

# Træk af Kattegats geologi, – Palæozoikum og Mesozoikum

OLAF MICHELSEN & LARS HENRIK NIELSEN



Michelsen, O. og Nielsen, L. H.: Træk af Kattegats geologi, – Palæozoikum og Mesozoikum. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1990–91*, side 135–141, København, 18. november 1992.

The Hans-1, Sæby-1, and Terne-1 wells are located within the Danish part of the Fennoscandian Border Zone and provide significant new data pertaining to the geology of this tectonic belt. All three wells encountered Palæozoic and Mesozoic rocks.

Based on log-sequences, the Cambrian to Lower Silurian deposits can be closely correlated to sections known from Bornholm and Scania, and tectonic activity within the Fennoscandian Border Zone cannot be verified during this time interval. The thick Upper Silurian shales were probably deposited in a rapidly subsiding basin comprising the Border Zone and the Danish onshore area to the west.

A major hiatus comprises the Devonian and Early Carboniferous.

Upper Carboniferous sediments were deposited prior to the rifting. Upper Carboniferous intrusive and extrusive volcanic rocks are present. Extensive block faulting occurred in the Border Zone during the Rotliegende and more than 650 m of reworked volcanic rocks were deposited in an alluvial fan environment. Syn-depositional erosion created a major unconformity prior to deposition of the post-rift Zechstein sediments.

The Sorgenfrei-Tornquist Zone continued to experience tectonic activity in Middle Jurassic and Late Cretaceous to Early Tertiary times.

*Olaf Michelsen, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 8000 Århus C.*

*Lars Henrik Nielsen, Danmarks Geologiske Undersøgelse, Thoravej 8, 2400 København NV. 27. november 1991.*

## Indledning

Indtil for få år siden var kendskabet til undergrundens geologi i Kattegat baseret på geofysiske målinger, primært seismiske data, samt på viden fra de tilstødende landområder. I forbindelse med dansk kulbrinteforsknings blev der i første halvdel 1980'erne gennemført tre borer, som har bidraget med direkte oplysninger om den lithologiske og stratigrafiske opbygning af de prækvartære lagserier. Boringerne Hans-1 og Terne-1 er udført i Kattegat, medens Sæby-1 er placeret i Vendsyssel (fig. 1). Tilsammen omfatter de tre boreprofiler den prækvartære lagserie fra Kambrium til Øvre Kridt.

Alle tre borer er placeret indenfor Den fennoskandiske Randzone. Hans-1 og Terne-1 er placeret i den del af zonen, som benævnes Sorgenfrei-Tornquist Zonen; og Sæby-1 på Skagerak-Kattegat Platformen. For definitionen af disse to zoner henvises til EUGENO-S Working Group (1988).

I nærværende artikel beskrives i korte træk den stratigrafisk-lithologiske opbygning af de palæo-

zoiske og mesozoiske aflejringer i Kattegat-området. Der vil blive lagt særlig vægt på stratigrafisk analyse og korrelation af den nedre palæozoiske lagserie, samt på rift-sekvensudvikling af Den fennoskandiske Randzone i Rotliegendes, idet disse to aspekter er et væsentligt udbytte af disse nye data. En detaljeret beskrivelse af de tre borer, den stratigrafiske inddeling og de palæogeografiske aspekter er publiceret af Michelsen & Nielsen (1991). Den strukturelle udvikling i Kattegat-segmentet af Den fennoskandiske Randzone er diskuteret i Michelsen & Nielsen (in press).

## Stratigrafi

Den stratigrafiske inddeling i de tre borer er præsenteret i fig. 2. Tilsammen dækker de tre borer det meste af Palæozoikum og Mesozoikum, idet devone aflejringer dog ikke er identificeret.

