



En drænrørsledning skæres her af en normalforkastning i toppen af en udskridning ved Sundby Bakker på Nordmors. Fænomenet er almindelig kendt fra mange steder rundt om i Danmark og viser, at der hele tiden sker ændringer i landskabet. I de fleste tilfælde skal der altså mere end et almindeligt markdræn til, for at forhindre opbygningen af et for højt porevandstryk, som kan udløse landslides. Læs mere om landslides inde i bladet.



HEROVER SES ET PAR EKSEMPLARER AF CONODONTSLÆGTEN *CORDYLODUS*, MEN HVAD ER CONODONTER EGENTLIG FOR NOGET? ER DET TÆNDER ELLER HVAD? – LÆS MERE OM CONODONTER I DETTE NUMMER. MØLLESTEN ER EN MEGET NYTTIG TING, DERTIL ER DE STORE OG TUNGE, MEN HVAD LAVES DE AF, OG HVOR KOMMER DE FRA? – VARV FORTÆLLER OM MØLLESTEN FRA NORGE.

HER I 75-ÅRS JUBILÆUMSÅRET FOR SALGET AF DE TIDLIGERE DANSKE VESTINDISKE ØER GØR VARV STATUS OVER, HVAD DET VAR FOR EN GEOLOGI, VI EGENTLIG SOLGTE. ENDELIG BESKÆFTIGER VI OS EN LILLE SMULE MED BEGREBET *LANDSLIDE* – DER ER FLERE TYPER AF SÅDANNE 'SLIDES', EN AF TYPERNE OMTALES NÆRMERE.

ÅRETS JULEGAVETILBUD!

Det nye KORT OVER DEN DANSKE UNDERGRUND sælges året ud til introduktionspris:

Priser (incl. forsendelse):

I Danmark	125 kr
I Norden	130 kr
I Europa	160 kr
Øvrige udland	180 kr

I det forløbne halvår er det desværre sket, at kortet er beskadiget ved modtagelsen. Skulle man være så uheldig, at kortrøret er beskadiget, bedes man nægte modtagelse af forsendelsen. Herefter giver Postvæsenet besked til VARV, og et nyt kort fremsendes.

ABONNEMENTSPRISEN FOR 1993 bliver sandsynligvis 85 kr for at dække de stigende forsendelsesudgifter. VENT med at betale, indtil girokortet kommer, men betal så gerne SNAREST herefter!

Redaktionen ønsker alle en Glædelig Jul og et Godt Nytår!



Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Institut, Øster Voldgade 10, 1350 København K. Telefon: 33 11 22 32, Telefax: 33 11 46 37.

Telefoniske bestillinger og forespørgsler kan rettes til: Svend Pedersen og Steen Sjørring på ovenstående telefonnummer.

Skriftlige henvendelser og bestillinger ekspederes snarest muligt.

Redaktion: Svend Pedersen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Jens Konnerup-Madsen, Lena Madsen og Steen Sjørring.

Renskrift
og montage: Steen Sjørring

Repro: Tecno Color a/s, Esbjerg

Tryk: Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 80 kr i abonnement for 1992. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 80 SEK til VARVs svenske postgirokonto: 4388-5.

Adresseændringer bedes meddelt VARV!

© 1992 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

Østersøkyst klart nok er slået fejl. Enten har fæstningen ikke været dyb nok, eller også har trækket været for stort til at de få 'søm' har kunnet holde.



Figur 7. Et forsøg på at fæstne et landslide på en klint ved Nordtysklands Østersøkyst er åbenlyst ikke lykkedes.

En vigtig del af skredprocessen er knyttet til højt porevandstryk, så hvis man kan bortlede vandet, forøges brudstyrken, hvorved mange skred kan undgås. Der skal jo primært dannes en brudflade, langs hvilken udskridningsblokken kan skride. På figuren på bagsiden kan man se, at en almindelig markdræning ikke altid er nok til at sørge for den nødvendige dræning.

Lad os til slut vende tilbage til Lønstrup Klint og Mårup Kirke. Der er ingen tvivl om, at det er en meget bekostelig affære at sikre kirken og Rubjerg Knude mod landslide, og da der for tiden ikke er nogen myndigheder, der har ressourcer til at påbegynde en sådan sikring, ville det være en god ide, at påbegynde et 'landslide-forskningsstudium' her, som en vægtig del af et naturforvaltningsprojekt ved Rubjerg Knude. Det ville være et værdigt minde for Mårup Kirke, at dens skred i havet kunne bidrage med målinger af, hvordan processen detaljeret forløber, bestemme størrelsen af de kræfter, der er involveret, samt faktorerne, som spiller sammen ved udløsning af skredene.



Figur 6. Den velblottede tå i Hanklit skredet, sammenlign med figur 3. Tåen fremstår som en kurvet ombøjningszone i en liggende fold. Oven på denne fold ligger et par små napper, der er adskilt fra hinanden ved tynde forkastnings- (shear-) zoner. Hele tåen består af en breccie bestående af forskellige typer af løse og ukonsoliderede sedimenter.

mod stranden kunne det konstateres, at strandvoldsmateriale var blevet shearet med ind i tåen. Der var således dannet en overskydningsbreccie af to meget forskellige bløde sedimenter, nemlig det fede issøler og det helt recente strandvoldsmateriale, der var en blanding af grus og skalfragmenter.

Det kan således godtgøres, at 'landsliding' ikke blot er en proces, der involverer tyngdebetinget udglidning, der indgår tillige en tyngdebetinget sprednings- eller udflydningsproces i tåen i de almindeligt forekommende danske rotationelle landslides.

Rotationelle landslides er ikke den eneste type af 'slides', der forekommer i Danmark. Der skelnes almindeligvis mellem flere typer af skred, som vil blive nærmere omtalt i en kommende artikel i Varv.

Kan man gøre noget for at forhindre landslides? For at besvare dette må man ihvertfald vide noget om, hvilke processer man vil forhindre. Selvfølgelig kan man prøve at fæstne skredmassen eller en potentiel skredmasse fast til underlaget. På figur 7 ses, at et forsøg med at fæstne et landslide på den nordtyske

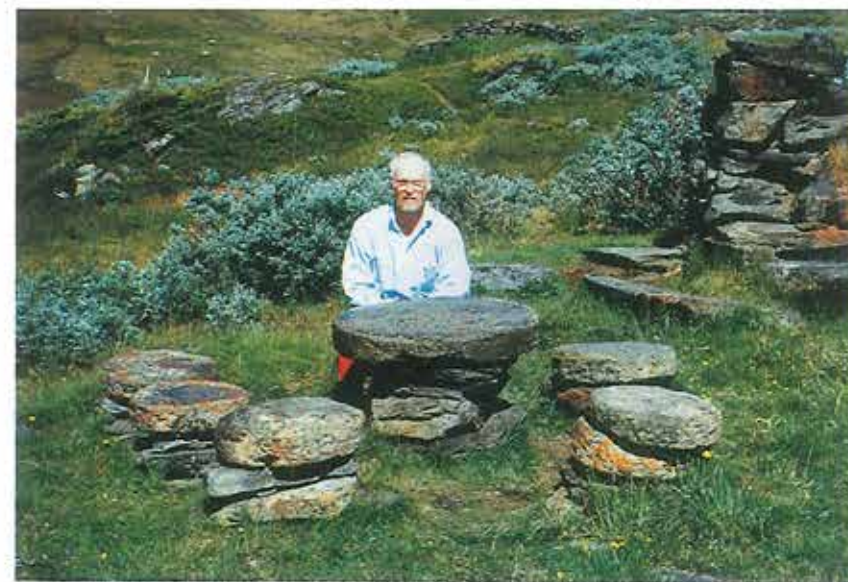


Figur 1. Oversigtskort.

af J. Richard Wilson
og Anders Pedersen

Før i tiden var en møllesten et vigtigt værktøj på hver gård eller i husholdninger, hvor korn blev malet til mel, men der var ikke mange bjergarter, som egnede sig som møllesten, især ikke i områder domineret af bløde bjergarter som i Nordtyskland, Holland og Danmark.

Knapheden på anvendelige bjergarter betød, at møllesten blev eksporteret fra relativt få steder til andre dele af Nordeuropa. En af de mere usædvanlige bjergarter, der blev brugt som møllesten, kom fra Selbu-området, der ligger sydøst



Figur 2. Møllesten brugt som solide borde og stole ved Høgfjellet.

