



Billedet viser den - indtil nu - eneste fundne forstenede stenmeteorit. Meteoriten er fundet i kalkstensbruddet i Rödberget ved Brunflo, Jämtland, Sverige. Meteoriten faldt i havet for omkring 460 millioner år siden og ramte i nedfaldet (?) en orthoceratit (blæksprutte-art), der ses umiddelbart over meteoriten.



SSP 82.

NÅR LAG FOLDES MERE END EN GANG, KAN DER DANNES PILESPIDS-STRUKTURER - EN SÅDAN SES HEROVER. I SKOTLAND FINDES FORSTENEDE PLANTER, DER ER OMTRENT 400 MILLIONER ÅR GAMLE. VARV HAR SET NÆRMERE PÅ DISSE GAMLE PLANTERS INDRE OPBYGNING.

KARSTFÆNOMENER KENDES ISÆR FRA SYDEUROPA, MEN DE ER OGSÅ I DANMARK - VARV VISER NOGLE EKSEMPLER. I FORTSÆTTELSE AF DE TIDLIGERE ARTIKLER OM METEORITER BRINGER VARV DEN SENSATIONELLE BESKRIVELSE AF VERDENS FØRST FUNDNE FORSTENEDE METEORIT - FRA BRUNFLO I SVERIGE.



VARVs læsere kender alle den rare - men undertiden lidt glemsomme - dinosaur Peter, som lejlighedsvis viser sig i bladet. Men i enkelte lande har Peter et helt afvigende "image". Her vises begge sider af en ølbrik fra Østrig. Teksten lyder: "Stop skatteuhuret" og "Næsten halvdelen af Deres øl sluges af dette dyr".

Peter er slået helt ud og har ikke kræfter til at finde ud af, hvad "Wirtschaftsbund für den Mittelstand" står for. Vi hører iøvrigt gerne fra læsere, som kender andre eksempler på sære anvendelser af Peter-dyr!

VARV

Adresse: Tidsskriftet VARV, Geologisk Centralinstitut, Øster Voldgade 10, DK-1350 København K. Telefon: 01-11 22 32
Kontor: Mandage 9-16, Anita Ege, andre dage: Steen Sjørring
Redaktion: Valdemar Poulsen (ansvarshavende), Asger Berthelsen, Erling Bondesen, Jens Konnerup, Erik Stenestad, Steen Sjørring og Sven Laufeld (Sverige)
Renskrift: Gitte Sjørring
Montage: Jens Konnerup og Steen Sjørring
Repro: Scan-Lith ApS, København
Tryk: Fair-Print A/S, Roskilde

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 45 kr i abonnement. Abonnement tegnes ved indsendelse af beløbet til VARV, Postgiro 9 06 88 80.

Adresseændringer eller fejl ved bladets levering bedes meddelt postvæsenet.
© 1982 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kun efter aftale.



Figur 7. Detailbillede af meteoriten. Den grå kondrul i midten har sandsynligvis været en metalkondrul, noget meget sjældent.

og jeg selv fik et søgende og flakkende blik ved synet af polerede stenbeklædninger af sedimentbjergarter efter opdagelsen af Brunflo!

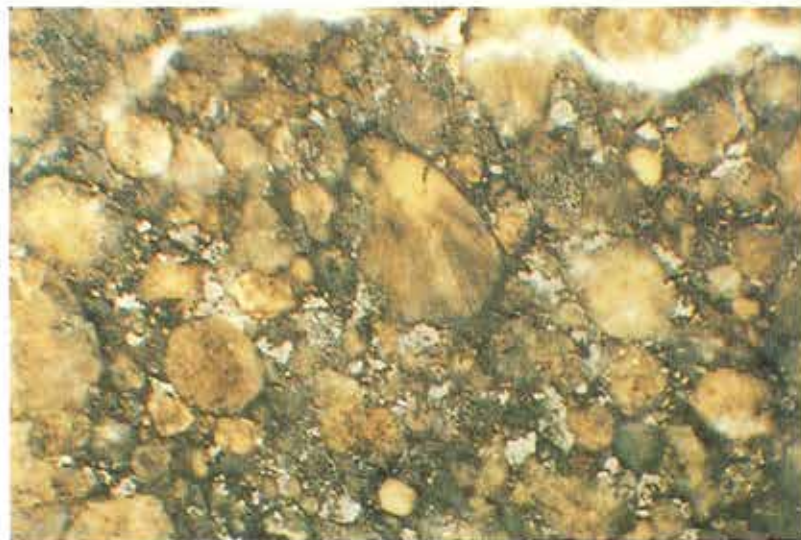
En ting, som har været genstand for mange vittigheder, er at en dårligt bevaret orthoceratit (fossil blæksprutte) ligger med hovedet ind mod meteoriten. Man får det indtryk, at blæksprutten blev dræbt af den nedfaldne meteorit. "Verdens første registrerede ulykkestilfælde" blev det kaldt af aviserne. Adskillige lejlighedsdigte har også været at læse rundt om i verden, om den intet ondt anende blækspruttes bitre skæbne men senere berømmelse. Naturligvis er det usandsynligt, at det forholder sig på den måde, men man kan på den anden side heller ikke modbevise det!

Meteoritens store videnskabelige betydning ligger i, at det er den første antydning af, hvad det var for meteoriter, som faldt for omkring 450 millioner år siden. Derfor må den undersøges i alle detaljer.

Der er ingen tvivl om, at denne historie illustrerer Niningers påstand. At det ikke gik så galt som det kunne være gået, beroede på en kombination af mange faktorer, f.eks. at Thorslund blev interesseret i meteoritkratre og derigennem fik et "opladt sind". Han ville ellers næppe være kommet på sin gode ide.

Men jeg er overbevist om, at den vigtigste af alle faktorer var Per Thorslunds personlighed. Han var helt frem til sin død en mand med et ungt sind. Han fulgte udviklingen indenfor sin videnskab og reviderede løbende sine synspunkter. Som alle ved, er det en sjælden og lykkelig egenskab hos et menneske, som er næt langt op i årene.

kalkspat, tungspat, kobaltit og en af krom og vanadium grønfarvet glimmer ("fengit") (Fig. 5-7). Man kan undre sig over, hvordan udvekslingen fandt sted. Mineralerne nikkeltjern, troilit (FeS), olivin og pyroxen har ikke megen lighed med de mineraler, der havde erstattet dem, og alligevel er de fine strukturer i kondrulerne ofte bevarede. Det vi ser i pladen er altså pseudomorfoser, for at tale fagsprog. Heldigvis fandtes der et mineral, som var så modstandsdygtigt, at det var bevaret upåvirket. Kromit, som forekommer som mikroskopiske korn i



Figur 6. Detalje af viftelignende radialkondrul.

alle kondritter og som har en varierende men karakteristisk kemisk sammensætning, viser, at der er tale om en meteorit og ingen jordisk bjergart. Desuden tyder kromitens sammensætning på, at det sandsynligvis er en såkaldt H-kondrit. Det er en af de almindeligste kondrittyper og karakteriseres af et højt (deraf H) jernindhold. Meteoriten sidder i en plade, som den ikke trænger igennem. Altså må der have været en plade til, som havde et stykke af meteoriten i sig. Hvad hændte med den eller de dele? Desværre var der gået næsten 30 år, da vi forsøgte at besvare det spørgsmål. Besøg i Brunflo viste, at de fleste, som kunne have vist noget, var døde. Ingen havde nogen erindring om begivenheden. Af det vi fik frem, ser det mest sandsynligt ud, at resten af meteoriten er havnet i affaldsdyngen og endt som vejgrus.

