

Nogle hovedtræk af Kattegats kvartærgeologi – foreløbige resultater af en seismisk undersøgelse 1988–1991

HOLGER LYKKE-ANDERSEN



Lykke-Andersen, H.: Nogle hovedtræk af Kattegats kvartærgeologi – foreløbige resultater af en seismisk undersøgelse 1988–1991. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990–91*, side 57–65, København, 18. november 1992.

During the years 1988–91 c. 3000 km of multichannel reflection seismic profiles have been acquired in Kattegat. The processing of the data is not yet completed, but a preliminar interpretation of the Quaternary and its substratum is presented. A map depicting the distribution of the pre-Quaternary formations at the base of the Quaternary deposits have been constructed. Quaternary deposits are found in a basin which is referred to as the Kattegat Basin, defined as a basin extending between the swedish coast and a mainly SE-NW trending line crossing Kattegat from the northeast coast of Sjælland to the northeast coast of Djursland, continuing northwards to the eastern part of Limfjorden and further in NW direction across the northern part of Jylland. Between Sjælland and Jylland the southwestern boundary of the Kattegat Basin is closely following the southern flank of the inversionzone formed in the period Early Cretaceous – Early Tertiary. The depth to the base of the Quaternary deposits is increasing from 50–150 m in the southern part to 100–250 m in the northern part of the basin. The basin is slightly asymmetric in NE-SW cross sections. The relief of the surface of the pre-Quaternary is relatively smooth where Upper Cretaceous white chalk is forming the substratum and relatively rough in a zone in the southern part where Lower Cretaceous-Lower Jurassic sediments are exposed in the inversion zone. Many erosional channels cutting into the pre-Quaternary sediments have been observed. A major channel, 2–3 km wide and 2–300 m deep, have been traced from the swedish coast in SE to the island of Anholt in NE. In the main part of the Kattegat Basin the major part of the Quaternary seem to be of Weichselian age. In the northernmost part Holocene deposits with thicknesses possibly approaching 200 m are present.

Holger Lykke-Andersen, Geologisk Institut, Maringeologisk Afdeling, Aarhus Universitet, Finlandsgade 8, 8200 Århus N. 29. november 1991.

Seismiske undersøgelser under »Geokat«-projektet

Under Statens Naturvidenskabelige Forskningsråds indsatsområde inden for maringeologi er der – under overskriften »Geokat« – i perioden 1989–91 udført refleksionsseismiske undersøgelser over det meste af Kattegat. Undersøgelserne foregik i samarbejde med Gustaf Lind, Geologiska Institutionen, Chalmers Tekniske Högskola i Göteborg og med støtte fra det svenske naturvidenskabelige forskningsråd. Fordelingen af de opmålte seismiske profiler fremgår af kortet, fig. 1. Den samlede profillængde er ca. 3000 km inklusive ca. 200 km, som blev opmålt i 1988. Kortet indeholder desuden en række relativt korte seismiske profiler, som i årene 1988–91 er opmålt i Vendsyssel, på Læsø og Anholt med støtte fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd.

Formålet med alle de seismiske målinger har

været at opnå sammenhængende billeder af de interne strukturer og aflejringsformer i de kvartære aflejringer og at belyse disse aflejringsrelationer til det prækvartære underlagsstrukturer.

De seismiske profiler blev opmålt med et instrumentel, som i årene forud for starten af »Geokat«-projektet, opbyggedes ved Geologisk Institut, Aarhus Universitet, bl.a. med støtte fra Statens Naturvidenskabelige Forskningsråd. Instrumentellet er det eneste af sin art i landet, og det er første gang resultater opnået med instrumentellet offentliggøres. En kortfattet beskrivelse af dets egenskaber forekommer derfor at være på sin plads på dette sted.

Dataopsamlingen foretages med et instrument fra EG&G Geometrics med typebetegnelsen ES2420. Med dette instrument er det muligt at optage seismiske signaler fra 24 hydrofoner. Dataregistreringen foregår digitalt, og der er mulig-

