

# Zechstein bassinet og saltstrukturer i Nordjylland med særligt henblik på Nøvling og Paarup

IVAN MADIRAZZA



Madirazza, I.: Zechstein bassinet og saltstrukturer i Nordjylland med særligt henblik på Nøvling og Paarup. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1976*, side 57-68. København, 3. januar 1977.

På baggrund af disponible data af geologisk og geofysisk art er udarbejdet et kort over basis af det nordjydske Zechstein evaporitbassin. Saltstrukturernes form og deres placering i dette bassin samt deres mulige dannelsesmåder diskuteres. Der gøres rede for grænserne for saltets flydning (halokinese) i forhold til de (nuværende) dybder til bunden af bassinet. To saltdiapirer, Nøvling og Paarup, som på flere måder ligner hinanden, diskuteres mere indgående. Disse to meget højtliggende diapirer, som er placeret langs den sydvestlige rand af bassinet, udviser i modsætning til de andre nordjydske saltstrukturer meget markante positive tyngdeanomalier. I denne forbindelse præsenteres et Bouguer anomalikort over Nøvling området (udarbejdet af J. Risum). Man kan påvise, at der ved begge disse diapirer er sket kraftig vækst af »caprock«. Dette kan skyldes en fornyet flydning af saltet og/eller en omdannelse af anhydrit til gips i en tidligere dannet »caprock«. Ved Nøvling har denne vækst deformeret en post-Allerød ådal, og ved Paarup har man bl.a. lokaliseret en forkastning, som skærer en sen Weichsel (senglacial?) dal.

Ivan Madirazza, Laboratoriet for Geofysik, Geologisk Institut, Finlandsgade 6, DK-8200 Århus N.

Evaporiterne, især de meget lette C1-salte, er højst inkompetente bjergarter, hvis flydning og deformation kan ske som et resultat af det isostatisk tryk alene og uden påvirkning af de ydre tektoniske kræfter (se f. eks. Arrhenius & Lachmann 1912, Trusheim 1957). Denne deformationsevne øges stærkt med dybden, bl. a. på grund af stigende jordvarme og det vand, som kan fremkomme ved omdannelsen af gips til anhydrit.

Man ved, at der inden for både det NV-tyske såvel som det nordjydske Zechstein bassin fandt saltflydning sted i større stil med efterfølgende dannelse af saltstrukturer, allerede i Keuper, d. v. s. efter aflejringen af ca. 1200-1500 m Nedre og Mellem Trias sedimenter.

De saltstrukturer, der opstår kun på grund af vægten af de yngre, tungere aflejringer, betegner man som halokinetiske. I mange tilfælde har også ydre tektoniske kræfter i større eller mindre grad medvirket til processen af evaporiternes flydning. Saltstrukturer af denne type kan man således betegne som halotektoniske.

Sædvanligvis opstår først en pudestruktur, som kan videreudvikles til en diapir. Flere diapirer, som befinder sig i nærheden af hinanden, kan forenes i forskellige dybder og vokse videre sammen. På denne måde dannes de

såkalde saltvægge, som har langstrakte former og almindeligvis forløber parallelt med konturerne over saltbassinets bund (Trusheim 1957). Man kender adskillige sådanne saltstrukturer fra de dybere dele af det NV-tyske Zechstein hav. Saltstrukturernes i de dybeste, normalt også mere centralt placerede områder i et sedimentationsbassin er som regel de ældste, mens deres alder aftager mod bassinets randområder (Sannemann 1968).

På baggrund af de kendte og disponible data af geologisk og geofysisk art, dels fra landjorden og dels fra Nordsøen, er de strukturelle hovedtræk af Zechstein bugten i Nordjylland blevet rekonstrueret som vist på kortet, fig. 1. Udformningen af denne arm af Zechstein havet var betinget af den fennoskandiske randzone i nordøst og af Ringkøbing-Fyn horsten i sydvest.

Konturerne på kortet angiver dybden til basis af det bassin, hvor Zechstein evaporiterne udfældedes. Dette er naturligvis et stærkt forenklet billede, da bassinet må være gennemskåret af mange mindre og større forkastninger, især langs de to randzoner hvor de ældre Palæozoiske og Prækambriske bjergarter ligger betydeligt højere end inden for de mere centrale områder. Man har derfor valgt at tegne den første dybdekurve ved 3000 m.

