

Geotermiske reservoirformationer i den danske lagserie

Olaf Michelsen og Finn Bertelsen

Michelsen, O. og Bertelsen, F.: Geotermiske reservoirformationer i den danske lagserie. *Danm. geol. Unders., Årbog 1978*, pp. 151-163. København, 1979.

The report deals with the Triassic, Jurassic, and Lower Cretaceous sequences which comprise the most important reservoirs for the geothermal exploitation started in 1978. The Lower Buntsandstein, the Gassum Formation (Upper Triassic – Lower Jurassic), the Haldager Formation (Middle Jurassic), and the Frederikshavn Member (Upper Jurassic – Lower Cretaceous) are regarded as potential reservoir formations.

Olaf Michelsen and Finn Bertelsen, Geological Survey of Denmark, Thoravej 31, DK-2400 Copenhagen NV, Denmark.

Inden for de senere år er alternative energiformer kommet til at spille en stadig større rolle i debatten om energiforsyningen. I den forbindelse nedsatte Handelsministeriet i november 1976 en arbejdsgruppe med den opgave at vurdere mulighederne for forekomst af varmt vand i Danmarks undergrund med henblik på en udnyttelse af geotermisk energi. På baggrund af den af udvalget udarbejdede rapport, »Udnyttelse af geotermisk energi i Danmark«, København 1977, fik Dansk Olie og Naturgas A/S i 1978 eneretsbevilling til at udføre efterforskning og indvinding i Danmark. I den forbindelse har det været en af Danmarks Geologiske Undersøgelser (DGU's) opgaver at foretage studier af undergrundsformationerne. DGU deltager såvel i efterforskningsarbejde i Aars (Nordjylland) som i de »Landsdækkende Geotermiske Undersøgelser«, der finansieres af Dansk Olie & Naturgas A/S.

Som et resultat af disse opgaver samt af DGU's generelle bearbejdning af data fra undergrunden, er der udarbejdet en lang række interne rapporter og enkelte publikationer. Nærværende artikel er en sammenfattende beskrivelse af lagserien mellem stensaltaflejringerne fra øvre perm og kalkstensen fra øvre kridt, idet denne del af lagserien indeholder i reservoirformationer, der antagelig vil spille en hovedrolle i de kommende års efterforskningsarbejde. Det er hensigten, som et afsluttende led i projektet »Landsdækkende Geotermiske Undersøgelser« at publicere en indgående beskrivelse af reservoirformationerne og deres karakteristika.

Definition og beskrivelse af en del af de omtalte formationer er publiceret af Bertelsen (1978) og Michelsen (1978).

Bassinudvikling

Gennem perioderne perm, trias og jura var det danske område opdelt i to aflejningsbassiner, Det danske Delbassin mod nord og den nordlige del af Det nordtyske Bassin mod syd. Indsynkningen i bassinernes midte har været betydelig, idet seismiske målinger kan afsløre sedimentmægtigheder fra de nævnte perioder på mere end 5-6000 m (fig. 1). Den øst-vestlige tærskel mellem bassinerne, der kaldes Ringkøbing – Fyn Højderyggen, har en kerne af højtliggende grundfjeld, der flere steder er adskilt af nord-sydlige gravsænkninger.

Under perm tiden og den ældste del af trias er det sandsynligt, at dele af Ringkøbing – Fyn Højderyggens grundfjeldskerne har ligget blottet som »øer« og de to bassiner har da været forbundne via de ovenfor nævnte gravsænkninger. Men i

