

Palynofaciessammensætning og -variationer i udvalgte, nedre miocæne aflejringsmiljøer, Danmark

Karen Dybkjær & Erik Skovbjerg Rasmussen



Palynofaciessammensætning og -variationer i udvalgte, nedre miocæne aflejringsmiljøer, Danmark

Karen Dybkjær & Erik Skovbjerg Rasmussen

Indhold

Indhold	3
Indledning	5
Geologisk ramme	6
Litostratigrafi	8
Materiale og metoder	9
Resultater	10
St. Vorslunde boringen (DGU nr. 104.2325) (Bilag 1)	10
Sekvens B (222 m – 143 m)	10
Sekvens C (143 m – 80 m)	12
Sekvens D (80 m – 50 m)	13
Vandel mark boringen (DGU nr. 115.1371) (Bilag 2)	13
Sekvens B (240 m – 202 m)	14
Sekvens C (202 m – 120 m)	15
Sekvens D (120 m – 100 m)	16
Andkær boringen (DGU nr. 125.2017) (Bilag 3)	17
Sekvens A (100 m – 96 m)	17
Sekvens B (96 m – 57 m)	18
Sekvens C (57 m – 30 m)	19
Diskussion	21
Shelf-miljø	21
St. Vorslunde	21
Vandel Mark	21
Andkær	21
Generelle karakteristika for shelf-aflejringer:	22
Prodelta-miljø	22
St. Vorslunde	22
Vandel Mark	23
Andkær	23
Generelle karakteristika for prodelta-aflejringer:	24
Strandplan	24
Andkær	24
Generelle karakteristika for strandplans-aflejringer:	24
Flodslette	24
Vandel Mark	24

Generelle karakteristika for flodslette-aflejringer:	25
Lagune/backbarrier flat	25
Dykær og Hagenør.....	25
Generelle karakteristika for lagune/backbarrier flat aflejringer:	25
Estuarint miljø	26
St. Vorskunde.....	26
Generelle karakteristika for eustuarine aflejringer:	26
Fluvialt miljø	26
Vandel Mark	26
Konklusion	27
Referencer	28
Figurer	30
Bilag	31

Indledning

Sammensætningen af sedimentære organiske partikler i en sedimentprøve reflekterer det miljø, hvori sedimentet blev aflejret. De organiske partikler i en grovkornet sandsten aflejret i et høj-energi miljø indeholder oftest ikke andet end sorte, oxiderede, træpartikler, mens de organiske partikler i en lersten aflejret i havet på dybt vand er karakteriseret af en dominans af marine alger, bl.a. dinoflagellate cyster, se endvidere Tyson (1995).

Tolkning af aflejringsmiljøer på basis af indholdet af sedimentære organiske partikler i en sedimentprøve er dog ikke så enkel. F.eks. vil sammensætningen af organiske partikler i en sandsten aflejret på det indre strandplan være meget lig sammensætningen i en sandsten aflejret som en overskylsvifte. Palynofacies analyser er dog et stærkt redskab til tolkning af palæogeografi og aflejringshistorie, hvis det kombineres med sedimentologiske studier.

Den miocæne lagserie i Jylland har været fokus for en lang række undersøgelser gennem de sidste 10 år. Der er opbygget et stort datasæt fra over 50 borer, 25 blotninger, og desuden er der genereret data fra en række seismiske profiler. Lagseriens geologiske udvikling, aflejringsmiljøer og palæogeografi er derfor særdeles veldokumenteret.

Rasmussen (2004a) præsenterede en sekvensstratigrafisk opdeling af lagserien, med sekvenserne A til F. Rasmussen & Dybkjær (2005) præsenterede resultaterne af et kombineret palynofacies og sedimentologisk studie af de nedre miocæne sedimenter blottet i en række profiler langs Jyllands østkyst og henførte disse sedimenter til Sekvens A, B og C. Rasmussen et al. (2006), Hansen & Rasmussen (2008) og Rasmussen (in press) beskriver hvordan de miocæne delta-aflejringer kan erkendes på seismiske data og hvordan disse data kan bruges til at tolke litologi.

I Tidlig Miocæn var store dele af kyststrækningen, der på det tidspunkt gik tværs gennem det nuværende Jylland, dækket af store sump-skovområder (bl.a. Friis 1975, 1977, 1978; Koch 1989; Larsson 2006; submitted). Fra disse sumpskov-områder blev store mængder træpartikler, ved-materiale (AOM) og terrestriske og fluviale palynomorfer transporteret ud i havet via store floder og delta-systemer. Samtidigt aflejredes marine alger, især dinoflagellat cyster (dinocyster) i det marine aflejringsmiljø (se Rasmussen & Dybkjær 2005). Variationerne i det indbyrdes forhold mellem de terrestriske/fluviale og de marine palynomorfer afspejler formodentligt transgressive/regressive hændelser, hvoraf nogle kan korreleres til globale klimavariationer og deraf følgende globale havspejlsændringer, mens andre skyldes tektoniske hændelser (Rasmussen 2004b).

Formålet med nærværende studie er, på baggrund af tidligere og nye palynofacies-data, at dokumentere sammensætningen af sedimentære organiske partikler i forskellige aflejringsmiljøer. Vi vil desuden belyse ændringerne i sammensætningen af organiske partikler i forbindelse med ændringer i miljøerne, f.eks. stigninger og fald i relativt havniveau og deltalobeskift. Studiet er baseret på materiale fra tre borer, St. Vorslunde (DGU nr. 104.2325), Vandel Mark (DGU nr. 115.1371) og Andkær (DGU nr. 125.2017) (Fig. 1). Desuden inddrages data fra tidligere palynofacies analyser fra blotningerne ved Dykær og Hagenør. Disse data er publiceret i Rasmussen & Dybkjær (2005).

Geologisk ramme

Nordsøbassinet er blevet dannet som en konsekvens af den termale indsynkning, der efterfulgte gravdannelsen i Jura (Ziegler 1982; Vejbæk 1992). Dette bassin strakte sig fra Norge i nord, nedover Skåne, Baltikum og Nordtyskland, hvorefter den sydlige afgrænsning forløb nedover Belgien og Nordfrankrig. Den vestlige afgrænsning er mere upræcis, men har formodentligt forløbet op langs Østengland og videre op langs Skotlands- og Shetlandsøernes østkyst. Mellem Shetland og Norge var der et smalt stræde, der virkede som en barriere så Nordsøen i perioder har været brak. Den maksimale udbredelse af havet i dette bassin forekom i Øvre Kridt, hvor kalk og limsten blev aflejret. I forbindelse med Den Alpine Foldning (Øvre Kridt og Paleocæn) blev dele af bassinet kraftig påvirket. Dette resulterede i kraftig inversionstektonik og sandsynligvis også i hævnning af Det fennoskandiske Skjold. Specielt ses en markant udbygning af kystlinien i bassinet fra nord i Eocæn, men paleocæne gravitetsafsætninger på Ringkøbing-Fyn Højderyggen (Danielsen *et al.* 1995) indikerer formodentligt at udbygningen startede allerede på dette tidspunkt. Den centrale del af bassinet var karakteriseret ved en typisk sokkeludbygning i et hav med 500 – 700 meters vandybde. Længere mod øst (det nuværende Danmark) var vandybderne væsentligt lavere, mellem 0 og ca. 100 meter (Hindsby *et al.* 1999). I Paleocæn og Eocæn tid var udbygningen koncentreret til de marginale dele af bassinet syd for det nuværende Norge (f.eks. Jordt *et al.* 1985) mens aflejringerne i Danmark var domineret af finkornede sedimenter (Heilmann-Clausen 1995). I Oligocæn nåede udbygningen ned i det danske område og der aflejredes lavmarine, sandrige sedimenter i Nordjylland og Midtjylland, især omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Deltaudbygning fra nord dominerede lokalt, men generelt blev sedimenterne aflejret i oddekomplekser med bagved liggende laguner og åbent hav mod syd og sydvest (Friis *et al.* 1998; Rasmussen 2004; Rasmussen & Dybkjær 2005). Tektoniske bevægelser i Oligocæn har sandsynligvis haft indflydelse på kildeområdet og aflejringsmønstret. Ligeledes har globale havniveauændringer i Oligocæn også sat sit præg på aflejringsmiljøet, bl.a. ved at en stor del af Nedre Oligocæn mangler (f.eks. Michelsen 1994; Heilmann-Clausen 1995). Nedre Oligocæne aflejringer er bevaret lokalt, i depressioner relateret til saltstrukturer og depressioner dannet i forbindelse med grundfjelds-relaterede tektoniske bevægelser i Oligocæn.

I Øvre Oligocæn transgrederedes Det danske Bassin på ny (fig. 2A). Den topografi, der dannedes i forbindelse med de tektoniske bevægelser, har haft afgørende betydning for aflejringsmiljøet. Ringkøbing-Fyn Højderyggen spillede en særlig rolle, idet den adskilte mere åben marine/kystprograderende aflejringsmiljøer syd for ryggen fra paraliske/afsnørede miljøer nord for ryggen (fig. 2B) (Rasmussen 2004; Rasmussen & Dybkjær 2005). De strukturelle rygge var vigtige områder for dannelse af oddekomplekser, der resulterede i en serie af barriere-øer med bagved liggende laguner på tværs af Jylland. Sedimentkilden til disse oddekomplekser har været store floder fra nord. Sedimenterne er transporteret langs kysten indtil aflejring i oddekomplekserne. Et markant fald i havniveau resulterede i en markant udbygning af kysten i seneste Chattian (seneste Oligocæn) til Aquitanien (Tidlig Miocæn) (fig. 2B,C) (Rasmussen 1996) og da udbygningen skete under stadig faldende havniveau aflejredes forholdsvis rent sand og grus. Efter havniveauet faldet i Aquitanien steg havniveauet generelt op igennem Miocæn med maksimum i Serravallien (Øvre Mellem Miocæn) (fig. 2D–L) (Printice & Matthews 1988). Nye tektoniske bevægelser

karakteriserede bassinet i slutningen af Burdigalien (øvre Nedre Miocæn). Dette resulterede i nye udbygninger, bl.a. aflejringer beriget med tungmineraler (fig. 2I og J). Da denne udbygning foregik under stigende havniveau var den ikke så markant som den i Aquitanien og pga. stigende grundvandsspejl i landområderne var mulighederne optimale for afsætning af brunkul, som det kendes fra Midtjylland (fig. 2J). Langhien (Mellem Miocæn) repræsenterer en vigtig fase i udviklingen af Nordsøbassinet. Midt i perioden skete der en markant transgression og ligeledes viser forkastninger i Odderup Formationen at tektonisk aktivitet foregik ved denne overgang (Koch 1989). Kildeområdet skiftede i denne periode fra overvejende nord i Nedre Miocæn til nordøst og øst i Mellem og Øvre Miocæn. Under den markante transgression i Langhien var klimaet varmt. Det varme klima i begyndelsen af Mellem Miocæn var et globalt fænomen og derfor steg det globale havniveau også markant i denne periode. Sandsynligvis var hele det danske område oversvømmet i den sidste del af Mellem Miocæn under aflejring af Hodde Formationen. Under aflejringen af Gram Leret i Øvre Miocæn, blev det generelt koldere globalt og dermed skete der også et fald i havniveau i den sidste del af Miocæn. Dette blev kompenseret af en større regional indsynkning, således at området forblev fuldt marint trods det faldende globale havniveau. Nye undersøgelser viser endda at der blev aflejret op til 400 m øvre miocæne sedimenter over Midtjylland (Japsen *et al.* 2002). Gram Formationen er kendt for en rig flora og fauna, der må derfor have været en høj tilførsel af næringsstoffer fra land.

Litostratigrafi

De nyere undersøgelser af den øvre oligocæne – miocæne lagserie i Jylland har vist at den tidligere litostratigrafiske opdeling (Sorgenfrei 1958; Larsen & Dinesen 1959; Rasmussen 1961) er for simpel. Den her anvendte litostratigrafisk opdeling er den, der er opstillet af Rasmussen et al. (in prep.). Denne opdeling er vist på figur 3.

Brejning Formationen henregnes til oligocænet, så den miocæne lagserie starter med Vejle Fjord Formationen. I det centrale og vestlige Jylland er der kortlagt et større deltakompleks, som er samtidig med og nogle steder lidt yngre end Vejle Fjord Formationen (Rasmussen et al. 2004). Dette benævnes Billund sand. Over disse enheder kommer Klintinghoved, der hovedsageligt består af lerede sedimenter. I den nederste del af Klintinghoved Formationen findes Kolding Fjord Member, der består af sandrige sedimenter afsat på strandplan og i laguner. De minder meget om Vejle Fjord Formationen, men er yngre og udgør ikke en del af Vejle Fjord systemet. I store områder af midt- og sønderjylland findes et stort deltakompleks tidsækvivalent med den øvre del af Klintinghoved Formationen. Dette deltakompleks benævnes Bastrup Formationen. Herover kommer den lerede Arnum Formation, som i den øverste del interfingerer med de fluviale og kystslette-sedimenter der henføres til Odderup Formationen. Over Odderup og Arnum formationerne træffes lerrige sedimenter, henført til Hodde-, Ørnhøj og Gram Formationenerne. Endelig overlejres Gram Formationen af den sandede Marbæk Formation.