De nedre palæozoiske aflejringer er kun truffet i Terne-1. Det kambriske afsnit omfatter nederst

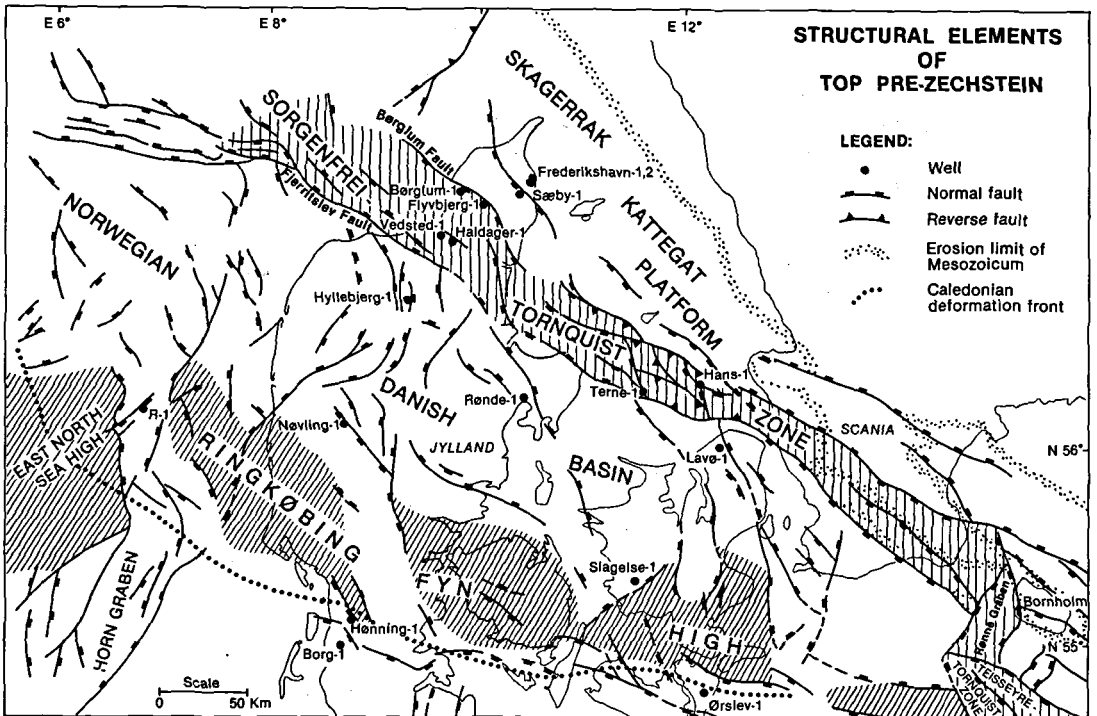


Fig. 1. Kort med strukturelle elementer ved top præ-Zechstein niveau (modificeret fra EUGENO-S Working Group 1988 og Vejbæk 1990 (inkl. Claus Andersen)). Borningslokaliteter er angivet.

Map showing general structural elements at the top pre-Zechstein level (modified from EUGENO-S Working Group 1988 and Vejbæk 1990 (incl. Claus Andersen)). Locations of wells are shown.

en kvartsit overlejret af en mørkegrå til sort lerskifer, der er rig på organisk materiale. De ordoviciske og silure aflejringer er domineret af lerskifer mellemljret af enkelte kalkstenslag. Gennemgående bliver lerskiferen mere lys grå og siltholdig opefter. Den nedenfor omtalte korrelation til aflejringerne på Bornholm peger på en ensartet sedimentation over et udstrakt lavvandet shelfområde i Kambrium og Ordovicium, og uden indflydelse af betydelig tektonisk aktivitet. De silure aflejringer er derimod betydeligt tykkere, end det kendes fra Bornholm og Skåne. Det er især de øvre silure lagserier, som har en omfattende mægtighed i Kattegat-boringen. Dette træk er tolket som resultat af et indsynkende bassin, som antageligt omfattede hele det danske landområde og Kattegat-regionen.

