehuls logs fra ny undersøgelsesboring Ub2 (DGU 200.5247)
- Bilag 3: GEUS borehuls logs fra ny undersøgelsesboring Ub3 (DGU 200.5248)
- Bilag 4: GEUS borehuls logs fra ny indvindingsboring B21 (DGU 200.4571)

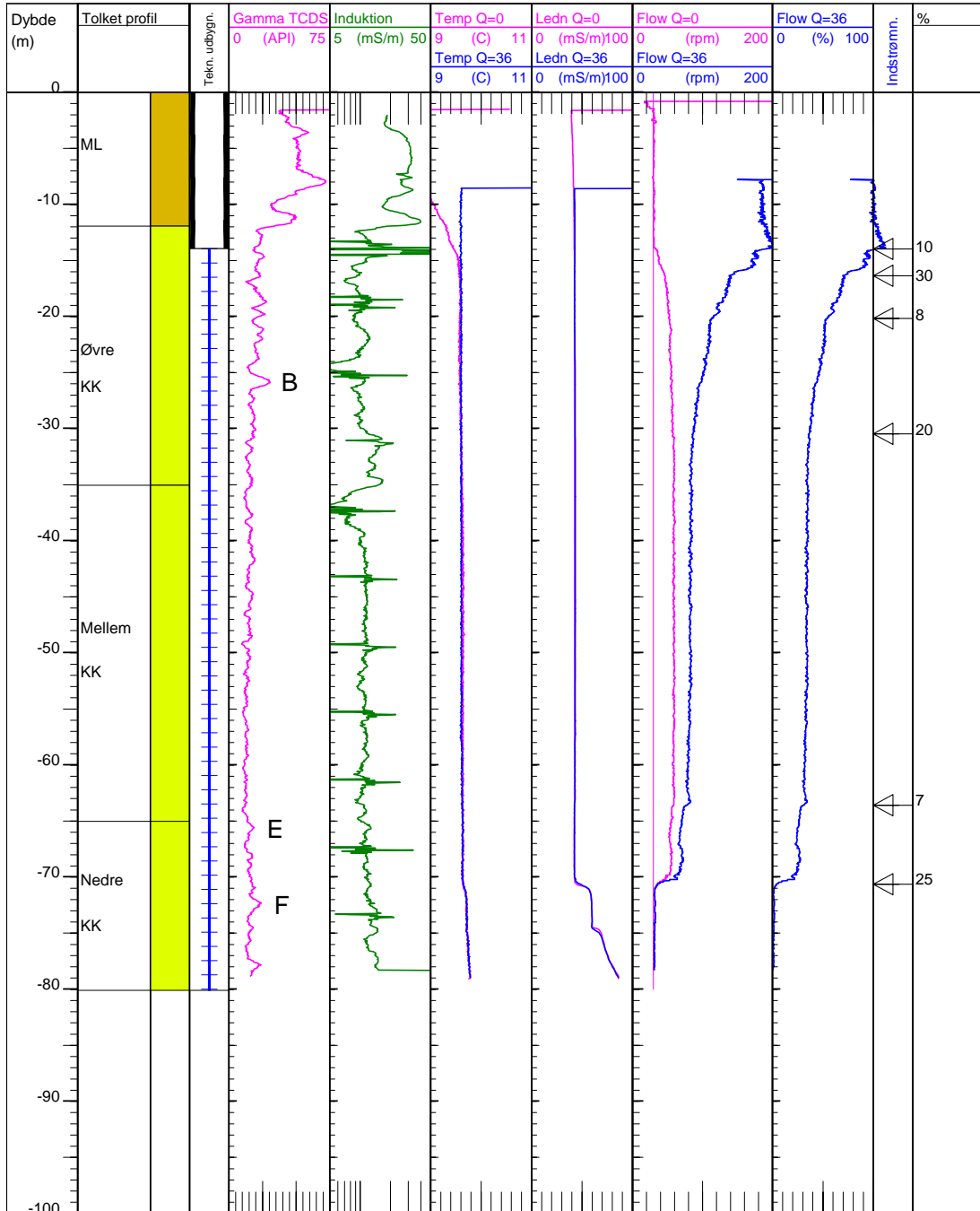
Korrelation af Gamma- og induktions-logs  
 Location: Hove - KE kildeplads: Boringerne Ub2 - 21 -Ub3  
 Reference: Terræn 9.3, 9.5 og 9.8 m

GEUS logging i 200.5247 og .5248: 9-10 marts 2005, og i 200.4571: 18 maj 2000  
 Udbygning under logging: 200.4571 og 200.5248 åbne, 200.5247 filtersat