Materiale og metoder

I studiet indgår prøver fra de tre borer Andkær (DGU nr. 125.2017), St. Vorslunde (DGU nr. 104.2325) og Vandel Mark (DGU nr. 115.1371), se lokalisering af borerne på figur 1. Der blev analyseret 27 prøver fra Andkær, 50 fra St. Vorslunde og 21 fra Vandel Mark. Prøverne er i forbindelse med tidligere stratigrafiske studier blevet præpareret palynologisk, dvs. behandlet med HCl og HF for at fjerne alle silikater, dernæst oxideret og tyngdesepareret, samt filtreret på 11 µm filtre. Endelig er de syreresistente organiske partikler monteret i glyceringelantine på objektglas og hvori de er studeret i lysmikroskop.

I forbindelse med nærværende studie er et minimum på 200 sedimentære organiske partikler identificeret og henført til én af de følgende kategorier: Træpartikler, kutikula, amorft organisk materiale (AOM) (her oftest delvist nedbrudt vedmateriale), samt palynomorfer (Tabel 1). Dernæst er minimum 300 palynomorfer identificeret og henført til én af kategorierne: Saccate pollen, non-saccate pollen, mikrosporer, ferskvandsalger, *Botryococcus* (en fersk til brakvandsalge), acritarcher, dinoflagellate cyster og uidentificerbare palynomorfer (Tabel 2). Der er således identificeret og talt et minimum af 500 sedimentære organiske partikler per prøve, altså over 49.000 organiske partikler i forbindelse med nærværende studie. De ovenfor nævnte kategorier, deres oprindelse og deres anvendelse til miljø-tolkning er opsummeret i tabel 1 og 2.

Desuden indgår data fra blotningerne ved Dykær og Hagenør. Disse data er taget fra et tidligere studie, Rasmussen & Dybkjær (2005). Lokaliseringen af disse to blotninger er vist i figur 1.

Resultater

Generelt er sammensætningen af organiske partikler i Nedre Miocæn i Danmark karakteriseret af en stor andel af terrestrisk materiale, som træpartikler, delvist nedbrudt ved-materiale (her kaldet AOM), samt terrestriske palynomorfer (non-saccate og saccate pollen). Andelen af marine palynomorfer (dinocyster) varierer noget, men er generelt væsentligt mindre end andelen af terrestriske palynomorfer.

Resultaterne af analyserne er præsenteret i bilag 1-3. For hver af de tre borer vises palynofacies-dataene i 4 overordnede søjler, "Palynofacies 1-4". "Palynofacies 1" præsenterer den overordnede fordeling af partiklerne indenfor kategorierne: Kutikula, palynomorfer, AOM og træpartikler, mens "Palynofacies 2" viser fordelingen indenfor palynomorf-gruppen. "Palynofacies 3" viser den overordnede fordeling af brakvandsindikerende palynomorfer (*Botryococcus* og acritarcher), marine palynomorfer (dinoflagellat cyster), samt terrestriske og limniske palynomorfer (saccate pollen, non-saccate pollen, mikrosporier, samt ferskvandsalger). Endelig er dinoflagellat cyste diversiteten (antal arter) vist i "Palynofacies 4".

I det følgende beskrives de opnåede palynofacies data for hver boring, sekvens for sekvens. Dernæst tolkes aflejringssmiljøerne, baseret på baggrund af seismiske data (figs. 4-6), gamma-logs, fossil-indhold, samt korrelation til dagblotninger, hvorfra sedimentstrukturer er identificeret. Endeligt præsenteres de generelle palynofacies-karakteristika for det enkelte aflejringssmiljø (figs. 7 og 8).

St. Vorslunde boringen (DGU nr. 104.2325) (Bilag 1)

Generelt er de organiske sedimentære partikler domineret af palynomorfer og AOM, med et markant maximum på 84% palynomorfer i prøven ved 150 m. Træpartikler udgør dog i den øvre del af det undersøgte interval (i Sekvens C) i flere prøver over 30%.

Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen med mellem 36 og 75%, med undtagelse af prøven i 61 m, hvor de non-saccate pollen udgør 47% af palynomorferne. Hyppigheden af dinocyster varierer mellem 1% og 47% og viser nogle distinkte variationer. Diversiteten varierer mellem 8 og 29.

Sekvens B (222 m – 143 m)

Beskrivelse

I prøverne fra 220 m til 218 m dominerer AOM, undtagen i prøven ved 220 m, hvor der er registreret 50% palynomorfer. Fra 218 til 217 m sker der et skifte til en dominans af palynomorfer, som holder sig op gennem den øvrige del af sekvensen.

Blandt palynomorferne ses en overordnet stigning i hyppigheden af dinoflagellater og i diversiteten fra 222 m til den maksimale oversvømmelsesflade ved 210

m. Så falder hyppigheden af dinoflagellater fra 210 m til 203 m. Dette modsvares af en, forskudt stigning i non-saccate pollen fra 9% i 208 m til 30 % i 200 m. Hyppigheden af dinocyster stiger lidt fra 203 m til 200 m, herover er der en konstant hyppighed på ca. 20% op til 189 m, hvorefter hyppigheden stiger til et maksimum på hele 47% i 179 m. Her er der samtidigt registreret et minimum af non-saccate pollen på bare 7%. Fra 179 m til 146 m ses et markant fald fra 47% til bare 5% dinocyster. Dette fald i dinocyster modsvares af først en stigning i non-saccate pollen fra 179 m til 155 m, og derover en stigning i saccate pollen, som i prøven ved 146 m udgør ikke mindre end 75% af palynomorferne. Diversiteten varierer imellem 21 og 29 i hele intervallet fra 210 m til toppen af sekvensen. Der er registreret 0-2% acritarcher, mikrosporer, *Botryococcus* og ferskvandsalger op gennem hele sekvensen, med flest mikrosporer og *Botryococcus* i den nederste del af sekvensen og flest acritarcher i prøven ved 210 m, hvor der også er et markant maksimum af dinocyster.

Tolkning

220 m – 210 m: Shelf miljø

Stigningen i relativ hyppighed af dinocyster fra 220 m til 210 m, nederst i sekvensen, indikerer en transgression, i et tyndt interval, der ikke ses på seismikken, fordi det ligger under seismisk opløselighed. Intervallet svarer til et stigende gamma-log trend og høje gamma værdier i den nederste del af Sekvens B (bilag 1). Intervallet tolkes som en transgressivt kompleks aflejret i et shelf-miljø og med en maksimal oversvømmelsesflade nær 210 m.

210 m – 143 m: Prodelta miljø

Seismiske data karakteriseret ved klinteformer og et generelt logmønster med faldende gamma opad (fig. 4) indikerer hyppigere indslag af sand opad. Dette indikerer et overordnet prograderende deltasystem (Hansen & Rasmussen 2008; Rasmussen, in press). Indholdet af dinocyster indikerer et marint miljø, mens den store hyppighed af træpartikler, vedmateriale (AOM) og terrestriske palynomorfer samtidigt indikerer en stor influx af terrestrisk materiale. Dette underbygger et marint, deltainisk miljø for dette interval.

Fra 210 m til 189 m indikerer gamma-loggen en groven opad til aggraderende trend. Herover ses en finende opad trend op til 179 m. Faldet i hyppigheden af dinocyster fra 210 m til 203 m og den konstante hyppighed op til 189 m er fint i overensstemmelse med et prograderende til aggrederende system. Den markante stigningen i hyppighed af dinocyster fra 189 m til 179 m og et samtidigt fald i hyppighed af træpartikler og non-saccate pollen kan forklares med et deltalobeskift og dermed en ændring af dræningssystemet på deltasletten. Alternativt kan det reflektere en transgressiv hændelse, men en evt. transgressive hændelse må være af mindre størrelsesorden, da der ses en kontinuerlig progradering af hele delta-systemet, som indikeret på den seismiske linie, fig. 4.

Intervallet fra 179 m til 143 m viser en overordnet groven opad trend på gamma-loggen. Det klinteforme refleksionsmønster på de seismiske data viser at der fortsat er tale om et prodelta-miljø. Det overordnede markante fald fra 47% til bare 5% dinocyster, kombineret med stigende hyppighed af non-saccate og saccate pollen, er fint i overensstemmelse med et prograderende deltakompleks.

Sekvens C (143 m – 80 m)

Beskrivelse

I Sekvens C er der en dominans af palynomorfer, mens hyppigheden af AOM og træpartikler varierer fra prøve til prøve.

Blandt palynomorferne ses en markant stigning i hyppigheden af dinocyster henover sekvensgrænsen. Fra 142 m til 129 m falder hyppigheden af dinocyster til 10%. Samtidigt ses en øget hyppighed af mikrosporer og ferskvandsalger i prøven ved 129 m. Herover stiger hyppigheden af dinocyster til 16% ved 115 m, nær den maksimale oversvømmelsesflade og diversiteten stiger fra 21 til 29. Samtidigt er prøverne fra 125 m, 121 m og 118 m karakteriseret ved et usædvanligt højt indhold af ferskvandsalger (11%, 12% og 7% h.h.v.). Hyppigheden af non-saccate pollen er konstant i disse tre nederste prøver i sekvensen, men falder så fra 26% ved 118 m til 13% ved 103 m. Samtidigt stiger hyppigheden af saccate pollen fra 46% ved 126 m til 66% ved 103 m. Andelen af dinocyster falder fra 16% ved 115 m til 11% ved 112 m og er derover nogenlunde konstant på 9% til 12% fra 112 m til 83 m. Generelt er der en del ferskvandsalger i prøverne, 2% til 4%, mens der i prøven ved 83 m er hele 8% ferskvandsalger. I prøven ved 78 m er der kun registreret 1% dinocyster, mens hyppigheden af non-saccate pollen er steget fra 15% i prøven under til 26%. Diversiteten ligger forholdsvist konstant mellem 23 og 29.

Tolkning

143 m – 129 m: Estuarint miljø

Intervalleret fra 143 m til 129 m korrelerer til en erosiv, konkav opad struktur på de seismiske data (fig. 5) og samtidigt viser gammalloggen et finende opad trend. Dette er karakteristisk for fyld i en nedskåret dal. Der er et forholdsvist højt dinocyste indhold i dette interval, men med en faldende relativ hyppighed opad, fra 24% ved 142 m til 10% ved 129 m. Dinocyste-indholdet udelukker at der er tale om fluvialt fyld aflejret i forbindelse med fortsat progradering af deltakomplekset. En mere sandsynlig tolkning er at den nedskårne dal er blevet dannet under fortsat progradering og er derefter fyldt med marint prægede aflejringer (estuarint fyld), der er mindre marint præget op efter.

129 m – 115 m: Shelf miljø

Intervalleret fra 129 m til 115 m korrelerer til seismiske data karakteriseret ved et parallelt til transparent reflektionsmønster. Gammalloggen viser en markant stigning med to finende opad enheder (figs. 4 og 5). Tilstedeværelsen af dinocyster indikerer et marint miljø. De seismiske data viser at dette interval overlejres af et prograderende deltamiljø med klinoformer på op til 50 m's tykkelse. Dette må betyde at ihvertfælde sedimenterne i den øverste del af intervallet er aflejret på mere end 50 m's vanddybde, på shelfen. Stigningen i hyppighed af dinocyster indikerer en overordnet transgression.

115 m – 80 m: Prodelta miljø

Intervallerne fra 115 m til 70 m korrelerer til et kliniformt reflektionsmønster på seismiske data (figs. 4 og 5) og en generel groven opad på gammaloggen og repræsenterer dermed en prodelta-succession. Hyppigheden af dinocyster falder i den nederste del af intervallet og er derefter omtrent konstant og generelt lav (9-12%). Der er generelt en del ferskvandsalger i prøverne, som tyder på et direkte influks fra en flodkanal.

Sekvens D (80 m – 50 m)

Beskrivelse

Hyppigheden af AOM stiger gradvis op gennem sekvensen, fra 20% ved 78 m til 63% ved 51 m. I prøven ved 78 m er der kun registreret 1% dinocyster, mens hyppigheden af dinocyster herover er markant højere end i Sekvens C, fra 15% til 32%, med maksimum på 32% i prøven ved 65 m. Herover ses et fald til 15% ved 61 m og derover en stigning fra 15% til 24% fra 61 m til 51 m. I prøven ved 61 m ses et lokalt maksimum i non-saccate pollen på 47%. Der er desuden en del ferskvandsalger, især i prøverne ved 65 m, 61 m og 51 m. Diversiteten har et minimum på 8 i prøven ved 78 m, men ligger herover på mellem 15 og 24.