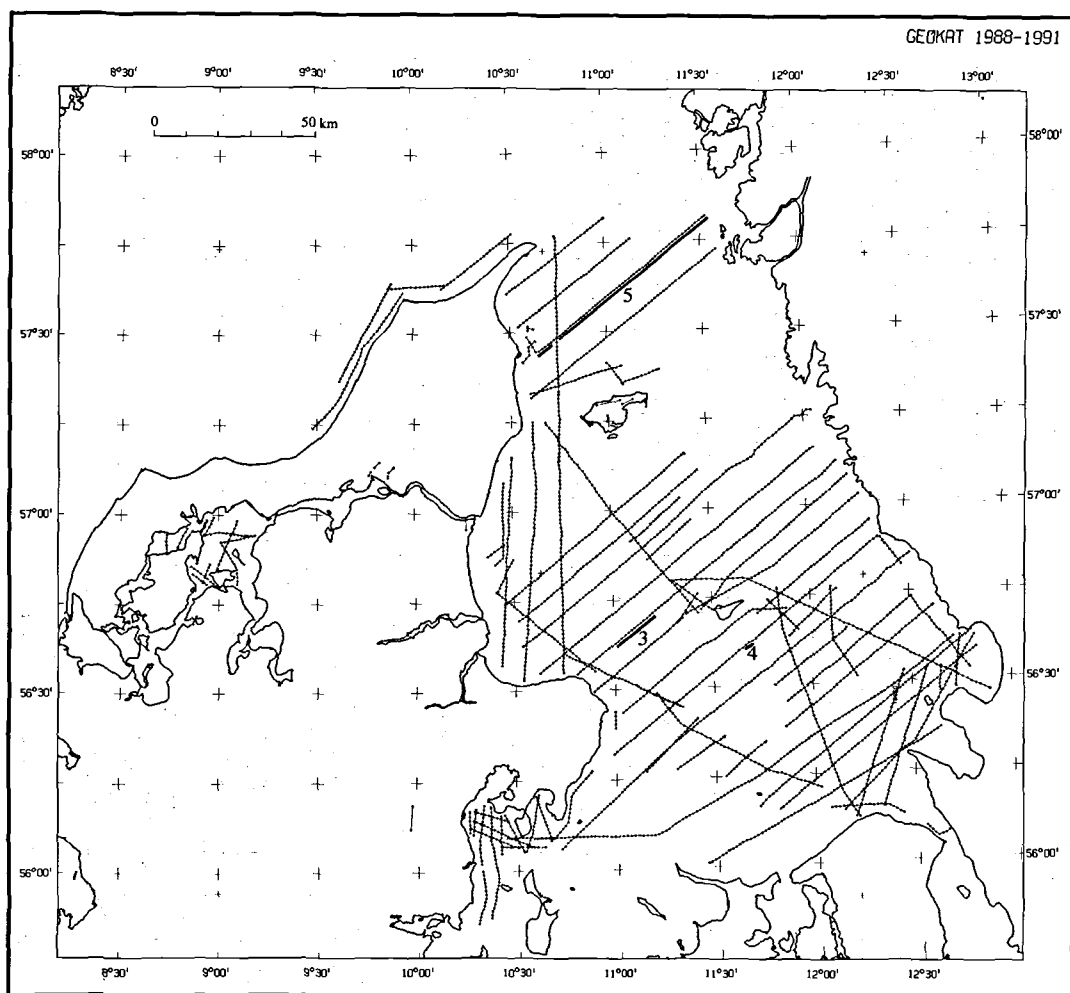


Fig 1. Seismiske profiler i Kattegat (1988–1991). Landseismiske profiler 1986–1991. Profilerne vist i fig. 3–5 er fremhævet og betegnet med 3–5.

Seismic profiles acquired in Kattegat 1988–1991 and onshore 1986–1991. Profiles shown in figs. 3–5 are marked 3–5.

hed for registrering i frekvensbåndet 0–ca. 1000 Hz. Til optagelse af seismiske signaler til søs benyttes 24 hydrofoner hver sammensat af syv seriekoblede hydrofoner. De 24 hydrofongrupper er anbragt i en streamer med indbyrdes center-afstand på 6.25 meter. Den samlede længde af streameren er ca. 144 meter.

Som seismisk pulsgiver benyttes luftkanoner med et volumen på 30 kubiktommer (ca. 0.5 liter) og et lufttryk på ca. 100 bar. I årene 1988–90 anvendtes en »konventionel« luftkanon, men i 1991 erstattedes den (i samarbejde med DGU) med en forbedret version nemlig en såkaldt »sleevegung« (manchet-kanon). Under optagelse af de seismiske profiler i Kattegat blev luftkanonen af-

fyret hvert 5. sekund svarende til en skudpunkts-afstand på ca. 12.5 meter. Med denne procedure opnås en 6-fold registrering af refleksioner fra punkter med indbyrdes afstand på 3.25 meter på reflektorerne.

Processeringen af de indsamlede data gennemføres på Geologisk Institut's processeringssystem bestående af en Norsk Data ND-570 computer med NORSEIS-software udviklet af GECO A/S til processering af konventionel seismik. Den maximale indtrængningsdybde, som har kunnet opnås i de processerede profiler i Kattegat, er ca. 1 km. Den bedste vertikale opløsning ligger på nogle få meter. I flere områder er såvel indtrængningsdybde som opløsning dog betydelig re-