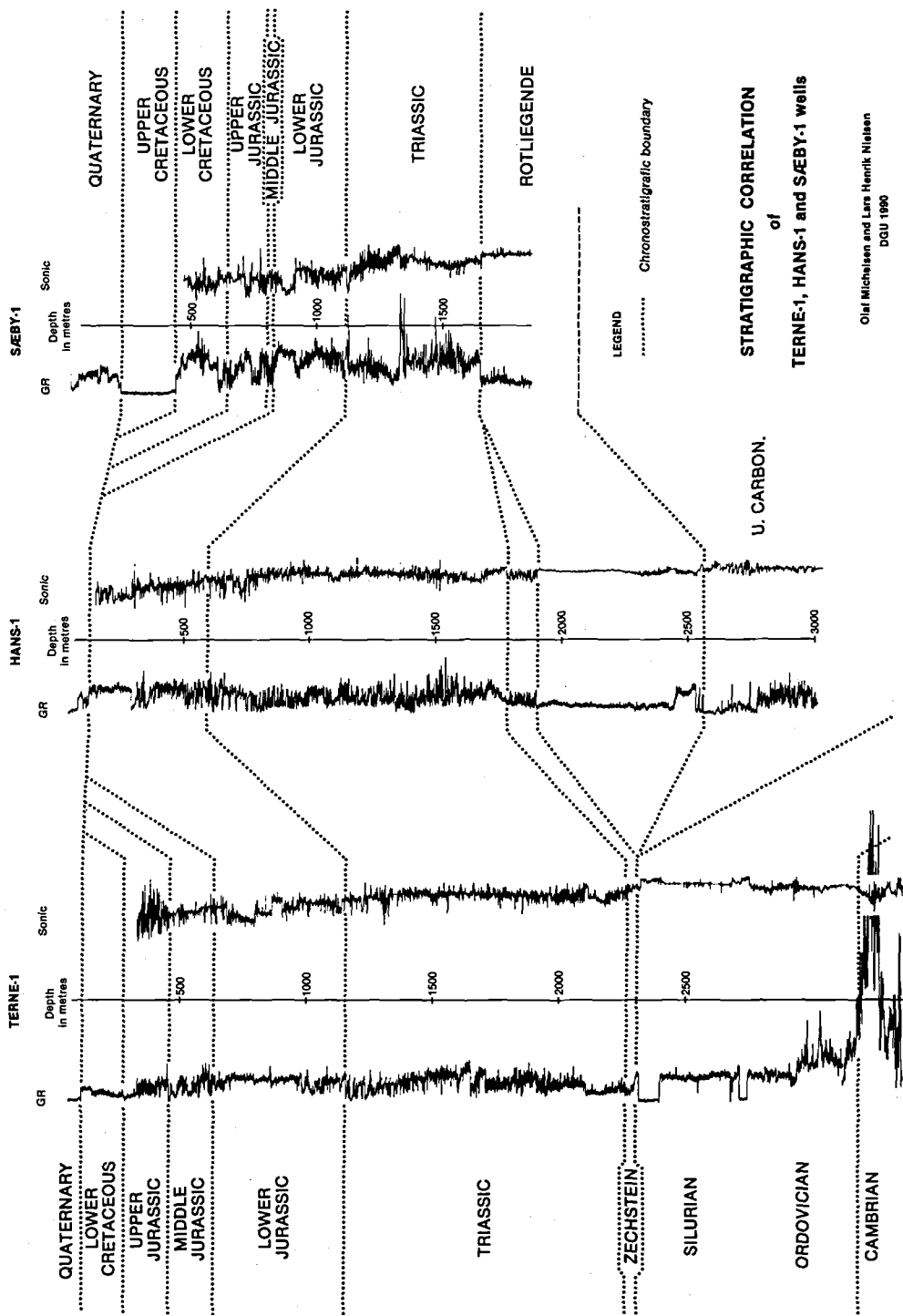
I Terne-1 boringens øvre silure lerskifer findes intrusive vulkanske bjergarter, der ved isotopdatering kan henføres til Sen Karbon, og den er direkte overlejret af marine sandsten af Zechstein alder.

Den dybest beliggende lagserie i Hans-1 om-

fatter vekslende sandsten, siltsten og lersten af Sen Karbon alder. Denne lagserie afsluttes med en serie ekstrusive vulkanske bjergarter, som formodes at være af samme alder (se Michelsen & Nielsen 1991). Sen karbone sedimenter kendes ikke fra andre danske borer, men har derimod længe været kendt fra Oslo Graven (Olausen 1981). Da de sen karbone aflejringer i Kattegat-området er bevaret på nedforkastede blokke, kan man formode, at tilsvarende aflejringer tidligere har dækket et større område.

De vulkanske bjergarter er dækket af en tyk lagserie domineret af grovkornede, vulkaniklastiske sedimenter, der må tolkes som afsat i et riftsystem (se nedenfor). Tilsvarende bjergarter er truffet som de ældste i Sæby-1. I Hans-1 boringen afsluttes den palæozoiske lagserie med non-marine sandsten af Zechstein alder.