Tolkning

80 m – 50 m: Estuarint miljø

Intervallerne fra 80 m til 50 m korrelerer til en erosiv, konkav opad struktur på de seismiske data og samtidigt viser gammaloggen et finende opad trend (fig. 5). Dette er karakteristisk for fyld i en nedskåret dal. Bortset fra i den allernederste del af intervallet, er der et forholdsvis højt dinocyste indhold i dette interval. Ligesom for intervallet fra 143 m til 129 m udelukker det forholdsvis høje dinocyste-indhold at der er tale om fluvialt fyld aflejret i forbindelse med fortsat progradering af deltakomplekset. En mere sandsynlig tolkning er at den nedskårne dal er blevet dannet under fortsat progradering og er derefter fyldt med marint prægede aflejringer (estuarint fyld).

Vandel mark boringen (DGU nr. 115.1371) (Bilag 2)

Vandel mark boringen er ikke direkte bundet til en seismisk linie, men står tæt ved en linie, der er gennemboret ved Billund (Rasmussen, in press) (fig. 6).

Generelt er de organiske sedimentære partikler domineret af palynomorfer og AOM i den nedre del af det undersøgte interval, i Sekvens B og den nedre del af Sekvens C, op til omkring 170 m. I intervallet fra 170 m til 142 m, i den midterste del af Sekvens C, varierer fordelingen fra prøve til prøve, med en overordnet dominans af AOM, mens den øvre del, fra 142 m til 100 m, er domineret af AOM og træpartikler.

Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen, med mellem 48 og 67%, med undtagelse af prøven i 112 m, hvor de non-saccate pollen dominerer med 51 % af

palynomorferne. Hyppigheden af dinocyster varierer mellem 10 og 24 % i Sekvens B, mens der i den øvre del af Sekvens C er helt ned til 2% dinocyster i nogle prøver. Diversiteten varierer mellem 13 og 24, men der mangler desværre data fra den øvre del af Sekvens C og fra Sekvens D.

Sekvens B (240 m – 202 m)

Beskrivelse

I intervallet fra 239 m til 217 m ses et generelt fald i AOM, fra 49% i 239 m til 24% i 217, mens palynomorfer og træpartikler begge stiger. Fra 217 m til 203 m ses en markant stigning i hyppigheden af AOM, fra 24% til 58%, fulgt af et svagt fald til 48% i 202 m øverst i Sekvens B.

Blandt palynomorferne ses en markant stigning i hyppigheden af dinocyster, fra 13% til 24% og i diversiteten fra 13 til 22 fra 239 m til 236 m, ved den maksimale oversvømmelsesflade. Samtidigt falder hyppigheden af saccate pollen fra 68% til 56%. Fra 233 m til 217 m falder hyppigheden af dinocyster fra 23% til 10%, mens diversiteten er omtrent konstant. Samtidigt stiger hyppigheden af non-saccate pollen og desuden optræder der lidt flere mikrosporer, ferskvandsalger og *Botryococcus* i prøven ved 217 m. Fra 217 m til 203 m stiger hyppigheden af dinocyster fra 10% til 18%, for dernæst at falde til 12 % i prøven ved 202 m. I prøven ved 202 m er der desuden et øget indhold af mikrosporer.

Tolkning

240 m – 233 m: Shelf miljø

Intervallet fra 240 m til 233 m er ikke til stede på den seismiske linie, men er karakteriseret ved høje gamma-værdier. Sedimenterne består overvejende af ler. Tilstedeværelsen af dinocyster indikerer et marint aflejringsmiljø. Den nærliggende seismik (fig. 6) viser udbygningen af et større deltakompleks. Højden på kliniformerne på denne seismik viser at vanddybden har været større end 50 m under aflejringen af sedimenterne i intervallet fra 240-233 m. Derfor tolkes aflejringsmiljøet for dette interval til at være et fuldt marint shelf-miljø.

233 m – 202 m: Prodelta miljø

Intervallet fra 233 m til 202 m korrelerer til et kliniformt reflektionsmønster på seismiske data og en generel groven opad på gammaloggen (fig. 6). Sedimenterne består af mellem- til grovkornet sand stakket i tre groven- og tykkende opad enheder. Intervallet repræsenterer dermed en prodelta-succession. Tilstedeværelsen af dinocyster understøtter et marint miljø. Variationerne i hyppighed af dinocyster kan skyldes skift i dræneringssystemet på deltasletten, eller mindre lobeskift.

Sekvens C (202 m – 120 m)

Beskrivelse

Fra prøven ved 202 m i den øverste del af Sekvens B til prøven ved 200 m nederst i Sekvens C ses en markant stigning i hyppigheden af palynomorfer, mens AOM falder. I intervallet fra 200 m til 180 m ses først en stigning i hyppigheden af AOM fra 28% ved 200 m til 59 % ved 185 m, mens hyppigheden af palynomorfer falder tilsvarende. Herover falder hyppigheden af AOM til 41% og 45% hhv, og af palynomorfer til 41% og 40% i prøverne ved 181 og 180 m. Andelen af træpartikler når ikke over 19% i dette interval. Fra 180 m til 173 m er den overordnede fordeling omtrent konstant, mens der i prøverne ved 164 m og 159 m ses et markant højere indhold af træpartikler end i prøverne under. Fra 159 m til 149 m falder hyppigheden af træpartikler, mens den fra 149 m til 137 m stiger markant fra 17% til 41%.

Blandt palynomorferne ses en markant stigning i hyppigheden af dinocyster fra henover grænsen fra Sekvens B til C, fra 12% til 29%. Prøven ved 200 m er desuden karakteriseret ved et lidt forhøjet indhold af acritarcher og *Botryococcus*. Fra 200 m til 192 m ses først et markant fald i hyppigheden af dinocyster fra 29% til 14% fulgt af en tilsvarende stigning i saccate pollen. Dernæst stiger hyppigheden af dinocyster til 24% ved 185 m og falder så til 15% ved 180 m. I prøverne ved 181 m og 180 m ses et svagt forhøjet indhold af acritarcher og *Botryococcus*, samt af ferskvandsalger ved 180 m.

Fra 180 m til 173 m, nær den maksimale oversvømmelsesflade, ses en markant stigning i hyppigheden af dinocyster fra 15% til 27%, fulgt af et tilsvarende fald i saccate pollen. Denne stigning følges af et markant fald til 4% dinocyster ved 159 m. Samtidigt stiger hyppigheden af såvel non-saccate og saccate pollen. I prøverne ved 164 m og 159 m ses et svagt øget indhold af ferskvandsalger. Fra 159 m til 149 m stiger hyppigheden af dinocyster fra 4% til 18%. Fra 149 m til 137 m stiger hyppigheden af non-saccate pollen, mens hyppigheden af dinocyster falder fra 18% til 4%. Diversiteten stiger svagt fra 16 ved 200 m til 24 ved 173 m, falder så gradvist til 15 ved 159 m, for så at stige til 21 ved 149 m.

Tolkning

202 m – 174 m: Prodelta miljø

Intervallet fra 200 m til 174 m korrelerer til et parallelt reflektionsmønster, der pålapper deltakomplekset (fig x). Gammaloggen er karakteriseret ved høje gammaværdier og viser en svag groven opad trend. Successionen består af lerede sedimenter. Indholdet af dinocyster indikerer et marint miljø. Nederst i intervallet er der en særlig høj hyppighed af dinocyster, mens det herover varierer, men er noget lavere. Den høje hyppighed af dinocyster nederst i intervallet tolkes som en oversvømmelsesflade. Den overliggende del af intervallet repræsenterer formodentlig en prodelta-succesion, aflejret under udbygning af et lavstandskompleks. Alternativt repræsenterer det marine aflejringer aflejret under en "healing-phase" (Posamentier 1993; Cateanu 2002). Omkring 177 m stiger kornstørrelsen markant og afsluttes med et gruslag, omkring 174m. Der er ikke taget prøver til palynologi her. Gruslaget er formodentligt aflejret subærisk i forbindelse med udbygningen af et lavstandskompleks.

174 m – 172 m: Shelf miljø

I dette interval ses et markant gammaspike. Sedimenterne er lerede. På baggrund af gamma-spiken, samt af den høje hyppighed af dinocyster tolkes dette snævre interval som en maksimal oversvømmelsesflade med sedimenter aflejret i et shelf-miljø.

172 m – 120 m: Prodelta miljø

Intervallet fra 172 m til 120 m korrelerer til et kliniformt reflektionsmønster på seismiske data (fig. 6). Op til 143 m indikerer på gammaloggen en generel groven opad og sedimenterne består af ler. Herover, fra 143 m til 120 m ses generelt lave gammaværdier, og denne succession består af sandede sedimenter. Indholdet af dinocyster indikerer et marint aflejringsmiljø. Der ses et generelt fald i hyppigheden af dinocyster op gennem successionen, fra 27% ved 173 m til bare 2% ved 137 m. Den mest grovkornede del af intervallet er ikke repræsenteret af prøver til palynofacies, men repræsenterer sandsynligvis strandplan aflejringer.

Sekvens D (120 m – 100 m)

Beskrivelse

Prøverne fra Sekvens D er domineret af AOM og træpartikler, mens palynomorferne kun udgør hhv. 5% og 17%.

Blandt palynomorferne er der en markant højere relativ hyppighed af non-saccate pollen sammenlignet med de to underliggende sekvenser, mens der kun er registreret 2% dinocyster. Til gengæld er der registreret usædvanligt mange mikrosporer, 6% i prøven ved 112 m og 9% ved 106 m.

Tolkning

120 m – 112 m: Fluvialt miljø

Intervallet fra 120 m til 112 m er ikke repræsenteret af prøver til palynofacies, men er aflejret som fluvialt kanalfyld, der hyppigt ses nær boringen (fig. 6).

112 m – 100 m: Flodslette miljø

Intervallet fra 112 m til 100 m korrelerer til et parallelt reflektionsmønster på de seismiske data (fig. 6). Gamma-værdierne er høje, hvilket formodes af reflektere at sedimentet består af silt, med et højt indhold af tungminerale. Et meget lavt indhold af dinocyster, kombineret med et markant højt indhold af mikrosporer og non-saccate pollen indikerer et flodslette aflejringsmiljø.

Andkær boringen (DGU nr. 125.2017) (Bilag 3)

Generelt er de organiske sedimentære partikler domineret af palynomorfer og træpartikler, med en dominans af palynomorfer i intervallerne fra 100 m til 80 m og fra 55 m til 32 m og af træpartikler i intervallet fra 75 m til 56 m. Blandt palynomorferne dominerer de saccate- og non-saccate pollen, med mellem 30 og 50% af hver kategori. Hyppigheden af dinocyster er generelt meget lav, mellem 5 og 13%, men kommer højere op i enkelte niveauer, især i den nederste del af det undersøgte interval, fra 100-98 m, hvor der er registreret 21-38% dinocyster. Diversiteten varierer mellem 15 og 31.

Sekvens A (100 m – 96 m)

Beskrivelse

Fra prøven ved 100 m til prøven ved 99 m, ved den maksimale oversvømmelsesflade, ses en stigning i den relative hyppighed af palynomorfer, mens hyppigheden af AOM falder en smule og hyppigheden af træpartikler falder fra 8% helt ned til 2%. Blandt palynomorferne ses samtidigt en markant stigning i den relative hyppighed af dinocyster (fra 23% til ikke mindre end 38%, hvilket er det maksimale registreret i denne boring), mens diversiteten stiger fra 23 til 31. Hyppigheden af non-saccate pollen falder fra 22% til bare 19%.

I intervallet fra 99 m til 96 m ses et markant fald i den relative hyppighed af palynomorfer, mens hyppigheden af AOM stiger ligeså markant. Der ses desuden en stigning i hyppigheden af træpartikler. I prøven ved 98 m er andelen af aflange træpartikler usædvanligt høj, hele 50%. Blandt palynomorferne ses et distinkt fald i den relative hyppighed af dinocyster, fra 38% ved 99 m til bare 7% ved 96 m, nær sekvensgrænsen mellem Sekvens A og B, mens diversiteten falder fra 31 til 20. Hyppigheden af non-saccate pollen stiger tilsvarende, mens hyppigheden af saccate pollen stiger en smule fra 99 m til 97 m. Andelen af mikrosporer er generelt lav, men stiger fra 1% til 2% fra 97 m til 96 m. Der blev ikke registreret nogen ferskvandsalger i prøven fra 99 m, mens de udgør 1% af palynomorferne i prøverne ved 98 m og 96 m.

Tolkning

100 m – 99 m: Shelf miljø

Intervallet fra 100 m til 99 m er karakteriseret ved høje gammaværdier (bilag 3). Litologisk består det af glaucony-rigt ler. Det høje indhold af dinocyster indikerer et marint aflejringsmiljø. Tidligere studier af foraminiferer indikerer ligeledes et fuldt marint miljø (Larsen & Dinesen 1959). Der ses en stigning i hyppigheden af dinocyster fra den nederste del af intervallet op til prøven ved 99 m kombineret med en stigning i diversitet og en meget lav andel af træpartikler og ved-materiale. Denne flade repræsenterer en maksimal oversvømmelses-flade.