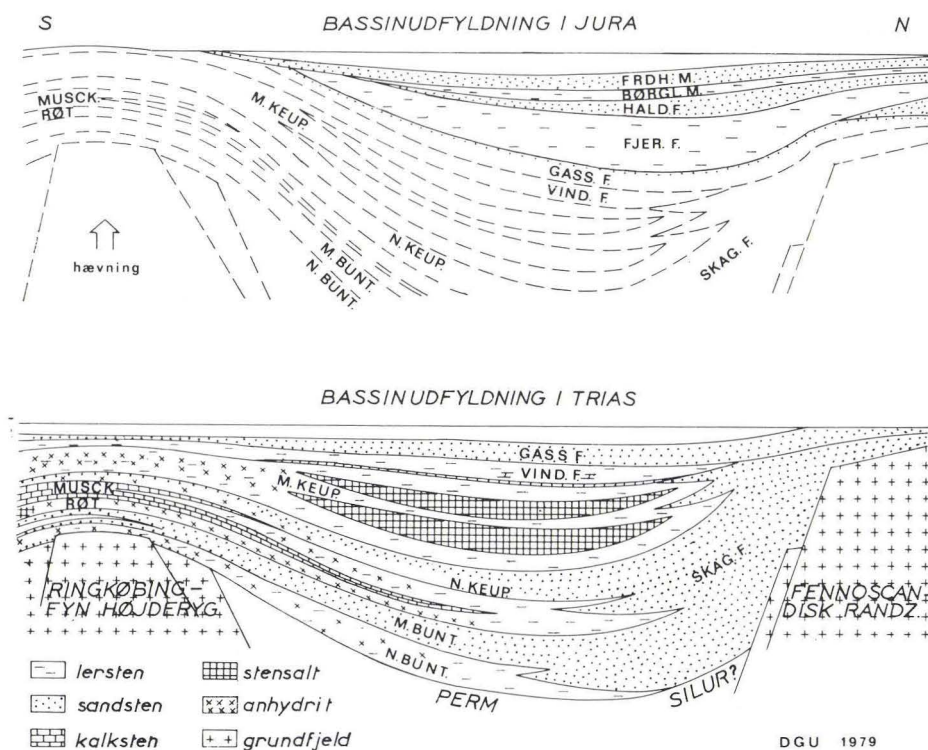


Fig. 1

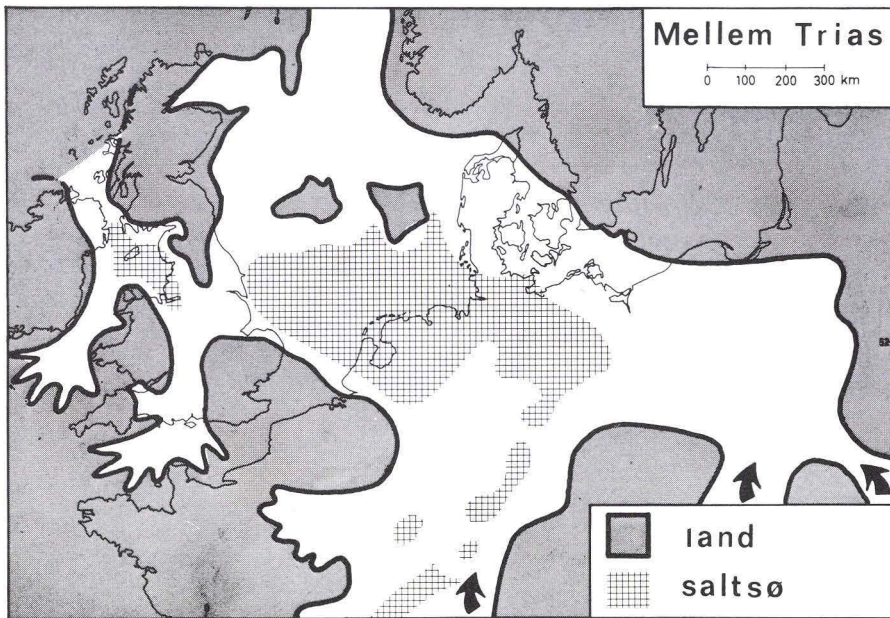


Fig. 2. Det nordvesteuropæiske sedimentationsbassin i mellemste trias-tid. De sorte pile viser de stræder havet benyttede ved sin indtrængen fra det sydligt beliggende Tethys hav.

løbet af mellem trias synker også Højderyggen og der opstår ét sammenhængende aflejringsområde (fig. 2). Indsynkningen af Højderyggen har dog været beskeden sammenlignet med indsynkningen af de egentlige bassiner, idet sedimenterne tynder stærkt ud over denne. Denne udvikling varer ved til udgangen af nedre jura, hvor der sker en større regional hævnning af det danske område. I den efterfølgende fase, mellem – øvre jura, hæves Højderyggen og der finder en intensiv erosion sted over dens centrale dele. Således findes i Glamsbjerg 1 boringen lag fra mellem trias direkte under lag fra nedre kridt. I bassinerne fortsætter indsynkningen. Ved udgangen af øvre jura finder endnu en regional hævnning sted og efter denne fortsætter indsynkningen indbefattende Ringkøbing – Fyn Højderyggen, der således også dækkes af aflejringer fra yngste del af nedre kridt, øvre kridt og tertiær.