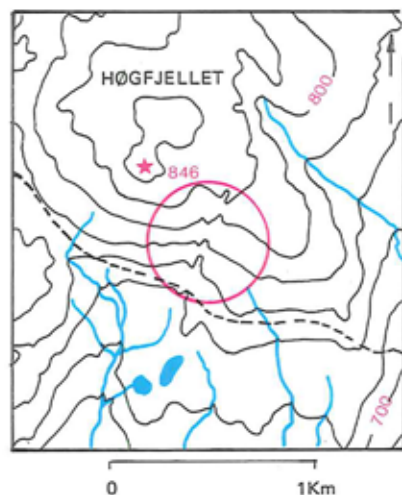
for Trondheim i Norge. Møllesten herfra blev eksporteret til blandt andet Holland, og den førstnævnte forfatter mener at have set en møllesten fra Selbu i frilandsmuseet på Hjerl Hede i Nordvestjylland.

Møllestensbruddenes beliggenhed

Som beskrevet af P.O. Rolseth i hans bog fra 1947: 'Kvernfjellet' (udgivet af Selbu og Tydals Historielag) er møllestens- ('kvernstein' på norsk) industrien i Selbu sandsynligvis begyndt før år 1400. Det var en vigtig industri i mere end 500 år, indtil den ophørte i begyndelsen af det 20. århundrede. Området, hvorfra møllestenene kommer, ligger ca. 12 km fra den nærmeste vej, og der er meget få tegn på det topografiske kort på eksistensen af den omfattende møllestensindustri, idet stenbruddene ikke er markerede. Der er dog to søer, som er opkaldt efter den lokale industri, nemlig Store- og Lille Kvernfjellsvatnet. Endvidere ses nogle usædvanlige 'indskæringer' i højdekurverne i den sydlige del af Høgfjellet (fig. 3). Disse indskæringer markerer beliggenheden af den største gruppe af stenbrud i området.

I sin bog angiver Rolseth beliggenheden af et stort antal stenbrud. Hans kort viser, at de fleste stenbrud ligger i nord-sydlig retning over en strækning på ca. 15 km i omegnen af Høgfjellet, samt yderligere nogle få stenbrud mod syd ved Usmesjøen. Rolseth har udarbejdet en fortegnelse over navnene på 75 møllestensbrud og nævner, at der er rester af mange andre, hvis navne er forsvundet i historiens glemsel.

Figur 3. 'Indsnit' i højdekurverne (i cirklen) viser placeringen af de største møllestensbrud ved Høgfjellet. Den stiplede linie er en sti til Schulzhytten (ca. 5 km østligere), der tilhører Turistforeningen i Trondheim.



De geologiske forhold i den østlige del af Trondheim-regionen

Det geologiske kort over Trondheim-regionen (1:250.000) fra Norges Geologiske Undersøgelse viser den omtrentlige beliggenhed af en serie møllestensbrud (fig. 4). Det er umiddelbart klart, at alle stenbruddene ligger i 'Gula Gruppe'-bjergarter. Hele Trondheim-regionen består ligesom en stor del af resten af Norge af bjergarter, der tilhører den Kaledonske Bjergkæde. Disse bjergarter blev dannet for ca. 400–600 millioner år siden og blev foldet og forkastet i forbindelse med overordnede jordskorpebevægelser, som fandt sted for 425–390 millioner år siden. Støren og Fjendsjø Grupperne bjergarter, der nu ligger



Figur 5. Udsigt over den centrale del af Hanklit skredet. I midten ses en lille sø, der er dæmmet op af skredmassen. Til venstre for søen ses et par horst- og graben-strukturer, der er resultatet af antithetiske forkastninger.

En mindre sø dannedes ret tidligt midt i udskridningsmassen. Som det fremgår af fig. 5, lå dette vandhul centralt i 'slidet', netop hvor massebevægelsen begynder at have dominerende lateral bevægelse. Vandhullet blev ikke drænet i nævneværdig grad, hvilket må tilskrives det tætte issøler. I løbet af få år blev søen omkranset af rør og siv, ligesom skræpper blev den almindelige vegetation på udskridningsblokken.

Det mest interessante ved dette skred var dog udviklingen af tåen. En dag i marts 1983, hvor der i denne del af Limfjorden var usædvanligt lavvandet, stod hele tåen velblottet frem en halv meter over vandoverfladen (fig. 6). Bølgerne havde allerede eroderet en del af tåen, hvorved et flot tværsnit af tåens indre struktur var blevet synlig. Tåens kurvede morfologi viste sig at bestå af en sammenhængende ombojningszone i en fold. Den nedre del af flodens flanke var udviklet som en shear-zone med talrige små forskydninger ind i foldens kerne. Selve kernen bestod af gråblåt, shearet ler med småstykker af det finlaminerede issøler liggende som opbrudte stykker.

På figur 6 ses desuden et par 'pandekager' oven på den liggende fold. Hver af disse pandekager er en lille nappe, der er adskilt fra den underliggende af en overskydning. Det mest forbausende var, at overskydningszonen indeholdt knuste fragmenter af hjertemuslinger og blåmuslinger samt småsten, der er typiske for den lokale strandbred. Ved at følge overskydningszonerne tilbage

Den laterale bevægelse er endnu mere tydelig ved tåen af 'slidet', for her kan man se, at der bliver dannet små nappelignende strukturer med folder og overskydninger (se fig. 3). I disse overskydninger kan der endog indgå deformerede dele af den før nævnte strandvold ved tåen af 'slidet'.

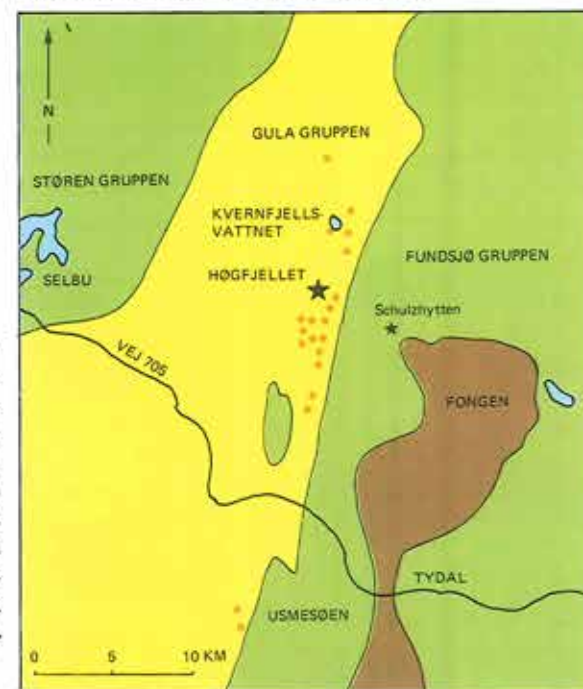
Et godt eksempel på et landslide, som viste de nævnte strukturer og dynamiske udvikling, er det store jordskred ved Hanklit på Nordmørs for ca. 10 år siden (se fig. 4). Her skred to tønder land i Limfjorden efter en særdeles våd efterårs- og vintersæson. 'Slidet' var aktivt i mere end 5 år og havde en størrelse på 50 m i længden fra top til tå samt en bredde på 100 m. Toppen af 'slidet' lå i 25 meters højde, og hovedudskridningsfladen strakte sig ud under tåen på mere end en meters vanddybde. 'Slidet' skred på en fed grå issøler, der overlejres af smeltevandssand og -grus.



Figur 4. 'To tønder land skred i Limfjorden', skrev Morsø Folkeblad 16. februar 1981. Fra toppen af Hanklit har man et godt overblik over udskridningens beliggenhed ud for Gullerup Strand. I det fjerne ses Sundby Bakker, hvor der også sker en del skred.

I de første år kunne man tidligt på foråret se de aktive syntetiske forkastninger ved toppen. På de friske udskridningsflader var der en tydelig lodret stribning frembragt ved bevægelsen. Et par gange observeredes isdannelse i disse forkastningssprækker, og det er nærliggende at antage, at de aktive forkastninger var knyttet til frost-tø aktivitet. Denne form for igangsætningsmekanisme er i det mindste velkendt flere steder i egne med permafrost.

henholdsvis vest og øst for Gula Gruppen, består hovedsageligt af oprindelige vulkanske bjergarter (basalter), mens Gula Gruppen overvejende består af sedimentære bjergarter, der oprindeligt blev aflejret på en havbund.