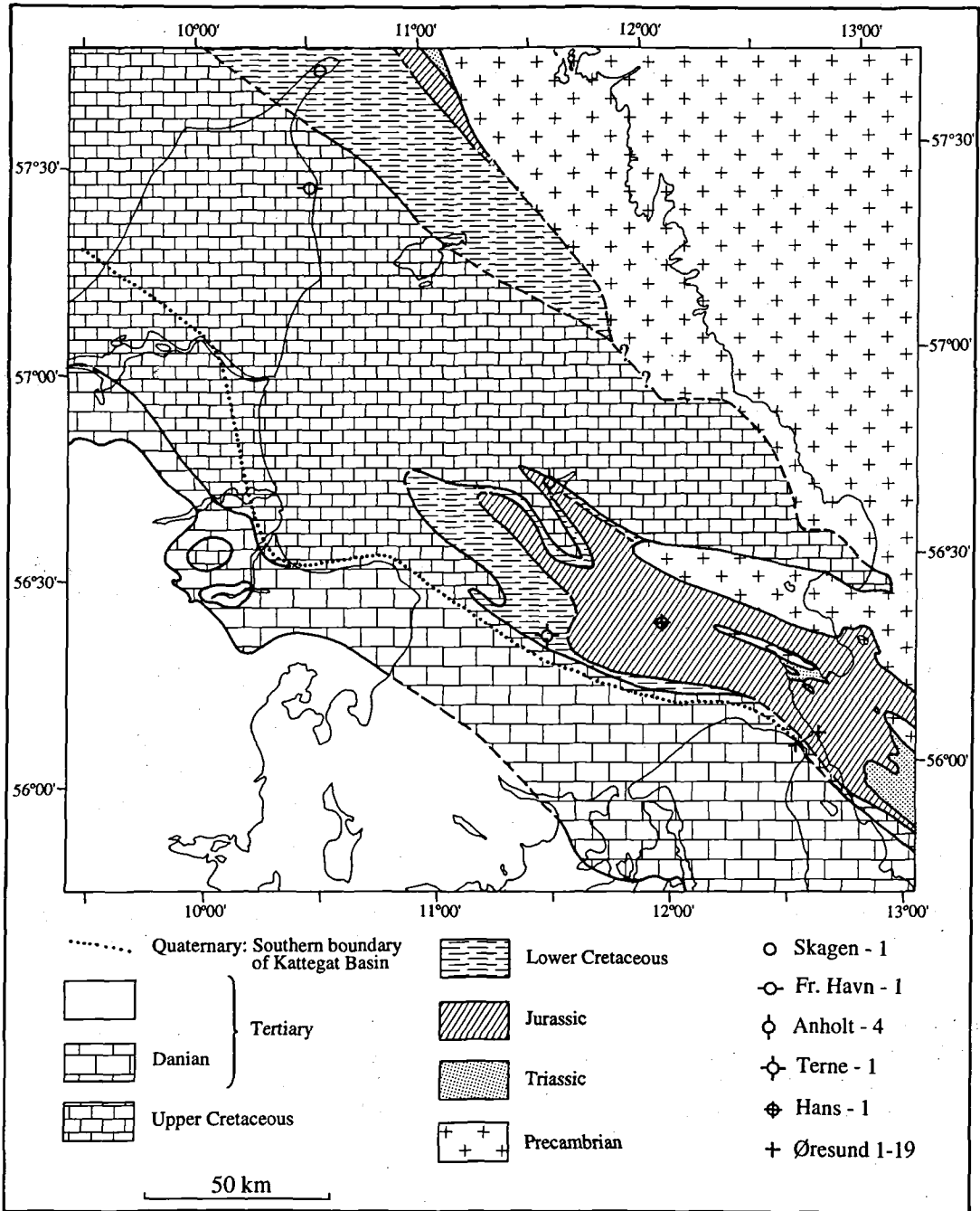


Fig. 2. Formationerne ved basis af Kvartæret. I havområdet er kortet konstrueret på grundlag af refleksionsseismiske profiler i kombination med borer og refractionsseismiske undersøgelser. På land er kortet i det væsentlige kopieret fra Sorgenfrei (1954). Den prikkede linie angiver den sydlige og vestlige afgrænsning af Kattegat Basinet.

Quaternary subcrop map based on reflection seismic profiles in combination with information from wells and refraction seismic investigations. The dotted line mark the southern and western boundary of the Kattegat Basin.