99 m – 96 m: Prodelta miljø

Intervalliet fra 99 m til 96 m er karakteriseret ved høje gammaværdier og består af glaucony-rigt ler, med et stigende indhold af silt og organisk materiale opad. Det høje indhold af dinocyster indikerer et marint aflejringsmiljø, men der ses et markant fald i hyppighed og diversitet af dinocyster, fra 99 m op til 96 m. Samtidigt ses en stigning i hyppigheden af mikrosporer, ferskvandsalger, træpartikler og ved-materiale. Denne udvikling indikerer en regressiv trend, som også ses ud fra ændringer i foraminifer-faunaen (Larsen & Dinesen 1959). Dette er fint i overensstemmelse med at der i nærliggende blotninger ses gruslag aflejret i flodsystemer på dette niveau, som er tolket som en sekvensgrænse (Rasmussen & Dybkjær 2005). Dette interval tolkes derfor som et prodelta-miljø.

Sekvens B (96 m – 57 m)

Beskrivelse

Fra prøven ved 96 m til 95 m, henover sekvensgrænsen, ses en stigning i andelen af palynomorfer, mens andelen af AOM falder tilsvarende. Blandt palynomorferne stiger hyppigheden af dinocyster og saccate pollen en smule, mens hyppigheden af non-saccate pollen og mikrosporer falder. I intervallet fra 93 m til 75 m, nær den maksimale oversvømmelsesflade, stiger andelen af træpartikler markant. Blandt palynomorferne stiger hyppigheden af dinocyster fra 8% ved 88 m til 13% ved 75 m og hyppigheden af non-saccate pollen falder fra 48 til 33.

I intervallet fra 75 m til 63 m, i højstandskomplekset, dominerer træpartiklerne, som udgør mellem 46 og 59 %, med maksimum ved 65 m. Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen. Der er lidt færre dinocyster i prøverne ved 74 m og 68 m og en stigende tendens fra 68 m til 63 m. Diversiteten i Sekvens B er ret konstant, varierende imellem 15 og 22.

Tolkning

96 m – 80 m: Brakvands indhav

Intervalliet fra 96 m til 80 m er karakteriseret af relativt lave gamma-værdier. Sedimentet består af leret silt med et relativt højt organisk indhold. Tilstedeværelsen af dinocyster indikerer et marint aflejringsmiljø. Foraminifer-faunaen indikerer et lav-salint miljø, og blev af Larsen & Dinesen (1959) tolket som en lagune. På grund af tilstedeværelsen af større hvælvede krydslejninger, der ikke kan dannes i et lagunalt miljø med begrænset bølgeaktivitet, tolkede Rasmussen & Dybkjær (2005) aflejringsmiljøet til at være et brakvandsindhav. Dette er i god overensstemmelse med den relativt lave hyppighed og diversitet af dinocyster.

80 m – 58 m: Strandplan

Intervalleret fra 80 m til 58 m er karakteriseret af relativt lave gamma-værdier. Sedimentet består af sand. I nærliggende blotninger er sandet karakteriseret af hvælvede krydslejringer og andre former for stormsandsaflejringer. Successionen repræsenterer shoreface-aflejringer, dannet i et fuldt marint miljø efter drukningen af Ringkøbing-Fyn Højderyggen (Rasmussen & Dybkjær 2005). Lagene er dannet i forbindelse med udbygningen af Billund Deltaet. Hyppigheden af dinocyster er lidt større end i det underliggende interval, mens hyppigheden af non-saccate pollen er noget lavere, hvilket er i god overensstemmelse med et mere marint aflejningsmiljø.

Sekvens C (57 m – 30 m)

Beskrivelse

I prøven ved 57 m, lige over sekvensgrænsen og samtidigt ved den maksimale oversvømmelsesflade, dominerer træpartiklerne kraftigt, mens der blandt palynomorferne ses et lokalt maximum af dinocyster på 19% mod 15% i prøven under sekvensgrænsen. Der er desuden forholdsvis mange acritarcher i prøven ved 57 m (3%). Hyppigheden af non-saccate pollen er markant højere end i toppen af den underliggende Sekvens B. Blandt palynomorferne ses et overordnet fald i hyppigheden af dinocyster og saccate pollen fra 57 til 56 m, mens hyppigheden af non-saccate pollen og ferskvandsalger stiger.

Fra prøve ved 57 m og op gennem højstandskomplekset ses et markant, overordnet fald i hyppigheden af træpartikler, fra 55% til 4% ved 35 m. Hyppigheden af palynomorfer stiger fra 25% i 56 m til 63 % i 54 m, og dominerer derover med relativt konstante værdier mellem 54 og 66 % op til 32 m. Fra prøve 57 m til 56 m ses en markant stigning i hyppigheden af AOM. Blandt palynomorferne falder hyppigheden af dinocyster fra 56 m til 51 m til bare 7% i prøven ved 51 m. Samtidigt stiger andelen af saccate pollen fra 26 til 37 %. I intervallet fra 51 til 42 m stiger hyppigheden af dinocyster fra 7% til 17% for derover at falde til bare 5% i prøven ved 35 m og udgør 6% i den øverste prøve ved 32 m. Hyppigheden af saccate og non-saccate pollen er relative konstant i intervallet fra 51 m til 32 m. Diversiteten varierer imellem 16 og 27, med maksimum ved 56 m, nær den maksimale oversvømmelsesflade og minimum ved 35 m, hvor der kun var 5% dinocyster.

Tolkning

58 m – 56 m: Shelf miljø

I dette interval ses et markant gammaspike. Sedimenterne er lerede. På baggrund af gamma-spiken, samt af den høje hyppighed af dinocyster tolkes dette snævre interval som en maksimal oversvømmelsesflade med sedimenter aflejret i et shelf-miljø. Den høje hyppighed af træpartikler reflekterer formodentligt erosion af kystnære aflejringer under transgressionen.

56 m – 30 m: Prodelta miljø

Intervalleret fra 56 m til 30 m er karakteriseret af varierende, middelhøje gamma-værdier. Sedimentet består af leret silt. Tilstedeværelsen af dinocyster op gennem hele succession indikerer et marint aflejringsmiljø. Successionen tolkes til at repræsentere prodelta-aflejringer. Det relativt høje indhold af ferskvandsalger og non-saccate pollen indikerer en oversvømmelse af en tidligere kystslette efterfulgt af en progradering. Den høje hyppighed af træpartikler nederst i intervallet er formodentligt erosionsprodukter af den vegetation, der dækkede landområdet før oversvømmelsen. Generelt er der en faldende hyppighed af dinocyster op gennem successionen, hvilket afspejler den prograderende deltakystslette. De mindre variationer i hyppigheden af dinocyster reflekterer formodentlig mindre lobeskift eller ændringer i dræneringsmønstre.

Diskussion

For hvert aflejringsmiljø opsummeres i det følgende de relative hyppigheder af hver enkelt palynofacies kategori i samtlige intervaller, hvor aflejringsmiljøet er repræsenteret. Dernæst præsenteres så vidt muligt en samlet palynofacies karakteristik for hvert enkelt miljø.

Shelf-miljø

St. Vorslunde

222 m – 210 m, maksimal oversvømmelsesflade i 210 m:

Palynomorfer 20-63%, AOM 23-54%, træpartikler 10-26%.

Dinocyster 13-39%, non-saccate 13-21%, saccate 39-62%, højst 1% ferskvandsalger, let øget hyppighed af acritarcher i prøven ved 210 m (ved den maksimale oversvømmelsesflade) til 2%, ellers 1%, desuden 1-2% mikrosporer og *Botryococcus*.

129 m – 115 m: transgressive kompleks, maksimal oversvømmelsesflade i 115 m:

Palynomorfer 50-63%, AOM 14-32%, træpartikler 9-36%.

Dinocyster 10%-16%, non-saccate 19%-26%, saccate 46%-54%. Øget hyppighed af mikrosporer og *Botryococcus* ved den maksimale oversvømmelsesflade ved 115 m. Den relativt store hyppighed af ferskvandsalger på 7-12% og den ret beskedne forekomst af dinocyster på bare 10% i prøverne i den nedre del af intervallet kan indikere at der er tale om erosionsprodukter fra transgressionen eller alternativt, bugt-aflejringer, overlejret af shelfaflejringer.

Vandel Mark

240 m – 233 m:

Palynomorfer 36-44%, AOM 40-49%, træpartikler 14-16%.

Dinocyster 13-24%, non-saccate 9-15%, saccate 56-68%, få (max 1%) acritarcher, mikrosporer og *Botryococcus* og ferskvandsalger.

173 m, maksimal oversvømmelsesflade:

Palynomorfer 42%, AOM 47%, træpartikler 11%.

Dinocyster 27%, non-saccate 16%, saccate 48%, acritarcher 2%, *Botryococcus*, mikrosporer og ferskvandsalger 1%.

Andkær

100 m – 99 m, maksimal oversvømmelsesflade ved 99 m:

Palynomorfer 81-88%, AOM 10-11%, træpartikler 2-8%. Dinocyster 23-38%, non-saccate 19-22%, saccate 31-46%, svagt øget hyppighed af acritarcher ved den maksimale oversvømmelsesflade ved 99 m, mens der i denne prøve ikke blev registreret nogen *Botryococcus*. Mikrosporer 1%, mens der ikke blev registreret nogen ferskvandsalger.

57 m, maksimal oversvømmelsesflade:

Palynomorfer 33%, AOM 12% og træpartikler 55%.

Dinocyster 19%, non-saccate 41 % og saccate pollen 32%. Acritarcherne i denne maksimale oversvømmelsesflade udgør 3%, mens mikrosporer, *Botryococcus* og ferskvandsalger udgør 1%.

Generelle karakteristika for shelf-aflejringer:

Shelf-aflejringerne er generelt domineret af palynomorfer (20-88%) og AOM (ved-materiale) (10-54%) (se fig. 7). Træpartikler udgør sjældent mere end 20% (markante undtagelser i Andkær ved 57 m og i Vorslunde ved 118 m (afmærket som prikker i fig. 7). I begge tilfælde afspejler prøverne muligvis erosion af fluviale til kystnære aflejringer i forbindelse med transgressionen. Prøven fra St. Vorslunde kan dog også repræsentere bugtaflejringer.

Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen markant over de non-saccate (fig. 8). De non-saccate pollen udgør maksimalt 26% på nær i Andkær, i prøven ved 57 m, hvor de udgør 41%, se mulig forklaring i afsnittet herover. Der er forholdsvis mange dinocyster, mellem 13% og 39%, med maksima ved maksimale oversvømmelsesflader, mens mikrosporer, *Botryococcus* og ferskvandsalger højst udgør 1% af palynomorferne. Acritarcherne udgør mellem 0% og 3% og viser en svagt øget hyppighed ved maksimale oversvømmelsesflader. Den relativt store hyppighed af ferskvandsalger i prøverne ved 125 m og 121 m i St. Vorslunde, hvor der kun er 10% dinocyster, kan indikere at disse prøver repræsenterer erosionsprodukter af lakustrine aflejringer, mobiliseret i forbindelse med transgressionen, eller alternativt et bugt-miljø fremfor en shelf.

Prodelta-miljø

St. Vorslunde

210 m – 143 m:

Palynomorfer 40-84%, AOM 10-45%, træpartikler 6-24%.

Dinocyster 5-47%, non-saccate 7-34%, saccate 36-75%, acritarcher, ferskvandsalger, mikrosporer og *Botryococcus* 0-1%.

114 m – 70 m:

Palynomorfer 19-78%, AOM 12-46%, træpartikler 14-37%.

Dinocyster 9-12%, non-saccate 13-25%, saccate 56-69%, acritarcher 0-1%, ferskvandsalger 2-8%, mikrosporer og *Botryococcus* 1%, dog øget til 2% i den øvre del af intervallet.

Vandel Mark

233 m – 201 m:

Palynomorfer 30-48%, AOM 24-58%, træpartikler 12-29%.

Dinocyster 10-24%, non-saccate 9-20%, saccate 56-68%, acritarcher, ferskvandsalger, mikrosporer og *Botryococcus* 0-1%, bortset fra i prøven ved 217 m, hvor der er en øget hyppighed (2-3%) af de 3 sidstnævnte kategorier.

200 m – 174 m:

Palynomorfer 30-56%, AOM 28-59%, træpartikler 11-19%.

Dinocyster 14-29%, non-saccate 14-18%, saccate 49-67%, mikrosporer og ferskvandsalger 0-1%, dog 2% ferskvandsalger i prøven ved 180 m. Acritarcher og *Botryococcus* udgør 0-1% i den midterste del af intervallet, men 2% i den nederste og de to øverste prøver i intervallet.

172 m – 143 m:

Palynomorfer 28-50%, AOM 21-51%, træpartikler 17-29%.