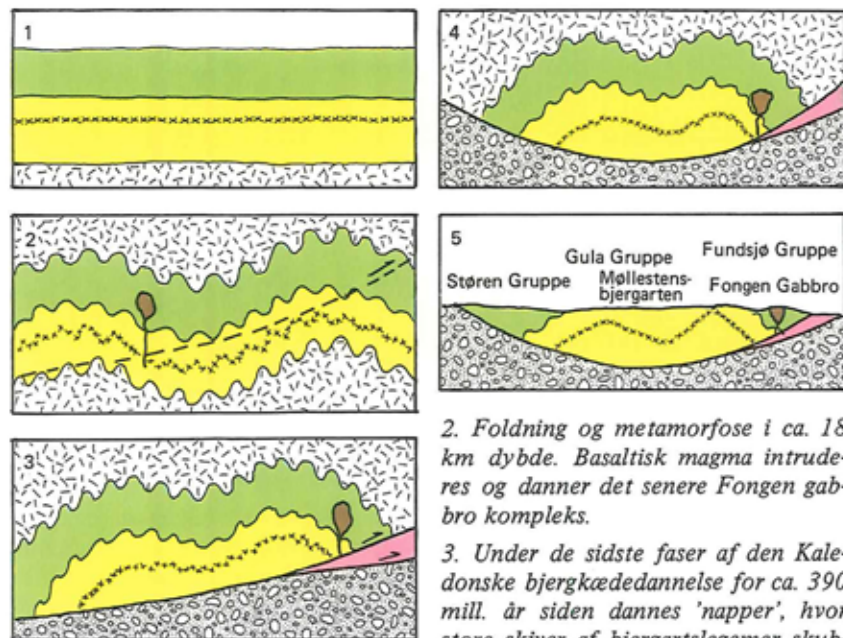
Figur 4. Forenklet geologisk kort over Selbu-Tydal-området visende nogle af møllestensbruddene (rødt). Grøn farve angiver oprindelige vulkanske bjergarter, gult omfatter oprindelige sedimentære bjergarter. Gabbro-legemet ved Fongen er vist med brun farve.

I forbindelse med de Kaledonske jordskorpebevægelser blev bjergarterne udsat for høje tryk og temperaturer. Herved udvikledes nye mineraler – bjergarterne blev metamorfoserede. De sedimentære lag opførte sig på en næsten plastisk måde og blev kraftigt foldet. Mindst tre sæt foldefaser kan erkendes visse steder. Under de sidste stadier af den bjergkædedannende proces blev store mængder bjergartssmelte presset ind i de foldede bjergarter mens disse stadig lå dybt nede i skorpen. Et af disse magmatiske bjergartslegemer i Trondheim-regionen består af gabbro (den langsomt afkølede ækvivalent til overfladebjergarten basalt) og udgør det meste af bjergområdet omkring fjeldet Fongen (fig. 4).

Under de afsluttende stadier af de Kaledonske jordskorpebevægelser, hvor Baltikum og Grønland til sidst kolliderede, blev bjergarterne skubbet i store skiver (napper) mod øst langs overskydningsplaner. Adskillige af disse overskydnings-skiver kan ses i Trondheim-regionen, og Støren, Gula og Fongsjø Grupperne tilhører den øverste nappeenhed. Nogle af disse enheder menes at være flyttet i størrelsesordener af flere ti-tals kilometre, således at bjergarterne nu ligger langt fra det sted, hvor de blev dannet.

Møllestens-bjergartens geologiske historie

Som tidligere nævnt kommer møllestenene fra den østlige del af Gula Gruppen, men kun en meget begrænset del af bjergarterne i denne del har været anvendelige som møllesten. Bjergarten, som oprindeligt var et leret sediment, der blev afsat på en havbund for omkring 600 millioner år siden, blev sammen med resten af bjergarterne i Gula Gruppen metamorfoseret og deformeret i forbindelse med de Kaledonske jordskorpebevægelser. Det er sandsynligt, at den bjergart, der senere er blevet brudt til møllesten, oprindeligt har været et enkelt lerlag på nogle få meters tykkelse. Den kraftige foldning har resulteret i, at dette lag kommer op til overfladen flere steder i nord-sydgående retning.



Figur 5. Den mulige geologiske udvikling i det østlige Trondheimområde.

1. Aflejring af sedimenter (gult) med et lerlag (x'er), der senere bliver til møllestensbjergarten. Sedimenterne, 'Gula Gruppe' overlejres af vulkanske bjergarter, der senere kommer til at ligge i to adskilte områder.

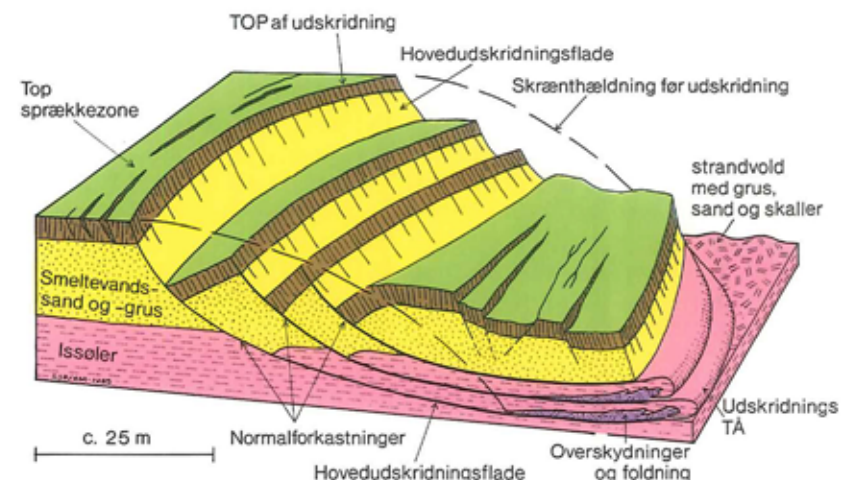
2. Foldning og metamorfose i ca. 18 km dybde. Basaltisk magma intruderer og danner det senere Fongen gabbro kompleks.

3. Under de sidste faser af den Kaledonske bjergkædedannelse for ca. 390 mill. år siden dannes 'napper', hvor store skiver af bjergartslegemer skubbes langt mod øst ind over andre bjergarter. 'Kilen' i højre side af billedet er også en nappe.

4. Nappen og de underliggende bjergarter foldes.

5. Erosion frembringer det nuværende mønster for fordelingen af bjergarter.

De rastede områder er bjergarter, der ikke omtales i denne forbindelse.



Figur 3. Model for et typisk 'landslide' langs en kystklint i Danmark. I toppen af skredet dannes normalforkastninger, og små sprækker i overfladen forudsiger udviklingen af nye forkastninger. I tåen af skredet dannes liggende folder og overskydningsplaner. Bemærk de antithetiske forkastninger i skredmassen oven på nappestrukturerne ved tåen.

en, det vil sige strandvolden, bliver løftet op ved den fortsatte bevægelse i tåen af et 'slide'.

Mellem toppen og tåen ligger udskridningsmassen. Denne masse vil være mere eller mindre sammenhængende afhængig af skredtypen. Hvis den hænger nogenlunde sammen, vil den være karakteriseret af to typer blokforkastninger: 1) stejltstående syntetiske normalforkastninger nærmest ved hovedudskridningsfladen, og 2) antithetiske normalforkastninger i den nederste del af udskridningsblokken (se fig. 3).

De syntetiske normalforkastninger viser, hvor der i skredet stadig er en bevægelseskomponent i lodret retning. De større forkastninger kan betragtes som hovedudskridningsflader, der tidligere startede ved toppen af skredet. Disse forkastninger har en aftagende bevægelse i forhold til den yngste hovedudskridningsflade, som har den største bevægelse, idet den bærer den største vægt. De antithetiske forkastninger ses bedst ved, at der opstår små horste i hovedudskridningsblokken. Forekomsten af disse strukturer i blokken viser, at hovedbevægelsen i denne del af 'slidet' er lateral. I tilknytning til de antithetiske strukturer opstår der ofte små søer i udskridningsblokken. Vandfyldningen af lavninger omkring horstblokkene eller mellem de nedskredne, roterede 'skiver' kan ses som et udtryk for det store porevandstryk i sedimentet.



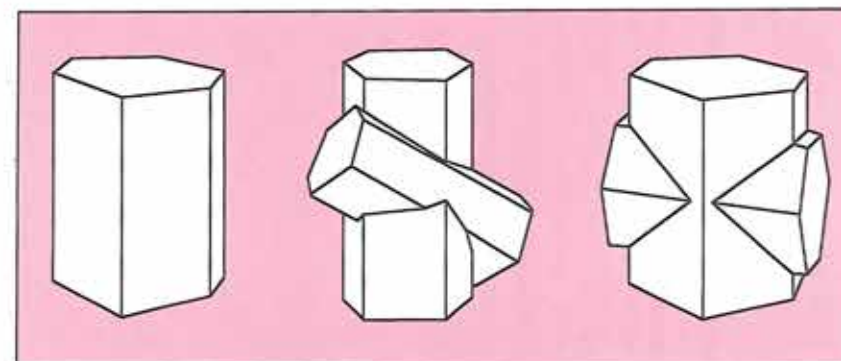
Figur 2. Et typisk 'landslide' langs Lønstrup Klint, her tæt ved den gamle kirkegård i Nr. Lyngby.