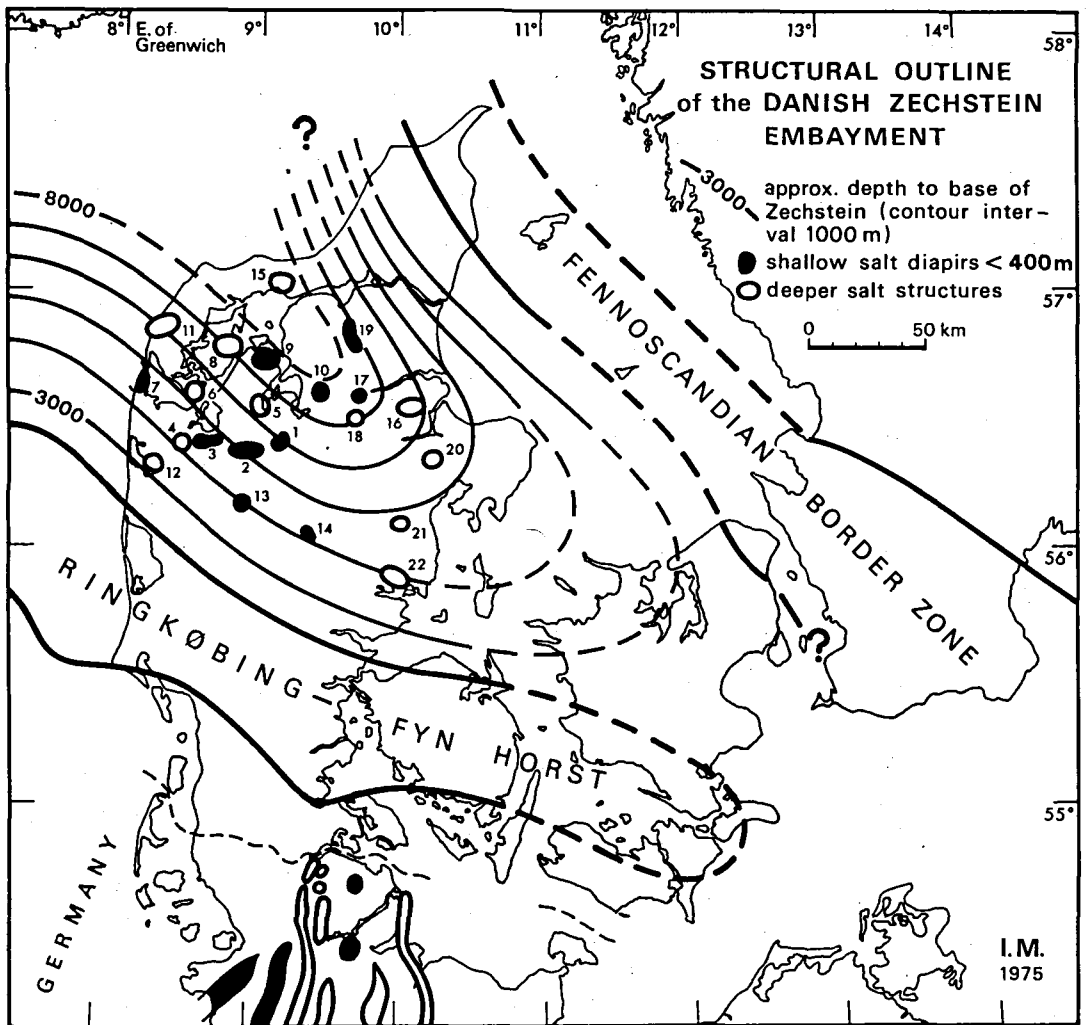


Fig. 1. Strukturkort over Zechstein evaporitbassinet i Nordjylland. Kurverne (interval 1000 m) angiver dybderne til basis af Zechstein. Højtliggende diapirer (< 400 m til saltet): 1: Mønsted, 2: Sevel, 3: Vejrum, 7: Harboøre, 9: Batum, 10: Tostrup, 13: Nøvling, 14: Paarup, 17: Hvornum, 19: Suldrup. Dybereliggende saltstrukturer (se side 60): 4: Linde, 5: Skive, 6: Uglev, 8: Mors, 11: Legind, 12: Gørding, 15: Fjerritslev,

16: Gassum, 18: Z-2, 20: Voldum, 21: Harlev, 22: Horsens. NV-tyske saltstrukturer efter Jaritz (1972).

The Zechstein evaporite basin in northern Jylland. Contours (interval 1000 m) indicate depths to base of Zechstein. Shallow diapirs (< 400 m to salt): 1-3, 7, 9-10, 13-14, 17, 19. Deeper salt structures (see p. 60): 4-6, 8, 11-12, 15-16, 18, 20-22. Names of localities (structures) in the Danish text above. Salt structures in northern Germany after Jaritz (1972).

Som det fremgår af kortet, har bassinet en noget usymmetrisk form, da dets akse ligger nærmere dens nordøstlige end dens sydvestlige grænse. De dybeste dele af bassinet er således ikke de mest centralt placerede, og de største dybder forekommer åbenbart under de centrale dele af Limfjorden, d. v. s. det nordlige Mors, Fur og i området omkring Fjerritslev. Da man mangler tilstrækkelig kontrol fra disse dele af bassinet, er beliggenheden af

den dybeste indtegnede kurve (8000 m) temmelig usikker. Men det er dog sandsynligt, at bunden ligger endnu dybere, især umiddelbart »off-shore« i den NV-lige retning (se Sorgenfrei 1969). Mod SØ er konfigurationen af bassinet mindre kendt og rekonstruktionen af disse områder mindre pålidelig. Dette gælder især forbindelsen med det polske Zechstein bassin. Det kan dog ikke betvivles, at bassinets bund er stærkt stigende mod SØ, således at dybderne

mellem Djursland og Sjælland er mellem ca. 5000 m og 3000 m.

På baggrund af de geologiske og geofysiske – først og fremmest gravimetriske og refleksionsseismiske – oplysninger ved man, at de nordjydske saltstrukturer i langt de fleste tilfælde har et cirkulært til ovalt omrids (se f. eks. Madirazza 1970). I Nordjylland kom det ikke til udvikling af de lange saltvægge, som kendes bl. a. fra NV-tyskland, og som delvis kan ses på kortet, fig. 1. Selv i de dybeste dele af det nordjydske bassin finder man kun enkelte store, runde til svagt ovale saltdiapirer, over hvilke der målttes mere eller mindre stærke negative gravimetriske anomalier, som f. eks. Nykøbing, Uglev, Batum (Saxov 1956, Sorgenfrei & Buch 1964). Her kan det nævnes, at saltstrukturen ved Skive var den første struktur i Nordjylland fundet ved gravimetriske målinger (Nørgaard 1939). Suldrup diapiren minder mest om en mindre saltvæg, da den har en tydelig langstrakt form og åbenbart er vokset parallelt med konturerne over bassinets bund. Der er ingen grund til at antage, at Paarup, Nøvling og Gørding diapirer er vokset op fra en fælles saltvæg, som postuleret af Lind & Ramberg (1968). De tre strukturer, som ligger østligst i Jylland, er Voldum, Horsens og Harlev (der henvises henholdsvis til Lykke Andersen & Schrøder 1974, Baartman & Madsen 1974, Lykke Andersen & Tychsen, se dette hæfte s. 69–73).

I den sydlige del af bassinet forekommer en meget aflang saltdiapir – Sevel (se fig. 1). Få kilometer mod vest og lidt nordligere end den findes en anden langstrakt og højtliggende saltstruktur – Vejrum, og i næsten direkte fortsættelse af denne en noget dybere liggende saltdiapir – Linde. Linierne Sevel og Vejrum-Linde har næsten parallelle Ø-V retninger. Men der består ingen parallelitet mellem disse retninger og Zechstein bassinet, som her har et tydeligt NV-SØ forløb. Derfor er det usandsynligt, at man her har at gøre med saltvægge, da disse ifølge definition har en form og beliggenhed, som er betinget af konfigurationen af bassinets bund. Det vil derfor være mere nærliggende at søge årsagen til disse strukturers placering og deres form i den dybere tektonik i præ-Zechstein bjergarterne.

Angående Vejrum blev det tidligere påpe-

get (Madirazza 1975), at der under de højeste dele af denne komplekst opbyggede diapir muligvis findes en forkastning, som skærer basis af Zechstein. På de refleksionsseismiske isokronkort svarende til toppen af Nedre Kridt og toppen af Mellem Keuper, har Baartman (1973: fig. 7, 8) lokaliseret meget fremtrædende Ø-V strygende forkastninger, som forløber parallelt med Sevel diapiren i hele dens udstrækning.

Der målttes tre refleksionsseismiske profiler i S-N retning, som også krydser Sevel diapiren. Deres forløb er vist i Baartman (1973). Ved nærmere betragtning af disse tre seismiske profiler, som venligst var stillet til rådighed af DGU's Geofysiske Sektion, er forfatteren kommet til den opfattelse, at der under de højeste dele af denne diapir findes antydninger af en forkastning, langs hvilken bunden af Zechstein er nedforkastet mod nord. Denne forkastning forløber formentlig under Sevel strukturen i hele dens længde og er også parallel med de ovenfor omtalte forkastninger, som skærer de to yngre horisonter.

Alt dette tyder på, at i tilfældet Sevel og Vejrum-Linde har vi at gøre med saltstrukturer, som er opstået på grund af tektoniske impulser i præ-Zechstein bjergarterne, og at deres vækst og form er betinget af dybere tektoniske kræfter. Derfor kan denne gruppe af saltstrukturer betragtes som hørende til den halo-tektoniske type.

