

Prøveboring for grundvandskøling Novo Nordisk A/S, Kalundborg

Borehulslogging og stratigrafi i DGU nr. 203.686

Kurt Klitten, Erik Clausen, Jan Audun Rasmussen og Tibor Czakó



Prøveboring for grundvandskøling Novo Nordisk A/S, Kalundborg

Borehulslogging og stratigrafi i DGU nr. 203.686

Kurt Klitten, Erik Clausen, Jan Audun Rasmussen og Tibor Czakó

Indhold

1.	Introduktion	3
2.	Bore- og logging program	4
3.	Geologisk prøvebeskrivelse	7
4.	Log resultater	8
4.1	Gamma-log	8
4.2	Temperatur-log	9
4.3	Ledningsevne-log	10
4.4	Kaliper-log	10
5.	Biostratigrafi i den Eocæne lagfølge	11
5.1	Mikrofossil analyse.....	11
5.2	Litostratigrafisk korrelation	13
5.3	Referencer til Kapitel 5.....	14
6.	Bilag	15

1. Introduktion

Logging undersøgelsen af den ny prøveboring DGU nr. 203.686 beliggende ved Novo Nordisk A/S produktionsanlæg på Hallas Alle ved Kalundborg blev udført den 1 og 2 september 2003 af GEUS som led i kontrol af den gennemborede lagserie og for bestemmelse af temperatur forholdene.

Hensigten med prøveboringen var at bore ned i Grønsandskalken, som forventedes at kunne træffes i ca. 200-250 m dybde under terræn, og påvise, at der fra denne reservoir - bjergart kunne produceres ca. 50-100 m³ vand i timen per boring. Endvidere skulle det påvises, at temperaturen af grundvand fra Grønsandskalken ikke ville overstige 15 C⁰, idet boringen skulle indgå i et køleanlæg med grundvand som kølevæske.

GEUS var blevet rekvireret til logging opgaven af Energi & Miljø A/S ved Stig Niemi Sørensen, som er rådgiver for Novo Nordisk A/S, Kalundborg og Novo Nordisk Engineering A/S vedr. gennemførelse af prøveboringen med efterfølgende rapport.

2. Bore- og logging program

De oprindelige forventninger (jævnfør GEUS's logging tilbud til Energi & Miljø A/S dateret 11 august 2003) var, at boringen ville vise øverst ca. 50 m kvartære aflejringer over ca. 50 m Eocæn Røsnæs ler m.m., som igen var underlejret af 75-100 m Kerteminde ler, før Grønsandskalken endelig blev nået i ca. 200 m dybde. En revurdering af forventningerne blev foretaget af GEUS efter et møde med Energi & Miljø A/S den 15 august, hvorved to scenarier blev opstillet for den forventede lagserie (se Notat af 21. august 2003 fra Energi & Miljø A/S til Novo Nordisk Engineering):

Det mest pessimistiske: 45 m kvartær, 20 m Røsnæs ler, 30 m Ølst ler, 6 m Østerrende ler, 40 m Holmehus ler, 57 m Æbelø ler, 100 m Kerteminde ler; i alt 298 m aflejringer ovenover Grønsandskalken.

Det mere sandsynlige (jf. notatet): 5 m kvartær, 10 m Røsnæs ler, 20 m Ølst ler, 5 m Østerrende ler, 20 m Holmehus ler, 25 m Æbelø ler, og 75 m Kerteminde ler; i alt 200 m aflejringer over Grønsandskalken.

På grund af den store plasticitet i såvel Røsnæs ler, som Holmehus ler, kunne der forventes problemer med udskridning og sammenstyrning af lerlagene ovenover Kertemindeleret under borearbejdet. Det måtte derfor påregnes, at boringen skulle udbygges med forerør i en eller to omgange inden den nåede ned i Kertemindeleret. Sidstnævnte kan på grund af sit store indhold af cementserende kalk normalt stå alene uden forerør i lighed med Grønsandskalken.

Det var derfor også planen at udføre logging undersøgelserne i to omgange, d.v.s. første logging efter rørsætning af kvartæret, men inden rørsætning af de prækvartære lerlag ovenover Kertemindeleret, d.v.s. med boremudder i boringen til at holde lagene på plads. Den anden logging skulle så udføres efter boringens afslutning et stykke nede i Grønsandskalken, og efter at boringen var renpumpet og stod uden boremudder og uden forerør i Grønsandskalken og muligvis også i det meste af Kertemindeleret.

Første logging var tænkt udelukkende at være med henblik på lagfølgekontrol for at fastlægge, hvilke lag i den forventede lagserie, der var gennemboret. Denne første logging skulle derfor kun bestå af en kombineret gamma- og resistivitets-log. Den afsluttende logging skulle derimod bestå af det normale GEUS logging program for vandforsyningsboringer, d.v.s. igen kombineret gamma- og resistivitets-log for lagfølge kontrol, kaliber-log for bestemmelse af variationer i diameteren i den åbne del af boringen, flow-log til fastlæggelse af indstrømningszonerne, samt ledningsevne- og temperatur-log dels uden og dels under pumpning til verifikation af indstrømningszonerne og til bestemmelse af temperatur på det indstrømmende vand i de forskellige zoner.

Det aktuelt udførte log-program blev et ganske andet end det planlagte, idet forventningerne til lagserien ikke holdt stik bortset fra kvartæret, som viste sig at være ca. 50 m tykt (boret fra 18 til 22 august).

Efter fortsat boring fra 25 til 29 august til 150 m blev borearbejdet midlertidigt indstillet fredag for dels at kunne udføre logging, og dels at få geologisk bestemt prøverne fra den dybeste del af boringen for at se, om lagfølgen var som forventet.

Boringen var rørsat til ca. 51 m, og det åbne hul til 150 m var stabiliseret ved anvendelse af meget tung boremudder, idet det gennemborede ler havde vist sig meget blødt og plastisk. Det blev derfor besluttet at logge boringen mandag den 1 september om eftermiddagen. Som følge af risikoen for at boringen skulle klappe sammen p.g.a. tilstedeværelsen af det plastiske ler udførtes logging inden i borestammen. Derfor kunne hverken resistivitets- eller induktions-log gennemføres, men kun gamma-log og kombineret temperatur & ledningsevne-log. Sidstnævnte forventedes at ville give brugbare informationer, selv om den blev målt inden i borestammen, idet der 2 døgn efter boreaktivitet måtte have indstillet sig en temperaturligevægt mellem væsken i borestammen og jordlagene udenfor.

Gamma-loggen udførtes om eftermiddagen som en gamma-spektral log med meget langsom log hastighed (60 cm/min) for at få optimalt log signal. Allerede om formiddagen havde biostratigraf Jan Audun Rasmusen fra GEUS rapporteret, at prøven fra 121 m dybde var Lillebæltsler. Gamma-loggen indikerede to laggrænser i det plastiske ler, som var truffet fra 52 m til 150 m, nemlig den første i ca. 70 m dybde, og den anden i ca. 140-145 m. Formodningen om en laggrænse ved 122 m (baseret på brøndborerens vurdering) var således ikke verificeret. Temperatur-loggen viste et unormalt forløb med omvendt gradient (faldende mod dybden), hvilket blev vurderet til at være forårsaget af varmeudvikling under borearbejdet, selv om dette var blevet indstillet allerede fredag 29 august. Der blev derfor udført endnu en temperatur- ledningsevne-log den følgende dag (2 september), og denne viste nu en normal gradient, men stadig tegn på varmepåvirkning fra borearbejdet, dels fordi gradienten kun var ca. $1,2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, og dels fordi temperaturen i bunden (150 m) på ca. $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ syntes at være ca. $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for høj i forhold til erfaringer fra andre boringer på Sjælland.

Inden genoptagelsen af borearbejdet viste en gennemgang på GEUS den 2 september af de nyligt indleverede prøver fra 122 m til 150 m, at laggrænsen ved ca. 140-145 m var grænsen mellem Lillebælts ler og Røsnæs ler. I håb om, at sidstnævnte ville vise sig hurtigt at blive gennemboret, genoptoges borearbejdet 4 september med henblik på at stoppe i 200 m, og derefter vurdere situationen. Et teknisk uheld bevirkede imidlertid, at borearbejdet stoppede allerede i 170 m dybde. Da de indleverede prøver fra 150 til 170 m stadig viste Røsnæs ler, måtte det konkluderes, dels at der uventet var Lillebælts ler til 140-145 m, samt at Røsnæs ler var mindst 25-30 m tykt og muligvis tykkere, således at der alt i alt måtte forventes de maksimale tykkelser på de enkelte lag i lagserien ned til Grønsandskalken. En ny prognose for lagserien blev udarbejdet på GEUS den 5 september, og denne tydede på ca. 400 m aflejringer over Grønsandskalken. Temperaturen i Grønsandskalken måtte derfor forventes at være væsentlig højere end de maksimalt tilladelige $15\text{--}16\text{ }^{\circ}\text{C}$. GEUS kunne derfor ikke anbefale at fortsætte boringen, hvorfor den, efter aftale med rådgiver og klient, blev indstillet ved dybden 170 m.

