

PÅ SPORET AF DINOSAURERNE

Jesper Milàn Nielsen.

*'A thousand pyramids had mouldered down,
Since on this rock thy footprints were impressed;
Yet here it stands unaltered, though since then
Earth's crust has been upheaved and fractured oft.'*

Edward Hitchcock - 'The Sandstone Bird' 1836

Så poetisk udtrykte Edward Hitchcock sin betagelse af en række fossile fodaftryk, han i 1836 studerede ved bredden af Connecticut River. Hitchcocks store fascination af de forstenede fodaftryk er absolut forståelig, når man tænker nærmere over, hvad de egentligt repræsenterer. I modsætning til et skelet repræsenterer en fossil sporserie et øjebliksbillede af den pågældende dinosaurs liv og kan derved give vigtige adfærdsmæssige og anatomiske oplysninger, der ikke ville kunne aflæses ud fra et skelet. Eksempelvis viser alle sporserier fra dinosaurer, at de har haft en opret gang med benene lodret under kroppen, som det er tilfældet hos fugle og pattedyr i dag. Der er heller ikke fundet eksempler på slæbespor efter dinosaurernes haler, hvilket viser at selv de gigantiske sauropoder har gået med halen løftet fri af jorden. Hvis palæontologerne i første del af 1900-tallet havde brugt data fra sporserier i deres rekonstruktioner af dinosaurerne, var det klassiske - og forkerte - billede af dinosaurer som sløve padde, der vraltede tungt omkring med skrævende ben og halen trækkende efter sig, måske ikke opstået.

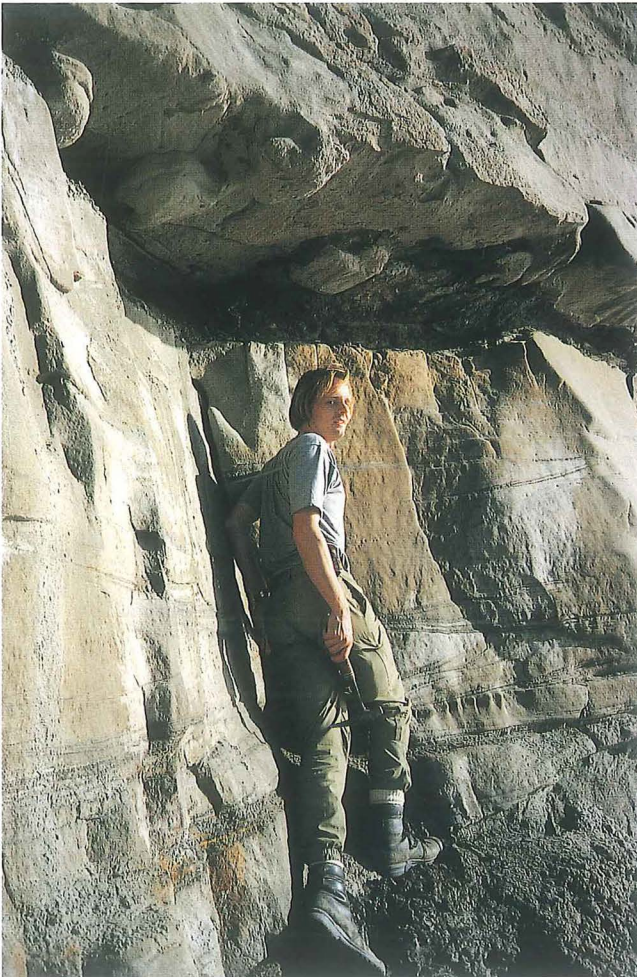
I nogle tilfælde er det muligt at komme med adfærdsmæssige tolkninger ud fra sporserierne. Der er fundet eksempler, hvor dinosaurer har færdedes i flok, har gået og løbet. I et enkelt tilfælde er der fundet en mulig jagtscene, hvor sporene fra tre rovøgler følger efter sporene fra en flok sauropoder (langhalsede firbenede planteædere). Der er også fundet sporserier, der vidner om fysiske handicap, som haltende individer og spor med manglende tæer.