Lønstrup Klint er et af de steder i Danmark, der er udsat for store skred (fig. 1). Snart vil Rubjerg Knude fyr også være i fare for at skride ned (fig. 2). En ide kunne være at forberede sig til nedstyrtningen i god tid ved at opsætte tilskuerspladser, hvorfra turister kunne følge forløbet i skredprocessen. Ideen er ikke så tosset, som man umiddelbart skulle tro. Da der ikke er nogen myndigheder, som har tænkt sig at gøre noget for at hindre de naturlige skredprocesser og kysterosioner, vil man her have en enestående chance for videnskabeligt at følge forløbet.

For at forstå, hvordan processen forløber, må man starte med at beskrive skredets struktur eller arkitektur. Figur 3 giver et overblik over de forskellige elementer, som indgår i et *landslide*. Orden *landslide* er engelsk og betyder såvel et jordskreds geomorfologi som selve udskridningsprocessen.

Et *landslide* består basalt set af en TOP og en TÅ. Toppen af 'slidet' er beliggende øverst på skrænten og er karakteriseret ved udvidelsessprækker. Ved toppen af skredet begynder hovedudskridningsfladen. Denne flade fortsætter ind under udskridningsblokkene og dukker frem ved tåen af skredet. Tåen af skredet ligger ved foden af skrænten, og ofte vil den ved danske kyster enten være dækket af vandet i strandkanten, eller være delvis borteuderet af bølgeslag. Det kan ske, at en stormsituation har dækket tåen af et 'slide' i en tidlig fase af skredudviklingen. Man kan sådanne steder opleve det usædvanlige fænomen, at strand-

Møllestens-bjergarten tilhører den gruppe metamorfe bjergarter, der kaldes for glimmerskifre, der kan dannes ved metamorfose af ler. Normalt er glimmerskifre ikke egnet til møllesten, men det, der gør Selbu-glimmerskifren egnet, er, at den indeholder store mængder af det mørkebrune mineral staurolit. Dette er et af de hårdeste almindelige mineraler (hårdhed 7–7.5), og det er desuden meget modstandsdygtig overfor kemisk forvitring. Det betyder, at når resten af bjergarten forvitrer væk, ligger staurolitkrystallerne tilbage og stikker ud af overfladen. Det mørke grus, der ligger ved bunden af blotninger med glimmerskifre, indeholder ofte perfekte staurolitkrystaller, som er faldet ud af den forvitrede bjergart (fig. 7).

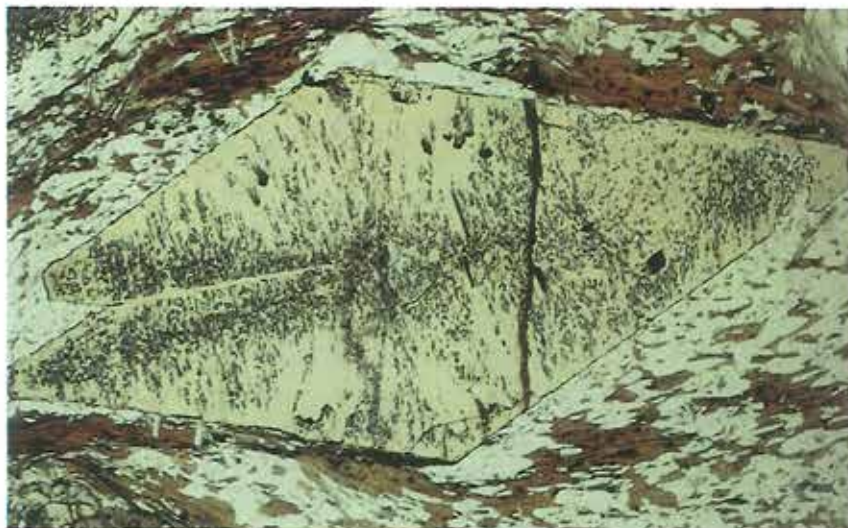


Figur 6. Skitse af perfekte staurolitkrystaller, hvoraf de to til højre er tvillingkrystaller. Mineraliet staurolit krystalliserer monoklint og danner ofte gennemvoksningstvillinger i form af et kors. Mineraliet er opkaldt efter græsk: stauros = kors og lithos = sten.



Figur 7. Staurolitkrystaller fra Højfjellet.

For at bjergarten skal være egnet til møllesten, må staurolitkrystallerne være jævnt fordelt, og de må hverken være for små eller for store. Skifrene skal have en tæt båndet eller 'folieret' struktur med mere eller mindre glimmerige lag, og møllestens overflade skal være parallelle med denne struktur. Men lagene af glimmer må ikke være for tykke, og der må ikke være sprækker eller årer i bjergarten, da sådanne skaber svaghedszoner i møllestenen.



Figur 8. Mikrofotografi af en staurolitkrystal (2 mm lang) i et tyndslib fra den bjergart, der er blevet anvendt til møllesten ved Høgfjellet. Den gule staurolit har en perfekt krystalform og indeholder mange små indeslutninger af kvarts. De brunlige strøg omkring stauroliten er flager af biotit sammen med farveløs kvarts og små mængder af andre mineraler.

Sammen med staurolit og glimmer (især den mørke biotit) indeholder møllestenene kvarts og små mængder feldspat (især plagioklas). Af andre mineraler optræder lys blå kyanit og granat i varierende mængder. Tilstedeværelsen af disse mineraler afslører de maksimale tryk- og temperaturforhold, som bjergarten har været udsat for for ca. 400 millioner år siden. Staurolit dannes ud fra relativt jernholdigt ler ved en temperatur på mindst 550°C. Ved temperaturer over ca. 700°C begynder en bjergart af denne sammensætning at smelte, men møllestenene viser ikke nogen tegn på opsmeltning.

Granater dannes i sådanne bjergarter ved et tryk, der svarer til en dybde på 15 km, mens kyanit dannes ved et lidt større tryk. Det kan derfor konkluderes, at Gula Gruppens bjergarter - altså også møllestens-enheden - blev opvarmet til ca. 600°C i en dybde på ca. 18 km i forbindelse med den Kaledonske bjergkædedannelse.

LANDSLIDE

LANDSLIDE

af Stig Schack Pedersen

Snart styrter Mårup Kirke i havet. For mindre end en måned siden skete der et nyt stort skred ved Lønstrup Klint, hvorved jordstykket mellem kirkegårdsdiget og klintkanten forsvandt. Så nu er kirken alvorligt truet.

De besøgende ved Mårup Kirke bliver ved skilte advaret om skredfaren. Forvarsløst om et skred ses ofte ved sprækker i den græsbevoksede jordoverflade. Pludselig åbner en ny lille sprække sig. Med snigende sendrægtighed udvider den sig, indtil det tidspunkt da hele blokken ud mod klinten giver sig og skrider ned.

Igennem et par år har skrænten ellers stået stabilt. I august 1990 målte jeg afstanden fra den store røde granitblok i kirkegårdsdigets nordvestre hjørne og ud til skræntens top til 20 m. Så sent som i slutningen af august i år målte jeg samme afstand. I artiklen i Varv 1986/3 blev erosionsraten opregnet til 1.3 m per år ved Mårup Kirke, og man kunne derfor tro, at erosionsraten var i aftagende. Men nu har skrænten fået et hug, der bringer erosionen op på noget over normalen.



Figur 1. Udsigt fra Rubjerg Knude Fyr mod Mårup Kirke, der dog ikke ses på billedet. Næsten hvert år skrider et stykke af klinten ned på denne strækning. Før i tiden var der en kirkesti langs klinten, men i de seneste år er nedskridningerne sket så hyppigt, at det ikke har været muligt at holde stien ved lige.

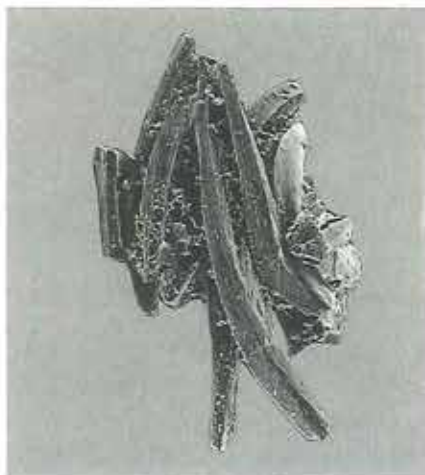
ligget i et ordnet mønster på f. eks. skifer-overflader) og sammenkittede grupper af conodont-elementer i restslammet fra opløsning af kalksten (fig. 6). Disse fund viser, at en og samme conodontart næsten altid indeholder flere forskellige elementtyper, hvilket svarer til, at menneskets tandsæt jo også indeholder forskellige typer tænder.

