

Tolkning af seismiske data i Ringkøbing Amt med særlig fokus på Billund Deltaet

Erik Skovbjerg Rasmussen



Tolkning af seismiske data i Ringkøbing Amt med særlig fokus på Billund Deltaet

Erik Skovbjerg Rasmussen

Indhold

Sammenfatning	3
Introduktion	4
Formål	5
Geologisk ramme	6
Litostratigrafi	8
Data	9
Borekorrelationer	10
Seismisk tolkning af shallow seismiske data	12
GI01 (Fig. 11).....	12
LM01: (Fig. 12)	13
LM02: (Fig. 13)	13
LM03 (Fig. 14):	14
Beskrivelse af mindre seismiske surveys skudt i amtet	15
Orn1-3.....	15
Str1-2	16
Hol1 (Fig. 23).....	17
KH01-02.....	17
Billund deltaet	19
Konklusion	21
Referencer	22
Figurtekst	24

Sammenfatning

Nærværende undersøgelse er baseret på 3 vandforsyningsboringer, 1 stratigrafisk boring ved Sdr. Vium og 4 kulbrinteefterforskningsboringer. Derudover indgår et regionalt net af seismiske data indsamlet i forbindelse med kulbrinteefterforskning, 4 mindre områder med shallow-seismiskedata, samt et mindre net af shallow-seismiske data indsamlet nord for Skjern.

Undersøgelsen har kortlagt et stort grundvandsmagasin i den dybere del af den miocæne lagserie, benævnt Billund deltaet. Deltaet kan følges fra Nordsøen og indover det centrale Jylland til Billund. Dette delta kan være særdeles sandrigt som det er vist ved boringer omkring Billund og Give, samt i en ældre boring, Eg-3, ved Dyrvig, Hoven. Undersøgelser af seismiske data omkring Billund, indikerer at disse sandrige lag kan være meget udbredte og måske have en mægtighed på op til 75 m. Undersøgelsen af udvalgte boringer i Ringkøbing Amt, både i nærværende rapport og i Rasmussen (2003b), viser at dette delta ikke er anboret i ret mange vandforsyningsboringer. Ældre kulbrinteefterforskningsboringer (Eg-3 og Mejrup-1, Holstebro), samt den stratigrafiske boring ved Sdr. Vium, viser at Billund deltaet og Ribe Formationen kan være sandrig også i Ringkøbing Amt.

Undersøgelsen viser at Bastrup sandet er udbredt i det meste af amtet, undtagen i den vestligste del. Seismiske data indikerer at der er et større deltakompleks nord for Ørnholm, der tilhører Bastrup sandet og ligger dybere end Odderup Formationen.

Hovedkonklusionen af nærværende rapport samt Rasmussen (2003b) er, at der mangler en del stratigrafiske boringer i amtet før der kan opstilles en solid geologisk model til brug for fremtidig planlægning af grundvandforsyningen i amtet og til udpejning af sårbarhedsområder. De mest påtrængende borelokaliteter for stratigrafiske boringer er Holstebro og Ørnholm. Billund deltaet er formodentligt veludviklet omkring Hoven og bør testes ved en stratigrafisk boring, men denne boring må placeres efter at der er lavet seismiske undersøgelser i området. Disse seismiske linier bør være skudt som nord – sydgående linier.

Introduktion

Nærværende rapport indeholder en geologisk tolkning af den miocæne lagserie i udvalgte borer og samtlige seismiske linier i Ringkøbing Amt. Tolkningen er baseret på 1 ny dyb boring ved Sdr. Vium, 3 udvalgte ældre vandforsyningsboringer og 4 kulbrinteefterforskningsboringer. Den seismiske database udgør et regionalt net af multikanal seismik, skudt i forbindelse med kulbrinteefterforskning, 4 små lokale linier af shallow-seismiske data, samt nye seismiske linier skudt i 2003. Undersøgelsen er en fortsættelse af det projekt, der omfattede en opstilling af en regional geologisk model for Ringkøbing Amt udført i 2002 (Rasmussen 2003b).

I nærværende rapport er der konstrueret 2 nye regionale korrelationspaneler, der sammen med undersøgelsen i Rasmussen (2003b) søger at belyse den regionale udbredelse af miocæne grundvandsmagasiner. Disse korrelationspaneler er benævnt R4 til R5 og er en fortsættelse eller udvidelse af korrelationspanelerne R1 og R3 fra Rasmussen (2003b)

Der blev skudt 4 nye seismiske linier i amtet i 2003 og tolkningen af disse giver et mere detaljeret billede af udbredelsen af Billund sandet og Bastrup sandet i amtet.

De nye seismiske linier, samt seismiske linier udførte den jyske vestkyst søger at udvide kortlægningen og forståelsen af et større grundvandsmagasin kaldet Billund sand. Billund sandet er formodentligt et af Danmarks største grundvandsmagasiner og en regional kortlægning af sandet er derfor vigtigt.

Formål

Formålet med projektet er at kortlægge Billund deltaet ved hjælp af data fra Nordsøen samt samtlige seismiske linier på land. Endvidere er det formålet at tolke den miocæne lagserie på de nye shallow-seismiske data, der er skudt i amtet.

Geologisk ramme

Nordsø-bassinet 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 (Fig. 1). Den vestlige afgrænsning er mere upræcist, men har formodentlig 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 brakt. 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. Udbygningen i 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 sedimentter (Heilmann-Clausen 1995). I Oligocæn nåede udbygningen ned i det danske område og der aflejredes lavmarine, sandrige sedimentter i Nordjylland og Midtjylland, især omkring Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Deltaudbygning fra nord dominerede lokalt, men generelt blev sedimentterne aflejret i oddekomplekser med bagved liggende laguner og åbent hav mod syd og sydvest (Friis *et al.* 1998; Rasmussen & Dybkjær 1999). Tektoniske bevægelser i Oligocæn har sandsynligvis haft indflydelse på kildeområdet og aflejringsmønsteret. Ligeledes har globale havniveauændringer i Oligocæn også sat sit præg på aflejringsmiljøet, bla. 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-relateret 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 her i det den adskilte mere åben marine/kystprograderende aflejringsmiljøer syd for ryggen fra paraliske/afsnørede miljøer nord for ryggen (fig. 2) (Rasmussen & Dybkjær 1999). 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. Sedimentterne er transporteret langs kysten indtil aflejring i oddekomplekserne. Et markant fald i havniveau resulterede i en markant udbygning 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 havniveaufaldet i Aquitanien steg havniveauet generelt op igennem Miocæn med maksimum i Serravallien (Øvre Melle Miocæn) (fig. 2d-l) (Printice & Matthews 1988). Nye tektoniske bevægelser karakteriserede bassinet i slut-

ningen af Burdigalien (øvre Nedre Miocæn). Dette resulterede i nye udbygninger, bl.a. aflejringer beriget med tungminerale (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 Nordsø Bassinet. 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 Langhian 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 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 indsykning, 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 Leret er kendt for en rig flora og fauna der må derfor have været en høj tilførelse af næringsstoffer fra land.

Litostratigrafi

De nyere undersøgelser af den øvre oligocæne – miocæne lagserie har vist at den tidligere litostratigrafiske inddeling er for simpel. Derfor vil der i nærværende undersøgelse blive benyttet en litostratigrafi for den miocæne lagserie, der er kraftig revideret (Dybkjær et al. 1999; Rasmussen et al. 2002) (Fig. 3 og 4).

Den ældste litostratigrafiske enhed er Vejle Fjord Formationen. Den nederste del af Vejle Fjord Formationen, Brejning Led, henregnes til oligocænet, så den miocæne lagserie starter med Vejle Fjord Leret. Vejle Fjord Leret efterfølges af Vejle Fjord Sand og Hvidbjerg sand. I det centrale og vestlige Jylland er der kortlagt et større deltakompleks, som er samtidig med Vejle Fjord Formationen. Dette benævnes Billund sand. I det sydlige Jylland aflejeredes et meget sandrigt system, som er en videre udbygning af Billund deltaet, men som dog er isoleret fra Billund deltaet. Dette sandrige system hedder Ribe Formationen. Over disse enheder, der overordnet tilhører Vejle Fjord Formationen, kommer Arnum Formationen, der hovedsageligt består af lerede sedimenter. Den nederste del af Arnum Formationen, som består af sandrige sedimenter, benævnes Kolding Fjord sand. De minder meget om Vejle Fjord Formationen, men er yngre og udgør ikke en del af Vejle Fjord systemet. I de nordlige og østlige egne af Jylland kiler der sig et sandlag ind i den lerede del af Arnum Formationen. Dette lag benævnes Bastrup sand. I forbindelse med en ny kystudbygning i den øverste del af Arnum Formationen aflejeredes finsand rigt på tungminerale. Disse sandlag kaldes for Stauning sand. Over Arnum Formationen følger den sandrige Odderup Formation. Herover træffes kun lerrige sedimenter i Jylland. Disse lag er kendt som Hodde Formationen og Gram Formationen.

Der er endnu ikke konstrueret et prækvartært kort over de miocæne formationer, som omtalt ovenfor, men den overordnede fordeling af de miocæne og pliocæne lag i det danske område er vist i figur 5. Her ser man at de Miocæne lag bliver ældre mod øst og nordøst. Dette er en konsekvens af den markant neogene og kvartære hævnning og erosion.

Data

Nærværende rapport er baseret på shallow-seismiske data: GI01, LM01, LM02, LM03, Orn,1, Orn 2, Orn 3, Str1, Str2, Hol1, KH1, KH2, samt multi-kanal seismiske data: ADK85, DCJ81, DNJ18, DK2, NP85, DCS81, Gr-12, Dana 95, og Dana96. Endvidere indgår boringerne: R-1X, C-1X, EG-3, Mejrup-1, Fjand (DGU. 72.635), Ornhøj (DGU. 64.1566), Færch (DGU. 64.1566), Sdr. Vium (DGU.102.948), Forumlund (DGU.121.1334), St. Vorslunde (DGU.104.2325), Gadbjerg (DGU. 115.1474), Vejle Fjord Bro og Lillebælt.

Borekorrelationer

Der er konstrueret 2 korrelationspaneler, R4 og R5 (Fig. 6, 7 og 8). Korrelationspanelerne er konstrueret med det formål at belyse Billund deltaets udbredelse og de litologier man kan forvente at anbere i dette kompleks.

Korrelationspanelerne er en fortsættelse af korrelationspanelerne i Rasmussen (2003b), hvor 3 profiler blev konstrueret benævnt R1 til R3.

Korrelationspanelerne er konstrueret med 1 nord-sydgående linie og 1 øst-vestgående linie. Den sidstnævnte sammenbinder miocæne lag fra Nordsøen med lag i Ringkøbing Amt og videre med lag fra Vejle Amt, hvor Billund deltaet kan studeres i blotninger.

R4-profilet korrelerer borerne Mejrup-1, Færch, Ørnholm, Eg-3, Sdr. Vium og Forumlund (Fig. 7). I dette profil er der korreleret til 2 olieeftersøgningsboringer (Mejrup-1 og Eg-3), hvor prøvetagningen er overfladisk og derfor er der en vis usikkerhed i korrelationen af disse borer. I den nordlige del af profilet domineres den nederste del af lagserien af sandede sedimenter, der tilhører Billund deltaet. Tolkningen er, som før nævnt usikker, fordi den er baseret på Mejrup-1 og Eg-3 borerne. Seismiske data (se nedenunder) indikerer at der i denne del af amtet lå et stort delta (Billund deltaet), så sandsynligheden for at finde sand på dette niveau burde være stor. I Sdr. Vium boringen, der er en kernet stratigrafisk boring, blev der anbert ca. 15 meter sand fra Ribe Formationen. Dette understøtter teorien om at der findes sand aflejret i deltaløber på de dybder, som er indikeret i Mejrup-1 og Eg-3 borerne. Syd for Sdr. Vium boringen kiler sandet ud og lagserien er her domineret af lerede sedimenter fra Arnum Formationen. Den nedre del af Arnum Formationen overlejrer Billund deltaet mod nord og findes formodentligt som et kontinuerligt dæklag i området. Over Nedre Arnum følger sandede sedimenter fra Bastrup sandet. Disse lag er gennemboret i Eg-3 boringen og i boringen ved Færch. Bastrup sandet kiler ud mod syd og er kun repræsenteret ved et tyndt gruslag i Sdr. Vium boringen. I Sdr. Vium og Forumlund borerne dominerer lerede lag fra Arnum Formationen på dette stratigrafiske niveau. Bastrup sandet overlejres af lerede aflejringer fra øvre Arnum Formation. Indlejret i øvre Arnum Formation findes sandlag som tilhører Stauning sandet. Sandede sedimenter fra Odderup Formationen følger Arnum Formationen. De sandede aflejringer fra Odderup Formationen kiler ud, lige som Bastrup sandet, ved Sdr. Vium. Øverst i den miocæne lagfølge er der i Sdr. Vium og Ørnholm borerne gennemboret lerede sedimenter fra Hodde og Gram formationerne. Den tykke succession af Gram ler ved Ørnholm er formodentligt omlejret Gram ler. Seismiske data indikerer en dal omkring boringen. Endeligt overlejres de miocene lag af kvartære aflejringer af stærkt varierende tykkelse.

R5-profilet korrelerer borerne R-1X, C-1X, Fjand, Eg-3, St. Vorslunde, Gadbjerg, Vejle Fjord Bro og Lillebælt (Fig. 8). I dette profil indgår 3 olieeftersøgningsboringer, 3 vandforsyningsboringer, 1 boring lavet i forbindelse med bygningen af Vejle Fjord broen og en blotning ved Lillebælt. I den vestlige del af profilet, ved R-1X boringen, dominerer lerede sedimenter fra Arnum Formationen den nederste del af sektionen. Ved C-1X boringen er der anbert temmelig mægtige lag, der tilhører Billund Deltaet og lagfølgen er sandsynlig-

vis meget sandrig. Dette er selvfølgelig usikkert pga. det begrænsede materiale, som forefindes i en oileefterskningsboring. Mægtige sandlag på dette niveau er også anført i Fjand, Eg-3 og Store Vorslunde boringerne. Øst for hovedforkastningen for Brande Graven dominerer lerede sedimenter fra Vejle Fjord Formationen. Lokalt findes tykkere sandlag, der tilhører Hvidbjerg sandet. Billund og Hvidbjerg sandet overlejres i den centrale og østlige del af lerede sedimenter fra nedre Arnum Formation. Herover følger Bastrup sandet, der er op til 50 meter mægtigt i Store Vorslunde og Eg-3 boringerne. Bastrup sandet kiler ud mod vest og er i Fjand boringen domineret af lerede aflejringer fra Arnum Formationen. Mægtige sandlag fra Bastrup sandet findes igen i R-1X boringen. Bastrup sandet overlejres af øvre Arnum Formation med lokalt indlejret Stauning sand. Over Arnum Formationen følger sandede sedimenter fra Odderup Formationen, der kan erkendes gennem hele profilet, undtagen i C-1X boringen. I R-1X boringen følges Odderup Formationen af Hodde og Gram formationerne ellers overlejres Odderup Formationen af kvartære aflejringer.

Seismisk tolkning af shallow seismiske data

Der er i nærværende rapport tolket 4 seismiske linier, GI01 (nord), LM01, LM02 og LM03, alle skudt i Ringkøbing Amt i 2003 (Fig. 9 og 10). Linierne er vist i figur 11 til 14. Bemærk at den del af GI01, der strækker sig ind i Vejle Amt og videre ned i Ribe Amt også er vist. Dette er gjort for helhedens skyld.

Den overordnede tolkning består i en inddeling i de sekvenser som er vist i figur 4 og beskrevet i Rasmussen (2002). Udover en generel tolkning er der også vist et seismisk facies-kort (temakort), der søger at indikere, hvor man kan finde grundvandsmagasiner indenfor de forskellige sekvenser.

Kvaliteten af de seismiske data er generelt høj. Der er kun observeret enkelte zoner med forringet signal.

GI01 (Fig. 11)

Der er erkendt 3 sekvenser (B – D) i den miocæne lagserie på den seismiske linie GI01, der repræsenterer området syd for Brande (Fig. 9). Den miocæne lagserie gennemskæres af en markant erosionsdal i den nordøstlige del af linien (Fig. 11).

Sekvens B: Er karakteriseret ved et klinofornt reflektionsmønster med svag amplitude. Hældningen er lav på de enkelte klinoformer. Der er erkendt et mindre område med et markant klinofornt reflektionsmønster (markeret med gult på Fig. 11).

Sekvens C: Er karakteriseret ved et lavamplitude, parallelt til subparallelt reflektionsmønster. Lokalt, mellem skudpunkt 1150 og 1450, erkendes et klinofornt reflektionsmønster med lidt højere amplitude (markeret med gult på Fig. 11). Herover følger et noget diskontinuerligt, parallelt til subparallelt reflektionsmønster, som nedadtil er begrænset af en markant erosionsflade (orange på Fig. 11).

Sekvens D: Sekvensen er kendetegnet ved et noget diffust reflektionsmønster. Der kan dog erkendes nogle svage reflektorer, der ligger parallelt.

Den seismiske linie kan korreleres til Store Voerslundeboringen. De svagt hældende klinoformer korrelerer overvejende til lerede sedimenter fra Vejle Fjord Formationen eller pro-deltaler aflejret i Billund delta komplekset. Det klinoforme reflektionsmønster, der er markeret med gult, kan tolkes som deltasandaflejringer, som et lignende reflektionsmønster ved Store Voerslundeboringen korrelerer til. Sekvens C repræsenterer ligeledes deltaaflejringer fra Bastrup sandet. Det klinoforme reflektionsmønster repræsenterer igen sandede deltafrontaflejringer. Over erosionsfladen, der blev dannet under en større subærisk eksponering i forbindelse med deltaudbygning under relativt faldende havniveau, aflejredes der formodentligt sand som bla. gennemboret i Store Voerslundeboringen. Sekvens D korrelerer til lerede og sandede sedimenter, der korrelerer til Arnum Formationen og Stauning sand. Den øverste del af sekvensen repræsenterer sandsynligvis sandede sedimenter fra Odderup Formationen. Disse lag er rige på tungminerale.

LM01: (Fig. 12)

Der er erkendt 3 sekvenser (B-D) i den miocæne lagserie på den seismiske linie LM01 (Fig. 12). Den miocæne lagserie gennemskæres af en markant erosionsdal i den nordøstlige del af linien.

Sekvens B: Sekvens B er karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster. I den sydøstlige del af sektionen nedlapper reflektorene på sekvensgrænsen. Øverst i sekvensen er der erkendt en erosiv dal.

Sekvens C: Denne sekvens er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster med varierende amplitude. Den øvre grænse er svær at erkende.

Sekvens D: Øvre og nedre grænse er svær at erkende, men en del af det transparente reflektionsmønster over sekvensgrænsen, tilhører sekvensen.

Tolkning

Lemboringen ligger på Linien. Denne boring gennemborer ikke sekvens B, men korrelation til seismik skudt i forbindelse med olieefterforskning indikerer at sekvensen korrelerer til Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. Der er dog ingen data, som kan give informationer om, hvilken af de 2 enheder, der dominerer. Sekvens C er anført af Lemboringen. Nederst i denne boring er der anført sand fra Bastrup sandet, ellers er boringen domineret af lerede sedimenter fra Arnum Formationen, med enkelte indslag af Stauning Sand. Hvis sekvens D er tilstede, er den sandsynligvis repræsenteret ved lerede sedimenter tilhørende øvre Arnum Formation.

LM02: (Fig. 13)

Der er erkendt 3 sekvenser i den miocæne lagserie på den seismiske linie LM02 (Fig. 13). Den miocæne lagserie gennemskæres af en markant erosionsdal i den nordøstlige del af linien.

Sekvens B: Sekvensen er i den østlige del karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster, generelt med lav amplitude. Enkelte højamplitude og kontinuerlige reflektorer ses i sekvensen (markeret med gult)(Fig. 13). I den vestlige del er sekvensen domineret af et reflektionsmønster med svagt hældende reflektorer og helt mod vest erkendes et klinofornt reflektionsmønster.

Sekvens C: Denne sekvens er karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster, med varierende amplitude.

Sekvens D: Sekvens D er domineret af et transparent reflektionsmønster. Den øvre grænse er stærkt erosiv.

Tolkning

Boringerne Rækker Mølle og Borrís ligger tæt på linien, men ingen af disse gennemborer sekvens B. Tolkningen af denne sekvens er baseret på tolkning af seismik skudt i forbindelse med olieefterforskning. Disse data indikerer at sekvens B repræsenterer/udgøres af

Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. Seismiske data og boringer fra Billund området (Rasmussen 2004) viser at et kliniformt reflektionsmønster afspejler sandrige sedimenter. Derfor kan det tolkes, at der formodentligt er aflejret sand i den vestligste del af sektionen. Boringen Eg-3, der ligger tæt på linien, gennemborer ca. 100 meter sand på dette niveau. Sekvens C korrelerer til nedre Arnum Formationen og Bastrup sandet. I de nævnte boringer, Rækker Mølle, Borris og Eg-3, er der anboret sand tilhørende Bastrup sandet og med mægtigheder op til 50 meter i de 2 sidstnævnte. I Rækker Mølleboringen er der anboret ca. 15 meter sand og en noget mægtigere lagfølge af lerede sedimenter fra Arnum Formation. Sekvens D korrelerer til lerede sedimenter fra øvre Arnum Formation og sandede aflejringer tilhørende Odderup Formationen. Tykkelserne af Odderup Formationen er op til 40 meter i Rækker Mølle og Borris boringerne, mens formationen ikke er anboret i Eg-3.

LM03 (Fig. 14):

Der kan erkendes 3 sekvenser i den Miocæne lagserie, B til D.

Sekvens B: Den nederste del af sekvensen er karakteriseret ved et subparallelt reflektionsmønster og der er erkendt nedlap på sekvensgrænsen. Udkilingen af lag sker mod syd. Herover følger et reflektionsmønster, som er kendetegnet ved et parallelt, lavamplitude mønster. Enkelte gennemgående, højamplitude reflektorer er erkendt (vist med gul på figur 14).

Sekvens C: Denne sekvens er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster med varierende amplitude.

Sekvens D: Sekvensen er kun erkendt i et lille område omkring skudpunkt 900 og er for tynd til at kunne beskrives.

