

Vigersted Kildeplads Københavns Energi

Borehulslogging - forundersøgelser for ombygning, 2003

Kurt Klitten og Erik Clausen



Vigersted Kildeplads Københavns Energi

Borehulslogging - forundersøgelser for ombygning, 2003

Kurt Klitten og Erik Clausen

Indhold

1.	Introduktion og undersøgelsesprogram	4
2.	Sammenfatning af resultater	7
2.1	Tekniske forhold	7
2.2	Geologi	7
2.3	Saltvandspåvirkning.....	8
2.4	Indstrømningsfordeling	9
2.5	Konklusion	9
3.	Log resultater og geologi	11
3.1	Korrelation af Induktions-logs	11
3.2	Korrelation af Resistivitets-logs	12
3.3	Korrelation af Gamma-logs.....	12
4.	Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer	14
4.1	Erstatningsboring 16A (212.1298)	14
4.1.1	Tekniske forhold.....	14
4.1.2	Lagfølge	14
4.1.3	Indstrømningszoner	15
4.1.4	Ledningsevne og temperatur, samt saltvand	15
4.2	Erstatningsboring 17A (212.1299)	16
4.2.1	Tekniske forhold.....	16
4.2.2	Lagfølge	16
4.2.3	Indstrømningszoner	16
4.2.4	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	17
4.3	Erstatningsboring 18A (212.1303)	18
4.3.1	Tekniske forhold.....	18
4.3.2	Lagfølge	18
4.3.3	Indstrømningszoner	19
4.3.4	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	19
4.4	Erstatningsboring 19A (212.1304)	20
4.4.1	Tekniske forhold.....	20
4.4.2	Lagfølge	20
4.4.3	Indstrømningszoner	20
4.4.4	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	21
4.5	Erstatningsboring 20A (212.1305)	21
4.5.1	Tekniske forhold.....	21
4.5.2	Lagfølge	21
4.5.3	Indstrømningszoner	22
4.5.4	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	22
4.6	Erstatningsboring 21A (212.1306)	22

4.6.1	Tekniske forhold.....	22
4.6.2	Lagfølge	23
4.6.3	Indstrømningszoner	23
4.6.4	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	24
4.7	Pejleboring KV1158 (212.328).....	24
4.7.1	Tekniske forhold.....	24
4.7.2	Lagfølge	24
4.7.3	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	25
4.8	Pejleboring KV1159 (212.332).....	25
4.8.1	Tekniske forhold.....	25
4.8.2	Lagfølge	26
4.8.3	Ledningsevne og temperatur samt saltvand	26
4.8.4	Heat pulse flow målinger og intern strømning	26

5. Bilags liste 28

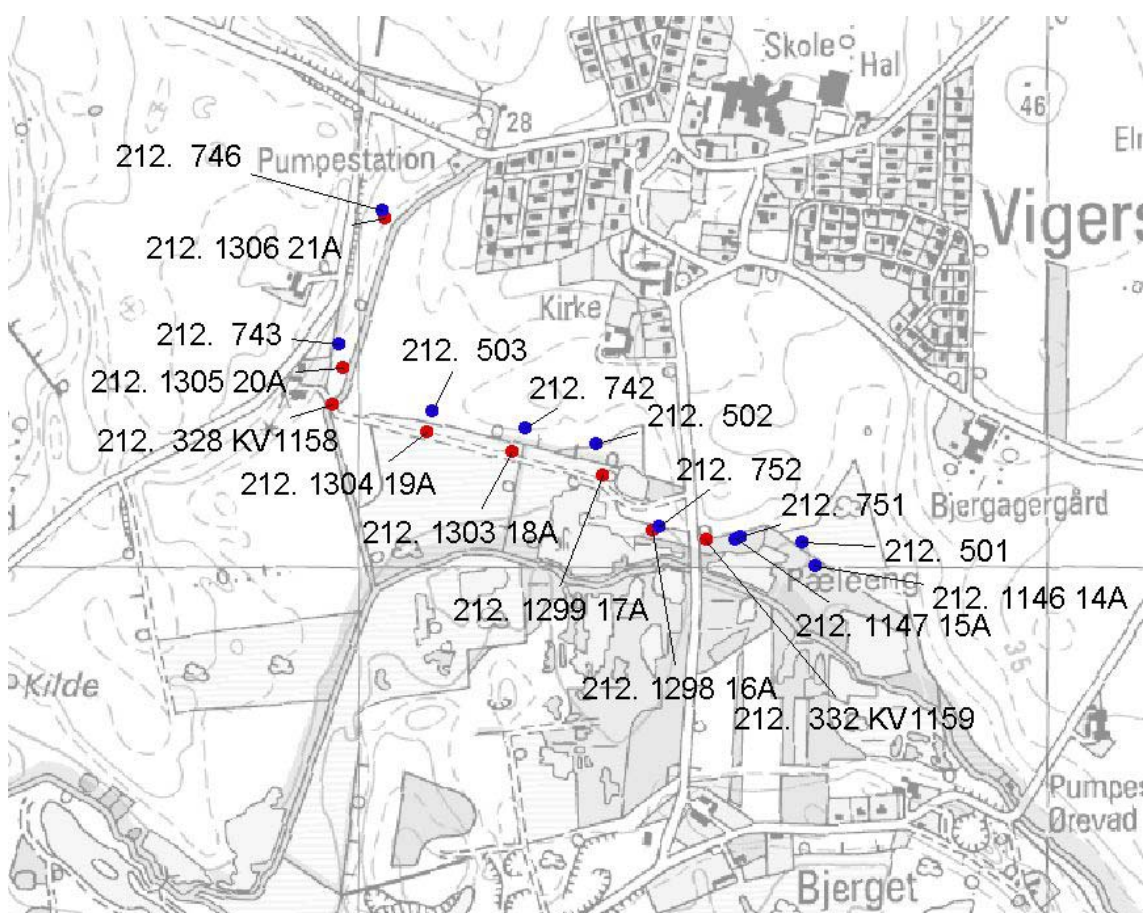


Fig. 1.1: Vigersted kildeplads – de undersøgte boringer er “marker”et med rødt – ældre indvindingsboringer er “marker”et med blåt.

1. Introduktion og undersøgelsesprogram

Logging undersøgelsen for Københavns Energi af 6 nye erstatningsboringer fra november 2002 på Vigersted kildeplads Vest blev udført af GEUS i juni 2003 med henblik på at vurdere risikoen for fremtidige klorid problemer i de nye erstatningsboringer, og om muligt rådgive omkring tiltag til nedsættelse af evt. risiko for klorid belastning. Erstatningsboringerne er ført til ca. 10 m større dybde end de gamle boringer, se Fig. 1.2., og viser generelt et højere kloridindhold end de gamle boringer, selv om sammenligningsgrundlaget er noget uensartet, se tabel 1.1 nedenunder. Ud over de 6 erstatningsboringer 16A, 17A, 18A, 19A, 20A og 21A udførtes der også logging i de to dybe pejleboringer, KV1158 og 1159, for at se, om der sker opstrømning af kloridholdigt grundvand.

Tabel 1.1: Klorid i råvandsprøver fra Vigersted kildeplads

21	21A	20	20A	19	19A	18	18A	17	17A	16	16A	15	15A	14	14A
18/ 66		18/ 66		22/ 58		18/ 66		21/ 58		20/ 66		20/ 66		21/ 58	
40/ 91						110/ 91								222/ 91	
37/ 97								74/ 97					282/ 95	243/ 94	249/ 97
41/ 99								87/ 99							277/ 99
41/ 01	47/ 02		98/ 02		74/ 02		203/ 02	73/ 01	124/ 02		195/ 02				239/ 01
	40/ 03		89/ 03				265/ 03		157/ 03		396/ 03				

Indvindingen på kildepladsen sker fra de Palæocæne Grønsandsaflejringer (Selandien), nærmere bestemt fra Lellinge Grønsand formationen, som består af vekslende lag af grålige glaukonitholdige hærdnede sand- og kalklag med indlejrede lerlag. Ovenover Lellinge Grønsand formationen, der som oftest kaldes Grønsandskalken og kan blive helt op til 85 m i tykkelse (Stenlille 1 – gaslager boring), træffes den mere ensartede Kerteminda Mergel formation, der er en fed blød kalkrig lysegrå ler, der kan blive helt op til 100 m i tykkelse (Slagelse 1 - olieborings). På nærværende kildeplads er der i enkelte af indvindingsboringerne truffet Kerteminda Mergel, men kun nogle få meter. Kildepladsens to pejleboringer KV 1158 og 1159, som er ældre (1954) og dybere end indvindingsboringerne, er ført helt igennem de Palæocæne aflejringer og nogle få meter ned i Danien kalken. I begge disse er hele den gennemborede serie af Grønsandsaflejringer benævnt Palæocænt ler (= Kerteminda Mergel), hvilket er usandsynligt og antagelig må skyldes et for ringe prøvemateriale.

Verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte boringer opnås ved gamma-log, induktions-log og resistivitets-log, medens ledningsevne & temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om eventuel saltvandspåvirkning, indikation på intern strømning uden pumpning, samt identifikation af indstrømningszoner under pumpning. En fastsættelse af indstrømningen i de enkelte indstrømningszoner i procent udføres flow-log under pumpning fra boringen, samt en kaliber-log. Sidstnævnte er

nødvendig, fordi variation i borehullets diameter og især forholdet mellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i kalken lige under forerøret vil influere stærkt på flow-loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørs diameteren, og disse kan være indikation på gennemtæringer.

Nedenfor i tabel 1.2 ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der er udført i hver af borerne. I Boring 19A gennemførtes kun et begrænset program på grund af forhindring i boringen allerede ca. 9 m under forerøret. I pejleboringerne kunne der ikke gennemføres pumpning og derfor ikke flow-log eller temperatur & ledningsevne-log under pumpning.

Fra de fem nye erstatningsboringer, hvor fuldt logging program kunne gennemføres, blev der udtaget vandprøve af pumpevandet ved afslutning af flow-log. Disse vandprøver er af KE blevet analyseret for klorid, se foregående tabel.

Tabel 1.2: Logging undersøgelser på Vigersted kildeplads, juni 2003

Boring: DGU nr. Log metoder:	21 A 212.1306	20 A 212.1305	KV 1158 212.328	19 A 212.1304	18 A 212.1303	17 A 212.1299	16 A 212.1298	KV 1159 212.332
Gamma	X	X	X	X	X	X	X	X
Resistivitet	X	X	-	-	X	X	X	-
Induktion	X	X	X	-	X	X	X	X
Kaliber	X	X	-	-	X	X	X	-
Temp. & Ledningsevne	X	X	X	X	X	X	X	X
Temp. & Ledn. Under pumpn.	X	X	-	-	X	X	X	-
Flow uden pumpning	X	X	-	-	X	X	X	-
Flow under pumpn.	X	X	-	-	X	X	X	-
Heat pulse basis flow	-	-	-	-	-	-	-	X (*)

(*) udført 8 juli

Kildepladsen var i drift under logging arbejdet, d.v.s. de gamle borer var stadig tilkøbet på hævert pumpesystemet.

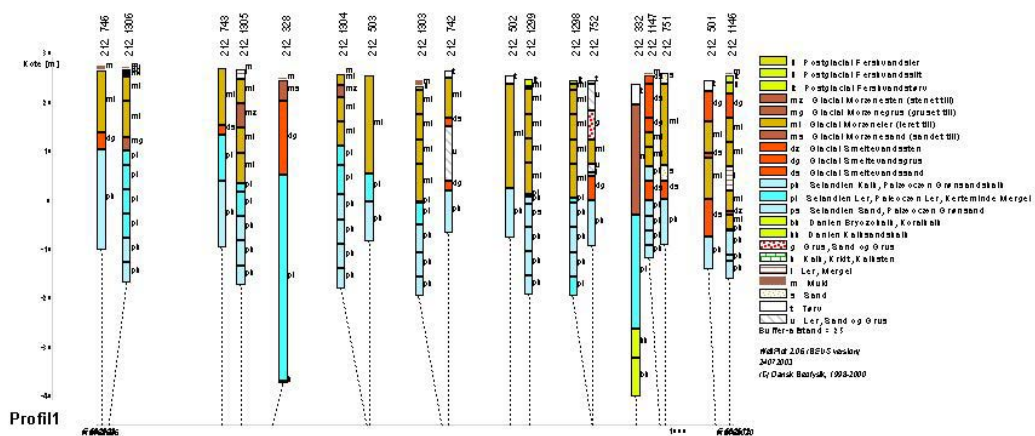


Fig. 1.2: Geologisk længdesnit fra boring 21A (212.1306) i nordvest til boring 14A (2121.1146) i øst.

2. Sammenfatning af resultater

2.1 Tekniske forhold

De 6 erstatningsboringer er alle boret til 44 m dybde under terræn og når følgelig ned til en kote varierende fra ca. -16 til -19 m, idet terræn koten varierer fra +25 til +28 m. Fem af boringerne er udbygget med $\varnothing=210$ mm stålforerør til ca. 25 m dybde, medens boring 21A kun har 20 m forerør ($\varnothing=210$ mm). Generelt er forerøret ført nogle få meter ned i de prækvartære aflejringer. Fra forerøret og til bunden af boringerne står de som åbent hul boret med en diameter på 330 mm, som dog for enkelte af boringerne udviser store variationer, 18A og 21A. Kaliber-log blev ikke udført i Boring 19A på grund af forhindring (sammenstyrning?) allerede 9 m under forerøret. Kun en af de 5 øvrige boringer viste opsiltning af de nederste 1-2 m.