Langt de fleste conodont-arter har et tandsæt, der udgøres af mellem 3 og 7 forskellige element-typer, men nogle enkelte arter indeholder kun 1 eller 2 typer. Elementerne kan inddeles i flere hovedgrupper (fig. 2): De kegleformede elementer, de ramiforme (grenede) og platform-elementerne. Conodonternes tandsæt kan bestå udelukkende af kegleformede elementer eller af platform-elementer, mens der ikke kendes tandsæt bestående alene af grenede elementer.

Selv om ingen kendte, kæbeløse vertebrater har en opbygning af tandsættet, som svarer fuldstændig til conodont-apparatet, peger de fleste analyser på, at conodont-elementerne antagelig har haft raspe og/eller gribefunktion som hos f. eks. slimålene. Det er ikke utænkeligt, at conodonerne skiftede tænder, da dette forekommer hos de nære slægtninge slimålene og lampretterne.

Levevis

Conodoner var marine organismer, der svømmede frit rundt i vandmasserne. De var mest almindelige på de kontinentale lavvandede områder, men de kunne også krydse de store oceaner, hvilket gør conodoner til et effektivt stratigrafisk værktøj. Det kan eksempelvis nævnes, at arten *Paracordylodus gracilis* (fig. 6) fra Nedre Ordovicium både kendes fra Skandinavien, Nord- og Sydamerika og Australien. De fleste conodontarter var mere eller mindre knyttet til bestemte miljøer, mens andre var 'generalister', d.v.s., de var tolerante over for forskellige dybder, temperaturer og saltholdighed. Vi vil komme nærmere ind på dette i en senere artikel.



Figur 6. Sammenkittet gruppe af elementer fra arten *Paracordylodus gracilis*. Bemærk, at gruppen indeholder forskellige typer elementer.

Det er uvist, hvad conodonerne levede af, men hvis de opførte sig som de nært beslægtede slimål, gik de ikke af vejen for at spise ådsler. Slimål ynder at bore sig ind i et stadig friskt fiskekadaver og spise al indmaden, hvorefter de forlader det tomme skrog kun efterladende sig skind og ben til stor ærgelse for mange fiskere.

Hvor mange møllesten?

Det er interessant at overveje, hvor mange møllesten der blev produceret i Selbu-området. Der er selvfølgelig ikke optegnelser, der strækker sig tilbage til denne industri's start for ca. 500 år siden, men antallet er bestemt i tusindvis, men hvor mange?

Sammen med Rolseth's 75 navngivne stenbrud var der mange flere uden navn. Et af de største stenbrud ved Høgjellet er vist i fig. 8, og det bestod sandsynligvis oprindeligt af flere mindre brud. Bruddet er nu omkring 6 m bredt, 5 m dybt og 100 m langt. Det betyder, at der er brudt 3000 m³ bjergart. De møllesten, der ligger tilbage i området er ca. 1 m i diameter og ca. 20 cm tykke. Hvis der regnes med regulære blokke, giver det et volumen på 0.2 m³. Dette svarer til omkring 15.000 møllesten, men det har været uundgåeligt med et vist spild. Ansættes spildet til ca. 50%, ender vi med 7.500 møllesten, som kunne være produceret fra dette brud.



Figur 8. Et forladt møllestensbrud ved Høgjellet.

Den samme beregning kunne udføres på andre stenbrud, hvis de blev opmålt. Rækken af stenbrud er på Rolseth's kort ca. 800 m lang, men den er ikke sammenhængende. Vi regner med, at ca. 30.000 møllesten kunne være blevet produceret fra denne række af brud. Det er meget svært at anslå, hvor mange møllesten der er blevet produceret andre steder i Selbu-området. Høgjellet var hovedcentret for produktionen, men der har været mange mindre stenbrud ud over dette (måske over 100). Vi må derfor komme med et kvalificeret gæt på, at



Figur 9. Stor afbrækket møllesten ved Høgfjellet. Hammeren er 1/2 m lang.

der blev produceret over 50.000 møllesten i Selbu-området. Det synes at være et temmelig stort antal, men over en periode på 500 år giver det en årlig produktion på 100 møllesten. Mens dette tal er nemmere at akceptere, er det svært at forestille sig det arbejde, der skulle udføres for at bryde møllestenene og ikke mindst for at transportere dem til Selbu. Transporten foregik om vinteren med slæder.

Møllesten af den størrelse og vægt er ikke objekter, der let forsvinder. Der er mange Selbu-møllesten på gårde rundt om i Trondheim-regionen, men hvor er de andre tusinder staurolitførende møllesten i dag?

I det nordlige England anvendtes i vidt omfang en grov Karbon sandsten, der kun er lidt ældre end de kulholdige bjergarter, som møllesten. Denne sandsten er kendt under navnet 'Millstone Grit'.

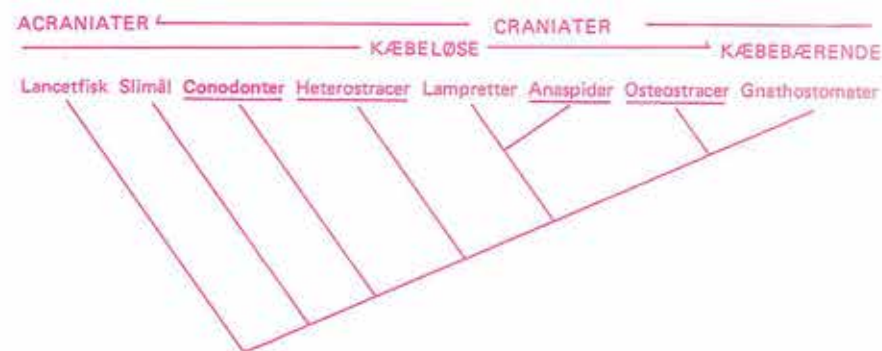
- et 'tandsæt', der var bilateralt symmetrisk (og hvor 'tandsættets' halvdele formodentlig blev bevæget mod hinanden i tværgående retning (som hos slimål)),

og at conodonerne manglede:

- kæber,
- benskelet.

Summen af disse karakterer peger på, at conodonerne tilhører gruppen af craniater ('hovedbærende'), kæbeløse vertebrater, nok nærmest beslægtede med slimålene (fig. 4b), hvilket er et synspunkt, der har mødt tilslutning blandt mange conodontforskere. Synspunktet blev yderligere understøttet af resultater fra en amerikansk forskergruppe, der i 1990 fandt visse mikroskopiske strukturer i conodont-elementerne, der svarer til strukturer i slimålens tænder.

Det sidste nye fra 1992 er, at endnu en engelsk forskergruppe – under studier af conodont-elementernes mikrostruktur – fandt evidens for, at conodonerne er vertebrater, idet de observerede *cellulært ben* i elementer (tænder) fra conodontslægten *Cordylodus*, der levede i øverste Kambrium og nederste Ordovicium. Cellulært ben findes ikke hos f. eks. slimål og lampretter, men kun hos mere avancerede vertebrater, men dets slægtskabsmæssige betydning er usikker. Ikke desto mindre peger denne opdagelse på, at vertebrat-gruppen nu kan tilbagedateres med yderligere 40 mill. år til slutningen af Kambrium.



Figur 5. Stamtræ, der viser conodonerne nuværende systematiske placering blandt øvrige vertebrater. De understregede grupper er uddøde.