Men der findes en teoretisk mulighed for, at den sidder i en stenplade i en eller anden bygning. Måske findes der mange meteoriter, som sidder på den måde rundt om i verden. Jeg tror næppe nogen kan undre sig over, at både Thorslund

Planter fra Rhynie

af K. Raunsgaard Pedersen



Fossile planter kendes allerede fra Prækambrium, idet de indtil nu ældste fund er 3.200 millioner år. Først ca. 2.800 millioner år senere, i Silur-Devon, synes planterne at have forladt havområderne, hvor udviklingen indtil da havde fundet sted, og de første landplanter dukker op.

Tidlige landplanter kendes fra mange steder i verden, men to områder har især ydet mange bidrag til vor viden: Gaspé i det østlige Canada, hvorfra de første landplanter blev beskrevet midt i 1800-tallet, og Rhynie i det østlige Skotland, hvorfra de første virkelige velbevarede landplanter blev beskrevet omkring 1920. Selvom de senere års undersøgelser i Øst-Canada og Nordøst-USA har givet mange nye informationer om landplanteudviklingen fra nye og gamle lokaliteter, indtager materialet fra Rhynie stadig pladsen som det bedst bevarede tidlige landplantemateriale.

Lokaliteten Rhynie ligger i Aberdeenshire i Skotland. De første fund af sort chert (flint) med plantestængler blev gjort i løsblokke i mark- og havegårde og på en mark, hvor senere udgravninger viste, at cherten udgør et lag på 2-4 meters tykkelse i en skiferserie, der henførtes til Old Red Sandstone og nu til Nedre Devon.

Plantematerialet i Rhynie-cherten blev undersøgt af de engelske palæontologer Kidston og Lang og beskrevet i en række afhandlinger, der betød et gennembrud i forståelse af tidlige landplanter og deres indre opbygning. De rekonstruktioner af planterne, som Kidston og Lang lavede, må stadig generelt anerkendes, selvom der er kommet enkelte små ændringer til.

Der er nu forløbet godt 60 år siden disse fossiler blev beskrevet, og de har siden optrådt i mange støvede lærebøger, men den fantastiske bevaringstilstand og materialets æstetiske kvalitet gør, at man stadig kan lære af det og fascineres af det, måske især når man kan opleve de originale farver i det knap 400 millioner år gamle materiale.

De tre planteslægter fra cherten: *Rhynia*, *Horneophyton* og *Asteroxylon*, har et udseende som man må regne for typisk for tidlige "land"-planter, selvom de nærmest må have levet i et sumpet område. De udviser karakterer, som man må regne for væsentlige og nødvendige for at planterne fra vand har kunnet tage landoverfladen i besiddelse, og som generelt ikke findes hos vandplanterne. De har alle: a) et beskyttende dæklag, en kutikula, og regulerbare små åbninger i overfalden, spalteåbninger, b) ledningsvæv til transport af opsuget vand op i planten og til transport af producerede organiske stoffer rundt i planten, samt c) beskyttede sporer, som har sikret formeringen og udbredelsen på land. De tre slægter udviser forskellig grad af organudvikling og repræsenterede sikkert videreudvikling fra mere simple former.



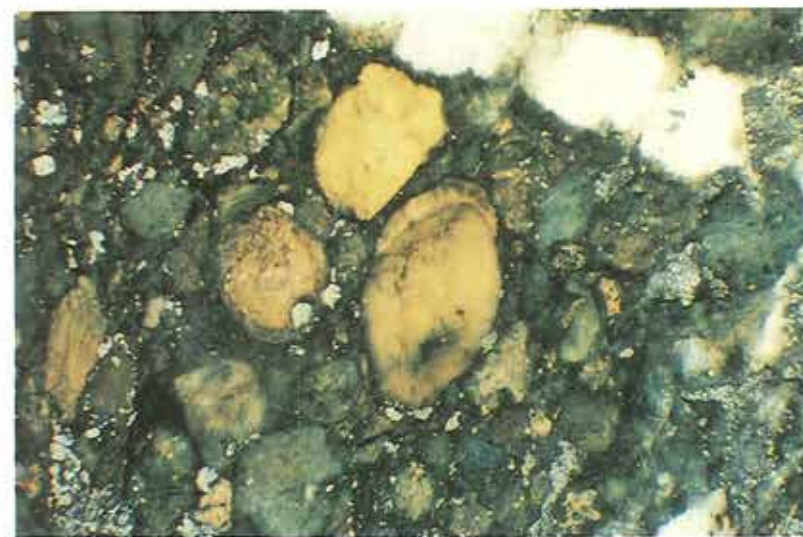
Figur 1.

Slægten *Rhynia*, opkaldt efter findestedet, er simplest opbygget. Den har få gange tvegrenede stængler, der udgår fra horisontale underjordiske (? undervands) "rhizomer" med trådformede "rhizoider". Sporangierne er lidt langstrakte og endestillede. Der er beskrevet to arter af *Rhynia* fra lokaliteten (fig. 1). De er af forskellig dimension, henholdsvis 20 og 50 cm, men er ellers kun forskellige på få punkter. Tværsnittet og længdesnittet af *Rhynia* (fig. 2 og 3) viser en mørk streg midt i stænglen. Den består af nogle få ledningsrør: Tykvægede tracheider med ringformede fortykkelser, hvorigennem planterne transporterende vand op. De omkringliggende langstrakte tyndvægede celler er sivvævceller, hvorigennem organisk stof er transporteret. Der er forholdsvis mange flere sivvævceller end tracheider. De omkringliggende celler, "barken", der udgør den største del af stænglen, er de celler hvor fotosyntesen er foregået. Der er hulrum in mellem cellerne, og disse har forbindelse med spalteåbninger i stængeloverhuden. De yderste celler er tydeligt mere kompakt arrangeret end de indre. Dette har sikkert haft en isolerende men også en afstivende funktion, idet ledningsvævet i den centrale del af stænglen ikke har kunnet virke særligt afstivende. Den brune linie, som afgrænser stænglen, er kutikulaen, det modstandsdygtige yderlag, der har beskyttet stænglen og isoleret mod fordampning.

disse mineraler afgør klassificeringen ligesom meteoritens totale jernholdighed. Det var helt klart, at fundet ikke var en såkaldt enstatitkondrit, da disse sten ikke indeholder olivin, mens Brunflo indeholdt gitter-kondruler, som altid består af olivin.

Af petrografens rapport fremgik det, at stenen var omdannet, derfor kunne man ikke anvende mineralernes sammensætning, men totalindeholdet af jern, magnesium og aluminium burde give en ledetråd med hensyn til klassificeringen.

Heldigvis var der også sket meget indenfor videnskaben siden 1952. I stedet for at se i mikroskop kan man nu foretage en direkte kemisk analyse af de små mineraler i mikrosonde. Vi borede derfor små kerner ud af meteoriten fra bagsiden af pladen og fremstillede polerede tyndslib, som undersøgtes i mikrosonden. Igen måtte vi revidere vor viden.



Figur 5. Detailbillede med kondruler. De er ikke alle gullige, grønne forekommer også. Alle består af sekundære mineraler.

Petrografen havde klart sjuksket i 1952, alle mineraler bortset fra kalkspat var fejlbestemte. Men det er helt undskyldeligt, megen fantasi og stor mistænksomhed havde været nødvendig for at forestille sig hvilke mineraler, det i virkeligheden var. Der var næsten intet jern eller magnesium, der er de grundbestanddele, som er karakteristiske for stenmeteoriter. De måtte være trængt ud i de forskelligt farvede zoner omkring meteoriten. Derimod var andre mineraler, som

ikke tale om en almindelig meteorit, men en fossil stenmeteorit. Enhver fagmand vidste jo, at stenmeteoriter ikke havde en chance for at blive bevaret!