Af kortet, fig. 1, fremgår det også, at ingen saltstrukturer, med Gørding som en enkelt undtagelse, findes på den lavere side af 4000 m dybdekurven. Man kan heraf slutte, at grænsen for halokinesen i det nordjydske bassin forløber nogenlunde langs denne kurve. Det er følgerlig muligt, at flere, indtil nu ukendte, saltstrukturer eksisterer, hvor dybderne til basis af Zechstein er mellem ca. 4000 m og 5000 m, d. v. s. især på Djursland og i Århus Bugten samt i Kattegat mellem Djursland og Sjælland. I denne forbindelse henvises også til artiklen af Lykke Andersen & Tychsen, dette hæfte, s. 72, hvor man på baggrund af refleksionsseismiske målinger i Århus Bugten og Kattegat har lokaliseret et område, hvor overfladen af Danien kalksten udviser et stærkt relief. Dette relief tolkes som opstået i kraft af halokinetiske processer.

På grund af den omtalte asymmetriske form af bassinet er bundens gradient i dets nordøstlige del betydeligt stejlere end i dets sydvestlige del. Dette gælder især de dybeste NV-lige områder af bassinet, hvor bundens gradient NØ for bassinets akse er ca. 6°, mens bunden SV for akse hælder med kun ca. 3°.

På kortet har man valgt at betegne som »højtliggende« de strukturer, hvor toppen af saltet befinder sig i en maksimal dybde af 400 m. Sådanne strukturer, som alle er diapirer, er indtegnet i sort, mens de strukturer, hvor saltet ligger dybere, er markeret med åbne cirkler. En del af disse er også diapirer, som f. eks. Fjerritslev, Z-2, Uglev, Nykøbing, Linde, Gørding. Ved Skive er dybden til saltet meget stor (over 1500 m), og det ser ud til, at denne saltstruktur er en kombination af en diapir og en pude (oplyst ved samtaler med geologer fra eksplorasjonsafdelingen ved Dansk Boreselskab A/S). Om de andre dybere liggende saltstrukturer har man kun få oplysninger til rådighed; men det mest sandsynlige er, at det i disse tilfælde drejer sig om nogle mere eller mindre dybtliggende strukturer af pudetype.

Det er påfaldende, at langt de fleste kendte saltstrukturer befinder sig i bassinets sydlige, mindre stejle del. En forklaring på dette noget usædvanlige billede skal muligvis søges i den omtalte asymmetriske form af bassinet og den betydelige forskel mellem gradienten i dets nordøstlige og dets sydvestlige del.

#### Nøvling og Paarup saltstrukturer – generelt

I det følgende skal vi beskæftige os lidt mere indgående med to meget højtliggende saltdiapirer: Paarup og Nøvling.

De to strukturer ligner i flere henseender hinanden. De er begge placerede langs den sydvestlige rand af evaporiternes sedimentationsbassin (Gørding er den eneste saltstruktur, som muligvis ligger endnu mere periferisk), og dybden til basis af Zechstein er i begge områder omkring 4000 m. Begge disse saltdiapirer befinder sig klart uden for Weichsel hovedopholdslinien: Nøvling som den eneste saltstruktur i Jylland i det gamle Saale landskab på Skovbjerg bakkeøen, og Paarup nogle få kilometer vest for Hovedopholdslinien. Den største del af Paarup ligger inden for græn-

serne af en gammel (Saale?) dal, hvis bund består af Weichsel afsmeltningsaflejringer.

Begge disse diapirer befinder sig langt inde i det Miocæne sedimentationsområde, hvor lag af glimmersilt, sand og ler forekommer under de Kvartære aflejringer. Man har udført meget detaljerede gravimetriske opmålinger ved både Paarup (Lind & Ramberg 1968) og Nøvling (Risum, se s. 61 i denne artikel). Over begge strukturer måltet meget stærkt positive gravimetriske anomalier, et fænomen; som indtil nu ikke har været konstateret over nogen af de andre nordjydske saltstrukturer. På grund af disse målinger samt de geologiske data fra borerne ved man, at »caprock« i begge områder ligger meget højt, og at den har intruderet de Miocæne, og i hvert fald ved Nøvling, de Kvartære aflejringer.

Alt dette gør disse strukturer særligt velegnede til studier af Pleistocæne samt eventuelt Holocæne tektoniske bevægelser, som enten direkte eller indirekte (som f. eks. gennem indstyrning af terrænet på grund af opløsning af saltet, væksten af »caprock« etc.) skyldes saltstrukturernes tilstedeværelse.

Teoretisk set kan positive gravimetriske anomalier over saltstrukturer være forårsaget af flere faktorer som f. eks. en højtliggende »caprock« af relativt stor tykkelse, formen og konsistensen af caprockmassen i forhold til den øvre del af saltsøjlen, mineralsammensætningen af »caprock«, og sidst men ikke mindst typen af de intruderede aflejringer.

Ved både Paarup og Nøvling ser det ud til, at en kombination af flere af de nævnte faktorer er bestemmende for de stærkt positive gravimetriske værdier, først og fremmest en højtliggende »caprock« og typen af de intruderede aflejringer. De porøse, ikke-hærdnede Miocæne og Kvartære aflejringer, som forekommer i disse dele af Jylland, kan indtil visse dybder (flere hundrede meter) være lettere end selve den omkrystalliserede saltmasse, som danner saltdiapirer. Sådanne vægtfyldkontraster kan forventes at være endnu større i de områder, som ved Paarup og Nøvling, der ikke har været udsat for den sidste – Weichsel – ismasses konsoliderende effekt.