Analyse af seismiske data viser, at top af den palæozoiske lagserie er markeret ved erosionsbetinget inkonformitet. Korrelation af borningsdata med de seismiske data viser, at denne inkonformitet er dækket af en relativt konform succession



Olaf Michelsen and Lars Henrik Nielsen  
 DGU 1990

Fig. 2. Stratigrafisk inddeling og korrelation af lagserierne i borerne Hans-1, Sæby-1 og Terne-1. Stratigrafisk subdivisjon and correlation of the Hans-1, Sæby-1, and Terne-1 wells.

af mesozoiske sedimenter omfattende Trias til Øvre Kridt. Den mesozoiske lagserie er udviklet i sedimentære facies og aflejningsmiljøer svarende til dem, der kendes fra boreriger i det nordøstlige Jylland (Bertelsen 1980, Michelsen 1978 og 1989a). En særlig tektonisk aktivitet kan godtgøres i to perioder. Forekomst af en unormal tyk mellem jurassisk sandstensserie antyder, at Sorgenfrei-Tornquist Zonen har fungeret som indsynkningsområde i denne periode. De seismiske data dokumenterer, at zonen har været udsat for inversionstektonik i Sen Kridt tid (som beskrevet af Liboriussen et al. 1987).

### Korrelation af den nedre palæozoiske lagserie

De eksisterende biostratigrafiske dateringer i den nedre palæozoiske sedimentære lagserie giver kun et ringe grundlag for at etablere en detaljeret kronostratigrafisk inddeling og korrelation med tilsvarende aflejringer på Bornholm og i Skåne.

Sammenlignes gamma målinger i Terne-1 boringen med tilsvarende målinger udført i korte boreriger på Bornholm (Pedersen 1989, Pedersen & Kliiten 1990) ses, at der findes meget gode muligheder for en detaljeret korrelation. Det er muligt at identificere gamma log-enhederne, som er beskrevet i de bornholmske boreriger. Denne ensartethed må tilskrives aflejring på et omfattende lavtvands marint shelfområde.

Gamma målinger i finkornede siliciklastiske sedimenter aflejret under tektonisk rolige forhold reflekterer små variationer i sedimentsammensætning og -tekstur, som er kontrolleret af overordnede miljøfaktorer, bl.a. ændringer i havniveau. Det er tidligere påvist, at sådanne gamma log-mønstre er værdifulde i en kronostratigrafisk korrelation (Mitchum et al. 1977, Rider 1986, Michelsen 1989b; se også diskussionen i Michelsen & Nielsen 1991). Det er derfor nærliggende på basis af disse log-enheder at foreslå en kronostratigrafisk korrelation af lagserien i Terne-1 til lagserierne i de bornholmske boreriger (fig. 3). Da den kronostratigrafiske inddeling af de bornholmske lagserier er veldokumenteret ved biostratigrafiske analyser, kan en kronostratigrafisk inddeling i Kattegat-boringen dermed foreslås. Alle grænserne mellem de log-enheder, der er identificeret af Pedersen & Kliiten (1990), kan

korreleres til Kattegat-profilen. Lagserien mellem to grænser i sidstnævnte profil må derfor være isokrone med lagserien mellem de samme grænser på Bornholm eller udfylde hiati forekommende mellem de samme to grænser.

Ved gennemførelse af denne log-korrelation er der i Terne-1 identificeret en forholdsvis tyk serie svarende til Nedre Alunskifer, Andrarum Kalksten og Øvre alunskifer, inklusiv *Dictyonema* Skifer (fig. 3). Underlejrende disse ses log-mønstre svarende til øvre del af Grønne Skifre, Rispebjerg Sandsten og Exulans Kalksten. Nederst i boringen findes en kvartsit, som på lithostratigrafisk grundlag kan korreleres med Hardeberga Sandstenen. Hele den kendte kambriske og nedre del af den ordoviciske lagserie synes således tilstede i Terne-1.