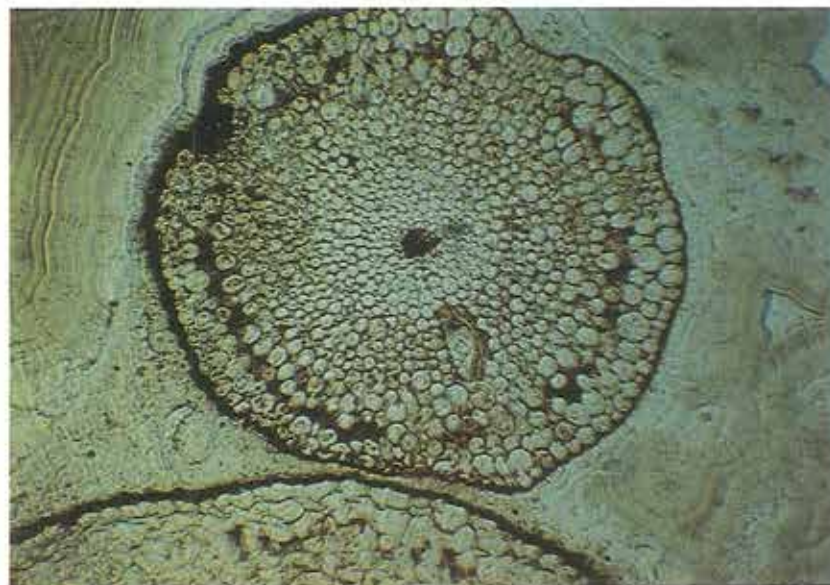
I januar 1981 havde jeg et andet ærinde i Uppsala og sørgede da for at hilse på Thorslund. Vi baksede pladen op på et bord, og jeg måtte da erkende, at genstanden så mistænkelig ud. Med min håndlup kunne jeg konstatere, at jeg aldrig havde set nogen jordisk bjergart, som i så høj grad lignede en kondrit (den almindeligste form for stenmeteorit). Man kunne se kugler, som så ud som kondruler. Vi gik ud i institutionens museum, og jeg viste Per, hvordan kondruler så ud i dagens meteoriter. Så blev vi enige om, at pladen skulle sendes til Stockholm, så jeg kunne undersøge den nærmere.



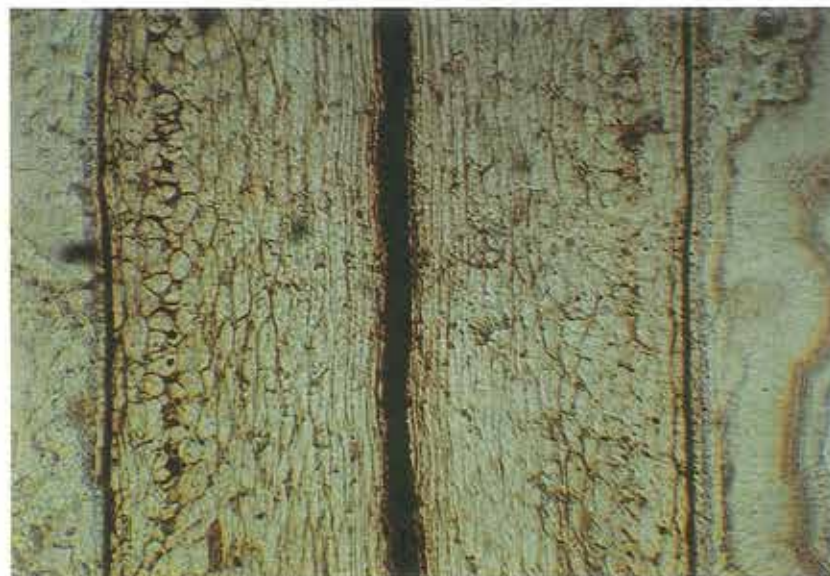
Figur 4. Typiske kondrulstrukturer i meteoriten Brunflo.

Da den kom, kunne jeg med et passende mikroskop studere stenen nærmere. Jeg troede ikke mine egne øjne. Bid for bid var det som at studere en nyfalden kondrit med de forskellige kondrulstrukturer (Fig. 4). Jeg følte mig helt kraftløs, og pludselig forstod jeg, hvordan amerikaneren Donald Johansson måtte have følt sig, da han i 1974 opdagede "Lucy" (*Australopithecus afarensis*) i Etiopien. Jeg ringede omgående til Per Thorslund og fortalte om det utrolige. Han havde ret, det var en stenmeteorit, og ikke alene det, den var utroligt velbevaret. Det var en videnskabelig verdenssensation.

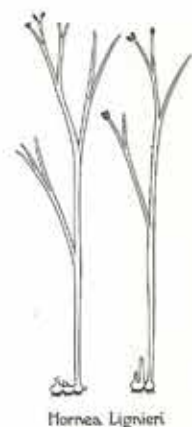
Nu drejede det sig om at bestemme, hvad det var for en slags meteorit. Kondritter består overvejende af olivin og ortopyroxen. Jern/magnesiumforholdet i



Figur 2. Tværsnit af Rhynia.



Figur 3. Længdesnit af Rhynia.



Horneophyton slægten ligner i det ydre Rhynia, men har knoldformede rhizomer og mere afrundede sporangier, der har tendens til at sidde tæt parvis (fig. 4). Stænglerne er op til ca. 30 cm høje, og har samme indre opbygning som Rhynia. Tværsnittet af en rhizomknold (fig. 5) viser, at knolden er fyldt ud med tyndvæggede celler, og at de yderste celler (overhudens) ved udbulning danner rhizoiderne. De brune kugler af cellestørrelse er ivoirigt hvile-spore af svampe.

Figur 4.

Et sporangiepar af *Horneophyton* (fig. 6) ses at være ret tykvæggede og sporerne, der stadig ligger i sporangiet, er forsynet med et ekstra beskyttende væglag, der giver den mørkebrune farve. Sporerne er dannet fire sammen (i et tetraeder) og har et karakteristisk netværk på den side, der vender bort fra søskende-sporerne. Det ses (fig. 7), at nogle af sporerne er frigjort som enkelte sporer. Men de sporer, der ses her, nåede altså ikke at blive sendt ud i verden og danne nye individer.



Figur 5. Tværsnit af rhizomknold af *Horneophyton*.

Resultatet gjorde ikke spørgsmålet om, hvordan stenen var havnet i kalkslammet (kalkstenen) lettere. Thorslunds tidligere undersøgelser havde nemlig vist, at det tidspunkt, der var tale om, Mellem Ordovicium, lå den plads, vi idag kalder Brunflo, ved kysten. Mod øst findes fastlandet, og mod vest lå et ocean. Med andre ord: i Mellem Ordovicium var de ultrabasiske bjergarter, som nu findes vest for Brunflo, endnu ikke dukket op af oceanet. Ja, de var måske endnu ikke dannet. Fra den side kunne stenen altså ikke være kommet, og desværre, til alle andre sider kendte man heller ikke til passende bjergarter inden for rimelig afstand. Hvordan transporterer man forresten en stor sten til en plads, hvor der bare afsættes kalkslam og eventuelt noget lerslam? Man kender faktisk til en mekanisme med både nutidige og fossile eksempler. Hvis man har mange alger ved en strand, kan sten rulles ind i tæpper af alger ved hjælp af bølgenes påvirkning. Ved højvande kan tæppet flyde ud, og når det efterhånden går i opløsning, synker stenene til bunds. Fejlen ved denne mekanisme er, at den næppe transporterer bare en enkelt sten, man finder flere. Thorslund følte sig ikke tilfreds med forklaringen og skrev intet om det mærkelige fund.

Pladen blev derfor stillet til side og forblev således i de følgende 27 år. Den var ikke glemt, og den flyttede med Thorslund, da han skiftede værelse ved sin pensionering. Men den var stadig uforklaret.