Det danske Delbassin har antagelig i øvre perm og nedre-mellem trias været afgrænset mod nord og øst af forkastninger i Den fennoskandiske Randzone. I løbet af øvre trias og jura udvides aflejringsområdet som følge af bassinets opfyldning til større dele af Skagerrak, Kattegat og Sydsverige – hvor langt vides dog ikke, idet senere erosion, blandt andet i forbindelse med de kvartære nedisninger, har slettet sporene.

STRATIGRAFISK STANDARDINDELING AF DET DANSKE SUBBASSIN (Ø.PERM - Ø.KRIDT)

DGU 1979

Finn Bertelsen

SYSTEM	SERIE	ETAGE	FORMATION	MEMBER
KRIDT	Nedre		Ø.Kridt Kalksten	
		Albien	Rødby Formation	
		Autien Barremien Hauterivien Valanginien	Vedsted Formation	
		Berriasien		
JURA	Øvre	Portlandien	Bream Formation	Frederikshavn Member
		Kimmeridgien		Børglum Member
		Oxfordien		
	Mellem	Callovien Bathonien Bajocien	Haldager Formation	Flyvbjerg Member
				Haldager Sand
	Nedre	Aalenien	Fjerritslev Formation	Member F-IV
		Toarcien		Member F-III
		Ø. Pliensbachien		Member F-II
		N. Pliensbachien		
		Ø. Sinemurien		Member F-I
		N.Sin.-Hettangien		
TRIAS	Øvre	Rhaetien	Gassum Formation	Member G ₀ -G ₄
		Norien	Vinding Form.	
		Carnien	Oddesund Formation	Member O ₃
				0 ₂ Evaporit
				Evaporit
	Mellem	Ladinien		Member O ₁
		Anisien	Tønder Form.	
	Nedre	Olenikien	Muschelkalk	
		Jakutien	Röt	
		Brahmanien	Bunter Sandsten	
PERM	Øvre		Bunter Lersten	
			Stensalt	

Fig. 3

Hovedparten af de sedimenter, der i trias-jura tid er aflejret i den danske del af Det nordtyske Bassin og Det danske Delbassin, består af ler, silt og sand, der ensidigt er tilført bassinerne fra nord og øst af skiftende floder og vandløb. Dette indebærer at de mest grovkornede aflejringer generelt skal søges i et bælte langs Det danske Delbassins nord- og østrand. I begge bassiner er trias sedimenterne aflejret oven på stensalt fra perm perioden. I slutningen af trias og i jura perioden har stensalt-lagene undergået forandringer, idet de grundet det øgede tryk fra pålejringen er overgået i en plastisk tilstand og langs svaghedszoner har presset trias-jura lagene op (saltpuder) eller er trængt op gennem disse som saltadiapirer. Den lokale variation i tykkelse og udbredelse af de enkelte trias eller jura lag, der derved er opstået, er ikke indtegnet på kortene i denne artikel.

Trias-jura formationerne

I de følgende afsnit vil trias-jura formationerne blive kort beskrevet med hovedvægt på de aflejringer, der vil kunne være af interesse i forbindelse med udnyttelse af geotermisk energi (fig. 3). Trias formationerne vil i løbet af 1979 blive omdøbt (Bertelsen 1979), således at den germanske navngivning, der er anvendt i det følgende, vil blive erstattet af en dansk. Fejlen ved den tyske navngivning er, at enhederne er anvendt som både tids- og formationsenheder.

Trias lagene

Den nedre triassiske *Buntsandstein* serie repræsenterer en regressiv periode gennem hvilke overvejende kontinental aflejringsforhold var fremherskende i det nordvesteuropæiske sedimentationsområde (fig. 4).

I Buntsandstein var Danmark opdelt i en leret provins, dækkende Det nordtyske Bassin, Ringkøbing-Fyn Højderyggen og den sydøstlige del af Det danske Delbassin, og en sandet provins, dækkende den centrale og nordvestlige del af Det danske Delbassin. Mellem de to provinser er der en gradvis overgang, som er iagttaget i boringerne Rønde 1, Gassum 1 og Mors 1.