De to pejleboringer fra 1954 er henholdsvis 62 og 64 m dybe, d.v.s. de når ned til kote -36.7 m (KV1158) og -39.3 m. De er rørsat med et 3" jernrør til henholdsvis 21.3 m (KV1158) og 29.2 m dybde (KV 1159). Under denne dybde står de som åbne boringer. Kaliber-log er ikke udført i disse, idet de primært er blevet undersøgt med henblik på verifikation af den prækvartære lagfølge samt for bestemmelse af vandets ledningsevne og for indikation på evt. opstrømning.

2.2 Geologi

Verifikation af den kvartære lagfølge kan kun opnås fra gamma-log, idet resistivitets- og induktions-log ikke giver brugbare resultater i den rørsatte del af boringen. Men da fokus i nærværende undersøgelse har været den prækvartære lagserie, er der generelt ikke foretaget en diskussion af den kvartære lagfølge med mindre der argumenteres for en ændring af grænsen mellem den kvartære og prækvartære del af lagserien. Eksempelvis synes gamma-loggen i boring 20A at indikere, at kvartærets tykkelse her er væsentlig mindre end de ca. 24 m, som boreprofilet angiver, idet der ses en lav gamma-stråling allerede fra 14 m dybde. Denne lave gamma-stråling er karakteristisk for den ensartede Kertemind Mergel formationen, som derfor er vurderet til at underlejre kvartæret allerede i 14 m dybde svarende til den nærliggende gamle boring 20. Tilsvarende argumenteres der for, at tykkelsen af kvartæret er 2 m større i boring 19A, 3 m mindre i boring KV1158, og 2 m mindre i boring KV1159.

Overfladen af Lellinge Grønsand formationen (Grønsands kalken) er ret jævn i området, idet den ligger i kote 0 til kote +2. I de østlige boringer (KV1159, 16A, 17A og 18A) er den kvartære erosion nået ned til eller lidt under denne overflade, således at der her ikke eller kun som et 1-2 m tykt lag optræder Kertemind Mergel formation over Lellinge Grønsands formationen. I de vestlige boringer (19A, KV1158, 20A og 21A) er kvartæret tyndere og der ses her flere meter (7 - 14 m) Kertemind Mergel over Lellinge Grønsands formationen.

Tykkelsen af den vekslende og stærkt lagdelte Lellinge Grønsand formation er i dette område ca. 33 m, idet den underlejrende Danien kalk træffes i kote -31 til -33. De 33 m Lellinge Grønsand formation kan inddeles i log-sekvenser ud fra logging mønstrene på såvel resistivitets-log som induktions-log, der kan korreleres fra boring til boring. Der er således identificeret 7 karakteristiske "marker" horisonter, B til H, ved deres høje resistiviteter/lave induktions ledningsevne, og disse repræsenterer markante hårde kalkbænke. Såvel ved grænsen mellem Lellinge Grønsand og Kerteminde Mergel formationen som ved overgangen til Danien kalk optræder der ligeledes en tæt kalk bænk, som er "marker"et på log-figurerne ved henholdsvis I og A. De genkendelige log-sekvenser i Lellinge Grønsand er således benævnt: A-B, B-C, C-D, D-E, E-F, F-G, G-H og H-I, og de øvre sekvenser fra D op til I har i modsætning til de nedre sekvenser fra A til D, mange flere kalkbænke end de angivne "marker" horisonter. Log-sekvens grænserne og dermed lagstillingen i Lellinge formationen er omtrent vandret. Således er laghældningen kun ca. 2 m på de ca. 600 m imellem KV1159 og KV1158, og tilsyneladende parallel (konkordant) med Danien kalkens overflade.

På bilagene 4.1 til 4.8, som viser resultaterne af de udførte borehuls logs, er der dels angivet det tilhørende boreprofil fra GEUS database "JUPITER", og dels det korrigerede boreprofil ud fra tolkningen af logs, samt endvidere en kolonne med angivelse af de "Marker" horisonter, der kan identificeres i den enkelte boring.

2.3 Saltvandspåvirkning

Ved en sammenligning af kloridindholdet i blandingsvandet med ledningsevnen af blandingsvandet bestemt ved ledningsevne-log ses der en entydig sammenhæng, desto højere ledningsevne, jo højere kloridindhold, Fig. 2.3.

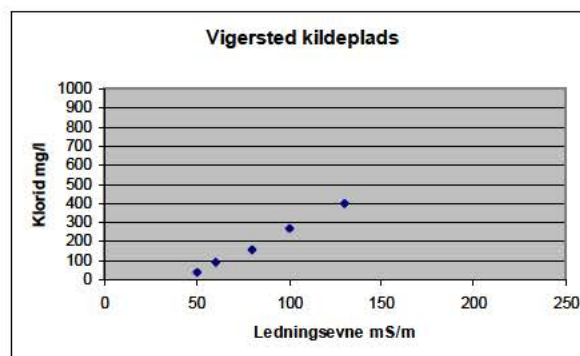


Fig.2.3: Kloridindhold og ledningsevne i blandingsvand fra 5 erstatningsboringer.

Logging af de to pejleboringer har påvist, at der sker en opstrømning af vand med forhøjet ledningsevne fra bunden af disse boringer, hvor der er truffet Danien kalk, og at dette kloridholdige vand fra Danien kalken udstrømmer til zoner i Grønsandskalken, hvorfra erstatningsboringerne indvinder vand. Den absolut højeste ledningsevne, 210 mS/m svarende til ca. 800 mg/l klorid, ses i det opstrømmende vand i den østlige pejleboring, KV1159. Her har en Heat Pulse flow log senere vist, at der opstrømmer 1200 l/time uden,

at der pumpes fra de nye erstatningsboringer, men kun fra de ældre erstatningsboringer samt fra de gamle hævert boringer.

Tabel 2.3: Klorid/årstal og ledningsevne i råvandsprøver fra Vigersted kildeplads

21A	20A	KV1158	19A	18A	17A	16A	KV1159	15A	14A
								282/95	249/97
									277/99
47/02	98/02		74/02	203/02	124/02	195/02			239/01
40/03	89/03			265/03	157/03	396/03			
50 mS/m	60 mS/m	105 (*) mS/m	70 (*) mS/m	100 mS/m	80 mS/m	130 mS/m	210 (*) mS/m		

(*): Ikke bestemt på strømmende vand under pumpning, idet der ikke blev eller ikke kunne pumpes fra boringen.

Af tabellen ovenfor fremgår det tydeligt, at erstatningsboringerne i den vestlige del har lavere klorid og ledningsevne end boringerne i den østlige del.

2.4 Indstrømningsfordeling

Flow-log undersøgelsen af de fem af erstatningsboringerne har vist, at indstrømningsfordelingen i forhold til log-sekvenserne I-H, H-G, G-F, F-E og E-D varierer fra boring til boring. Ingen af erstatningsboringerne er ført så dybt ned i Lellinge Grønsand formationen, så at de nederste og samtidig mere lerede tre log-sekvenser D-C, C-B og B-A er repræsenteret. Ved sammenligning af indstrømningsprocenter, log-sekvenser og kloridindhold i det oppumpede blandingsvand ses, at de to boringer 18A og 16A, som har størstedelen af indstrømningen i de dybest repræsenterede log sekvenser, E-D og F-E, også har det højeste kloridindhold.

Tabel 2.4: Indstrømningsfordeling i forhold til log-sekvenser og klorid

Log sekvens	21A	20A	18A	17A	16A
I-H		50		20	
H-G	20	15	10	10 65	15
G-F	35 10 5	20		5	20
F-E	30	15	50 40		
E-D					65
Klorid mg/l	40	89	265	157	396

2.5 Konklusion

Ledningsevne- og temperatur-log i de to pejleboringer (KV 1158 og 1159) indikerer opstrømmende kloridholdigt grundvand fra bunden af disse boringer. Dette vurderes at være medvirkende årsag til de konstaterede forhøjede klorid indhold i erstatnings-indvindingsboringerne. Opstrømningen er verificeret i den ene boring (KV1159) ved Heat Puls flow måling, som viste en opstrømning på ca. 1200 l/time af vand med en ledningsevne på ca. 210 mS/m svarende til ca. 800 mg/l klorid. Denne opstrømning er

formodentlig årsagen til, at netop de to nærmestliggende boringer, 15A og 16A, se Tabel 1.1., er de mest kloridbelastede indvindingsboringer på kildepladsen.

I den anden pejleboring KV 1158 kendes opstrømningens størrelse ikke, men ledningsevnen 105 mS/m og dermed klorid indholdet er ikke så højt som i KV1159. En ledningsevne på 105 mS/m ved aktuel temperatur betyder dog, at der i KV1158 opstrømmer vand til Grønsandskalken med mere end 265 mg/l klorid jævnfør Fig.2.3.

Det anbefales derfor at lukke de to pejleboringer, men på en sådan måde, at udviklingen i kloridindholdet og vandtrykket i Danien kalken under Lellinge formationen fremover kan monitoreres. Derfor foreslås etableret et 1" pejlerør med 4 m filter med gruskastning i bunden af hver af de to boringer, og med lerspærre fra top filter og op til forerør, d.v.s. fra ca. 58 m under terræn i såvel KV1158 som KV 1159 og op til forerøret.

De fem erstatningsboringer, 21A, 20A, 18A, 17A og 16A er alle ca. 44 m dybe. De tre østlige, 16A, 17A og 18A og den vestligste, 21A, når ned i log-sekvens D-E i Lellinge Grønsands formationen (Grønsandskalken), medens 20A kun lige når ned i til log-"marker" E. De har alle særdeles høje specifikke kapaciteter (79 til 325 m³/t/m) på grund af den store vandføringsevne (sprækkepermeabilitet) i netop den øvre del af Lellinge Grønsands formationen, log-sekvenserne fra D og op til I, hvor der optræder mange hårde kalkbænke,.

Boring 16A er den mest klorid belastede boring med 396 mg/l klorid, og samtidig også den boring, som har størst indstrømning fra den dybeste log-sekvens, D-E. Derfor foreslås det tillige, at afspærre den nederste del af denne boring, d.v.s. forsegle fra bunden og op til 37 m under terræn. Den specifikke ydelse må derefter forventes at falde med ca. 65%, d.v.s. fra 100 m³ /t/m til ca. 35 m³ /t/m, men boringen vil stadig være en højtydende boring.

Selv om boring 18A også har et højt kloridindhold, 265 mg/l, så anbefales det ikke at afspærre bunden af denne boring, idet 90% af indstrømningen sker fra de nederste 2-3 m af boringen.

Hvis der på kildepladsen eksisterer andre dybe pejleboringer end de to, som er medtaget i nærværende undersøgelse, så anbefales det at lade foretage log-undersøgelser af disse og omfattende det samme log-program som er udført i KV1159, se Bilag 4.8.), og med det formål at verificere lagfølgen og identificere, om der sker strømning af kloridholdigt dybere grundvand op til Grønsandskalken (Lellinge Grønsand).

3. Log resultater og geologi

3.1 Korrelation af Induktions-logs

Induktions log er udført i 7 af de 8 borer, og denne type log giver kun brugbare data i den åbne borings sektion fra ca. 1 m under stål forerøret. På Bilag 3.1. er Induktions-logs fra de 7 borer sammenstillet i et profil fra vest, boring 21A (212.1306) til øst, boring KV 1159 (212.332). Grænsen mellem den kvartære og den palæocæne lagserie er indtegnet ud fra boreoplysningerne.

Der ses at være en tydelig korrelation mellem genkendelige logmønstre i de 7 borer. Korrelationslinier er indlagt mellem karakteristiske "marker" horisonter, som alle er markante minima, der hver afspejler tilstedeværelsen af et mindst 20 cm tykt lag af hård, tæt kalk, en kalkbænk, i den palæocæne del af lagserien.

I de to dybe pejleboringer, som begge er ført ned i Danien Kalk, ses følgende "marker"horisonter:

Horisont A – som samtidig er øverste tætte kalkbænk i Danien kalken og dermed undergrænsen af Grønsandsaflejringerne.

Horisont B – i Lellinge Grønsand ca. 2 m over horisont A.

Horisont C – i LG ca. 6 m over horisont B.

Horisont D – i LG ca. 4 m over horisont C.

Dette log mønster ABCD er kendt fra logging i andre borer i Ringsted området, og er karakteristisk for den nedre del Lellinge Grønsand. Imellem disse fire tætte kalkbænke består formationen overvejende af kalkholdigt ler.

Horisont E – i LG ca. 6 m over horisont D ses i pejleboringerne samt i 16A, 17A og 18A.

Horisont F – i LG ca. 4 m over horisont E ses i alle borerne undtagen 19A (ingen log).

Horisont G – i LG ca. 3 m over horisont F ses i alle borerne undtagen 19A (ingen log).

Horisont H – i LG ca. 5 m over horisont G ses i alle borer undtagen 19A og KV1159.

Horisont I – som er den øverste kalkbænk i Lellinge Grønsand og dermed undergrænsen af den overlejrende Kerteminde Mergel, hvis Induktions log mønster er velkendt ved sit generelt højere og mindre varierende niveau sammenlignet med Lellinge grønsand.