Tolkning

Ingen boringer gennemborer sekvens B. Tolkningen af denne sekvens er baseret på tolkning af seismik skudt i forbindelse med oilefterforskning. Disse data indikerer at sekvens B udgøres af Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. Boringen Eg-3, der ligger tæt på linien, gennemborer ca. 100 meter sand på dette niveau, men om det er tilstede her, er usikkert. Sekvens C korrelerer til nedre Arnum Formationen og Bastrup sandet i Rækker Mølleboringen og dette er også anboret i de nærliggende boringer, Borris og Eg-3. Mægtigheden her kan nå op på 50 meter. I Rækker Mølleboringen er der dog kun anboret ca. 15 meter sand og en noget mægtigere lagfølge af lerede sedimenter fra Arnum Formation. Sekvens D korrelerer til lerede sedimenter fra øvre Arnum Formation.

Udover de ovenfor beskrevne linier er ADK85-137, der første gang er beskrevet i Rasmussen (2003b), vist i figur 15. På basis af disse linier, GI01, LM01, LM02, LM03 og ADK85, er der konstrueret et seismisk facies kort (Fig. 16). På dette kort kan ses udbredelsen af et kliniformt reflektionsmønster, der er erkendt i både sekvens B (Billund sandet) og Sekvens C (Bastrup sandet). Dette seismiske reflektionsmønster indikerer ofte gode grundvandsmagasiner.

Beskrivelse af mindre seismiske surveys skudt i amtet

Orn1-3

Orn1 (Fig. 18)

Den miocæne lagserie er opdelt i 3 sekvenser, B til D. Kvaliteten af de seismiske liner er god.

Sekvens B: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster med en noget varierende amplitude. I den nordlige del af sektionen er reflektionsmønsteret meget diffust.

Sekvens C: Sekvens C er karakteriseret ved svagt hældende reflektorer (mod syd). Amplituden varierer meget. I den nordlige del er reflektionsmønsteret diffust.

Sekvens D: Sekvens D er karakteriseret ved 2 gennemgående højamplitude reflektorer. Imellem disse reflektorer erkendes et noget kaotisk mønster. Mellem skudpunkt 1450 og 1600, lige under 100 ms, kan svagt erkendes et klinofornt reflektionsmønster. Den øverste grænse af sekvens D er erosiv.

Orn2 (Fig. 19)

Sekvens B: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster. Nederst i sekvensen erkendes de mest højamplitude og kontinuerlige reflektorer. Imellem skudpunkt 1450 og 1700 er reflektionsmønsteret meget diffust.

Sekvens C: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster. Imellem skudpunkt 1450 og 1700 er reflektionsmønsteret meget diffust.

Sekvens D: Denne sekvens er karakteriseret ved et diskontinuerligt parallelt reflektionsmønster med varierende amplitude. Omkring skudpunkt 1150 og 1300 erkendes et noget kaotisk reflektionsmønster. Den øverste grænse er kraftigt erosiv.

Orn3 (Fig. 20)

Sekvens B: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster. Øverst i sekvensen erkendes en variation i amplitude.

Sekvens C: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt til svagt klinofornt reflektionsmønster. Klinofornterne hælder mod øst. Øverst i sekvensen erkendes en variation i amplitude.

Sekvens D: Sekvensen er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster med ret kraftige reflektorer midt i sekvensen og øverst i sekvensen. Den øvre grænse er stærkt erosiv.

Tolkning

Boringen Ørnhøj (DGU.84.2602) gennemborer den øverste del af lagserien som svarer nogenlunde til sekvens C. Boringen anbror kvartære lag øverst (Fig. 8) og derunder mi-

ocæne lag. De miocæne lag er øverst repræsenteret ved Hodde og Gram formationerne og derunder ca. 10 meter sandede sedimenter tilhørende Odderup Formationen. De sandede sedimenter fra Odderup Formationen kan formodentligt korreleres til det klinoforme reflektionsmønster erkendt i sekvens D på Orn 1. De svagt hældende reflektorer i sekvens C kan korreleres til et markant klinofomt reflektionsmønster erkendt på multikanal seismiske data skudt i forbindelse med olieeffterforskning (Fig. 15) samt Rasmussen (2003b). Det er tolket til at repræsentere en deltalobe i Bastrup sandet. Sekvens B korrelerer til Billund sandet og Vejle Fjord Formationen, men hvad der dominerer her kan ikke konkluderes ud fra de seismiske data.

Str1-2

Str1 (Fig. 21)

Der er erkendt 3 sekvenser i den miocene lagserie, sekvens B, C og D. Kvaliteten af de seismiske linier er god til mindre god.

Sekvens B: sekvensen er karakteriseret ved et parallelt reflektionsmønster med lidt varierende amplitude.

Sekvens C: Denne sekvens er karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster. Amplitudevariationen er størst nederst i sekvensen. I den øverste del er der noget støj.

Sekvens D. Sekvensen er karakteriseret ved et noget varierende reflektionsmønster fra et kaotisk til et parallelt reflektionsmønster. Specielt er den øverste del meget forstyrret. Grænsen opad er kraftig erosiv.

Str2 (Fig. 22)

Sekvens B: Sekvensen er karakteriseret ved et lavamplitude, parallelt reflektionsmønster og er visse steder domineret af støj.

Sekvens C: Sekvens C har et overvejende transparent reflektionsmønster, i visse områder kan man ane et parallelt til subparallelt reflektionsmønster.

Sekvens D: Denne sekvens er karakteriseret ved et subparallelt reflektionsmønster med stærkt varierende amplitude. Den øvre grænse er markant erosiv.

Tolkning

De 2 seismiske sektioner kan ikke korreleres til nogen boringer i området, men de ligger i nærheden af ADK85 survey'et, som er korreleret til Nøvlingboringen (Rasmussen 2003b). De seismiske horisonter er herfra overført til str-linierne. Sekvens B korrelerer til Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. Ud fra de seismiske data, som er skudt i en øst-vest retning, er der ingen tegn på større sandenheder, men det kan skyldes at seismikken er skudt i en forkert retning, således at større prograderende deltasand, ikke er blevet afbilledet på seismikken. Sekvens C er ligeledes korreleret til ADK85 survey'et og svarer til nedre Arnum Formation og Bastrup sand. Hvordan Bastrup sandet er udviklet i dette område er ikke klart, men sandet har ikke gode magasinsegenskaber i den vestligste del af amtet Rasmussen (2003b). Sekvens D korrelerer til øvre Arnum og Odderup Formationen.

Hol1 (Fig. 23)

Der er erkendt 3 sekvenser på den seismiske linie Hol1. Sekvenserne er sekvens B, C og D. Kvaliteten af den seismiske linie er god.

Sekvens B: Sekvensen er nederst karakteriseret ved et høj amplitude, parallelt reflektionsmønster. Herover følger et transparent til diskontinuert, parallelt reflektionsmønster. Øverst erkendes en højamplitude reflektor.

Sekvens C: Sekvensen er nederst karakteriseret ved et høj amplitude, parallelt reflektionsmønster, der opad går over i et transparent reflektionsmønster. Øverst erkendes enkelte erosionsstrukturer.

Sekvens D: Sekvensen er karakteriseret ved et transparent reflektionsmønster. Sekvensen er opadtil begrænset af en markant erosionsflade.

Tolkning

Seismikken kan ikke korreleres til nogen boringer i området, men ligger lige nord for ADK85 survet'et (Fig.) og korrelationen er derfor baseret på dette survey. Sekvens A svarer til Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. I en nærliggende boring, Majrup-1, er der gennemboret sand på dette niveau, men da det er en oileeftersøkningsboring, er tolkning noget usikker. Sekvens B korrelerer til nedre Arnum Formation og Bastrup sand. En nærliggende boring, Færch (DGU.64.1566), anborer Bastrup sandet, så det er nærliggende at antage at Bastrup sandet er veludviklet i området. Den øverste sekvens, sekvens C, svarer til nedre Arnum Formation.

KH01-02

KH01(Fig. 24)

Der er tolket 3 sekvenser, sekvens B, C og D, på de 2 seismiske linier KH01 og KH02. Lagene hælder mod syd på den nord – syd gående linie KH02. Seismikken er af god kvalitet.

Sekvens B: Sekvens B er karakteriseret ved et transparent til svagt parallelt reflektionsmønster. Den øvre grænse er markeret ved en højamplitude, kontinuerlig reflektor.

Sekvens C: Denne sekvens er nederst karakteriseret ved et transparent reflektionsmønster. Opad stiger kontinuiteten og amplituden af reflektionerne er her karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster.

Sekvens D: Sekvensen er karakteriseret ved 2 intervaller bestående af et transparent reflektionsmønster. De 2 intervaller er adskilt af en kraftig, gennemgående reflektor. Opadtil er sekvensen begrænset af en kraftig erosiv flade.

KH02 (Fig. 25)

Sekvens B: Denne sekvens er karakteriseret ved et transparent til svagt parallelt reflektionsmønster. Den øvre grænse er markeret ved en højamplitude, kontinuerlig reflektor.

Sekvens C: Denne sekvens er nederst karakteriseret ved et transparent reflektionsmønster. Opad stiger kontinuiteten og amplituden af reflektionerne er her karakteriseret ved et parallelt til subparallelt reflektionsmønster. Sekvensen trunkeres mod nord.

Sekvens D: Sekvensen er kun erkendt i den sydligeste del af linien. Her er sekvensen karakteriseret ved 2 intervaller bestående af et transparent reflektionsmønster. De 2 intervaller er adskilt af en kraftig, gennemgående reflektor. Sekvensen trunkeres af en markant erosiv flade.

Tolkning

Korrelationen af de 3 sekvenser er baseret på en korrelation til den seismiske linie DCS-01. Tolkningen er noget usikker. Sekvens B svarer til Vejle Fjord Formationen og Billund sandet. Mægtigheden af Billund sandet kan ikke tolkes ud fra de nærværende seismiske linier. Sekvens C korrelerer til nedre Arnum Formationen og Bastrup sandet. De kraftige reflektorer øverst i sekvensen indikerer en form for litologiskift og en tolkning kan være sandrige lag tilhørende Bastrup sandet. Den øverste sekvens, sekvens D, korrelerer til øvre Arnum og Odderup formationerne. Odderup Formationen er normalt sandrig i denne del af amtet.

Billund deltaet

Den store mængde af data, både seismiske data og borings data, der er indsamlet i Ribe og Vejle amter, samt højopløselige seismiske data fra Nordsøen umiddelbart ud for den jyske vestkyst (Fig. 26) indsamlet af Holger Lykke-Andersen og kollegaer, gør at der efterhånden kan dannes et overblik over Billund deltaets udbredelse. Tolkningen er endvidere baseret på Rasmussen (2003a, b og c)

Ved at tolke en serie af seismiske linier fra Nordsøen (Fig 27 og 28) samt sammensatte shallowseismiske linier fra det centrale Jylland (Fig. 29 og 30) kan man se at Billund deltaet er opbygget af en række enheder, som er karakteriseret ved enten at være domineret ved et klinofornt reflektionsmønster (klinotermer) eller et sigmoidalt til subparallel reflektionsmønster. Disse 2 typer af reflektionsmønstre ses for eksempel i figur 27. Det mest interessante reflektionsmønster med hensyn til kortlægning af grundvandsmagasiner, er det klinoforme reflektionsmønster, da det indtil videre har vist sig at indikere enheder med gode grundvandsmagasinegenskaber (mægtige sandenheder). Kortlægningen af udbredelsen af disse enheder er endnu begrænset, da der ikke er nogen tæt seismisk dækning på land, men i figur 31 er der indikeret, hvor vi på nuværende tidspunkt, kan kortlægge de klinoforme enheder. Mægtigheden af hele deltakomplekset er vist i figur 32, som også viser den maksimale udbredelse af Billund deltaet. Deltaet havde sin vestligeste udbredelse ca. 50 km vest for den nuværende vestkyst på en strækning fra Nissum Fjord i syd til Hanstholm i nord. Hovedtrendet på deltaet var nordvest-syldøst. Under den maksimale udbredelse af deltaet strakte kystlinien sig fra lidt syd for Ringkøbing ind over Dyrvig ved Hoven og videre ned over Sdr. Omme til Billund. Øst for Billund drejede kystlinien markant mod nord og hoveddeltaet var her begrænset af den østlige forkastning af Brandegraven (Fig. 31). Øst for Brandegraven aflejredes oddesystemer associeret til deltaet. Disse oddesystemer går under navnet Hvidbjerg sand. Mægtigheden af deltakomplekset har varieret meget. I vest (nuværende Nordsø) har mægtigheden overstegit 300 m (Fig. 32). Mod øst, ind over Jylland, er mægtigheden markant tyndere, her varierer tykkelsen mellem 150 m og 100 m, tykkest mod nordvest. Øst for Brandegravsforkastningen, hvor deltakomplekset er opbygget af oddesystemer, er tykkelsen sjældent over 30 m (Fig. 32). På figur 32B er vist en sammenstilling af tykkelseskortet og udbredelsen af et klinofornt reflektionsmønster.

Tidligere seismiske undersøgelser samt, korrelationspaneler af boringer ned gennem Jylland (Rasmussen et al. 2002), indikerer at der under aflejringen af Billund deltaet har været en vis topografi i området. Dette relief, der dels er forkastningsbetinget og dels relateret til saltbevægelser i den dybere undergrund, blev dannet under den saviske tektoniske fase i midt Oligocæn (Rasmussen et al. 2002). Denne topografi kan også erkendes på nogle af de nye seismiske data. Ved for eksempel at backstrippe den seismiske linie GI03 (Fig. 33), kan man se at dele af Ringkøbing-Fyn Højderyggen udgjorde et strukturelt element. Denne topografi har haft en stor indflydelse på tykkelsesvariationerne i deltakomplekset. Ligeledes er udbredelsen af hoveddeltaet mod øst begrænset af den østlige grænsforkastning af Brandegraven. Selve deltaloben ved Billund synes også at være kontrolleret af forkastninger i Brandegraven (Fig. 31). Endvidere kan strukturelle elementer på Ringkøbing-Fyn Højderyggen, i lighed med Nedre Kretassiske barrierekomplekser på Bornholm (Noe-Nygaard

and Surlyk 1988), have haft indflydelse på placeringen af oddekomplekser øst for hoved-deltaet.

Morfologiske og sedimentologiske undersøgelser viser at Billund deltaet er et bølgedomine-ret delta. Denne tolkning er baseret på både seismiske data, undersøgelser af boringer og sedimentologiske studier af det associerede oddesystem, Hvidbjerg sandet, der er blottet i Østjylland (Rasmussen et al. 2002, samt nærværende rapport).

Studier af moderne deltaer viser at der er en karakteristisk sammenhæng mellem længden af udkiling af deltalober, orienteringen af sandbarrer og fordeling af sedimentologiske facies af de 3 deltatyper, som man normalt arbejder med: bølge-, tidevands- og fluvialdominerede deltaer (Løseth and Helland-Hansen 2001). Bølgedominerede deltaer er karakteriseret ved at kile ud over meget kort afstand (ca 2 km) og have transverse sandbarrer. Tidevandsdo-minerede deltaer kiler ud over meget længere afstand (ca. 10 km eller mere) og har longi-tudinale sandbarrer. Fluvialdominerede deltaer kiler også ud over længere afstand (mere end 3 km) og er karakteriseret ved at have sandrige mundingsbarrer foran deltafronten og endvidere være domineret af kanal-associerede facies. Seismiske data fra Billund (Fig. 29 og 30) indikerer at hoved-deltaloben her kiler ud over 2 km, hvilket er i overensstemmelse med et bølgedomineret delta (Løseth and Helland-Hansen 2001). Sedimentologiske studier af de oddekomplekser i Østjylland, som er associeret med deltaet, viser at sedimenterne overvejende er aflejret i forbindelse med storme (Rasmussen et al. 2002). Der er erkendt tidevandsaflejring (Friis et al. 1998; Rasmussen et al. 2002), men disse er underordnede.

Ved at sammenstille forskellige dataset, seismiske data, boringer, samt undersøgelser af blotninger, kan der fremstilles en sedimentologisk model af deltakomplekset (Fig. 34). Billund deltaet byggede ud fra nord mod syd i Tidlig Miocæn og dækkede det, der i dag svarer til det centrale og vestlige Jylland. Under udbygningen af Billund deltaet blev der aflejret meget tykke sandenheder i det centrale Jylland. Her dominerede grovkornede fluviale og deltalobe sedimenter. Mod øst (øst for Brandegraven) aflejredes mere finkornede sedi-menter (fin- til mellemkornet sand) i oddekomplekser og tidevandsrender. Nordøst for odde- og barrierekomplekserne aflejredes lerede og siltede, ofte organiskrige sedimenter i laguner og mod sydvest sandede til lerede lag på indre og ydre strandplan.

Billund sandet er lidt ældre end Ribe Formationen i Sønderjylland (Sorgenfrei 1958; Friborg et al. 2002), men om det litostratigrafisk bliver en selvstændig formation eller et led i Ribe Formationen er ikke afklaret endnu.

Konklusion

I nærværende undersøgelse er Billund deltaet søgt kortlagt. Dette delta kan være særdeles sandrigt som det er vist ved boringer omkring Billund og Give, samt i en ældre boring Eg-3 ved Dyrvig, Hoven. Undersøgelser af seismiske data omkring Billund indikerer at sandlag på op til 75 m findes i deltaaflejringerne.

Undersøgelsen af boringer i amtet, både i nærværende rapport og i Rasmussen (2003b), viser at dette delta ikke er anført i ret mange vandforsyningsboringer. Ældre kulbrinteefterforskningsboringer (Eg-3 og Mejrup-1, Holstebro), samt den stratigrafiske boring ved Sdr. Vium, viser at Billund deltaet og Ribe Formationen kan være sandrige også i Ringkøbing Amt.

Undersøgelsen viser at Bastrup sandet er udbredt i det meste af amtet, men mangler i den vestligste del. Udfra seismiske data er der kortlagt et større delta kompleks nord for Ørnhøj, der tilhører Bastrup sandet. Dette sand ligger dybere end Odderup Formationen, der normalt bruges som grundvandsmagasin i området.

Der mangler en del stratigrafiske boringer i amtet før at der kan opstilles en solid geologisk model til brug for fremtidig planlægning af grundvandsforsyningen i amtet og til udpegning af sårbarhedsområder. De mest påtrængende borelokaliteter for stratigrafiske boringer er Holstebro og Ørnhøj. Billund deltaet er formodentligt veludviklet omkring Hoven og bør testes ved en stratigrafisk boring, men denne boring må placeres efter at der er lavet seismiske undersøgelser i området. Disse seismiske linier bør være skudt som nord – syd gående linier.

Referencer

- Danielsen, M., Michelsen, O. & Clausen, O.R. 1995: Oligocene sequence stratigraphy and basin development in the Danish North Sea sector based on log interpretations. EFP-92-project: Basin development of the Tertiary of the Central Trough with emphasis on possible hydrocarbon reservoirs., 26pp.
- Dybkjær, K., Piasecki, S. og Rasmussen 1999: Dinoflagellat-zonering og sekvensstratigrafi i den miocæne lagpakke i Midt- og Sønderjylland, 33pp, GEUS rapport 1999/
- Dybkjær, K. og Rasmussen, E.S. 2001: Oligocæn – Miocæn dinoflagellat-stratigrafi i Vorbasse-boringen, Ribe Amt. 28 pp. GEUS rapport 2001/120.
- Dybkjær, K., Rasmussen, E.S. og Piasecki, S., 2003: Stratigrafi i borerne: Fromsseier, Bække, Estrup og Føvling, Ribe Amt. Danmarks og Grønlands geologiske Undersøgelse Rapport 2003/95.
- Friberg, R., Kirsch, R., Scheer, W., Stoepker, K. & Thomsen, S. 2002. Grundvand til Sønderjylland og Schleswig. Landesamt für Natur und Umwelt des Landes Schleswig-Holstein, 93 pp. Laursen Gragisk, Tønder
- Friis, H., Mikkelsen, J. & Sandersen, P. 1998: Depositional environment of the Vejle Fjord Formation of the Upper Oligocene - Lower Miocene of Denmark: a barrier island/-barrier-protected depositional complex. *Sedimentary Geology* 117, 221-244.
- Heilmann-Clausen, C. 1995: Palæogene aflejringer over Danskekalken. In: Nielsen, O.B. (ed.): Danmarks geologi fra Kridt til idag. Aarhus Geokompender 1, 69-114.
- Hindsby, K., Harrar, B., Nyegaard, P., Konradi, P., Rasmussen, E.S., Bidstrup, T., Gregersen, U. & Boaretto, E. 1999: The Ribe Formation i SW Jylland, Denmark: Holocene and Pleistocene groundwaters in a coastal Miocene sand aquifer. In: Edmunds & Milne (eds): PALAEAUX - management of coastal aquifers in Europe - Palaeowaters, natural controls and human influence. Final report for the EU project PALAEAUX (ENV4-CT95-0156) British Geological Survey, BGS Technical Report, Hydrogeology Series, WD/99/35, 1999.
- Japsen, P., Bidstrup, T. and Rasmussen, E.S. 2002: Comment on: "Cenozoic evolution of the eastern Danish North Sea" by M. Huuse, H. Lykke-Andersen and O. Michelsen, *Marine Geology* 177, 243-269. *Marine Geology*, 186: 571-575.
- Jordt, H., Faleide, J.L., Bjørlykke, K. & Ibrahim, M.T. 1985: Cenozoic sequence stratigraphy of the central and northern North Sea Basin: tectonic development, sediment distribution and provenance areas. *Marine and Petroleum Geology* 12(8), 845-879.
- Koch, B.E. 1989: Geology of the Søby-Fasterholt area. Geological Survey of Denmark, Serie A 22, 177pp. A 118, 111pp.
- Laursen, G.V. & Kristoffersen, F.N. 1999: Detailed foraminiferal biostratigraphy of Miocene formations in Denmark. *Contr. Tert. Quatern. Geol.* 36(1-4), 73-107.
- Løseth, T.M. and Helland-Hansen, W. 2001: Quantification and evaluation of controls on coastal sandstone pinchout. In: Løseth, T.M. Regressive-to-transgressive shoreline tongues. Dissertation for the degree of Doctor Scientiarum, Bergens Universitet.
- Michelsen, O. 1994: Stratigraphic correlation of the Danish onshore and offshore Tertiary successions based on sequence stratigraphy. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 41, 145-161.
- Noe-Nygaard, N. and Surlyk, F. (1988) Washover fan and brackish bay sedimentation in the Berriasian - Valanginian of Bornholm, Denmark. *Sedimentology*, 35, 197-217.