For at et spor kan fossilisere, skal det afsættes i et sediment, der er blødt nok til, at der dannes et aftryk, men ikke så blødt at det flyder sammen igen. Dernæst skal sedimentet hærde til en vis grad, inden det dækkes af et andet sediment. Lagfladen, hvor sporet er afsat, skal danne en form for lithologisk grænse, det senere er muligt at spalte lagene langs, hvis det skal være muligt at genfinde

sporene. En sådan lithologisk grænse kan være mellem sand og ler i flodaflejringer, en hærdningshorisont i marine kalkaflejringer eller lignende.

Når sporet på ny ser dagens lys, findes det enten som det oprindeligt afsatte spor (figur 3), eller man finder 'afstøbningen' af det (figur 1). I fine laminerede sedimenter kan det samme spor i nogle tilfælde erkendes på flere lagflader under hinanden. Denne form for spordannelse kaldes undertracks eller transmitterede spor. Transmitterede spor er som regel lette at skelne fra oprindelige spor, da de viser en meget mindre detaljeringsgrad.

De mest imponerende og nemmest tilgængelige sporserier i Europa findes i Portugal, der i Jura og Kridttiden var et ungt riftbassin i forbindelse med åbningen af Atlanterhavet.



Figur 1. Brede tretåede spor efter tobenede planteædere bevaret som udfyldninger på undersiden af en sandstensbænk i Lourinhã Formationen, Øvre Jura, Portugal. Sporene er oprindeligt afsat i lerlaget oven på den nederste sandstensbænk, og er efter de er hærdet blevet overskyllet og udfyldt med sand.



Figur 2. Sporserie fra bunden af kalkbruddet i Fatima.

Ved den lille by Fatima, midt i Portugal, findes verdens næstlængste sporserie. Den længste fundne sporserie i verden er på 311 meter og findes ved foden af Kugitang bjergene i Turkmenistan i det centrale Asien. Sporserierne ved Fatima (figur 2) findes blottet i bunden af et gigantisk kalkbrud, der nu efter fundet af sporserierne i 1994 er blevet fredet.

På kalkfladen i bunden af bruddet findes sporserier fra mindst 15 sauropoder, hvor de to længste serier er på henholdsvis 147 og 142 meter. Sporene er fra midt i Juratiden, Bajocian-Bathonian, og er afsat i kalk i et lavvandet havområde, der periodisk har været tørlagt. Det fine karbonatmudder har bevaret mange anatomiske detaljer i sporene. Sauropodernes fødder på for- og bagbenene var meget forskellige, forbenene endte nærmest i en hesteskoformet hov, med kun én indadvendt klo, hvorimod bagbenenes fødder havde tydelige separate tæer, der tydeligt kan erkendes i mange af sporene (figur 3).

En anden lokalitet der absolut er et besøg værd, idet den med rette bliver omtalt som verdens smukkeste sporserie, findes på sydsiden af Lagosterios Bay, ved Capo Espichel, syd for Lissabon (figur 4). På de stejlt hældende kalkstensflader findes adskillige sporserier fra sauropoder. Det lokale navn for sporene er 'Pegadas de Mula' - muldyrsporene - og stammer helt tilbage fra Middelalderen, hvor sagnet fortæller, at Jomfru Maria kom op fra havet trækkende et muldyr efter sig, en situation der findes afbilledet i klosteret på toppen klinten på et maleri fra 1300-tallet.

