

Mere om Thisted saltstrukturen

IVAN MADIRAZZA



Madirazza, I.: Mere om Thisted saltstrukturen. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1980*, side 83–87, København, 25. januar 1981.

In *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979 (1980)*, p. 1–9, appeared an article by Jens Morten Hansen and Eckart Håkansson entitled "Thistedstrukturens geologi – et »neotektonisk« skoleeksempel". It is particularly the velocity of the Zechstein salt flow that draws the authors' attention. On the basis of the surficial geological picture they concluded that at the Thisted structure the salt flow has been occurring at an average rate of 2.5 mm/year during the past 4,000 years. This value is approximately ten times greater than the previous estimates for other Zechstein salt structures in north Jutland. In the following the article by the two authors is critically reviewed. It is thought that several aspects of the Thisted structure, highly relevant to the velocity of the salt flow, were either not taken into consideration, or were insufficiently investigated. Some important geological and geophysical data at our disposal, which could throw more light on the nature of this structure and its geological history, were not made use of in their investigation. It is therefore considered that the authors' conclusion as to the velocity of the salt flow at Thisted does not necessarily affect the earlier estimates of the rate of the salt flow based on the studies of other salt structures in north Jutland.

Ivan Madirazza, Laboratoriet for Geofysik, Geologisk Institut, Finlandsgade 6, DK-8200 Aarhus N. 1. august 1980.

I *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, s. 1–9, udkom der en afhandling forfattet af Jens Morten Hansen og Eckart Håkansson, under titlen »Thistedstrukturens geologi – et »neotektonisk« skoleeksempel«.

Det er især Zechstein saltets flydningshastighed, som tiltrækker forfatterens opmærksomhed. På baggrund af først og fremmest det geologiske overfladebillede mener de at kunne påvise, at hastigheden af saltets flydning (den vertikale komponent) er væsentligt større (mindst 10 gange) end de, man hidtil havde antaget for de jydsk saltstrukturer (Madirazza, 1968, 1979; Lykke-Andersen, 1979).

Jeg vil gerne komme med nogle kommentarer til denne afhandling, da der efter min opfattelse er flere svagheder i forfatterens argumentation, og da de efterlader en række ubesvarede eller kun delvis afklarede spørgsmål. Ordet »skoleeksempel«, som indgår i titlen, understreger kun nødvendigheden af sådan en kritisk stillingtagen til afhandlingen.

Det geologiske kort

Det forekommer mig højst mærkværdigt, at forfatterne undlader at referere til Ødum's arbejde fra 1926, hvor en del oplysninger fra bl.a. Thisted

området kan findes. Ødum (1926) har beskrevet adskillige lokaliteter med forekomster af Dani-en-kalk og Skrivekridt i dette område, og i flere tilfælde har han angivet disse bjergarters strukturelle forhold (strygning, hældning, forkastninger, etc.). Allerede Ødum har på baggrund af sine palæontologiske og strukturelle studier erkendt, at der i dette område findes en geologisk struktur, eller som han har betegnet den, et »hævningsfelt« (Ødum, 1926, tavle VI).

Ødum's geologiske kort (tavle V) over bl.a. Thisted området kan ikke have været de to forfattere ubekendt, da kortet vist i fig. 1 i deres afhandling, bortset fra detaljerne, svarer ganske nøje til Ødum's kort over dette område. På trods af alt dette, nævnes Ødum's arbejde ikke med et enkelt ord i afhandlingen.

Forfatterne har, i modsætning til Ødum, åbentbart ikke selv foretaget målinger af bjergarternes lagstilling, men de refererer flere steder til målinger udført af Andersen (1944).

Det geologiske kort i afhandlingen (fig. 1) adskiller sig fra Ødum's kort først og fremmest ved, at der langs den nordlige side af strukturen vises en blok af Dani-en kalksten, som er afgrænset af to forkastninger. Denne blok er forskudt mod centrum af strukturen i forhold til resten af Dani-

en »kransen«. De horisontale forskydninger langs forkastningerne er, ifølge kortet, ca. 1600 m og 2800 m. Men et spørgsmålstejn er anbragt midt i denne blok, hvilket formentlig betyder, at man ikke er sikker på, om bjergarten her er af Danien alder. Dette sætter naturligvis også et spørgsmålstejn ved selve forkastningerne, og navnlig ved forkastningernes enorme horisontale komponent. Men dette har man muligvis taget højde for, da der i legenden er sat et spørgsmålstegn ved symbolet for forkastninger. Man må altså gå ud fra, at denne uvished gælder alle forkastninger indtegnet på kortet.