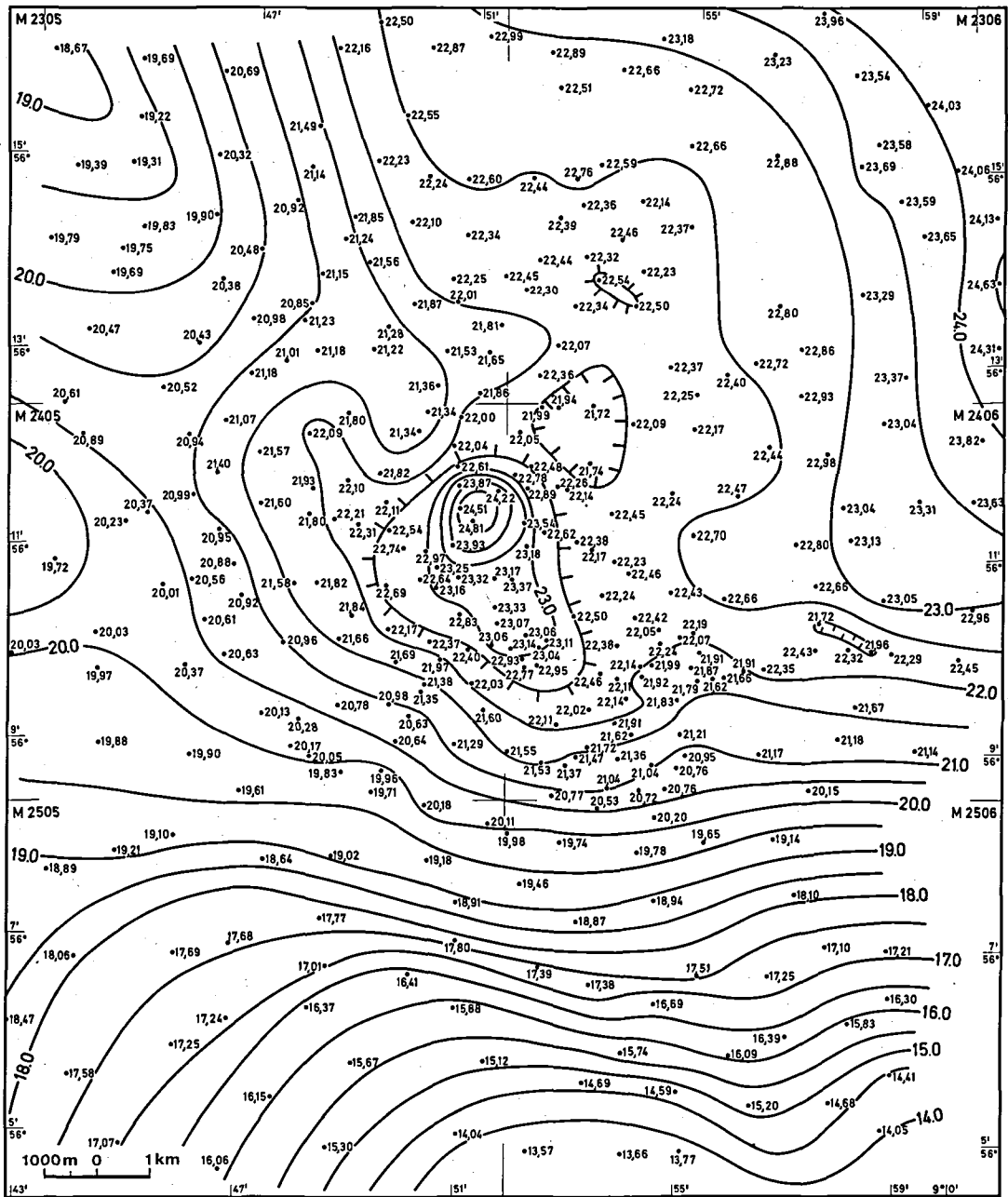


Fig. 2. Bouguer anomalikort over området ved Nøvling saltstrukturen (udarbejdet af J. Risum). Kurveinterval 0,5 mgal. Bemærk den stærkt positive anomali i det centrale parti af kortet.

Bouguer anomaly map (J. Risum) of the Nøvling salt structure area. Equidistance 0.5 mgal. Notice the pronounced positive anomaly in the central part of the map.

**Nøvling salt diapir**

Fig. 2 viser et Bouguer anomalikort udarbejdet af Jørgen Risum på baggrund af et stort antal målinger i Nøvling saltstrukturens område. Ifølge de refleksionsseismiske isokronkort

(Baartman 1973: fig. 7, 8) og Bouguer anomalikortet, fig. 2, synes der her at være tale om en meget stor dybtliggende saltstruktur, fra hvilken en mindre diapir – Nøvling – er vokset op og næsten nået til overfladen.



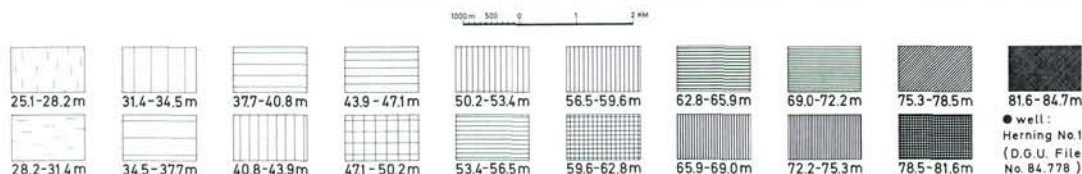
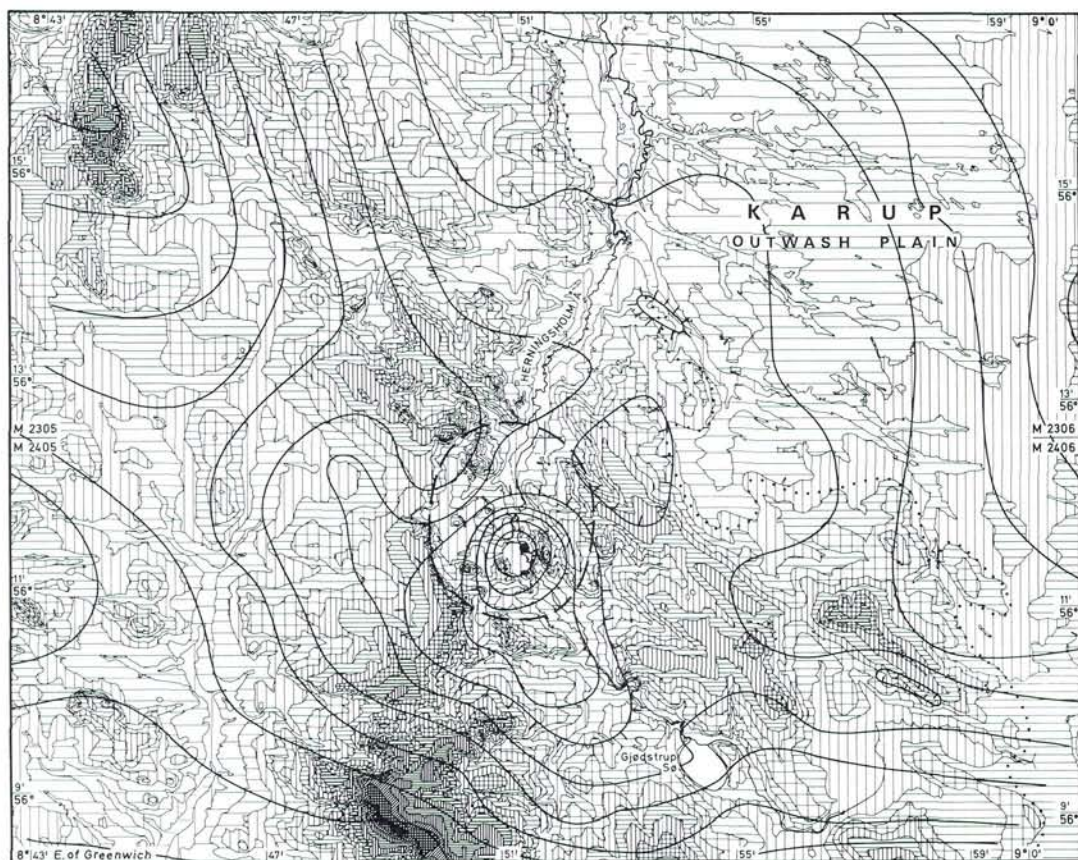


Fig. 3. Tyngdekurver fra fig. 2 overført til det geomorfologiske kort. Toppen af Nøvling diapiren, afgrænset ud fra det geomorfologiske billede (Madirazza 1970) har et svagt ovalt omrids. Den punkterede linie markerer grænsen mellem Karup hedeslette og Skovbjerg bakkeø (efter Madsen 1921).

The isogals from fig. 2 transferred to the geomorphologic map. The limit of the Nøvling diapir, which has a slightly oval outline, was defined on the basis of the geomorphology (Madirazza 1970). The dotted line marks the boundary between the Karup outwash plain and Skovbjerg hill island (after Madsen 1921).