Conodont-elementernes inddeling og funktion

Siden Pander's beskrivelse af de første conodoner i 1856 har man almindeligvis givet de enkelte element-varianter (morfortyper) hver deres artsnavn. Der er senere fundet både såkaldte 'lagplan-selskaber' (hvor conodont-elementerne har

Geologi i tidligere Dansk Vestindien

Træk af geologien i tidligere Dansk Vestindien

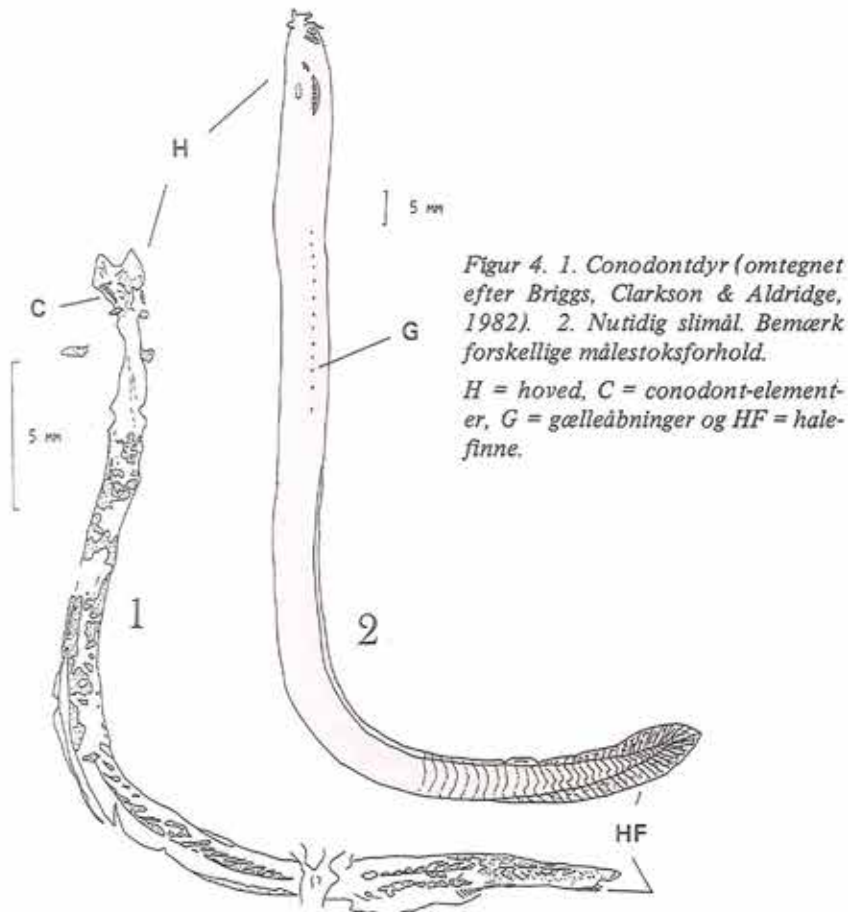
af Gunni Jørgensen

Den 31. marts 1992 var 75-årsdagen for den officielle overdragelse af de Dansk-vestindiske øer, St. Thomas, St. Jan og St. Croix til U.S.A., som havde købt dem af Danmark for 25 millioner dollars. Øerne havde da været i dansk besiddelse i et kvart årtusind. Danske kolonister kom til St. Thomas i 1665 eller i begyndelsen af 1666, og den 30. marts 1666 hejstes Dannebrog på et højedrag nær naturhavnen på sydkysten. Hermed var øen officielt taget i besiddelse i den danske konges navn. St. Jan koloniseredes i 1717, og i 1733 købte Danmark St. Croix af Frankrig.

St. Thomas, St. Jan og St. Croix samt en række øer nord og nordøst for St. Jan hører til øgruppen Jomfruøerne, som er en del af Antillerne. St. Thomas har et areal på 72 km², og St. Jan er på 51 km². Til sammenligning kan nævnes, at Amagers areal er på 65 km². St. Croix er med sine 213 km² på størrelse med Mors. Øerne ligger i tropebæltet, men Nordøstpassaten sørger for, at varmen sjældent bliver generende. Gennemsnitstemperaturen er for januar 25°C og for juli/august 28°C. Vegetationen veksler fra tæt og frodig i de højeste områder, som får mest regn, til tørkepræget i de tørreste områder.



Figur 1. Naturhavnen ved Charlotte Amalie på St. Thomas.

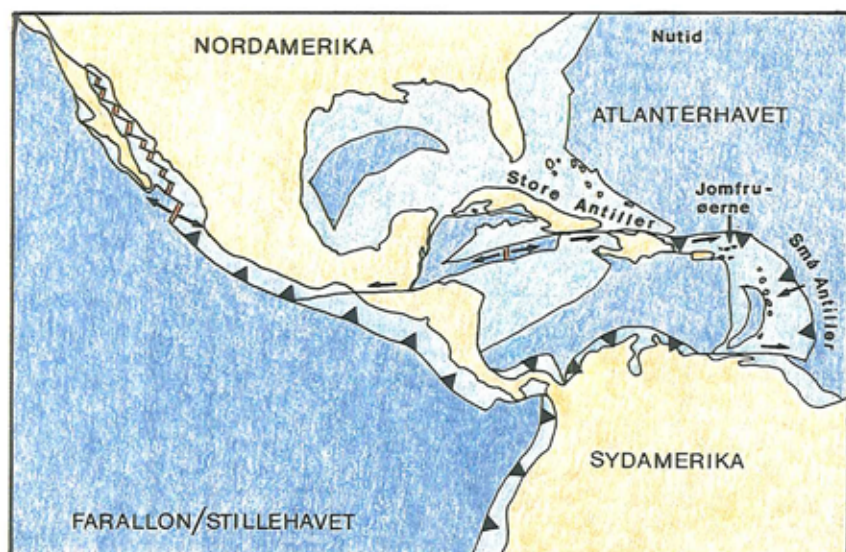


Figur 4. 1. Conodontdyr (omtegnet efter Briggs, Clarkson & Aldridge, 1982). 2. Nutidig slimål. Bemærk forskellige målestoksforhold.

H = hoved, C = conodont-elementer, G = gælleåbninger og HF = halefinne.

nord for Edinburgh i Skotland. Forskergruppen besøgte i midten af 1980'erne lokaliteten gentagne gange og fandt flere aftryk af conodontdyret. De skotske conodontaaftryk gav nogle enestående og særdeles vigtige oplysninger om conodonternes slægtskabsforhold. Som de vigtigste kan nævnes, at conodontdyret havde:

- hoved, krop og hale,
- V-formede kropssegmenter (der tolkes som muskelblokke (kendes kun fra chordater, d.v.s. dyr, som har en rygstreng)),
- asymmetrisk halefinne,
- et lateralt sammenpresset legeme,
- conodont-elementerne ('tænderne') placeret i hovedregionen,



Figur 2. Rekonstruktion af pladebevægelser i det caribiske område for 100 mill. år siden. Violette områder angiver oceanbund. Bemærk, at landområders omrids er de nutidige, da det er vanskeligt at sige noget om den nøjagtige fordeling af hav og land på den tid (Kridttid).

Øernes dannelse står i forbindelse med de pladetektoniske bevægelser, som har fundet sted i det caribiske område. For 180 millioner år siden dannede alle Jordens kontinenter et stort, sammenhængende kontinent, Pangæa. Kontinentet brækkede op, og delene bevægede sig fra hinanden. Nordamerika bevægede sig mod nordvest bort fra Afrika og Sydamerika, og Atlanterhavets dannelse begyndte. I årmillionernes forløb dannedes et hav mellem Nordamerika og Sydamerika, begyndelsen til det Caribiske Hav. Fra Stillehavet gled Farallonpladen mod øst ind under kontinenterne og det nydannede hav, og i underskydningszonen opstod den vulkanske øbue, der skulle blive til De Store Antiller. Disse øer lå altså engang der, hvor nu Mellemamerika ligger.

Pladebevægelserne fortsatte, men for 100 millioner år siden skete der en ændring, idet det nu var oceanbunden i Det Caribiske Hav, der fra øst gled ind under Farallonpladen. Samtidig begyndte Sydamerika at bevæge sig mod nordvest, bort fra Afrika i samme retning som Nordamerika. Farallonpladen fortsatte mod nordøst, og De Store Antiller bremsedes af Bahamaplatformen. En ny underskydningszone og en ny vulkansk øbue opstod der, hvor nu Mellemamerika ligger, og i øst, på grænsen mellem Det Caribiske Hav og Atlanterhavet, dan-

Figur 3. Vertebratpalæontologen Christian Heinrich Pander (1794–1865) var den første, der beskrev conodoner i 1856.



Slægtskabsforhold – hvad er conodoner?

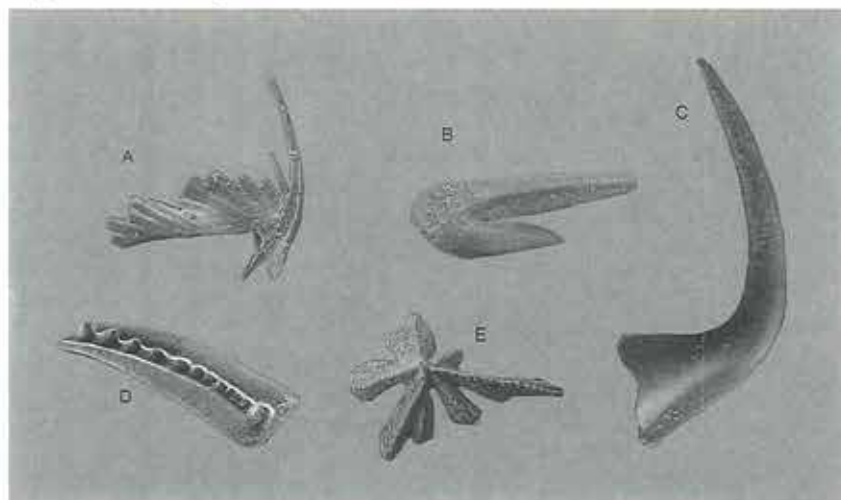
Christian Heinrich Pander (fig. 3) fra Skt. Petersburg udgav i 1856 den første beskrivelse af conodoner. H.C. Pander var vertebratpalæontolog og betragtede conodoner som en primitiv tidlig gruppe af vertebrater. Siden da har mikropalæontologer været uenige om, hvor i dyreriget conodonerne skal placeres. Conodoner har sågar været henført til mineralriget såvel som til planteriget, men i dag er der næppe nogen, som tror på disse ideer. Mere populære forslag har været, at conodonerne var beslægtede med forskellige invertebratgrupper (d.v.s. dyr uden ryghvirvler) som f. eks. ormebløddyr (*aplacophora*), snegle, krebsdyr og pilorme, eller med vertebratgrupper (dyr med ryghvirvler) som f. eks. lancetfisk, slimål, lampretter eller fisk. For at komme uden om alle disse problemer har mange dog valgt at opfatte dem som en selvstændig række (*phylum*).