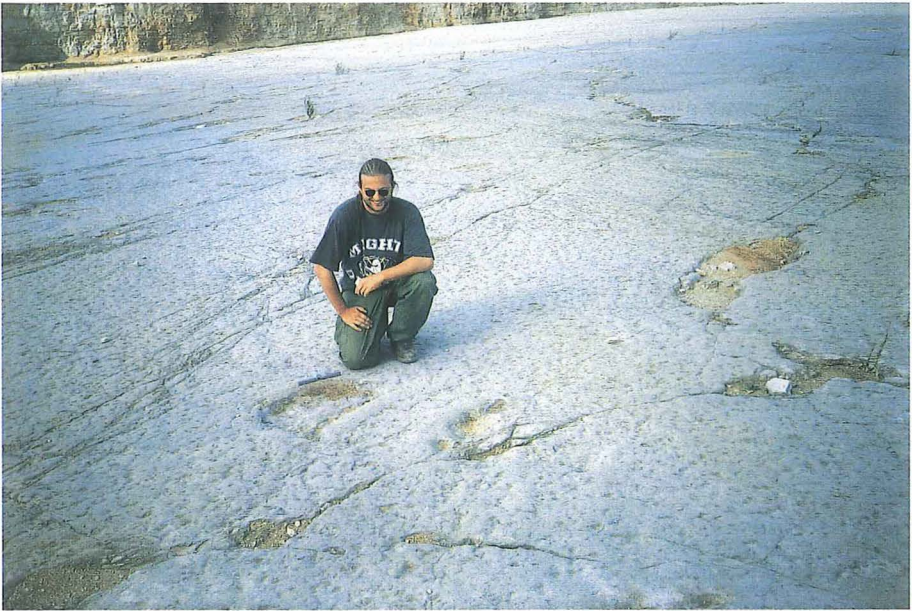


Fig. 3. Sauropodspor fra Fatima. I det hovlignende aftryk fra forfoden ses aftryk af den indadvendte klo. På bagfoden ses aftryk af de enkelte tæer.



Figur 4. Verdens smukkeste sporserie, Capo Espichel set fra Lagosterios Bay. På de stejlt hældende kalkstensklipper findes adskillige sporserier fra sauropoder.



Figur 5. Dybe sauropodspor fra Capo Espichel. I den opskubbede vold omkring sporet ligger en ammonit.

Der findes i alt 8 lagflader, alle med en rig sporfauna, i området ved Capo Espichel. De fleste af sporserierne er tilgængelige, hvis man har lidt klatrefærdigheder og ikke lider for meget af højdeskræk. På den største af de blottede lagflader findes sporserier, der viser, at sauropoder, i hvert fald som unge, har færdedes i flok. Syv sporserier, alle fra halv voksne sauropoder, løber parallelt uden at krydse hinanden, og hele tiden med mindst én sauropodbredde imellem. Sporene fra et enkelt voksent individ krydser de unges spor i en spids vinkel.

Sporene er fra Øvre Jura, Tithonian-Portlandian, og miljøet sauropoderne færdedes i var ligesom ved Fatima, et lavvandet marint område, der periodisk var tørlagt. Sammen med sporene findes en rig fauna af marine invertebrater og sporfossiler. Sedimentet sauropoderne gik i ved Capo Espichel var blødere end ved Fatima, da sporene er betydeligt dybere, op til 20 centimeter, og i flere tilfælde har en vold af opskubbet materiale omkring sig (figur 5).

Der er ikke fundet nogen dinosaurspor i Danmark, da vi stort set ingen terrestiske sedimenter fra Mesozoikum har bevaret. Kun på Bornholm findes områder med sedimenter, hvor spor har kunnet bevares. De fine jurassiske tidevandsaflejringer fra Galgeløkken eller mudderet i toppen af Neomiodon bænken fra Jydegård Formationen er mulige kandidater til steder, hvor Danmarks første dinosaurspor skal findes.

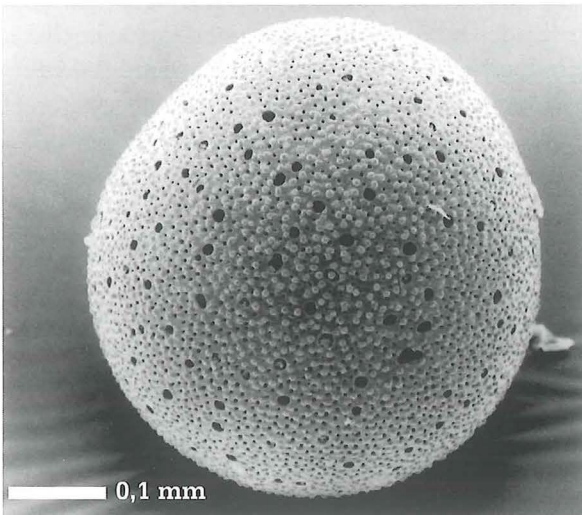
PALÆONTOLOGI og IT

et palæontologisk mysteriums mulige løsning.

Kurt S. S. Nielsen

Glæden men også frustrationen ved at finde et fossil, man ikke kan bestemme med sikkerhed, vil formodentlig være mange af VARV's læsere bekendt. Som palæontolog har man som oftest specialiseret sig i en enkelt dyre-/plantegruppe, men har som regel også et bredt kendskab til de fleste større fossile grupperes udbredelse og forekomst. Det udelukker naturligvis ikke, at der findes fossiler, som man ikke kan genkende eller aldrig har hørt om, men i de fleste tilfælde kan fossilerne henføres til kendte grupper. Men hvad stiller man op med fossile organismer, der ikke ligner noget man har set før, og som derfor ikke kan henføres til nogen kendt gruppe?