I den lerede provins består Nedre Buntsandstein overvejende af rødlig brun og brun, siltholdig lersten med grønlig partier samt spredte forekomster af anhydrit. Mellem Buntsandstein minder om Nedre Buntsandstein, men karakteriseres af forekomsten af (mod syd) 2-3 velafgrænsede lagserier af siltsten og finkornet sandsten, der mod nord går over i én sandet enhed. Tilsvarende lag findes blottede på øen Helgoland i Nordsøen. Den samlede mængde sandsten i Nedre og Mellem Buntsandstein, er mindre end 50% i den lerede provins, og syd for Ringkøbing-Fyn Højderyggen endda mindre end 10%. Øvre Buntsandstein (Röt) repræsente-

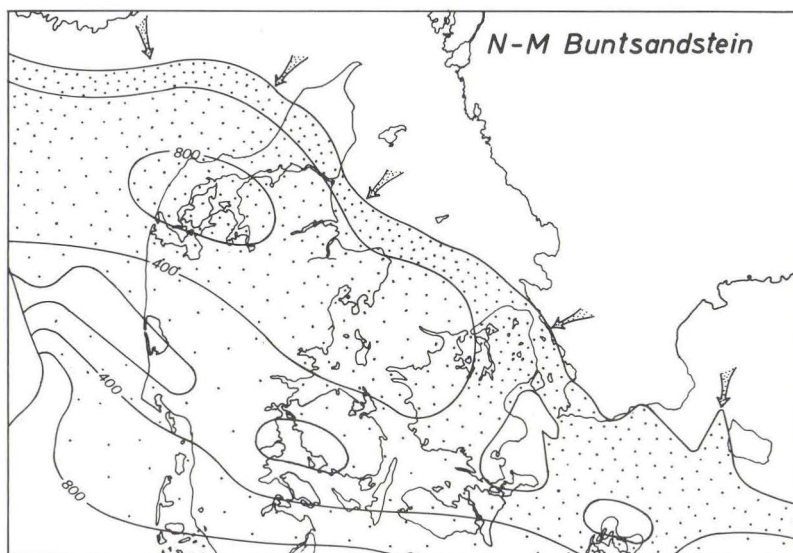


Fig. 4

res af grønlig grå og brunlig lersten vekslende med anhydrit og kalksten, samt sydligst med stensalt.

I modsætning til den lerede provins er lithologien i den sandede provins forholdsvis ensartet bestående af rødlig, leret, arkoselignende sandsten, der kun fremviser en svag influens af Röt transgressionen. Denne facies udgør den nedre del af Skagerrak Formationen, som er betegnelsen for de monotone, sandede, triassiske randaflejringer langs nord- og østranden af Det norsk-danske Bassin.

Buntsandstein serien er mod nord hovedsagelig kontinentale, fluviale aflejringer afsat under aride til semi-aride forhold. Mod syd veksler kontinentale lag med brakvandsaflejringer. Sandfordelingen viser bl.a. at materialet ensidigt er transporteret fra nord og nordøst ind i bassinerne. De bedste reservoirbjergarter findes derfor antageligt i et bælte langs den nordlige og østlige rand af Det danske Delbassin, der flere steder er forkastningsbegrænset, som det bl.a. fremgår af svenske dybdeboringer i Skåne.

Röt seriens nedre del i den lerede provins repræsenterer lavvandede brakt-marine transgressioner kommende fra sydøst. På grund af det tørre, varme klima har vandbalancen i perioder været overvejende negativ, dvs. at fordampningen har været større end vandtilførslen, hvorved de opløste salte er udfældet. Den øvre del af Röt serien er kontinentalt præget og minder i sammensætning om Nedre Buntsandstein. Den har ingen reservoirmæssig betydning.

De mellem triassiske *Muschelkalk* aflejringer består af vekslende lersten, mergelsten og kalksten med spredte forekomster af anhydrit. Sedimentfarven er overvejende grågrøn og grå, sjældnere brun og rødlig. Den nedre del af formationen er generelt rigere på kalksten og denne kalksten er ofte fossilførende. Den øvre del af formationen rummer færre kalksten, der hyppigt er dolomitiserede og anhydritførende, samt stedvis sandede indslag. Syd for grænsen, i Det nordtyske Bassin, forekommer stensalt i den mellemste del af formationen. Mod nord afløses formationen gradvist af Skagerrak Formationens sandsten (fig. 1). *Muschelkalk* formationens nedre lag er marine, medens den øvre del må tolkes som en lavvandet, periodevis tørlagt brakvandsdannelse. Stensaltforekomsterne i Nordtyskland viser, at der er tale om to transgressioner afbrudt af en regressiv inddampningsfase. *Muschelkalk*-havet trængte fra syd ind over det danske område (fig. 2). Formationen har næppe reservoirmæssig betydning, men de jævndrende sandsten i Skagerrak Formationen vil antagelig kunne udnyttes.