Indtil for ganske nylig har det kun været muligt at analysere conodonerne slægtskabsforhold ud fra studier af conodont-elementerne, idet man ikke havde fundet aftryk af dyrets bløddele.

En epokegørende opdagelse blev publiceret i 1983 af en britisk forskergruppe, der som de første kunne fremvise conodont-elementer siddende i oprindelig position i et aftryk af selve conodontdyret. Tidligere fund fra 1973 og 1976 af påståede 'conodontdyr' fra henholdsvis Karbon og Kambrium viste sig at være forkerte (formodentlig var det mavesækkindhold fra et andet dyr, der havde spist conodontdyr). Det første rigtige conodontdyr (fig. 4 a) var et 4 cm langt og 1-2 mm bredt, ålelignende aftryk, der blev fundet af Euan Clarkson (der i øvrigt er kendt for sine undersøgelser af trilobitøjne) i en skuffe, hvor det havde ligget og samlet støv i adskillige år på den britiske geologiske undersøgelse.

Conodontafttrykket var i en kalksten fra den nedre karbone 'Grant Sandsten', der tillige er rig på fossile krebsdyr, ostracoder, blæksprutter og fisk, fra lidt

dem at se. Anstrengelserne vil dog blive rigeligt belønnet, dels fordi en håndfuld kalksten kan indeholde mere end 1000 conodont-elementer, og dels fordi de er meget smukke at se på.

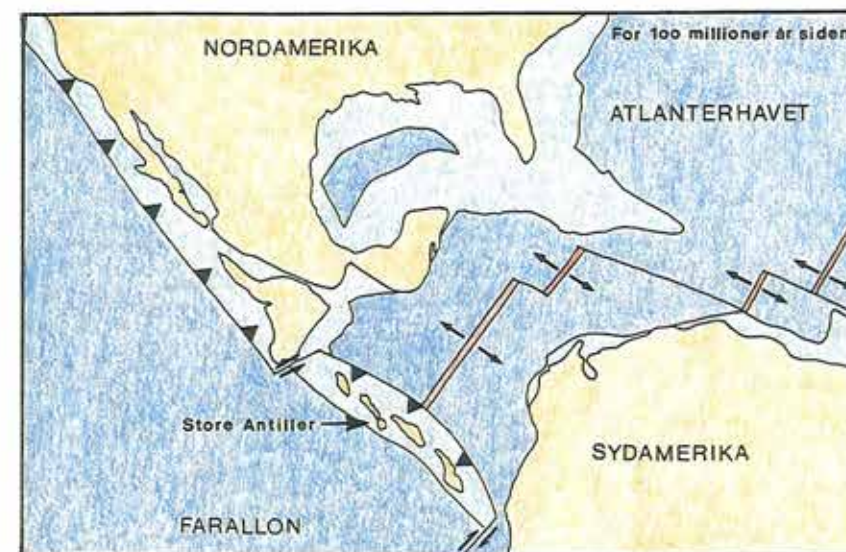


Figur 2. Forskellige typer conodont-elementer. A. grenet (ramiformt) element, B–C. kegleformede elementer, og D–E. platform-elementer. A, B og D er ca. 0.5–1 mm lange, mens C og E er 1–2 mm lange.

Prøvebearbejdning – hvordan finder man conodonte?

Hvis man vil studere conodonte, gøres det bedst ved først at opløse selve kalkstenen i en 10–15% eddikesyre-opløsning i en plastikspand. Den øvre grænse på 15% er vigtig, da conodonte ellers vil blive opløst. Man skal påregne, at kalkstensprøven skal ligge i syre i op til 8 uger (indtil kalken ikke bruser mere) med syreskift et par gange om ugen. Processen er hurtigere, hvis kalkstenen først knuses ned til småkage-store stykker, før den lægges i syren. Ved hvert syreskift hældes ca. 3/4 af den brugte syre meget forsigtigt ud, hvorefter ny syre tilsættes. Brug beskyttelsesbriller, gummihandsker og plastikforklæde, og husk at neutralisere den brugte syre helt med almindelig kalk, mørtelrester eller lignende, før den smides bort.

Når kalkprøven er opløst, vil conodont-elementerne ligge tilbage i det uopløste slam. Herefter kan man vadsigte prøven gennem en fin sigte eller en rest finmasket nylonstrømpe og til slut tørre prøven. Den tørrede sigterest er nu klar til at blive undersøgt og sorteret under mikroskop. Conodonte fiskes op fra sorteringsbakken med en fin akvarelpensel, der er fugtet på hårspidsen. Conodonte kan herefter monteres i en lille æske påført en film af vandopløselig lim, og bestemmelsesarbejdet kan begynde.



Figur 3. De nutidige aktive pladegrænser.

nedes endnu en øbue, De Små Antiller, hvor der stadig findes aktiv vulkanisme. I geologisk henseende hører St. Thomas, St. Jan og St. Croix til De Store Antiller.

St. Thomas og St. Jan

St. Thomas og St. Jan ligger på den undersøiske Puerto Rico-banke. De ældste bjergarter på de to øer findes i Water Island Formationen og formodes at være fra Nedre Kridt. Det drejer sig hovedsageligt om tuf, breccier og lava, som er strømmet ud på havbunden. Præcis hvornår vulkanismen startede er uvist, men den rent undersøiske aktivitet stoppede for ca. 100 millioner år siden.

I slutningen af 'Water Island-tiden' hævedes området, således at den overliggende Virgin Island Gruppe blev dannet subaerisk (i fri luft, på landjorden). Ældst i gruppen er Louisenhøj Formationen, hvis bjergarter stammer fra en vulkan, som lå i det nuværende Pillsbury Sound mellem St. Thomas og St. Jan. Her er der lokaliseret et pluton, som kan repræsentere de størknede rester af magma-legemet under vulkanen. Louisenhøj bjergarten, en augit-andesit breccie, blev af den svenske geolog P.T. Cleve, der i slutningen af 1800-tallet foretog undersøgelser i Vestindien, kaldt 'Bluebeach', et navn, der stadig anvendes af de lokale beboere. I slutningen af eller efter 'Louisenhøj-tid' har der været op- og nedadgående bevægelser af området. Outer Brass kalkstenen, som følger lige efter Louisenhøj aflejringerne, er afsat i en periode, hvor området har ligget under havets overflade, og hvor der har været ophold i vulkanismen.



Figur 4. Water Island i baggrunden har givet navn til Water Island Formationen. St. Thomas.

Efter denne kalksten følger Tutu Formationen, der udgøres af en grov sandsten, som næsten udelukkende består af nedbrydningsprodukter fra Louisenhøj Formationen, isprængt kalkfragmenter. De yngste aflejringer i Virgin Island Gruppen er Hans Lollik Formationen, som består af augit-andesit breccie og tuf, der er aflejret i havet (se midtersiderne).

Der findes ingen aflejringer fra Tertiær inden for de to øers nuværende landområde. Lagene hælder generelt mod nord. De ældste lag, Water Island Formationen, ligger sydligst, de yngste, Hans Lollik Formationen, findes kun på de nordlige småøer, Hans Lollik og Little Hans Lollik. Først på de Britiske Jomfruøer nordøst for St. Jan findes der tertiære lag.

Alt imens øerne byggedes op, har der været perioder, hvor magma trængte ind i spalter og størknede der som gange, og hvor større magmamasser er størknet under Jordens overflade som plutoner. Jordskorpepladernes bevægelser har ført til foldning og forskydning af lagene på øerne.

Landskabeligt ligner St. Thomas og St. Jan hinanden. Begge øer hæver sig stejlt op fra havet, og der er næsten ingen flade områder.