Generelt må det konstateres, at jo højere alder den fossile fauna har, desto vanskeligere er det at henføre de enkelte organismer til kendte fossile dyre-/plantegrupper. Som eksempel på dette kan nævnes Ediacara og Burgess Shale (VARV 1999,1) faunaerne (henholdsvis Prækambrium og Kambrium), som indeholder mange organismer, hvis systematiske tilhørsforhold med andre grupper er ukendt. I neogene miljøer (0-23 millioner år) er det relativt sjældent at finde fossiler, der ikke kan henføres til nogen kendt dyregruppe, selv om beskrivelser af nye arter og slægter er et almindeligt fænomen inden for palæontologien.



Figur 1. Orbulina universa. Bemærk størrelsen af O. universa (ca. 450 μ meter) samt de store og små porer på skallens overflade

I det følgende gives et eksempel på opdagelsen af sådanne ukendte organismer og forsøget på at identificere dem. De ukendte organismer blev observeret i forbindelse med en undersøgelse af pleistocæne (ca. 1 million år) planktoniske foraminiferer.

Foraminiferer er en encellet, marin dyregruppe, som kan opdeles i to hovedgrupper efter deres levevis, henholdsvis de der er bundlevende (bentoniske) og de der lever frit svævende i vandmasserne (planktoniske). Til den sidste gruppe hører *Orbulina universa* (figur 1). Denne art optræder første gang i den geologiske lagsøjle i det mellemste Miocæn (ca. 16 millioner år) og har siden været almindeligt forekommende i de fleste marine miljøer med undtagelse af de polare. Som det fremgår af billedet af *O. universa*, er den en relativt stor og let genkendelig art med sin sfæriske form. Grundet dens størrelse, form og udbredelse er det en af de bedst kendte planktoniske arter, der findes.

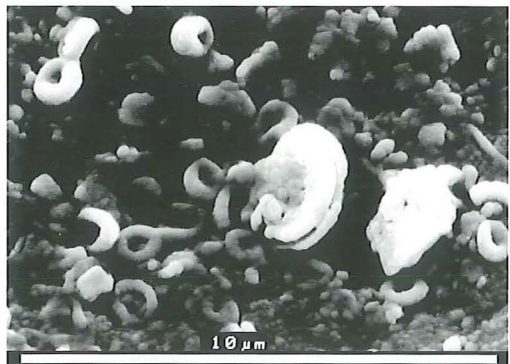
O. universa er primært et rovdyr, men lever desuden i symbiose med forskellige algearter. Skallen er dannet af kalcit og er forsynet med hundredvis af store og små porer. Under et forsøg på at måle porestørrelsen på indersiden af skallerne ved hjælp af et skanning-elektronmikroskop (herefter benævnt SEM), blev det

på figur 2-2a og figur 3-3a viste cirkelformede organismer observeret. Ud af 40 undersøgte skaller, alle fra samme prøve, blev de bildækliggende objekter observeret i 2 individer.

Som det fremgår af figur 2-2a, er disse runde objekter spredt ud over indersiden af skallen i det første individ. Bemærk i øvrigt størrelsen af disse, som er ca. 1-2 µmeter (1.000 µmeter er lig med 1 millimeter).

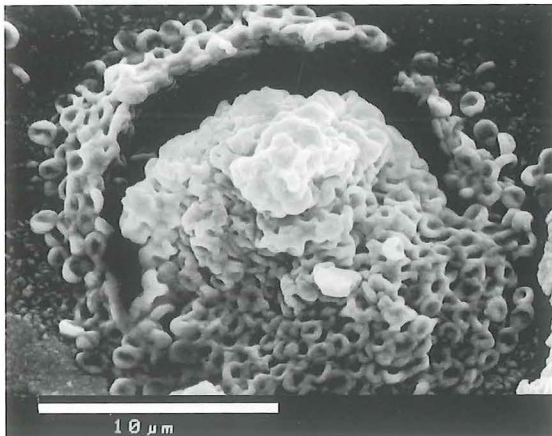
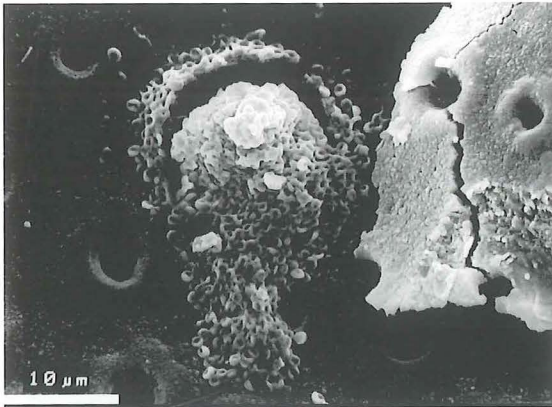
Figur 2. Øverst runde objekter spredt ud over indersiden af *O. universa*'s skal.