I nedenstående tabel ses i kronologisk orden anført borings- og logging aktiviteter, GEUS prøvebestemmelser, GEUS forventning til og fortolkning af lagserien, samt anbefaling m.h.t. borearbejdets fortsættelse.

Tabel 1: Kronologi i boreaktiviteter, prøvebestemmelser, logging og anbefaling.

Dato	Boreaktivitet ved: Boring DGU 203.686 Brøker A/S Holbæk	GEUS prøve- bestemmelse	GEUS logging	GEUS forventning, fortolkning og an- befaling
18-22/8	50 m kvartær (fo- rerør).			200 m til Grøn- sandskalk
25-28/8	Til 122 m – prækvartær.			
29/8	Til 150 m. Prøver fra 50-122 m afleveret til GEUS.			
1/9	Prøver fra 122-150 m afleveret til GEUS.	Prøverne 116 m og 121 m er Lille- bælts ler	Spektral gamma log og Temp. & Ledn.evne log, udført inden i bø- restammen.	Temperaturgradient påvirket af varme- effekt fra borear- bejdet.
2/9		Prøverne 147 m og 150 m er Røs- næs ler	Temp. & Ledn.evne log, udført inden i bø- restammen.	Temperatur stadig påvirket – men max. 13 C ⁰ i 150 m dybde
3/9				Fortsætte til 200 m under antagelse af, at Røsnæs ler hur- tigt gennembøres, men uden forvent- ning om at nå Grønsandskalken.
4/9	Boret til 170 m – stop p.g.a. tekn. Problemer.			
5/9	Prøver fra 150-170 m afleveret til GEUS.	Foreløbig vurde- ring: Røsnæs ler til 170 m		Fortsættelse synes nytteløst – endelig konklusion afventer endelig bestem- melse af prøven i 170 m.
8/9		170 m er Røsnæs ler, og det øverste af prækvartæret er ikke Lillebælts ler, men den end- nu yngre Søvind mergel, jævnfør 60 m prøven.		Boringen fortsættes ikke , idet Grøn- sands kalken nu må forventes at ligge væsentligt dybere end først antaget (200m), formodentlig i 400 m dybde.

3. Geologisk prøvebeskrivelse

Der er udtaget prøver for hver meter, og disse er beskrevet af Tibor Czako i GEUS prøve-laboratorium. Resultatet fremgår af **Bilag 1**, som viser følgende lagfølge:

0 – 6 m: Moræneler

6 – 11 m: Morænesand, morænegrus og smeltevandssgrus

11 – 15 m: Moræneler

15 – 26 m: Morænegrus, smeltevandssand og grus

26 – 52 m: Moræneler

52 – 70 m: Grøngrå plastisk ler, stærkt kalkholdigt

70 – 78 m: Samme, men svagt kalkholdigt

78 – 82 m: Samme, men kalkholdigt

82 – 85 m: Samme, men kalkfri

85 – 93 m: Samme, men kalkholdigt til stærk kalkholdigt

93 – 95 m: Samme, men kalkfri

95 – 127 m: Samme, men overvejende kalkholdig med enkelte prøver kalkfri og enkelte stærkt kalkholdige

127 – 142 m: Samme, men overvejende kalkfri med enkelte svagt kalkholdige eller kalkholdig

142 – 144 m: Rødbrun plastisk ler, kalkfri

144 – 151 m: Grøngrå plastisk ler, kalkfri

151 – 154 m: Rødbrun plastisk ler, kalkfri

154 - 157 m: Grågrøn plastisk ler, kalkfri

157 – 163 m: Rødbrun plastisk ler, kalkfri – dog kalkholdig i 162 m

163 – 166 m: Grågrøn plastisk ler, kalkfri – dog kalkholdig i 166 m

166 – 168 m: Rødbrun plastisk ler, kalkfri – dog kalkholdig i 167 m

168 – 170 m: Grågrøn plastisk ler, kalkholdig

Med hensyn til aflejringssmiljø og alder er det på basis af den litologiske prøvebeskrivelse vurderet følgende:

0 til 52 m: glacialt – Kvartær (moræne og smeltevandsaflejringer)

52 til 142 m: marin – Eocæn (antagelig Lillebælt ler)

142 til 170 m: marin – Eocæn (antagelig Røsnæs ler)

Som det vil fremgå af kapitel 5 er der på basis af den biostratigrafiske undersøgelse af en del af prøverne opstillet følgende reviderede inddeling af den Eocæne del af lagserien:

52 til ca. 60 m: marin – Eocæn (antagelig Søvind mergel)

ca. 60 til 146 m: marin – Eocæn (Lillebælts ler)

146 til 170 m: marin – Eocæn (Røsnæs ler)

4. Log resultater

Den integrale spektral-gamma log, den normale gamma-log optaget ved hver af de to temperatur-ledningsevne-log (kombineret gamma- og temp./ledningsevne-sonde) samt naturligvis de to temperatur-ledningsevne-logs og endelig en kaliber-log er alle vist på efterfølgende **Bilag 2** sammen med det endelige boreprofil med den konkluderende stratigrafiske inddeling.

4.1 Gamma-log

De to normale gamma-logs er som ventet fuldstændig sammenfaldende, og viser i de prækvartære lag fra ca. 52 m dybde samme forløb som den spektrale gamma-log, nemlig et niveau på i gennemsnit 20 API (eller 10 CPS på spektral gamma) fra ca. 52 m til ca. 70 m, et lidt højere niveau på i gennemsnit 30 API (eller 15 CPS på spektral gamma) fra ca. 70 m og ned til 146 m, og endelig et yderligere højere niveau fra 146 m dybde.

De tre dybdeintervaller med forskellige gamma strålings niveauer ses at afspejle den biostratigrafiske inddeling af den Eocæne lagfølge i de tre formationer: Søvind mergel, Lillebælt ler og Røsnæs ler, som er foretaget af Jan Audun Rasmussen, jævnfør **Bilag 4**. Dog er det usikkert om sektionen fra 60 m til 70 m tilhører Søvind mergel formationen eller det yngste Lillebælt ler.

Forskellen i gamma-stråling imellem de tre lerformationer skyldes antagelig generelle forskelle i kalkindholdet og dermed også i lerindholdet. Således er forholdet mellem kalkindhold og lerindhold størst i den stærkt kalkholdige Søvind mergel og mindst i den øvre del af Røsnæs ler, hvorfra prøverne er beskrevet som kalkfri.

Alle tre prækvartære lerformationer er betegnet som plastisk, en egenskab, som skyldes, at en stor del af lerindholdet udgøres af det stærkt vandholdige lermineral montmorillonit, som ikke indeholder kalium. Et mindre indhold af kalium-holdige lerminerale betyder et mindre indhold af den radioaktive kalium-isotop, og dette kan forklare, hvorfor gamma-strålingen i disse meget lerholdige formationer ikke er tilsvarende meget større end i det kvartære møræneler øverst i boringen.

Varierende forhold mellem indholdet af det kaliumholdige lermineral illit og det kaliumfri lermineral montmorillonit kan også medvirke til den generelle forskel i gammastråling i de tre formationer.

Hele vejen ned igennem boringen, men især i den åbne boringssektion under forerøret fra ca. 51 m dybde ses der på alle tre gamma-logs, for hver tredje meter et markant gamma-minimum. Dette er forårsaget af samlingsmuffen for hver rørlængde på borestammen, idet den større godstykkelse ved rørsamlingerne dæmper gamma-strålingen fra formationerne. Effekten er mest udtalt på den langsomt optagede spektral gamma-log.

Indenfor sektionen med Lillebælt ler ses der en systematisk variation i gamma-strålingen, idet denne er gradvist stigende fra ca. 66 m til et maksimum niveau i dybde intervallet 78-82 m, hvorfra den er gradvist faldende til ca 146 m. Denne variation kan skyldes enten en systematisk variation i forholdet mellem indeholdt kalk og ler, eller i forholdet imellem indholdet af det kaliumholdige illit og det kaliumfri montmorillonit/smektit.

Den spektrale gamma-log har påvist (se **Bilag 3**), at næsten hele gamma-strålingen fra alle tre formationer kommer fra den radioaktive Kalium-isotop, der overalt i naturen følger indholdet af Kalium i et bestemt mængdeforhold. Således ses indholdet af Thorium og Uran kun at ligge på 0,4 til 1,2 ppm, hvorimod indholdet af Kalium ligger på 2 til 6 %. Indholdet af alle tre stoffer ses at variere i takt med variationen i den totale gamma stråling (Integr. Gam. Spektral), d.v.s. lavest i Søvind mergel, højere i Lillebælts ler og højest i Røsnæs ler.

4.2 Temperatur-log

Temperatur-loggen opmålt den 1^{ste} september, viser øverst en temperatur på 16,5 C⁰, der falder til 14 C⁰ i 30 m dybde (gradient -2,5 C⁰ på 30 m = -0.08 C⁰/m). Derefter fra 14 C⁰ til 13 C⁰ i 90 m dybde (gradient -1 C⁰ på 60 m = -0.017 C⁰/m), og endelig en svag stigning til 13,3 C⁰ i 150 m dybde (gradient +0.3 C⁰ på 60 m = +0.005 C⁰/m).