Inden Thorslund blev professor, havde han været ansat ved Sveriges Geologiske Undersøgelse. Som tjenestemand der havde han arbejdet med mange andre problemer end Jämtlands kambrosilur. Han havde for eksempel i lang tid studeret de palæozoiske bjergarter i den såkaldte Siljansring i Dalarna. Dette områdes geologi er svær at udforske, blandt andet fordi bjerggrunden er dårligt blottet. Men den største vanskelighed består i, at bjerggrunden i ringen består af små og op til kilometerstore bjergartskager i en næsten kaotisk blanding. Årsagen hertil er, at Siljansringen er den synlige rest af et meget stort meteoritkrater, som dannes her i Devontiden. Denne hypotese blev fremsat i begyndelsen af 1960-erne, men da der blev fundet indicier herfor omkring 1970, var Thorslund en af de første i Sverige, som anerkendte tolkningen, selv om han da var 70 år og tilhørte en aldersgruppe, som ofte anses for at være utilbøjelig for at lade fakta påvirke synspunkter. Hans interesse for meteoriter og kratre i almindelighed, voksede efterhånden. I begyndelsen af december 1979 gennemgik Thorslund atter sine samlinger i forbindelse med en ombygning på institutionen, og han så blandt andet på den 30 kg tunge plade fra Brunflo. Da kom inspirationens øjeblik: Tænk hvis det var en meteorit! Thorslund kunne ikke selv afgøre sagen og henvendte sig derfor til mig, fordi meteoritkratre var vor fælles interesse og vi samarbejdede på dette område.

Jeg må ærligt tilstå, at min entusiasme for hans forslag om, at jeg skulle tage til Uppsala for at se på en formodet meteorit var minimal. Når man igennem mere end 30 år har set på formodede meteoriter, bliver man pessimist. Det er så overmåde sjældent, man bliver belønnet med en rigtig meteorit. Yderligere var der

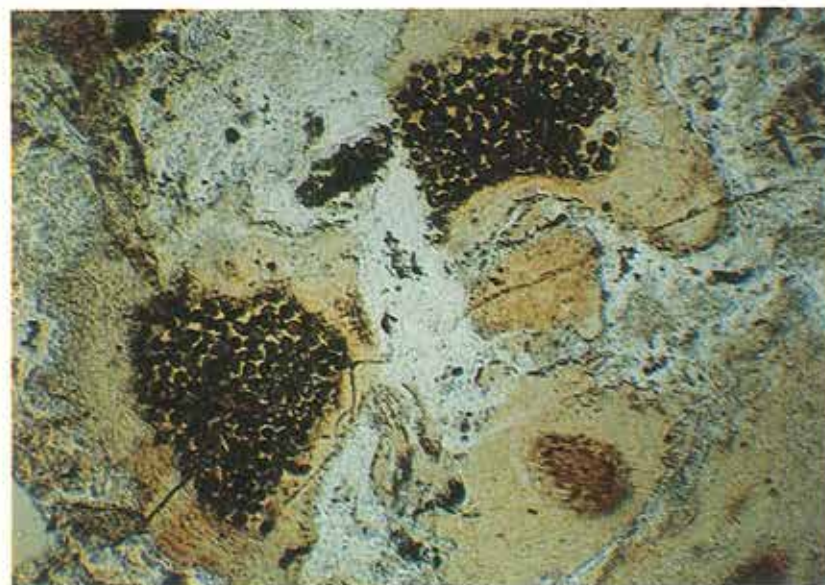
vendtes på den tid meget i bygninger, blandt andet er den benyttet i den store hal i Stockholms Hovedbanegård.

Thorslund fik ofte spørgsmål om kalkstenen fra sine venner i Brunflo. Han blev derfor ikke overrasket, da der i 1952 kom en 65 x 65 cm stor kalkstensplade fra fabrikkens disponent, der gerne ville vide, hvad det var for noget, som sad midt i pladen (bagsidens foto), og hvordan det var kommet der. I Brunflo havde man nemlig aldrig set noget tilsvarende.



Figur 3. Nærbillede af meteoriten. I en zone langs kanterne kan man se kondruler som små kugler. Meteoritens indre del er mindre velbevaret, det hvide er overvejende tungspat.

Thorslund, som da var blevet professor i Uppsala, så på det og kunne konstatere, at der i midten af den rødbrune plade sad en nærmest sort sten på omkring 10 cm (Fig. 3.). Stenen var omgivet af koncentriske ringe i forskellige farvenuancer (se bagsidefoto). At der ikke var tale om en sedimentbjergart, var helt klart, og Thorslund bad derfor en højt kvalificeret petrograf om hjælp. Da stenen ikke gik gennem den 30 mm tykke plade, mejslede man den dækkende kalksten bort på bagsiden og tog små prøver af den sorte sten. Af disse prøver fremstillede man tyndslib, 0.03 mm tykke, gennemsigterlige stenskiver, som monteres som almindelige mikroskopiske præparater mellem glasplader. Petrografen undersøgte så tyndslibet under et polarisationsmikroskop. Han rapporterede, at stenen var en stærkt omdannet ultrabasisk bjergart, som bestod af klinkzoisit, kalkspat, magnetit og serpentin.



Figur 6. Et sporangiepar af *Horneophyton*.



Figur 7. Sporer fra *Horneophyton*.

Asteroxylon, der som navnet angiver, har stjerneformet veddel, er også i det ydre meget afvigende fra de to foregående (fig. 8). Stænglerne er dækket med små udvækster, der må tolkes som blade, og forgreningsmåden er mere udviklet, idet kun sidegrenene har tvegreninger. Rhizomerne synes ikke at have rhizoider, og sporangierne kan ikke umiddelbart ses, idet de sidder mellem bladene på den



Figur 8.

øverste del af de op til 1/2 m høje planter. På tværsnittet af *Asteroxylon* (fig. 9) ses den stjerneformede opdelt figur, som ledningsvævets tracheider danner. I de lyse områder imellem har sivævets tyndvæggede celler ligget. Tracheiderne har her ikke kun ringfortykkelser, men de større, der ligger ind mod midten, har spiralformede fortykkelser i væggen (fig. 10). Den største del af stænglerne består af tyndvæggede barkceller, nogle steder med radierende hulrum. De brune pletter, der ses spredt i barken, er ledningsstrenger, der går til basis af bladene. Nederst i billedet, hvor lidt af et blad går ud fra stængeloverfladen ses, at ledningsstrengen ikke går ud i det. Der er også en beskyttende kutikula på bladoverfladen.

Asteroxylon er højere udviklet end *Rhynia* og *Horneophyton*. Dette ses ved tilstedeværelsen af bladene, der giver en større overflade som kan opfange solenergi, og udfra formen af ledningsvævet og tracheidtype, der giver bedre afstivning.

Foruden at give et billede af landplanternes organisationsniveau i tidlig Devon tid for 380 millioner år siden, fortæller *Rhynia*-cherten også naturhistorie på andre måder. Cherten er blevet tolket som en oprindelig moseaflejring, i et område hvor tilgroning og vandstand (indsynkning) har været nogenlunde i ligevægt, mens den 2-4 m "torveaflejring" blev dannet. Tolkningen er naturlig med

Årsagen til, at ingen "fossile" meteoriter er fundet på Jorden, anses derfor at bero på, at meteoriter forvitrer meget hurtigt i det jordiske klima. De har helt enkelt ingen rimelig chance for at blive bevaret. Sådan lyder den almindelige forklaring, men nogen har også peget på den menneskelige faktor. Mest direkte har årsagen nok været formuleret af meteoritforskningens "grand old man": H.H. Nininger, som har behandlet spørgsmålet i sin selvbiografi. Han siger, at årsagen er, at de geologer som i deres daglige arbejde sysler med sedimentære bjergarter, det vil sige stratigrafer og palæontologer, aldrig har lært, hvordan en meteorit ser ud i virkeligheden. Derfor reagerer de ikke, hvis de finder en sådan.