Nederst et nærbillede af ovenstående. Bemærk størrelsen af de runde objekter (1-2 µmeter), samt den noget større coccolit midt i billedet.).



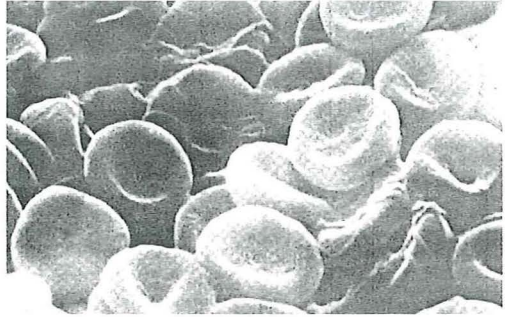
Anderledes forholder det sig med objekterne i det andet individ (figur 3-3a). Her synes de nærmest at vokse omkring en amorf (struktureløs) masse af ukendt sammensætning. Da jeg har arbejdet med SEM og foraminiferer i en del år uden at have observeret noget, der minder om de nævnte strukturer, var min første tanke var, at nogen i afdelingen havde lavet en practical joke med mig. Efter at have vist billederne til kolleger kunne jeg afskrive denne mulighed.

Derefter var det nærliggende at undersøge mulige forureningskilder, som kan forekomme under klargørelse af præparatet (se afsnittet om SEM og præparation). Mulighederne for forurening af præparatet er små, men kunne ikke afvises. De omfatter så forskellige ting som: partikler fra luften (herunder bakterier, vira og pollen), blod (man kan have blødt på præparatet) og humant sekret (dvs. spyt eller et nys). Sammenlignes figur 4 med figur 2 bemærkes således en slående lighed mellem de to figurer. De afpillede runde objekter i figur 4 er røde blodlegemer fra et menneske fotograferet i SEM.



*Figur 3. Øverts runde objekter på indersiden af skallen fra det andet individ af *O. universa*. Bemærk, at de runde objekter synes at vokse omkring en af de store porer. De runde objekter synes ligeledes at vokse på og omkring en amorfgenstand. De nederste foto er et nærbillede af det ovenstående.*

Menneskets røde blodlegemer er dog alt for store til at de kunne være samme slags som de observerede i prøven. Besøg hos eksperter på Rigshospitalets blodbank, epidemiologisk afdeling samt Statens Seruminstitut overbeviste mig om, at objekterne ikke havde human oprindelse. Ligeledes kunne pollen fra danske træer og planter udelukkes. At objekterne skulle stamme fra forure-



Figur 4. Blodlegemer fra et menneske fotograferet i SEM (mangler skala).

ning af præparatet under præparation syntes således ikke at være sandsynligt. Det synes herefter rimeligt at antage, at objekterne ligesom skallerne er fossile.

I figur 3a ligger de runde objekter tæt på en kokkolit. En kokkolit er en plade fra en coccosphære (alge med et ydre skelet dannet af kalcit) og som det kan ses, viser coccolitten en tydelig krystalstruktur modsat de runde objekter, der er strukturløse. Da objekterne ikke har nogen krystalstruktur, blev det antaget, at disse er af organisk sammensætning og at det drejer sig om en form for mikroorganisme. Da *O. universa* som nævnt lever i symbiose med alger, kunne disse mikroorganismer muligvis være en algesymbiont, men de savner enhver lighed med kendte algesymbionter .

Efter at have deltaget i og fremvist ovenstående billeder på adskillige mikropalæontologiske kongresser i Danmark og i udlandet uden at komme løsningen på gåden nærmere, havde jeg næsten opgivet håbet om at identificere disse objekter, men her kom den nye informationsteknologi (IT) mig til hjælp.