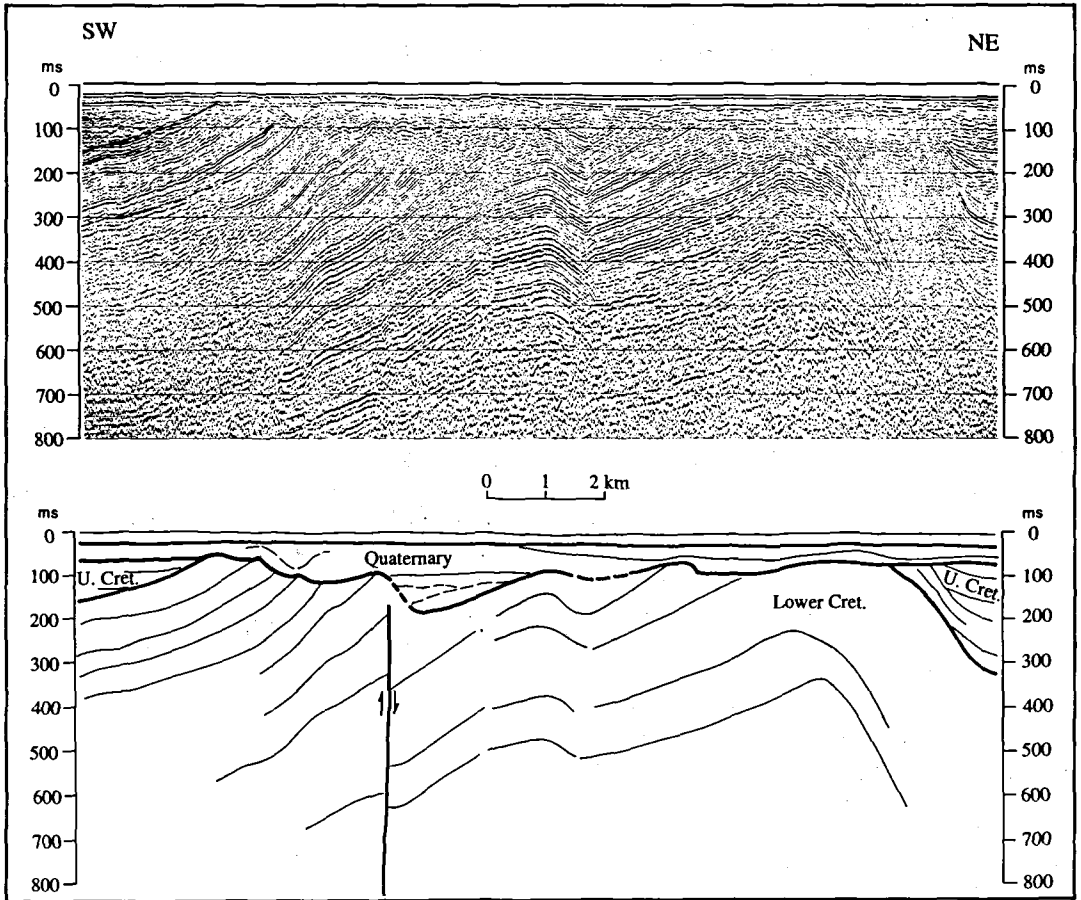


Fig. 3. Seismisk profil tværs over inversionszonens nordvestlige del mellem Anholt og Djursland (3 på fig. 1). Udenfor inversionszonen, hvor prækvartæret består af skrivekridt, er prækvartærets overflade jævn sammenlignet med det cuesta-agtige relief, som er udviklet i inversionszonens Nedre Kridt aflejringer.

Seismic profile crossing the northwestern part of the inversion zone southwest of the island Anholt. For location see fig. 1. Note the relatively smooth surface of the white chalk outside the inversion zone as compared to the deeply incised cuesta relief in the Lower Cretaceous deposits in the inversion zone.

duceret, formentlig som følge af tilstedeværelse af gas i sedimenterne.

Processeringen og den geologiske tolkning af det omfattende datamateriale er endnu (oktober 91) ikke tilendebragt. I nogle delområder og for visse afgrænsede emner er materialet dog gennemarbejdet i form af speciale-projekter. Det gælder for området mellem Fornæs og Gilleleje (Torben Høy, upubliceret), området umiddelbart øst og sydøst for Anholt og omkring Store Middegrund (Kelvin Gyldenholm og Thomas Vangkilde-Pedersen 1991, dette hæfte) samt området umiddelbart nord for Djursland (Stig Behrendt Jensen 1991, dette hæfte).

I det følgende skal der gives en oversigt over

nogle regionale hovedtræk ved de kvartære aflejringer og deres prækvartære underlag. Det bør understreges, at de tolkninger, som direkte eller indirekte er indeholdt i det følgende, er af foreløbig karakter. De vil formentlig undergå korrektioner og justeringer, efterhånden som den mere detaljerede bearbejdelse af materialet skrider frem.

Formationerne ved basis af Kvartæret

Grænsefladen mellem de kvartære og de prækvartære formationer lader sig i store træk karak-

terisere både m.h.t. fordelingen af de prækvartære formationer og m.h.t. højdeforholdene.

På grundlag af foreløbige tolkninger af de reflektionsseismiske data i kombination med boringer samt refraktionsseismiske undersøgelser er der sammenstillet et skitsekort over de prækvartære formationers udbredelse ved basis af kvartæret (fig. 2).

Øvre Kridt, som formentlig overvejende er repræsenteret ved skrivekridt, har den største arealmæssige udbredelse som underlag for kvartæret. Sydvest for en linie mellem Djurslands og Sjællands nordøstkyster findes tertiære sedimentter ved basis af kvartæret. Tæt op mod linien findes Danién-kalk som 20-40 km længere mod sydvest dækkes af yngre tertiære aflejringer. Afgrænsningen af de tertiære aflejringer, som den fremtræder idag, er bestemt af sydvestflanken af den i Sen Kridt- Tidlig Tertiær dannede inversionszone (Larsen 1966, Baartman og Christensen 1975, Liboriussen et al. 1987). Selve inversionszonens antiklinorium viser sig ved basis af kvartæret som en ca. 40 km bred zone strækkende sig fra den svenske kyst mellem Hälsingborg og Laholms Bugten mod VNV til farvandet mellem Anholt og Djursland. Aflejringer af Tidlig Kridt til prækambrisk alder findes blottet her.

Nedre Kridt aflejringer, beskrevet i boringen Terne-1 som sandsten med indslag af silt- og lersten, findes udbredt i et 10-20 km bredt bælte i den vestlige og nordvestlige del af zonen. Desuden i en smal zone langs sydflanken af inversionszonen mellem Fornæs og Gilleleje. Det antages endvidere, at Nedre Kridt er blottet omkring Anholt langs flankerne af inversionszonen, hvis afgrænsning her er præget af en dyb indskæring vest og syd for Anholt.