Denne horisont I ses i 21A, 20A og KV1158 og korrelationsliniernes hældning indikerer, at den ville have optrådt i kote +2 i boring 19A, hvis Induktions-log var udført i denne boring, idet kvartæret først begynder i kote +11. Horisonten træffes ikke i de fire østlige bringer, 18A, 17A, 16A og KV1159, hvor Kerteminde Mergel formationen ses at være bort eroderet, eller hvor stålforerøret umuliggør log identifikation (17A) af top Lellinge Grønsand.

I modsætning til log-sekvenserne fra A til D er sekvenserne fra D til I mere vekslende og indeholder mange flere kalkbænke end de angivne "marker" horisonter.

Generelt ses laghældningen i Lellinge Grønsands formationen at hælde svagt mod vest fra boring KV1159 til KV1158 og være konform med overfladen af Danien kalken, som ligger 2 m dybere i KV1158 sammenlignet med KV1159, afstand 575 m. Fra KV1158 knækker profil linien mod nord, hvorfor der er tale om en mindre synklinal foldning mellem KV1158 og boring 21A, idet "marker" horisonterne ligger lidt dybere i den mellemliggende boring 20A.

3.2 Korrelation af Resistivitets-logs

Resistivitets-log er udført i 6 af de 8 boringer, og denne type log giver ligeledes først brugbare data i den åbne borings sektion fra ca. 1 m under stål forerørret. På Bilag 3.2. er resistivitets-log i de 6 boringer sammenstillet på samme måde som Induktions-logs, d.v.s i et profil fra vest, boring 21A (212.1306) til øst, boring KV 1159 (212.332). Grænsen mellem den kvartære og den prækvartære lagserie er indtegnet ud fra boreoplysningerne.

Der ses også på denne type log at være en tydelig korrelation mellem genkendelige logmønstre i de 6 boringer. De markante minima "marker" horisonter på induktions-logs kan genfindes på resistivitets-logs som markante maksima. Dog kan "marker" horisonterne A, B, C og D kun identificeres i den ene dybe pejleboring, KV1159, idet resistivitets-log ikke blev udført i den anden, KV1158. Korrelationslinierne fra disse "marker" horisonter i KV1159 er derfor trukket ud fra Bilag 3.1, d.v.s. på basis af viden fra induktions-log om "marker" horisonterne A, B, C og D i KV1158.

Selv om der således kun foreligger resistivitets-log over "marker" horisont "I" i 2 boringer, 20A og 21A, er det dog nok til at illustre den store forskel imellem det rolige log mønster i den homogene Kerteminde Mergel lagserie og det stærkt varierende log mønster i den meget lagdelte Lellinge Grønsand.

Igen er det værd at hæfte sig ved det karakteristiske log mønster ABCD nederst i Lellinge Grønsand, som indikerer overvejende ler imellem "marker" horisonterne i modsætning til den øvre del af Lellinge Grønsand, DEFGHI, der øjensynligt har mange flere kalkbænke imellem "marker" horisonterne end i sektionen ABCD.

3.3 Korrelation af Gamma-logs

Gamma-log er udført i alle 8 boringer, og denne type log giver informative data i såvel den åbne borings sektion som i sektionen med forerør. På Bilag 3.3. er Gamma-loggene fra de 8 boringer sammenstillet på samme måde som ved Induktions-logs og Resistivitets-logs. Der er ikke forsøgt foretaget nogen korrelation af log-mønstrene i den kvartære del af lagserien, idet denne undersøgelse udelukkende fokuserer på den prækvartære lagserie. Der vil imidlertid i kapitlet om de enkelte boringer blive givet korte kommentarer til en sammenligning af gamma-log med boreprofilets oplysninger om kvartæret. I øvrigt ses der på gamma-loggene i de 6 erstatningsboringer, at der lige ovenover bund af forerør ("marker"et på Bilag 3.3) optræder et markant højere gamma strålingsniveau over et dybdeinterval på ca. 2 m. Denne gamma-"marker" har imidlertid ikke en geologisk årsag, men skyldes ler- eller cement spærre udenfor forerørret.

Med hensyn til korrelation af gamma-log mønstrene i prækvartæret er det ikke så ligetil at finde genkendelige mønstre, idet der kun er forholdsvis få markante "marker" horisonter. Overgangen fra Kerteminde Mergel til Lellinge Grønsand, horisont "I", kan genfindes som en gamma-top, og der ses generelt en lavere gamma stråling i Kerteminde Mergel sammenlignet med Lellinge Grønsand.

I Lellinge Grønsand formationen er det kun muligt entydigt at identificere een af de tidligere omtalte "marker" horisonter som en gamma-"marker", nemlig et gamma maksima ved horisont G.

Overgangen fra Lellinge Grønsand til Danien kalk, horisont A, ses normalt som en overgang fra et højere strålingsniveau i Lellinge Grønsand til et generelt lavere i Danien Kalken, hvilket også er tilfældet i de to pejleboringer, der ifølge borebeskrivelsen begge er nået ned i Danien kalk.

4. Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer

4.1 Erstatningsboring 16A (212.1298)

4.1.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 25,1 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -18,9 m. De nederste par meter kunne dog ikke logges (opsiltet?). Rovandspejlet står ca. 2 m under terræn, og boringen er meget højtydende med en specifik kapacitet på 100 m³/t/m.

Kaliber-loggen viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til 25 m dybde, kote +0,1 m. Herunder er boringen åben med en diameter på 330 mm. Der ses kun nogle få intervaller med større diameter. Det er ikke bunden af boringen, som ses nederst i kote -16, men derimod opstart af kaliber-loggen, som sker 1 m over bunden for at undgå kalkslam i sonden.

Propel flow-log uden pumpning (Basis Flow Q=0, Bilag 4.1) ved en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælletal i forerørs sektionen og den øverste del af det åbne hul på 30 rotationer per min (rpm), hvorimod det fra kote -9 til bund af boring ligger på 45 rpm. Sidstnævnte viser, at der foregår en intern strømning fra bunden af boringen og op til ca. kote -9.

4.1.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse består de **kvartære lag** af et tyndt tørvelag over moræneler til 24 m, hvilket er bekræftet af gamma-loggens forholdsvis høje strålingsniveau, se Bilag 4.1. Det markant højere strålingsniveau på de nederste par meter af sektionen med forerør skyldes udbygningen med lerspærre.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 25 m, 30 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 24 m dybde med 1 m palæocæn ler, 15 m Grønsandskalk og 4 m palæocæn ler. Fra korrelationen af induktions- og resistivitets-log, se kapitel 3. og 3.2, er det påvist, at "marker" horisont H træffes i kote -2 i denne boring, og at "marker" I skulle være 4 m ovenover, d.v.s. i kote +2 m. Da kvartæret starter i kote +1, mangler "marker" I, og dermed er Kertemind Mergel formationen ikke til stede i denne boring, men kun Lellinge Grønsand formationen. Sidstnævnte repræsenteret fra 1 m under "marker" I og ned til ca. 1,5 m over "marker" D. "marker" horisonterne er vist i søjlen "Mark." på Bilag 4.1.

4.1.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 21 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 5 m dybde. Loggens rotationstal RPM (Flow Q=21 m³/t) er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stålførerøret er sat til 100 pct. efter først et fradrag for basis rotationstallet for Q=0 m³/t (=30 rpm), og dernæst efter reduktion med 60% af tællertallet på grund af diameterindsnævringen fra åben hul, 330 mm, til forerør, 210 mm. $(RPM_2/RPM_1 = V_2/V_1 = (D_2/D_1)^2$; Reduktion af RPM₂ er lig $RPM_2 - RPM_1 = RPM_2 - RPM_2 * (D_1/D_2)^2 = RPM_2 (1 - (210/330)^2) = RPM_2 (1 - 0.4) = RPM_2 * 0.6$)

Den resulterende flow-log, Bilag 4.1., viser, at størstedelen af indstrømningen, 65%, sker nederst i boringen. Der kommer også et bidrag på ca. 20% i intervallet kote -10 til -9 m, samme zone, hvortil der sker intern opstrømning fra bunden, når der ikke pumpes på boringen, samt yderligere et bidrag på 15% i ca. kote -4. Indstrømningszoner og bidrag i pct er vist i sidste søjle på Bilag 4.1.

4.1.4 Ledningsevne og temperatur, samt saltvand

Ledningsevne-loggen under pumpning med Q = 21 m³/t, se Bilag 4.1., viser en konstant værdi på 130 mS/m fra boringens bund og op til pumpen. Temperatur-loggen under pumpning viser ligeledes konstant værdi, 9.5 C⁰, fra bunden af boringen og op til pumpen. Begge disse logs bekræfter således flow-loggens information om, at størstedelen af indstrømningen sker fra bunden af boringen. Det er bemærkelsesværdigt, at de to øvrige indstrømningsbidrag, i ca. kote - 10 og kote -4 m ikke ændrer hverken temperatur eller ledningsevne. Det indstrømmende vand fra disse zoner har således samme temperatur og ledningsevne som det opstrømmende vand fra bunden. Dette må skyldes, at det vand, som nu indstrømmer fra disse to zoner, stammer fra opstrømningen fra bunden i perioden, hvor boringen ikke er i drift jævnfør basis flow log for Q=0, se ovenfor under 4.1.1.

Ledningsevne-log og temperatur-log uden pumpning viser samme værdier i den åbne boringssektion som de tilsvarende logs under pumpning, hvilket bekræfter intern strømning i den åbne sektion uden pumpning. Derimod er ledningsevnen af det stagnerende vand i forerøret væsentlig lavere, 65 mS/m, medens temperaturen som ventet falder mod mindre dybde, 0.7 C⁰ per 20 m svarende til en gradient på 3.5 C⁰ per 100 m.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen sker på de nederste 2-3 m af boringen (under kote -16), og dette vand har forhøjet kloridindhold, 396 mg/l med en ledningsevne på 130 mS/m ved aktuel temperatur , 9.5 C⁰.

4.2 Erstatningsboring 17A (212.1299)

4.2.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 25,3 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -18,7 m. Der kunne udføres logging helt til bund. Rovandspejlet står ca. 1.6 m under terræn, og boringen er særdeles højtydende med en specifik kapacitet på 325 m³/t/m.

Kaliber-loggen viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til 24.6 m dybde, kote +0,7m. Herunder er boringen åben med en diameter på ca. 330 mm. Der ses kun nogle få intervaller med større diameter, således især de to øverste meter lige under forerøret. Det er ikke bunden af boringen, som ses nederst i kote -18, men derimod opstart af kaliber-loggen, som sker 1 m over bunden for at undgå kalkslam i sonden.

Propel flow-log uden pumpning (Basis Flow Q=0, Bilag 4.2) ved en nedsænkning hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal på 30 rot/min i forerørs sektionen og på de nederste ca. 10 m af det åbne borehul, hvorimod tælleantallet fra kote ca. -1 til kote ca. -8 m ligger på 38 rot/min. Der foregår således en intern strømning fra kote -8 og op til kote -1.

4.2.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse består de **kvartære lag** ligesom i boring 16A af et tyndt tørvelag over moræneler til 23,5 m dybde, hvilket er bekræftet af gamma-loggens forholdsvis høje strålingsniveau, se Bilag 4.2. Det markant højere strålingsniveau på de nederste par meter af sektionen med forerør skyldes udbygningen med lerspærre.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 24 m, 25.5 m, 30 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 23.5 m dybde med 0.5 m palæocæn ler, 1.5 m Grønsandskalk, 4.5 m Grønsand og 14 m Grønsandskalk. Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se ovenfor, er det påvist, at "marker" horisont H træffes i kote -3 i denne boring, og at "marker" I derfor skulle være at finde i kote +1 m. Da kvartæret starter i kote +2 m, så er det sandsynligt, at det observerede 0.5 m tykke palæocæne lerlag øverst i prækvartæret netop tilhører Kertemindel Mergel formationen. Lellinge Grønsand formationen er følgelig tilstede i boringen fra "marker" I i kote +1 og ned til ca. 2.5 m over "marker" D.

4.2.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 21 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 10 m dybde. Loggens rotationstal (Flow Q=21

m^3/t) er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stålførerøret er sat til 100 pct. efter først et fradrag for basis rotationstallet for $Q=0 \text{ m}^3/\text{t}$ (=30 rpm), og dernæst efter reduktion med 60 pct. af tælleallet på grund af diameter indsnævringen fra åben hul (i gennemsnit øverst 340 mm) til førerør (210 mm).

Den resulterende flow-logse Bilag 4.2., viser, at størstedelen af indstrømningen, 65%, sker i kote - 8 m, d.v.s. ca. 9 m under førerøret. 3-4 m under denne zone er der en mindre indstrømning, på 5%, og ovenover den højtydende zone sker der yderligere indstrømning i ca. kote - 5 m, 10%, og i kote -1, 20%. Der kommer således væsentlige bidrag, i alt 85%, fra de samme to zoner, kote -8 og kote -1 m, hvorimellem der sker indtern strømning, når der ikke pumpes på boringen. Indstrømningszoner og bidrag i pct er vist i sidste søjle på Bilag 4.2.

4.2.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-loggen under pumpning (Ledn $Q=21 \text{ m}^3/\text{t}$) og uden pumpning er fuldstændig ens fra bunden af boringen og op til den øverste indstrømningszone i kote -1 m ca. 1 m under førerøret, se Bilag 4.2. Herfra og opefter har det stagnerende vand uden pumpning en anelse lavere ledningsevne end blandingsvandet under pumpning. Ledningsevnen falder trinvis i kote -14, -12, -10, -8, -6 og -1 m fra 130 mS/m til 80 mS/m. Disse trin indikerer hver især en indstrømning af vand med en mindre ledningsevne end blandingsvandet i den pågældende dybde. Der er således tale om nogle flere indstrømningszoner end identificeret ved flow-loggen, se ovenfor under 4.2.3. De nye indstrømninger, som ikke har kunnet ses ved flow-loggen må således være ganske små indstrømninger, som ikke ændrer flow log propel omdrejningstallet væsentligt.