Muligheden for at søge oplysninger på Internettet samt i diverse offentlige nyhedsgrupper er kendt af de fleste. Det må imidlertid erkendes, at meget af den geologiske viden, der præsenteres på nettet, for det meste er direkte misvisende, forældet eller af så almen karakter, at den vil være af ringe interesse i forbindelse med denne problematik.

Da Paleontologica Electronica, et web-baseret palæontologisk tidsskrift, blev oprettet, var det derfor en meget velkommen nyskabelse inden for palæontologien. Serverne, som huser denne elektroniske publikation, indeholder desuden også forbindelser (links) til en specialiseret nyhedsgruppe (paleo-net) der benyttes af mange palæontologer fra forskellige lande. Det er hovedsagelig palæontologer og biologer, der leverer indlæg og debatterer i dette forum. Fordelen ved denne form for kommunikation er dels, at spørgsmål og emner bliver debatteret i en utroligt bred kreds af specialister, dels hastigheden, hvormed den foregår.

Efter at have kontaktet bestyreren af dette forum og bedt om tilladelse til at sende en efterspørgsel samt billeder ud på denne server, gik jeg spændt og ventede på resultatet. I løbet af et par måneder indløb der cirka 100 e-mails indeholdende diverse forslag til organismernes identitet. Blandt disse var en reference til en publikation vedrørende nutidig nedbrydning og omdannelse af karbonatbjergarter i troperne. Den refererede artikel beskriver nogle af de processer og organismer, der er ansvarlige for nedbrydningen.

En af organismerne er en mikrosvamp, *Penicillium chrysogenum*, der efterlader synlige (i et mikroskop) opløsningsstrukturer på bjergarten. Billederne af *P. chrysogenum* fra artiklen er nærmest identiske med de dæklignende objekter, der er behandlet i denne artikel. Derudover indeholdt artiklen også et billede af en bakterie eller en bakteriekoloni, hvis lighed med det amorfe objekt, som de runde genstande syntes at vokse omkring (figur 2a) er slående. Dette gør, at det er nærliggende at udnævne de beskrevne objekter til fossile *P. chrysogenum*, og mysteriet er således muligvis løst.

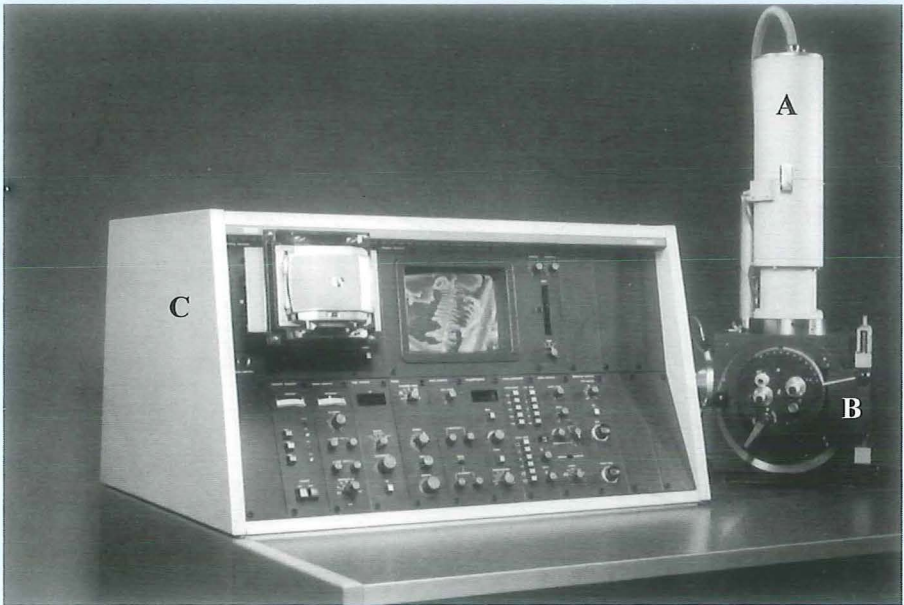
Er identifikationen af organismerne korrekt, rejser det en række nye problemer, som nu skal undersøges nærmere. Spørgsmål, der skal besvares i forbindelse med identifikationen, er f.eks. om objekterne har deres oprindelige form på billederne, eller om de er faldet sammen ved udtørring. Dette kan desværre ikke besvares med sikkerhed ud fra fotomaterialet alene.