Selv om borearbejdet var blevet indstillet 3 døgn før denne log blev udført, viste ovennævnte temperatur forløb og gradienter, at den varmeeffekt på jordlagene, som varmeudviklingen under nedboring altid forårsager, endnu ikke var forsvundet. Normalt ved vandboringer sker dette forholdsvist hurtigt under renpumpning, men i dette tilfælde står boringen med boremudder og kan ikke renpumpes.

Det besluttedes derfor at gentage en temperatur-log næste dag for at se, om der ville ske en ændring og ud fra ændringens størrelse vurdere, hvor lang tid, der skulle gå for at opnå temperatur ligevægt mellem temperatur i boremudderet inde i borestammen og temperaturen i formationerne.

Som det ses af temperatur-loggen opmålt 2^{den} september, er temperaturen faldet i hele boringen bortset fra helt i bunden, hvor den stadig er 13,2 C⁰. Således er den nu også 13,2 C⁰ øverst, hvor den før var 16,5 C⁰. I 30 m dybde er den nu 12,5 C⁰ mod 14 C⁰ dagen før. I 90 m dybde er den nu 12,1 C⁰ mod 13 C⁰ dagen før. Gradienten fra 30 m til 90 m er stadig negativ, d.v.s. -0,3 C⁰ på 60 m = -0,005 C⁰/m, hvorimod den nu er lidt mere positiv end før på de nederste 60 m, +1,0 C⁰ på 60m = +0,017 C⁰/m. Dette er stadig lidt lavere end de normale +0,025 til +0,03 C⁰/m. Det må derfor forventes, at det vil tage et par dage yderligere før den normale temperatur i lagserie og boremudder har indstillet sig, idet hastigheden hvormed ligevægten indstiller sig, bliver mindre, jo mindre temperaturdifferensen er mellem boremudder+borestamme og den normale temperatur i jordlagene.

Temperaturen på 13,2 C⁰ i bunden er ca. 1 C⁰ højere end sædvanligt i 150 m dybde, idet temperaturen som oftest er ca. 8,5 C⁰ i 15 m dybde, og derefter stigende med en gradient på 0,025 C⁰/m, hvilket ville give en temperatur i 150 m dybde på ca. 12 C⁰. Det må derfor

formodes, at denne lidt højere temperatur skyldes varmeafgivelsen fra borestammen, hvis temperatur altid vil øges som følge af borearbejdet.

4.3 Ledningsevne-log

Ledningsevnen af boremudderet inden i borestammen ses ved den første log at være ca. 450 mS/m øverst og faldende jævnt mod bunden til 425 mS/m, hvorimod ledningsevnen ved den anden log næste dag er faldet lidt til ca. 400 mS/m øverst og stigende lidt imod dybden til 410 mS/m ved bunden. Denne ændring fra den ene dag til den anden kan forklares ved en ændring imellem koncentrationen af boremudderet udenfor borestammen og inden i borestammen, f.eks. ved at en mindre del af det opslemmede muddermateriale inde i stammen er sunket ned og presset sig ud gennem borekronen og fordelt sig opad i det lidt lettere boremudder udenfor stammen.

Der er ingen sammenhæng mellem temperatur forløbene og ledningsevne variationen, så variationen i ledningsevnen skyldes variation i koncentration og dermed i vægtfylde af boremudderet.

4.4 Kaliper-log

Denne log er udført den 11 september, hvor borearbejdet var helt indstillet og opfyldning af borehullet var påbegyndt og have nået til 102 m dybde. Det skønnedes for risikabelt at udføre loggen i det åbne hul ned til 150 m inden at opfyldning blev påbegyndt på grund af muligheden for sammenklapning af den nedre del.

Hensigten med denne log var at undersøge, om variationen i gamma-log mønstret i de øverste 50 m kunne forklares ved en tilsvarende variation i diameter, d.v.s. om minimum gamma-stråling skyldtes maksimum diameter og maksimum gamma-stråling skyldtes minimum diameter. Dette ses ikke at være tilfældet, idet maksimum gamma-stråling optræder fra 77 til 82 m dybde, mens minimum diameter optræder fra 84 til 86 m dybde. Ligeledes ses det, at selv om der er lav gamma-stråling ud for sektionen lige under forerøret med den største diameter, så ses tilsvarende lav gamma-stråling i ca 62 m dybde, hvor diameteren ikke er tilsvarende stor.

Diameteren i forerøret til 52 m er konstant 364 mm.

Fra forerøret og ned til ca. 70 m, d.v.s. i den stærkt kalkholdige del af lagserien, Søvind mergel og måske yngste Lillebælts ler, ses store variationer i diameteren, men generelt aftagende nedefter fra 567 mm til 340 mm.

Fra ca. 70 m og ned til 88 m ses en jævnt stigende diameter, fra 340 mm til ca. 300 mm. Herfra og ned til opfyldningen i 102 m stiger diameteren igen, men er meget varierende mellem 310 mm og 520 mm.

5. Biostratigrafi i den Eocæne lagfølge

5.1 Mikrofossil analyse

Boring 203.686 gennemborede kvartære smeltevandsaflejringer og till ("moræneler") i de øvre 52 m under jordoverfladen. Herunder karakteriseres sedimenterne af fedt, plastisk ler af Eocæn alder.

Elleve prøver fra plastisk ler blev analyseret for deres indhold af mikroskopiske, encellede dyr (især foraminiferer og radiolarier), og udgør fundamentet for den følgende biostratigrafiske og kronostratigrafiske inddeling.

Metoder

Sedimentet blev vådsigtet og fraktionen mellem 0,063 mm og 1 mm tørret og undersøgt i mikroskop med påfaldende lys. Karakteristiske arter fra hver prøver blev placeret i en mikrofossil slide med vandopløselig lim.

Mikrofauna

De kalkholdige niveauer i boringen karakteriseres af kalsskallede foraminiferer, både planktiske (fritsvævende i vandmassen) og bentiske (bundlevende); mens de kalkfattige niveauer domineres af kiselskallede radiolarier. I det følgende bruges følgende forkortelser: Planktiske foraminiferer (P), kalkskallede, bentiske foraminiferer (B), agglutinerende foraminiferer (A), radiolarier (R).

Da der ikke er opstillet en mikrofossilzonering specielt for de danske Eocæne aflejringer, bruges her biozonerne opstillet af King (1983, 1989) for aflejringer i Nordsøen. King kaldte zoner baseret på Nordsøens planktiske mikrofossiler for NSP zoner og dem, der er opbygget på de kalkskallede bentiske foraminiferer for NSB (se **Bilag 4**).

60 m

Mikrofossiler: Prøven er rig og domineres af *Pseudohastigerina wilcoxensis* (P), mens bl.a. *Turrillina brevispira* (B), *Neoeponides karsteni* (B), *Vaginulinopsis decorata* (B) og *Spiro-sigmoilinella compressa* (A) findes i mindre antal.

Biostratigrafi og alder: De hyppige *P. wilcoxensis* samt tilstedeværelsen af *N. karsteni* viser, at prøven kan henføres til zonerne NSP7 og NSB5a, og alder er Mellem Eocæn (Lutetien).

71 m

Mikrofossiler: Prøven domineres af *P. wilcoxensis* (P), buliminider (B) og *Reophax* spp. (A), mens *N. karsteni* findes lille antal. Kalkskallede foraminiferer er mindre hyppige end i 60 m prøven.

Biostratigrafi og alder: De hyppige *P. wilcoxensis* samt tilstedeværelsen af *N. karsteni* viser, at også denne prøve kan henføres til zonerne NSP7 og NSB5a, og er af Mellem Eocæn (Lutetien) alder.

116 m

Mikrofossiler: Prøven domineres totalt af radiolarier, bl.a. cyrtellaride radiolarier ("klokkeformede"), *Cenodiscus* spp. og fladtrykte *Cenosphaera* spp.. Ingen kalkskallede fossiler blev observeret.

Biostratigrafi og alder: Den monotone, radiolaredominerede fauna indikerer, at prøven korrelerer med zone NSP6 og er af seneste Tidlig Eocæn eller tidligste Mellem Eocæn alder (King 1989).

121 m

Mikrofossiler: Kun *Cenodiscus* (R) og *Cenosphaera* (R) blev observeret.

Biostratigrafi og alder: Det radiolaredominerede faunaselskab indikerer, at prøven kan placeres i zone NSP6 og er af seneste Tidlig Eocæn eller tidligste Mellem Eocæn alder.

143 m

Mikrofossiler: Prøven er meget fossilfattig og kun en enkelt fragmenteret *Ammodiscus* sp. (A) blev observeret.

Biostratigrafi og alder: Det meget mangelfulde fossilindhold gør det ikke muligt at placere prøven i et biozoneskema, men placeringen mellem de to NSP6 prøver i henholdsvis 121 m og 144 m peger på, at også 143 m prøven skal henføres til NSP6.