Dinocyster 4-18%, non-saccate 16-29%, saccate 55-61%. Acritarcher 0-2% med højst værdier ved 159 m i samme prøve som hvor der kun var 4% dinocyster. Mikrosporer 1%, *Botryococcus* 0-1%, og ferskvandsalger 1-2% med højest værdier i de to prøver ved 164 m og 159 m, midt i intervallet.

143 m – 120 m:

Palynomorfer 22-24%, AOM 35%, træpartikler 41-42%.

Dinocyster 2-4%, non-saccate 30-32%, saccate 56-58%, acritarcher og *Botryococcus* 1%, ferskvandsalger 1-4% og mikrosporer 1-2%, begge med højst hyppighed i prøven ved 137 m.

Andkær

98 m – 96 m:

Palynomorfer 48-77%, AOM 13-37%, træpartikler 5-15%.

Dinocyster 7-21%, non-saccate 34-46%, saccate 36-41%, acritarcher og ferskvandsalger 0-1%, mikrosporer og *Botryococcus* 1-2%, førstnævnte med højst værdier ved 96 m, ved sekvensgrænsen, mens sidstnævnte er hyppigst i prøven ved 97 m.

56 m – 30 m:

Palynomorfer 25-66%, AOM 22-38%, træpartikler 4-40% - faldende trend nederst i intervallet.

Dinocyster 5-17%, non-saccate pollen 37-50%, saccate 26-42%. *Botryococcus* 0-1%, acritarcher og mikrosporer 1-2% og ferskvandsalger 1-4%.

Generelle karakteristika for prodelta-aflejringer:

Sammensætning af organiske partikler i prodelta miljøerne varierer meget (figs. 7 og 8). Dette skyldes formodentligt lobe-skift og hyppige indslag af tyngdeafsætninger. Hyppigheden af træpartikler varierer mellem 4% og 42%, mens hyppigheden af dinocyster varierer mellem 2% og 46%. Generelt dominerer palynomorferne og AOM, mens der er lavere hyppighed af træpartikler. Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen. I forhold til shelf-miljøerne er der generelt en noget større hyppighed af non-saccate pollen. Desuden er der en anelse større hyppighed af *Botryococcus*, mikrosporer og ferskvandsalger.

Strandplan

Andkær

80 m – 58 m:

Palynomorfer 24-59%, AOM 8-24%, træpartikler 25-59%.

Dinocyster 9-15%, non-saccate 26-36%, saccate 45-51%. Ingen ferskvandsalger, på nær i den nederste prøve ved 80 m, mens der er 1-2% acritarcher, mikrosporer og *Botryococcus*.

Generelle karakteristika for strandplans-aflejringer:

Strandplansaflejringerne er karakteriseret af en dominans af træpartikler, hvilket måske er en sorterings- og/eller oxiderings-effekt, samt af palynomorfer. Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen over non-saccate, mens hyppigheden af dinocyster er moderat (9-15%). Der er få acritarcher, *Botryococcus*, mikrosporer og ferskvandsalger.

Flodslette

Vandel Mark

113 m – 100 m:

Palynomorfer 5-17%, AOM 40-57%, træpartikler 37-42%.

Dinocyster 2%, non-saccate 43-51%, saccate 33-43%. Ferskvandsalger 1%, acritarcher 0-1%, ingen *Botryococcus*. Hele 6-9% mikrosporer.

Generelle karakteristika for flodslette-aflejringer:

Generelt dominerer AOM og træpartikler, mens der er markant få palynomorfer. Blandt palynomorferne dominerer de non-saccate pollen over de saccate, eller der er lige mange, mens hyppigheden af dinocyster er bemærkelsesværdigt lav. Samtidigt er der et bemærkelsesværdigt højt indhold af mikrosporer.

Lagune/backbarrier flat

Dykær og Hagenør

Sedimenter aflejret i lagune-miljøer og backbarrier flats er blottet i profilerne ved Dykær og Hagenør. Palynofacies-data herfra er publiceret i Dybkjær & Rasmussen (2005). Lagune-aflejringer er repræsenteret af to prøver fra Dykær-profilet, ved hhv. 14.70 m og 15.35 m, samt af prøven ved 0.60 m fra Hagenør-profilet. Sammensætningen af sedimentære organiske partikler i disse prøver er som følger:

Palynomorfer 3-10%, AOM 59-94%, træpartikler 3-31%.

Dinocyster 1-15% (i prøven fra Hagenør, samt den øverste prøve fra Dykær-profilet er der max. 1% dinocyster. I prøven ved 14.70 m fra Dykær er der hele 15% dinocyster, dette kan skyldes at prøven repræsenterer tidevands-aflejringer fremfor laguneaflejringer, det skal undersøges nærmere), non-saccate pollen 54-63%, saccate pollen 23-29%, ferskvandsalger 1%, acritarcher 0-2%, *Botryococcus* 1-2%, mikrosporer 1-4%.

Back-barrier flat aflejringer er repræsenteret af én prøve i Hagenør-profilet, ved 4.80 m.

Sammensætningen af sedimentære organiske partikler i denne prøve er som følger:

Palynomorfer 39%, AOM 1%, træpartikler 60%.

Dinocyster 1%, non-saccate pollen 23%, saccate pollen 56%, ferskvandsalger 4%, acritarcher 6%, *Botryococcus* 9%, mikrosporer 1%.

Generelle karakteristika for lagune/backbarrier flat aflejringer:

I prøverne fra lagune-lag dominerer AOM (ved-materiale) markant, fra 59% og helt op til 94%! Blandt palynomorferne dominerer de non-saccate pollen markant over de saccate, og samtidigt er der meget få dinocyster. Også diversiteten (antal arter) af dinoflagellat cyster er markant lav - den når kun op på 7 i prøven fra 5.35 m i Dykær og 6 i prøven fra Hagenør, mens den ligger på over 13 i de øvrige prøver fra Dykær!

I back-barrier aflejringerne (sandede overskylsvifter), repræsenteret ved Hagenør ses en markant lav forekomst af AOM, mens der er en klar dominans af træpartikler. Blandt palynomorferne er der en dominans af saccate pollen, mens der desuden er bemærkelsesværdigt høje hyppigheder af *Botryococcus* og acritarcher, hvilket

formodentligt reflekterer brakvandsforhold. Der er også en relativt stor hyppighed af ferskvandsalger. Her er diversiteten af dinocyster nede på 2.

Estuarint miljø

St. Vorslunde

143 m – 129 m:

Palynomorfer 47-65%, AOM 26-46%, træpartikler 7-22%.

Dinocyster 10-24%, non-saccate 14-20%, saccate 56-60%. Ferskvandsalger 0-2%, acritarcher 1-2%, *Botryococcus* 1-2%, mikrosporer 1-2%.

70 m – 50 m:

Palynomorfer 20-40%, AOM 33-63%, træpartikler 11-36%.

Dinocyster 15-32%, non-saccate 13-47%, saccate 28-56%. Ferskvandsalger 1-6%, acritarcher 0-2%, *Botryococcus* 1-2%, mikrosporer 1-2%.

Generelle karakteristika for eustuarine aflejringer:

Generelt dominerer palynomorferne og AOM, mens der er forholdsvis få træpartikler.

Blandt palynomorferne dominerer de saccate pollen over non-saccate, mens hyppigheden af dinocyster varierer mellem 10% og 32%. Hyppigheden af acritarcher, *Botryococcus* og mikrosporer når ikke højere end 2%, mens ferskvandsalger varierer mellem 0 og 6%.

Fluvialt miljø

Vandel Mark

120 m – 113 m: Ikke repræsenteret af prøver til palynologi.

Konklusion

Overordnet ses en tydelig tendens mod en øget relativ hyppighed af træpartikler og en faldende hyppighed af dinocyster ind mod kysten (figs. 7 og 8).

Nogle af de undersøgte aflejrings-miljøer har en meget karakteristisk sammensætning af sedimentære organiske partikler. Især lagune-aflejringerne adskiller sig klart fra de andre miljøer ved den kraftige dominans af AOM kombineret med den meget lave hyppighed af dinocyster. Ved sammenligning med data fra Dykær og Hagenør ses det tydeligt, at der ikke er lagune-aflejringer tilstede i nogen af de undersøgte intervaller fra de tre borer. Back-barrier flat miljøet er karakteristisk ved kombinationen af en dominans af træpartikler kombineret med dominansen af saccate pollen og det forholdsvis høje indhold af acritarcher og *Botryococcus*.

Andre aflejringstyper, f.eks. prodelta-sekvenserne viser en meget variabel sammensætning. De mest marint prægede prodeltaaflejringer kan ikke skelnes fra shelf aflejringer, mens de mest terrestrisk prægede vil være vanskelige at skelne fra strandplansaflejringer.

Maksimale oversvømmelsesflader karakteriseres af et maksimum i hyppighed og diversitet af dinocyster og acritarcher, og et minimum af træpartikler og non-saccate pollen.

De her opnåede resultater kan i fremtiden anvendes aktivt til at tolke aflejringsmiljøer i borer, hvorfra der ikke er seismiske data. En kombination af gamma-logs og palynofacies-data vil fortsat være nødvendige for at opnå troværdige aflejringsmiljø tolkninger, mens seismiske data kan styrke tolkningerne væsentligt.

Denne undersøgelse er baseret på miocæne, kystnære sedimenter og resultaterne kan ikke nødvendigvis anvendes til miljø-tolkninger i andre stratigrafiske niveauer.

Referencer

- Catuneanu, O. 2002. Sequence stratigraphy of clastic systems: concepts, merits, and pitfalls. *Journal of African Earth Science*, 35, 1-43.
- Danielsen, M., Clausen, O.R. & Michelsen, O. 1995. Stratigraphic correlation of late Paleocene sand deposits in the Søgne Basin area of the Danish and Norwegian central North Sea. *Terra Nova* 7, 516-527.
- Friis, E.M. 1975. Climatic implications of microcarpological analysis of the Miocene Fæstervad flora, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 24, 179-191.
- Friis, E.M., 1977. Planter og klima i Tertiærtiden. *Varv* 1, 22-31.
- Friis, E.M. 1978. the Damgaard flora: a new Middle Miocene flora from Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 27, 117-142.
- Friis, H., Mikkelsen, J., Sandersen, P., 1998. Depositional environment of the Vejle Fjord Formation of the Upper Oligocene – Lower Miocene of Denmark: a backisland/barrier-protected depositional complex. *Sedimentary Geology* 17, 221–244.
- Hansen, J.P.V. and Rasmussen, E.S. (2008) Distribution and thicknesses of reservoir sands in a wave-dominated delta, Billund delta, eastern Danish North Sea and Jylland. *Sedimentary Research*, 78, 130-146.
- Heilmann-Clausen, C., 1995. Palæogene aflejringer over Danskekalken. Aarhus Geokompender nr. 1. Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 69-114.
- Hinsby, K. and Rasmussen, E.S. (2007) The Miocene sands, Jutland, Denmark. In: *The natural baseline quality of groundwater*, Edmunds, W.M. and Shand, P. (eds.). Blackwell.
- Japsen, P., Bidstrup, T. and Rasmussen, E.S. 2002: Cenozoic evolution of the eastern Danish North Sea. *Discussion, Mar. Geol.* 186, 571-575.
- Jordt, H., Faleide, J.I., Bjørlykke, K., Ibrahim, T., 1995. Cenozoic sequence stratigraphy of the central and Northern North Sea Basin: tectonic development, sediment distribution and provenance areas. *Mar. Petr. Geol.* 12, 845–879.
- Koch, B.E., 1989. Geology of the Søby-Fæstervad area. *Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU Serie A* 22, 170pp.
- Larsson, L.M., Vajda, V., Rasmussen, E.S., 2006. Early Miocene pollen and spores from western Jylland, Denmark – environmental and climatic implications. *GFF, Geol. Soc. Sweden* 128, 261–272.
- Michelsen, O., 1994. Stratigraphic correlation of the Danish onshore and offshore Tertiary successions based on sequence stratigraphy. *Bull. Geol. Soc. Den.* 41, 145–161.
- Posamentier, H.W. & James, N.P. (1993) An overview of sequence-stratigraphic concepts: uses and abuses. In H.W. Posamentier, C.P. Summerhayes, B.U. Haq, & G.P. Allen (eds.) *Sequence stratigraphy and facies associations*, Int. Ass. Sed., Special Publication 18, 3-18.
- Printice, M.L. and Matthews, R.K., 1988. Cenozoic ice volume history: Development of a composite oxygen isotope record. *Geology* 16, 963-966.

Rasmussen, E.S., 2004a. The interplay between true eustatic sea-level changes, tectonics and climatic changes: What is the dominating factor in sequence formation of the Upper Oligocene – Miocene succession in the eastern North Sea Basin, Denmark? *Global and Planetary Change*, 41, 15–30.

Rasmussen, E.S., 2004b. Stratigraphy and depositional evolution of the uppermost Oligocene - Miocene succession in western Denmark. *Bull. Geol. Soc. Den.* 51, 89–109.