St. Croix

St. Croix ligger ca. 60 km syd for St. Thomas og St. Jan og er skilt fra de to øer af det mere end 4.500 m dybe, seismisk aktive Anegada Trug, der forløber NØ-

CONODONTER

af Jan Audun Rasmussen og Svend Stouge

Mange af Varv's læsere har sikkert været på tur i Sverige, på Bornholm eller i Oslo-området og set røde eller grå palæozoiske kalksten (fig. 1). Ellers kender vi alle sådanne kalksten fra kalkstensfliser eller som løse blokke på de danske strande. Disse kalksten er velkendte for deres mangfoldighed af fossiler, såsom trilobiter, orthoceratiter (blæksprutter) og flere former for pighude og brachiopoder, men et vigtigt element i den totale fossile fauna er også mikrofossilerne. Disse kan normalt ikke observeres direkte på stedet, så derfor må prøver tages med hjem til videre behandling. Skjult i kalkstenen findes nemlig bevaret rester af en vigtig fossilgruppe, der kendes under navnet *conodonte*.



Figur 1. Foldet, conodontførende kalksten fra Ordovicium. Andersön, Jämtland, Sverige.

Conodonte var en af de mest udbredte, marine dyregrupper i perioden fra slutningen af Kambrium til slutningen af Trias. Som navnet, der er sammensat af de græske ord *conus* (kegle) og *odontos* (tand) antyder, består de fossile rester af tandlignende, ofte kegleformede, objekter (fig. 2 B og C). De er opbygget af fosfatholdige lameller (en carbonat-fluorapatit-forbindelse) og er sjældent mere end 1 mm lange, så det kræver et mikroskop og lidt hjemmearbejde for at få



Figur 6. Beach rock nær Hams Bay på St. Croix. Bemærk den store koralkoloni i midten af billedet.

De nutidige sedimenter omfatter strandsand, beach rock og forvittringsprodukter. Beach rock er en cementagtig sandsten, der forekommer på tropiske og subtropiske strande. Den dannes i tidevandszonen og består af sand og grus (evt. også skalgrus), som kittes sammen af kalk.

Lige som på St. Thomas og St. Jan er lagene på St. Croix blevet foldet og flere steder forskudt. Der går en folderyg gennem øerne fra vest til øst, afbrudt af gravsænkningens område i den centrale del. Retningen af bjergryggen svarer til retningen af foldebjergene på de øvrige Jomfruøer.

Landskabeligt kan St. Croix deles i tre områder. I vest og øst danner de foldede Kridttidsaflejringer bjergområder, og der imellem ligger det mere eller mindre bakkede tertiære sletteland, hvor koralkalk og mergel danner undergrunden.

I 1906 rejste Ove Balthasar Bøggild, senere professor i mineralogi og bestyrer af Mineralogisk Museum, til Vestindien for at foretage indsamlinger fra de danske øer. Resultatet af hans indsats, en omfattende samling bjergartsprøver, befinder sig nu i Geologisk Museum, og en lille del af dem er benyttet i museets særudstilling 'Geologi i tidligere Dansk Vestindien', som åbnedes i marts 1992.

SV over en strækning på ca. 250 km mellem Puerto Rico platformen og den nordvestlige del af De Små Antiller. Dette trug i havbunden danner en geologisk grænse mellem De Store og De Små Antiller.

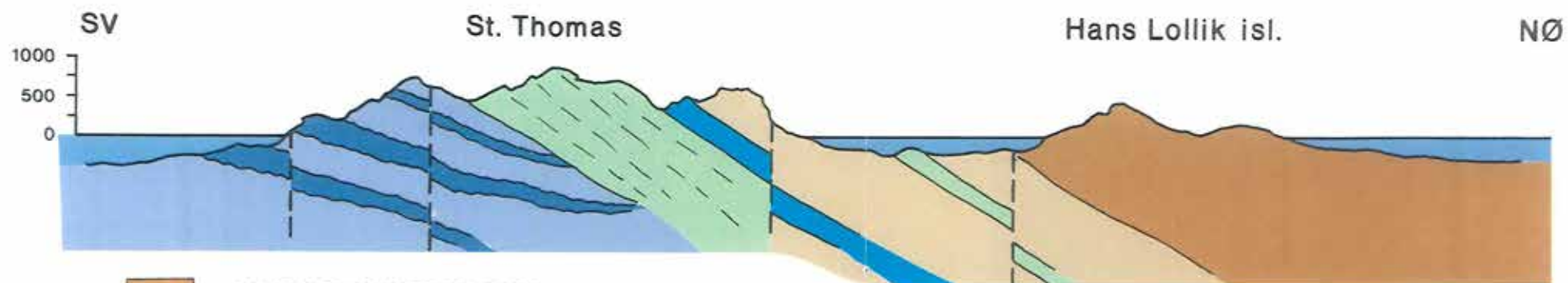
Bjergarterne på St. Croix består dels af vulkansk materiale, som er aflejret på havbunden i Kridttid, dels af kalksten og mergel fra Tertiær. De ældste bjergarter (Caledonia Formation) er fra Øvre Kridt. Det er turbiditter med indhold af vulkansk materiale som tuf og vulkanske breccier. Turbiditter er sediment, der er afsat af slamstrømme, som er gledet ned ad shelfskræningen ud på dybhavsbunden. Flyderetninger i turbiditterne viser, at vulkanen, der kastede materialet ud, lå nord for St. Croix.

Senere i Kridt (Allandale, Cane Valley og Judith Fancy Formationerne) udvikledes et vulkansk center sydøst for St. Croix, og fra denne periode kendes marine tufholdige aflejringer. Bevægelser i jordskorpepladerne på overgangen til Tertiær førte til foldninger af lagene, lettere metamorfose af bjergarterne samt hævnning og dannelse af kystterrasser. Desuden størknede opstigende smeltmasser som gange og som store magmalegemer bestående af diorit og gabbro.

Midt i Tertiær dannedes en gravsænkning i den centrale del af St. Croix, hvori der aflejredes mergel, konglomerater og koralkalk. Fra den yngste del af Tertiær har St. Croix sandsynligvis ligget over havoverfladen. Erosionsoverflader med hævede koralrev og undersøiske terrasser vidner om fortsatte niveauændringer.



Figur 5. Skiferlag i kystklinten på St. Croix's nordkyst. Skiferlagene hører til Judith Fancy Formationen fra Øvre Kridt (Campanien).



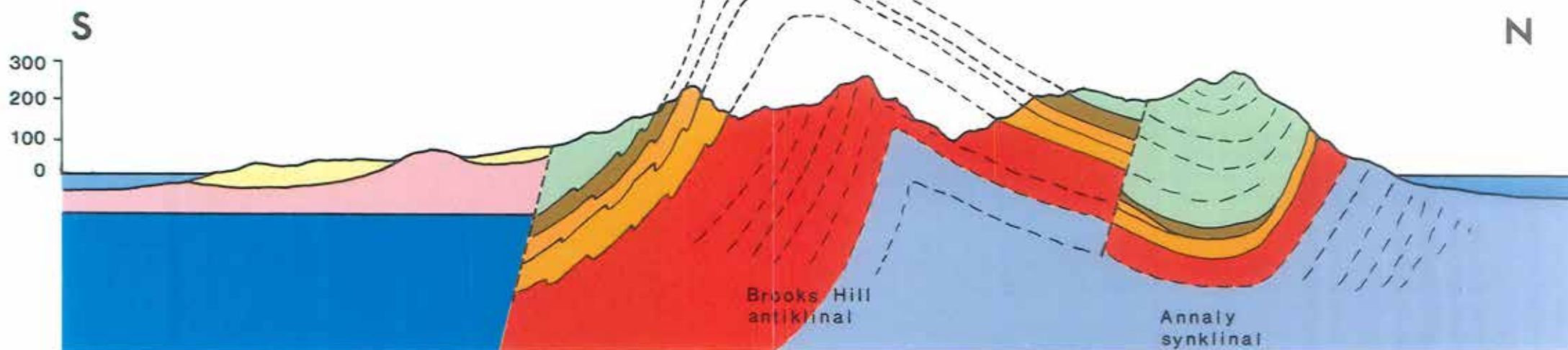
HANS LOLLIK FORMATION

TUTU FORMATION

OUTER BRASS KALKSTEN

LOUISEHØJ FORMATION

WATER ISLAND FORMATION



JUDITH FANCY FORMATION

CANE VALLEY FORMATION

ALLANDEALE FORMATION

CALEDONIA FORMATION

KVARTÆR

KINGSHILL MERGEL

JEALOUSY FORMATION

KRIDT

TERTIÆR

Brooks Hill
antikalinal

Annaly
synklinal