Log-mønstre svarende til dem, der kendes for Komstad Kalksten, *Dicellograptus* Skifer, Jerrestad Muddersten, Tommarp Muddersten og *Rastrites* Skifer, kan ligeledes identificeres i Terne-1. Dette viser, at den kendte ordoviciske og den nedre silure lagserie er tilstede. Det er med denne korrelation også muligt at foreslå en præcis placering af de tilsvarende kronostratigrafiske grænser.

Det skal til sidst nævnes, at lagserien i Terne-1 er tykkere end den tilsvarende lagserie på Bornholm. Dette kan skyldes en mere komplet stratigrafisk registrering af det tidlige palæozoiske sedimentationsforløb. Der er således i Terne-1 identificeret en log-enhed imellem enhederne svarende til *Dictyonema* Skifer og Komstad Kalksten, som ikke kendes fra Bornholm. I den ordoviciske lagserie er det primært skiferenhederne, som forekommer med større tykkelse i Kattegat, end det er kendt fra Bornholm og Skåne.

### Rotliegendes riftsekvens

De ovenfor nævnte vulkaniklastiske sedimenter af Rotliegendes alder må tolkes som en riftsekvens. Den er aflejret i et halvgravssystem, der strækker sig op langs Den fennoskandiske Randzone for ude i Skagerrak at mødes med et tilsvarende system tilhørende Oslo Grav – Bamble Trug komplekset (Ro et al. 1990).

Den gennemborede lagserie i Hans-1 er 662 m tyk, men de seismiske data viser, at sekvensen