Tyngdekurverne er overført til det geomorfologiske kort i fig. 3.

Det blev tidligere påpeget af forfatteren (Madirazza 1970), at Nøvling salt diapirens område kan »aflæses« i det geomorfologiske billede. Her, i et modent Saale landskab, karakteriseret ved høje langstrakte rygge med NV-SØ trend, forekommer en skarpt markeret, svagt oval lavning, som tydeligvis skærer disse landformer. Endvidere viste karteringen, at inden for et mindre område over den sydlige del

af diapiren er terrasser i Herningsholm ådal deformerede og opadbøjede, samt at der også her forekommer nye terrasser. Disse anomale geomorfologiske træk findes netop og kun i området med den stærkt positive gravimetrisk anomali.

For at forklare sådanne usædvanlige høje positive gravimetrisk værdier over saltstrukturer er det nødvendigt at antage en meget højtliggende »caprock« bestående næsten udelukkende af sulfatminerale. Det kan forven-

tes, at denne »caprock« indeholder bl. a. mineralet anhydrit, da anhydriten med en vægtfylde på ca. 3,0 er det tungeste af alle mineraler, som normalt danner en »caprock«-masse. Sådant en meget sulfatrig sammensætning af »caprock« ved Nøvling (og det samme kan siges at gælde ved Paarup) skyldes sandsynligvis de oprindelige store mængder af sulfatminerale i denne del af evaporitbassinet, da sulfatfacies som regel er betydeligt mere fremtrædende i de periferiske end i de mere centrale dele af et sådant bassin.

En boring blev i 1947 udført af DAPCO (The Danish American Prospecting Co.) i bunden af Herningsholm ådalen inden for området med den stærkt positive gravimetriske anomali (se fig. 3). I denne boring – DGU ark. nr. 84.778 (Herning nr. 1), slutdybde ca. 126 m – blev grænsen mellem Kvartæret og »caprock« bestemt til at ligge i en dybde af ca. 58 m. Derefter og indtil slutdybde fandtes gipskrystaller i meget store mængder. I en rapport skrevet af Aksel Nørvang (DGU) nævntes bl. a., at ved visse niveauer i denne boring var vandets indhold af NaCl relativt stor. Nørvang mente, at den sandsynligste forklaring på dette var, at man havde gennemboret et porøst lag indeholdende saltvand ved en (maksimal) dybde af 81,5 m. Anhydriten nævnes ikke i borejournalen, men det kan ikke udelukkes, at også dette mineral forekommer som en bestanddel af »caprock« under slutdybden.

Forøgelsen af »caprock«-massen kan ske både i kraft af en fortsat flydning af saltet mod jordoverfladen og ved omdannelsen af anhydrit til gips ved kontakt med grundvandet inden for en eksisterende »caprock«. Man skal huske, at denne omdannelsesproces medfører en meget betydelig forøgelse af volumen således giver 1 m<sup>3</sup> anhydrit + vand 1.62 m<sup>3</sup> gips. Som det fremgår af kortet, fig. 3, er dette mindre område, hvor den sidste kraftige vækst af »caprock« fandt sted, ikke koncentrisk placeret i forhold til den lavning, som forekommer over toppen af Nøvling diapiren, og som markerer området med den sidste opløsning af store saltmasser. Dybden til saltspejlet kendes ikke, men på baggrund af disponible data af geologisk og geofysisk art anser forfatteren det for mest sandsynligt, at saltet ikke ligger dybere end ca. 150 m.

Det er almindeligt kendt, især på basis af studier af NV-tyske saltstrukturer, at de opadgående flydninger af saltet, som skete i løbet af Kvartæret, og som resulterede i hævnings – »doming« – af terrænet, hovedsagelig fandt sted under meget kolde klimatiske forhold. Særligt gunstige betingelser eksisterede således under et periglacialt klima, når grundvandet var permanent frosset indtil en vis dybde og derfor ikke var i stand til at opløse de stigende saltmasser. Når klimaet forbedredes, og grundvandet begyndte at cirkulere påny, kunne de øverste dele af de højtintruderede salt-diapirer igen opløses. Et varmere klima medførte således en indstyrtning af tidligere hævede landmasser over sådanne salt-diapirer (se f. eks. Gripp 1958).

Noget lignende må være sket også ved Nøvling. Her har opløsningen af saltet en post-Saale alder, da den cirkulære skrænt, som især er tydelig langs den nord-, vest- og sydlige side af diapiren, skærer de tilgrænsende høje Saale landformer. Men indtil nu har det ikke været muligt direkte at påvise, under hvilket post-Saale varme tidsafsnit opløsningen fandt sted. Der er dog flere tegn på, at denne lavning er af relativ ny dato, da den er skarpt markeret i terrænet og dens stejle vægge kun er lidt påvirket af erosion. Terrænet på bakkeøen fik dens nuværende udformning under Weichsel istiden i perioder, hvor de forskellige periglaciale processer, som f. eks. jordflydning, stadigvæk var aktive. Det er således usandsynligt, at lavningens dannelse kan føres tilbage til den sidste – Eem – interglaciale tid. Det kan dog ikke udelukkes, at opløsning af saltet eventuelt skete under en af de varme Weichsel interstadiale perioder.

For flere år siden har DGU udført et antal (min. ca. 20 m dybe) boringer i dette område, flere af dem inden for lavningen over diapiren. Nogle af disse boringer nåede ned i Mio-cæne sedimentter, men i ingen af dem blev der registreret hverken Eem eller andre aflejringer, som kunne henføres til et varmt tidsafsnit i Weichsel. For nylig har forfatteren ved hjælp af mange kortere boringer inden for lavningens grænse truffet et kontinuerligt, max. 20 cm mægtigt, tørvelag i en max. dybde af ca. 2 m. Man har bestemt alderen af dette tørvelag til  $11.690 \pm 150$  år f. 1950 (K-1845,

Kulstof-14 Dateringslaboratoriet i København), d. v. s. at det formentlig stammer fra begyndelsen af Allerød.

På baggrund af de samlede geologiske og geomorfologiske data anser forfatteren det for mest sandsynligt, at opløsningen af saltet med efterfølgende indsynkning af Saale terrænet over toppen af saltdiapiren skete under et af de første senglaciale tidsafsnit som f. eks. Bølling, da permafrosten mod slutningen af den sidste istid først forsvandt fra disse dele af Jylland. Da man ved fra de omtalte borer, at de præ-Kvartære sedimentter ligger dybest i de NV-lige og vestlige dele af lavningen, kan man slutte, at saltet oprindeligt trængte højest op netop inden for disse dele af diapiren, samt at indsynkningen, som fulgte opløsningen, har været størst her. Man kan således også forklare, hvorfor opfyldning og sedimentation hovedsageligt skete i disse dele af lavningen, mens erosion var den dominerende proces i de noget højere SV-lige og sydlige områder. Herfra blev materialerne ført væk og aflejret på de lavere steder i nord.