Temperatur-loggen under pumpning og uden pumpning er ligeledes fuldstændig ens fra bunden af boringen og op til den øverste indstrømningszone. Herfra og opefter har det stagnerende vand i førerøret uden pumpning som ventet en faldende gradient. Fra bunden og op til den øverste indstrømningszone falder temperaturen trinvis med ca. 0.1 C^0 ved tre af indstrømningszonerne, nemlig i kote -14, -8 og -1. De øvrige indstrømninger påvirker således ikke temperatur loggen.

Dette at såvel ledningsevne- som temperatur log under og uden pumpning er ens og med samme trinvis ændringer viser at der ikke alene sker en intern strømning uden pumpning fra kote -8 og op til kote-1, men at den opadgående strømning sker helt fra bunden omend den er svag.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen sker i kote -8, men dertil kommer indstrømning i 6 andre dybdeniveauer, hvoraf nogle er ganske små, samt en meget lille opstrømning fra bunden. Det resulterende blandingsvand har forhøjet kloridindhold, 157 mg/l med en ledningsevne på 80 mS/m ved aktuel temperatur , 9.2 C^0 .

4.3 Erstatningsboring 18A (212.1303)

4.3.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 25,1 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -18,9 m. Logging kunne gennemføres helt til bund af boringen. Rovandspejlet står ca. 2 m under terræn, og boringen er meget højtydende med en specifik kapacitet på 100 m³/t/m.

Kaliber-loggen viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til 25 m dybde, kote +0,1 m. Herunder er boringen åben med en diameter på 330 mm. Der ses dog flere intervaller med såvel større som mindre diameter end 330 mm, hvor sidstnævnte tyder på sektioner, hvor der er sket indfald af kalk. Det mest markante er i kote -5.5 m, hvor diameteren i det åbne hul kun er 210 mm. Det er ikke bunden af boringen, som ses nederst i kote -18.3, men derimod opstart af kaliber-loggen, som sker lidt over bunden for at undgå kalkslam i sonden.

Propel flow-log uden pumpning (Basis Flow Q=0, Bilag 4.3) ved en nedsænkning hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal i forerørs sektionen på 30 rotationer/min, hvorimod det fra bund af boring og op til kote -4 ca. 4 m under forerøret ligger højere end 30 rpm. Fra bunden og op til kote -17 ligger det på 42 rpm. Her sker der en markant stigning til 70 rpm, hvorefter det falder af flere omgange til de 30 rpm i kote -2 m. Sidstnævnte viser, at der foregår en intern strømning fra bunden af boringen og op til ca. kote -2, men med flere udstrømninger undervejs.

4.3.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse består de **kvartære lag** af et tyndt tørvelag over moræneler til 24 m, hvilket er bekræftet af gamma-loggens forholdsvis høje strålingsniveau, se Bilag 4.3. Det markant højere strålingsniveau på de nederste par meter af sektionen med forerør skyldes udbygningen med lerspærre.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 25 m, 29.5 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 24.8 m dybde med 4.7 m palæocæn ler og 14.5 m Grønsandskalk. Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se ovenfor, er det påvist, at "marker" horisont H træffes i kote -2.5 m i denne boring, og at "marker" I derfor skulle være at finde i kote +1.5 m. Da kvartæret starter i 24.8 m dybde, kote +0.3 m, så er "marker" I og dermed Kertemindel Mergel formationen ikke tilstede i den prækvartære lagserie, men kun Lellinge Grønsand formationen. Sidstnævnte er repræsenteret fra 1 m under "marker" I og ned til ca. 1m over "marker" D.

4.3.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 21 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 10 m dybde. Loggens rotationstal (Flow Q=21 m³/t) er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stålførerøret er sat til 100 pct. efter først et fradrag for basis rotationstallet for Q=0 m³/t (=30 rpm), og dernæst efter reduktion med 60 pct. af tællertallet på grund af diameter indsnævringen fra åben hul til forerør (fra 330 mm til 210 mm).

Den resulterende flow-log, Bilag 4.3., er meget uregelmæssig på grund af problemer med nedføringen som følge af den ujævne diameter i det åbne borehul. Men den viser dog tydeligt, at størstedelen af indstrømningen, 90%, sker nederst i boringen, d.v.s. 40% kommer fra bunden og ca. 50% fra en zone 2 m over bunden i kote -17. Dertil kommer et bidrag på ca. 10% i intervallet kote -4 til -2 m, d.v.s. samme zone, hvortil der sker intern opstrømning fra bunden, når der ikke pumpes på boringen. Indstrømningszoner og bidrag i pct er vist i sidste søjle på Bilag 4.3.

4.3.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-loggen under pumpning (Ledn Q=21 m³/t) viser en konstant værdi på 100 mS/m fra boringens bund og op til pumpen, Bilag 4.3. Temperatur-loggen under pumpning viser ligeledes konstant værdi, 9.5 C⁰, fra bunden af boringen og op til pumpen. Begge disse logs bekræfter således flow-loggens information om, at størstedelen af indstrømningen sker fra bunden af boringen. Det er igen bemærkelsesværdigt, at den øvre indstrømning, i ca. kote - 4 til -2 m ikke ændrer hverken temperatur eller ledningsevne. Det indstrømmende vand fra denne zone har således samme temperatur og ledningsevne som det opstrømmende vand fra bunden. Dette må skyldes, at det vand, som nu indstrømmer fra den øvre zone, stammer fra opstrømningen fra bunden i perioden, hvor boringen ikke er i drift jævnfør basis flow log for Q=0, se ovenfor under afsnit 4.3.1.

Ledningsevne-log og temperatur-log uden pumpning viser samme værdier i den åbne boringsektion som de tilsvarende logs under pumpning, hvilket bekræfter intern strømning fra bund og til den øvre zone i den åbne sektion, når der ikke pumpes fra boringen. Derimod er ledningsevnen af det stagnerende vand i forerøret væsentlig lavere, 65 mS/m, medens temperaturen som ventet falder mod mindre dybde, 0.7 C⁰ per 20 m svarende til en gradient på 3.5 C⁰ per 100 m.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen sker på de nederste par meter af boringen (under kote -16), og dette vand har forhøjet kloridindhold, 265 mg/l med en ledningsevne på 100 mS/m ved aktuel temperatur , 9.5 C⁰.

4.4 Erstatningsboring 19A (212.1304)

4.4.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 26,7 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -17,3 m. Logging kunne kun gennemføres til kote -3, d.v.s. til ca. 9 m under forerør, på grund af en forhindring i det åbne borehul (sammenskridning?). Rovandspejlet står ca. 3 m under terræn, og boringen er særdeles højtydende med en specifik kapacitet på 180 m³/t/m på trods af forhindringen, hvilket ikke tyder på en total sammenskridning af boringen.

Der blev hverken udført Kaliber-log eller propel flow-log på grund af den nævnte forhindring for logging, men derimod gamma, samt ledningsevne- og temperatur log ned til forhindringen i kote -3 m.

4.4.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse består de **kvartære lag** af moræne grus og ler til 15 m, hvorimod gamma-loggens forholdsvis høje strålingsniveau, se Bilag 4.4., til ca. 17 m tyder på, at kvartæret er ca. 2 m tykkere. Det markant højere strålingsniveau på de næste par meter nedenunder kvartæret skyldes udbygningen med lerspærre.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 18.9 m, 24.8 m, 30 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 15 m dybde med 9.8 m palæocæn ler og derunder 19.2 m Grønsandskalk, d.v.s. med en grænse mellem Kerteminde Mergel og Lellinge Grønsand beliggende i kote +2. Selv om der ikke er udført hverken resistivitets- eller induktions-log i boringen, så sandsynliggør korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se ovenfor, i de nærliggende boringer, at "marker" horisont H træffes i kote -3, d.v.s. i 29.7 m dybde i denne boring. Endvidere viser gamma-loggen, at "marker" I og dermed grænsen mellem Lellinge Grønsand og den overliggende Kerteminde Mergel træffes i kote +1, hvilket er ca. 1 m under boreprofilets grænse. Lellinge Grønsand er således repræsenteret i boringen fra top af formationen, "marker" I og ned til lidt under "marker" E, medens Kerteminde Mergel formationen er repræsenteret fra kote +1 og i hvert fald op til kote +8 m, og muligvis til kote +10 m (kan ikke afgøres ved gamma-loggen p.g.a. lerspærrens høje strålingsniveau).

4.4.3 Indstrømningszoner

Der er ikke udført flow-log.

4.4.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-log og temperatur-log uden pumpning er udført til ca. 9 m under forerøret, og de tyder begge to på intern strømning i boringen fra kote -2 og op til kote +5 ca. 1 m under forerøret, idet begge er helt konstante og med højere værdier end oppe i forerøret, se Bilag 4.4. Den observerede ledningsevne på 65 mS/m indikerer et lettere forhøjet kloridindhold i den undersøgte del af boringen, nemlig ca. 110 mg/l ifølge Fig. 2.3.

4.5 Erstatningsboring 20A (212.1305)

4.5.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 27,4 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -16,6 m. Logging kunne gennemføres helt til bund af boringen. Rovandspejlet står ca. 4 m under terræn, og boringen er meget højtydende med en specifik kapacitet på 79 m³/t/m.

Kaliber-loggen viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til 25 m dybde, kote +3 m. Herunder er boringen åben med en diameter på 330 mm, og den åbne boring står med en forholdsvis jævn overflade og med kun mindre diameterudvidelser på op til 380 mm.

Propel flow-log uden pumpning (Basis Flow Q=0, Bilag 4.5) ved en nedsænkning hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælletal i forerørs sektionen såvel som i den åbne boringssektion på 30 rotationer/min, hvorfor der ikke synes at forekomme intern strømning i boringen.

4.5.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse består de **kvartære lag** til 23.2 m dybde (kote ca. +4) af moræneler med et indlejret lag af morænegrus. Gamma-loggens forholdsvis lave strålingsniveau, se Bilag 4.5, fra lerspærrelaget med det markant højere strålingsniveau på de nederste par meter af sektionen med forerør, og op til kote +14 m indikerer en fejl i prøvetagningen, idet der synes at være tale om Kerteminde Mergel, som jo netop har en karakteristisk lav gamma-stråling.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 25 m, 30 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 23.2 m dybde med 6.8 m palæocæn ler og 14 m Grønsandskalk. Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se ovenfor, er det påvist, at "marker" horisont I træffes i kote -0.5, d.v.s. i ca. 27 m dybde i denne boring. Jævnfør bemærkningen ovenfor optræder der således Kerteminde Mergel fra denne dybde/kote og op til kote +14, d.v.s. til ca. 13 m dybde. Lellinge Grønsand formationen er derimod repræsenteret fra top, "marker" I, til ca. "marker" E.

4.5.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 21 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 10 m dybde. Loggens rotationstal (Flow Q=21 m³/t) er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stålførerøret er sat til 100 pct. efter først et fradrag for basis rotationstallet for Q=0 m³/t (=30 rpm), og dernæst efter reduktion med 60 pct. af tællertallet på grund af diameter indsnævringen fra åben hul til forerør (fra 330 mm til 210 mm).

Den resulterende flow-log, Bilag 4.5., viser tydeligt indstrømning i fire niveauer, nederst i kote -15, i kote -11, kote -9 samt i kote -4 m, og de procentiske indstrømninger er henholdsvis 15% (nederst), 20%, 15% og 50%, se sidste søjle på Bilag 4.5.

4.5.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-loggen under pumpning (Ledn Q=21 m³/t) viser en konstant værdi på 60 mS/m fra boringens bund og op til pumpen, Bilag 4.5. Temperatur-loggen under pumpning viser ligeledes konstant værdi, 9.5 C⁰, fra bunden af boringen og op til pumpen. Det er igen bemærkelsesværdigt, at de fire forskellige indstrømninger ikke giver sig til kende på hverken temperatur- eller ledningsevne-log. Det indstrømmende vand fra de fire zoner har således samme temperatur og ledningsevne, hvilket tyder på, at der trods alt alligevel sker en svag intern strømning mellem de nedre og de øvre zoner, selv om denne ikke kan registreres af basis flow-loggen for Q=0, se ovenfor under 4.5.1.

Ledningsevne-log og temperatur-log uden pumpning viser samme værdier som de tilsvarende logs under pumpning, men kun i den del af den åbne boringssektion, hvor der er indstrømningszoner. Dette bekræfter formodningen ovenfor om intern strømning fra de nedre zoner til den øvre, når der ikke pumpes fra boringen. Derimod er ledningsevnen af det stagnerende vand i den øverste del af åben hul sektionen og i forerøret væsentlig lavere, 40 mS/m, medens temperaturen i den samme sektion som ventet falder mod mindre dybde, 0.7 C⁰ per 20 m svarende til en gradient på 3.5 C⁰ per 100 m.

Konklusion: Hovedindstrømningen på 50% til boringen sker fra en øvre zone i kote -4, medens de øvrige 50% indstrømmer fra tre nedre zoner. Det oppumpede blandingsvand har en ledningsevne på 60 mS/m og et lettere forhøjet klorid indhold på 89 mg/l.