144 m

Mikrofossiler: *Haplophragmoides walteri* (A) findes sammen med *Cenodiscus* (R) og *Cenosphaera* (R).

Biostratigrafi og alder: Radiolarierne peger på zone NSP6, som er af seneste Tidlig Eocæn eller tidligste Mellem Eocæn alder.

145 m

Mikrofossiler: Prøven domineres totalt af radiolarier, bl.a. cyrtellaride radiolarier, *Cenodiscus* spp. og fladtrykte *Cenosphaera* spp..

Biostratigrafi og alder: Det radiolaredominerede faunaselskab indikerer, at prøven kan placeres i zone NSP6 og er af seneste Tidlig Eocæn eller tidligste Mellem Eocæn alder.

147 m

Mikrofossiler: Prøven domineres af radiolarier, bl.a. cyrtellaride radiolarier, *Cenodiscus* spp. og fladtrykte *Cenosphaera* spp., men tillige findes enkelte kalkskallede foraminiferer, f.eks. *Pseudohastigerina wilcoxensis* (P), *Subbotina patagonica* (P) og uidentificerbare bentiske.

Biostratigrafi og alder: Faunaselskabet peger på at prøven kan placeres i zone NSP5b, karakteriseret af tilbagevenden ("downhole") af planktiske foraminiferer. Prøven er således af mellem Tidlig Eocæn (Ypresien) alder (King 1989).

150 m

Mikrofossiler: Cyrtellaride radiolarier findes sammen med enkelte *Lenticulina* (B) og *Cibicides* (B).

Biostratigrafi og alder: De få kalkskallede foraminiferer peger på, at også denne prøve kan henføres til zone NSP5b, d.v.s. mellem Tidlig Eocæn.

165 m

Mikrofossiler: *Subbotina patagonica* (P) er dominerende sammen med andre planktiske foraminiferarter. Mange er svagt rødfarvede af det omgivende sediment.

Biostratigrafi og alder: Faunaen viser, at prøven kan placeres i zone NSP5a og er af tidlig Tidlig Eocæn (Ypresien) alder.

170 m

Mikrofossiler: *Subbotina patagonica* (P) er dominerende, mens andre planktiske foraminiferer samt *Lenticulina* (B), *Asterigerina* (B) og *Nuttalides truempyi* (B) findes i færre mængder.

Biostratigrafi og alder: Prøven kan henføres til zone NSP5a, tidlig Tidlig Eocæn (Ypresien) .

5.2 Litostratigrafisk korrelation

Nederste del af Søvind Mergel Formationen eller øverste del af Lillebælt Ler Formationen

Søvind Mergel Formationen udgøres i Jylland af lysegrå til næsten hvid, meget finkornet mergel eller kalkholdig ler med en tykkelse, der varierer fra 4,4 m til 50,4 m (Heilmann-Clausen *et al.* 1985). Enheden indeholder typisk over 20–50 % CaCO_3 , der især hidrører fra kalkskallede fossiler. Dette er væsentlig mere end i Lillebælt Ler Formationen, der er kalkfri i den nedre del, men kan indeholde op til 10–20 % CaCO_3 i den øverste del (Heilmann-Clausen *et al.* 1985).

Der er ikke foretaget CaCO_3 målinger i dette studie, men 60 m og 71 m prøverne indeholder faunaelementer, der er typiske for den nedre del af Søvind Mergel Formationen og den øvre del af Lillebælt Ler Formationen. Som det fremgår af boreprøvebeskrivelsen er intervallet fra 52 m til 68 m stærkt kalkholdig, grøngrå, plastisk ler, mens kalkholdigheden herunder svinger mellem kalkfri til stærkt kalkholdig. Boringens gamma-logmønster ændrer sig opefter fra ca. 75 m, hvor gammaværdierne begynder at falde. Dette skyldes formodentlig det stigende kalkindhold i den øvre del. Der er derfor god evidens for, at den øverste del af Boring 203.686 kan henføres til enten den nederste del af Søvind Mergel Formationen eller den øverste del af Lillebælt Ler Formationen.

Sammenholdes data fra de tre uafhængige metoder må det regnes for sandsynligt, at i hvert fald 52 m–60 m intervallet kan tilhøre den nedre del af Søvind Mergel Formationen, idet prøve 60 m er meget rig på kalkskallede fossiler.

Lillebælt Ler Formationen

71 m prøven indeholder en hel del kalkskallede foraminiferer typiske for zone NSP7, men ikke så mange som 60 m prøven. 71 m prøven tilhører derfor sandsynligvis den øvre, kalkholdige del af Lillebælt Formationen, og korrelerer med L6 enheden ved Albæk Hoved, der blev beskrevet af Heilmann-Clausen *et al.* (1985).

Prøverne fra 116 m, 121 m, 143 m, 144 m og 145 m er totalt domineret af radiolarier og tilhører zone NSP6. Kalkskallede foraminiferer er ikke observeret, men enkelte agglutinerende er til stede. Den radiolariedominerede, monotone fauna er tidligere beskrevet fra Lillebælt Ler Formationen i Harre boringen (King 1994). Korrelationer både hertil og til borer i Nordsøen (King 1989) indikerer, at overgrænsen for Lillebælt Ler Formationen skal trækkes mellem 60 m og 71 m. Undergrænsen er sammenfaldende med overgrænsen af Røsnæs Ler Formationen (se herunder).

Røsnæs Ler Formationen

I intervallet 147 m–150 m er kalkskallede foraminiferer til stede, om end fåtalligt, og korrelerer med zone NSP5b. Sedimentet i 147 m–156 m er overvejende grøngrå, plastisk ler, og tilsammen antyder data, at sidstnævnte interval korrelerer med den øvre del af Røsnæs Ler Formationen (enhed R6 af Heilmann-Clausen *et al.* 1985).

165 m og 170 m prøverne indeholder en karakteristisk Røsnæslerfauna (zone NSP5a) domineret af *Subbotina patagonica*, hvoraf mange individer er rødfarvede. Hovedparten af Røsnæsleret ved Albæk Hoved, Vejle Fjord, opbygges af rødbrunt, plastisk ler, mens visse intervaller i enhedens øvre del kan antage andre farver. Idet boring 203.686 blev stoppet i 170 m og således nåede at gennembore knapt 20 m overvejende rødbrun, plastisk ler, må det formodes, at boringen blev bragt til standsning tæt på overgrænsen af den askeførende, nederste Eocæne Ølst Formation.

5.3 Referencer til Kapitel 5

Berggren, W.A. & Miller, K.G. (1988). Paleogene tropical planktonic foraminiferal biostratigraphy and magnetobiochronology. *Micropaleontology* 34, 362–380.

Berggren, W.A., Kent, D.V., Swisher, C.C., & Aubry, M.-P. (1995). *A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy*. In: W.A. Berggren, D.V. Kent, M.-P. Aubry, & J. Hardenbol, Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation. *Society for Sedimentary Geology Special Publication* 54, 129–212.

Heilmann-Clausen, C., Nielsen, O.B. & Gersner, F. 1985. Lithostratigraphy and depositional environments in the Upper Paleocene and Eocene of Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 33, 287–323.

King, C. 1983. Cainozoic micropaleontological biostratigraphy of the North Sea. *Institute of Geological Sciences Report* 82-7, 1–40.

King, C. 1989. *Cenozoic of the North Sea*. In: Jenkins, D.G. and Murray, J.W. (eds), Stratigraphical atlas of fossil foraminifera. Ellis Horwood, 418–489.

King, C. 1994. Eocene microfaunas of the Harre borehole (North Jylland, Denmark). *Aarhus Geoscience* 1, 73–80.

6. Bilag

Bilag 1: GEUS Borerapport, DGU nr. 203.686

Bilag 2: Logs sammenstillet med boreprofil

Bilag 3: Gamma spektral log sammenstillet med den prækvartære del af boreprofilet

Bilag 4: Krono- og bio-stratigrafisk oversigt og lithostratigrafisk tolkning

BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686

Borested : Kalundborg Lyng

Kommune : Kalundborg

Amt : Vestsjælland

Boredato : 29/8 2003

Boredybde : 170 meter

Terrænkote : 6 meter o. DNN

Brøndborer : H. Brøker I/S , Holbæk

MOB-nr :

BB-journr : 161-03

BB-bornr :

Prøver

- modtaget : 29/8 2003 antal : 124

- beskrevet : 1/10 2003 af : TC

- antal gemt : 119

Formål : Undersøg./videnskab

Kortblad : 1413 IVSØ

Datum : ED50

Anvendelse :