Rasmussen, E.S., 1996. Sequence stratigraphic subdivision of the Oligocene and Miocene succession in South Jutland. *Bull. Geol. Soc. Den.* 43, 143-155.

Rasmussen, E.S., in press. Detailed mapping of the regressive surface of erosion and the geometry of clinoforms on seismic data: a tool to identify the thickest reservoir sand. *Basin Research*.

Rasmussen, E.S., Dybkjær, K., 2005. Sequence stratigraphy of the Upper Oligocene – Lower Miocene of eastern Jylland, Denmark: role of structural relief and variable sediment supply in controlling sequence development. *Sedimentology*, 52, 25–63.

Tyson, R.V. 1995. *Sedimentary organic matter*. Chapman & Hall, London, 615pp.

Vejbæk, O.V. (1992) Geodynamic modelling of the Danish Central Trough. In: R.M. Larsen et al. (eds.) *Structural and tectonic modelling and its application to petroleum geology*. Norwegian Petroleum Society, Special Publication, 1, 1-17.

Ziegler, P.A., 1982. *Geological atlas of Western and Central Europe*. Elsevier, Amsterdam 130 p.

Figurer

Figur 1: Lokalisering af de tre borer, samt af Dykær og Hagenør-profilerne.

Figur 2: Palæogeografiske kort, der viser den geologiske udvikling i Jylland i Miocæn.

Figur 3: Litostratigrafisk skema for den miocæne lagpakke i Jylland, efter Rasmussen et al., (in prep.).

Figur 4: Seismisk sektion forskudt 1 km fra St. Vorslunde-boringen. Lavt hældende klinoformer, der repræsenterer aflejringer imellem hoveddeltaloberne dominerer i intervallet fra 210 m til 115 m nord for boringen. I intervallet fra 115 m til 80 m ses stejlthældende klinoformer, repræsenterende et deltalobe system, skarpt efterfulgt opad af et parallelt refleksionsmønster, der repræsenterer fluvial sediment. De fluviale lag er markeret af den gule, transparente farve. Stejlthældende klinoformer, op til 50 m høje, ses tydeligt syd for boringen svarende til intervallet fra 170–120 m.

Figur 5: Seismisk sektion gennem St. Vorslunde-boringen. I intervallet fra 210 m til 129 m går denne sektion vinkelret på retningen af deltaudbygningen og viser derfor et parallelt til subparallelt refleksionsmønster. Bemærk kanalen markeret af den gule, transparente farve i intervallet fra 138 m til 120 m. I intervallet fra 115 m til 58 m går sektionen orienteret skævt i forhold til retningen for deltaudbygningen. Der ses stejlthældende klinoformer, der reflekterer deltaloben og erosive, nedskårne dale, indikeret med gul, transparent farve.

Figur 6: Seismisk sektion forskudt 2,5 km fra Vandel Mark-boringen. Intervallet fra 233 m til 174 m repræsenterer et prodelta miljø. I den nederste del ses udkiling af en lobe, der er karakteriseret ved et klinoformt refleksionsmønster, der efterfølges af et parallelt, pålappende refleksionsmønster, der sandsynligvis repræsenterer et deltalobe skift eller en "healing-phase" associeret med den efterfølgende transgression af deltaet. I intervallet fra 172 m til 112 m ses stejlthældende klinoformer, der reflekterer deltaloben og erosive, nedskårne dale, indikeret med gul, transparent farve.

Figur 7: Palynofacies i forskellige aflejringsmiljøer. Her er vist fordelingen mellem kategorierne træpartikler, AOM (ved-materiale) og palynomorfer.

Figur 8: Palynofacies i forskellige aflejringsmiljøer. Her er vist fordelingen mellem palynomorf-kategorierne dinocyster, acritarcher, saccate pollen, non-saccate pollen, mikrosporer, *Botryococcus* og ferskvandsalger.

Bilag

Bilag 1: Palynofacies-data fra St. Vorslunde boringen (DGU nr.104.2325)

Bilag 2: Palynofacies-data fra Vandel mark boringen (DGU nr. 115.1371)

Bilag 3: Palynofacies-data fra Andkær boringen (DGU nr. 125.2017)