- Piasecki, S., accepted: Dinoflagellate cysts of the Middle – Upper Miocene Gram Formation, Denmark. In: (eds) F. Roth and K. Hoedemakers. The Gram Formation. Palaeontos vol. 3?, xx-xx.
- Piasecki, S., Dybkjær K. & Rasmussen E. S. 2004: Stratigrafi i Sønder Vium forskningsboring i Ringkøbing Amt (102.948) 1. udkast,
- Prentice, M.L. & Matthews, R.K. 1988: Cenozoic ice-volume history: development of a composite oxygen isotope record. *Geology* 16, 963–966.
- Rasmussen, E.S. 1996: Sequence stratigraphic subdivision of the Oligocene and Miocene succession in South Jutland. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 43, 143-155.
- Rasmussen, E.S. 2003a: Miocæn stratigrafi i den nordøstlige del af Ribe Amt. 48pp GEUS rapport 2003/2
- Rasmussen, E.S. 2003b: Regeologisk kortlægning af miocæne grundvandsmagasiner i Ringkøbing Amt. 38 pp GEUS 2003/1.
- Rasmussen, E.S. 2003c: Korrelation af miocæne grundvandsmagasiner i Vejle Amt med speciel fokus på Give – Brædstrup området. 34 pp GEUS rapport 2003/3
- Rasmussen, E.S., Dybkjær, K. and Piasecki, S. 2004 (in press): Billund delta: a new giant aquifer in central and western Jylland. ROSA, GEUS.
- Rasmussen, E.S. and Dybkjær, K. 1999: Excursion: Upper Oligocene – Lower Miocene storm and tidal dominated deposits at Lillebælt and Vejle Fjord, Denmark. 76 pp., GEUS rapport 1999/52.
- Rasmussen, E.S., Dybkjær, K., and Piasecki, S. 2002: Miocene depositional systems of the eastern North Sea Basin, Denmark. Development of sedimentological and stratigraphical principles in modern sedimentology. 131pp, GEUS rapport 2002/89.
- Sorgenfrei T. 1958: Molluscan assemblages from the marine Middle Miocene of South Jylland and their environments. *Geological Survey of Denmark, Serie II* 79, 166–171.
- Vejbæk, O. 1992: Geodynamic modelling of the Danish Central Trough. In: Larsen, R.M. et al. (eds): *Structural and tectonic modelling and its application to petroleum geology*, 1-17. Amsterdam, Elsevier: Norwegian Petroleum Society.
- Ziegler, P.A. 1982: *Geological atlas of Western and Central Europe.*, 130pp. Amsterdam: Elsevier.

Figurtekst

Fig. 1: Palæogeografisk rekonstruktion af den miocæne Nordsø. Fra Rasmussen (in press).

Fig. 2: Palæogeografisk rekonstruktion af de miocæne lag i det område af Nordsøbassinet, der er dækket af Danmark.

Fig. 3: Korrelationspanel af boringer fra Sønderjylland og det centrale Jylland. Bemærk at litologiske enheder og sekvenser (A til F) er vist på figuren.

Fig. 4: Revideret litostratigrafi for den øvre oligocæne – miocæne lagserie. Bemærk at i kolonnerne til højre er angivet sekvenser og farvekode på seismiske nøglehorisonter.

Fig. 5: Fordelingen af de miocæne lag i Danmark.

Fig. 6: Kort over boringer, der er korreleret i rapporten.

Fig. 7: Korrelationspanel R4.

Fig. 8: Korrelationspanel R5.

Fig. 9: Kort over seismisk linie i den østlige del af Ringkøbing Amt.

Fig. 10: Kort over shallow-seismiske linier nord for Skjern, samt en multikanal seismisk linie (ADK85-137) nord for Spjald.

Fig. 11: Nord – syd gående seismisk linie GI01. Linien ligger centralt i en af lobeerne i Billund deltaet. Bemærk at et klinofomt reflektionsmønster er angivet med gult på den tolkede sektion (Seismisk data COWI).

Fig. 12: Nordvest – sydøst gående seismisk linie, LM01. Markante interne reflektorer er vist med gult (Seismisk data COWI).

Fig. 13: Øst – vest gående seismisk linie, LM02. Markante interne reflektorer er vist med gult.

Endvidere er det klinoforme reflektionsmønster i den vestligste del af sektionen vist med gult (Seismisk data COWI).

Fig. 14: Nord – syd gående seismisk linie, LM03. Markante interne reflektorer er vist med gult (Seismisk data COWI).

Fig. 15: Multikanal seismisk linie, ADK85-137. Bemærk det klinoforme reflektionsmønster i sekvens C.

Fig. 16: Kort over udbredelsen af klinofomt reflektionsmønster for både Billund sandet og Bastrup sandet. Deltafronten for Bastrup sandet er også angivet.

Fig. 17: Kort over mindre shallow-seismiske data i Ringkøbing Amt.

Fig. 18: Nord – syd gående seismisk linie, Orn1 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 19: Øst - vest gående seismisk linie, Orn2 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 20: Øst - vest gående seismisk linie, Orn3 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 21: Øst - vest gående seismisk linie, Str1 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 22: Øst - vest gående seismisk linie, Str2 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 23: Nord – syd gående seismisk linie, Hol1 (Seismisk data Rambøl).

Fig. 24: Nord – syd gående seismisk linie, KH01 (Seismisk data COWI).

Fig. 25: Øst – Vest gående seismisk linie, KH02 (Seismisk data COWI).

Fig. 26: Kort over seismiske linier anvendt til at illustrere udviklingen af Billund deltaet.

Fig. 27: Seismisk sektion fra Nordsøen (Da96-6), der viser den sydlige del af Billund deltaet. Bemærk de 2 enheder med forskellig seismisk refleksionsmønster: 1) kliniformt refleksionsmønster og 2) sigmiodalt til subparallelt refleksionsmønster. Seismisk data H. Lykke-Andersen.

Fig. 28: Seismisk sektion fra Nordsøen (GR97-12-1), der viser Billund deltaet umiddelbart ud for den jyske vestkyst. Boringerne Vedersø Klit og Fjand er indikeret. Bemærk hvor forstyrret lagpakken er af saltstrukturer. Seismisk data H. Lykke-Andersen.

Fig. 29: Sammensat seismisk sektion (GI03 – BH6 – BH5), der viser et større udsnit af den miocæne lagserie omkring Løvlund i nord til Lindknud i syd. Bemærk hvordan Billund (blå horisont) og Bastrup (gul horisont) deltaerne kiler ud mod syd og at den miocæne lagserie går i dagen og er trunckeret mod nord. Seismisk data COWI.

Fig. 30: Sammensat seismisk sektion (GI01 – BH7 – BH8), som viser udviklingen af den miocæne lagpakke fra Brande i nord til nær Vorbasse i syd. Bemærk hvor tydeligt man kan se at Billund deltaet bygger ud fra nord mod syd og hvor hurtigt deltaet kiler ud syd for Billund boringen.

Fig. 31: Seismisk facies kort, der viser udbredelsen af kliniformt refleksionsmønster i Billund deltaet og den sydligste udbredelse af Billund deltaet. Bemærk at den lokale lobe ved Billund er begrænset til Brandegraven.

Fig. 32: A) Tykkelseskort over Billund deltaet. De meget mægtige lag i den vestlige del af Jylland og i Nordsøen skyldes større vanddybder under aflejring. B) Tykkelseskort med udbredelsen af et klinofornt reflektionsmønster.

Fig. 33: Sammensat seismisk sektion (GI03 – BH6 – BH5) som er vist i figur 30 og en fladnet udgave af samme seismiske sektion nedenunder. Bemærk at når lagserien bliver kippet tilbage som det var, da de miocæne lag blev aflejret, kan man se at dele af Ringkøbing-Fyn Højderyggen udgjorde et topografisk element. Derfor er Billund deltaet meget tykt i vise områder. Seismisk data COWI.

Fig. 34: Sedimentologisk model af det bølgedominerede Billund delta. Billund deltaet var begrænset til Brandegraven og de dybere dele af Nordsøbassinet mod vest og er her opbygget af store prograderende deltaloer. Mod øst var deltaet opbygget af oddekomplekser med laguner nord for odden og åbent hav syd for odden.

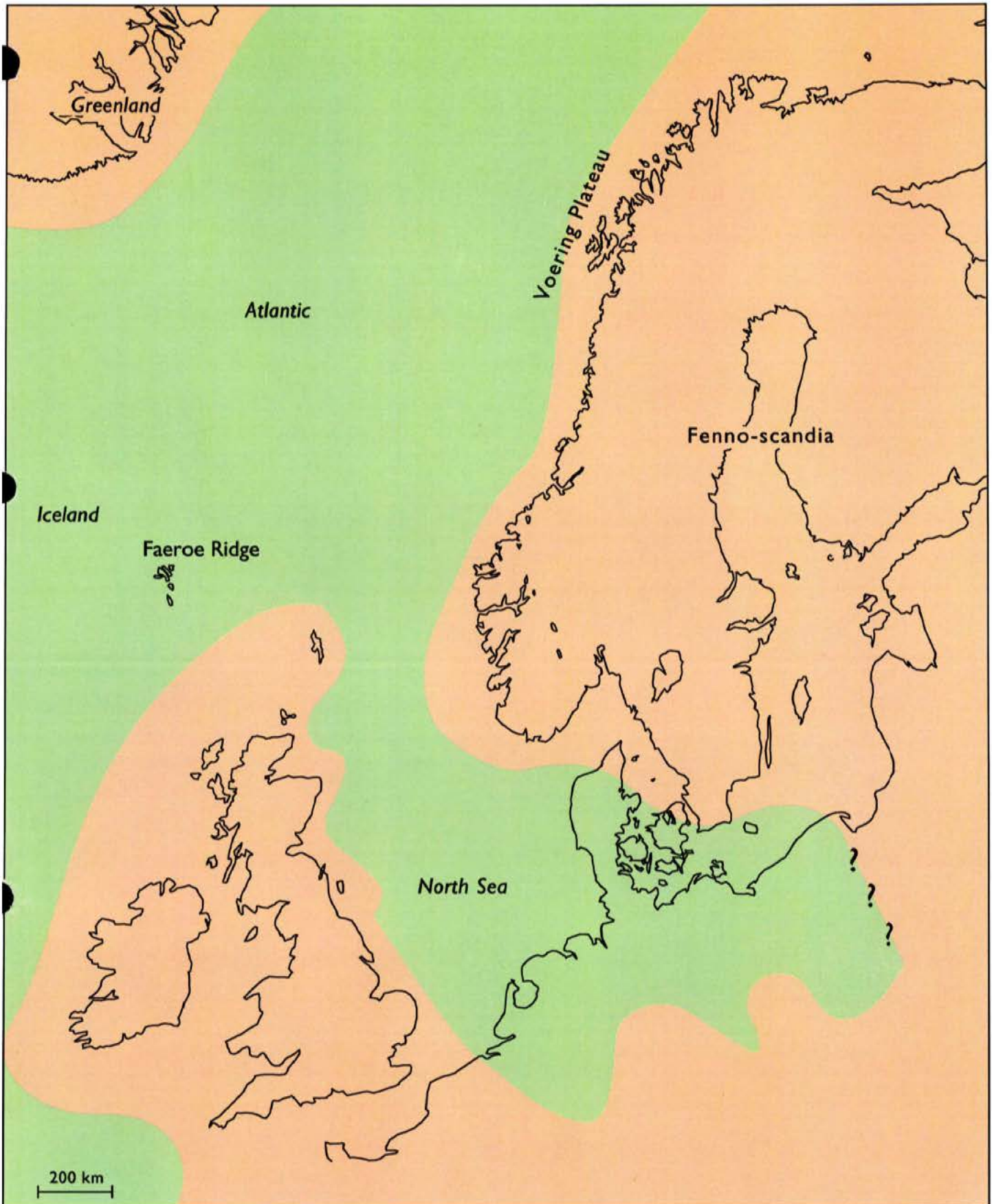


Fig. 1: Palæogeografisk rekonstruktion af den miocæne Nordsø. Fra Rasmussen (in press).

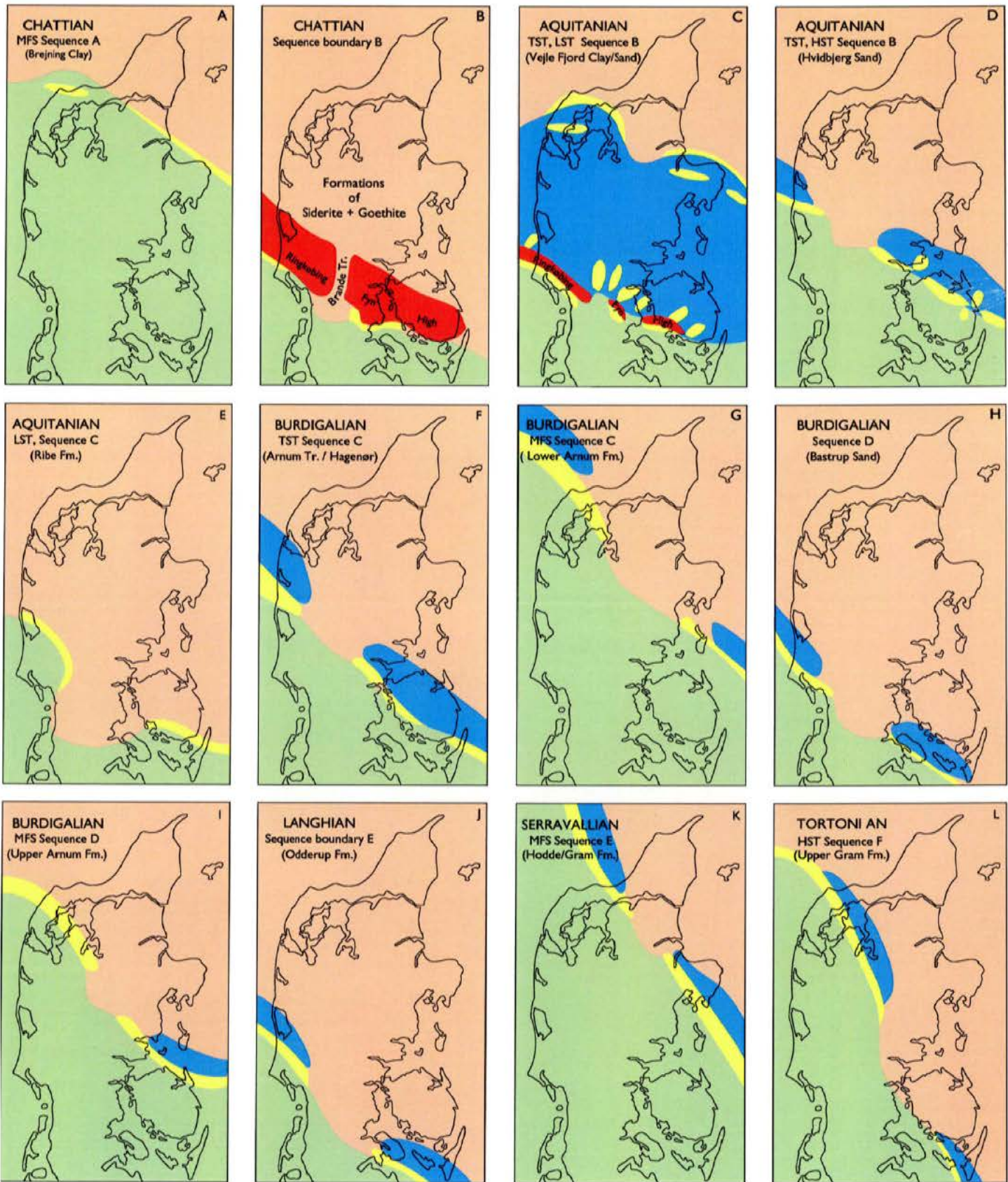


Fig. 2: Palæogeografisk rekonstruktion af de miocæne lag i det område af Nordsøbassinet, der er dækket af Danmark.

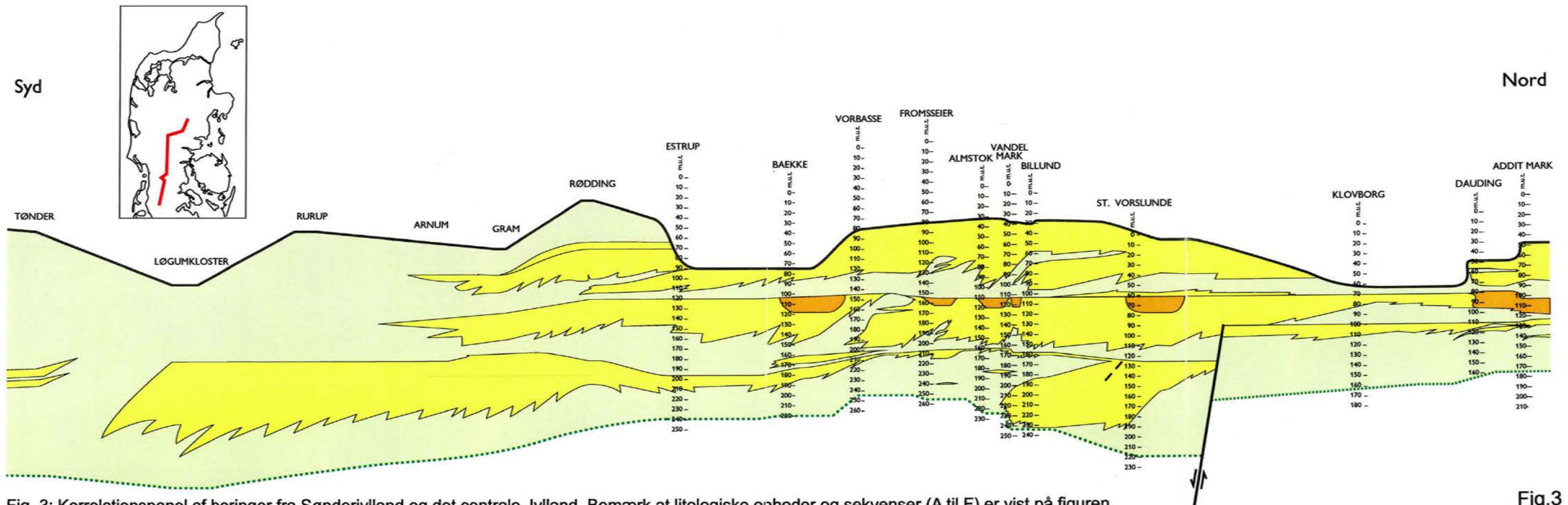
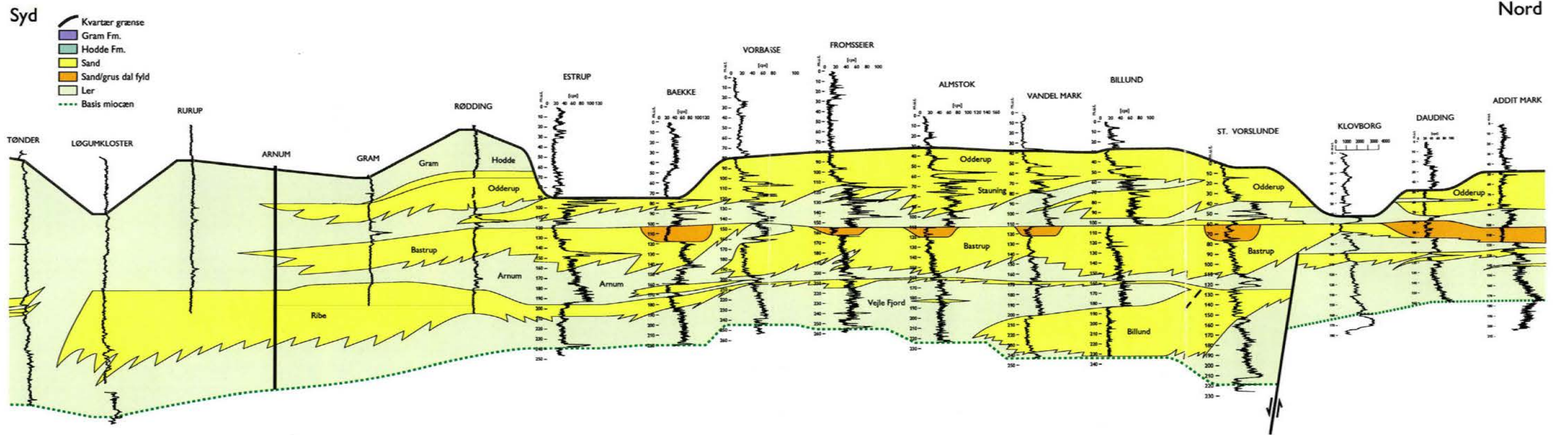


Fig. 3: Korrelationspanel af borer fra Sønderjylland og det centrale Jylland. Bemærk at litologiske enheder og sekvenser (A til F) er vist på figuren.

Fig.3

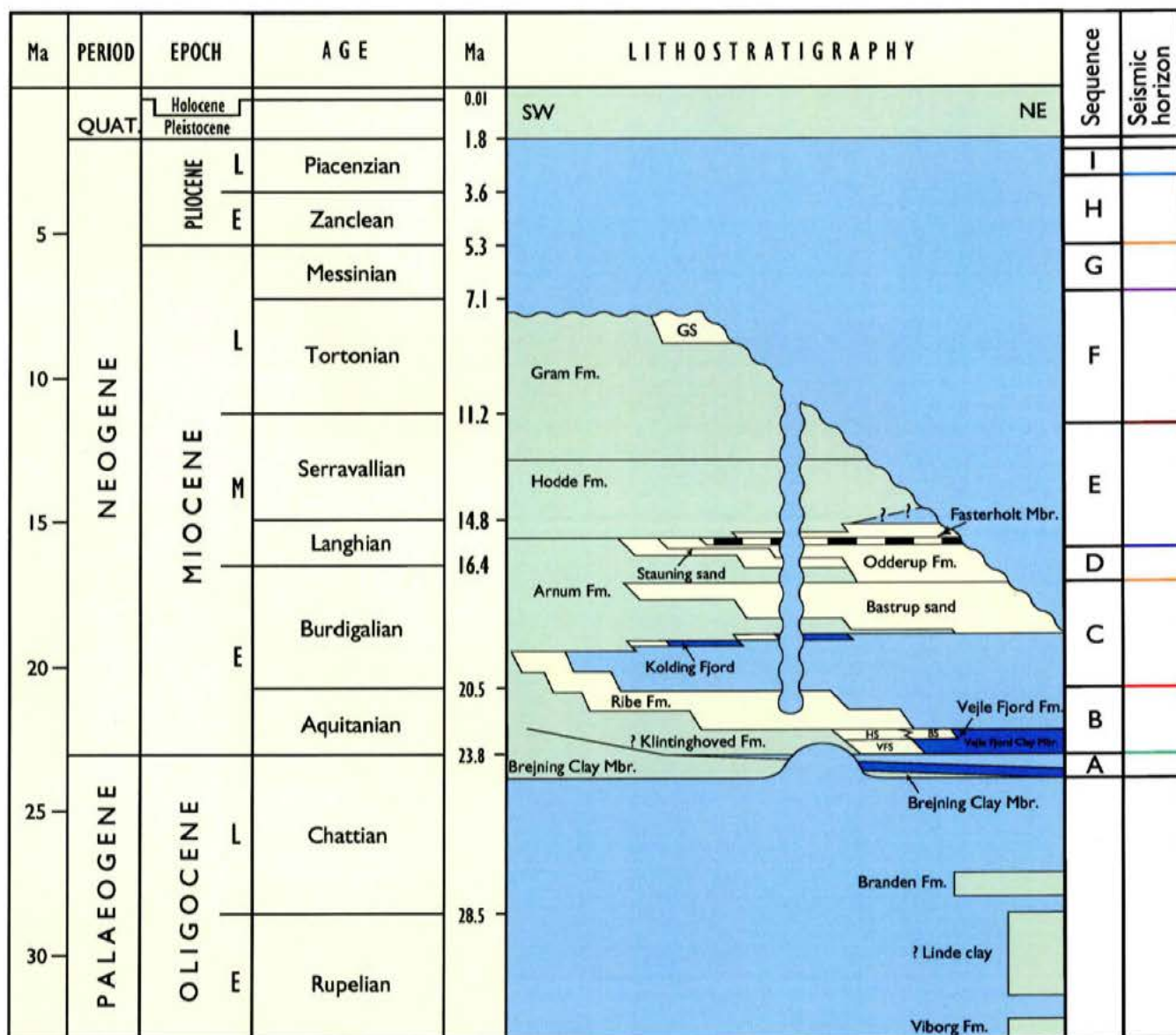


Fig. 4: Revideret litostratigrafi for den øvre oligocæne – miocæne lagserie. Bemærk at i kolonnerne til højre er angivet sekvenser og farvekode på seismiske nøglehorisonter.