Figur 2. Kalkstensbruddet Rödberget, hvor meteoriten blev fundet.

I slutningen af 1920'erne bestemte en ung Uppsalastudent, Per Thorslund, sig for at blive geolog og specialisere sig i palæontologi og stratigrafi. Som opgave fik han undersøgelsen af de palæozoiske sedimentbjergarter i egnen syd for Östersund i Jämtland. Her ligger en lille landsby, Brunflo, kendt for sin kalkstensindustri (Fig. 2). I mange somre fulgte Thorslund brydningen i kalkbrudene og studerede bjergarterne og fossilerne. I 1940 fik han doktorgraden på en afhandling over området.

Selve brydningen foregik på den måde, at man brød store blokke, som transporteredes til fabrikken. Der blev de savet op til skiver af en passende tykkelse, som derefter blev delt i rigtig størrelse og poleret. Kalkstenen fra Brunflo an-

BRUNFLO

VERDENS FØRST FUNDNE
FOSSILE STENMETEORIT



af Frans-Erik Wickman

Figur 1.

Historien om opdagelsen af den første "fossile" stenmeteorit fra Brunflo i Jämtland (Fig. 1) er så usædvanlig, at den er værd at fortælle. Da der desuden er tale om en videnskabelig verdenssensation, skal VARVs læsere have en redegørelse. Egentlig skulle historien have været skrevet af Per Thorslund, men da han gik bort efter kort tids sygdom i november 1981, har jeg overtaget opgaven.

Usædvanligt sjældne naturfænomener har svært ved at blive accepterede af professionelt skeptiske naturvidenskabsmænd. De betragter let beretninger om sådanne hændelser som amestuehistorier. Meteoriterne udgør et velkendt eksempel, og det var først omkring år 1800 at den officielle naturvidenskab erkendte, at sten kunne falde fra himlen. Blandt alle de spørgsmål, som blev aktuelle, da man endelig havde erkendt meteoriternes eksistens, skal vi se nærmere på et. Er der altid faldet sten ned på Jorden? Hvis det er tilfældet, burde man kunne finde meteoriter i sedimentbjergarter på samme måde, som man finder fossiler.

Nu er det selvk klart, at antallet af meteoritnedslag er meget, meget mindre end det antal individer, som har chancen for at blive bevaret som fossil. Men for meteoriterne gælder det bare om at finde et eksemplar, og derfor kan man udligne forskellen i hyppighed ved at øge mængden af undersøgt bjergart. I første omgang tænkte man da på stenkul og kalksten. De ligner ikke meteoriter af udseende, og man bryder dem i milliarder tons hvert år. Men man fandt intet i mere end 100 år. Man ledte efter forskellige forklaringer på dette. At meteoriter er faldet ned så længe planetsystemet har eksisteret, ved man nu, takket være rumrejserne og studiet af planetlignende legemer i solsystemet.



Figur 9. Tværsnit af Asteroxylon.



Figur 10. Længdesnit af Asteroxylon.



Figur 11. Plantemateriale med rester af svampetråde og svampe-hvileporer.



Figur 12. Plantestængel med helede sår efter (?) insektgnavning.

de store mængder plantemateriale, der er vævet ind i hinanden. Da planteresterne findes i den oprindelige vækstposition og oftest ikke viser tegn på transport, må man antage, at planterne oprindeligt har vokset, hvor vi nu finder dem. Kun i nogle få tynde sandlag er plantematerialet mere opdelt. Der må dog have hersket specielle forhold i mosen ved Rhynie. For i almindelige mose- og sumpaflejringer bliver planteresterne gradvis nedbrudt og sammenpresset til tørvemateriale, hvor de bløde plantedele oftest er helt opløst, og hvor materialet er flad-

Det er imidlertid ikke så let at tidsfæste disse to udviklingstrin. Forekomsten af de skrålejrde sand- og gruslag tyder dog på, at smeltevand kan have spillet ind, hvis ikke ligefrem den første udviklingsfase med de underjordiske karstløb daterer sig helt tilbage fra Tertiærtiden?

Den sidste udvikling, efter sammenstyrtningen, foregik sandsynligvis i Eftertiden.

Er karst-geologi nyttig?

Hvad kan alt dette så bruges til?

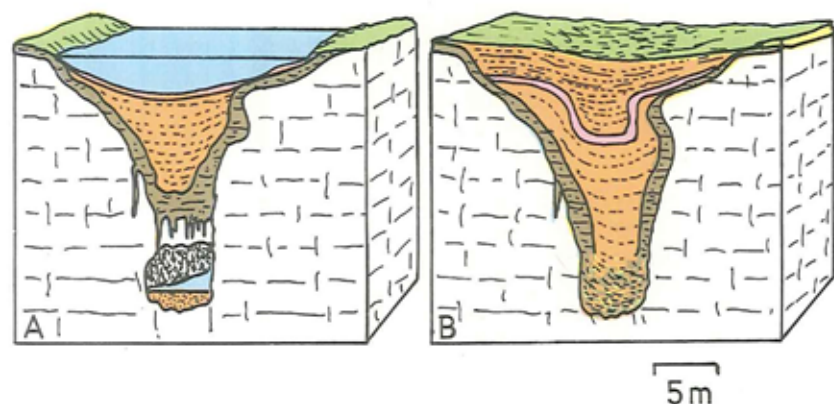
Det har naturligvis praktisk betydning, at forekomster af opfyldte skorstene og doliner og afvandringsforholdene i en kridtgrav kan forudsiges - både i forbindelse med brydning og anlægsarbejder. Kridt og kalksten danner også tit vigtige grundvandsreservoirer, og tilstedeværelsen af karstfænomener vil i værste fald kunne bringe forurenet vand i direkte kontakt med grundvandet.

Anbringelse af olietanke og lossepladser, for slet ikke at tale om underjordisk deponering af radioaktivt affald, i områder med højtliggende kridtaflejringer, bør derfor være en opgave for kendere.



Fontaine de Vaucluse er en karstbetinget kilde i kalkstensområdet ca. 25 km øst for Avignon i Sydfrankrig. Kilden er omkring 10 m i diameter og er periodisk stærkt vandførende. Fontaine de Vaucluse blev allerede i 1300-tallet udødeliggjort som (3-stjernet) turistlokalitet af den italienske digter Petrarca. Som målestok ses to personer ved vandkanten. Foto: I.A.Svendsen.

ne type i Rørdal-området. Foruden Dybdalen, findes et begravet flodsystem, som på luftbilleder kan følges ind over tilgrænsende kridtbakker i Ålborg-området.



Figur 5. Model for dannelsen af en karstbetinget dal ved Ålborg. Til venstre ses et søbassin eller flodløb, hvor et silt-lag er aflejret ovenpå lagdelte sand. I Kridtet under disse aflejringer findes en karsthule med eget vandspejl og sedimentation.

Til højre ses hvordan situationen er i dag. Forløbet af silt-laget over det lagdelte sand viser, at der er sket en brat indsynkning (ca. 4 m) af dalens bund, fordi den underliggende karsthule er styrtet sammen. Efter indstyrtningen er nye aflejringer afsat oven over siltlaget, men der er endnu en synlig dalsænke i overfladen.

I et udgravningsprofil kan det ses, at der må være sket en indsynkning af dalens bund, da den var næsten fyldt op med lagdelte sandaflejringer, fig. 5. En boring viste, at dalen her var ca. 20 m dyb. Den bratte indsynkning skyldes sikkert, at en underliggende karst-hules loft er styrtet sammen. Indstyrtningen forplantede sig op gennem smeltevandfyldt - helt til søbunden, hvorved det karakteristiske siltlag sank med ned.

Dolinerne ved Rørdal må være dannet som fluvio-karst, dvs udformet ved både opløsningsprocesser og floderosion. Floderne må flere steder have haft underjordiske løb, og en boring i Dybdalen viser, at opløsningen har foregået næsten 50 m under dalens overflade.