Juraaflejringer optræder i den centrale del af inversionszonen, og udgør den vest-nordvestlige fortsættelse af området med Juraaflejringer i Sverige mellem Hallandsåsen og Øresundskysten mellem Hälsingborg og Landskrona. Fra boringen Hans-1 er der rapporteret om ler og lersten af tidlig Jura alder umiddelbart under de kvartære lag. Længst mod nordvest strækker juragalene sig frem i et par relativt smalle antiklinaler, hvoraf den nordligste ser ud til at løbe ind under den vestlige del af Anholt, hvor der ved basis af kvartæret er konstateret leret glimmersilt (Bjørnslev 1991, dette hæfte) af mellem Jura alder (Koppelhus 1991, Ravn-Sørensen 1991, dette hæfte). De

seismiske profiler tyder på, at der mellem de to udløbere findes et smalt trug med skrivekridt (fig. 2).

I den nordlige side af inversionszonen ind mod den svenske kyst danner det prækambriske grundfjeld i Hallandsåsen en udløber, som strækker sig ca. halvvejs op mod Anholt. En tilsvarende udløber, men i mindre format, kan spores fra Kullen og ca. 15 km mod nordvest. Det må bemærkes, at der meget vel kan tænkes at være palæozoiske sedimentære bjergarter inkluderet i disse strukturer. Med de seismiske målinger synes det vanskeligt at skelne mellem krystalline bjergarter og palæozoiske sedimentære bjergarter.

I den nordlige del af Kattegat, nordøst for en linie, som forløber i sydøst-nordvestlig retning fra Laholmsbugten over Læsø's østligste del og videre forbi Ålbæk og ud i Skagerrak, findes Nedre Kridt, Jura og Trias aflejringer blotlagt ved basis af kvartæret. Nærmest den svenske kyst i en zone som aftager i bredde fra ca. 40 km i nord til ca. 10 km i syd, hviler kvartæret på prækambrisk grundfjeld.

Prækvartæroverfladens relief

Prækvartærets overflade danner, som allerede antydnet af Sorgenfrei (1945), og mere detaljeret beskrevet af Lykke-Andersen (1987), en lavning med sydøst-nordvest-forløbende akse. Lavningen har tragtform, som åbner mod nordvest. Under arbejdet med de reflektionsseismiske profiler har det p.g.a. havbundsmultipler ofte vist sig vanskeligt at identificere detaljer i den kvartære lagserie, hvor kvartærtykkelsen er mindre end vanddybden. Dette forhold er baggrunden for, at det er fundet hensigtsmæssigt at definere »Kattegat Bassinet« som omfattende det område, hvor basis af de kvartære aflejringer ligger dybere end ca. 50 meter under havniveau.

Den svenske kyst betragtes som den nordøstlige afgrænsning af Kattegat Bassinet. Den sydvestlige afgrænsning løber i det havdækkede område langs en linie mellem Gilleleje og Fornæs. Det videre forløb på Sjælland, hvor der i denne sammenhæng ses bort fra Alnarp-Esrums dalen, markeres af nordkysten mellem Gilleleje og Helsingør og på Jyllands-siden af kysten mellem Fornæs og Djurslands nordligste punkt Stavns hoved.