Et foreløbigt pollen-diagram af Allerød tørvelaget samt af hele den fint lagdelte sedimentserie (undtagen den øverste ca. 0,5 m), som hviler på tørven, har været udarbejdet af mag. scient. Else Kolstrup, Hugo de Vries-Laboratorium, Amsterdam. Som det tidligere har været refereret af forfatteren (foredrag i Dansk Geologisk Forening 4. maj 1974, Århus) kan dette diagram korreleres med det komplette Allerød pollen-diagram (zone II a & b) fra f. eks. Bølling Sø (se Iversen 1942). Det blev således vist, at hele den lagdelte post-tørve sekvens fra Nøvling også har Allerød alder. Dette betyder, at vandstanden efter dannelsen af tørvelaget i begyndelsen af Allerød tiden steg inden for lavningen, hvor der blev dannet en sø. Materialerne fra de tilgrænsende, højere områder aflejreredes gradvis i et lakustrint miljø under resten af Allerød tiden. Søen blev først dræneret i slutningen af denne tid. Aflejringer fra Yngre Dryas, med mulige undtagelser af lokal marginal jordflydning og tynde flyvesande, mangler åbenbart inden for Allerød søens område.

Åbningen af søen og dens udtømning kunne udmærket have haft salttektoniske årsager, som f. eks. bevægelser langs eventuelle æl-

dre forkastninger eller dannelsen af nye. På dette tidspunkt dannedes Herningsholm Å. Det var utvivlsomt ad denne vej, at vandet fra søen blev dræneret. Derefter dannedes terrasserne i Herningsholm ådalen og en stærk indskæring af åen til den lokale erosionsbasis mod nord – Karup hedesletten – fandt sted. Den nuværende åbund ligger således ca. 6–7 m under Allerød tørven.

Den kraftige erosion må hovedsagelig være sket under Yngre Dryas. Erosionen foregik samtidig med den stærke vækst af »caprock«, hvilket, som omtalt ovenfor, fremgår af terrassernes deformation, som kan iagttages i området med den stærkt positive gravimetriske anomalie. Bunden af den nuværende ådal er også smallest her, mens den samme dal er veludviklet og betydelig bredere både oven- og neden for dette område.

#### Paarup saltdiapir

Som allerede nævnt, ligner denne diapir på flere måder Nøvling saltdiapiren. Begge disse strukturer ligger i den sydvestlige randzone af det nordjydske Zechstein bassin, hvor dybden til basis af Zechstein er omkring 4000 m. I begge områder målttes meget stærke positive gravimetriske anomalier.

Ved Paarup, ifølge Lind & Ramberg (1968), andrager den positive tyngdeanomalie, som angiver »caprock effect«, en usædvanlig høj værdi af + 4,7 mgal. Denne anomalie er overført til det geomorfologiske kort i fig. 4.

En dybere boring – DGU ark. nr. 86.46 (Paarup nr. 1), slutdybde 183 m – blev i 1948 udført i dette område. Men i modsætning til den omtalte boring ved Nøvling er denne boring placeret uden for det område, hvor man kan forvente, at »caprock« ligger højest. Her blev ingen »caprock«-materialer truffet, men kun de Kvartære aflejringer bestående hovedsagelig af sand og grus (ifølge borejournalen kunne det ikke udelukkes, at man i en dybde af ca. 130 m nåede ind i de Miocæne aflejringer).

Som det fremgår af kortet, fig. 4, består der en tydelig overensstemmelse mellem den positive anomalie og topografien. Især i området, hvor de stærkeste, centrale dele af anomalien findes, falder de topografiske kurver ganske nøje sammen med tyngdekurverne. Bunden af den brede dal, som forløber i SØ-NV



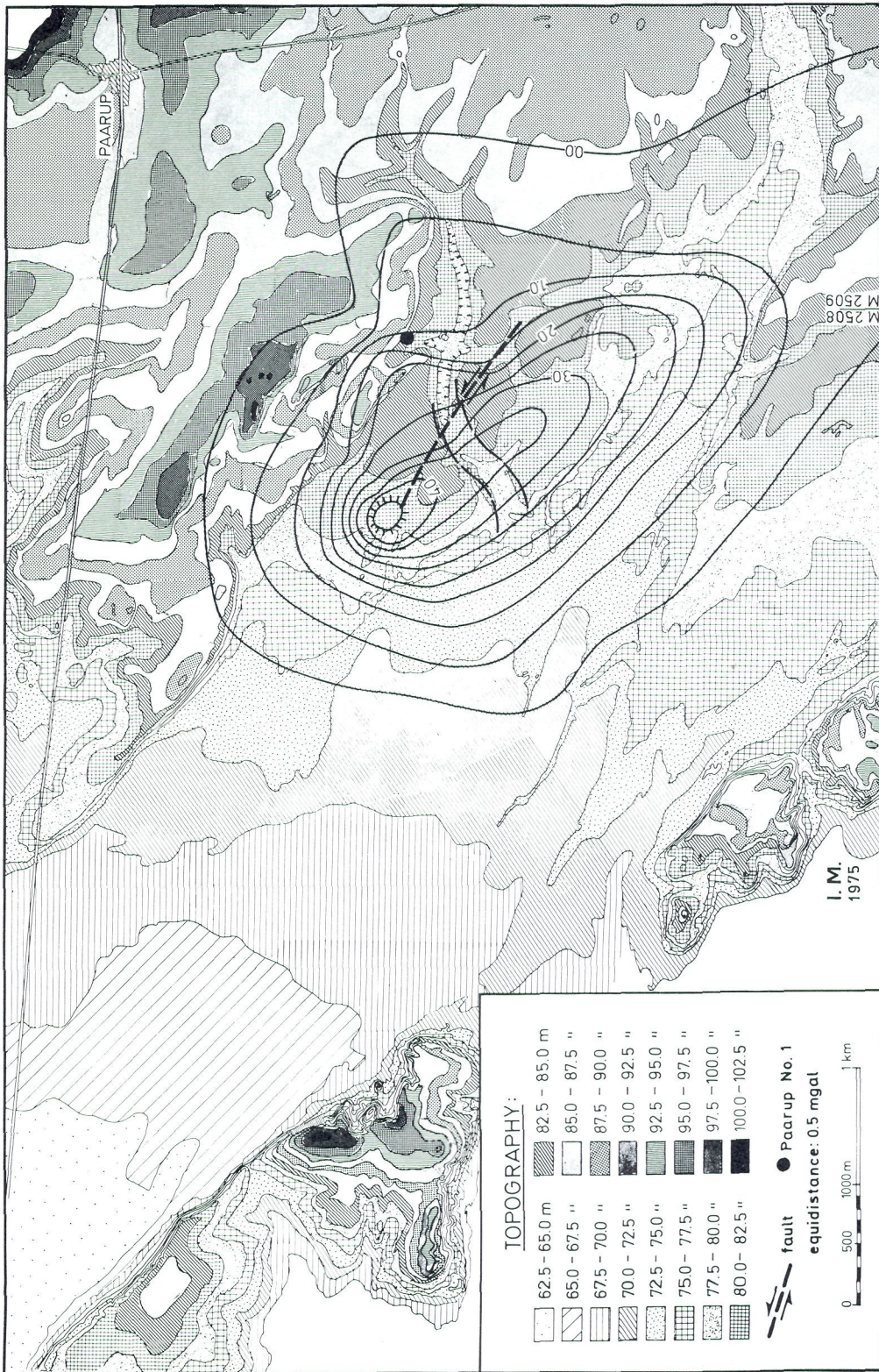


Fig. 4. »Caprock residual« tyngdekort over Paarup salt diapiren (Lind & Ramberg 1968) overført til det geomorfologiske kort. De optindelige grænser for den nedre del af dalen, som krydser toppen af strukturen, samt forkastningen som skærer den, er vist på kortet.