4.6 Erstatningsboring 21A (212.1306)

4.6.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet af KE til 27,9 m. Boringen er udført af KE i november 2002 til 44 m dybde, d.v.s. til kote -16,1 m. Logging kunne gennemføres næsten til bund af boringen. Rovandspejlet

står ca. 5 m under terræn, og boringen er særdeles højtydende med en specifik kapacitet på 180 m³/t/m.

Kaliber-loggen viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til 20 m dybde, kote +8 m. Herunder er boringen åben med en diameter, som i den øverste ca. 7 m varierer meget, fra 360 til 600 mm, og i den nedre del er mere konstant ca. 330 mm.

Propel flow-log uden pumpning (Basis Flow Q=0, Bilag 4.6) ved en nedsænkning hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal i forerørs sektionen og et stykke ned i den åbne boringssektion på 30 rotationer/min, hvorimod det under kote -2 m er noget højere. Der er således indikation på intern strømning opad fra bunden og op til kote -2m.

4.6.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse går de **kvartære lag** til 17.2 m dybde (kote +0.7 m) og består af moræneler med et lag af morænegrus nederst. Gamma-loggen bekræfter denne lagfølge, se Bilag 4.6., og ligeledes lerspærren på de nederste par meter af sektionen med forerør, hvor der ses et markant højere strålingsniveau.

Den **prækvartære lagserie** er ifølge prøvebeskrivelsen baseret på prøver fra 20 m, 25, 30 m, 35 m, 40 m og 44 m, og har resulteret i et profil fra 17.2 m dybde med 17.8 m palæocæn ler til kote -7, og kun 9 m Grønsandskalk nederst. Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se ovenfor, er det påvist, at "marker" horisont I træffes i kote +1.0, d.v.s. i ca. 27 m dybde i denne boring. Borebeskrivelsen er således forkert, idet Kertemind Mergelen ikke er 17.8 m tyk, men kun ca. 10 m, og underlejret af Lellinge Grønsand formationen, som er repræsenteret fra top, "marker" I, til ca. 2 m under "marker" E.

4.6.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en konstant ydelse på 21 m³/t, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 10 m dybde. Loggens rotationstal (Flow Q=21 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 Q=0 m³/t (=30 rpm), og dernæst efter reduktion med 68 pct. af tælleantallet på grund af diameter indsnævringen fra åben hul til forerør (fra 380 mm til 210 mm).

Den resulterende flow-log, Bilag 4.6., er noget varierende på grund af effekten af den stærkt varierende diameter, men synes at indikere, at al indstrømning sker fra fem niveauer på de nederste 10 m af boringen. Således i kote -12, i kote -10, kote -9, kote -8 samt i kote -5 m, og de procentiske indstrømninger er henholdsvis 30% (nederst), 5%, 10%, 35% og 20%, se sidste søjle på Bilag 4.6.

4.6.4 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-loggen under pumpning (Ledn $Q=21 \text{ m}^3/\text{t}$) viser en konstant værdi på 50 mS/m fra boringens bund og op til pumpen, Bilag 4.6. Temperatur-loggen under pumpning viser ligeledes konstant værdi, 9.4 C^0 , fra bunden af boringen og op til pumpen. Det er igen bemærkelsesværdigt, at de fem forskellige indstrømninger på de nederste 10 m af boringen ikke giver sig til kende på hverken temperatur- eller ledningsevne-log. Det indstrømmende vand fra de fire zoner har således samme temperatur og ledningsevne, hvilket må skyldes den interne strømning mellem de nedre og de øvre zoner, jævnfør basis flow-loggen for $Q=0$, se ovenfor under afsnit 4.6.1.

Ledningsevne-log og temperatur-log uden pumpning viser samme værdier som de tilsvarende logs under pumpning, men kun i den del af den åbne boringssektion, hvor der er indstrømningszoner. Dette bekræfter formodningen ovenfor om intern strømning fra de nedre zoner til den øvre, når der ikke pumpes fra boringen. Derimod er ledningsevnen af det stagnerende vand i den øverste del af åben hul sektionen og i forerøret væsentlig lavere, 35 mS/m, medens temperaturen i den samme sektion som ventet falder mod mindre dybde, 0.35 C^0 per 10 m svarende til en gradient på 3.5 C^0 per 100 m.

Konklusion: Indstrømningen sker fra fem zoner indenfor de nederste 10 m af boringen. Det oppumpede blandingsvand har en ledningsevne på 50 mS/m og et kun lettere forhøjet klorid indhold på 40 mg/l.

4.7 Pejleboring KV1158 (212.328)

4.7.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet til 25,5 m. Boringen er udført af Københavns Vandforsyning i juli 1954 til 62,2 m dybde, d.v.s. til kote $-36,7 \text{ m}$ formodentlig som en 4" mejselboring. Den er udbygget med et 3" jernforerør til 21.3 m dybde, d.v.s. til kote $+4.3 \text{ m}$. Logging kunne gennemføres næsten til bund af boringen. Rovandspejlet står ca. 2 m under terræn, og boringen er forholdsvis højtydende med en specifik kapacitet på $14 \text{ m}^3/\text{t}/\text{m}$.

Der er ikke udført Kaliber-log eller flow-log i boringen.

4.7.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse går de **kvartære lag** til 19.7 m dybde (kote $+5.8 \text{ m}$) og består af 4,7 m morænesand underlejret af 15 m smeltevandsgrus. Gamma-loggen, Bilag 4.7., tyder på, at kvartærets tykkelse ikke er 19.7 m, men kun 16.5 m, idet gamma-strålingsniveauet falder drastisk ved kote $+9 \text{ m}$. Lav gamma-stråling er netop karakteristisk for Kerteminde mergel formationen.

Der foreligger ikke oplysninger om, hvilket prøvemateriale der har ligget til grund for beskrivelsen af den **prækvartære lagserie**, som har resulteret i, at hele lagserien fra 19.7 m til 61.6 m er benævnt palæocæn ler, og at Danien kalken skulle træffes i 61.6 m dybde.

Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se kapitel 3.1 og 3.2, er det påvist, at "marker" horisont I træffes i kote +1.0, d.v.s. i ca. 26 m dybde i denne boring, og at Danien kalken ved "marker" A træffes i kote ca. -33 m, d.v.s. allerede i ca. 58.5 m dybde. Borebeskrivelsen er således forkert, idet Kerteminde Mergelen træffes fra kote ca. +9 til kote ca. +1 m, underlejret af Lellinge Grønsands formationen til kote -33 m, hvorunder Danien kalken træffes.

4.7.3 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-log og temperatur-log, Bilag 4.7., er udført alene uden pumpning fra boringen. Ledningsevne-loggen viser størst ledningsevne på de nederste ca. 21 m, hvor den er 105-110 mS/m. Fra denne dybde, kote -16 m, og opefter sker der 3 markante fald i ledningsevnen, således at denne er 40 mS/m fra kote -3 m. Et stykke oppe i forerøret falder ledningsevnen gradvis til 5 mS/m på de øverste 8 m af vandsøjlen. Tilsvarende viser temperatur-loggen højeste temperatur på de nederste 21 m, og ligeledes springvis fald ved kote -16, -11 og -3 m. Her ovenover viser temperaturen gradvise fald og stigninger.

Sammenfattende tyder ovennævnte variationer i såvel ledningsevne som temperatur på intern strømning fra bunden og opad til en zone i kote -3 m med kloridholdigt vand fra Danien kalk med ledningsevne på ca. 105 mS/m (mere end 265 mg/l Cl), som undervejs fra zoner i koterne -16 m og -11 m fortyndes med vand med lavere ledningsevne og temperatur. Ovenover kote -3 m er der stagnerende ferskvand, som øverst er ovenikøbet særdeles ferskt på grund af tyngdeadskillelse. Den strømningsmæssige tolkning ses på sidste søjle på Bilag 4.7.

4.8 Pejleboring KV1159 (212.332)

4.8.1 Tekniske forhold

Terrænkoten, som var referencepunktet for dybdeangivelsen ved logging undersøgelsen, er opgivet til 24,7 m. Boringen er udført af Københavns Vandforsyning i august 1954 til 64 m dybde, d.v.s. til kote -39,3 m formodentlig som en 4" mejselboring. Den er udbygget med et 3" jernforerør til 29.2 m dybde, d.v.s. til kote -4.5 m. Logging kunne gennemføres næsten til bund af boringen. Rovandspejlet står ca. 2 m under terræn, og boringen er forholdsvis højtydende med en specifik kapacitet på 16 m³/t/m.

Der er ikke udført Kaliber-log eller flow-log i boringen.

4.8.2 Lagfølge

Ifølge GEUS prøvebeskrivelse går de **kvartære lag** til 26.8 m dybde (kote -2.1 m) og består af 4,3 m tørv og derunder morænesand. Gamma-loggen, Bilag 4.8., tyder imidlertid på, at kvartærets tykkelse ligesom ved KV1158 er et par meter mindre, idet gamma-strålingsniveauet falder drastisk ved kote ca. 0 m. Lav gamma-stråling i forhold til det normale for kvartære lag er netop karakteristisk for Kerteminde mergel formationen såvel som for lellinge grønsand.

Der foreligger ikke oplysninger om, hvilket prøvemateriale der har ligget til grund for beskrivelsen af den **prækvartære lagserie**, som har resulteret i, at hele lagserien fra kote -2.1 til kote -25.5 m er benævnt palæocæn ler, og at Danien kalken skulle træffes fra kote -25.5, d.v.s. fra 50 m dybde.

Fra korrelationen af resistivitets- og induktions-log, se kapitel 3.1 og 3.2, er det påvist, at "marker" horisont A træffes i kote -31.5 m, d.v.s. først i 56.2 m dybde. Endvidere at "marker" G optræder i -7 m, og at "marker" H og I derfor ville kunne findes i henholdsvis kote -2 m og +2 m. Da kvartæret jævnfør ovenstående begynder i kote ca. 0, vil der øverst i den prækvartære lagserie ikke optræde palæocænt ler fra Kerteminde Mergel formationen, men kun Lellinge Grønsand repræsenteret fra ca. 2 m under "marker" I.

4.8.3 Ledningsevne og temperatur samt saltvand

Ledningsevne-log og temperatur-log, se Bilag 4.8., er udført alene uden pumpning fra boringen. Ledningsevne-loggen viser størst ledningsevne på de nederste ca. 14 m, hvor den er 210 mS/m. Fra denne dybde, kote -25 m, sker der et markant fald i ledningsevnen, som derefter er konstant 135 mS/m op til bund af forerør i kote -4 m. Her falder den gradvis til ca. 70 mS/m og igen ca. 14 m oppe i forerøret falder ledningsevnen til ca. 60 mS/m på de øverste 13 m af vandsøjlen. Tilsvarende viser temperatur-loggen højeste temperatur på de nederste 14 m, og ved denne dybde, kote -25 m et springvis fald, som herfra og op til forerøret er næsten konstant. I forerøret viser temperaturen små, men gradvise fald og stigninger.

Sammenfattende tyder ovennævnte variationer i såvel ledningsevne som temperatur på intern strømning fra bunden og opad til en zone i kote -25 m med kloridholdigt vand fra Danien kalk med ledningsevne på ca. 210 mS/m (mere end 800 mg/l Cl), som fra denne dybde, ca. 50 m, fortyndes med vand med lavere ledningsevne og temperatur. Ovenover kote -4 m, d.v.s. i forerøret er der stagnerende ferskvand.

4.8.4 Heat pulse flow målinger og intern strømning

For at verificere ovenstående tolkning af ledningsevne- og temperatur-log som indikation på opstrømmende kloridholdigt vand fra Danien kalken udførtes der den 8 juli diskrete Heat Pulse Flow målinger i dybderne 16, 27, 28, 28.7, 29, 30, 31, 39, 47, 48, 49, 50, 52, 55, 59 m. Ved denne måling registreres rejsetiden for en varmepuls at nå fra pulsgiver til en af de

to følere, som sidder 5 cm henholdsvis over og under pulsgiver, hvorved også strømningsretningen bliver fastlagt (opad eller nedad).

Resultatet ses på HPF søjlen på Bilag 4.8. Fra 59 m og op til 50 m dybde, kote –25 m, registreredes en rejsetid til den øvre føler på mellem 1 og 1.5 sek, som for en 4" boring betyder en opstrømning på ca. 1200 l/time fra Danien kalken og op til denne zone i Lellinge Grønsands formationen i kote –25 m.

Fra 49 m til 31 m kunne der ikke registreres nogen strømning, men derimod igen fra 30.1 til 28.8 m dybde observeredes en rejsetid igen til den øvre føler på mellem 4 og 6 sek. Her er der således tale om en intern øvre strømning i Grønsands formationene fra ca. 2 m under forerøret til en zone lige under forerøret på ca. 300 l/timen. På målepositionerne i forerøret blev der ikke observeret strømning.

Tolkningen af ledningsevne- og temperatur-log skal således modificeres i henseende til, at der ikke sker fortynding af det opstrømmende kloridholdige vand fra Danien, men at dette udstrømmer i en zone i Grønsands formationen i ca. 50 m dybde, kote ca. –25 m.