Nedre Keuper minder stærkt om Buntsandstein. Formationen består af rødlig brun, brun og grønlig, siltholdig lersten med spredte anhydritindeslutninger, samt øverst i formationen af enkelte velafgrænsede lag af siltholdig, finkornet sandsten, grågrøn og rødbrun, der ofte indeholder fint, forkullet plantemateriale. Mod nord tiltager sandindholdet og formationen går gradvist over i Skagerrak Formationen. *Nedre Keuper* består overvejende af kontinentale dannelser afsat under et tørt, varmt klima. Sandstensdannelserne øverst i formationen tyder på perioder med forøget nedbør. Sandstenslagene er potentielle reservoirer, medens den nedre del af formationen ikke kan tillægges nogen betydning i denne sammenhæng.

Mellem Keuper består af lersten og siltsten, rødbrun, brun og grå med enkelte anhydritindeslutninger og tynde lag af mergelsten og dolomitisk kalksten. I den centrale del af Det danske Delbassin forekommer to veludviklede serier af stensalt. Mod bassinranden afløses de to serier af anhydritrig lersten. Formationen er helt eller delvis borteroderet over dele af Ringkøbing-Fyn Højderyggen. Langs nordranden af Det danske Delbassin fortsatte sandstenssedimentationen (Skagerrak Formationen). *Mellem Keuper* består af vekslende kontinentale dannelser og brakvandsdannelser præget af et varmt og tørt klima. De to evaporitserier viser at fordampningen i to perioder har oversteget vandtilførslen til bassinet.

Under aflejringer af *Mellem Keuper* begynder pudedannelsen i perm saltet og formationen er derfor af uens tykkelse.

I Polen og Tyskland findes udbredte deltaiske sandsten (*Shilfsandstein*) mellem to evaporithorisonter svarende til de danske. Tilsvarende reservoirer er hidtil ikke påvist i Det danske Delbassin og formationen skønnes derfor ikke at have reservoirmæssig betydning.

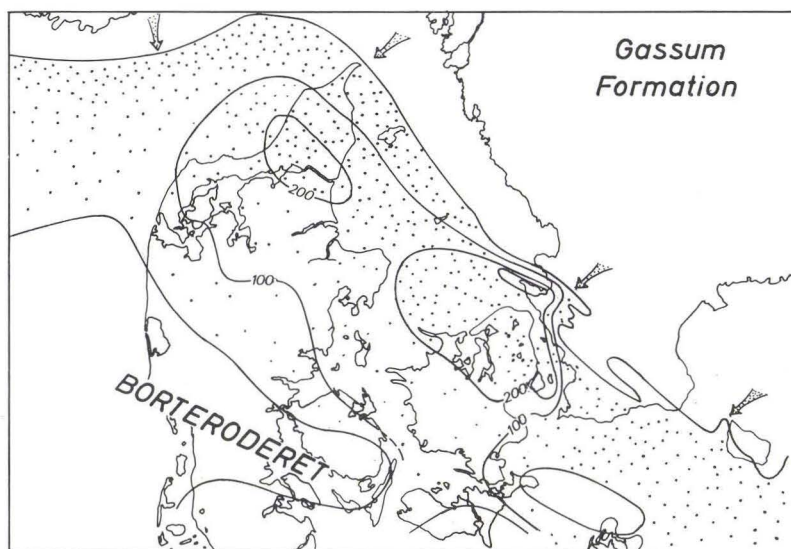


Fig. 5

Vinding Formationen består af vekslende lersten og kalksten. Lerstenen er kalkholdig med et varierende siltindhold. Mørkegrå til sort olivengrå farver dominerer. Anhydrit forekommer sporadisk i den nedre del. Kalkstenslagene findes på bestemte niveauer i serien og kan genkendes fra boring til boring. Nederst i formationen findes grå og brune, dolomitiske kalksten, medens den midterste del karakteriseres af grå og brune, oolitiske kalksten, og den øverste af tynde bånd af dolomitisk kalksten.