Iagttagelserne i Rørdal-området tyder på, at doline-dannelsen skete i to trin. Først en fase, hvor der var underjordisk afstrømning igennem karst-kanaler, hvis retning kontrolleredes af sprækkesystemerne. Dernæst en yngre fase, hvor de underjordiske løb er styrtet sammen, og afvandingen skete mere overfladisk.

klemte. At de sikkert oprindeligt meget bløde plantestængler i cherten kun sjældent er sammenpressede eller opløst må skyldes, at udfældningen af kiselmaterialer er sket i takt med aflejringer af plantematerialet, nærmest lige under rødderne af den næste generation af planter. Plantematerialet er således blevet konserveret inden nedbrydningsprocesserne for alvor tog fat. Resterne af svampe-tråde (fig. 11) og svampe-hvilesporer og mærker efter insektgnavning (?) (fig. 12) viser, at uden kiselkonservering ville planterne fra Rhynie være endt som et tyndt kullag. Kiseludfældningen omkring plantematerialet (ses på fig. 2 som tynde lag) skyldes måske vandtilstrømning fra et vulkansk område påvist i nærheden af Rhynie.

Planterne fra Rhynie-cherten er på forskellig organisationstrin, og der må have været mere simple landplanter forud for dem. Udfra løse fund i sedimentlag af de mest modstandsdygtige plantedele, der indikerer tilpasning til livet på landjorden: sporer, kutikula-stykker og ledningsvæv, synes det nu at være godtgjort, at planternes tilpasning til livet på land fandt sted i løbet af Silur tiden, i løbet af et tidsrum på 30 millioner år.

De geologiske konsekvenser af planteverdenens invasion på land blev betydelige, idet det bevirkede helt andre forhold for mange processer på jordoverfladen - som forvitring og transport. Det fik også virkninger for jordens atmosfæreforhold og medførte en lang botanisk og zoologisk følgeudvikling, hvis resultater vi nu sidder midt i.

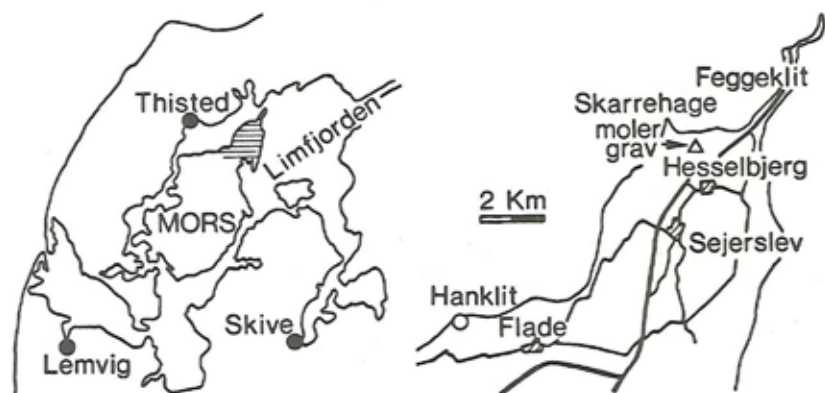


Figur 13. Rekonstruktion af miljøet ved Rhynie i Devontid.

PILESPIDSSTRUKTUR

af Stig A. Schack Pedersen

I Danmark findes ikke bjergkæder i ordinær forstand, men mange af de "bjerge", som findes i Danmark er erosionsrester af foldede og opskudte geologiske lag, der har strukturer sammenlignelige med strukturer i egentlige bjergkæder. Blandt disse "bjerge" kan nævnes Møns Klint, Ristinge Klint, Lønstrup Klint Feggeklit og Hanklit, der alle tolkes som værende resultatet af deformation tilknyttet en fremadskridende is (glacialtektonik) under istiden. De to sidstnævnte lokaliteter er beliggende inden for molerområdet ved Limfjorden. De deformerede lag viser her meget smukke foldestrukturer, idet de tertiære aske-lag kan følges som sorte streger i det lyse moler. Tilstedeværelsen af flere morænebænke i istidsaflejringerne oven på moleret tyder på, at moleret har været overskredet af flere isfremstød. Det var derfor ikke uventet, at man inden for molerområdet ville kunne støde på interferensmønstre opstået ved dobbeltfoldning af molerslagserien.



Figur 1. Lokaltetskort.

En pilespidsstruktur kan opstå, hvor geologiske lag bliver udsat for flere, forskelligt rettede deformationer, det vil sige foldninger af eksisterende folder. Tilfældige snit gennem sådanne dobbeltfoldede strukturer kan give meget varierende mønstre, men visse snit vil fremvise ensartede og gentagende former.

Et meget smukt eksempel på en pilespidsstruktur er således i dette år (1982) blottet i Skarrehage molergrav på Nordmors. Strukturen er blottet i bunden af

Større doliner

Mens skorstenene er meget almindelige i kridtgraven ved Rørdal er større doliner sjældne, men både tragtformede doliner og indstyrtnings-doliner har kunnet ses. Fig. 2 viser en tragtformet doline, som den ville have set ud, før overjorden blev fjernet. Det meste af tragten var fyldt med sandet jord, men nærmest tragtens yderkant, op mod det u-opløste kridt, forekom et kalk-holdigt siltlag. Helt i tragtens bund udgravedes sandjord og vandrette flintlag. Tragten ser ud til at have haft forbindelse med vandrette revner, der nu er udfyldt af skrålejret fint sand.

En anden tragtformet doline er vist i fig. 3. Den er opmålt i sydvæggen af Dybdalens kridtprofil, fig. 4. Her har en stejlt hældende forkastning dannet udgangspunkt for opløsningen langs revner og sprækker. Øverst fyldes tragten af nedskredne kridtbrokker og lagdelt finsand, så følger groft grus og i den lille kanal og karst-hule, som udgår fra tragtens bund, fandtes skrålejret sand og grus.

Hvor kridtet har været særligt gennemsat af sprækker, har doliner kunnet dannes på rad og række, og smelte sammen, når de voksede i bredde. Derved opstod en lille dal med stærkt vekslende relief i bunden. Der er flere dale af den-

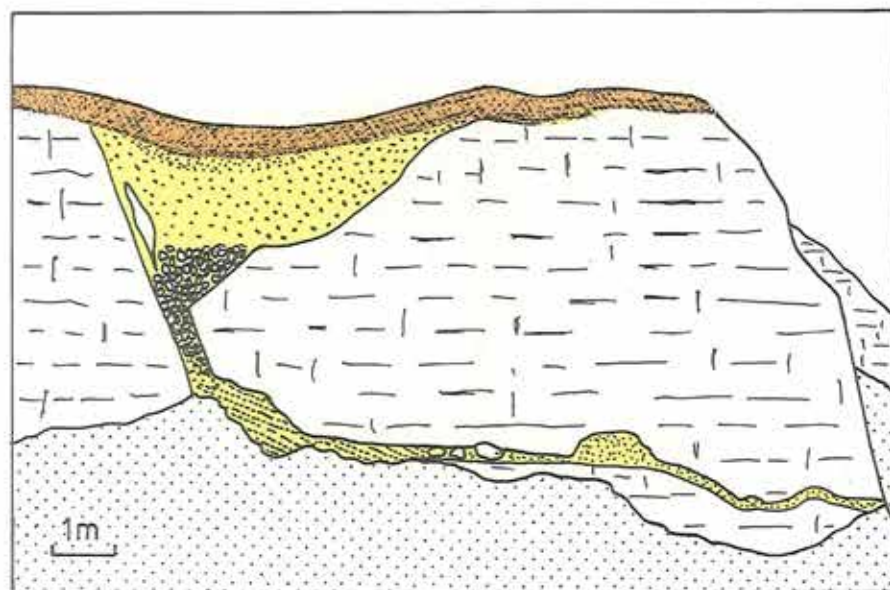


Figur 4. Profil gennem Dybdalen, som er bevaret i et parti mellem to åbne brud, hvoraf det ene ses til venstre i billedet. Profilet skyldes, at der er gravet en vej på tværs af dalen, så gravemaskiner kan komme let fra det ene brud til det andet.