Den strukturelle fortolkning

I afhandlingens fig. 2 vises en »principskitse« af Thistedstrukturen. Den vertikale og den horisontale målestok står her i forhold 50:1 (hvilket ikke er anført i figuren). På denne måde hælder lagdelingen tilsyneladende ca. 45° på den sydlige side af strukturen, medens den er endnu stejlere på nordsiden. I realiteten er lagene enten subhorisontale, eller de hælder kun få grader inden for strukturens område, hvis man ser bort fra nogle lokale strukturer (som bl.a. er beskrevet af Ødum (1926) og Andersen (1944)). At dette må være tilfældet kan ses også fra selve det geologiske kort, hvor bæltet af Danien har en bredde på mellem 2 og 5 km. Da mægtigheden af Danien sjældent er større end ca. 150 m, er det klart, at lagene på begge sider af strukturen må have meget små hældningsvinkler. Derfor er det uheldigt, at principskitsen i fig. 2 har fået formen af en markant »kuppel« (et udtryk, som iøvrigt bruges ofte i teksten).

Thisted – hvilken type saltstruktur?

Som bekendt indeles saltstrukturer i to typer:

- 1) salt-puder, hvor saltet ikke har gennembrudt de yngre, »normale« sedimenter. Samtidig med indsamling af saltet i en pude sker der en aflejring af sedimentet i de primære randsænker, som daterer pude-stadiet.
- 2) salt-diapirer, hvor saltet har gennembrudt de yngre sedimenter. I takt med saltets opadgående bevægelser dannes de sekundære randsænker, som daterer diapirstadiet (for en udførlig redegørelse se f.eks. Trusheim, 1957).

Saltets bevægelser kan fortsætte også efter afslutningen af selve diapir-stadiet, og disse betegnes som post-diapiriske. Bevægelser af langt de fleste salt-diapirer i Jylland, som fandt sted i Tertiær- og Kvartærtid, hører til denne sidste kategori.

I Jylland forekommer begge disse typer saltstrukturer, og generelt kan man sige, at ved salt-puder findes saltet i minimum én kilometers dybde (f.eks. Voldum, Gassum, Skive og Samsø), medens dybden til saltet ved diapirer som regel kun er nogle få hundrede meter (f.eks. Mønsted, Vejrum, Hvornum, Batum og Suldrup).

Det ville naturligvis være af stor betydning at undersøge, hvilken type saltstruktur man har at gøre med ved Thisted, i hvilken dybde Zechstein saltet befinder sig, etc. Men desværre gøres der ingen forsøg fra forfatterens side på at afklare disse spørgsmål, selv om der kendes en del data af geologisk såvel som geofysisk art fra området.

Angående typen af strukturen tales der i afhandlingen enten om Thisted »saltstruktur« eller »dome«, uden at man kommer nærmere ind på, hvilken type saltstruktur det drejer sig om. Men alligevel synes forfatterne at mene, at Thisted er en diapir (se s. 7) uden at fremføre nogle beviser for dette.

Hvad dybden til saltet angår, siges der et enkelt sted mod slutningen af afhandlingen (s. 8), at saltet i denne struktur er meget dybtliggende (ifølge J. M. Smidt's personlige meddelelse). Forfatterne er af den opfattelse, at Thistedstrukturen er meget ung, idet de går ud fra, at saltbevægelserne fortrinsvis har fundet sted i post-Danien tid eller måske hovedsagelig i Kvartær tid (se s. 1–2). Mod slutningen af afhandlingen (s. 8) siges der: »... at vertikale bevægelser af den [af forfatterne] fundne størrelsesorden rigeligt tillader en dannelseshistorie, som alene er begrænset til Kvartæret«.

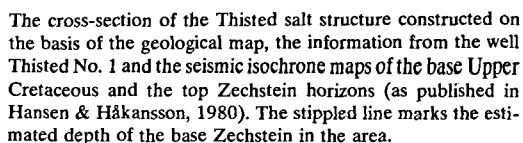
Ud fra dette må man antage, at forfatterne opfatter Thistedstrukturen som en meget dybtliggende, meget ung salt-diapir. Ordet »salt-pude« nævnes ikke en eneste gang i afhandlingen.