Serien er aflejret i brakvand med generelt ringe vanddybde. Medens kystnære forhold med periodisk udtørring synes at have hersket i den tidlige fase, må den øvre del af formationen betragtes som prodelta lersten afsat på noget dybere vand og tilhørende det nedenfor nævnte Gassum delta, som udbyggedes i forbindelse med en klimæændring fra tørre til mere nedbørsrige klimaforhold ved slutningen af triastiden.

Formationen er impermeabel og derfor uden reservoirmæssig betydning.

Gassum Formationen (fig. 5) består overvejende af fint til mellemkornede, lysegrå sandsten, der veksler med mørkere farvede lersten og siltsten. Kullag forekommer spredt. Formationen underdeles i tre enheder (members), men lokalt kan yderligere enheder forekomme. Den nederste enhed (G_1 Member) har gode reservoiregenskaber og er typisk udviklet som en serie, der nederst består af lersten, siltsten og opefter af sandsten med tiltagende grovkornethed. Den overliggende enhed (G_2 Member) domineres af organisk rige mørke lersten med underordnet

forekomster af siltsten og lersten. Den øverste enhed (G_3 Member) består af grå og rødlig lersten overlejret af lyse grønliggrå sandsten og siltsten, der ofte indeholder glaukonit.

Gassum Formationen er tolket som en fluviatil – deltaisk aflejring. G_1 Member må opfattes som aflejringer fra det såkaldte Gassum delta, der i slutningen af trias voksede ud i bassinet. Det drejer sig om delta-front dannelser med tiltagende kornstørrelse op gennem serien i de centrale og sydlige dele af bassinet. Mod top af enheden er sandet aflejret i fletværkskanaler efterfulgt af »kuls vamp« dannelser i afsnørrede bugter og kanaler. G_2 Member ses som brakt-marine aflejringer, der stammer fra en stigning af havniveauet, hvorved deltafladen druknede. Det store indhold af organisk materiale skyldes antageligt et lavt iltindhold ved havbunden. G_3 Member repræsenterer en regressiv fase (faldende havniveau) hvor limniske betingelser kom til at herske i store dele af bassinet. Den øvre glaukonitførende silt- og sandsten i dette member er dog dannet ved den begyndende nedre jurassiske transgression, der førte til dannelsen af Fjerritslev Formationen (se nedenfor). Gassum Formationen er vurderet til at have gode reservoirkarakterer.

Overgangen trias-jura

På overgangen mellem trias og juras starter en fornyet indsynkning af Det danske Delbassin og aflejring af de nedenfor beskrevne marine lersten tager sin begyndelse i den centrale del af bassinet. Aflejring af de fluviatile-deltaiske sedimenter kaldet Gassum Formationen fortsætter mod nordøst i begyndelsen af juras. I Vendsyssel er store dele af Gassum Formationen således af nedre jurassisk alder.

Jura lagserien

Den nedre jurassiske *Fjerritslev Formation* består af ensartede, mørke lersten med et lille og varierende indhold af silt.

Lagserien er en marin shelfaflejring afsat under indsynkning af bassinet. Den nederste del er en lavtvandsserie med tynde kalk- og siltlag aflejret samtidig med dannelsen af den deltaiske Gassum Formation i Vendsyssel. Hovedparten af Fjerritslev Formationen er afsat på dybere vand, medens øverste del atter er en lavtvandssedimentation, der antageligt har fundet sted under lagunale betingelser. Formationen har ikke reservoirmæssig karakter.

Fjerritslev Formationen repræsenterer et begivenhedsforløb som var gældende for hele Nordsø området. Tilsvarende finkornede sedimenter genfindes i en række større eller mindre bassiner. At vi i dag finder disse lagserier i adskilte områder