LINE K89 - 13A

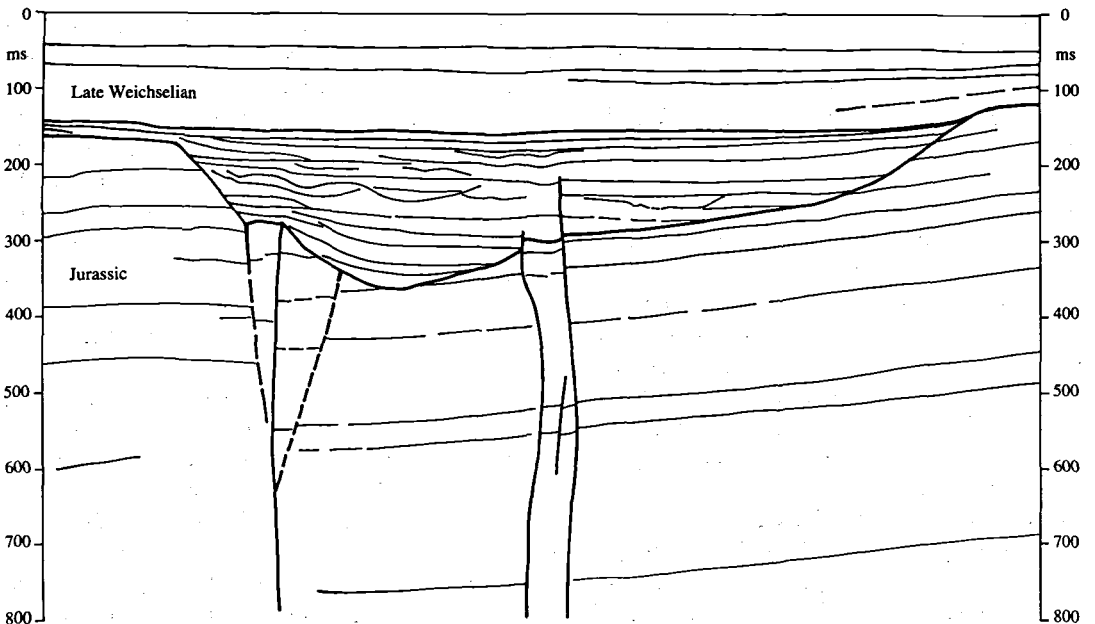
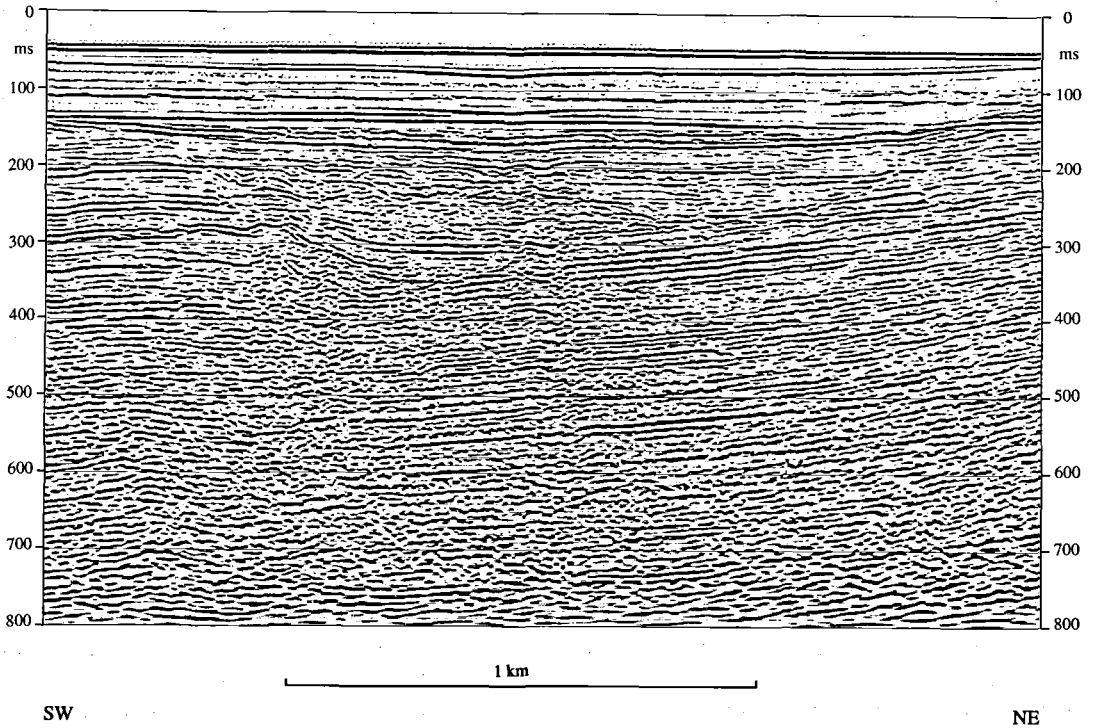


Fig. 4. Seismisk profil ca. 10 km sydøst for Anholt. Placeringen er markeret med 4 på fig. 1. En ca. 2 km bred kanal er skåret ca. 150 meter ned i sydvest hældende lag af Jura alder. Kanalen og Jura lagene uden for kanalen er dækket af en transparent lagserie på ca. 80 m tykkelse. Juralagene er gennemsat af en normalforkastning under den sydvestlige side af kanalen. Alderen af sedimenterne i kanalen er ukendt. Dæklagene antages at være af sen Weichsel alder.

Seismic profile ca. 10 km southeast of the island of Anholt. For location see 4 at fig. 1. A 2-3 km wide channel cut ca. 150 m into faulted and SW-tilted layers of jurassic age. The channel and the adjacent jurassic deposits are covered by a transparent sequence with a thickness of ca. 80 m. The age of the channel fill is unknown. The covering layers are assumed to be of Late Weichselian age.

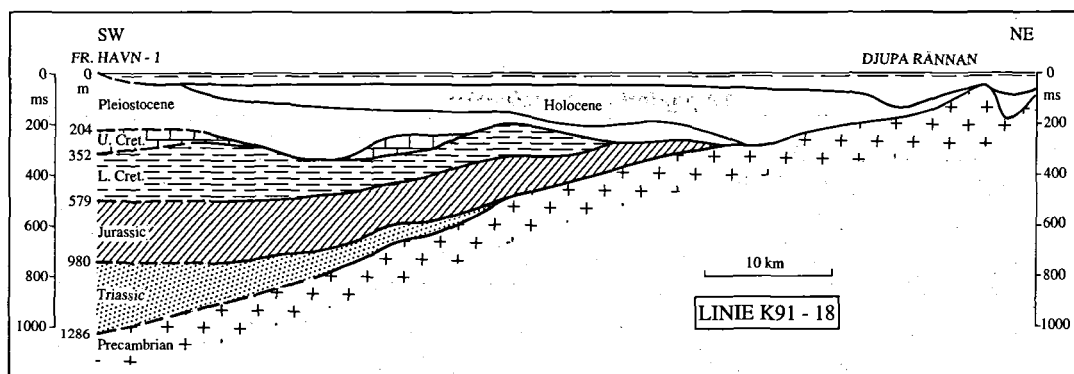


Fig. 5. Linietegning efter seismisk profil i den nordlige del af Kattegat. Lokaliseringen fremgår af fig. 1, hvor linien er betegnet med 5. Formodet Holocæne aflejringer opnår tykkelser på henved 200 m i den nordøstlige del af profilet.