Caprock residual gravity map of the area around the Paarup salt diapir (Lind & Ramberg 1968) transferred to the geomorphologic map. The original limits of the lower part of the valley, which extends over the top of the structure, and the wrench fault displacing it, are shown.

retning, og under hvilken den største del af Paarup saltdiapiren ligger, er »indpasset« til anomaliens form, og samtidig ligger terrænet over diapiren noget højere end det kunne forventes ud fra det geomorfologiske helhedsbillede.

En østlig tilløbsdal til hoveddalen krydser toppen af strukturen. I det område, hvor de positive gravimetrisk værdier er størst, forekommer der et skarpt spring, ca. 2 m højt, i bunden af denne tilløbsdal. På denne måde ligger bunden i en kortere, nedre del af denne dal højere end i dens resterende øvre del, som således danner en topografisk depression.

Forfatteren har tidligere (Madirazza 1968) gjort opmærksom på de påfaldende overensstemmelser mellem den positive gravimetrisk anomali og det topografiske billede, samt på de anomale morfologiske træk, som forekommer over toppen af diapiren. En forklaring blev fremsat, ifølge hvilken sen- til postglaciale opadgående saltflydninger, som bl. a. resulterede i en kraftig vækst af »caprock«, var ansvarlige for disse deformationer. Ifølge sådan en folkning skulle bunden af hoveddalen og dermed også bunden i den nedre del af tilløbsdalen, som krydser toppen af strukturen, være hævet. Den øvre del af denne dal ville have undergået en relativt nedadgående bevægelse. Man kan her tilføje, at vækst af »caprock« og indeskæringen af denne sidedal, i lighed med Herningsholm ådalen ved Nøvling, må være foregået med nogenlunde samme hastighed, da det ellers ville være umuligt at forklare åens løb »op ad bakken«. Dette i sig selv påviser, at hævingen af terrænet i dette område med den stærke positive gravimetrisk anomali må have fundet sted efter aflejringen i hoveddalen af afsmeltningssedimenter fra Weichsel isfronten. Sådanne bevægelser kunne være foregået langs en forkastning, især fordi de to omtalte dele af denne sidedal er meget skarpt afgrænsede.

I så tilfælde burde også de omgivende områder, altså bunden af hoveddalen, udvise højdeforskelle af omkring samme størrelse, som findes i bunden af sidedalen. Detailnivelleringer udført af forfatteren viste ikke nogle mærkbare højdeforskelle på den flade, som grænser op til sidedalen (og hvor det skarpe knæk i dens profil forekommer). En normal- eller

reversforkastning kunne der således næppe være tale om.

Karteringen viste dog, at den øvre og længste del af sidedalen (depressionen) er veludviklet, omend noget uregelmæssig, og at der i denne del findes flere terrasseniveauer. Materialerne i bunden af dalen består af tykke lag af groft sand og grus samt endnu større (4–5 cm) partikler, som er lagdelte og ofte meget stærkt (op til 30°) krydslejret. Krydslejringerne viser vestlige til sydvestlige strømretninger, d. v. s. mod dalens udmunding. En meget skarp grænse adskiller denne type af materialer fra de øverste 30–40 cm, som består af tynde (op til 4 cm) lag af velsorteret, mellem til fintkornet sand, som stedvis veksler med tynde lag af sandet ler.

I modsætning til disse forhold virker dalens nedre del betydeligt roligere. Her er dens bund både højere og noget bredere end i den øvre del, og da bredden som målt ved toppen af erosionsskrænten passer godt med bredden i resten af dalen, er væggene her også lavere. Der kan her ikke iagttages terrasser svarende til dem i den øvre del af dalen.

Ved hjælp af et større antal boringer (op til 3 m dybe) udført af forfatteren i det nedre afsnit af dalen blev der flere steder under et dække af finere, vel lagdelte sedimentter, fundet banker bestående af meget grove materialer. Her drejer det sig utvivlsomt om de samme terrasser, som kan ses i resten af dalen.

Toppene af dalens erosionsskrænter og, for så vidt det kunne fastslås, også terrasserne udviser en mindre horisontal forskydning langs den linie, som også danner grænsen mellem den øvre og den nedre del af dalen. Denne linie markerer således en forkastning, langs hvilken bevægelsen i det væsentligste har været horisontal og i sinistral retning, som vist i fig. 4. Det skønnes, at den sideværts forskydning langs denne forkastning har været ca. 25 m.

En forsatning af denne størrelse var tilstrækkelig til at »afspærre« dalens øvre del, mens dens kortere, nedre del fortsat havde forbindelse med den store hoveddal. Denne situation er skematisk illustreret i fig. 5. Den nedre del af sidedalen kunne derfor, især under de sidste afsmeltningsskifter, udfyldes med finsand og silt, materialer, som også findes i bunden af hoveddalen i dette område. Derimod har ma-

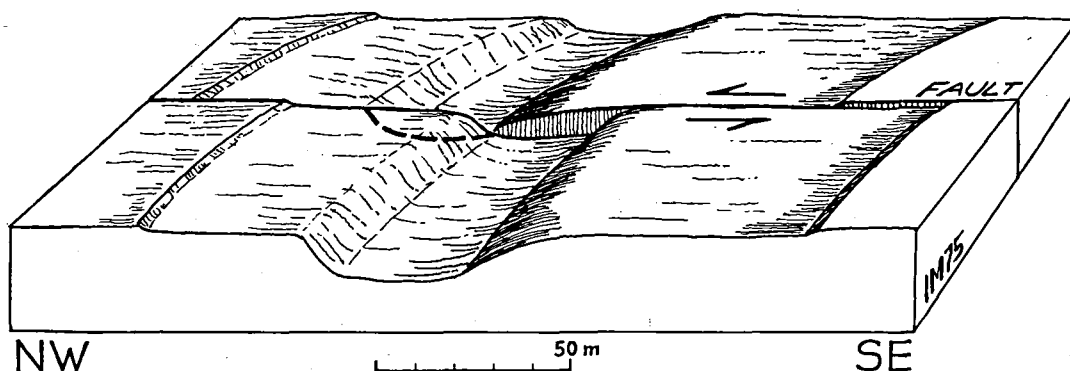


Fig. 5. Skematisk blokdiagram baseret på fig. 4. Den sideværts bevægelse langs forkastningen har afskåret den øvre del af dalen på toppen af Paarup salt diapiren.

Schematic block-diagram based on fig. 4. The upper part of the valley crossing the Paarup salt diapir is cut off by a sinistral movement along the fault.

terialerne ikke kunnet trænge ind i den afspærrede, øvre del af dalen.