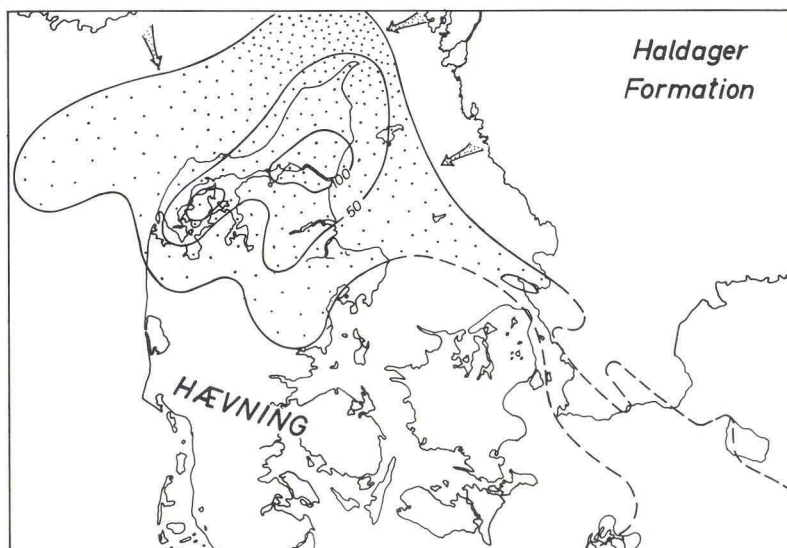


Fig. 6

skyldes dels tilstedeværelsen af delbassiner og dels erosion af lagene i de mellem-liggende områder.

På overgangen nedre-mellem jura hæves således områderne langs Ringkøbing-Fyn Højderyggen og dele af eller hele Fjerritslev Formationen blev bortero-deret. Den relative sænkning af havniveauet i mellem jura medførte at tilførsels-kanalerne mod nordøst byggede et delta ud i bassinet, Haldager deltaet. I denne periode aflejredes deltaaflejringer og kystnære havaflejringer i form af *Haldager Formationen* (fig. 6).

Den nederste del af Haldager Formationen, kaldet *Haldager Sand*, består af lysegrå, fint til mellemkornet sandsten og siltsten, der oftest er homogen og vel-sorteret. Krydslejring forekommer. Tykke lag af sandsten veksler med tynde ler-lag og enkelte kullag. I den nordøstlige del af området, hvor lagserien har sin maximale tykkelse, kan den opdeles i flere underenheder svarende til rytmisk skif-tende aflejringsbetingelser. Den nederste del er tolket som delta-front dannelser og den øverste som afsat i fletværkskanaler. Disse grovkornede sedimenter repræ-senterer antagelig fornyet forkastningsaktivitet langs bassinets nordøstrand. Lag-serien vurderes som havende gode reservoirkarakterer. Haldager Sandet overlej-res af *Flyvbjerg Member*, der er en vekslede lagserie af forholdsvis tynde lag af sandsten, siltsten og lersten. Den repræsenterer hastigt skiftende aflejringsbetingel-ser, der har hersket på delta-fladen ved havets gradvise overskyldning af denne. Umiddelbart ovenpå Haldager Sandet er der aflejret sedimenter af formodet

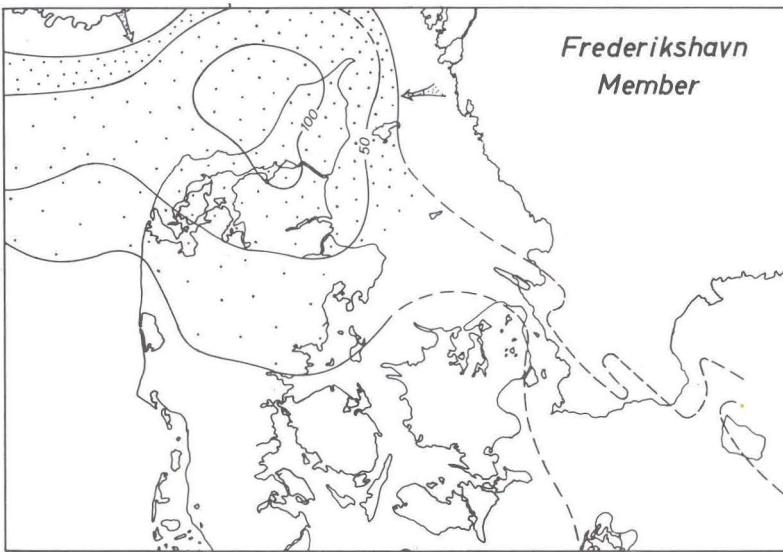


Fig. 7

ikke-marin karakter og derover lavtvands-marine sedimenter, som kan stamme fra en tidevandsflade.