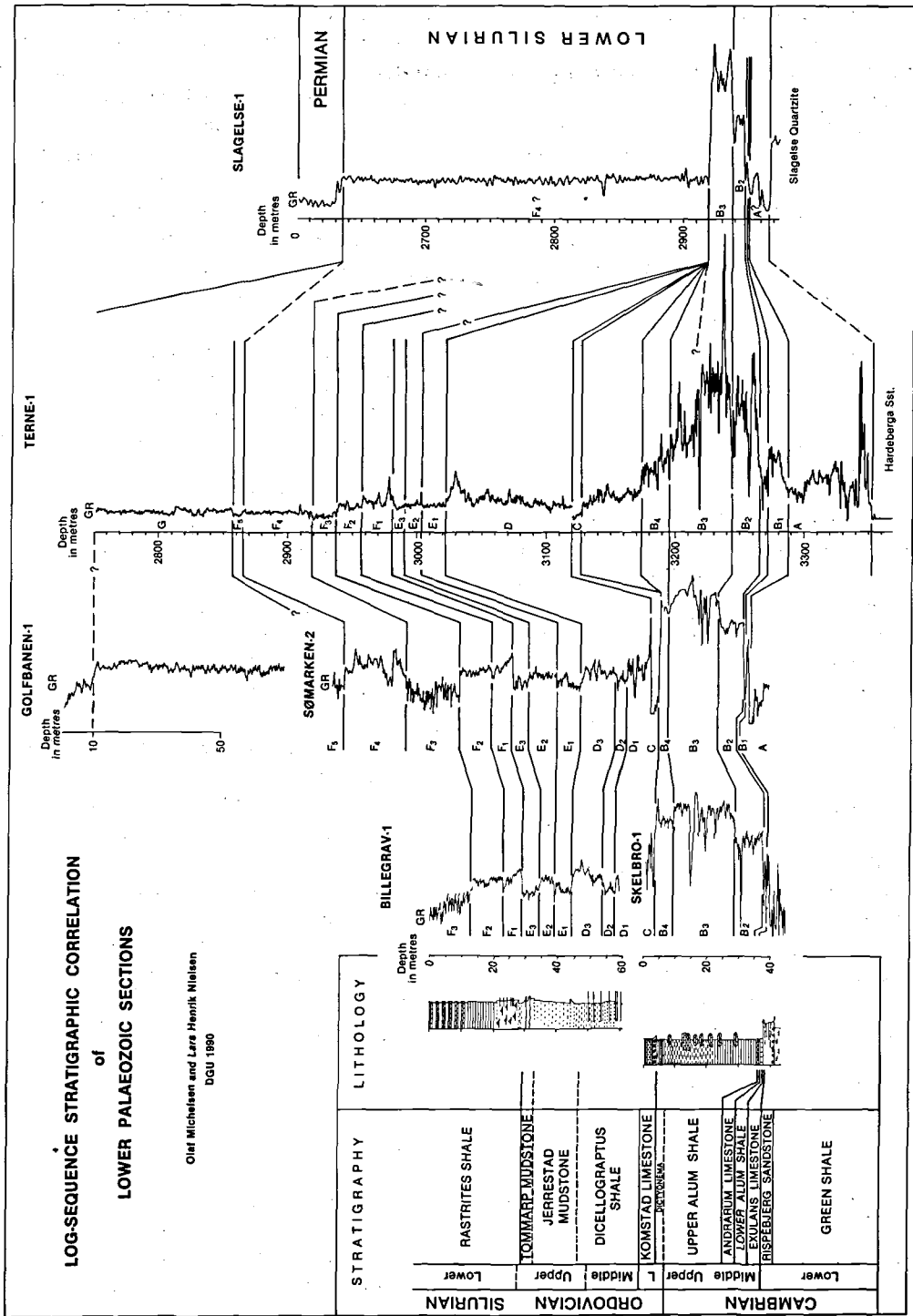


Fig. 3. Korrelation på basis af nedre palæozoiske log-sekvenser i borerne Terne-1 og Slagelse-1 med de korte borer på Bornholm, Billegrav-1, Golfbanen-1, Skelbro-1 og Sømarken-2. Log-sekvenserne i de fire sidstnævnte borer og korrelation med de stratigrafiske enheder kendt fra daglokaliteter på Bornholm er etableret af Pedersen & Klitten (1990). Bemærk forskel i vertikal skala.

Correlation on the basis of log-sequences of the lower Palaeozoic in the Terne-1 and Slagelse-1 wells with the shallow wells, Billegrav-1, Golfbanen-1, Skelbro-1, and Sømarken-2, on Bornholm. The log-sequences of the latter four wells and the correlation with stratigraphic units known from outcrops on Bornholm was established by Pedersen & Klitten (1990). Note the difference in the vertical scales.