5. Bilags liste

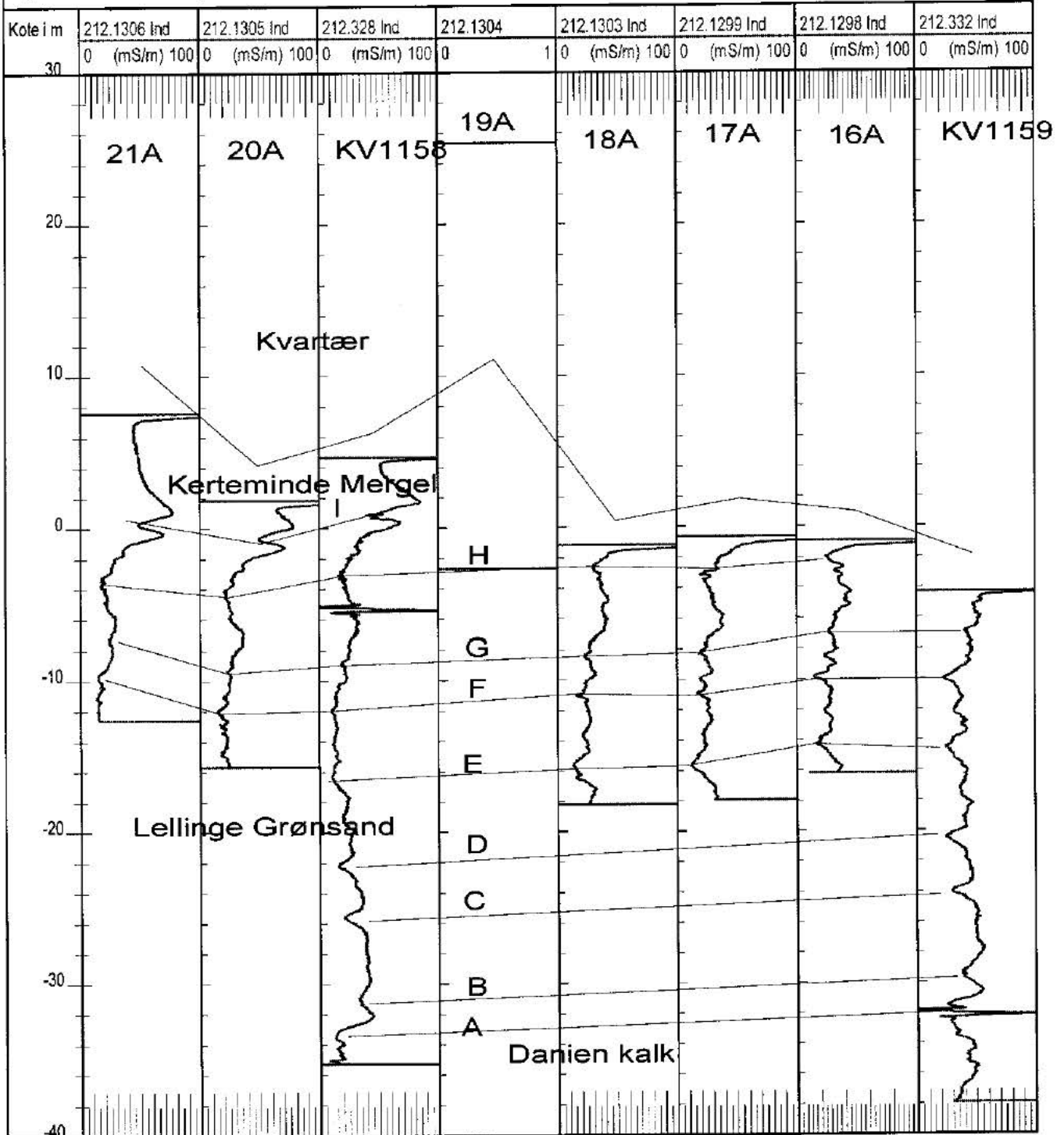
- Bilag 3.1: Log-stratigrafisk korelation af induktions-logs
- Bilag 3.2: Log-stratigrafisk korrelation af resistivitets-logs
- Bilag 3.3: Log-stratigrafisk korrelation af gamma-logs
- Bilag 4.1: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 16A (DGU 212.1298)
- Bilag 4.2: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 17A (DGU 212.1299)
- Bilag 4.3: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 18A (DGU 212.1303)
- Bilag 4.4: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 19A (DGU 212.1304)
- Bilag 4.5: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 20A (DGU 212.1305)
- Bilag 4.6: GEUS borehuls logs fra erstatningsboring 21A (DGU 212.1306)
- Bilag 4.7: GEUS borehuls logs fra pejleboring KV1158 (DGU 212.328)
- Bilag 4.8: GEUS borehuls logs fra pejleboring KV1159 (DGU 212.332)

Induktions log korrelation

File Name: M:\Vlogdata\Sjælland\Kbh. E\ Vigersted\indkorr_vigersted.HDR

Bilag 3.1.

Vigersted Kbh.E Kildeplads

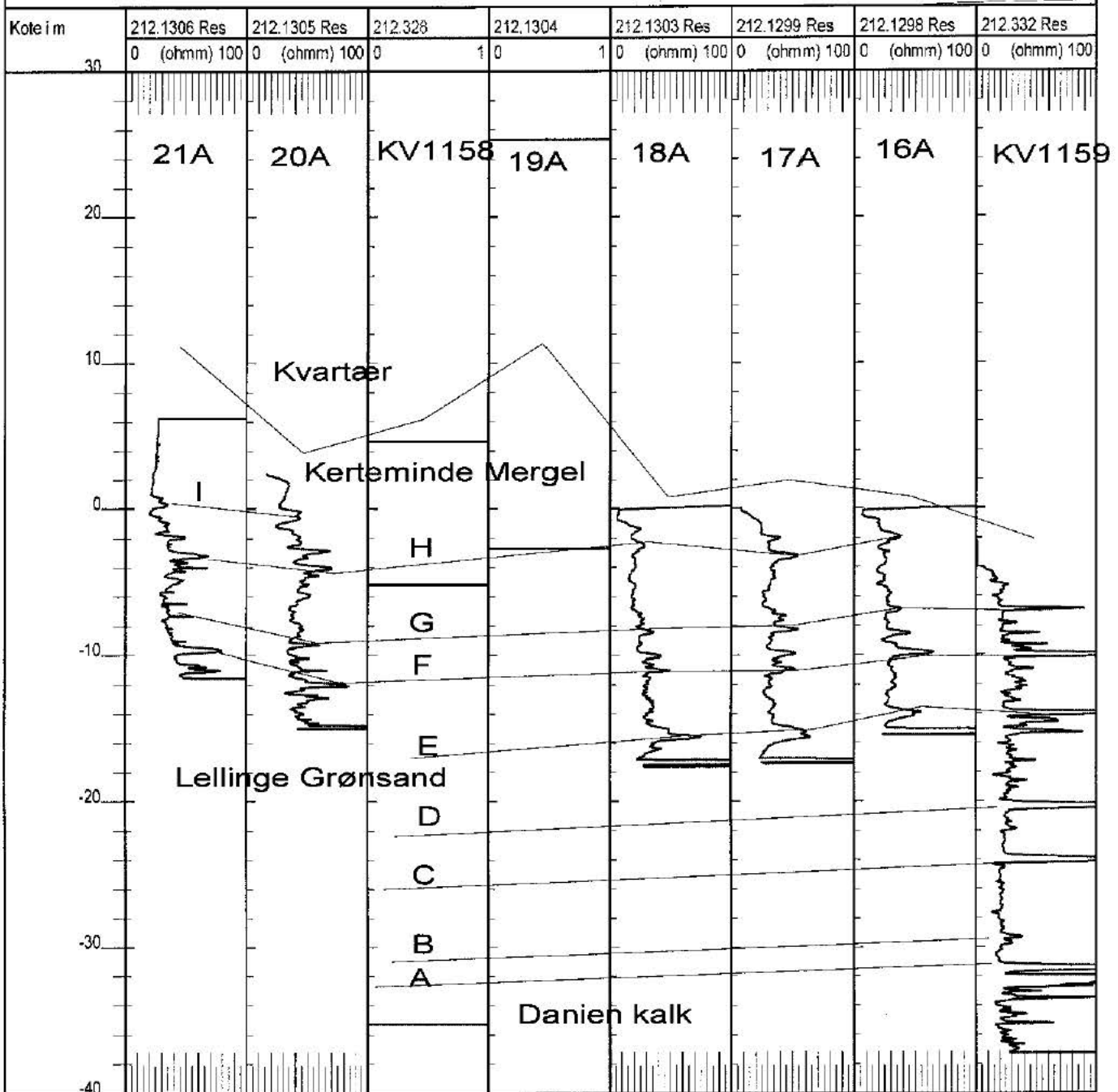


Resistivets log korrelation

File Name: M:\Vlogdata\Sjælland\Kbh. E\ Vigersted\vreskorr_vigersted.HDR

Vigersted Kbh.E Kildeplads

Bilag 3.2.

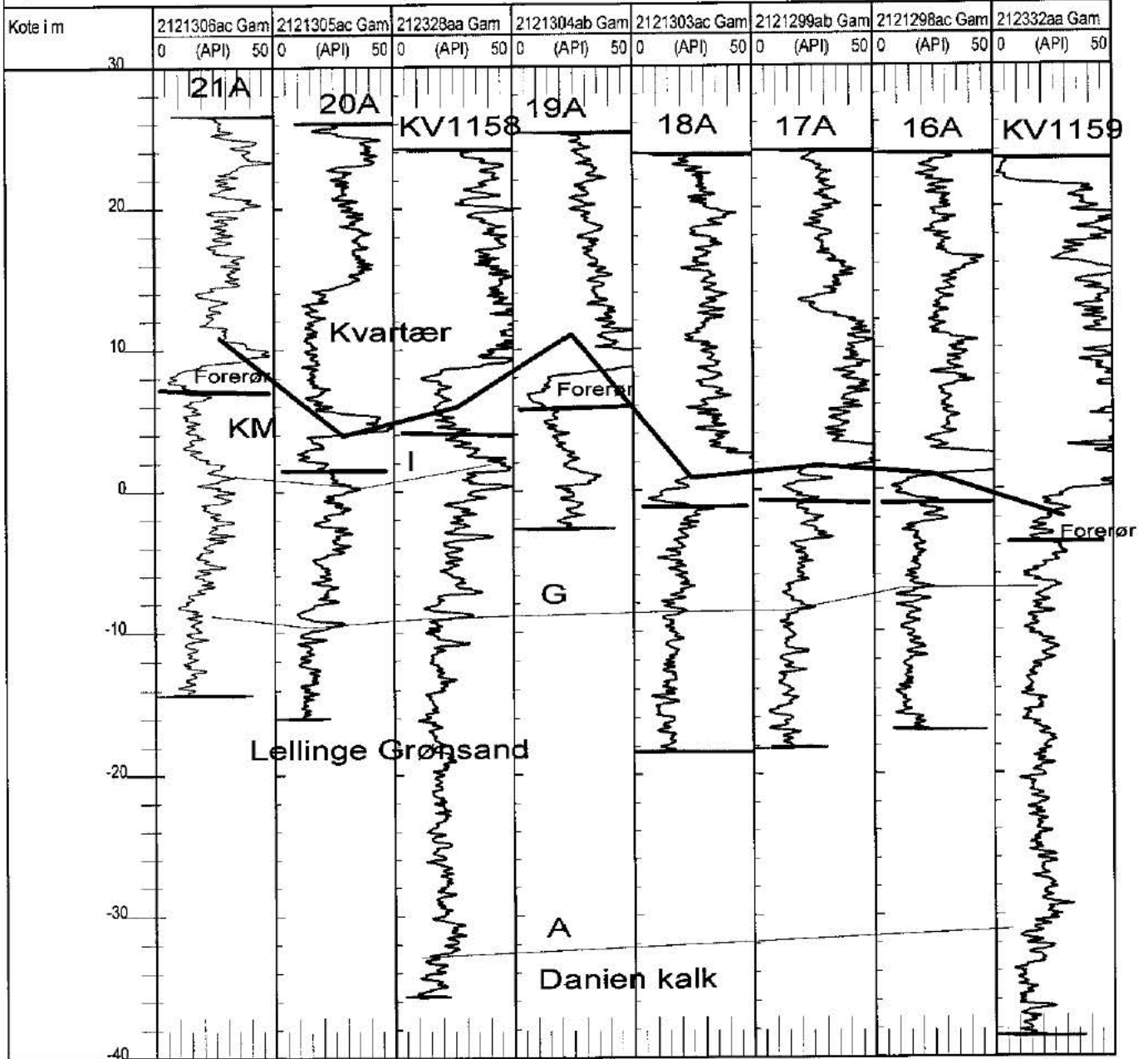


Gamma log korrelation

File Name: M:\Vlogdata\Sjælland\Kbh. E\ Vigersted\gamkorr_vigersted.HDR

Vigersted Kbh.E Kildeplads

Bilag 3.3.

