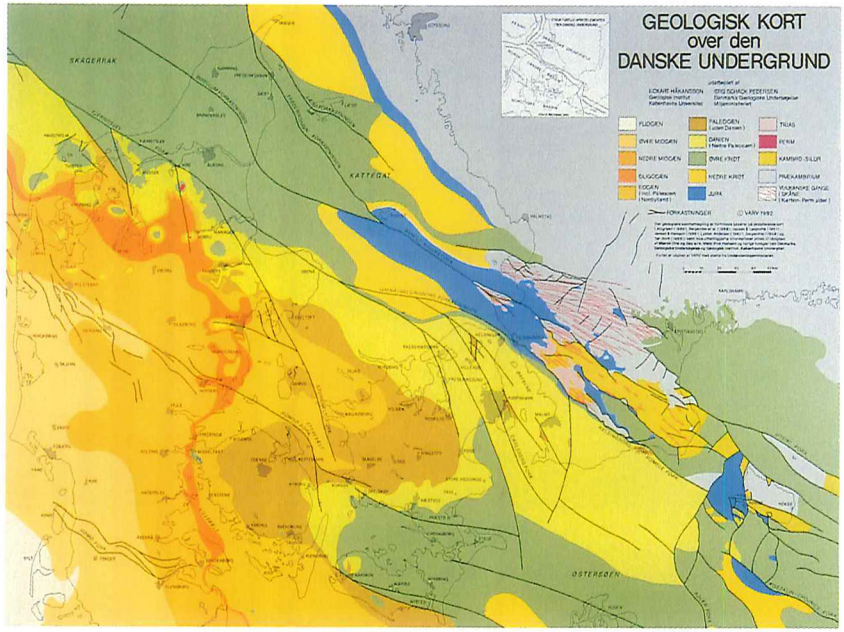


FRA REDAKTIONEN TIL LÆSERNE

Sommeren nærmer sig, og dermed tiden for udendørsaktiviteter i form af ekskursioner.

En god baggrund for enhver ekskursion finder man i VARVS geologiske kort over den danske undergrund. Kortet kan erhverves hos Varv i dette forår til en pris på 110 kr (incl. forsendelse). Kortet giver et indblik i geologien under de kvartære aflejringer og kan dermed fortælle, fra hvilke tidsperioder forskellige præ-Kvartære aflejringer stammer fra. Kortet er trykt i 15 farver og måler 68 cm x 90 cm, og er således også velegnet til ophængning

VARV

NR 1 BLADET MED DE ÆLDSTE NYHEDER 1994

FORSIDEBILLEDET VISER EN HULE FRA THAM PHA KHONG I NAN PROVINSEN , NORDTHAILAND.

VARV BRINGER EN ARTIKEL OM HULER SET UNDER EN GEOLOGISK SYNSVINKEL, OG FORTSÆTTER ARTIKLERNE OM SØPINDSVIN OG ER NÅET TIL DE IRREGULÆRE.

ENDELIG BRINGER VARV EN ARTIKEL OM BENITOIT, ET SPÆNDENDE MEN SJÆLDENT MINERAL.

ISSN 0105-6301 1994-04-20

Forsidebillede: Foto Søren Skibsted

Forfattere til artikler i dette nummer kan kontaktes på følgende adresser:

Ulla Asgaard, Geologisk Institut,
Øster Voldgade 10, 1350 København K

Søren Skibsted, 94/5 Sumondhevaraj Road, Soi 1,
Muang Nan 55000, Thailand

Aage Jensen, Geologisk Institut
Øster Voldgade 10, 1350 København K

VARV skal beklage, at vi i VARV 1993,3 skrev, at den publicerede adresseliste på side 93-94 var en oversigt over de til DAGU tilknyttede klubber. Dette er ikke tilfældet, idet kun 14 af samtlige klubber er under DAGU.

----------VARV----------

VARV er udgivet med støtte fra Kulturministeriets bevilling til almenkulturelle tidsskrifter.

Adresse: Tidsskriftet VARV, Øster Voldgade 10, 1350-København K

Telefon: 35 32 26 26 (Geologisk Institut i København)

Redaktion: Asger Berthelsen, Bjørn Hageskov, Jens Konnerup-Madsen, Lena Madsen og Svend Pedersen

Lay-out: Bjørn Hageskov og Svend Pedersen

Repro: Tage Wilken a/s, København

Tryk: Levison+Johnsen+Johnsen a/s, København

VARV udkommer fire gange årligt. Prisen er 85 kr i abonnement for 1994. Abonnement tegnes ved at indsende beløbet til VARV, postgiro 9 06 88 80, eller 85 SEK til VARV's svenske postgirokonto: 4388-5, eller 85 NOK til VARV's norske postgiro: 0806 1923234.

Adresseændringer bedes meddelt VARV!

© 1994 VARV. Eftertryk af tekst og billeder kan kun ske efter aftale.