Thistedstrukturens geologiske historie

Som det fremgår af afhandlingens fig. 3 og 4, krydser ikke mindre end 9 refleksionsseismiske profiler strukturens område, hvilket for danske forhold kan siges at være en meget god seismisk

De to isokronkort, set i sammenhæng med oplysningerne fra boringen, viser, at Thisted højst sandsynlig er en bred struktur af pude-type. Dette undersøttes af det tyngdemæssige billede, da der findes en meget »bred« negativ tyngdeanomali svarende til det samme område (se f.eks. Sorgenfrei & Buch, 1964, tavle 5).

På baggrund af de geologiske data samt de geofysiske oplysninger vist først og fremmest i afhandlingens fig. 3 og 4, har jeg konstrueret profilet, som tangerer Thisted boringen og forløber vinkelret på trend af strukturen (fig. 1). Mens



Trias bjergarterne må formodes at være nogenlunde lige tykke over salt-puden (deres aflejring er sket før begyndelsen af salt-indsamlingen), tiltager tykkelserne af yngre bjergarter på begge sider af strukturen (aflejring foregik samtidig med vækst af puden, hvilket førte til dannelsen af de primære randsænker).

Som det allerede fremgår af det geologiske kort, er saltets bevægelser fortsat også i Tertiær tiden, da Maastrichtien/Danien grænsen ligeledes er opadbojet i strukturens område. Dette har ført til, at Danien-kalken, resten af Palæocenet (samt evt. yngre Tertiære sedimente) og muligvis en mindre del af Maastrichtien blev borte-roderet over de centrale dele af strukturen. Det er sandsynligt, at denne erosion for det meste skyldes de Kvartære begivenheder.

Man kan således konkludere, at Thisted er en saltstruktur af pude-type, og at den er meget ældre end antaget af de to forfattere, da begyndelsen på Zechstein saltets flydning kan føres tilbage til Jura tid.

Hvor hurtigt bevæger saltet sig ved Thisted?

Der hersker en bred enighed om, at saltets flydningshastigheder opnår de maksimale værdier under diapir-stadiet. I den nyere tid har man i NV-Tyskland undersøgt et antal saltstrukturer med det udtrykkelige formål at beregne de hastigheder, saltet har bevæget sig med, især under diapir-stadiet (Jaritz, 1980). Disse beregninger er baseret på sammenligningen af volumen af en randsænke med volumen af et hævet saltlegeme svarende til en bestemt geologisk tid. På denne måde har man anslået de gennemsnitlige flydningshastigheder af saltet under udvikling af en diapir til mellem $< 0,1 - 0,5$ mm/år, mens hastigheder i de post-diapiriske faser viste sig at være betydeligt mindre, d.v.s. nogle hundrededele af en millimeter/år.

Ud fra profilet (fig. 1) er det rimeligt at antage, at den Øvre Kridt-Danien kontaktflade ikke har været hævet mere end ca. 300 m over den centrale del af puden. Hvis man regner med denne maksimale deformation, får man en gennemsnitshastighed på omkring 0,005 mm/år for saltets flydning i tidsrummet fra begyndelsen af Tertiæret indtil nu (ca. 60 millioner år).

Forfatterne er kommet til den slutning, at ved Thisted har saltets gennemsnitlige hastighed

igennem de sidste 4.000 år beløbet sig til ca. 2,5 mm/år eller mere. Det drejer sig altså om et tal, der er ca. 500 gange større end det ovenfor nævnte.

Ved Mønsted, som er en højtliggende struktur af diapirtype, er den gennemsnitlige hastighed af saltets opadgående bevægelse igennem de sidste ca. 18.000 år anslået til 0,2–0,3 mm/år (Madirazza, 1968). Dette er baseret på hævnningen af terrænet eller på deformationer af landformer (som f.eks. terrasser og ådale) i strukturens område. Lykke-Andersen (1979) er af den opfattelse, at der ved Samsø er foregået en landhævning med en gennemsnitlig hastighed på 0,3 mm/år igennem de sidste 5.000 år. Samsø befinder sig over en dybt-liggende (2.500–3.000 m) saltstruktur, sandsynligvis af pude-type. Dette skøn baseres på ekstraordinært højt beliggende strandlinier af formodet Senatlantisk alder.