Tilsvarende mellem jurassiske sedimenter er kendt fra andre dele af Nordsø området. Deltaaflejringer, kulførende lag og lavtvands havaflejringer er kendt fra store dele af Nordsøen visende en generel sænkning af havniveauet efterfulgt af en begyndende stigning i slutningen af mellem jura og begyndelsen af øvre jura.

Den øverste del af Flyvbjerg Member er af øvre jurassisk alder, og repræsenterer dermed begyndelsen af bassinets anden indsynkningsperiode i jura. Under denne indsynkning afsættes *Børglum Member*, der er en marin lerstens serie aflejret på den dybere del af shelfen. Den største indsynkning fandt sted i den centrale del af bassinet og mod vest i Nordsøen. Mod nordøst, i Vendsyssel, var der kun tale om en kortvarig periode, hvorefter kystnære littorale deltaiske forhold atter herskede der med aflejring af *Frederikshavn Member* (se nedenfor). *Børglum Member* er uden reservoirmæssig betydning.

Overgangen jura – kridt

På overgangen mellem jura og kridt sker der atter en hævnning af området og mængden af groft materiale, der føres ud i bassinet, stiger, hvorved *Frederikshavn Member* dannes (fig. 7). Serien består af siltsten og finkornet sandsten, der veksler med siltholdig lersten. Tynde lag af kalksten forekommer i den øverste og neder-

ste del af serien. Længst mod nordøst i Vendsyssel findes der få cm-tykk kullag i den øvre del af serien. Lagserien antages at have moderat gode reservoirkarakterer.

Lagserien er overvejende en marin aflejring. Mod øst og nordøst er den meget tyk og repræsenterer et stort tidsinterval, medens den mod vest tynder mærkbart ud og bliver mere finkornet. Lagserien afspejler således en generel sænkning af havniveauet i store dele af øvre jura og nedre del af nedre kridt. Mod nordøst er den nedre og øvre del af serien karakteriseret ved at indeholde fossiler og mineral-korn (glaukonit) stammende fra havet, medens den midterste del indeholder en stigende mængde plantemateriale, der er vasket ud i bassinet fra landområderne mod øst.

Overgangen jura-kridt er generelt en tektonisk urolig periode, og andre steder i Nordsø området ses en kraftig forkastningsaktivitet. Det danske Delbassin synes ikke at have været påvirket i mærkbar grad, men vulkanisk aktivitet i denne periode er dog påvist i Skåne.

Nedre kridt lagserien

I løbet af nedre kridt sker der atter en indsynkning af Det danske Delbassin, og i den sidste del af perioden oversvømmer havet hele det danske område således, at de yngste nedre kridt aflejringer henover Ringkøbing-Fyn Højderyggen hviler på trias lag.

I Det danske Delbassin er *Vedsted Formationen* aflejret over Frederikshavn Member og består af mørkegrå ler- og siltsten. Det er en marin aflejring, der i de kystnære områder mod nordøst veksler med mere grovkornede sedimenter.

Mod slutningen af nedre kridt ændrer sedimentationen karakter på to måder. For det første oversvømmes som nævnt hele landet. For det andet bliver sedimenterne stærkt kalkholdige. Det drejer sig primært om *Rødby Formationen*, som overvejende består af rødbrun mergel. Den dækker hele landet bortset fra Vendsyssel området, hvor den erstattes af grønlig, glaukonitholdige sedimenter. Vedsted og Rødby Formationerne har ingen reservoirmæssig betydning, medens de randnære grønsandstensaflejringer er gode men højtliggende reservoirer.

Hermed er indledt en ny hovedfase, idet Ringkøbing-Fyn Højderyggen atter dækkes af havet. Klimaet bliver atter tørt (tropisk) og havet tilføres derfor kun ringe mængder ler og sand. I stedet bundfældes slamkalk bestående af skeletdele fra planktoniske mikroorganismer, – øvre kridts hvide kalksten.

Litteratur

- Bertelsen, F. 1978: The Upper Triassic – Lower Jurassic Vinding and Gassum Formations of the Norwegian-Danish Basin. – Danm. geol. Unders., Ser. B, Nr. 3.
- Bertelsen, F. 1980: Lithostratigraphy and depositional history of the Danish Triassic. – Danm. geol. Unders., Ser. B, Nr. 4 (in press).
- Michelsen, O. 1978: Stratigraphy and distribution of Jurassic deposits of the Norwegian-Danish Basin. – Danm. geol. Unders., Ser. B, Nr. 2.