Det mulige fund af *P. chrysogenum* i en planktonisk foraminifer tyder på, at svampen både er en terrestrisk og en marin organisme, men hvad laver den på indersiden af skallen? Som det kan ses på billederne i denne artikel, er der ikke muligt at observere opløsningsstrukturer på indersiden af foraminiferskallerne. Er der en forbindelse mellem bakterien/bakteriekolonien og *P. chrysogenum*, og i så fald hvilken? Hvorfor er de kun observeret i to ud af fyre skaller? Listen af uløste problemer i forbindelse med fundet af disse objekter er lang, og i et forsøg på at få svar på disse har jeg kontaktet forfatteren til artiklen. Ud fra billederne mener denne, at det er rimeligt at antage, at de er en slags svampesporer, men identifikationen er som tidligere nævnt behæftet med usikkerhed.

Historien ender således ikke her. Selvom der stadig er mange ubesvarede spørgsmål, må det konkluderes, at uden den nye informationsteknologi havde jeg næppe været istand til at få besvaret nogle spørgsmål overhovedet.

Skanning-elektronmikroskopet (SEM)

Ideen til SEM blev undfanget i begyndelsen af 1930-erne. På grund af anden verdenskrig og manglende tekniske forudsætninger var det imidlertid først i begyndelsen af 1950-erne, at de første eksperimentelle SEM blev konstrueret. Siden da er de taget i brug indenfor næsten alle grene af naturvidenskaberne og er nu standard udstyr på de fleste universiteter. Den udbredte brug af SEM har mange grunde, men de vigtigste er: (1) den store forstørrelse som det er muligt at tage et billede under (op til ca. 150.000 x), (2) muligheden for at lave tredimensionale billeder, (3) det er forholdsvis simpelt at lave præparater til SEM, (4) SEM er relativt nem at betjene, (5) selve processen fra prøven blive anbragt i SEM til billedet er taget er relativt hurtigt.



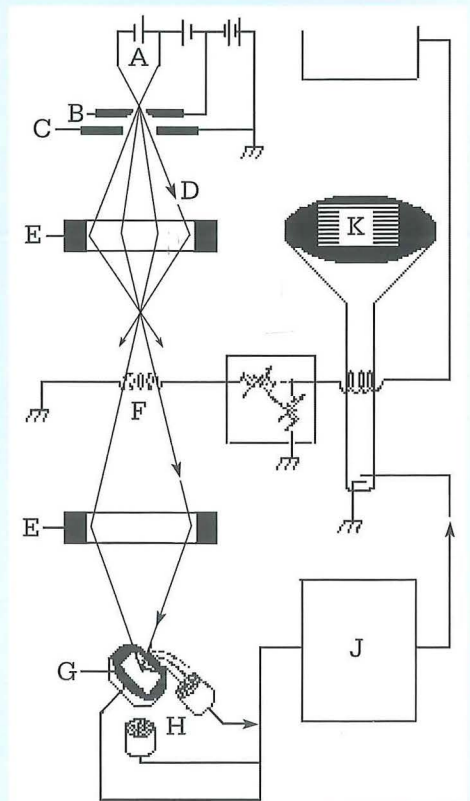
Som vist i ovenstående foto kan SEM instrumentet (Philips SEM serie 500) opdeles i tre hovedkomponenter: Elektronkanonen (A), prøveholderen (B) og monitor (C). Billederne optages med et almindeligt kamera. Prøveholderen, som er indbygget for enden af elektronkanonen, er konstrueret så prøven kan roteres 360 grader i det horisontale plan, samt vippes 90 grader i det vertikale plan. Derudover er prøveholderen monteret, således at det er muligt at tage billeder fra forskellige vinkler uden at montere prøven på ny. Strålegangen i SEM er vist meget skematisk (se figur side 14), da SEM-modellerne kan variere i opbygning. Kameradelen er ikke medtaget i diagrammet. Forberedelsen af en prøve, samt den generelle opbygning af SEM blive beskrevet nedenfor.