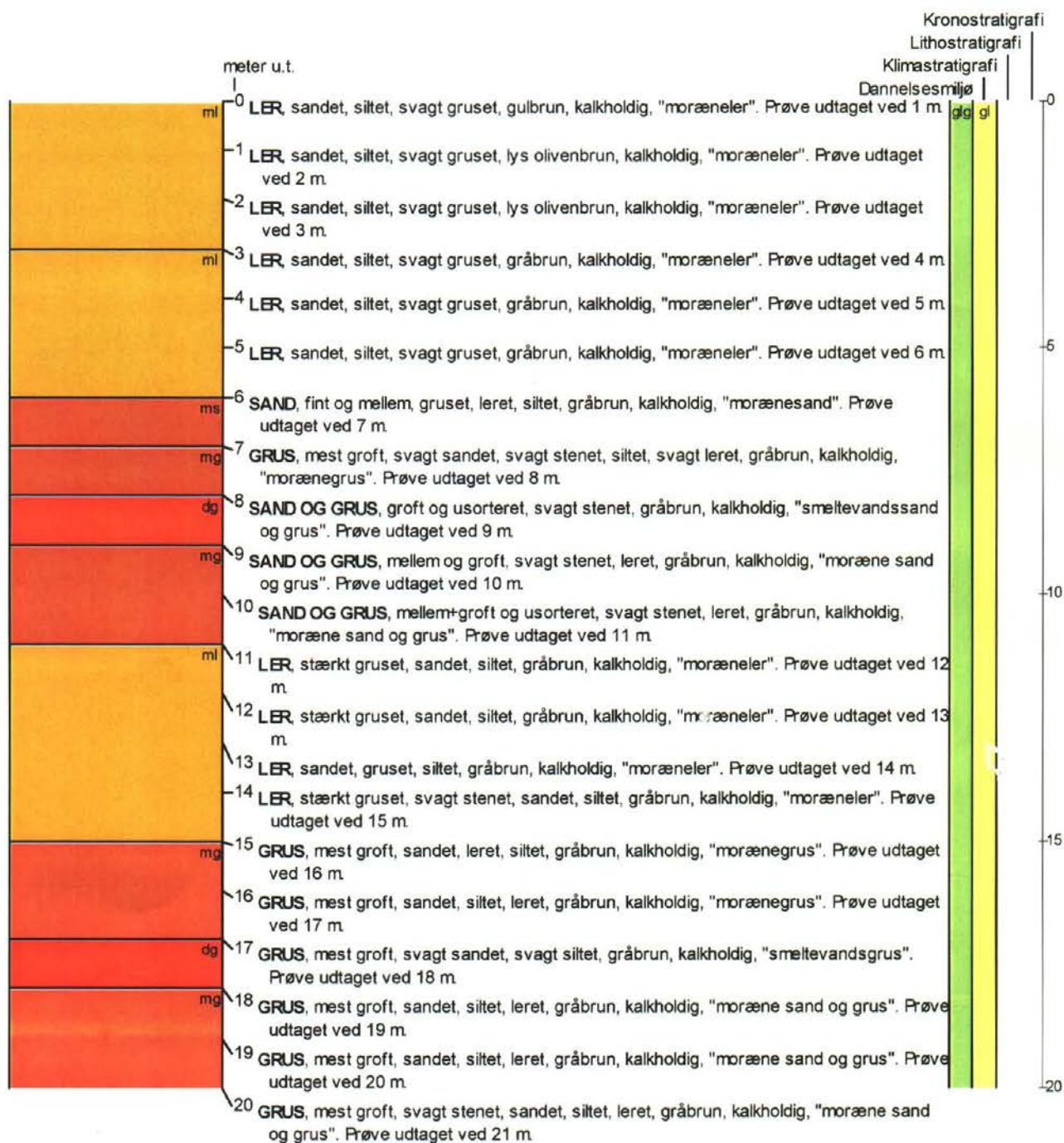
UTM-zone : 32

Koordinatkilde : Brøndborer

Boremetode :