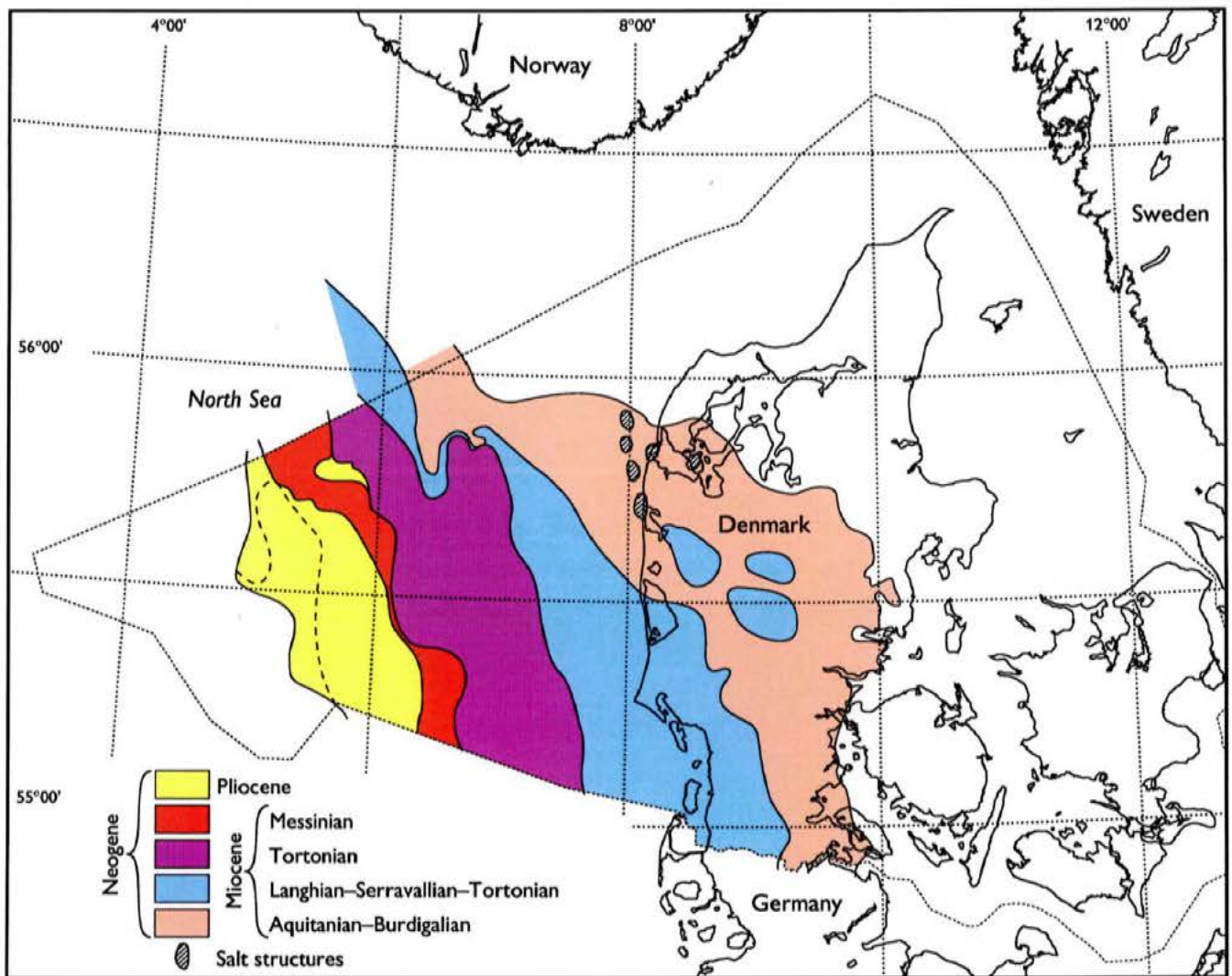


Fig. 5: Fordelingen af de miocæne lag i Danmark.

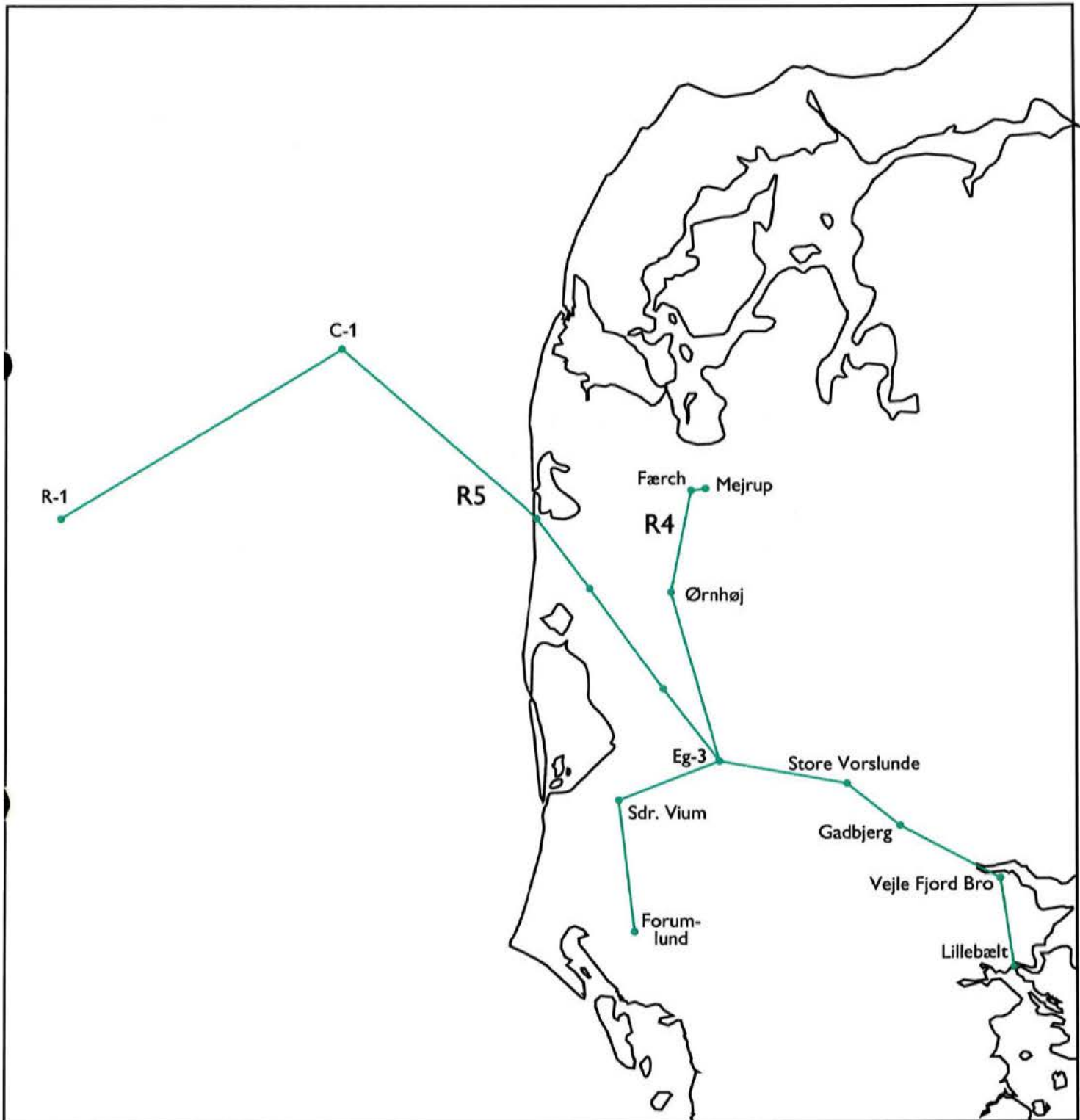


Fig. 6: Kort over boringer, der er korreleret i rapporten.

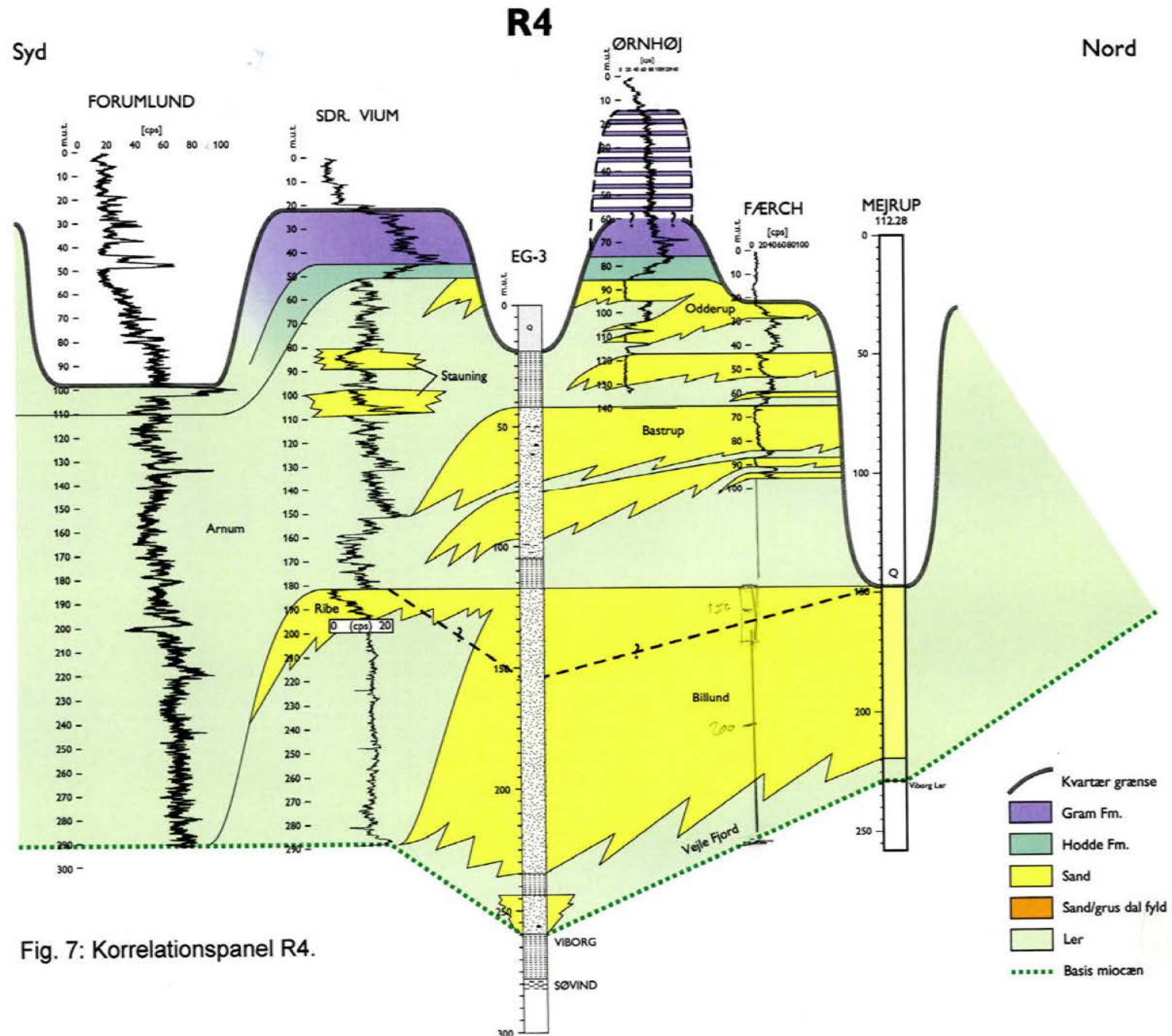


Fig. 7: Korrelationspanel R4.

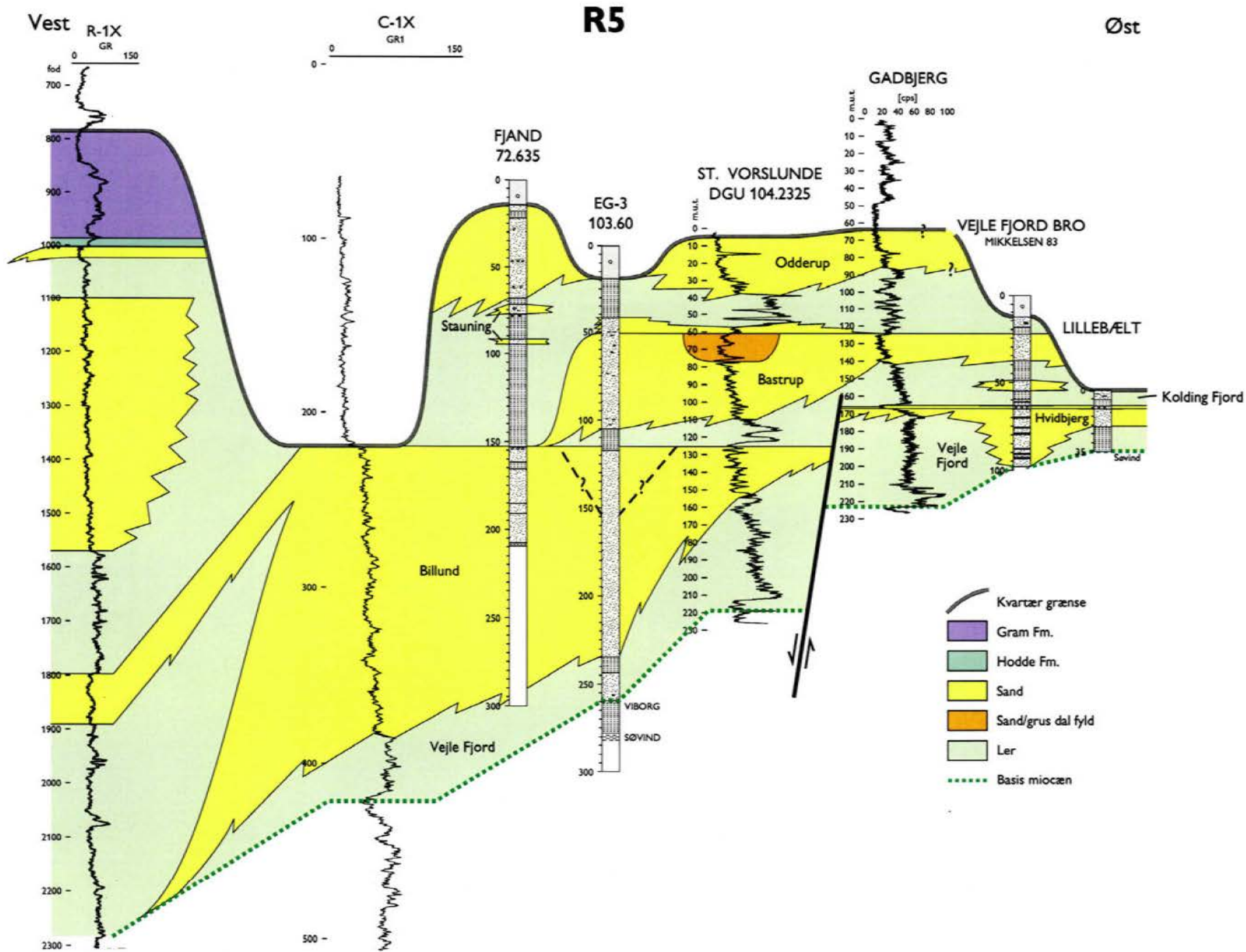


Fig. 8: Korrelationspanel R5.



Fig. 9: Kort over seismisk linie i den østlige del af Ringkøbing Amt.



Fig. 10: Kort over shallow-seismiske linier nord for Skjern, samt en multikanal sesimisk linie (ADK85-137) nord for Spjald.



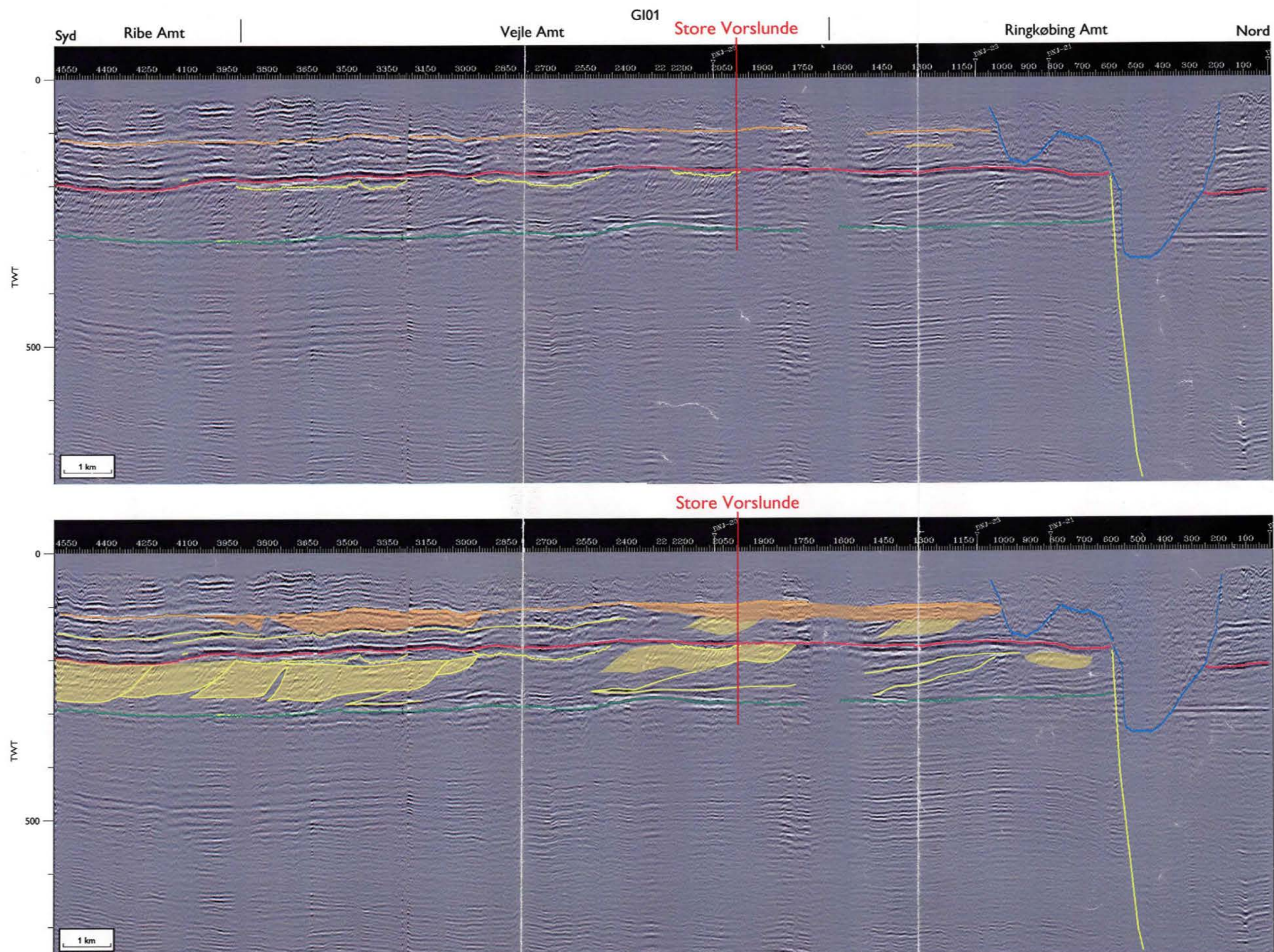


Fig. 11: Nord – syd gående seismisk linie GI01. Linien ligger centralt i en af lobeerne i Billund deltaet. Bemærk at et klinofomt refleksionsmønster er angivet med gult på den tolkede sektion (Seismisk data COWI).