Forfatternes hovedargument for de åbenbart meget hurtige saltbevægelser på 2,5 mm/år ved Thisted baseres på de formodede afvigelser fra den regionale hævnning, som de postglaciale strandlinier udviser i de centrale, nordvestlige dele af strukturen (se afhandlingens fig. 1). Disse dannelser skulle stamme fra den maksimale transgression af det postglaciale hav. I de nordvestlige dele af strukturen findes, ifølge forfatterne, denne højeste postglaciale marine grænse i en maksimal højde af ca. 15 m over havniveauet. Da de regionale hævningsværdier i området skønnes at være omkring 4–4,5 m (Mertz, 1924), skulle den lokale hævnning her have været ca. 10 m større, end man kunne forvente fra den regionale billede (man burde her tilføje, at, ifølge kortet, i de østlige og sydøstlige dele af strukturen er afvigelserne fra den regionale hævnning væsentligt mindre, kun ca. ± 2 m). Forfatterne siger, at – ifølge en personlig meddelelse fra K. Strand Petersen – indtraf den maksimale marine transgression i Hanherred omkring 4.000 år før nu. Det er åbenbart på denne måde, at man er kommet til det gennemsnitlige tal af 2,5 mm/år for saltets bevægelseshastighed (den vertikale komponent) igennem de sidste 4.000 år.

Det er naturligvis af afgørende betydning for denne beregning at fastslå, om de omtalte dannelser i netop de nordvestlige dele af strukturen kan tilskrives den postglaciale marine transgression, og dernæst deres absolutte alder på dette sted. Forfatterne fremfører desværre ikke nogen

dokumentation for, at hverken stranddannelserne eller sedimentfladerne i disse dele af strukturen er af postglacial, marin oprindelse. Angående sedimentfladen siges det (s. 6), at her »... er det mindre indlysende, om kuplen består af marine eller æoliske dannelser, idet sedimentet her næsten kun er sand. Desværre findes ingen grave eller borer i området, som kunne afklare dette spørgsmål«. Spørgsmålet er, hvis man ikke kan være sikker på oprindelsen, og dermed alderen af denne sedimentflade, kan man så være sikker på, at klintefoden svarer til den højeste marine grænse i området? Man savner her en beskrivelse af disse stranddannelser og sedimentflader, ikke kun fra denne del af strukturen, men også fra hele Thisted området. Ligeledes nævnes der ingen fauna eller evt. organiske aflejringer (som f.eks. tørv), som kunne datere disse landformer. Man kunne derfor spørge sig selv, om de regionale isobaser, som var så omhyggeligt definerede af Mertz, og de lokale isobaser indtegnet i afhandlingens fig. 1 er direkte sammenlignelige.

Afsluttende bemærkning

På baggrund af de her fremlagte kommentarer må man antage, at de to forfattere ikke tilnærmelsesvis kan være så sikre på deres konklusioner

angående hastigheden af saltets bevægelse ved Thisted, som de selv giver udtryk for i deres afhandling.

Litteratur

- Andersen, S. A. 1944: *Det danske landskabs historie*, 1. bind (undergrunden), København 1944, 480 p.
- Hansen, J. M. og Håkansson, E. 1980: Thistedstrukturens geologi – et »neotektonisk« skoleeksempel. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1979*, 1–9.
- Jaritz, W. 1980: Einige Aspekte der Entwicklungsgeschichte der nordwestdeutschen Salzstöcke. *Zeitschr. deutsch. geol. Ges.* 131, 387–408.
- Lykke-Andersen, H. 1979: Nogle undergrundstektoniske elementer i det danske Kvartær. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1978*, 1–6.
- Madirazza, I. 1968: Mønsted and Sevel salt domes, north Jutland, and their influence on the Quaternary morphology. *Geol. Rundschau* 57 (3), 1034–1066.
- Madirazza, I. 1979: On the disposal of the radioactive waste in the salt structures of north Jutland, Denmark: A report, Aarhus 1979, 70 p.
- Mertz, E. L. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. *Danmarks geol. Unders.* rk. 2, 41, 49 p.
- Rasmussen, L. Banke 1972: Oversigt over dybdeboringerne på dansk landområde 1965–68. *Dansk geol. Foren., Arsskrift for 1971*, 41–48.
- Sorgenfrei, T. og Buch, A. 1964: Deep tests in Denmark 1935–1959. *Danmarks geol. Unders.*, rk. 3, nr. 36, 146 p.
- Trusheim, F. 1957: Über Halokinese und Ihre Bedeutung für die strukturelle Entwicklung Norddeutschlands. *Zeitschr. deutsch. geol. Ges.* 109, 111–151.
- Ødum, H. 1926: Studier over Daniet i Jylland og på Fyn. *Danmarks geol. Unders.*, rk. 2, 45, 306 p. (summary in English).