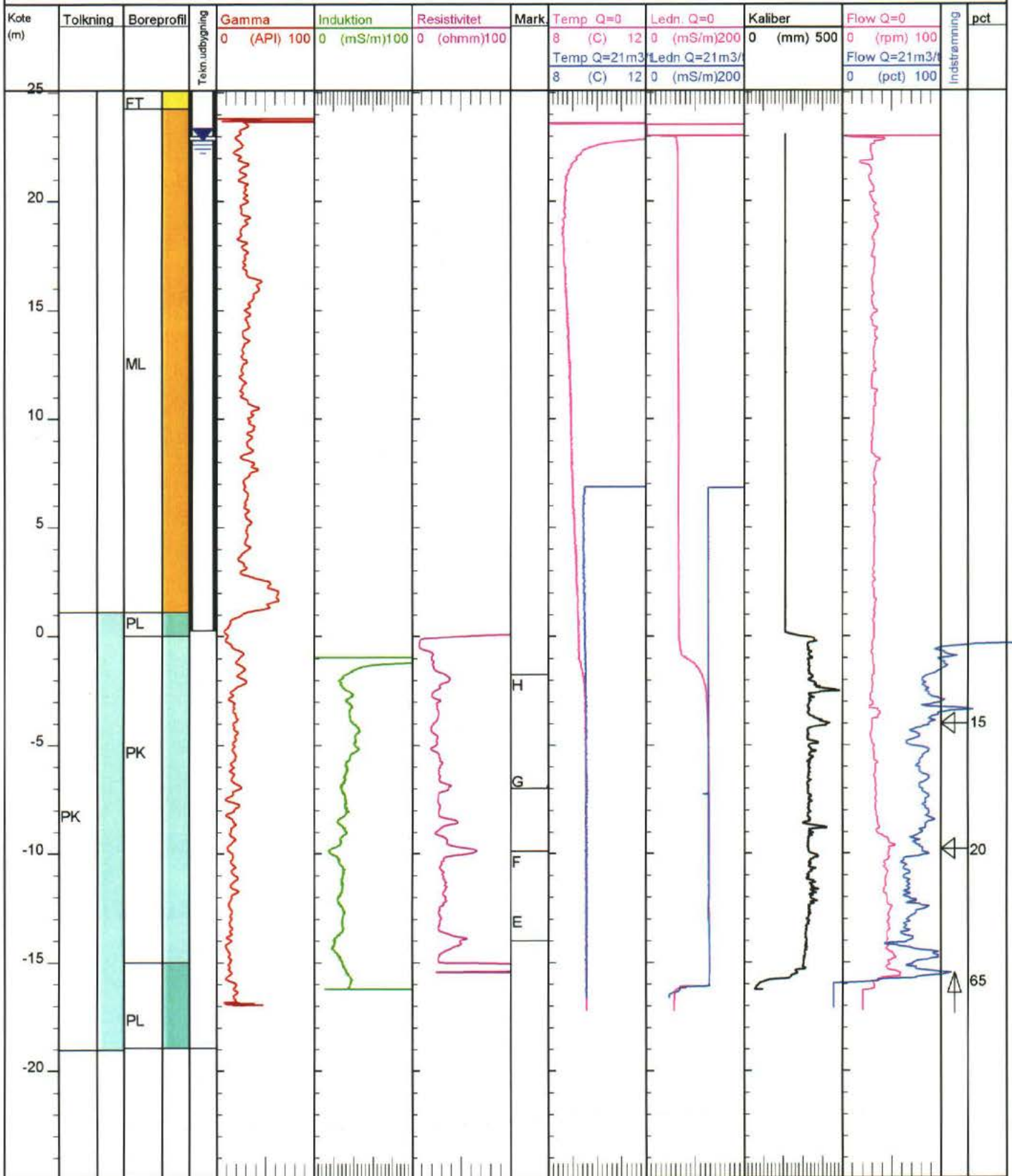


Well Name: 212.1298 (16A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

Elevation: 25.1 Reference: Terræn

Bilag 4.1.

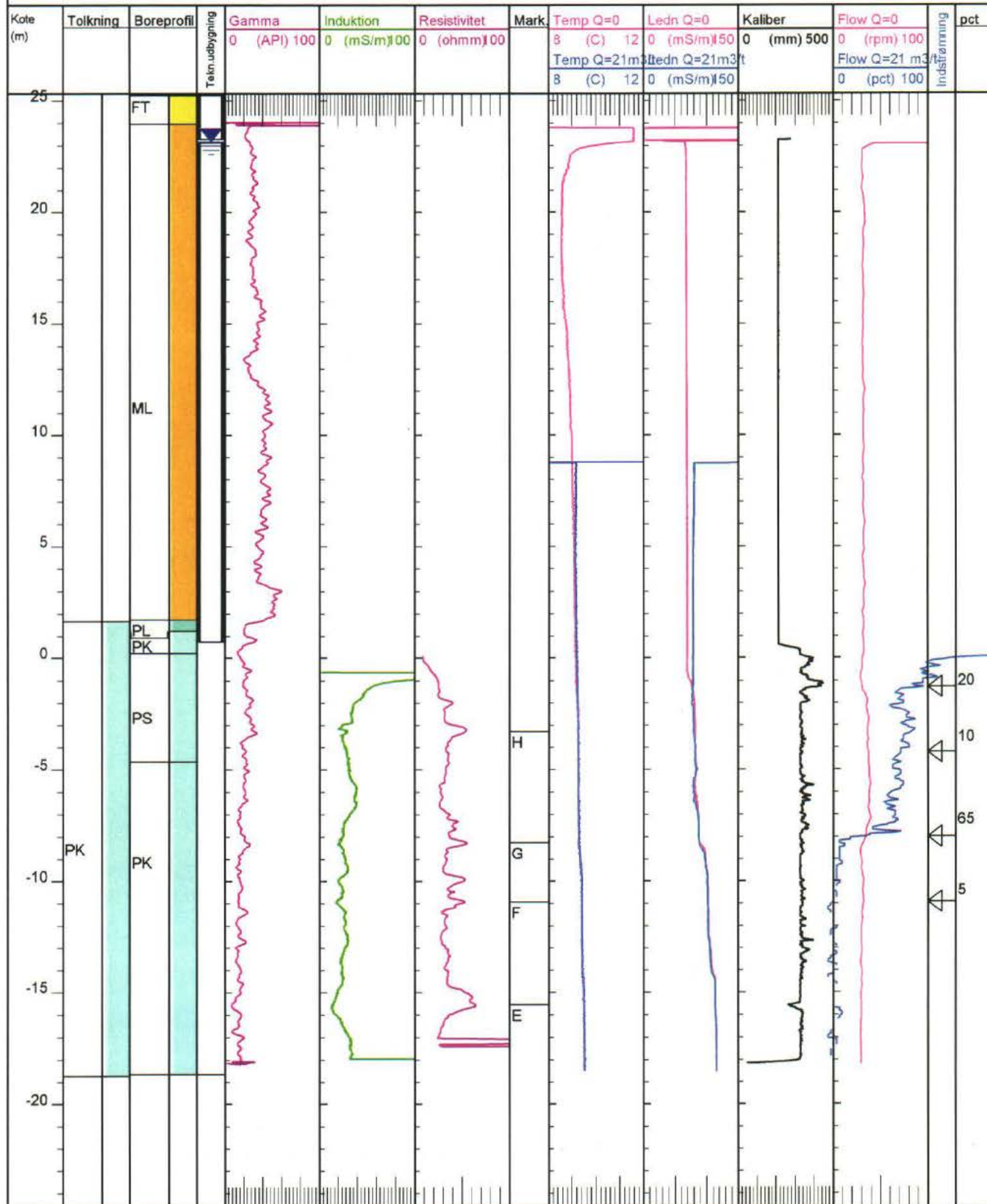


Well Name: 212.1299 (17A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

Elevation: 25.3 Reference: Terræn

Bilag 4.2.

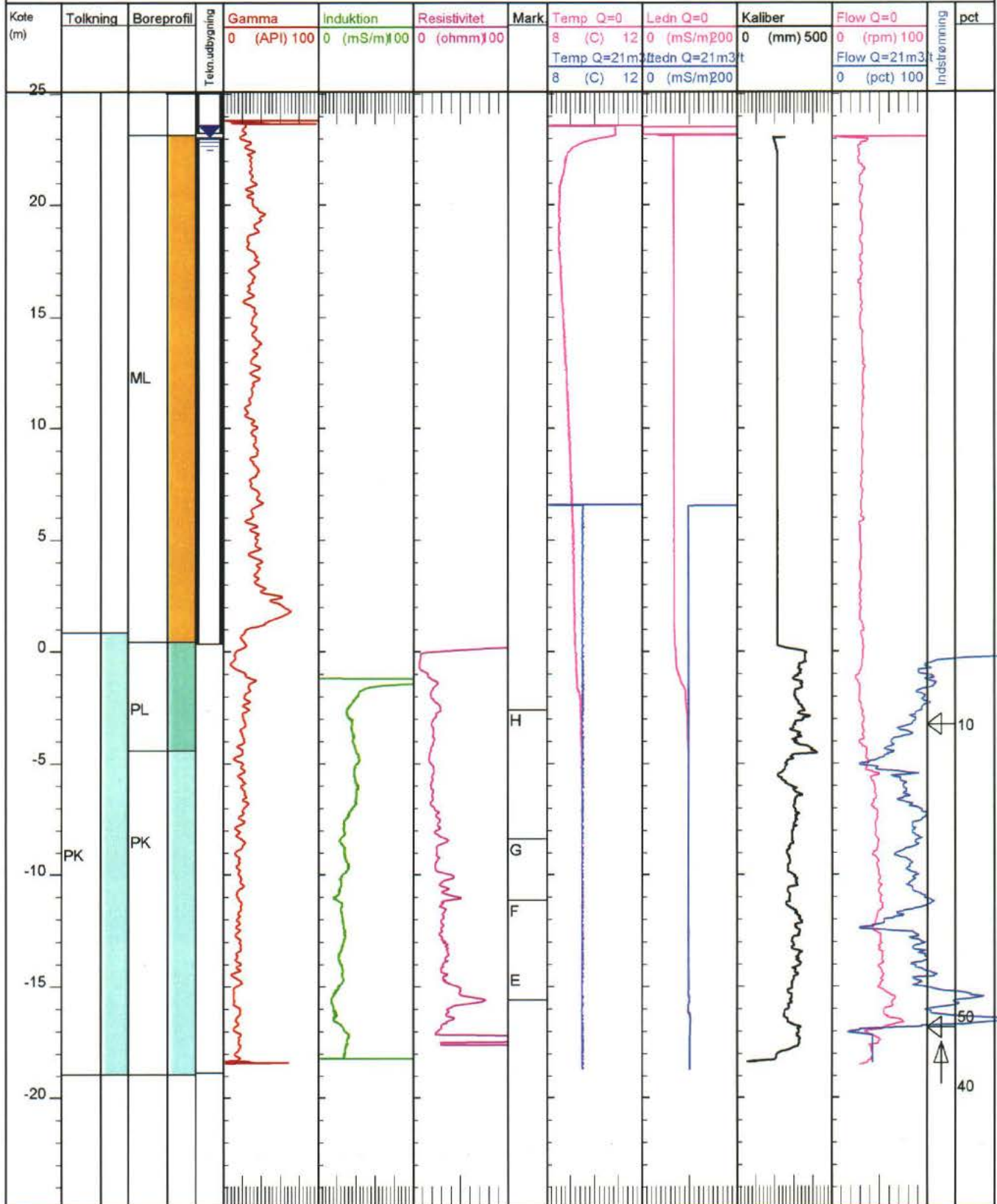


Well Name: 212.1303 (18A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

Elevation: 25.1 Reference: Terræn

Bilag 4.3.

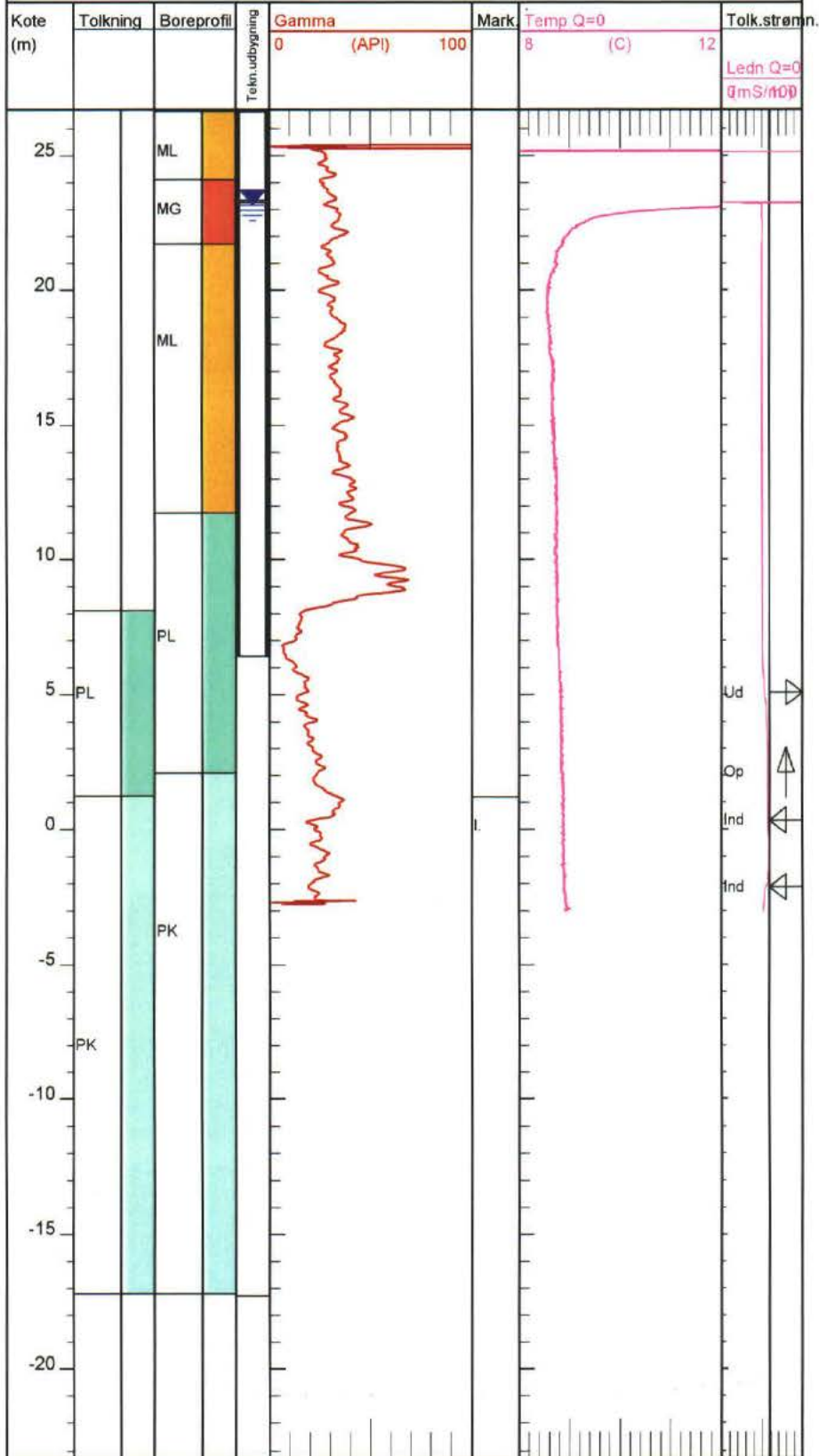


Well Name: 212.1304 (19A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

Elevation: 26.7 Reference: Terræn

Bilag 4.4.