Og sprækkerne er karst-processernes første angrebssted. Hvor de mødes fremmes nedsivningen af det aggressive overfladevand, og der dannes "skorstene" eller opløsningstragte i kalken. Skorstenene er lodrette, jordfyldte "rør", der typisk er 1/2 m i diameter og mellem 1 og 2 m dybe. De ses med 5-10 meters mellemrum i de fleste dele af Rørdal kridtgraven, men ved nedkørslen til Limfjordstunnelen kunne der under anlægsarbejdet ses særlig mange skorstenene. De var af almindelig tykkelse og dybde, men lå med en indbyrdes afstand på 2-3 m.

Det er svært nøjagtigt at sige, hvor gamle disse skorstenene er. Men hvis man antager, at opløsningen er skredet frem med samme hastighed som i de skorstenene, der er dannet i senglaciale kridtholdige aflejringer, det vil sige mellem 10 og 20 cm per år, så kan Rørdal skorstenene være mellem 5 000 og 10 000 år gamle. Altså fra Efteristiden.

Ved Vive nær Hadsund findes en over 7 1/2 m dyb skorsten i kalken. Hvis det er rigtigt at regne på samme måde i dette tilfælde, må den være mellem 35 000 og 75 000 år gammel, og det vil sige, dannet før sidste istids gletschere dækkede Danmark. Men den slags regnestykker er mere spændende end pålidelige.



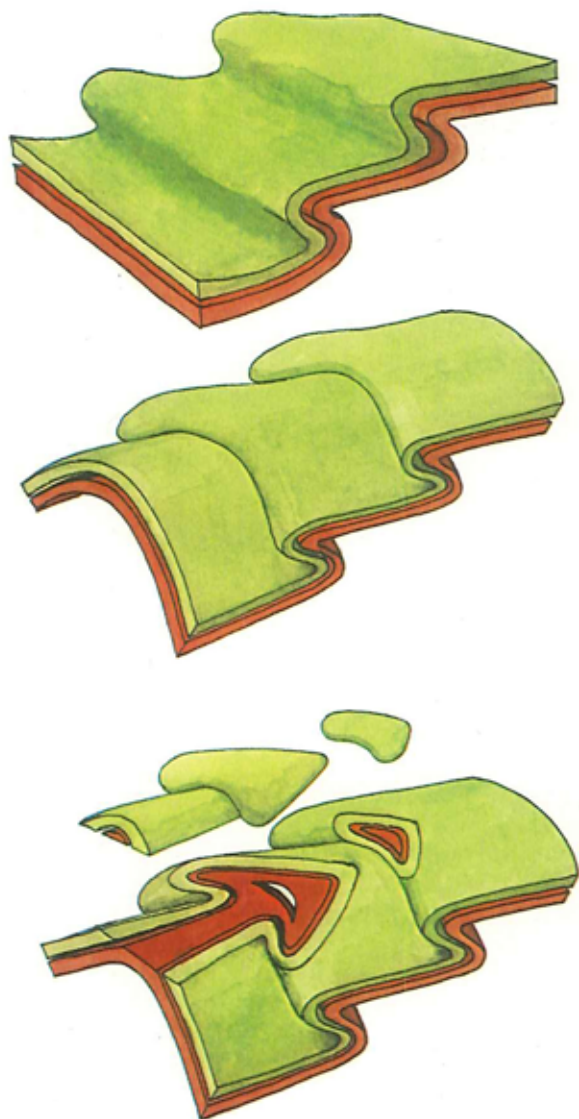
Figur 3. Tragtformet doline opmålt i sydvæggen af Dybdalens kridtprofil. Et stejltstillet sprækkesystem har dannet udgangspunkt for det nedsivende vands opløsning. Herved er dannet en kanal og en lille karsthule, der er udfyldt med skrålejret sand og grovt flodgrus med 20-50 cm store sten.



Figur 2. Pilespidsstruktur i bunden af Skarrehage sydlige molergrav, Nordmors. Skiferlagene i den nederste del af molerserien markerer omridset af pilespidsen. Orienteringen af akse fra første foldning er NNØ-SSV, mens den sidste foldning er sket omkring en akse med orienteringen ØSØ-VNV.

graven, og omridset fremtræder ved de ret hårde skiferlag i den nedre del af moleret, omkring askelagene - 19 til -22 (fig. 2). Pilespidsstrukturen er en udløber af en større domestruktur, der også er et interferens fænomen opstået ved dobbeltfoldning. I den centrale del af pilespidsen er mønstret udviklet til en lunar struktur (halvmåne), som hyppigt optræder sammen med pilespidsstrukturer.

En af betingelserne for, at pilespidsmønstret fremkommer, er, at erosionssnittet er hensigtsmæssigt i forhold til den dobbeltfoldede struktur. I det her viste eksempel er erosionssnittet, jordoverfladen, vinkelret på den sidste foldnings lodrette aksialplan. Samtidig er det en forudsætning, at erosionssnittet og den sidste foldefases foldeakse ikke er parallelle. Men de vigtigste forudsætning for dannelse af pilespidsstrukturer er dog, at der i den dobbeltfoldede struktur kan lægges et snit, der indeholder en pilespidsstruktur. Dette vil kun være tilfældet, når vinklen mellem den anden foldnings aksialplan og den første foldefases foldeakse er rimelig stor, hvilket vil sige omkring 90° , og vinklen mellem den første foldnings aksialplan og den anden foldefases foldeakse moderat, nemlig omkring $5-30^\circ$.



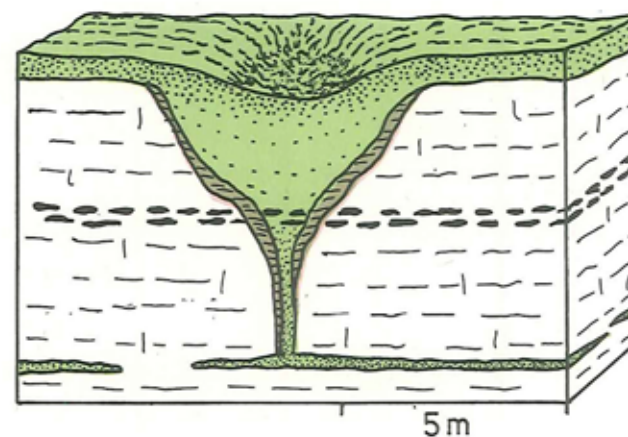
Figur 3. Dannelse af pilespidsstruktur.

Øverst ses foldning af lagene i første foldedefase, herunder følger dobbeltfoldning, og nederst er et snit lagt i dobbeltfoldningsstrukturen, hvorved pilespiden og halvmånen fremtræder.

Men alle jordfaldshuller behøver ikke at være ægte doliner eller karst-fænomener. Uden boring eller udgravning er det svært at adskille karst-dannede opløsningstragte og indstyrtningshuller fra de lokale huller i jordoverfladen, som dannes, hvor begravede dødsklumper og ismasser er smeltet bort. Vil man være sikker, må man se på, hvad der ligger under hullet - og det er netop det, man har gjort i Rørdal kridtgrav ved Ålborg. Her har man ved afskrabningen af overjorden afdækket kridtoverfladen, og kridtbrydningen har skabt instruktive snit gennem undergrundens forskellige karstformer.