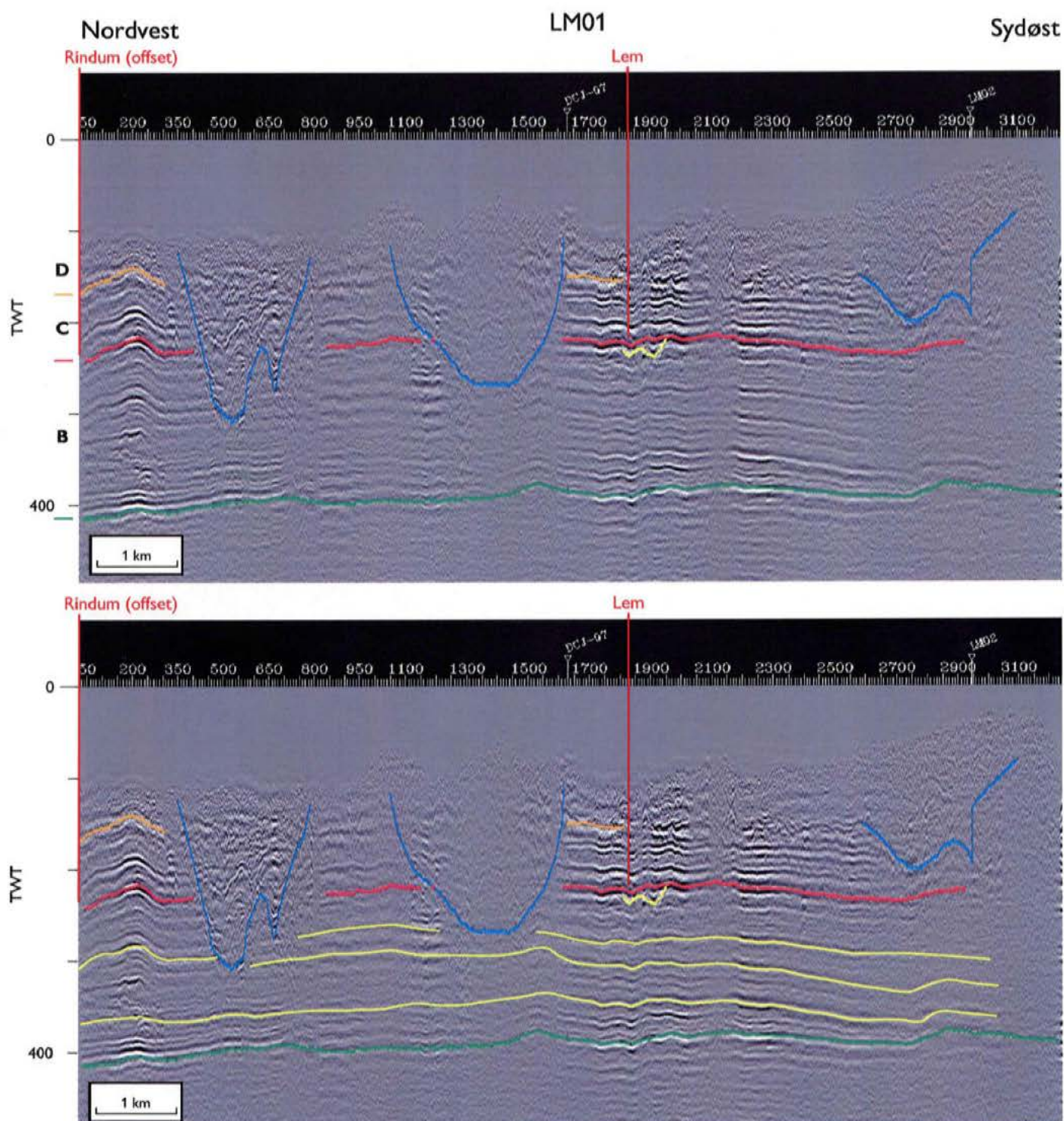


Fig. 12: Nordvest – sydøst gående seismisk linie, LM01. Markante interne reflektorer er vist med gult (Seismisk data COWI).

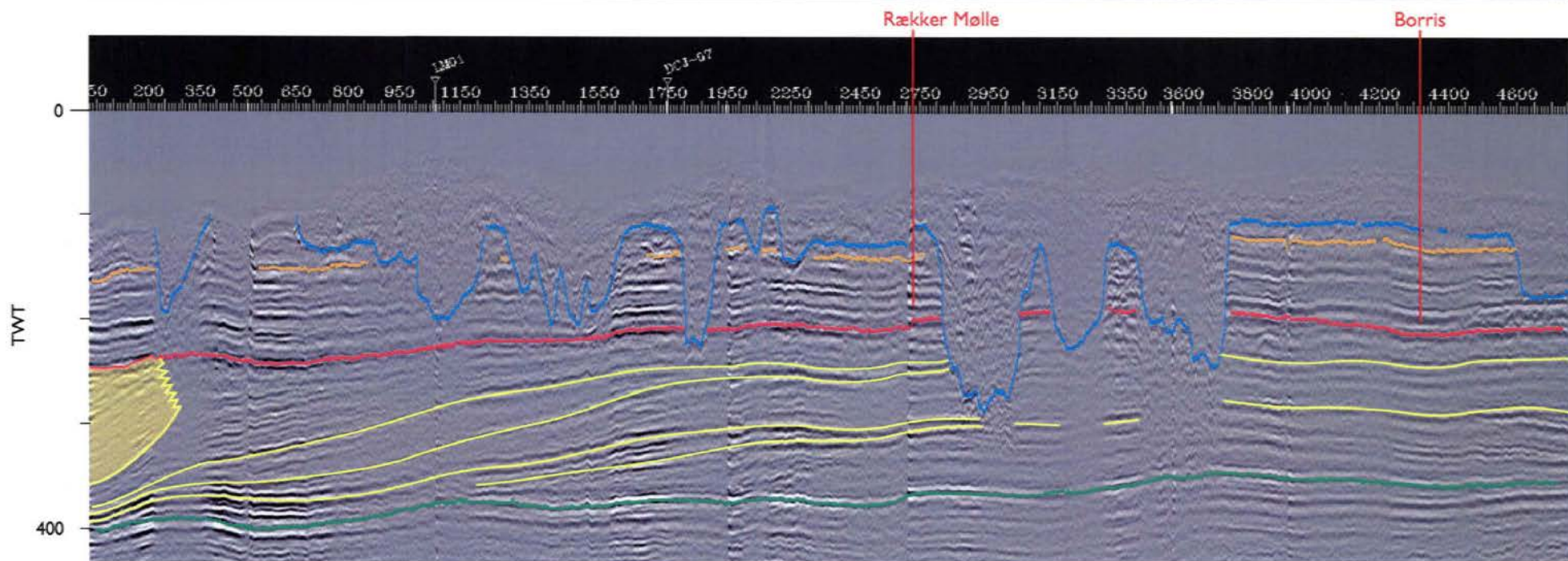
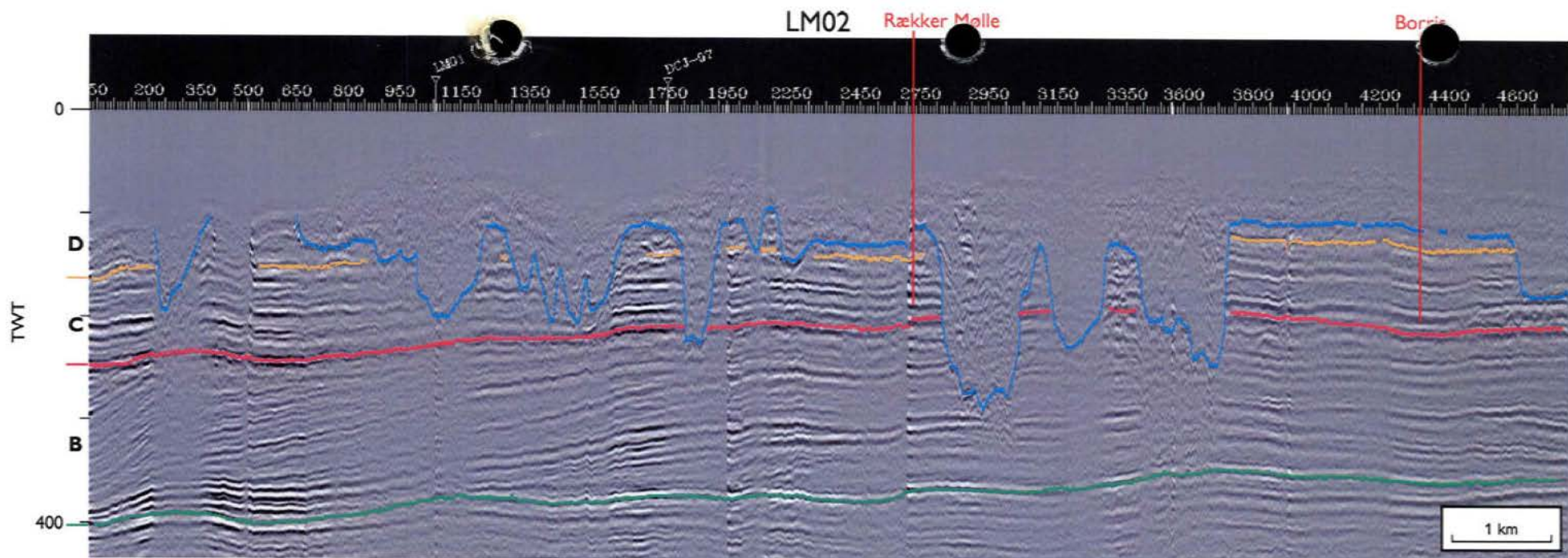


Fig. 13: Øst – vest gående seismisk linie, LM02. Markante interne reflektorer er vist med gult. Endvidere er det kliniforme refleksionsmønster i den vestligste del af sektionen vist med gult (Seismisk data COWI).

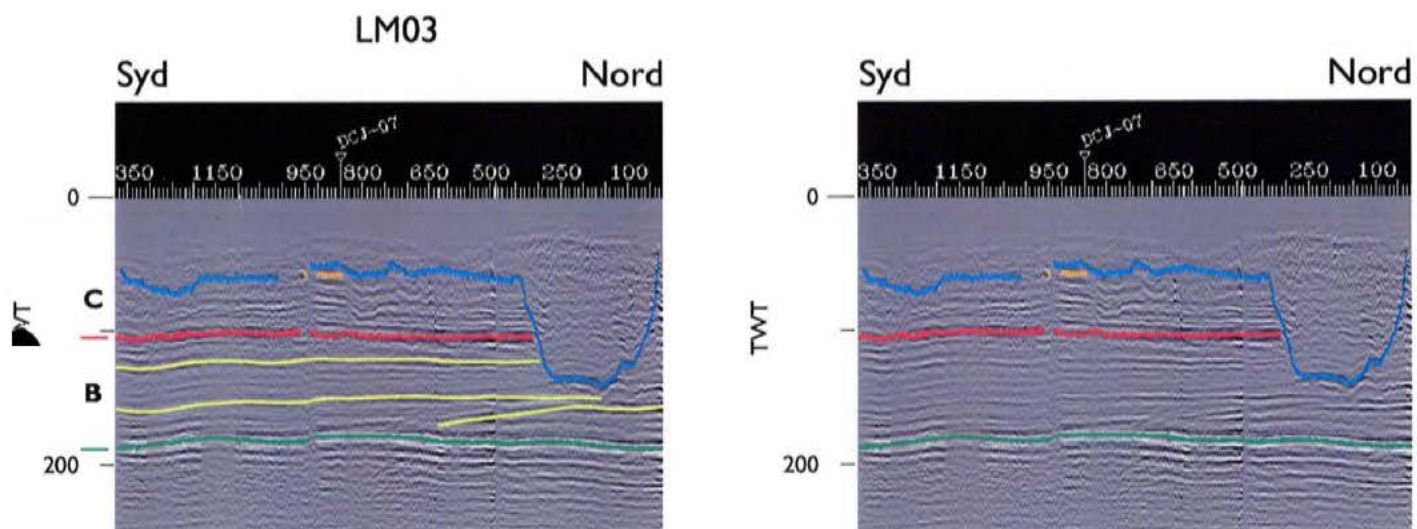


Fig. 14: Nord – syd gående seismisk linie, LM03. Markante interne reflektorer er vist med gult (Seismisk data COWI).

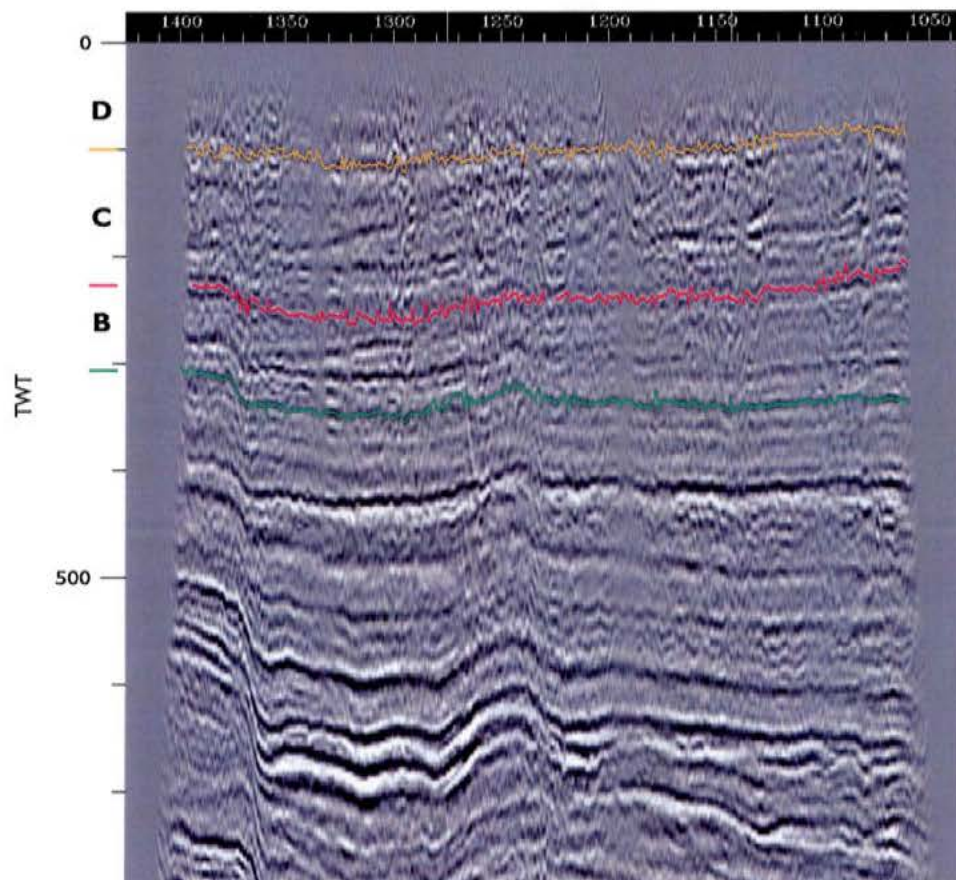


Fig. 15: Multikanal seismisk linie, ADK85-137. Bemærk det klinoforme reflektionsmønster i sekvens C.

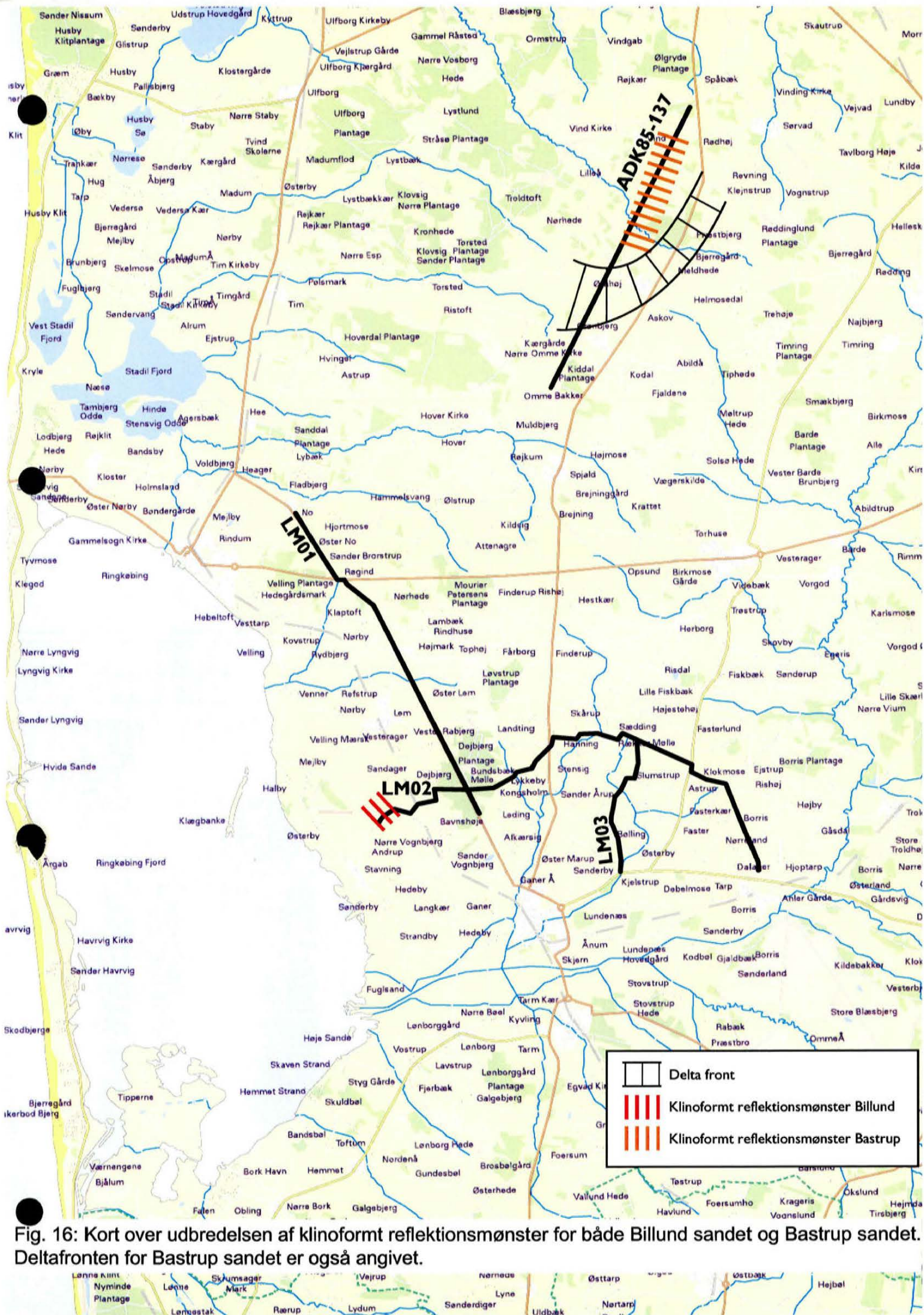


Fig. 16: Kort over udbredelsen af klinoformt refleksionsmønster for både Billund sandet og Bastrup sandet. Deltafronten for Bastrup sandet er også angivet.

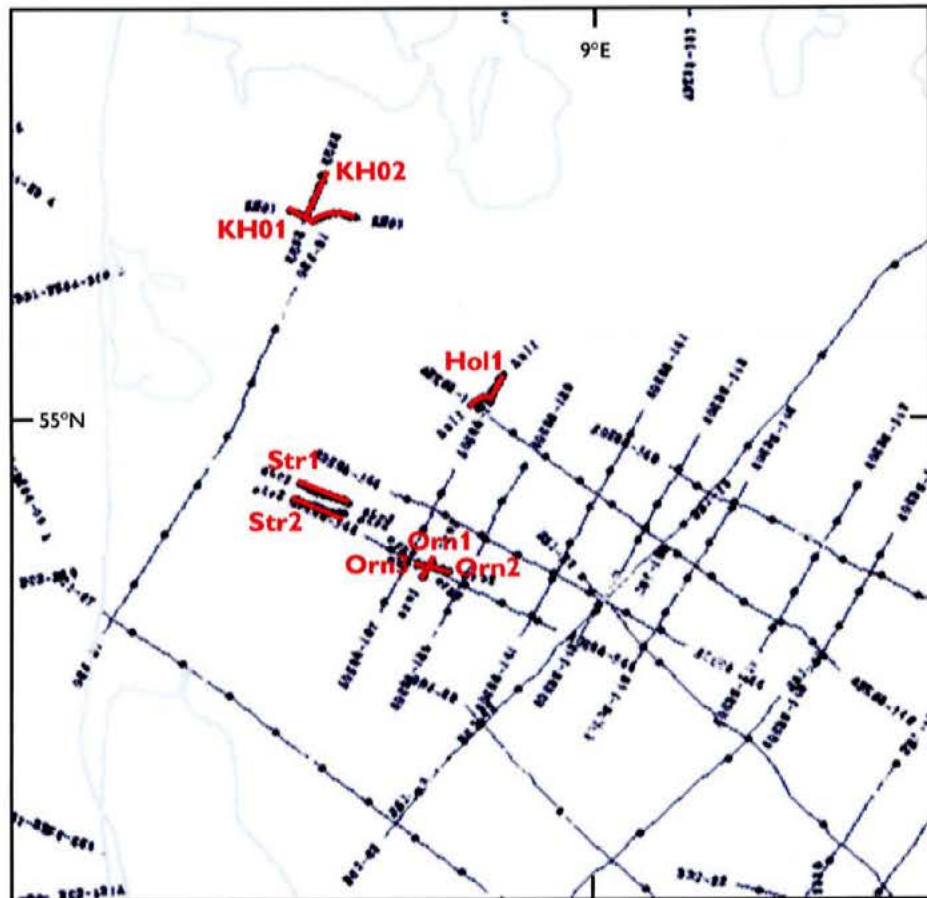


Fig. 17: Kort over mindre shallow-seismiske data i Ringkøbing Amt.

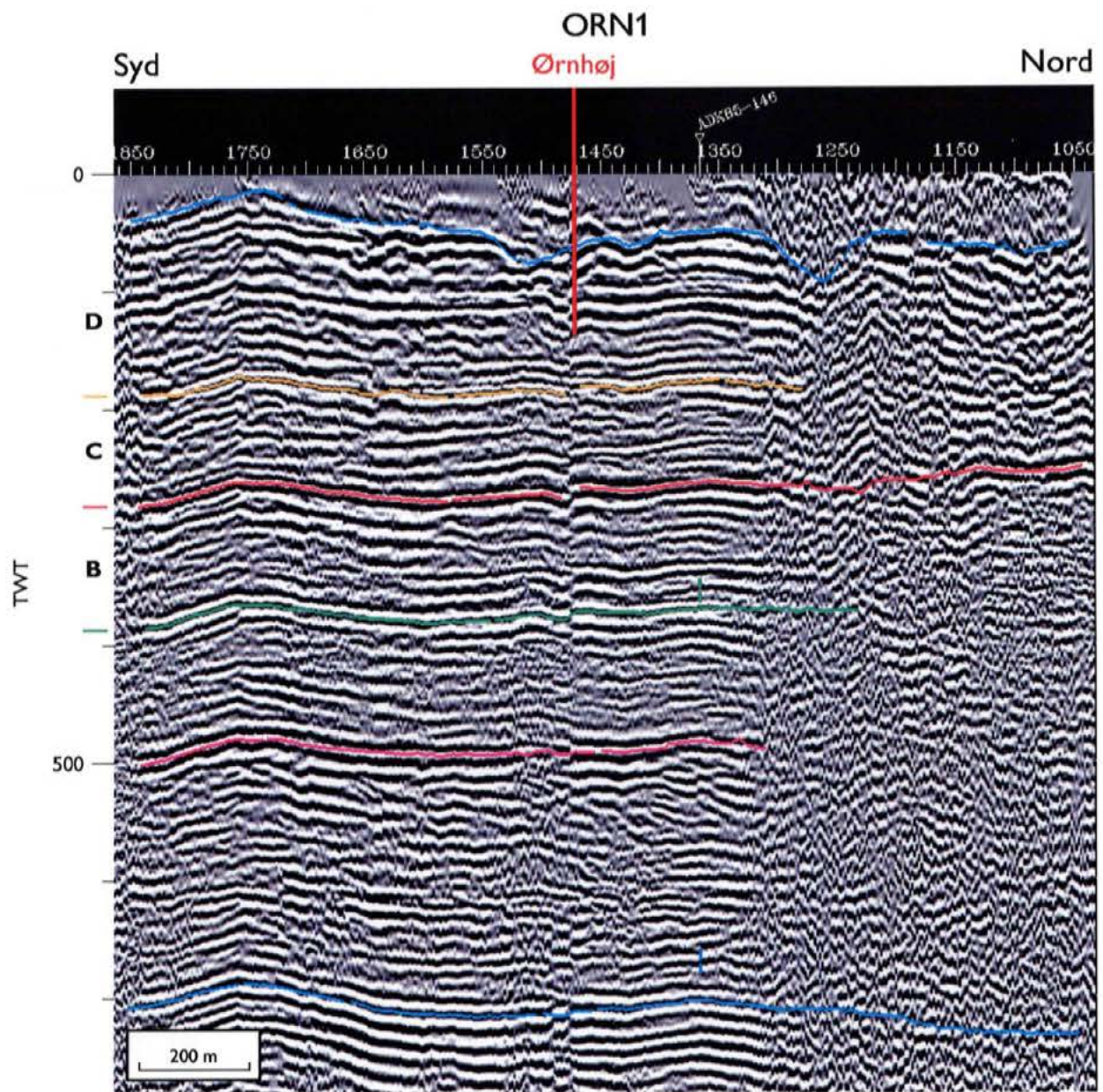


Fig. 18: Nord – syd gående seismisk linie, Orn1 (Seismisk data Rambøl).