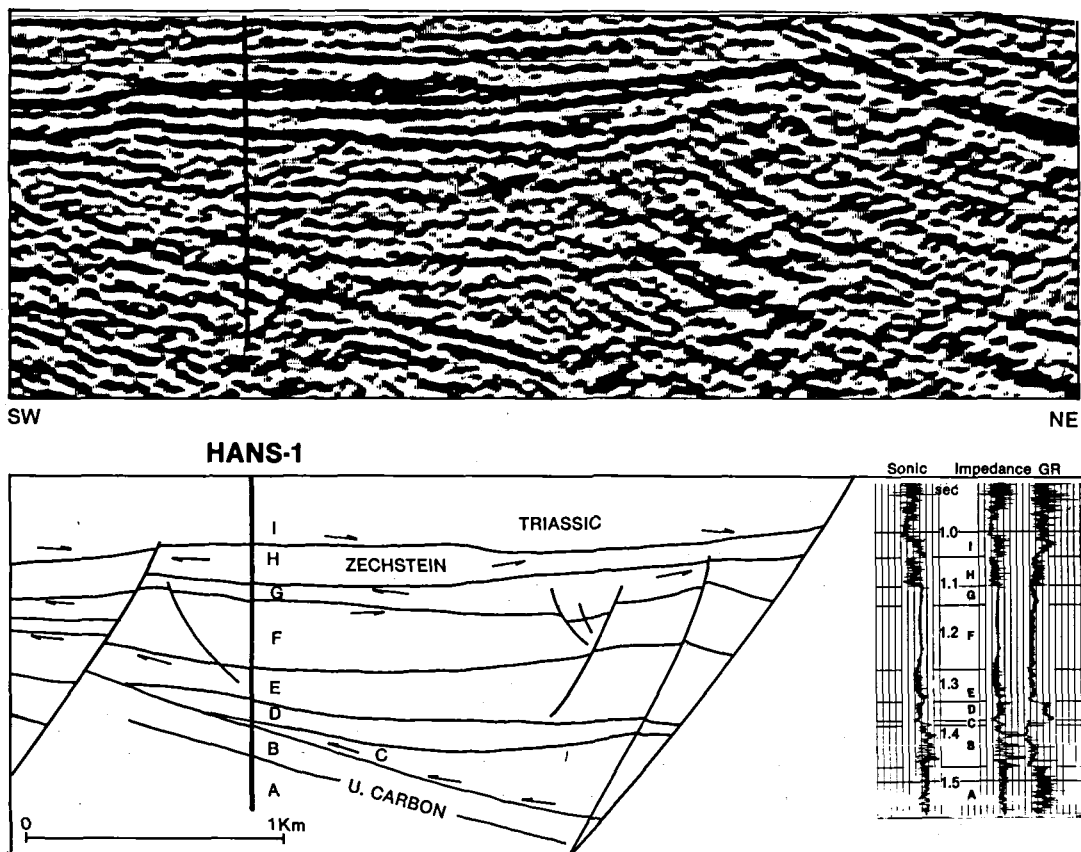


Fig. 4. Den seismiske sektion, K 83-005, gennem boringen Hans-1 viser detaljer af de øvre karbone præ-riftsekvenser (A-B), Rotliegende syn-riftsekvenserne (C-G) og Zechstein-Trias post-riftsekvenserne (H-I). Korrelationen af boringsdata med seismiske data er etableret ved plot af log-målinger mod to-vejs-tider. Valget af de seismiske reflektorer er bekræftet ved konstruktion af et syntetisk seismisk spor. Tolkning af sekvenserne A-H er beskrevet i teksten.

A section of seismic line K 83-005 through the Hans-1 well showing details of the Upper Carboniferous pre-rift sequence (A and B), the Rotliegende syn-rift sequences (C through G), and the Zechstein and Triassic post-rift sequences (H and I). The detailed correlation of well data and seismic data was facilitated by plots of log-measurements against two-way time. The significance of the chosen seismic reflectors was confirmed

by construction of a synthetic seismic tracer. A: a well-bedded unit of sandstones, siltstones, and claystones dipping  $24^\circ$  towards the eastnortheast. B: Extrusive volcanic rocks. C: Corresponds to two 12-13 m thick beds of volcaniclastic rocks interbedded with thin claystone beds in the well. Dipmeter data indicate dip of  $22-24^\circ$  towards east, where the seismic sequence thickens dramatically. D: Red claystones dipping toward the east. E, F, and G: Corresponds in the well to a succession of coarse-grained volcaniclastic rocks, which show gradually decreasing dips upwards to  $4-6^\circ$  at the top of G. The seismic data indicate that these sequences may have covered larger parts of the Fennoscandian Border Zone than the present halfgraben. H: Siliciclastic Zechstein sediments. The depositions was controlled by the Rotliegende structural pattern. I: Lower Triassic deposits.

tiltager i tykkelse mod øst. Boringsdata viser, at laghældningen aftager op gennem sekvensen, fra  $20-24^\circ$  ved bunden til  $4-8^\circ$  ved toppen. Også de seismiske data indikerer en tilsvarende lagkonfiguration, tydende på aflejringer under dannelse af et halvgravssystem. En detaljeret korrelation af boringsdata med seismiske data kan danne grundlag for en underinddeling af sekvensen, og dermed lede til en underinddeling i forskellige rift-begivenheder (fig. 4).

De ekstrusive vulkanske bjergarter i Hans-1 (sekvens B i fig. 4) er overlejret af et 30 m tyk interval af grovkornede vulkaniklastiske bjergarter vekslende med tynde lag af lersten. Dette interval svarer til en seismisk sekvens, som tiltager drastisk i tykkelse mod øst og viser et divergerende reflektormønster (sekvens C i fig. 4). Denne sekvens synes at omfatte proksimale alluvial kegle-aflejringer, repræsenterende starten af forkastningsaktiviteten. Den overliggende se-

kvens omfatter fossilfrie og røde lersten, som dækker fan-aflejringerne med næsten ensartet tykkelse (sekvens D i fig. 4). Lerstenen antages aflejret i et lakustrint miljø, og depocenteret forskydes mod sydvest. Under aflejring af de følgende tre sekvenser (E–G, se fig. 4) forskydes depocenteret først (E) i nordøstlig retning, indicerende fornyet forkastningsaktivitet. Dernæst sker der en forskydning mod sydvest (F), og under aflejring af sekvens G sker der atter en forskydning mod nordøst. De tre sekvenser omfatter grovkornede vulkaniklastiske sedimenter. Det seismiske refleksionsmønster viser et næsten parallelt mønster, men de gentagne forskydninger indicerer variationer mellem intensiteten i forkastningsaktivitet og sedimenttilførsel.