"Skorstenene" ved Rørdal

Rørdal-området, hvor skrivekridtet ligger lige under overfladen, hæver sig i dag som et bakkedrag over det omgivende land. Da isen smeltede bort, og det sen-glaciale Yoldiahav dækkede store dele af Nordjylland, skyllede havet mod Rørdal-øens skrænter, og da Stenalderhavet efter Fastlandstiden bredte sig, gendannedes øen. Det højtliggende skrivekridt er kraftigt opsprækket, ikke blot øverst oppe, hvor istidens gletschere har slidt og presset, men også dybere nede. for forud for istiden indtraf tektoniske forstyrrelser, der udløste forkastninger og dannede dybtgående revner og spalter i kridtlagene.



Figur 2. Tragtformet doline. Ved opmålingen var overjorden og det meste af sandfyldet fjernet, men det er her vist, som det kan tænkes at have ligget før det blev fjernet. Nederst i tragten kan grænsen mellem skrivekridtet og ler-silt-sandfyldet (orange) ses. I tragten's bund blev sandfyld med vandrette flintlag udgravet. I gravefronten i bruddet (blokkens forside) kunne der iagttages stejltstillede sprækker med forkislet materiale og vandrette kanaler fyldt med skråleiret fint sand.

Geologisk set er karst-dannelse en temmelig hurtig proces. I Danmark viser kalkholdige aflejringer, som er dannet EFTER istidens afslutning ved omlejring af kridt-materiale, således flere karst-fænomener. Meter-dybe rørformede "skorstene" (doliner) kan dannes i løbet af 10-15.000 år. Måske har der også før istiden været dannet karst i Danmark, men de gentagne nedisninger synes at have udsløttet sporene. Mens Danmark var helt eller delvis isdækket, var karst-dannelsen midlertidigt standset, fordi jordlagene og højtliggende undergrund var permafrosne og ikke vand- men isfyldte i porrerum og revner.

Dansk karst

De danske karst-fænomener er knyttet til områder, hvor kalksten når tæt op mod jordoverfladen, dvs særlig i Nordjylland, på Møn og i Sydsjælland. Kalkens ufuldstændige hærdning og mange sprækker sætter dog ofte visse grænser for, hvor store karst-huler der er blevet udviklet. Til gengæld kan der være mange små. Når "skorstenene" vokser til mere end 5-6 m i bredden, styrter de let sammen og efterlader et jordfaldshul i overfladen. Jordfaldshuller af denne størrelse er almindelige i bl.a. Allindelille Fredskov på Sjælland, på Høje Møn (Hunosø, Almesø m.v.) og Himmerland. I Rold skov findes mange eksempler, ikke mindst "Røverstuen" er velkendt. Blåkilde menes også at være dannet ved karstprocesser.



Figur 1. Skorstene i højtliggende kridt, vestside i vejgennemskæring (Hassersivej-Pilekrogen) lige vest for Sorthøj. Foto Danmarks Geologiske Undersøgelse 23. juni 1969.

I Skarrethage sydgrav er betingelserne for fremkomsten af pilespidsstrukturer ideelle. Her har en tidlig deformationsfase dannet kippede folder med sydøst hældende aksialplan. Disse folder er senere blevet genfoldet af et NNØ-SSV rettet tryk. Og endelig er hele strukturen blevet skåret tværs igennem under molergravningen, men da man ikke er interesseret i opblanding med skiferlag i moleret, har man ladet det store ca. 15 m høje interferensdome og pilespidsstrukturen være i fred i det ene hjørne af graven (fig. 4).



Figur 4. Domestrukturen i molergraven syd for Skarrethage, Nordmors. Skråt foran domen kan pilespidsstrukturen anes i bunden af graven.

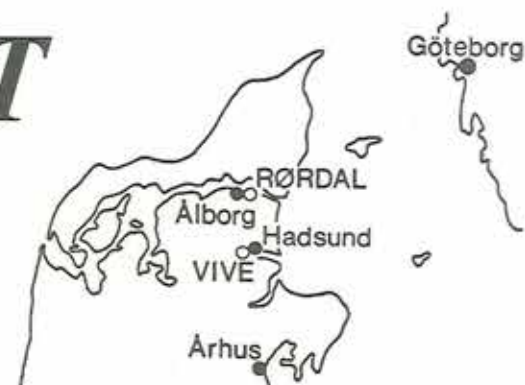


JOB CHARNOCKs gravsten

Tekst og foto: Asger Berthelsen

Da Calcuttas grundlægger, Job Charnock døde i 1693, blev han begravet i "sin egen by" på St. Johns kirkegård, hvor der to år senere blev rejst en mindesten på hans grav. Men Calcutta voksede hurtigt, og graven blev sløffet. Først næsten to hundrede år senere blev mindestenen genfundet, og det opdagedes da, at den var fremstillet af en sjælden bjergart, en hypersthen-granit, som netop var blevet "opdaget" ved Pallavaram syd for Madras. Den nye bjergart blev derfor døbt charnockit - til minde om den mand, som uden at ville det, blev årsag til, at "en prøve" af denne interessante bjergart blev ført til den by, som senere blev det britiske Kejserdømme Indiens hovedstad. Indiens hovedstad er nu New Delhi og senere undersøgelser har vist, at Job Charnocks gravsten i virkeligheden består af en bjergartstype, som faktisk allerede var beskrevet fra Enderby Island i Antarktis under navnet Enderbit. Men da havde betegnelsen charnockit vundet bred indpas i den internationale geologiske faglitteratur, for det viste sig hurtigt at charnockit'er ikke var så sjældne som først antaget. De er blandt andet også beskrevet fra Sverige, hvor fæstningen i Varberg er bygget på charnockit. Billedet ovenover viser en af typelokaliteterne ved Madras. Opragende charnockit-klipper er her tilhugget og udhulet (ca. 800 e.K.) så disse smukke dravidiske huletempler, to af de syv pagoder ved Pallavaram Hills, opstod.

KARST



af Erik Stenestad

I Jugoslavien strækker der sig langs Adriaterhavet en kæde af tertiære foldbjergene. Bjergene mellem Rijeka og Triest, også kaldet Karst-bjergene, er kendt af de fleste Jugoslaviensfarere. Her træffes et meget særpræget landskab, som er opstået ved det rindende og nedsivende vands påvirkning af kalkklipperne og kalkundergrunden. Den geografiske betegnelse har derfor lagt navn til tilsvarende over- og underjordiske landskabsformer i andre områder: der tales om karst-topografi, karst-huler, karst-fænomener, eller slet og ret karst.

Hvordan dannes karst ?

Fire forhold er af betydning ved karst-dannelse. For det første må der være bjergarter, som kan opløses af det rindende og nedsivende vand. Dernæst må der være både en passende afstrømning og nedbør og også tid nok.

Kalksten, dolomit, gips og stensalt kan opløses af vand. Gips i forholdet 1:400, kalksten knap så let, i forholdet 1:1000. Det danske Skrivekridt, der flere steder findes tæt under jordoverfladen, er som en kun delvis hærdnet kalkbjergart meget sårbar over for karst-processer.

Karstfænomener udvikles bedst, hvor opløselige bjergarter befinder sig over grundvandsspejlet, og hvor vandet kan trænge ned i kalkstenen. Hvis der findes "vandstandsende" lerlag over kalkundergrunden, bliver nedsivningen så langsom, at karst kun udvikles, hvis nedbørs- og grundvandsforholdene holdes konstante over meget lange tidsrum. Karst kan imidlertid også dannes under grundvandsspejlet, når afstrømningen er stærk nok. Det kan få floder til at forsvinde ned i jorden.

Regnvand indeholder opløst CO_2 fra luften og er en svag syre. Nedsivende vand kan blive yderligere surt, når det passerer planterødder, der ånder ved at optage ilt (O_2), som er opløst i vandet, og "udånde" CO_2 . Vandets surhedsgrad kan også være betinget af opløste humussyrer fra ovenliggende jordbundslag eller tøvedannelser.