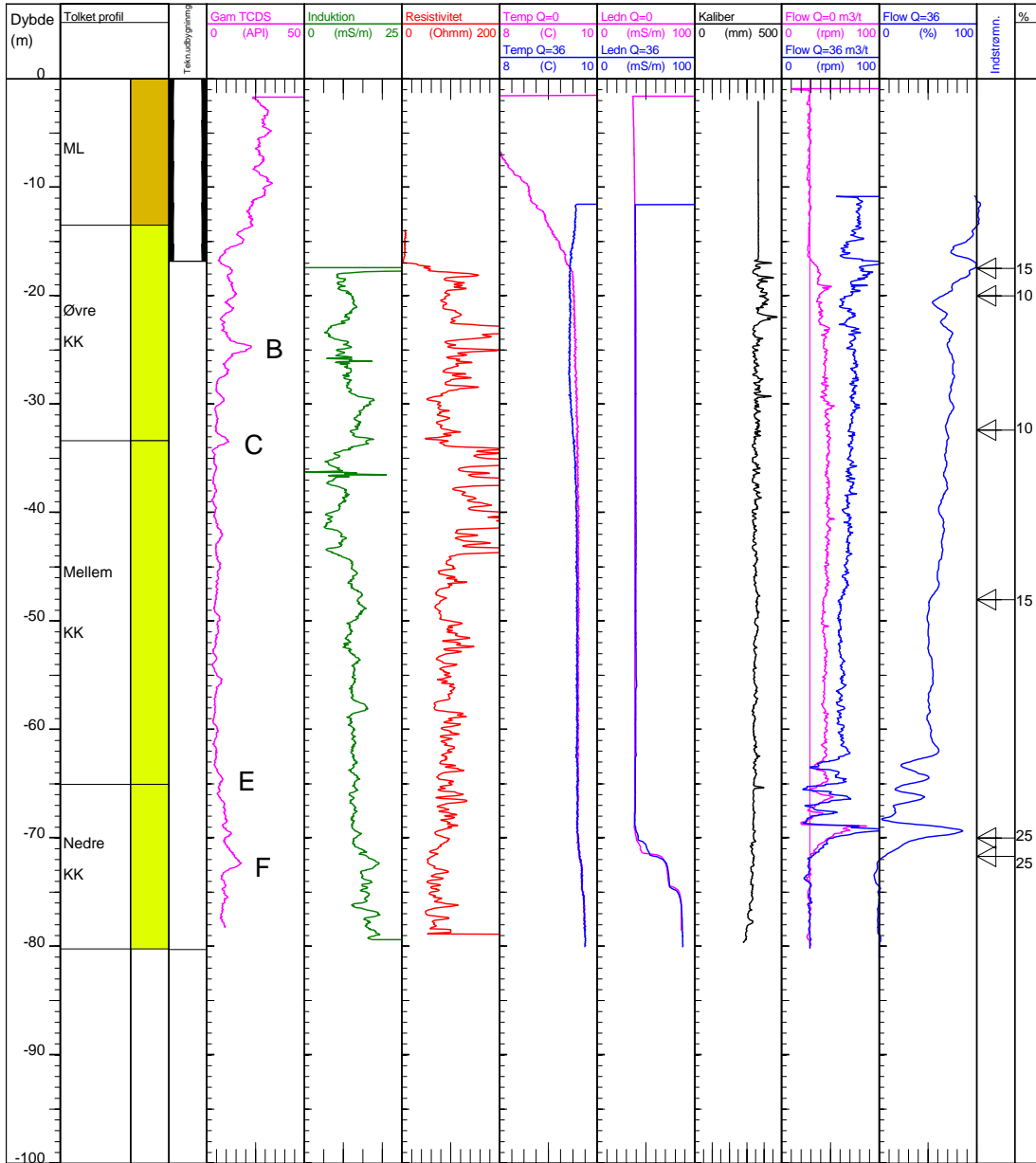


# BILAG 2

DGU nr. 200.5247 (GEUS logging 10. marts 2005)  
 Hove - KE kildeplads, Bor. Ub2  
 Reference: Terræn (kote 9.3 m)



DGU nr. 200.5248 (GEUS logging 9. marts 2005)  
 Hove - KE kildeplads, Bor. Ub3  
 Reference: Terræn (kote 9.8 m)



# BILAG 4

DGU nr. 200.4571 (GEUS logging 18. maj 2000)  
 Location: Hove - KE kildeplads, Bor. B21  
 Reference: Terræn (kote 9.5 m)