Den varierende geometri fra sekvens til sekvens kan tolkes på følgende måde. Aflejringen af den nederste del (C) af rift-sekvensen var formentlig begrænset til de nuværende halvgrave. Denne grovklastiske aflejring blev dækket af ensartet tykke, finkornede og lakustrine sedimenter. De efterfølgende grovklastiske sedimenter, sekvens E–G, har formentlig dækket større dele af Den fennoskandiske Randzone. Den nuværende udbredelse af disse sekvenser er antagelig kontrolleret af både syn- og post-rift erosion, som har skabt den regionale inkonformitet, der andre steder, f.eks. ved Terne-1, danner overgrænsen af de nedre palæozoiske sedimenter.

Post-rift erosionen og det i Rotliegendes etablerede strukturelle mønster har skabt grundlaget for dannelse af en række småbassiner, hvori siliciklastiske Zechstein sedimenter (kendt fra Hans-1 og Terne-1) er aflejret. På grundlag af de eksisterende data kan det ikke afgøres, om en fornyet erosion har fundet sted før aflejring af de mesozoiske sedimenter, der dækker henover Zechstein aflejringerne og den ovennævnte inkonformitet.

## Litteratur

- Bertelsen F. (1980). Lithostratigraphy and depositional history of the Danish Triassic. *Dann. geol. Unders.*, B 4, 59 pp.
- EUGENO-S Working Group (1988). Crustal structure and tectonic evolution of the transition between the Baltic Shield and the North German Caledonides (the EUGENO-S Project). *Tectonophysics*, 150, 253–348.
- Liboriussen, J., Ashton, P. and Tygesen, T. (1987). The tectonic evolution of the Fennoscandian Border Zone in Denmark. *Tectonophysics*, 137, 21–29.
- Michelsen, O. (1978). Stratigraphy and distribution of Jurassic deposits of the Norwegian-Danish Basin. *Dann. geol. Unders.*, Ser. B 2, 28 pp.
- Michelsen, O. (1989a). Revision of the Jurassic lithostratigraphy of the Danish Subbasin. *Dann. geol. Unders.*, Ser. A 24, 21 pp.
- Michelsen, O. (1989b). Log-sequence analysis and environmental aspects of the Lower Jurassic Fjerritslev Formation in the Danish Subbasin. *Dann. geol. Unders.*, Ser. A 25, 23 pp.
- Michelsen, O. and Nielsen, L. H. (1991). Well records on the Phanerozoic stratigraphy in the Fennoscandian Border Zone, Denmark. Hans-1, Sæby-1, and Terne-1 wells. *Dann. geol. Unders.*, Ser. A, 29, 37 pp.
- Michelsen & Nielsen (in press). Structural development of the Fennoscandian Border Zone, offshore Denmark. *Marine and Petroleum Geology*.
- Mitchum, Jr., R. M., Vail, P. R. & Thompson, S. (1977). Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: Payton, C. E. (ed.): Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration. *The Amer. Ass. Petr. Geol.*, Mem. 26, 53–62.
- Olaussen, S. (1981). Marine incursion in Upper Palaeozoic sedimentary rocks of the Oslo – region, southern Norway. *Geol. Mag.*, 118, 281–288.
- Pedersen, G. K. (1989). The sedimentology of Lower Palaeozoic blackshales from the shallow wells Skelbro 1 and Billegrav 1, Bornholm, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark* 37, 151–173.
- Pedersen, G. K. & Klitten, K. (1990). anvendelse af gammalog vedkorrelation af marine skifre i vandforsyningsboringer på Bornholm. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1987–89*, 21–35.
- Rider, M. H. (1986). *The geological interpretation of well logs*. Blackie, Glasgow and London, 175 pp.
- Ro, H. E., Larsson, F. R., Kinck, J. J. and Husebye, E. S. (1990). The Oslo Rift – its evolution on the basis of geological and geophysical observations. *Tectonophysics*, 178, 11–28.