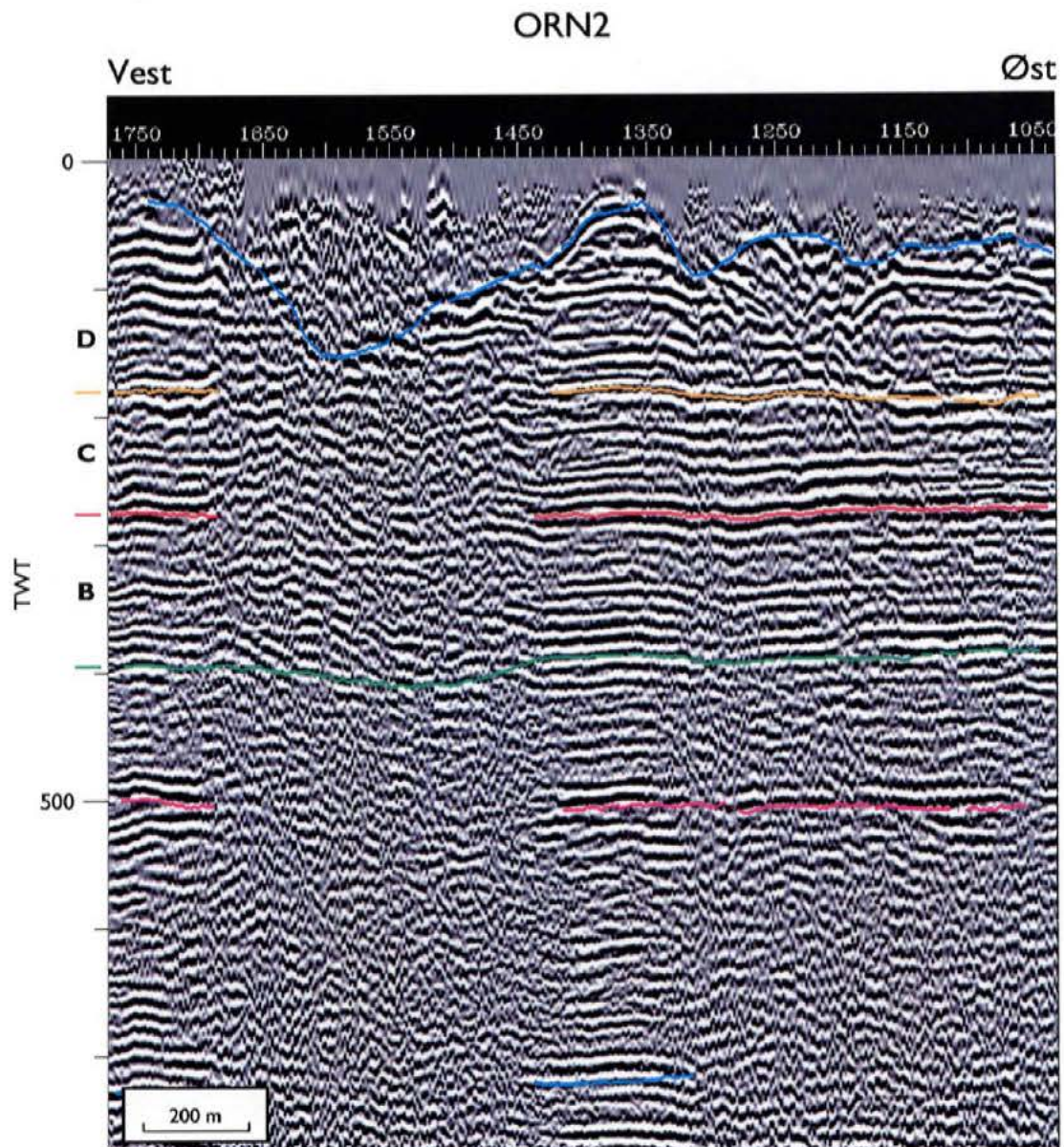


Fig. 19: Øst - vest gående seismisk linie, Orn2 (Seismisk data Rambøl).

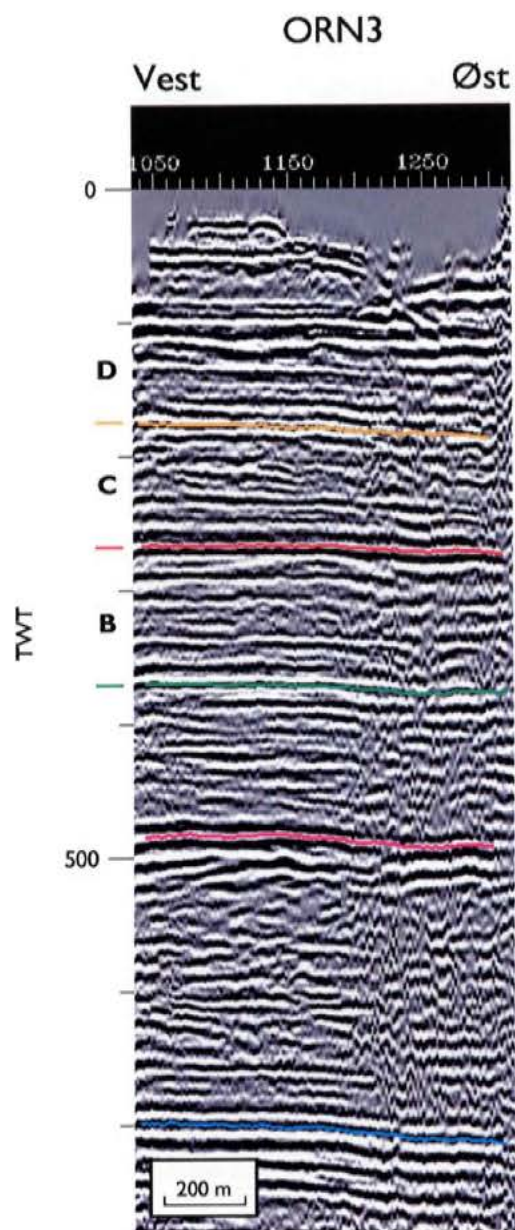


Fig. 20: Øst - vest gående seismisk linie, Orn3 (Seismisk data Rambøl).

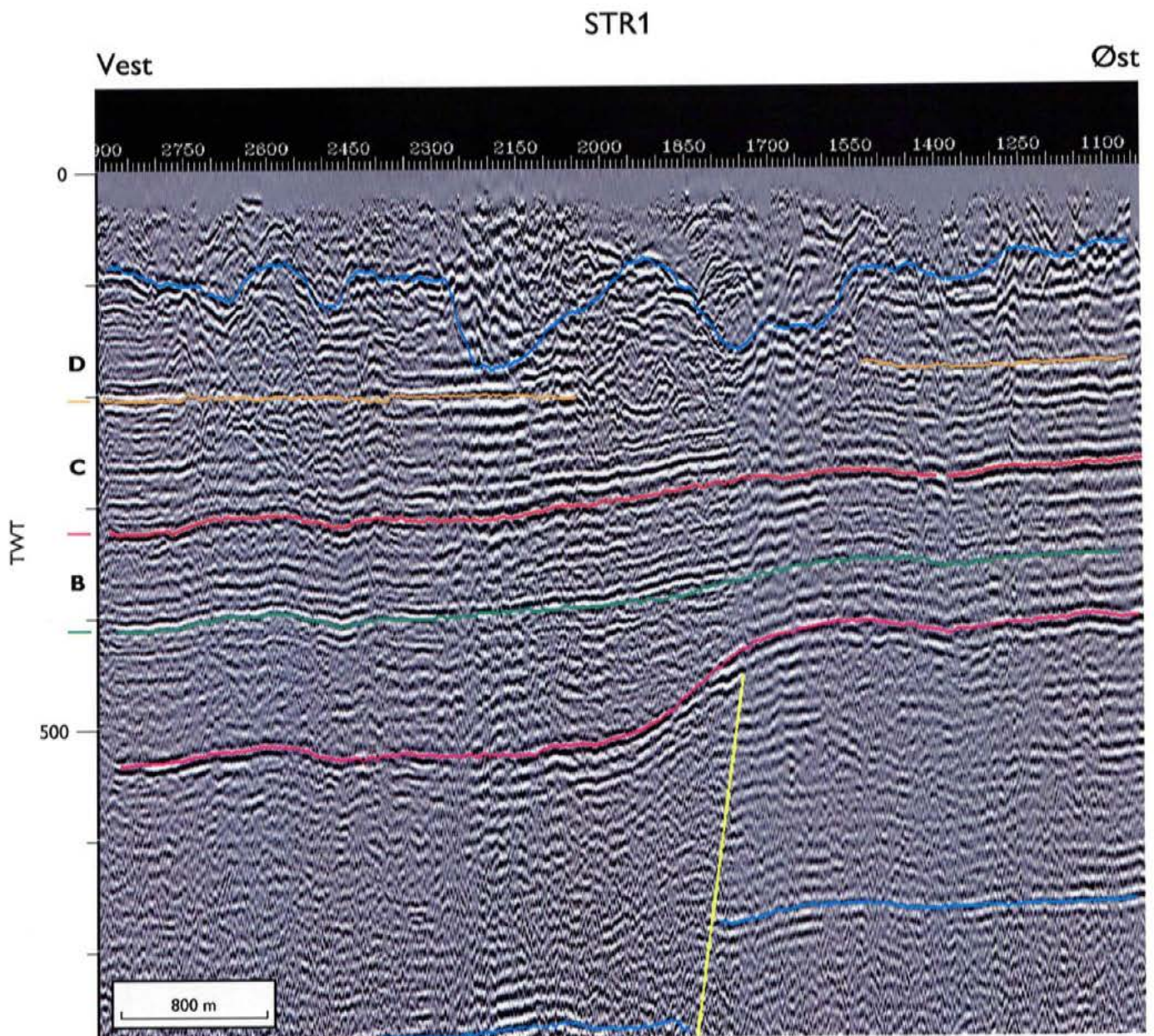


Fig. 21: Øst - vest gående seismisk linie, Str1 (Seismisk data Rambøl).

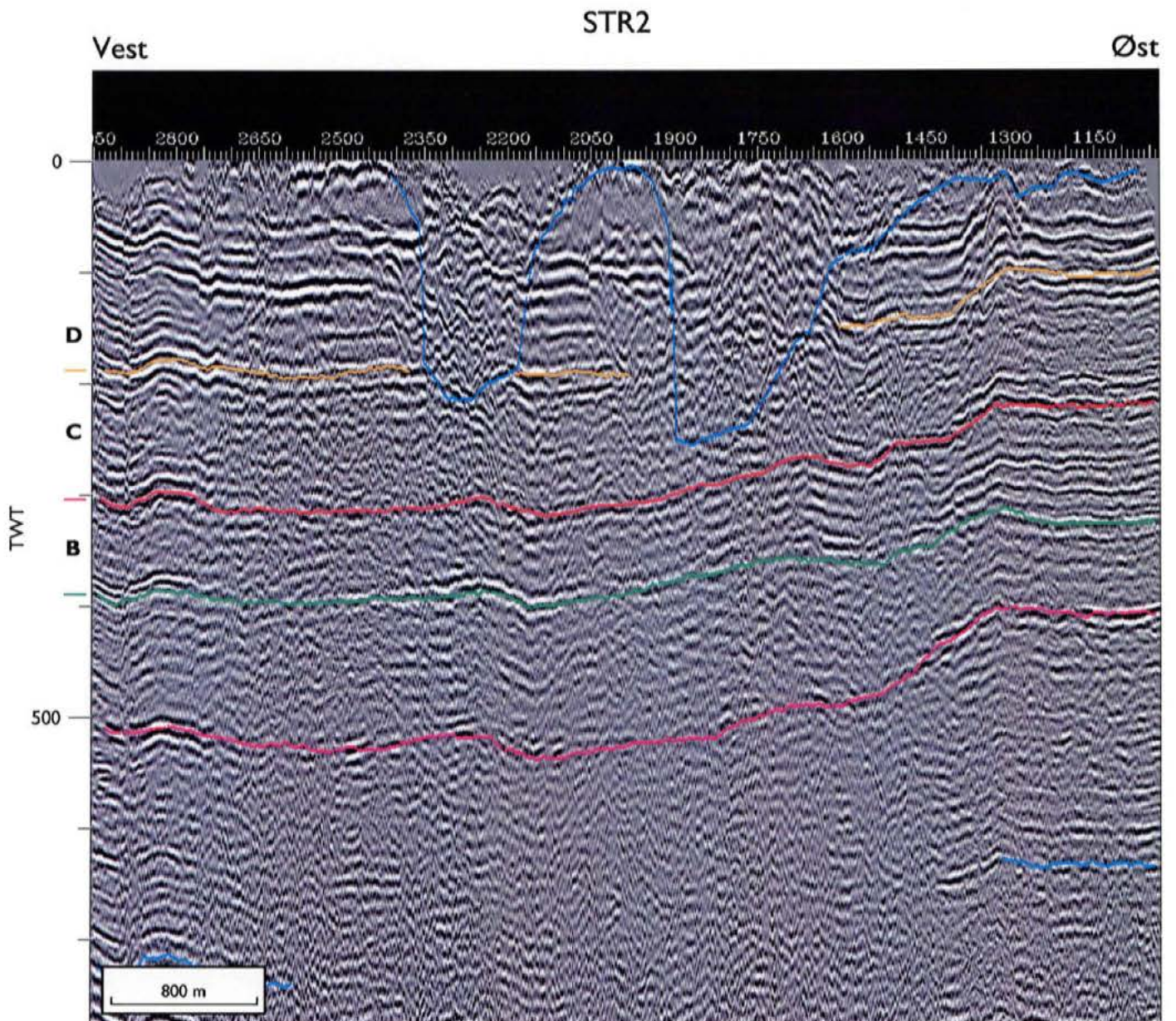


Fig. 22: Øst - vest gående seismisk linie, Str2 (Seismisk data Rambøl).

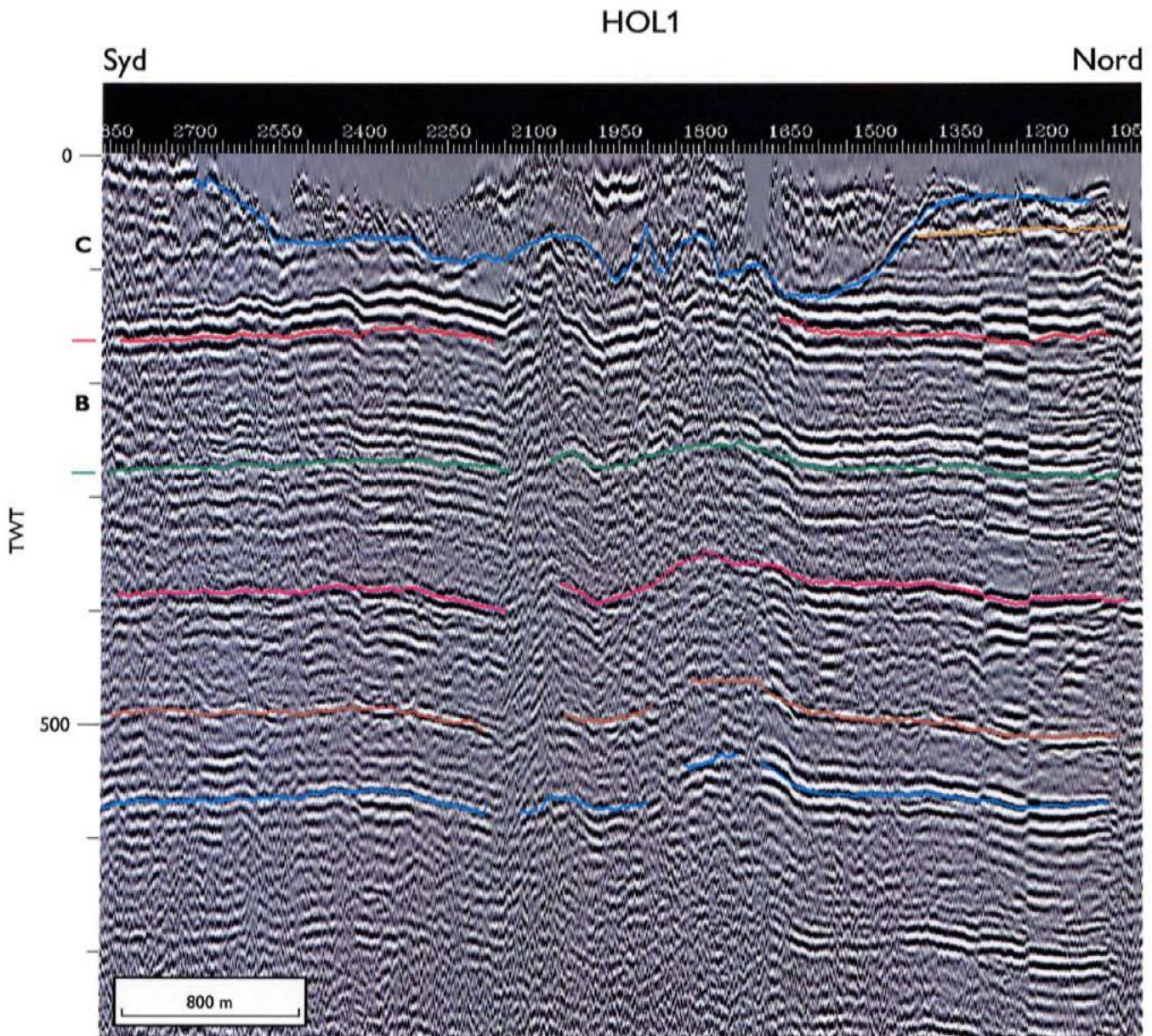


Fig. 23: Nord – syd gående seismisk linie, Hol1 (Seismisk data Rambøl).

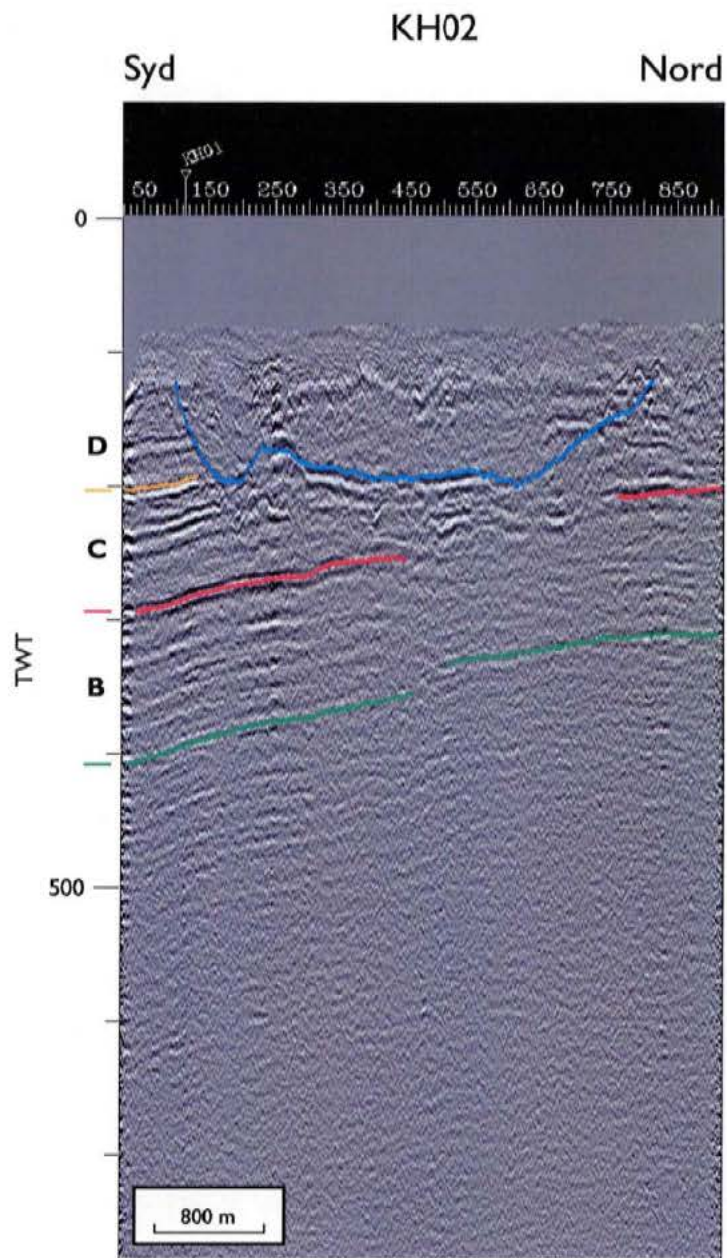


Fig. 24: Nord – syd gående seismisk linie, KH01 (Seismisk data COWI).