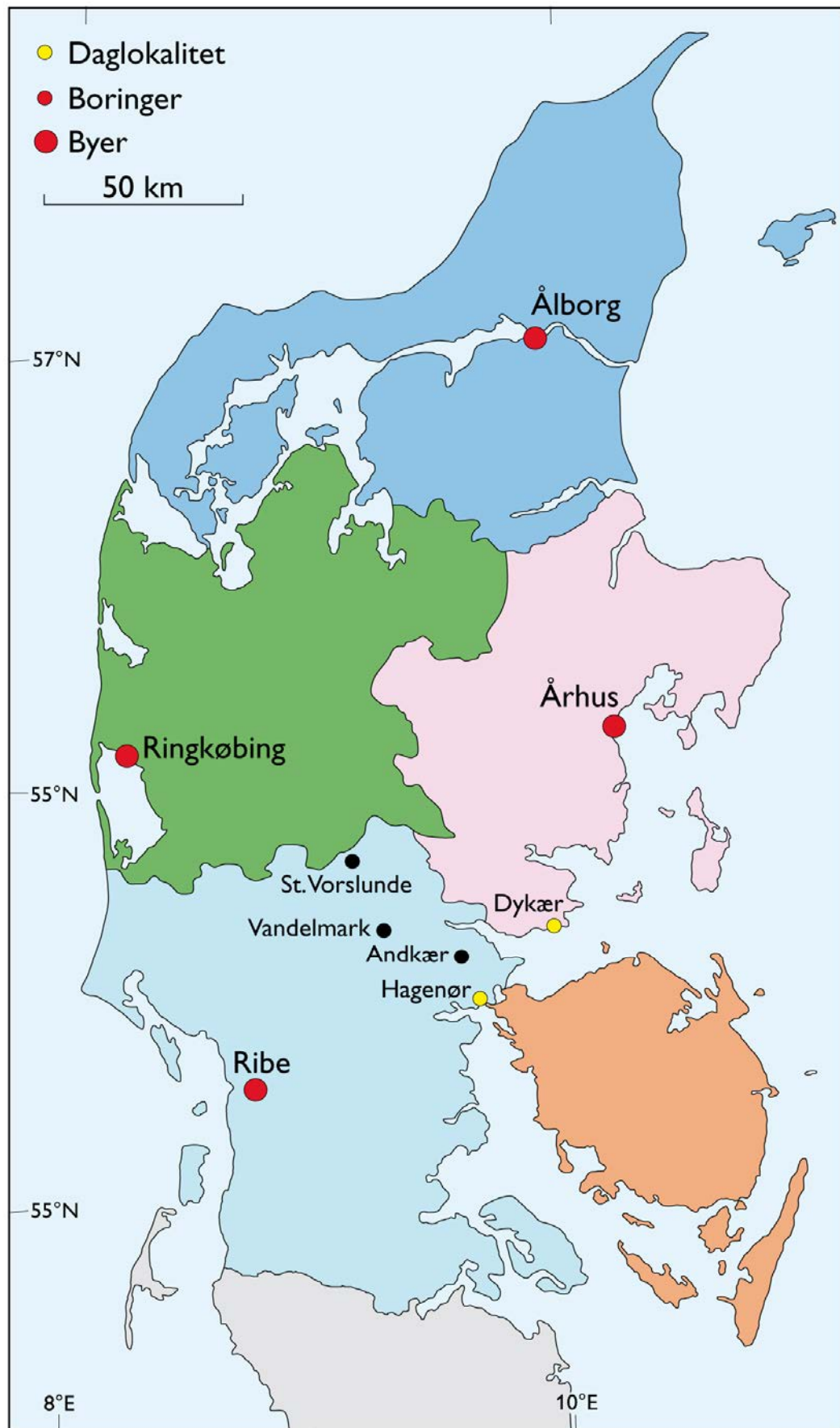


Fig. 1

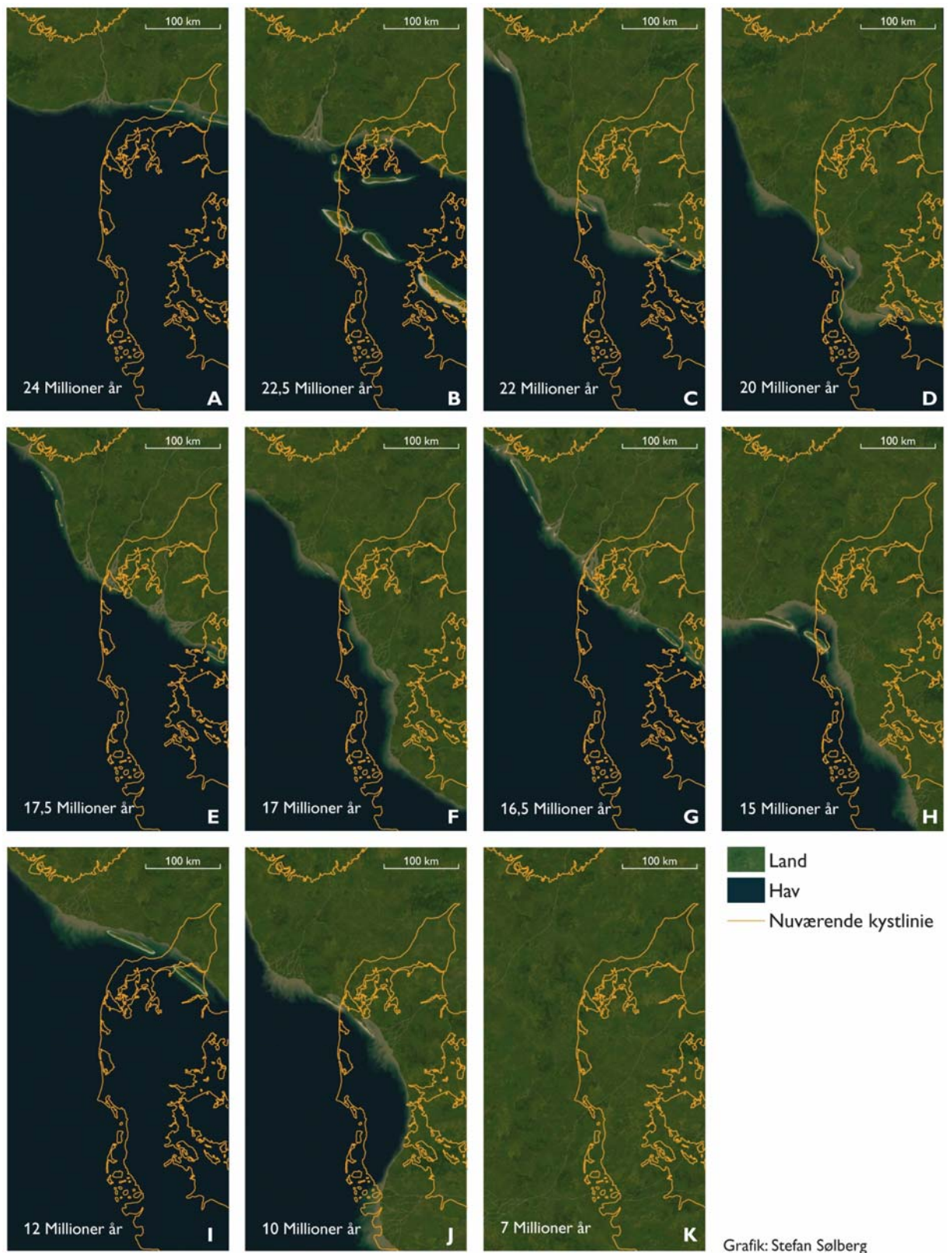


Fig. 2

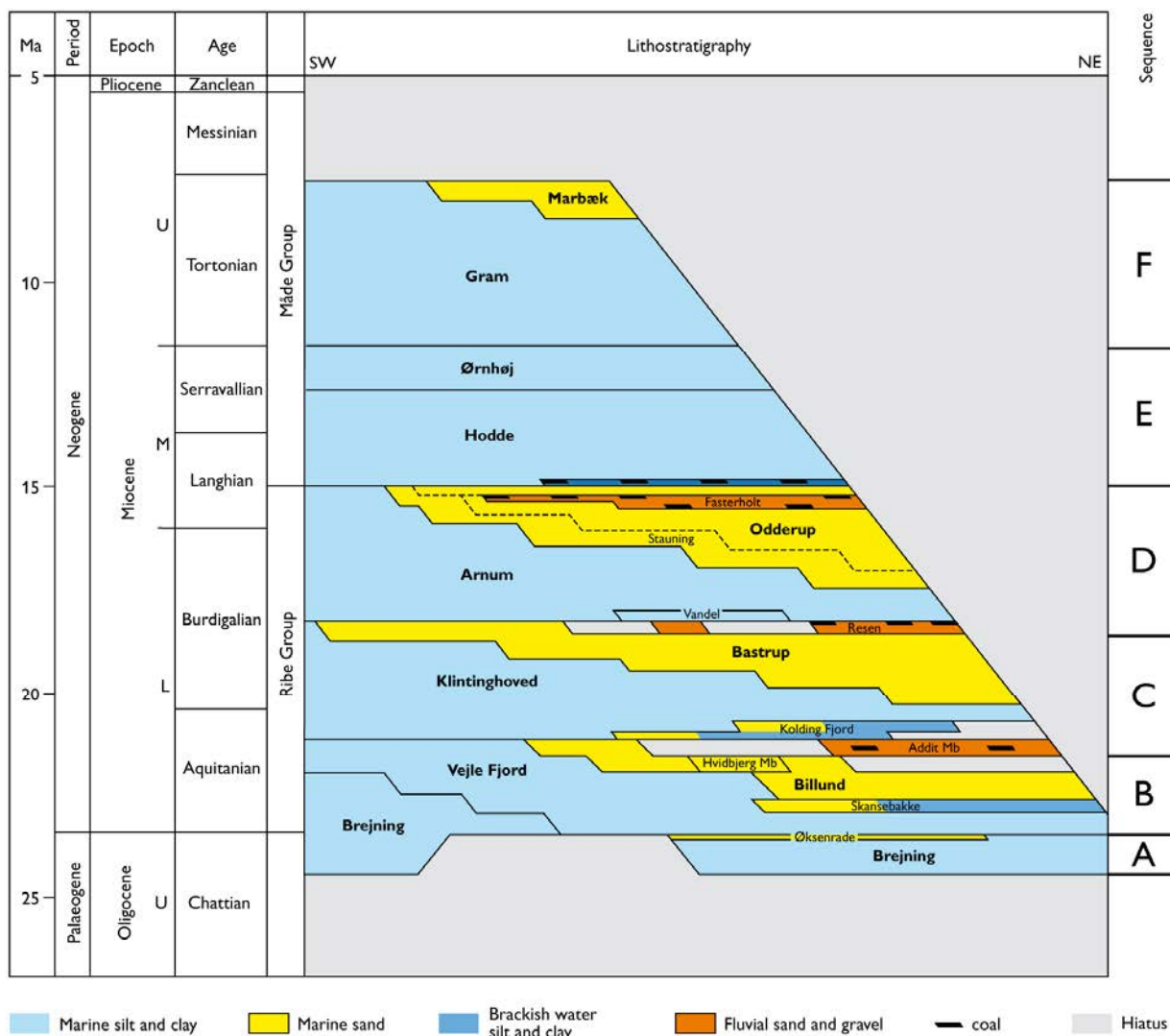


Fig. 3

N

Store Vorslunde offset 1 km
104.2325

S

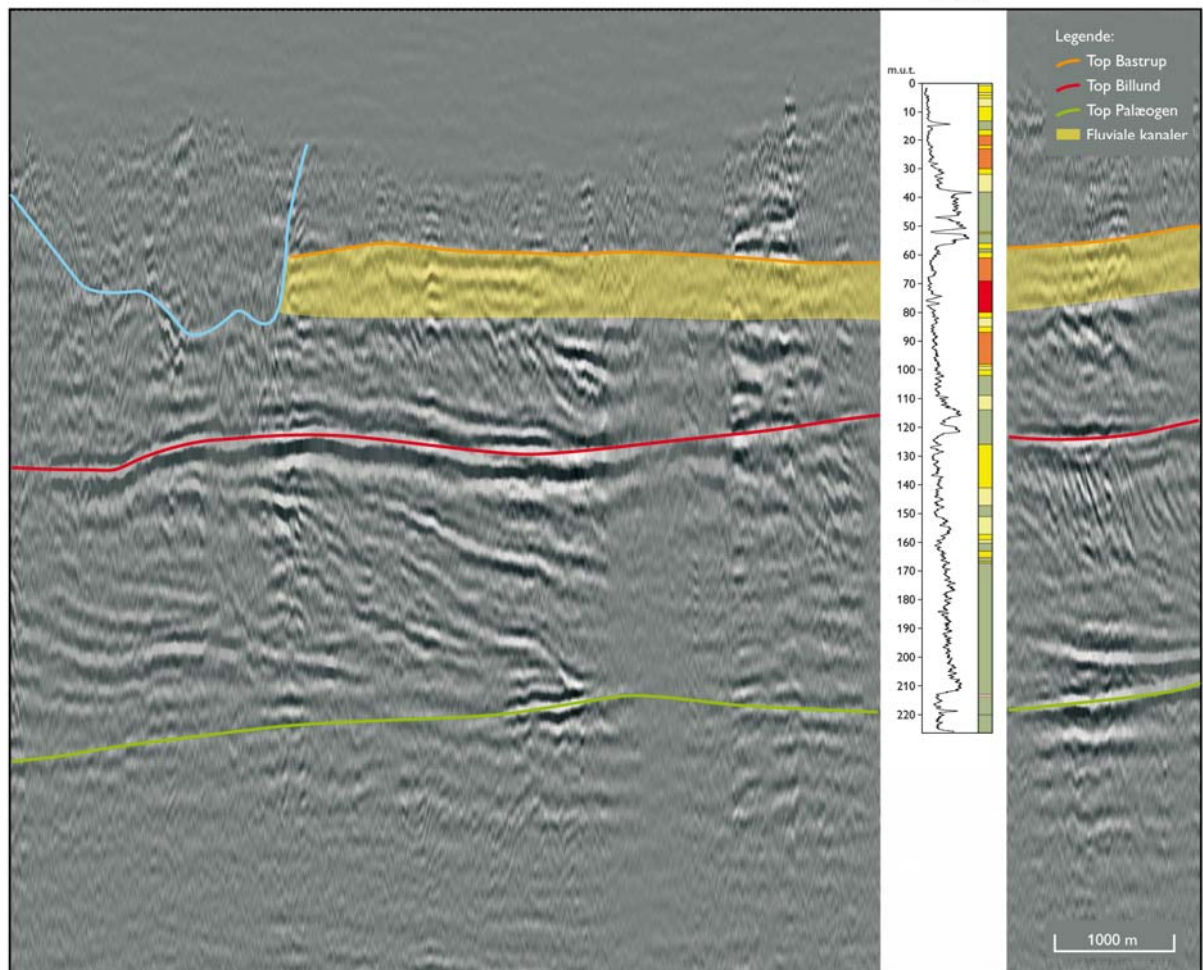


Fig. 4

V

Ø

Store Vorslunde
104.2325

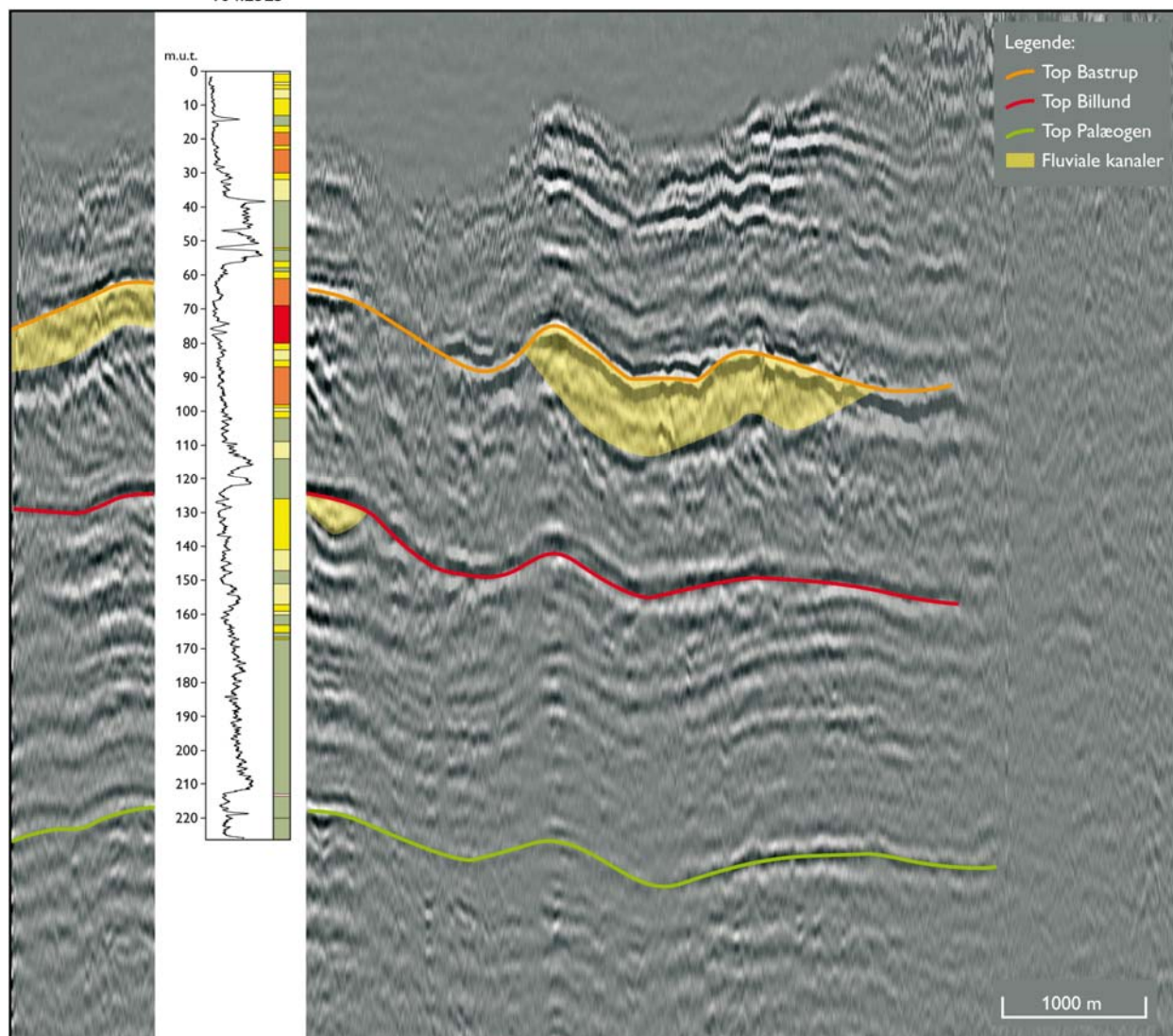


Fig. 5

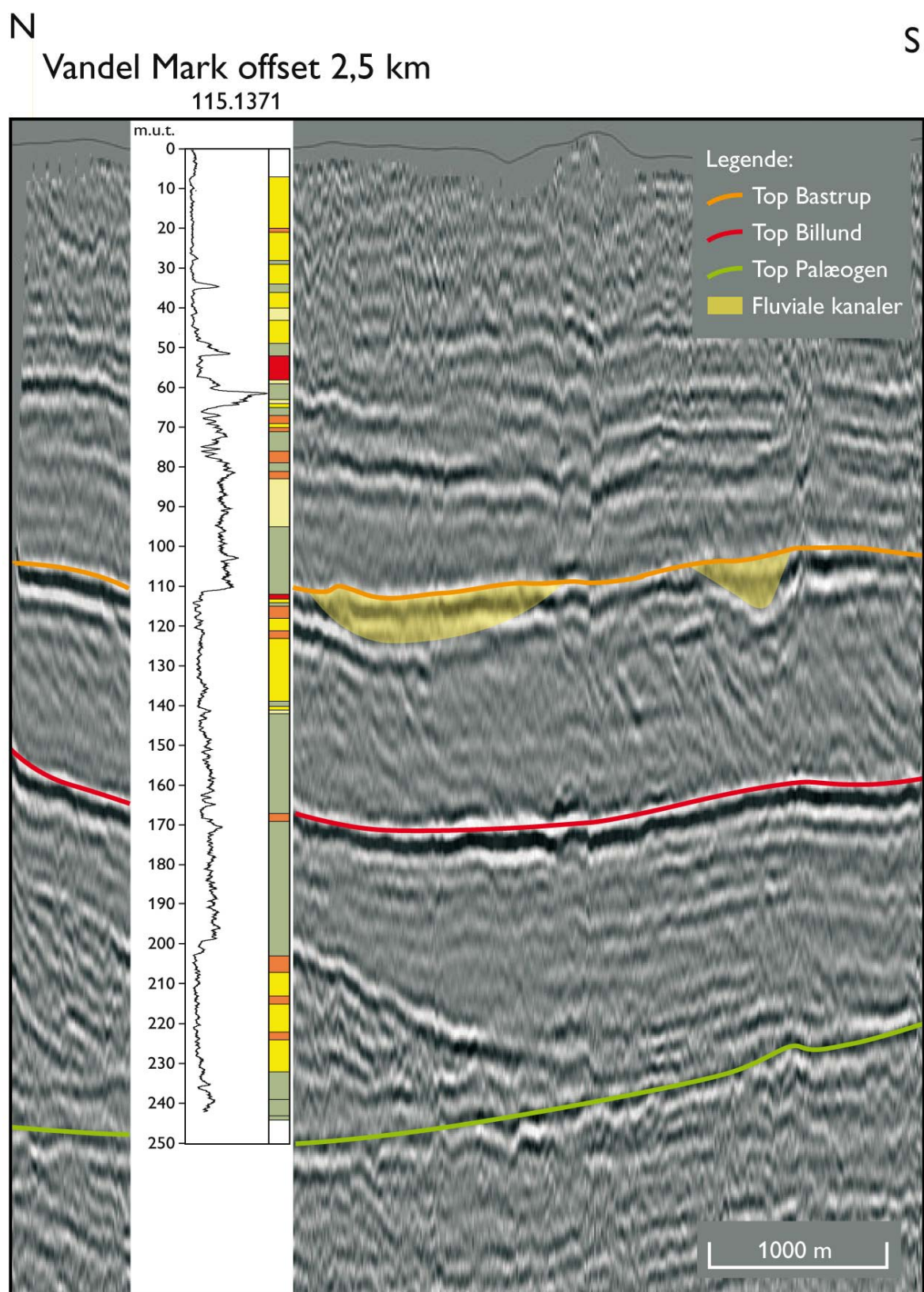
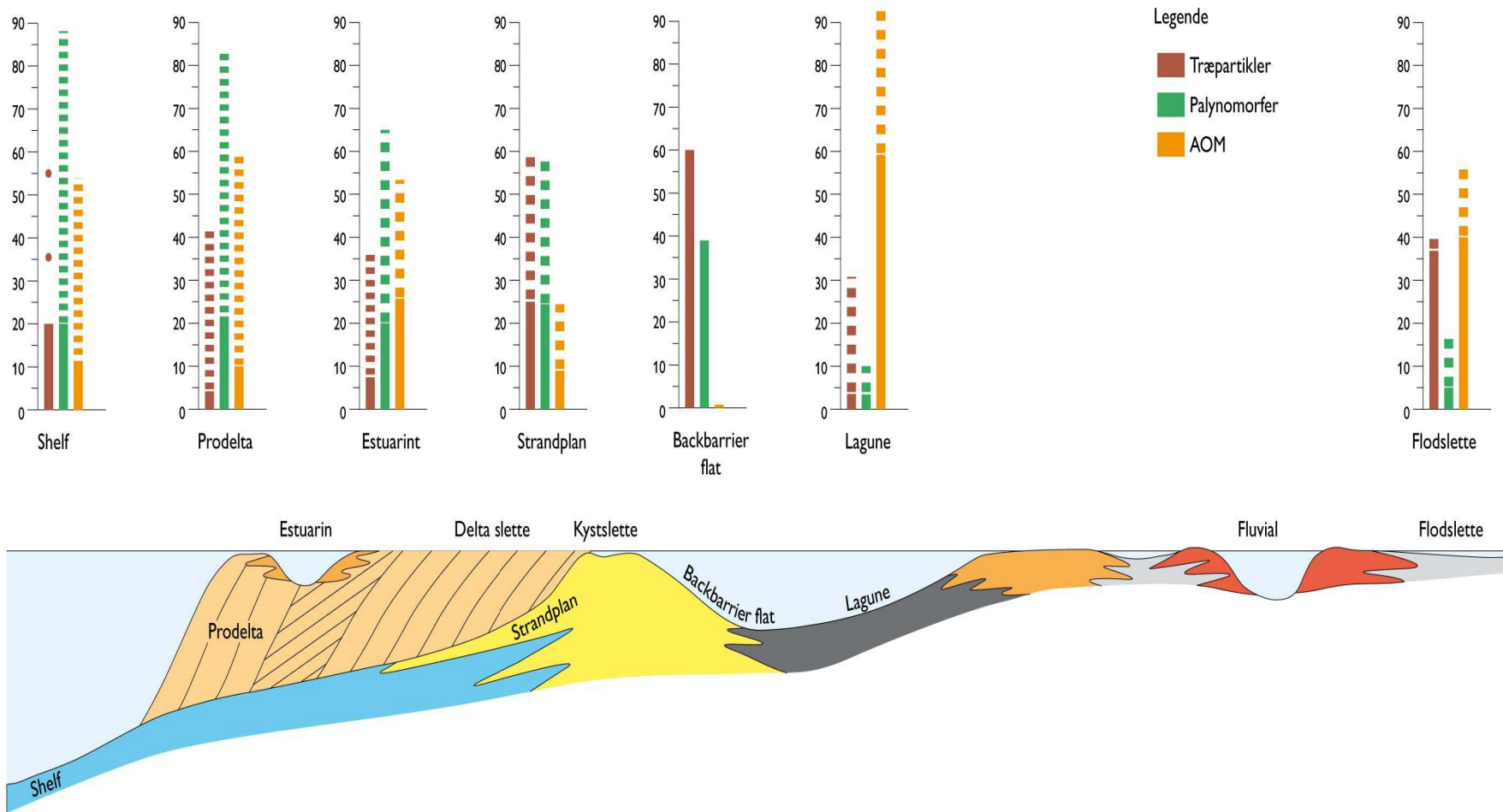