IN MEMORIAM

STEEN SJØRRING
1941-1993

VARV's mangeårige redaktør Steen Sjørring døde i december efter flere års alvorlig sygdom, 52 år gammel. Steen var i en lang årrække den dynamiske drivkraft bag udgivelsen af VARV, og stod for redigering og lay out. Steen blev kendt af mange VARV abonnenter for sine saglige telefonkommentarer til så godt som alle spørgsmål indenfor geologi. Under Steens redaktion fik VARV et moderne professionelt præg, der fra flere sider er blevet påskønnet, f.eks. i forbindelse med tildeling af støttebeløb. Steen vil blive savnet af VARVS bestyrelse og redaktion.

Æret være hans minde
Svend Pedersen

Foto: J.Bro Rasmussen

Dansk Lithosfærecenters opgave er at udforske lithosfæren, som er den yderste stive 'skal' af vores planet. Lithosfæren er typisk 100-200 km tyk og omfatter både jordskorpen, der almindeligvis er 30 - 40 km tyk i kontinenterne og 7 km under oceanerne, og den øverste stive del af Jordens kappe. Lithosfæren er opdelt i en række plader, der bevæger sig i forhold til hinanden. Pladerne vokser ved oceanryggene, mens de destrueres ved de såkaldte subduktionszoner, hvor der dannes vulkanske øbuer og bjergkæder. Processerne knyttet til de bevægende plader omfattes af begrebet 'pladetektonik'. Den pladetektoniske viden er kun et kvart århundrede gammel, og lithosfærecentret skal bidrage til forståelsen af de fundamentale processer, der ligger bag lithosfærens opbygning og udvikling gennem geologisk tid.

Centrets forskningsopgaver i de første fem år vil først og fremmest komme til at ligge på Grønland, som vil fungere som et 'naturligt laboratorium' ved undersøgelserne. Forskningsindsatsen vil fokusere på to problemkredse;
1) Dannelsen af Nordatlanten og udviklingen af den Østgrønlandske kontinentrand i forbindelse med opsplitning af det tidligere nordamerikanske-europæiske kontinent for 60 millioner år siden. 2) Bjergkædedannelse for 2000 mill. år siden ved kontinent-kontinent kollision. Forskningen omkring dette tema udføres i den centrale del af Vestgrønland og omfatter desuden en undersøgelse af den kontinentopslitning og oceandannelse, der gik forud for kollisionen.

Løsningen af lithosfærens problemstillinger vil kræve en omfattende integration af geologiske og geofysiske undersøgelser, som til dels vil blive udført i et netværk af internationale samarbejdspartnere. Dansk Lithosfærecenter vil få ca. 10 videnskabelige medarbejdere foruden et antal Ph.D.-studerende.

Mogens Marker

DANSK LITHOSFÆRECENTER

HULER - mere end blot huller i jorden

Søren Skibsted

I de senere år har speleologien - huleforskningen - kastet nyt lys over en mørk underverden, der altid har været omgivet af en aura af mystik, overtro og undren. Udover at afsløre nye aspekter i hulernes udviklingshistorie, bringer undersøgelserne ny viden om tidligere tiders klimaforhold, menneske-, dyre- og planteliv samt øget forståelse af geologien og de hydrogeologiske forhold i områder, hvor undergrunden præges af hulrum og sprækker. I det følgende ses nærmere på nogle af de huledannende processer og forskellige aflejringstyper, der optræder i dette specielle miljø.

Hvordan opstår huler?
Før i tiden blev de fleste af Jordens hulrum anset for dannet ad tektonisk vej. I mange huler ses nemlig forkastninger med glideflader. Dette betyder ikke nødvendigvis, at hulerne blev åbnet i forbindelse med forkasningsbevægelserne. Forkastningerne har derimod udgjort en række svaghedszoner, der har været styrende for de processer, der førte til hulernes dannelse.

Huler kan eksempelvis dannes ved bølge-, flod-, glacial- og vinderosion, vulkanisme, jordskælv, skredprocesser, trykaflastning eller findes som hulrum i størknede lavastrømme. Termal aktivitet under gletschere kan endvidere skabe ishuler af anselige dimensioner.

Det er imidlertid kemisk opløsning af især karbonatbjergarter - de såkaldte karstprocesser - der er de mest aktive og effektive, når det gælder dannelsen af mere komplekse hulesystemer. Det skyldes bl.a., at de hårde, massive kalksten besidder en vis fysisk styrke samtidig med, at de er relativt letopløselige for rindende og nedsivende vand. Vandet fungerer som en ganske svag syre på grund af opløst kuldioxid (CO_2) fra atmosfæren og /eller egentlige jordlag.

Karstprocesserne er mest effektive i kalksten med sprækkesystemer, der skærer hinanden nær overfladen, hvor CO_2-koncentrationen af det nedsivende vand er højest, eller i den zone, der ligger nær det lokale grundvandsspejl.

Der skal ikke her redegøres nærmere for kemien bag opløsningsprocesserne, men dog nævnes, at hovedkomponenterne udgøres af vand (H_2O), kuldioxid (CO_2) og calciumkarbonat ($CaCO_3$, oftest i formen calcit) samt de dissocie-

rede ionbestanddele H^+, OH^-, Ca^{2+}, HCO_3^- og CO_3^{2-} i mange forskellige blandings- og koncentrationsforhold.