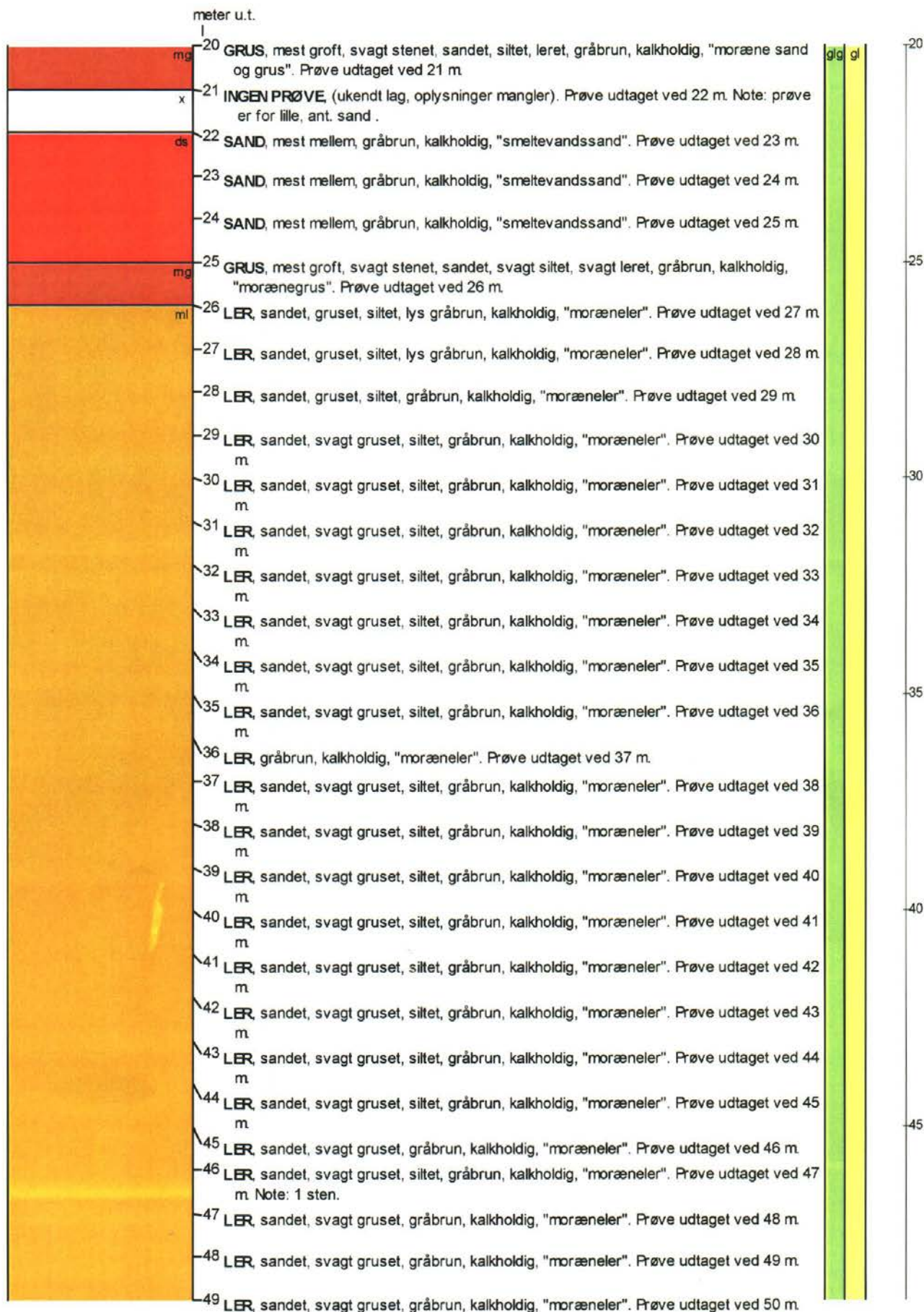
UTM-koord. : 634190, 6171803

Koordinatmetode : KMS digitale kort



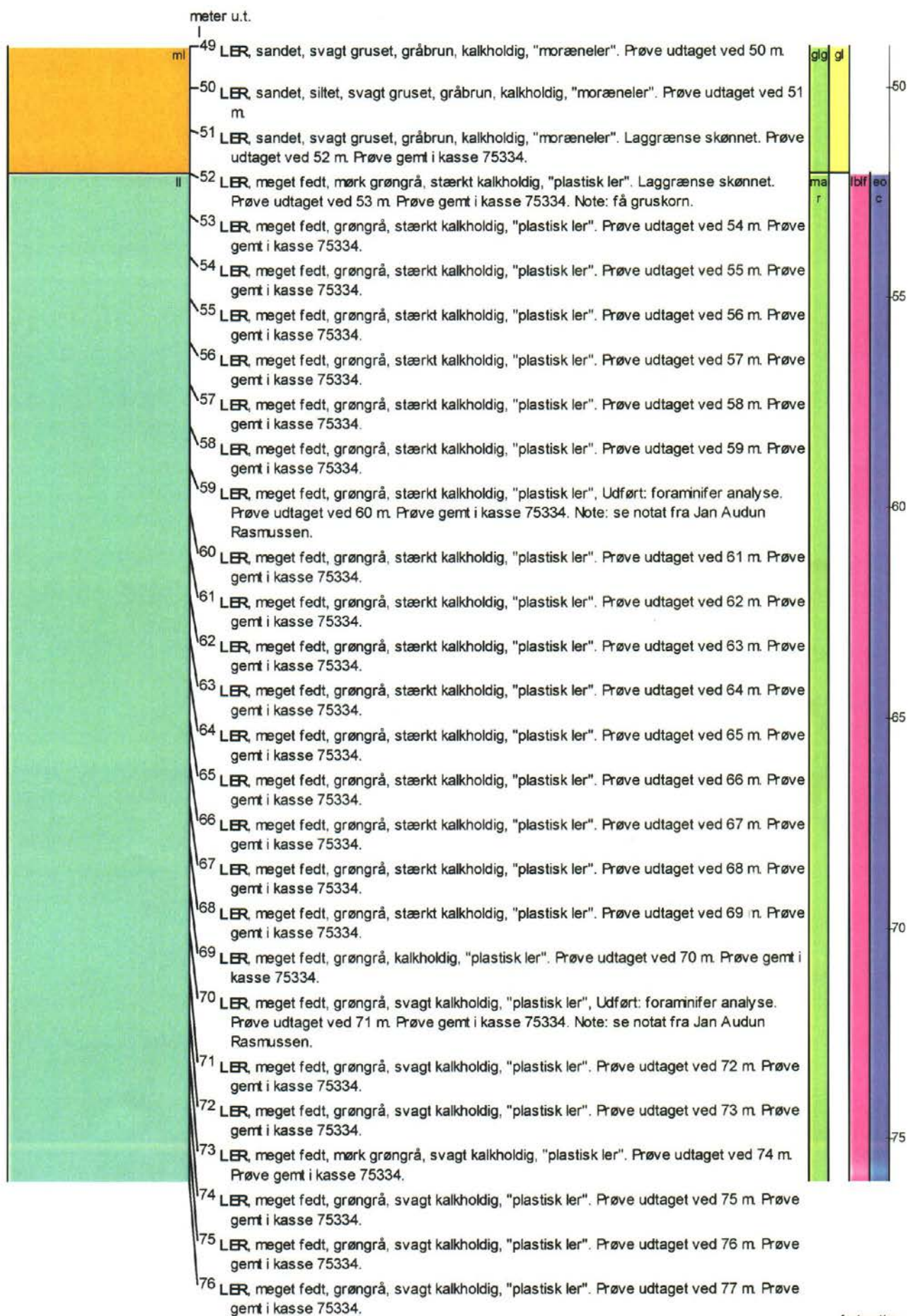
BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686



BORERAPPORT

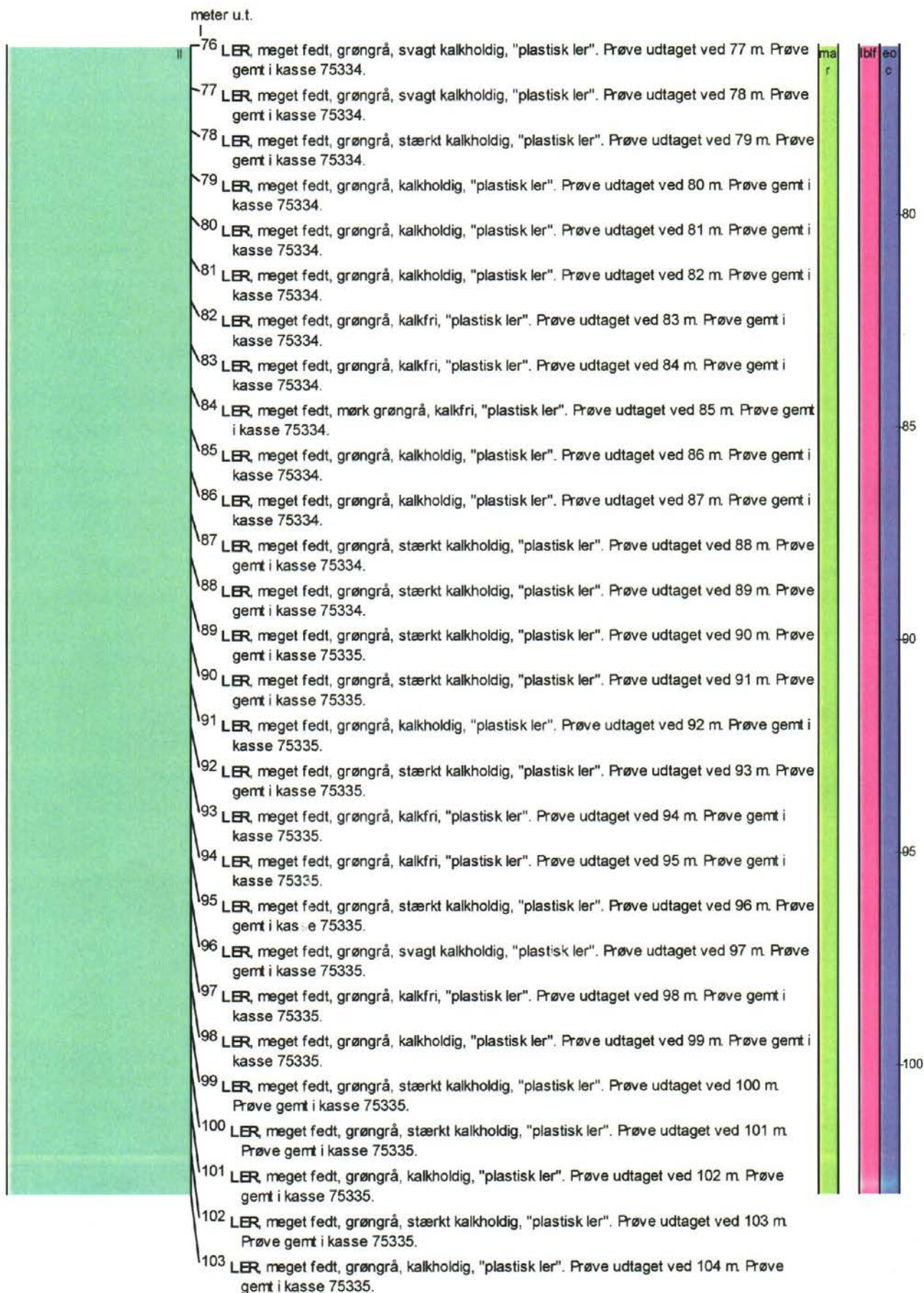
DGU arkivnr : 203. 686



fortsættes..

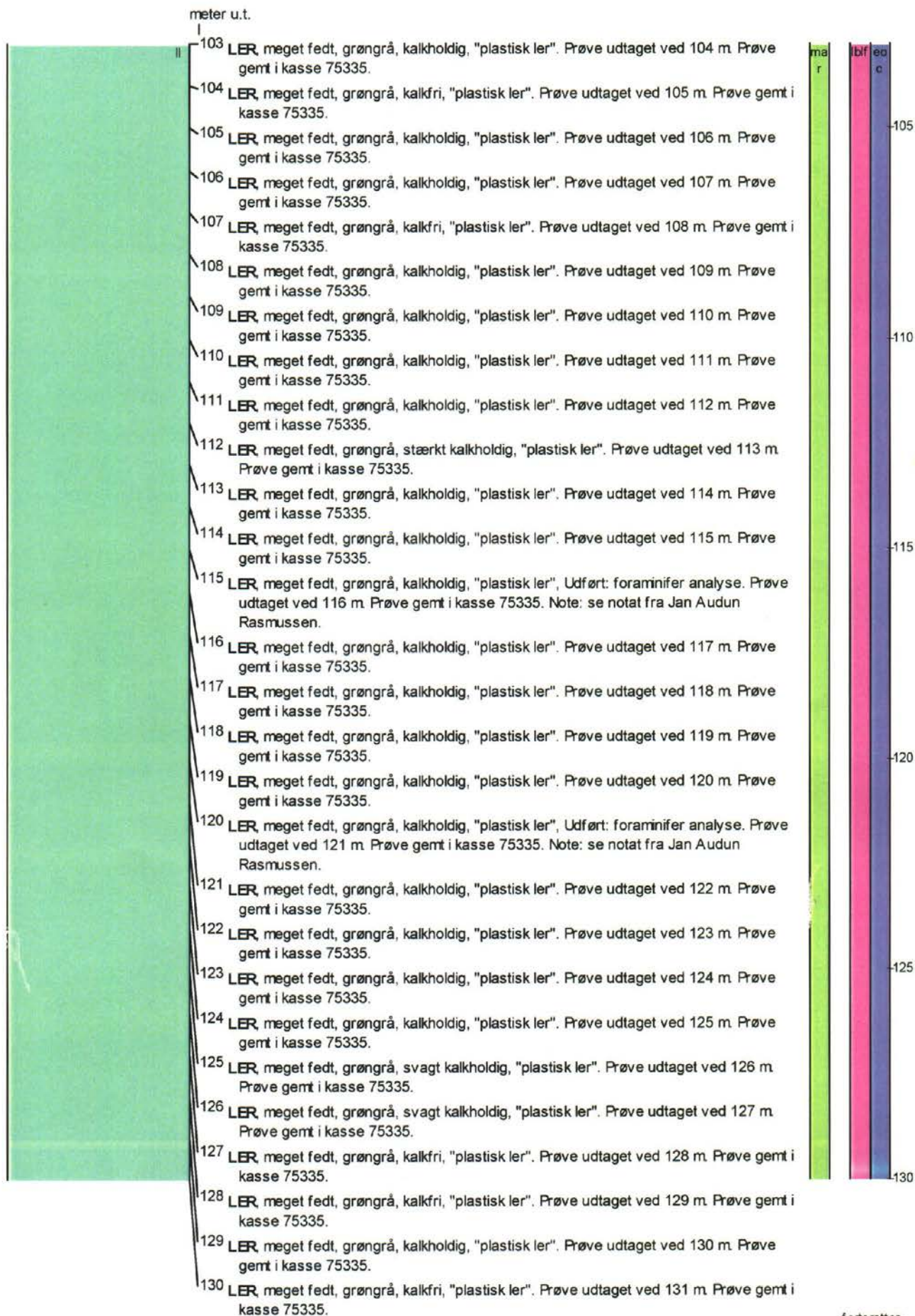
BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686