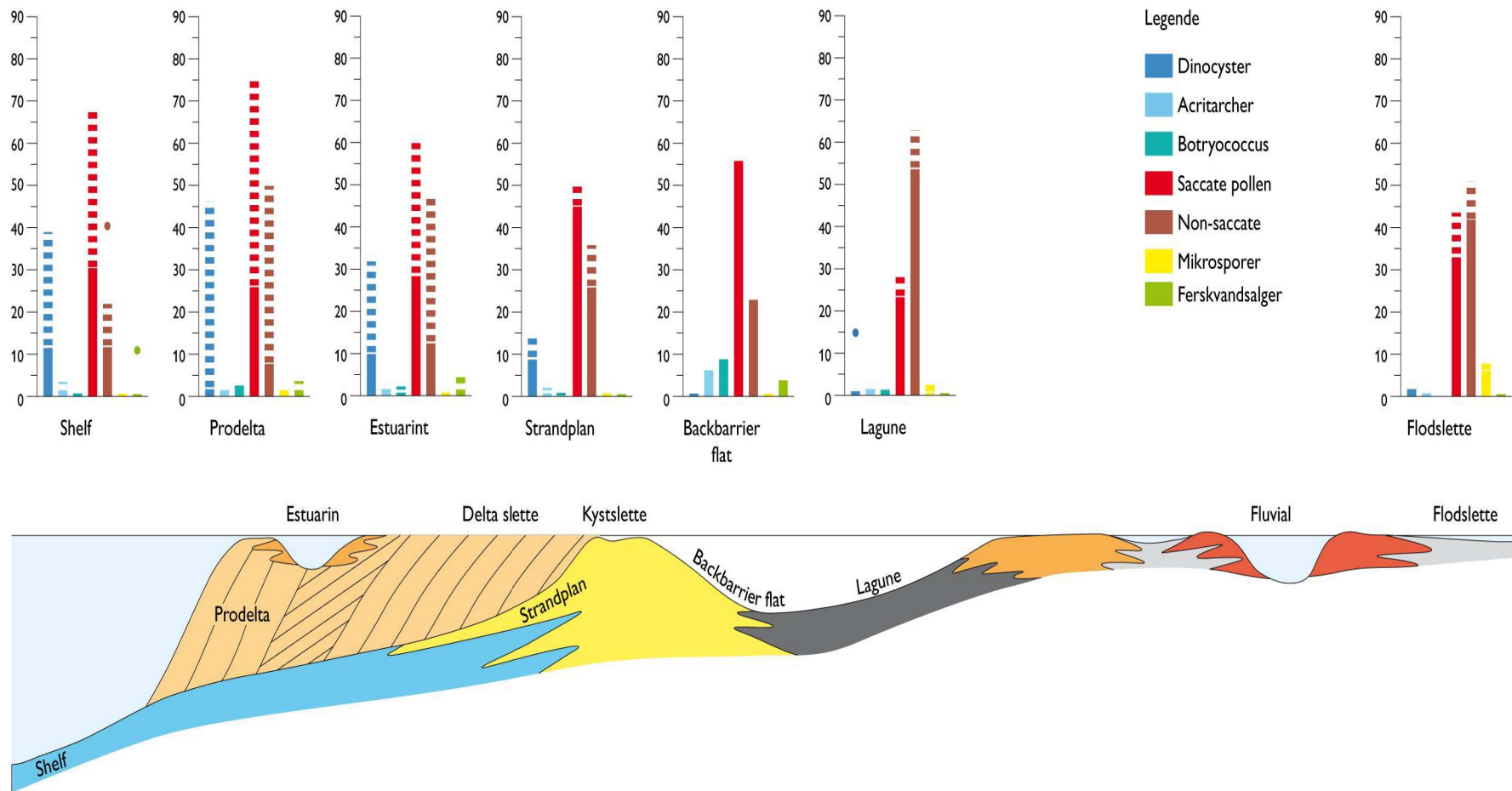
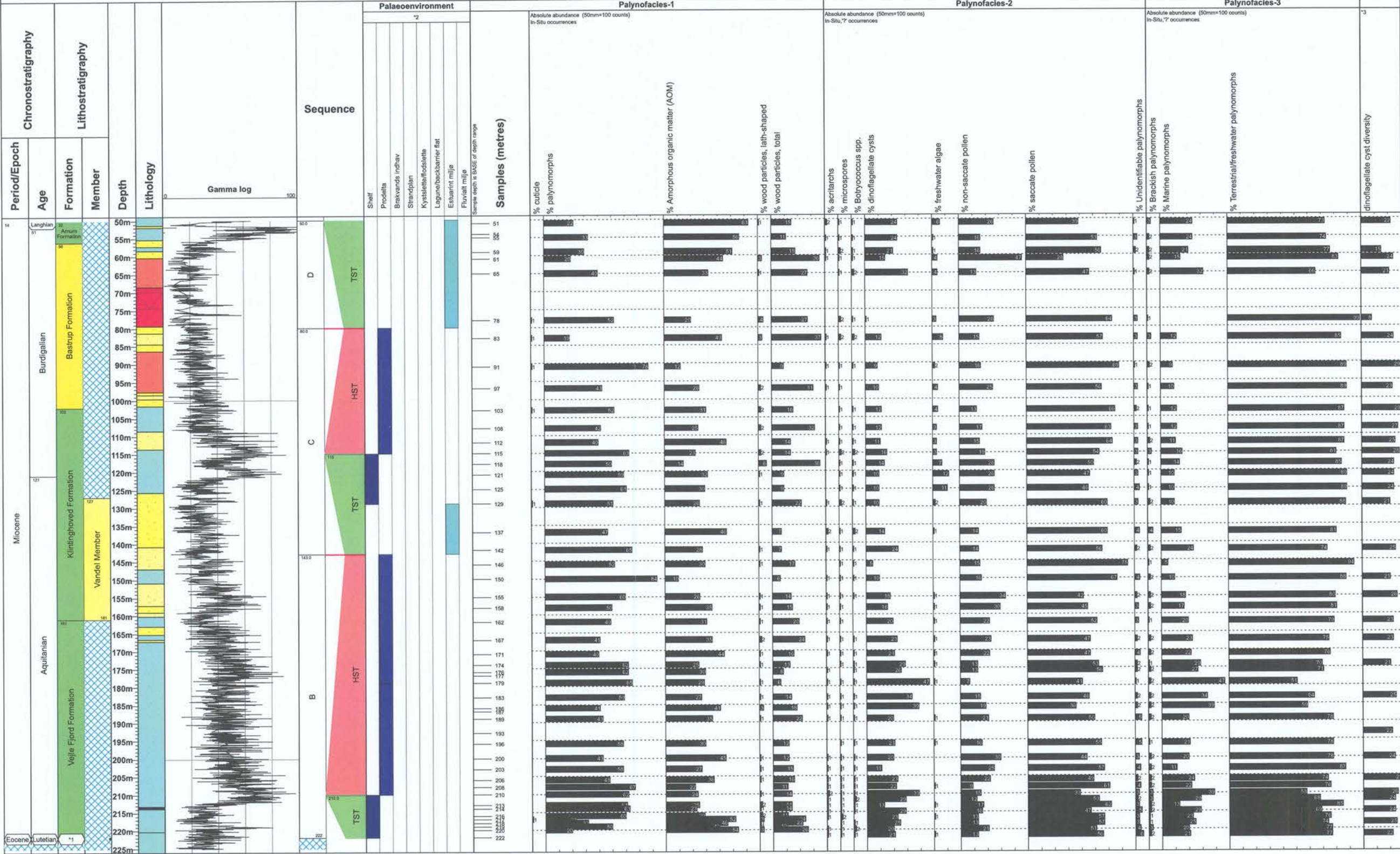


Fig. 6







Interval : 100m - 240m
Scale : 1:750
Chart date: 29 May 2009
Karen Dybkjær

Chronostratigraphy					
Period/Epoch	Age	Formation	Member	Depth	Lithology
Lithostratigraphy					
Sequence					
Palaeoenvironment					
Samples (metres)					
Palynofacies-1					
Palynofacies-2					
Palynofacies-3					
Palynofacies-4					

Karen Dybkjær

GEUS
Copenhagen

Bilag 3