På et endnu senere tidspunkt blev der eroderet en ganske kort og svagt markeret dal ind i disse sedimenter i området af den oprindelige dals udmundning. I fig. 4 er den nedre del af dalen indtegnet i sit oprindelige forløb. Det er muligt, at samtidig med denne udvikling, eller endnu senere, har den øvre, afskårede del af dalen fungeret som en sø, hvilket tilstedeværelsen af de omtalte fint lagdelte sedimenter i bunden af denne del af dalen synes at bekræfte.

Lokalt findes der i begge dele af dalen tynde (max. 1 m) flyvesandsaflejringer.

#### Afsluttende bemærkninger

En rekonstruktion af det nordjydske Zechstein bassin viser, at de dybeste (ca. 8000 m) dele af bassinet forekommer under de centrale dele af Limfjorden. Bassinet, hvis udvikling er betinget af den fennoskandiske randzone i nordøst og af Ringkøbing-Fyn horsten i sydvest, har således en noget usymmetrisk form, og dets akse ligger nærmere dens nordøstlige end dens sydvestlige grænse.

Alle de højtliggende (dybder til saltet < 400 m) og en del af de dybere liggende saltstrukturer er diapirer. De har cirkulære til svagt ovale omrids og, med kun få undtagelser (Sevel, Vejrum-Linde), kan henregnes til den halokinetiske type af strukturer. Saltvægge, som er den fremtrædende type af saltstrukturer i f. eks. NV-tyske del af Zechstein havet, kendes ikke fra Nordjylland. Grænsen for hæ-

lokinesen forløber nogenlunde langs den 4000 m dybdekurve til basis af Zechstein.

På baggrund af de samlede oplysninger af geologisk, geomorfologisk samt geofysisk art kan man slutte, at der både ved Paarup og Nøvling salt diapirer er sket en kraftig vækst af »caprock« i løbet af henholdsvis sen Weichsel og senglacial tid. Denne vækst er sandsynligvis fortsat også ind i Holocænet. I begge tilfælde har »caprock« deformeret de eksisterende landformer.

Ved Nøvling er saltet på et tidligere tidspunkt, og sandsynligvis under meget kolde klimatiske forhold, trængt højt op mod overfladen. Opløsningen af dette salt er post-Saale, og der er flere indicier på, at den fandt sted under en af de tidlige varme senglaciale perioder (som f. eks. Bølling). Området med den senere stærke »caprock«-vækst er usymmetrisk placeret i forhold til den cirkulære lavning, som opløsningen havde efterladt.

Forøgelsen af »caprock«-volumen behøver ikke nødvendigvis at være et resultat af saltets flydning mod overfladen, men kan også skyldes omdannelsen af anhydrit til gips i en tidligere dannet »caprock«. Det er sandsynligt, især ved Paarup, at begge disse processer har været på spil. Der er ikke nogen grund til at betragte den sideværts forkastning, som skærer terrænet over toppen af Paarup salt diapiren, som et produkt af den voksende »caprock«. Det drejer sig her om en forkastning, som er opstået på toppen af diapiren, og langs hvilken bevægelsen i det væsentligste har været horisontal. Lignende forkastninger kendes fra man-



ge salt diapirer i forskellige dele af verden, ikke mindst fra det NV-tyske Zechstein bassin, og de sættes normalt i forbindelse med saltets flydning mod overfladen og de efterfølgende justeringer af spændinger inden for de ovenliggende jordlag.

## Tak

Forfatteren takker Leif Banke Rasmussen for tilladelsen til at bruge de seismiske data og oplysninger fra borer, som findes arkiveret ved DGU. Carlsbergfondet har ydet finansiel støtte til forfatterens feltarbejde i Paarup og Nøvling saltstrukturers områder. Tegnearbejdet er med stor dygtighed udført af Torben Riis.

(Foredrag i Dansk Geologisk Forening 3. marts, Aarhus)

## Litteratur

- Arrhenius, S. & Lachmann, R. 1912: Die physikalisch-chemischen Bedingungen bei der Bildung der Salzlagestätten und ihre Anwendung auf geologische Probleme. *Geol. Rundsch.* 3, 139-157.
- Baartman, J. C. 1973: Interpretation of reflection seismic work in the area around Nøvling No. 1. In Rasmussen, L. Banke (ed.): Dybbeboringen Nøvling Nr. 1 i Midtjylland. *Danmarks geol. Unders.*, række 3, nr. 40, 34-53.
- Baartman, J. C. & Madsen, L. 1974: Horsens-Gylling area. Reflection seismograph contours on top of approx. Base Upper Cretaceous, (upubliceret kort, DGU.)
- Gripp, K. 1958: Salz-Spiegel und Salzbut auf dem Lande und unter dem Meere. *Abh. naturw. Ver. Bremen.* 35(2), 249-258.
- Iversen, J. 1942: En pollenanalytisk Tidsfæstelse af Ferskvandslagene ved Nørre Lyngby. *Meddr dansk geol. Foren.* 10, 130-151.
- Jaritz, W. 1972: Eine Übersichtskarte der Tiefenlage der Salzstöcke in Nordwestdeutschland. *Geol. Jb.* 90, 241-244.
- Lind, G. & Ramberg, I. B. 1968: Gravity measurements on the Paarup salt dome. *Bull. geol. Soc. Denmark.* 18(2), 221-240.
- Lykke Andersen, H. & Schrøder, N. 1974: Et begravet landskab ved Århus. *Varv* 4, 110-113. København.
- Lykke Andersen, H. & Tychsen, J. 1977: Danien-kalkens overfladetopografi i egnen og farvandet omkring Århus. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1976*, 69-73.
- Madirazza, I. 1968: An interpretation of the Quaternary morphology in the Paarup salt dome area. *Bull. geol. Soc. Denmark.* 18(2), 241-243.
- Madirazza, I. 1970: Landskab og saltstrukturer. *Varv* 1, 3-11. København.
- Madirazza, I. 1975: The geology of the Vejrum salt structure, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark.* 24, 161-171.
- Madsen, V. 1921: Terrainformerne på Skovbjerg Bakke. *Meddr dansk geol. Foren.* 6(5), 24 pp. (Résumé en français.)
- Nörgaard, G. 1939: Einige Schwereverhältnisse in Dänemark. *Geodætisk Institut Meddelelse* No. 12, 35 pp. København.
- Sannemann, D. 1968: Salt-stock families in northwestern Germany. In Braunstein, J. & O'Brien, G.D. (eds.): Diapirism and diapirs. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem.* 8, 261-270.

- Saxov, S. 1956: Some gravity measurements in Thy, Mors, and Vendsyssel. *Geodætisk Instituts Skrifter* 3 (25), 46 pp. København.
- Sorgenfrei, T. 1969: Geological perspectives in the North Sea area. *Bull. geol. Soc. Denmark.* 19(2), 160-196.
- Sorgenfrei, T. & Buch, A. 1964: Deep tests in Denmark 1935-1959. *Danmarks geol. Unders.*, række 3, nr. 36, 146 pp.
- Trusheim, F. 1957: Über Halokinese und Ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. *Zeits. deutsch. geol. Ges.* 109, 111-151.