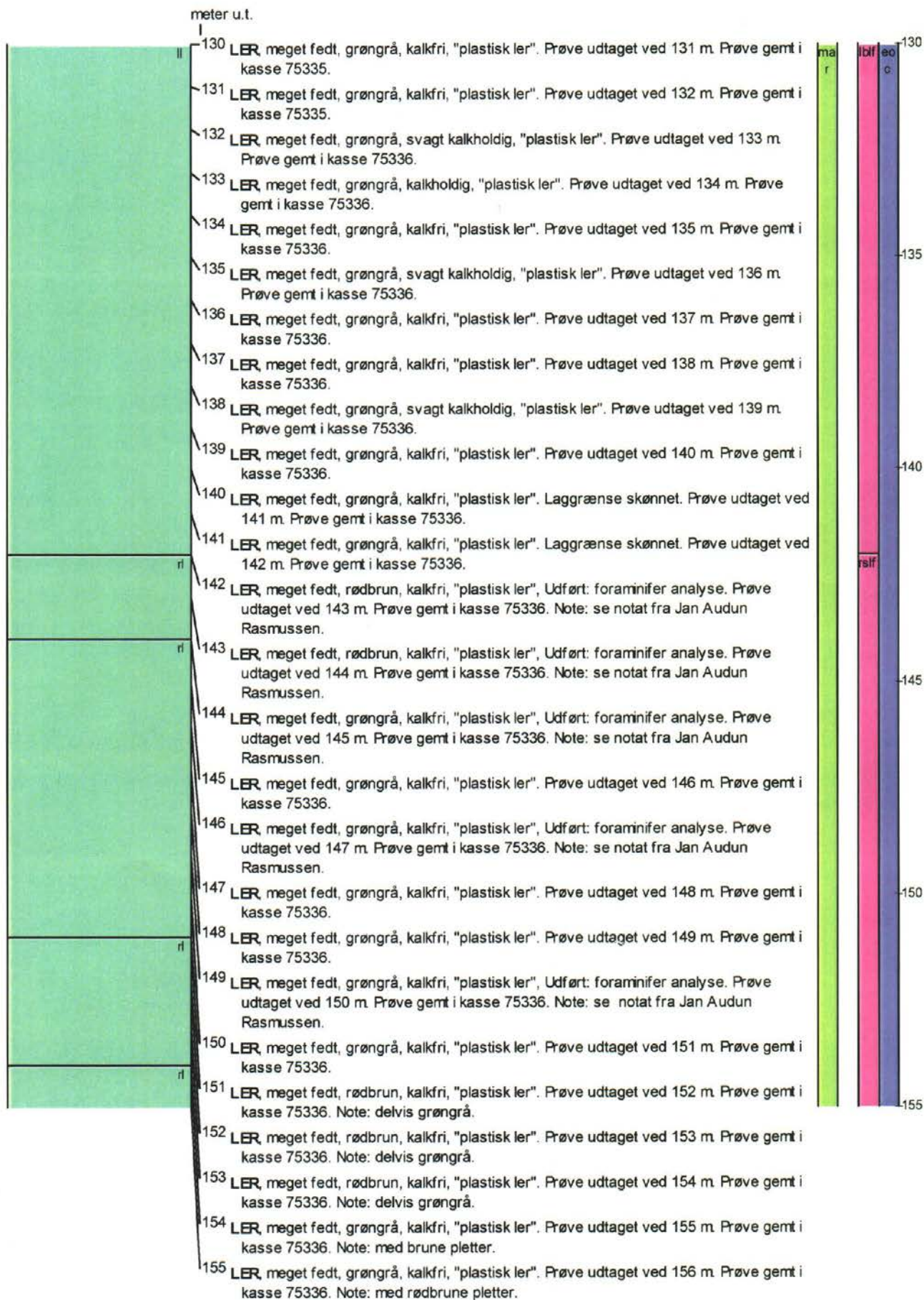
BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686



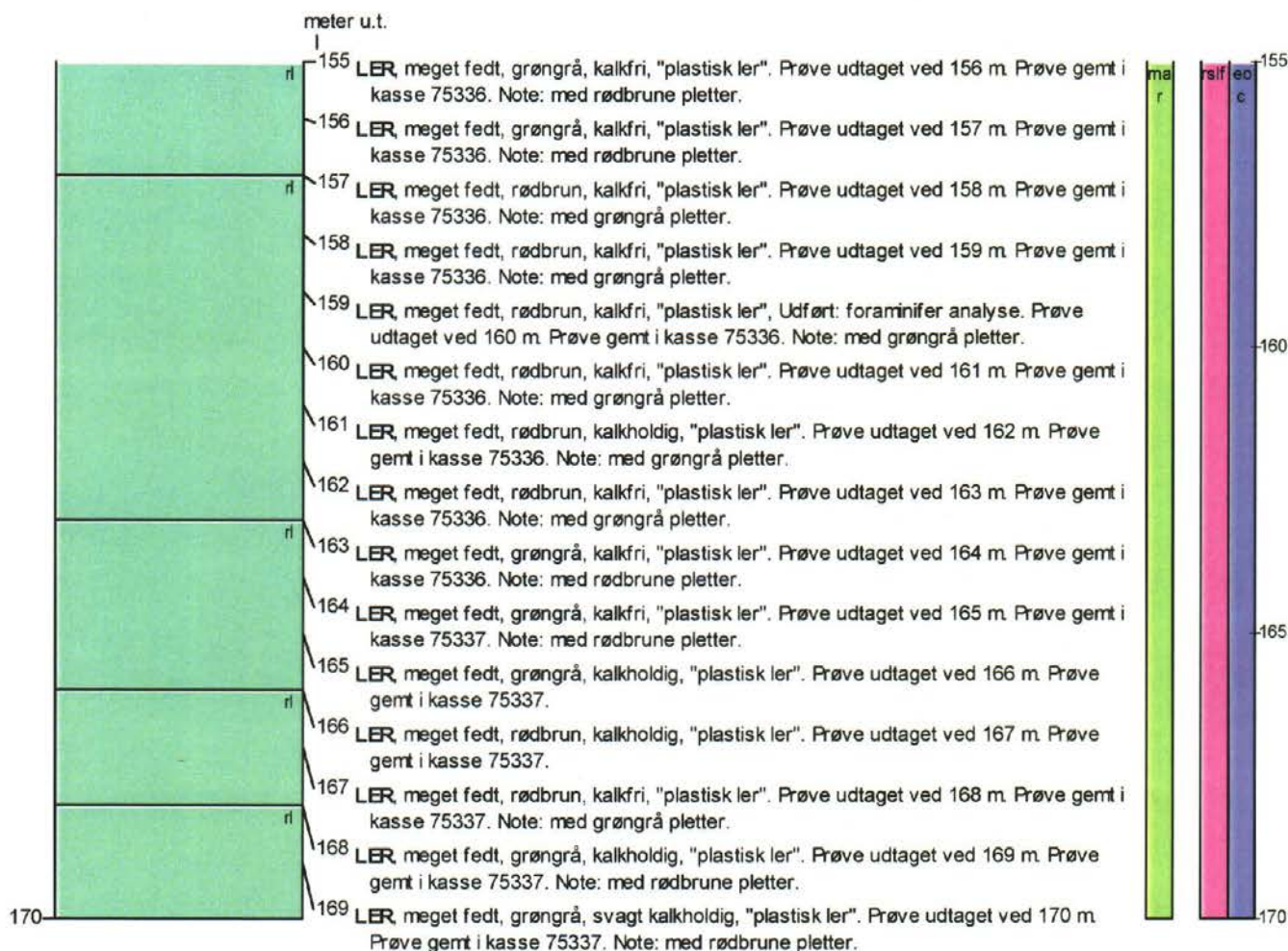
BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686



BORERAPPORT

DGU arkivnr : 203. 686



Aflejningsmiljø - Alder (klima-, krono-, litho-, biostratigrafi)