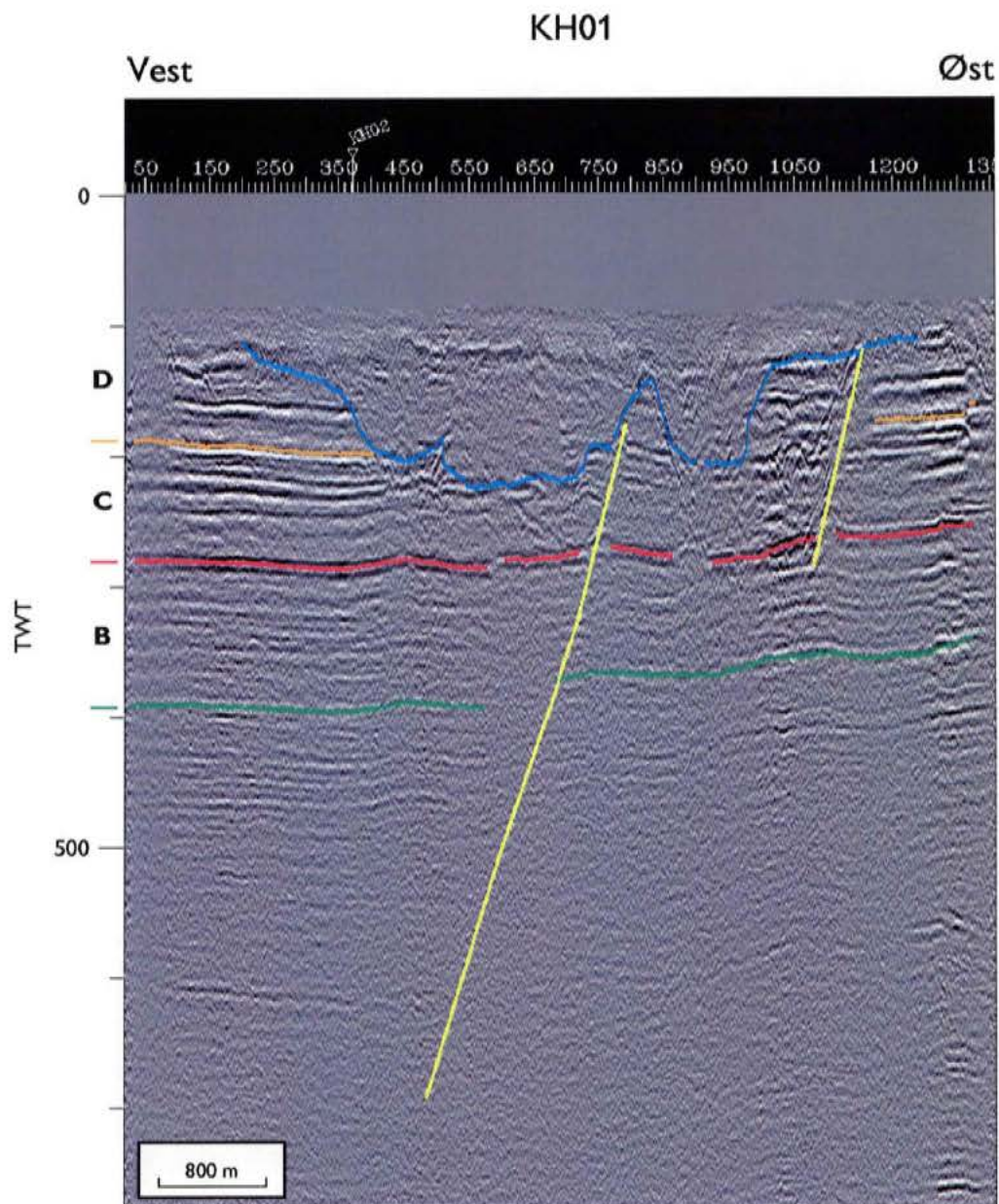


Fig. 25: Øst – Vest gående seismisk linie, KH02 (Seismisk data COWI).

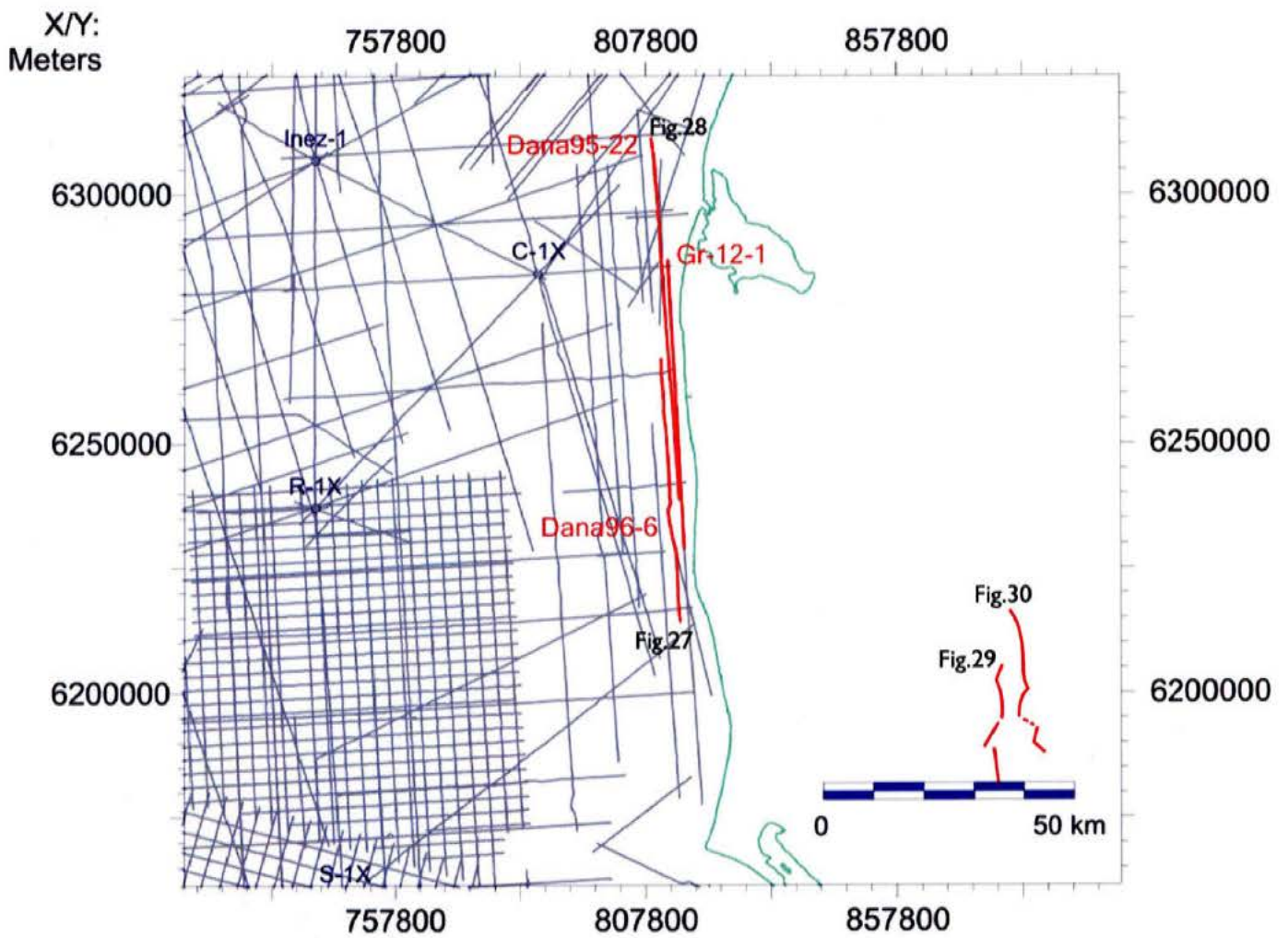
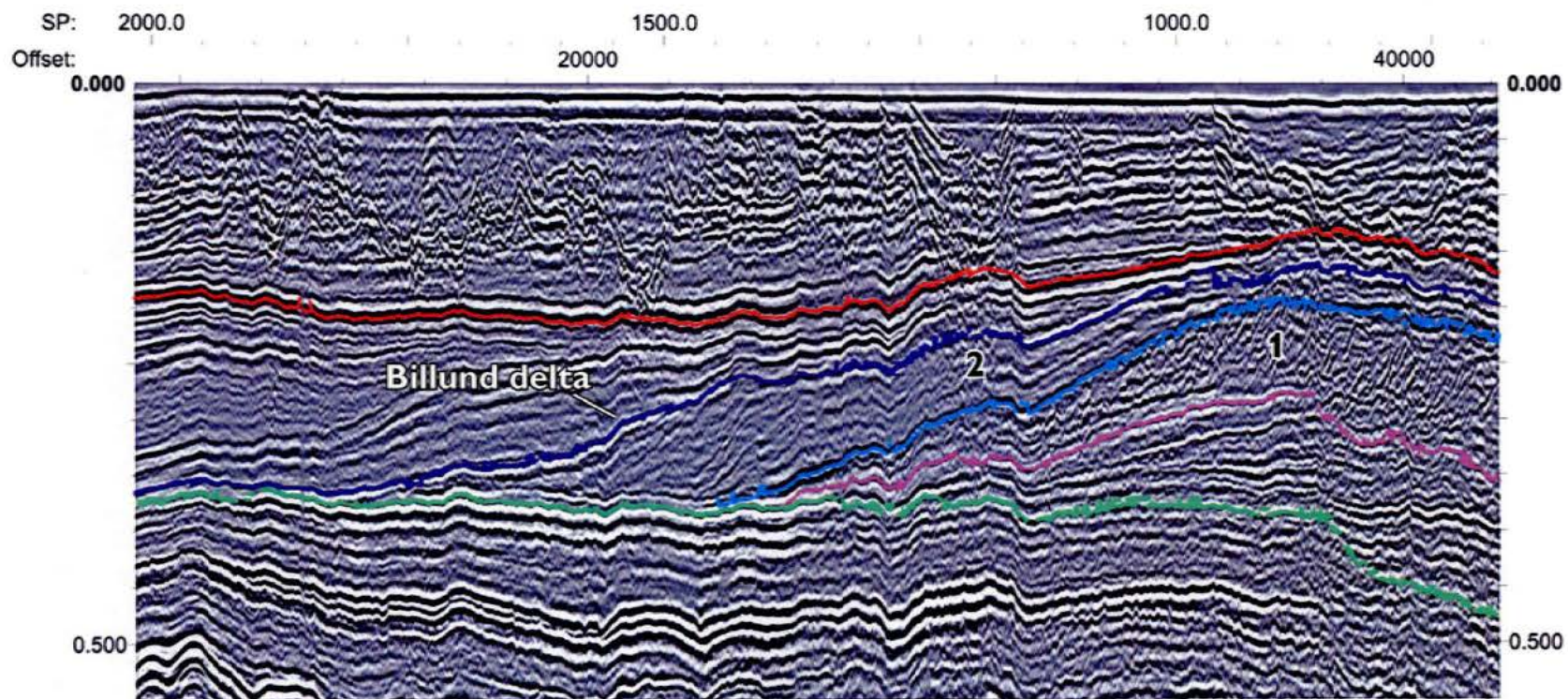


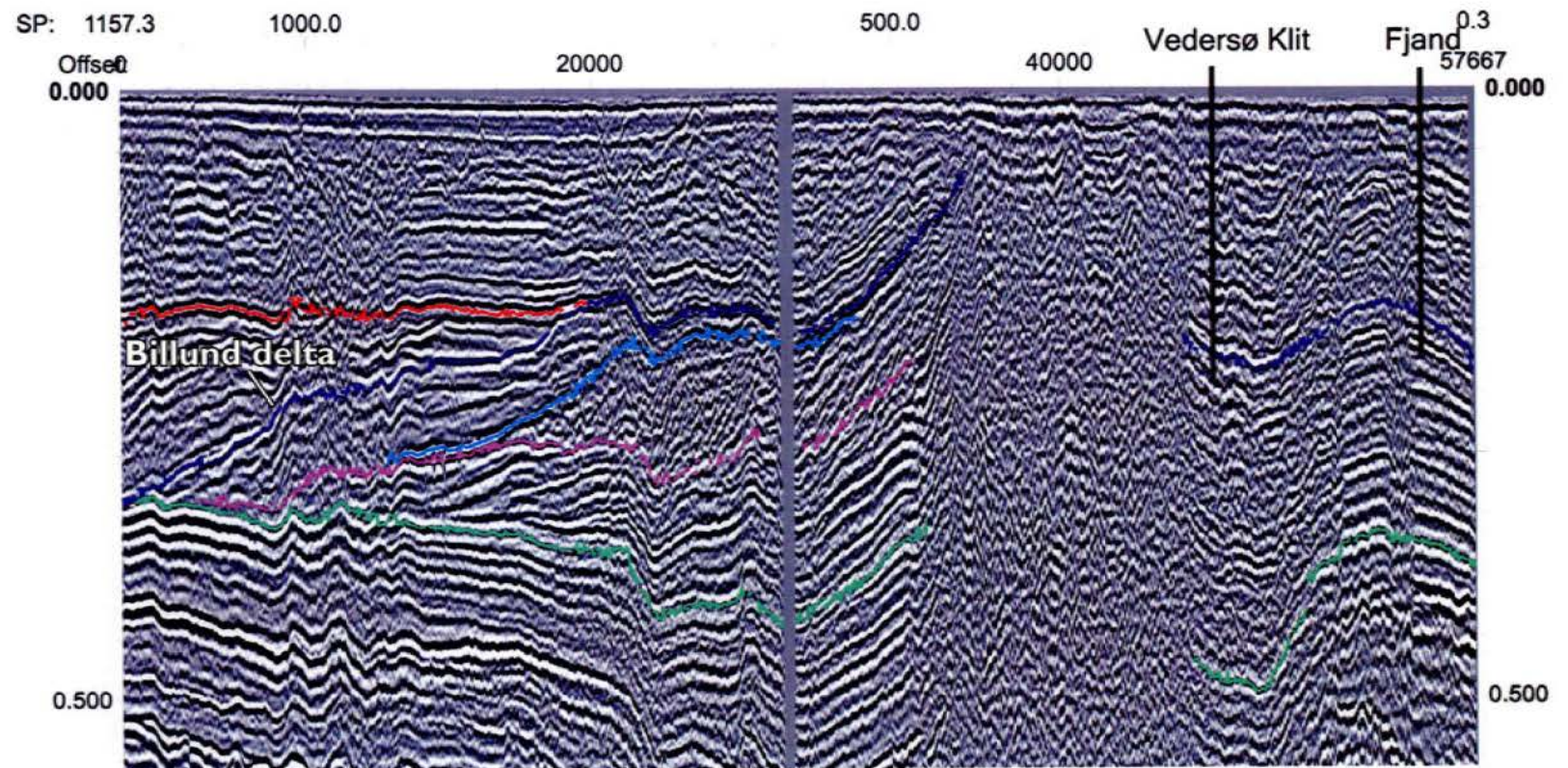
Fig. 26: Kort over seismiske linier anvendt til at illustrere udviklingen af Billund deltaet.



Line Da96-6-Sel, Amplitudes



Fig. 27: Seismisk sektion fra Nordsøen (Da96-6), der viser den sydlige del af Billund deltaet. Bemærk de 2 enheder med forskellig seismisk refleksionsmønster: 1) klinofomt refleksionsmønster og 2) sigmiodalt til subparallelt refleksionsmønster. Seismisk data H. Lykke-Andersen.



Line GR97-12-1, Amplitudes



Fig. 28: Seismisk sektion fra Nordsøen (GR97-12-1), der viser Billund deltaet umiddelbart ud for den jyske vestkyst. Boringerne Vedersø Klit og Fjand er indikeret. Bemærk hvor forstyrret lagpakken er af saltstrukturer. Seismisk data H. Lykke-Andersen.

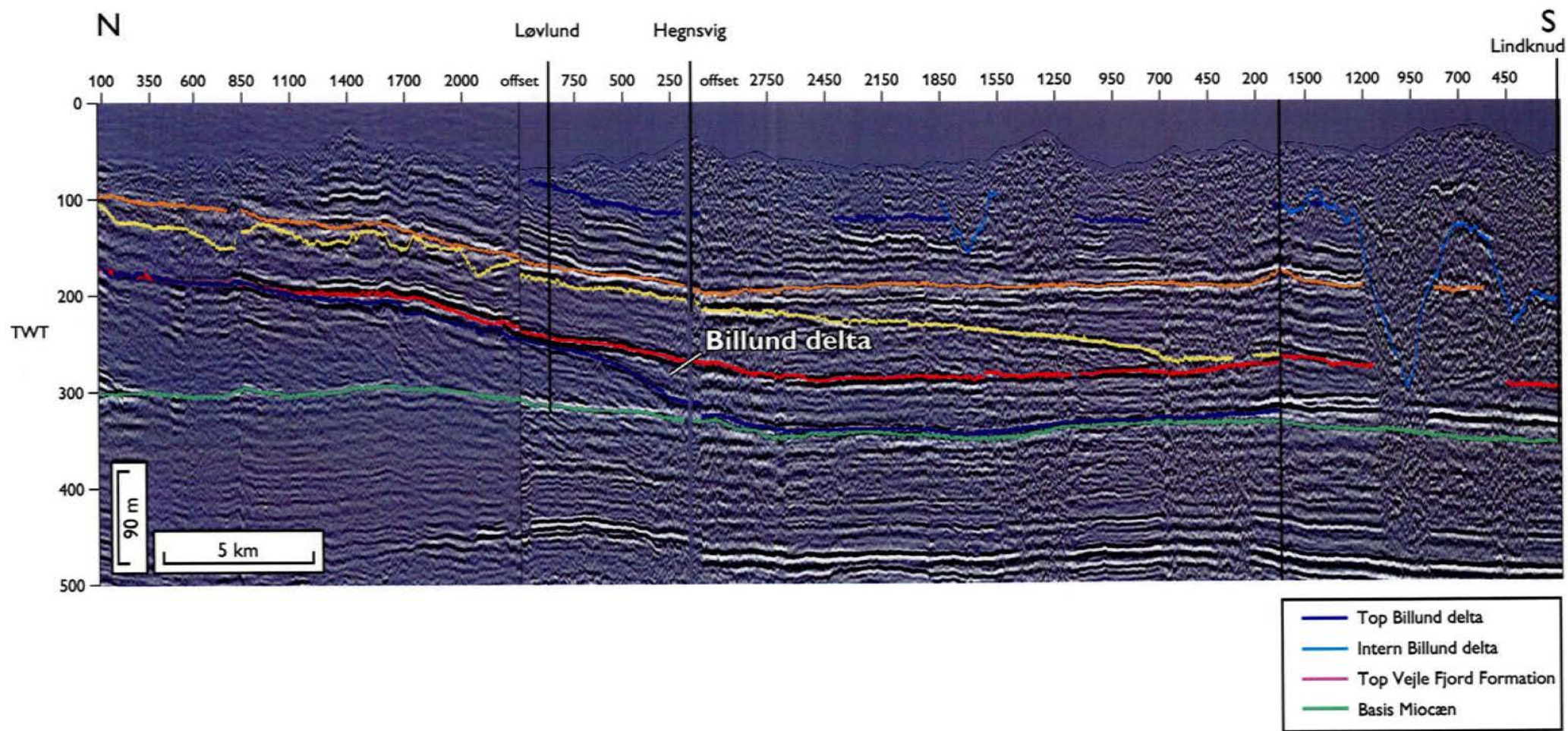


Fig. 29: Sammensat seismisk sektion (GI03 – BH6 – BH5), der viser et større udsnit af den miocæne lagserie omkring Løvlund i nord til Lindknud i syd. Bemærk hvordan Billund (blå horisont) og Bastrup (gul horisont) deltaerne kiler ud mod syd og at den miocæne lagserie går i dagen og er trunkeret mod nord. Seismisk data COWI.

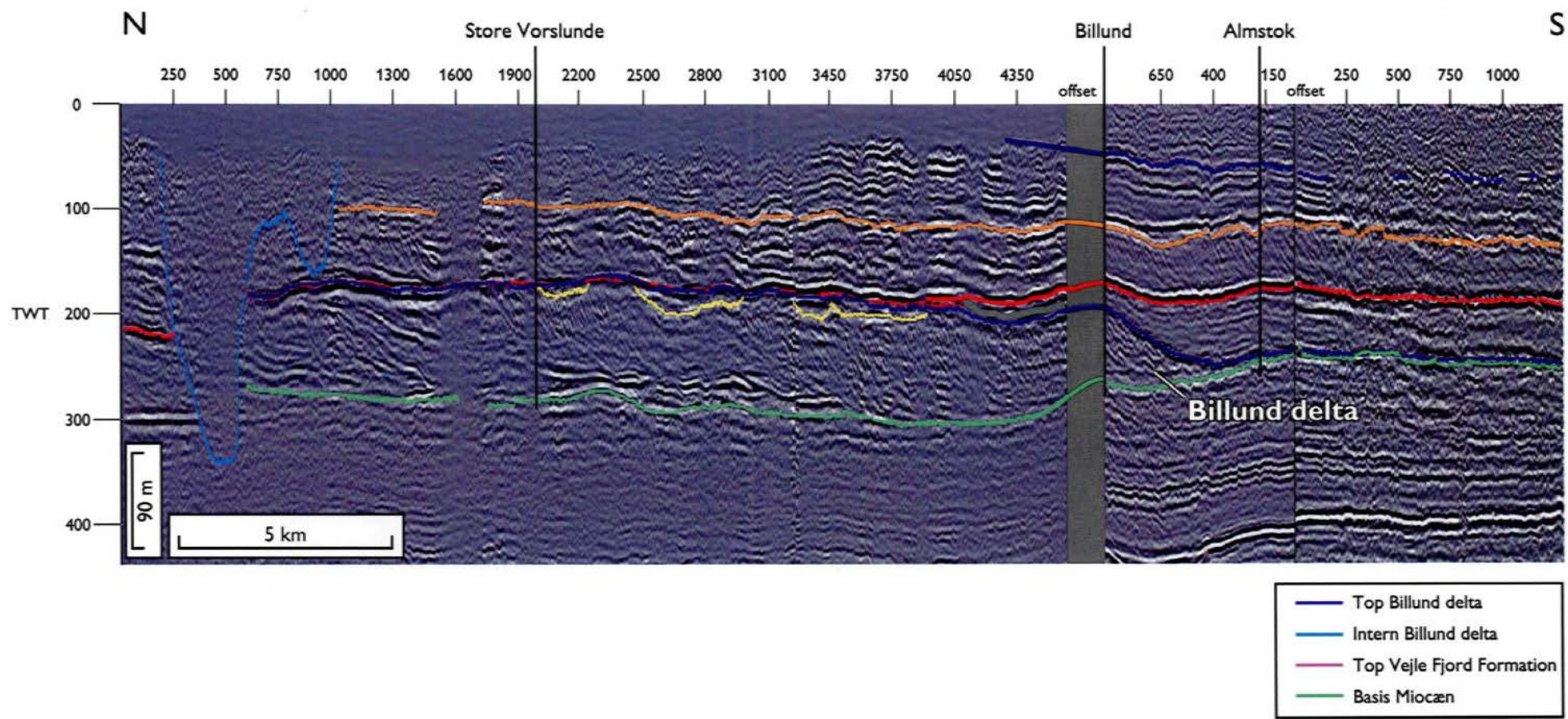


Fig. 30: Sammensat seismisk sektion (GI01 – BH7 – BH8), som viser udviklingen af den miocæne lagpakke fra Brande i nord til nær Vorbasse i syd. Bemærk hvor tydeligt man kan se at Billund deltaet bygger ud fra nord mod syd og hvor hurtigt deltaet kiler ud syd for Billund boringen.