Forberedelse af prøver til SEM

Prøven, i dette tilfælde vores foraminifer fra figur 1, anbringes på en lille metalstub forsynet med dobbeltklæbende tape ved hjælp af en pensel eller en nål. Stubben anbringes derefter i en bedamper, der under vakuum sprayer en tynd film af guld på prøven. Guldfilmen, der dækker hele prøven undtagen påhæftningsfladen, er ca. 50 ångstrøm tyk (1 ångstrøm er 10^{-8} centimeter). Afhængig af foraminiferernes størrelse er det muligt at have mellem 10 og 30 individer på samme stub, uden at de skygger for hinanden. Prøven anbringes i SEM prøveholder og er nu klar til at blive skannet.

Skematisk gennemgang af strålegangen og det indre af SEM

I katoden A genereres en stråle bestående af energirige (accelererede) elektroner. Elektronstrålen ledes fra A ned mod prøven. Det er vigtigt, at denne stråle ikke kolliderer med andre elektroner eller partikler og derfor foregår alt i vakuum. Gennem nedløbet spredes elektronerne som vist i diagrammet. Elektronerne samles og fokuseres ved hjælp af 2 (mange SEM er der dog 3) magnetiske felter (E). Ved ankomst til prøvens overflade er elektronstrålen samlet i et punkt (G). Prøvens overflade bliver nu skannet punkt for punkt. Det er anordningen i (F), der bevæger elektronstrålen henover prøveoverfladen. Når den energirige elektronstråle rammer prøveoverfladen, produceres der sekundære elektroner, og det er disse som opfanges af detektoren (H). Detektoren sender signalet videre til en signalforstærker (J), der viderefører det forstærkede signal til fjernsynsrøret (K), hvor det bliver omdannet til et billede.



A: Katode, B: Net, C: Anode, D: Elektronstråle, E: Magnetfelt, F: Anordning til at styre elektronstrålen, G: Prøve, H: Signaldetektor, J: Signalforstærker, K: Billedrør og resulterende billede. Pilene angiver strålegangen i SEM.

FLERE FLINTESTEN FRA MOLERET

Henrik Madsen og Claus Heilmann-Clausen

For 11 år siden blev en cementsten fra det 55 millioner år gamle eocæne moler ved Skarrehage på Mors omtalt i VARV (1990, 2). Cementstenen indeholdt fossile trærødder, men det særligt interessante var, at der mellem rødderne befandt sig små flintesten. Og for et år siden blev der igen fundet en flintesten sammen med fossilt træmateriale fra askeserien. Denne gang fra Albækhoved ved Vejle Fjord (VARV 2000, 1).

Begge fund førte til spekulation om at jordbunden i det landområde, hvor træerne voksede, og hvorfra de siden flød til havs som drivved, måtte have været rig på flint. To fund er ikke et godt statistisk grundlag, men siden den sidste omtale i VARV er der kommet adskillige fund for dagen, og de fortæller os nu, at antagelsen holdt stik.

En gennemgang af samlingerne i Molermuseet ved Skarrehage har ført til en liste på i alt 13 fund af småsten og grus fra moleret på Mors og Fur. De fleste fund er gjort af den ene af denne artikels forfattere (HM). Fire af fundene er fra



Lille flintesten (4-5 mm) i kanten af stort træstykke fra cementsten med askelag +25 til +30. Ejerslev molergrav, fundet af HM. I træstykket sad der i alt seks små flintesten.

den negative askeserie, medens otte er fra den positive, de fleste fra cementsten mellem askelag +25 og +30. I 10 af de 13 fund var der trærester sammen med småstenene, så der er ingen tvivl om, at hovedparten af - måske alle - stenene har siddet mellem trærødder på drivved. 11 eller 12 af de 13 stenfund består af flintesten, og i flere af fundene sad der 5-7 små flintesten i det fossile træ. Så nu kan det fastslås med syvtommersøm, at flint var den dominerende stentype i jorden, der hvor træerne voksede. Her skal vi dog lige se bort fra eventuelle kalksten, som ville være blevet opløst i det tidligere sure miljø i moleret.

Som omtalt i VARV (2000,1) kom træerne nok drivende fra et landområde mod nord - formentlig det sydnorske område. Landet har ikke haft megen lighed med nutidens Norge. Det har været dækket af kridtlag med flint, og grundfjeld har ikke eller kun i ringe grad været blottet i omegnen af voksestederne. I dag kender vi ikke det mindste levn af kridtlag i Norge, men fossile træerødder langt derfra har altså medbragt et klart budskab fra det forsvundne landskab mod nord.