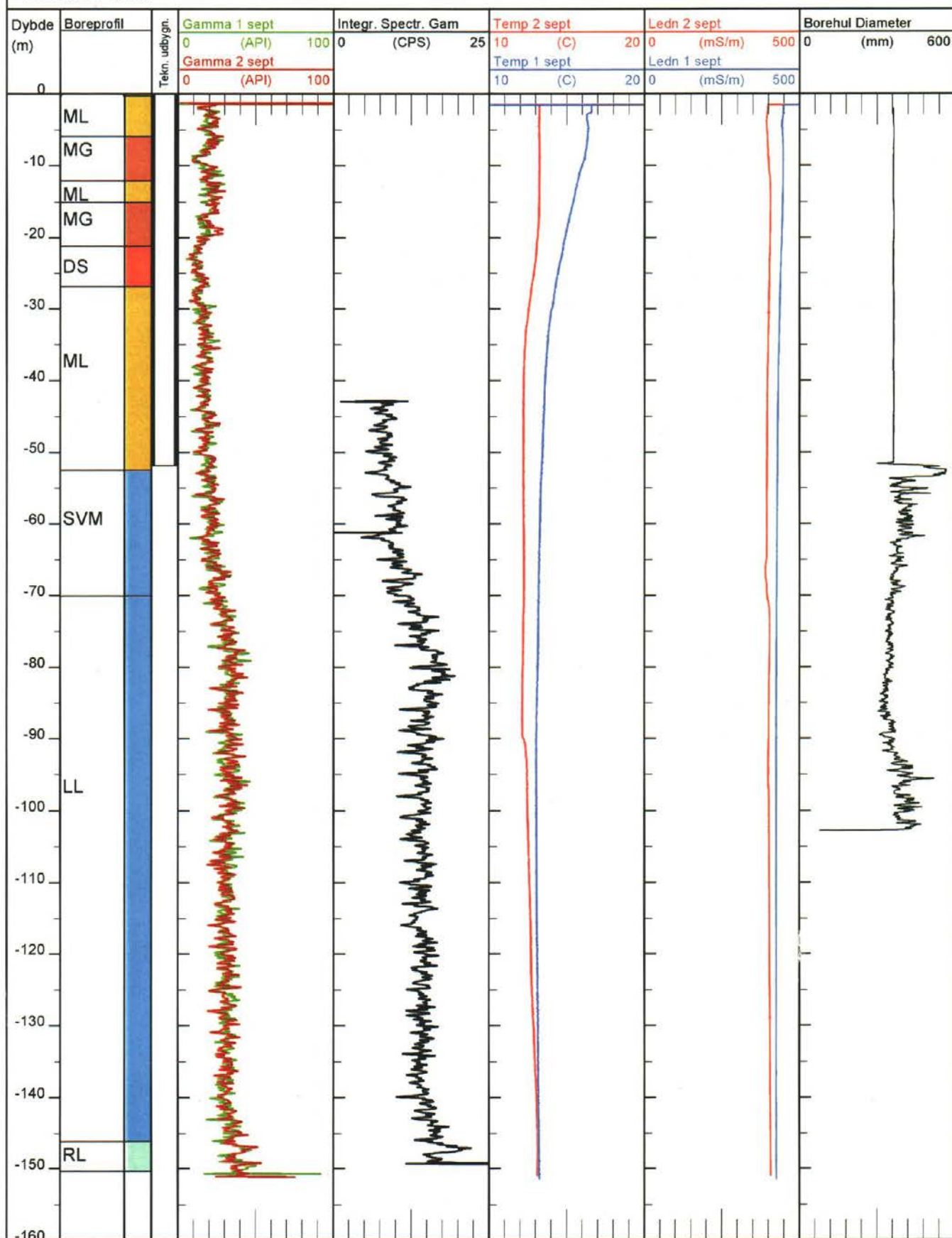
meter u.t.

0	- 52	glacigen - glacial
52	-142	marin - eocæn (ant. lillebælt ler formation)
142	-170	marin - eocæn (ant. røsnæs ler formation)

Bilag 2

Kalundborg - NOVO prøveboring DGU nr. 203.686

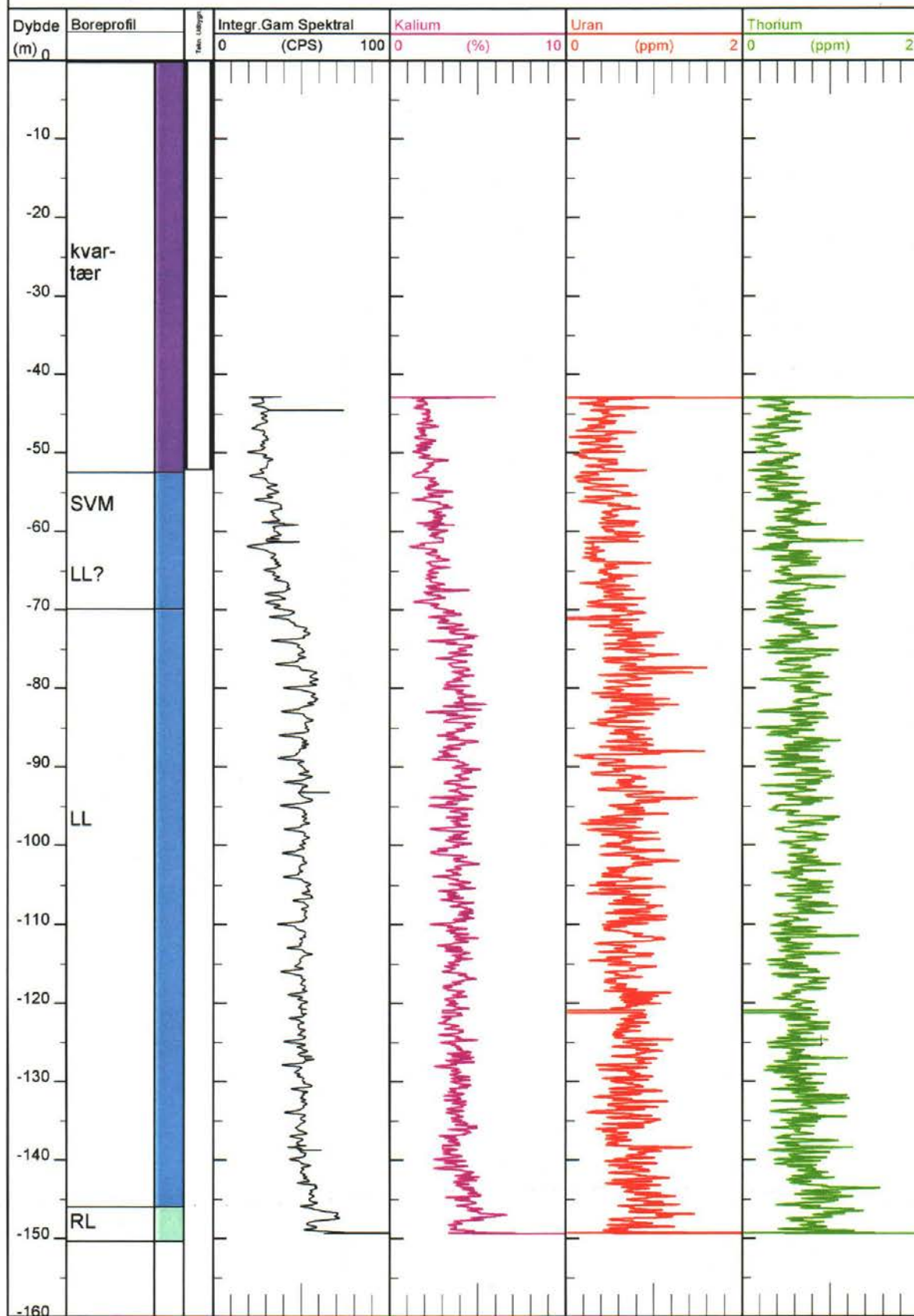
Terræn ca 6,0 m



Bilag 3

Kalundborg - NOVO prøveboring DGU nr. 203.686

Terræn ca 6,0 m



Kronostratigrafi (Berggren et al. 1995)			Foraminifer-zoner (King 1989)		Boring 203.686 (Kalundborg)		
Alder (mill. år)	Serie		Planktiske mikro-	Bentiske mikro-	Litostratigrafi		
37	Eocæn	Mellem	NSP8b	NSB5c	<i>Hiatus</i>		
40			NSP8a	NSB5b			
			41.3	NSP7		NSB5a	
45		Lutetien		NSP6		NSB4	62 m Søvind Mergel Formationen eller 60 m Lillebælt Ler Formationen Lillebælt Ler Formationen
				NSP5b		NSB3b	147 m Røsnæs Ler Formationen
			NSP5a	NSB3a		165 m	
49.0		Nedre	Ypresien	NSP5a		NSB2	170 m <i>Ingen data</i>
50							
55							
55.5		Paleo.	Upper	Thanetian (pars)			

Bilag 4: Korrelation af de Eocæne biostratigrafiske standard Nordsø foraminifer zoner korreleret med den kronostratigrafiske ramme opstillet af Berggren et al. (1995). Nordsø foraminifer zonerne er opstillet af King (1989).