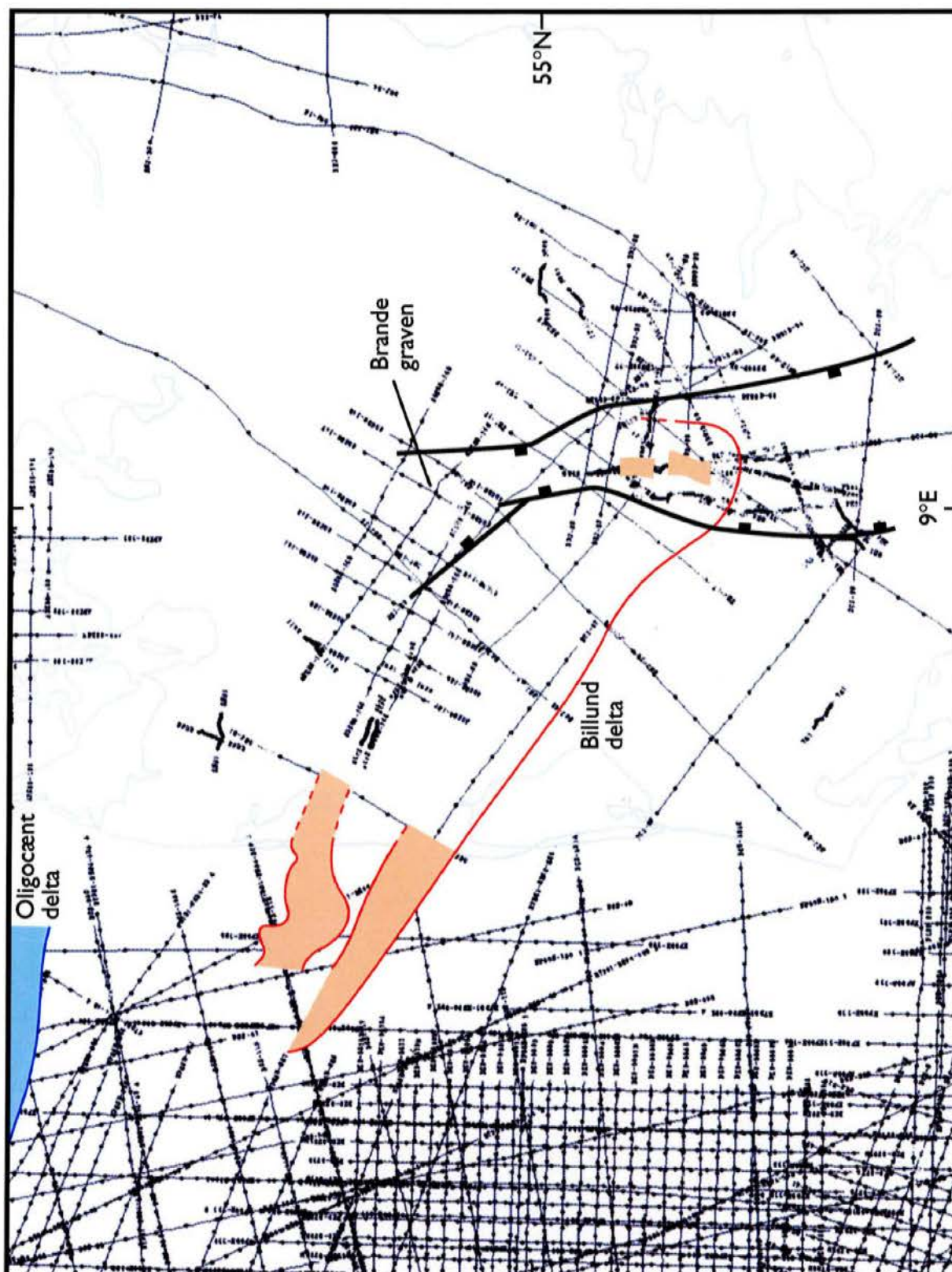


Fig. 31: Seismisk facies kort, der viser udbredelsen af klinofomt refleksionsmønster i Billund deltaet og den sydligste udbredelse af Billund deltaet. Bemærk at den lokale lobe ved Billund er begrænset til Brandegraven.

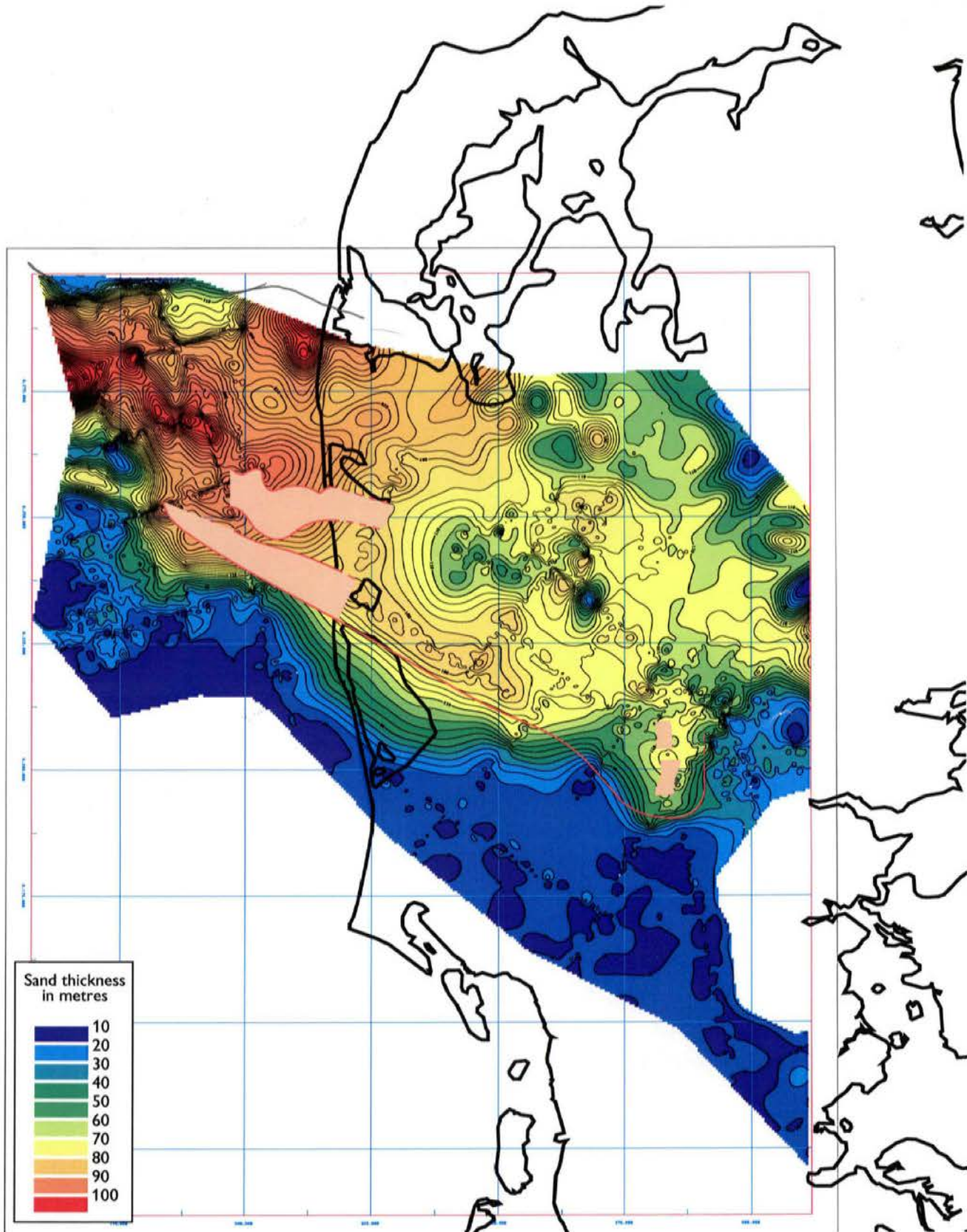


Fig. 32: Tykkelseskort over Billund deltaet. De meget mægtige lag i den vestlige del af Jylland og i Nordsøen skyldes større vanddybder under aflejring. B) Tykkelseskort med udbredelsen af et klinofomt refleksionsmønster.

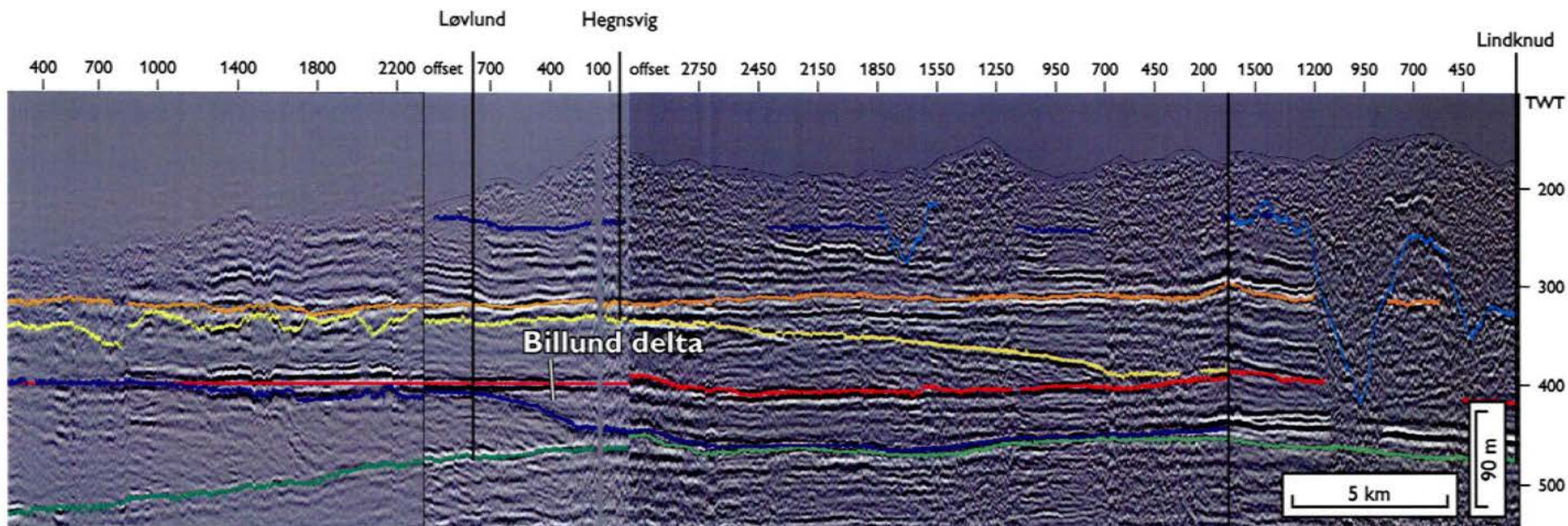
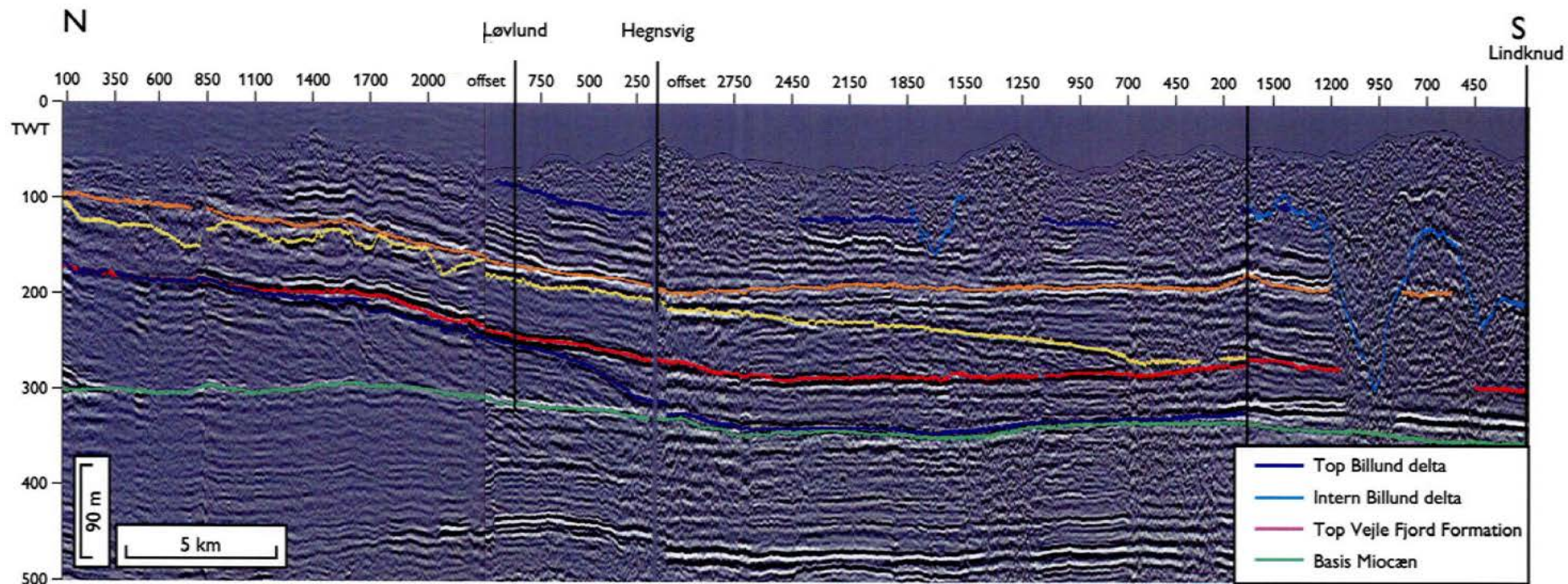


Fig. 33: S sammensat seismisk sektion (GI03 – BH6 – BH5) som er vist i figur 30 og en flatnet udgave af samme seismiske sektion nedenunder. Bemærk at når lagserien bliver kippet tilbage som det var, da de miocæne lag blev aflejret, kan man se at dele af Ringkøbing-Fyn Højderyggen udgjorde et topografisk element. Derfor er Billund deltaet meget tykt i vise områder. Seismisk data COWI.

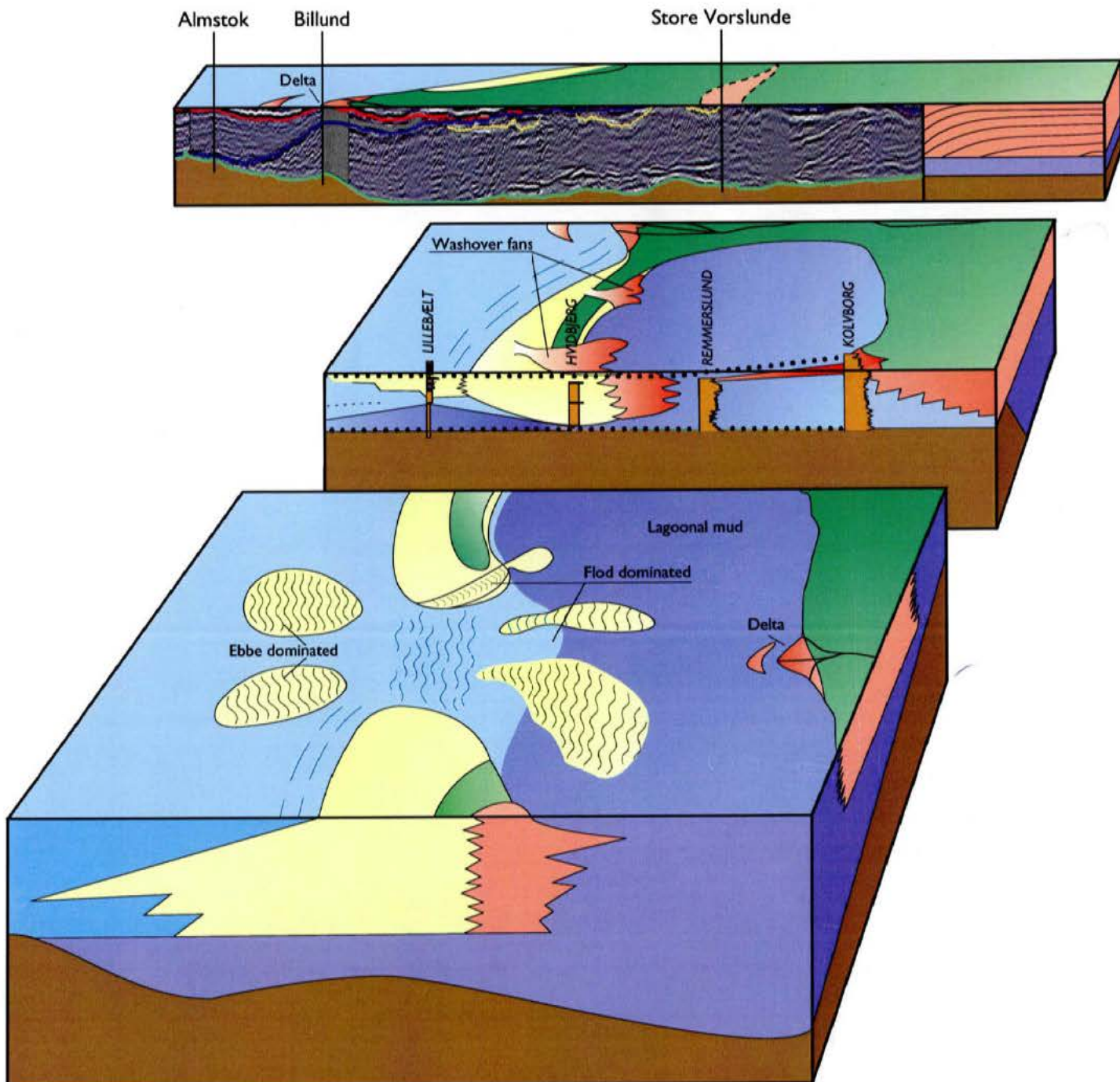
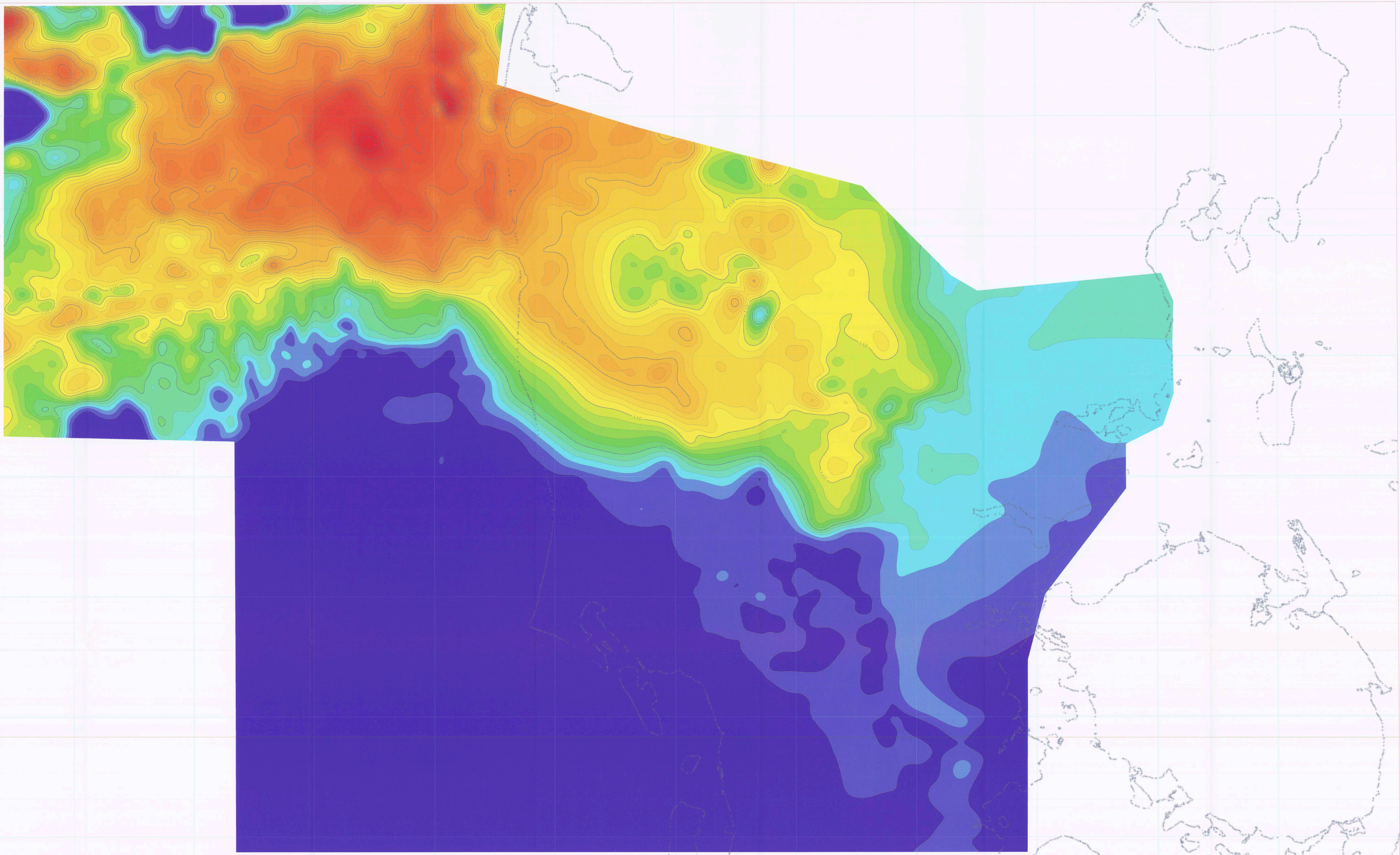


Fig. 34: Sedimentologisk model af det bølgedominerede Billund delta. Billund deltaet var begrænset til Brandegraven og de dybere dele af Nordsøbassinet mod vest og er her opbygget af store prograderende deltaloer. Mod øst var deltaet opbygget af oddekomplekser med laguner nord for odden og åbent hav syd for odden.



1:250000
KILOMETERS 0 5 10 KILOMETERS

GEUS
GEOLOGICAL SURVEY OF DENMARK AND GREENLAND
BILLUND DELTA
UTM ZONE 18Q
SPHEROID : HAYFORD 1909
1:250,000