Line drawing based on a seismic profile crossing the northern part of Kattegat. For location see fig. 1. Assumed Holocene deposits obtain thicknesses close to 200 m in the northeastern part of the profile.

Dette forløb synes at falde ganske nøje sammen med den nordøstlige afgrænsning af Danien kalken i Kattegat eller med sydvestflanken af inversionszonen. Mens Danien kalken længere mod nordvest i Jylland fortsat følger sydvestflanken af inversionszonen i retning mod Fjerritslev, så krydser afgrænsningen af Kattegat Bassinet ind over denne zone, idet grænsen fra munden af Randers Fjord forløber øst om Hadsund og videre nordpå til Storvorde beliggende ud for midten af Limfjordens østligste del, Langerak. Nord for Limfjorden løber grænsen næsten retlinet fra Vodskov til Blokhus (fig. 2). I horisontalplanet fremtræder bassinet med tragtform, idet bredden i den sydøstlige ende ud for Skælderviken og Laholmsbugten kun er ca. 50 km mod ca. 120 km længst mod nordvest, hvor Vendsyssels rager ca. halvvejs ud i bassinet.

Dybden til basis af de kvartære aflejringer i Kattegat Bassinet tiltager i sydvest-nordøst tværsnit gradvist i retning mod nordøst for relativt brat at aftage op imod den svenske kyst. Bassinet er dermed svagt asymmetrisk i tværsnit. I den sydlige del, i inversionszonens område, ligger prækvartæret overvejende mindre end 100 meter under havniveau; i nordøstlig retning mod Sverige stiger dybden til ca. 150 m. I den nordlige del af Kattegat Bassinet stiger dybderne fra omkring 100 m i Vendsyssels sydlige dele til op imod 250 m i området nordøst for Frederikshavn.

Prækvartæroverfladens relieffer er tilsyneladende overvejende dannet ved erosion, og udformningen er tydeligvis afhængig af det prækvartære underlags lithologi og struktur. Generelt ser

der ud til at være en betydelig kontrast mellem relieffet i og udenfor inversionszonen. Mens prækvartæroverfladen uden for inversionszonen i det store og hele er jævn, og kun hist og her brudt af erosionskanaler, så udviser fladen indenfor inversionszonen som regel et betydeligt relief med tætliggende mere eller mindre dybt nedskårne rander. I profilet vist i fig. 3 har relieffet cuesta-karakter, hvor svagt hældende flanker tilnærmelsesvis følger lagplanerne, mens stejle flanker repræsenterer snit, som i nogle tilfælde er anlagt i forbindelse med forkastninger. De enkelte relieffelementer er så små sammenlignet med afstandene mellem de seismiske linier, at det næppe er muligt med sikkerhed at korrelere fra linie til linie. Undtaget fra dette er en erosionskanal, som har kunnet identificeres over en strækning på 50-60 km fra Skælderviken til Anholt. Kanalen er af så betydelige dimensioner, 2-3 km i bredden og 200-300 meter i dybden, at korrelationen synes at være sikker.

Den såkaldte Skælderviken depression, som tidligere er påvist ved hjælp af refraktionsseismiske undersøgelser (Lykke-Andersen 1987), er formentlig identisk med den kanal, som har kunnet identificeres på fire SV-NØ løbende refleksionsseismiske profiler sydøst for Anholt. I fig. 4 ses kanalen i tværsnit ca. 10 km sydøst for Anholts sydkyst. Kanalen er på nogle strækninger anlagt langs med forkastninger i Jura aflejringerne. Den sydøstlige del af kanalen er anlagt på kanten af den grundfjeldshorst, som strækker sig ud i Kattegat fra Hallandsåsen (sm.lign. fig. 2).

Anholt-problemet

En allerede eksisterende boring på Anholt, som lod formode, at tykkelsen af kvartærlagene her var mindst ca. 230 m (Lykke-Andersen, A. L. 1990), syntes at vise, at kanalen fortsatte under den vestlige del af Anholt. Formålet med den boring, som i 1990 blev udført som en del af »Geokat«-projektet, var at opnå en nøjagtig stratigrafisk beskrivelse af den kvartære lagserie, som altså efter alt at dømme måtte have en meget stor tykkelse på dette sted. Som beskrevet af Bjørnslev (1991), Ravn-Sørensen (1991) og Seidenkrantz (1991) (dette hæfte) viste dette sig overraskende nok ikke at være tilfældet. Sedimenter af Mellem Jura alder blev truffet allerede i en dybde af kun ca. 105 m. Spørgsmålet om den dybe kanals forløb ved Anholt er forgæves forsøgt afklaret med et seismisk profil langs nordkysten af Anholt omkring borestedet. Heller ikke de marinseismiske profiler omkring Anholt har med sikkerhed kunnet afsløre sammenhængen. Sammenholdes resultaterne fra den nye boring med de seismiske profiler, ser det dog ud til, at den vestlige del af Anholt er placeret over den høje del af en fleksur, som markerer inversionszonens nordøstflanke.