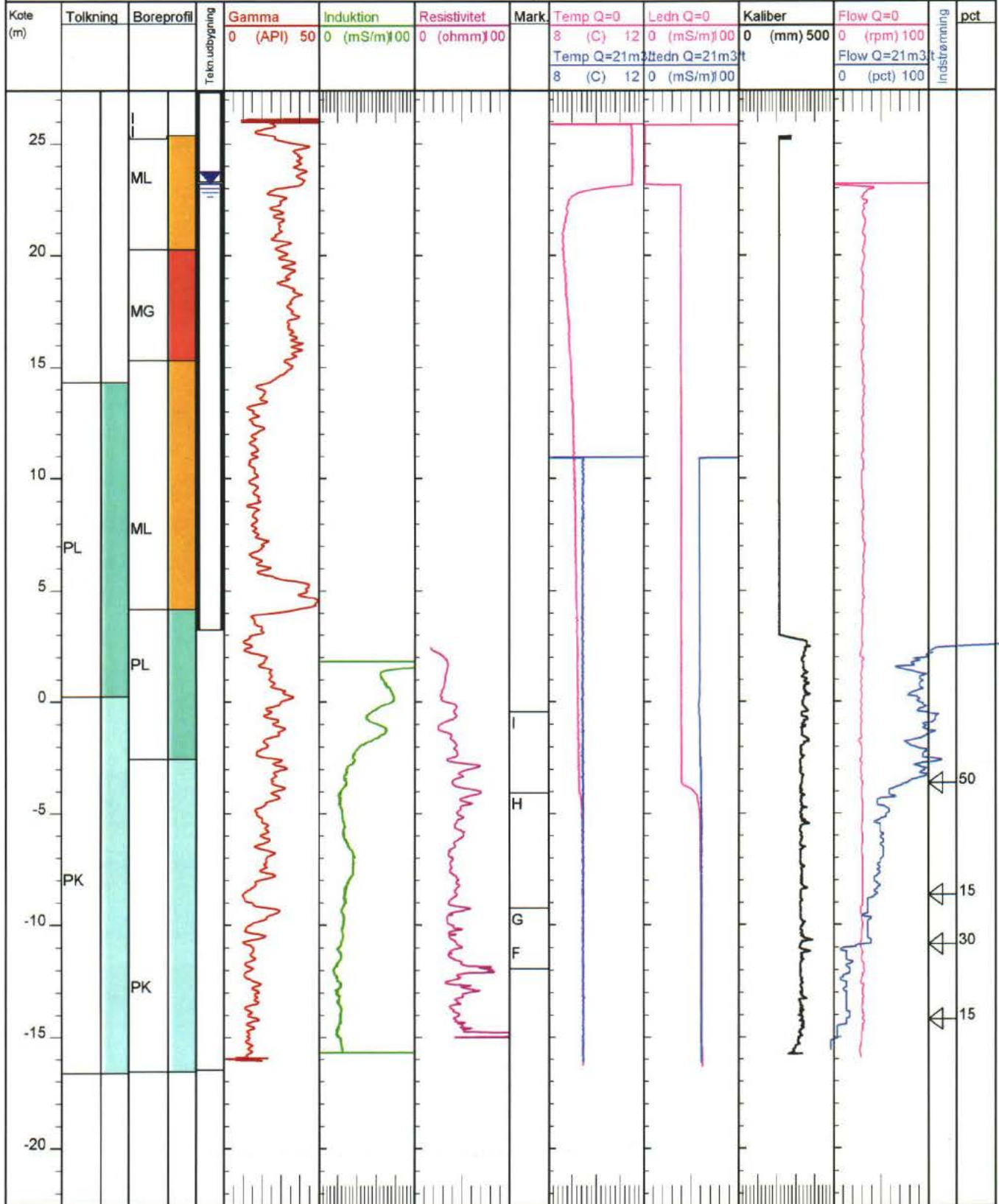


Well Name: 212.1305 (20A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

Elevation: 27.4 Reference: Terræn

Bilag 4.5.

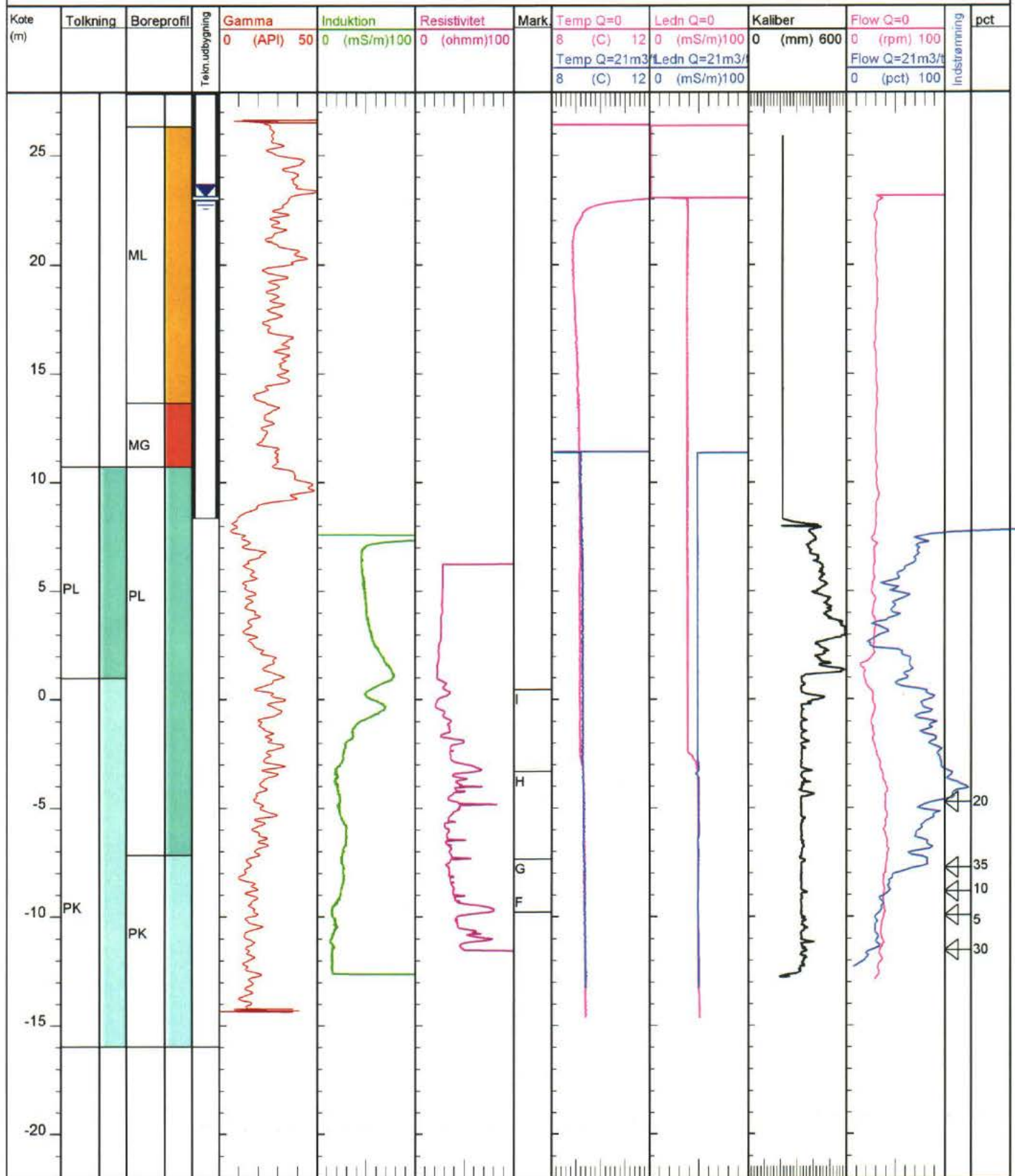


Well Name: 212.1306 (21A)

Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E.

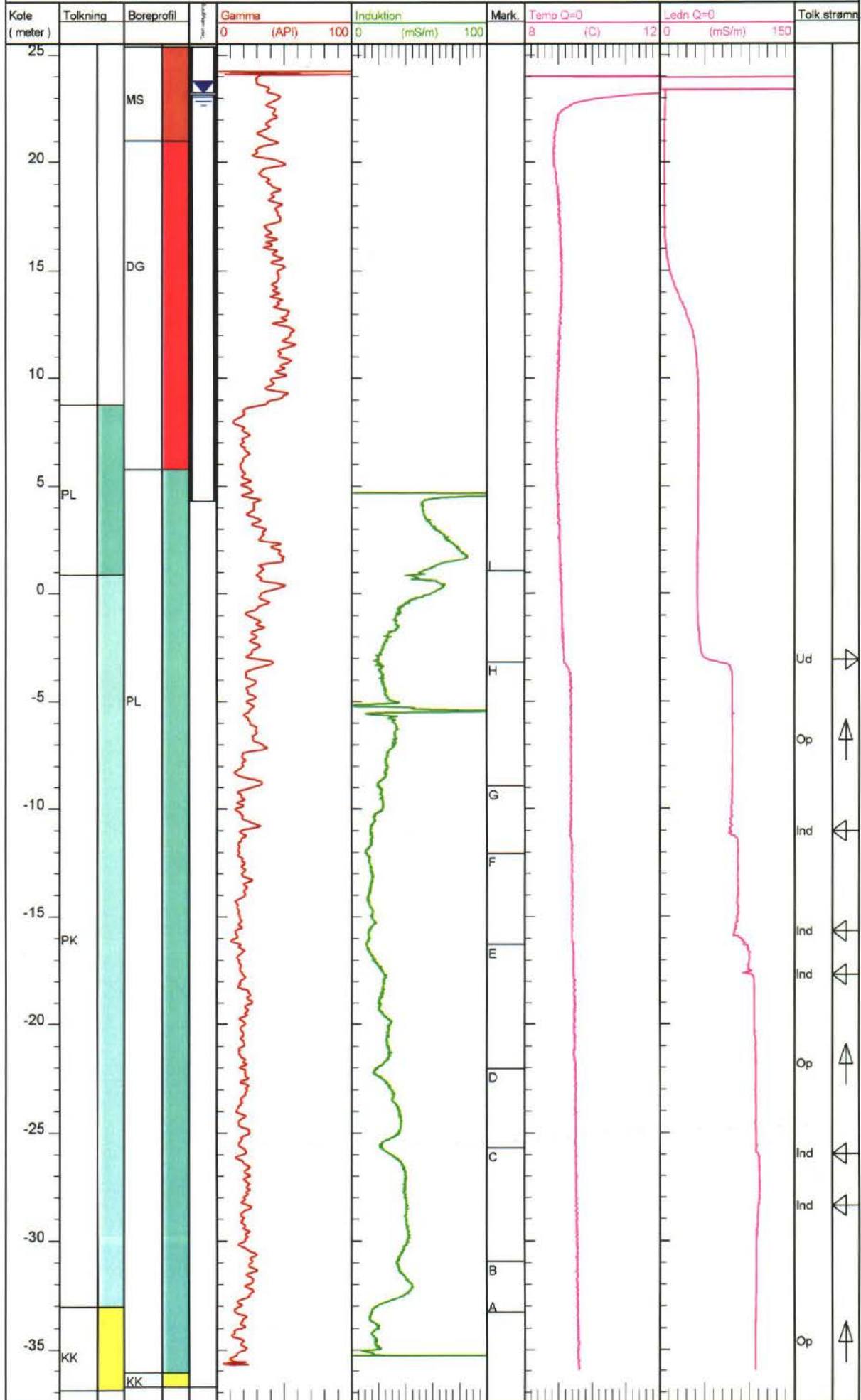
Elevation: 27.9 Reference: Terræn

Bilag 4.6.



Well Name: 212.328 (KV 1158)
 Location: Vigersted Kildeplads - Kbh. E
 Elevation: 25.5 Reference: terræn

Bilag 4.7.



Well Name: 212.332 (KV1159)
 Vigersted Kildeplads - Kbh.E
 Elevation: 24.66 Reference: Terræn

Bilag 4.8.