Den kvartærtykkelse, som syntes at kunne uledes af den gamle Anholtboring ud fra analyse af kernemateriale, som formodedes at stamme fra en dybde af knap 230 m, må efter det forliggende anses som fejlagtig, og formentlig baseret på en ikke repræsentativ kerne.

Visse træk ved profilerne nord for Anholt kan tyde på, at kanalen passerer ud over fleksuren og ud i skrivekridtområdet øst for borelokaliteten. En nøjere analyse af data vil forhåbentlig kunne belyse dette nærmere.

Kvartære aflejringer i Kattegat Bassinet

Nogen detaljeret tolkning af de seismiske profiler med hensyn til de kvartære sekvensers udbredelse i tid og rum foreligger endnu ikke. At dømme ud fra foreløbige vurderinger af de seismiske profiler samt boringer i Kattegat Bassinet, hvorfra der foreligger stratigrafiske analyser af den kvartære lagserie (f.eks. Lykke-Andersen og Knudsen 1990), ser det ud til, at aflejringer fra

Weichsel perioden er volumenmæssigt dominerende i Kattegat Bassinet bortset fra de dele, som ligger nord for en grænse, som omtrentligt angives af en linie nord om Læsø og gennem Ålbæk. Nord for denne grænse domineres den kvartære lagserie, som den ses på de seismiske profiler, af en på de seismiske profiler næsten transparent formation, som ser ud til at være identisk med den af Flodén (1973) og Fält (1982) beskrevne Skagen Formation. Det antages, at formationen består af holocæne aflejringer. De seismiske profiler viser, at formationen opnår tykkelser på ca. 200 m i området mellem Skagen og Djupa Rännan (fig. 5). Det er dog ikke klart, hvorvidt hele formationen skal henregnes til Holocæn.

Litteratur

- Baartman, H. og Christensen, O. B., 1975: Contributions to the interpretation of the Fennoscandian Border Zone. *Dann. geol. Unders.*, II rk., 102, 47 pp.
- Bjørnslev-Nielsen, O., 1992: Lithologi, lithostratigrafi og aflejringsmiljø i Anholtboringen. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, 67-72.
- Fält, L.-M., 1982: Late Quaternary sea-floor deposits off the Swedish west coast. *Geologiska Institutionen Chalmers Tekniska Högskola och Göteborgs Universitet, Publication A37*, Dissertation, 259 pp.
- Flodén, T., 1973: Notes on the bedrock of the eastern Skagerrak with remarks on the Pleistocene deposits. *Stockholm contr. geol.*, XXIV, 79-102.
- Gyldenholm, K. G. og Vangkilde-Pedersen, T., 1992: De geologiske forhold i farvandet mellem Anholt og Sverige. Et bidrag baseret på refleksions-seismiske undersøgelser. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, 99-103.
- Jensen, S. B., 1992: Øvre Kridt i den sydlige del af Ålborg Bugt. Bidrag til en geologisk beskrivelse baseret på refleksionsseismiske undersøgelser. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, 105-109.
- Koppelhus, E. B., 1992: Palynologiske analyser fra Anholtboringen sammenlignet med tilsvarende undersøgelser i Øresundsboringerne 2.3 og 15 og korreleret til ostracod-zoner. - *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, 73-78.
- Larsen, G., 1966: Geologiske resultater af bundundersøgelserne i Øresund. *Meddr. dansk geol. Foren.*, 16, 260-265.
- Liboriussen, J., Ashton, P. & Tygesen, T., 1987: The tectonic evolution of the Fennoscandian Borderzone in Denmark. *Tectonophysics*, 137, 21-29.
- Lykke-Andersen, A.-L., 1987: A Late Saalian, Eemian and Weichselian marine sequence at Nørre Lyngby, Vendsyssel, Denmark. *Boreas*, 16, 345-357.
- Lykke-Andersen, A.-L., 1990: Foraminiferal stratigraphy of Quaternary deposits in boring No. 51.12 Anholt, Kattegat. *Dann. geol. Unders.*, Ser. B, No. 15, 40 pp.
- Lykke-Andersen, A.-L. & Knudsen, K. L., 1990: Saalian Eemian and Weichselian in the Vendsyssel-Kattegat Region, Denmark. I: Andersen, B. G. & Königsson, L.-K.: Late Quaternary Stratigraphy in the Nordic Countries 15000-15000. *Striae* 34 (I trykken).
- Lykke-Andersen, H., 1987: Thickness of Quaternary deposits and their relation to the pre-Quaternary in the Fennoscandian

- dian border zone in Kattegat and Vendsyssel. *Boreas*, 16, 369-371.
- Ravn-Sørensen, H., 1992: En palynologisk undersøgelse af intervallet 232-105 m u.t. i Anholtboringen - en præsentation og diskussion af foreløbige resultater. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, s. 79.
- Seidenkrantz, M.-S., 1992: Nye oplysninger om Kvartær stratigrafi - baseret på foraminiferer fra en ny boring på Anholt, Kattegat: *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990-91*, 81-88.
- Sorgenfrei, Th., 1945: Træk af Alnarp Dalens geologiske bygning. *Meddr. dansk geol. Foren.*, 10, 617-630.
- Sorgenfrei, Th., 1954: Kort over formationerne ved basis af Kvartæret. *Dann. Geol. Unders.*