Det kemiske forløb af opløsningsprocesserne afhænger bl.a. af H^+ koncentrationen, mængden af opløst CO_2, vandtemperaturen, partialtrykket af CO_2 i den luft (inkl. luftbobler) vandet er i kontakt med, samt vandets og kalkstenens indhold af 'fremmede' komponenter (f.eks. NaCl, $CaSO_4$, $CaMg(CO_3)_2$ og forskellige metalioner).

Da de hydrogeologiske forhold i karstområder kan være yderst komplicerede, skelnes der mellem karsthuler (eller dele heraf) dannet i den vandmættede zone, i den undermættede zone eller i den intermediære zone.

Figur 1. Hule nær Ban Khang Ho, Nan Provinsen, Nordthailand. Hulen er opstået ved kemisk opløsning efterfulgt af nedstyrtning af store blokke fra loftet. De største blokke er 10 m lange.

Skønt porøsiteten og permeabiliteten i hårde, massive kalksten generelt er lav, vil ned- og gennemsivende overflade- og grundvand finde vej gennem bjergarterne via eksisterende svaghedszoner, som f.eks. laggrænser, forkastninger og i særdeleshed sprækker. Det fremtrængende vand opløser kalkstenen langs sådanne zoner, der herved udvides og langsomt forbindes i et netværk af passager. I dette stadium spiller mekanisk erosion en ubetydelig rol-

NOTITSER

ANMELDELSE

Anette og Kurt Christiansen:
Kunsten at slibe sten (293 sider, indbundet)
Gads Forlag, 268 kr

Nede i min kælder står en diamantsav og en slibemaskine. Diamantsaven bruger jeg jævnligt. Jeg er mindst én gang om året i Idar-Oberstein området i Rheinland-Pfalz i Sydtyskland og samler sten, og det er jo altid spændende at se, hvordan de ser ud indeni. Men slibemaskinen, den har jeg praktisk taget ikke brugt endnu. Efter jeg nu har kigget i Anette og Kurt Christiansens bog: Kunsten at slibe sten, har jeg bestemt mig til, at jeg heller ikke begynder at bruge den, før jeg har læst bogen fra ende til anden.

Jeg anser 'Kunsten at slibe sten' for uundværlig for en begynder i slibefaget, og jeg er overbevist om, at forfatterne har ret, når de skriver, at også erfarne slibere kan have glæde af bogen. Som man kan forstå, er jeg ikke sliber, og skulle der i denne bog være nogle faglige smuttere, ville jeg nok ikke opdage dem, selv om jeg læste hele bogen godt og grundigt. Jeg er så betaget af denne bog, at jeg godt tør anmelde den, selv om jeg kun har scannet den.

Bogen er uhyre tiltalende. Den har en dejlig fyldig indholdsfortegnelse, så man let kan se på hvilke sider, man kan læse hvad. Den virker velskrevet og er godt illustreret. Hvor det er nødvendigt, er der endog farvebilleder.
Jeg glæder mig til at få tid til at læse den.

Aage Jensen

DANSK LITHOSFÆRECENTER

Den 1.februar fik Danmark et nyt geologisk forskningscenter gennem en større bevilling fra Danmarks Grundforskningsfond. Bevillingen er givet for foreløbig fem år. Det nye geovidenskabelige center, der har fået navnet Dansk Lithosfærecenter, er placeret i tilknytning til Grønlands Geologiske Undersøgelse og Geologisk Institut ved Københavns Universitet i Øster Voldgade 10 komplekset tæt ved Geologisk Museum.

Benitoit er et barium-titanium-silikat ($BaTiSi_3O_9$) og hører til gruppen af cyclosilikater, men mens de fleste cyclosilikater er opbygget af seksleddede ringe (Si_6O_{18}), så er benitoit opbygget af treleddede ringe (Si_3O_9). Benitoit krystalliserer i den ditrigonal-bipyramidiske klasse. Denne klasse hører, trods navnet, til det hexagonale krystalsystem, da der er en sekstals inversionsakse.

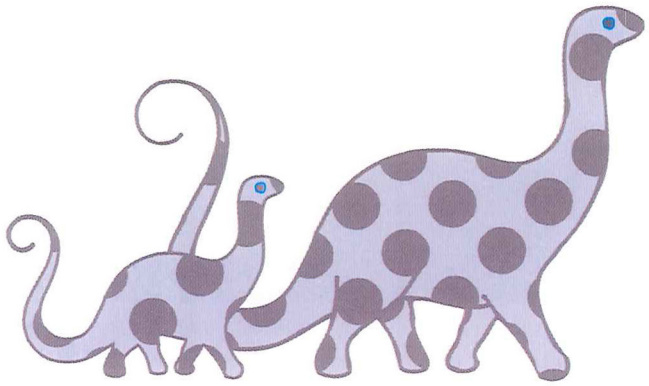
Man kender kun tre mineraler, der krystalliserer i den ditrigonal-bipyramidiske klasse. Det er foruden benitoit pabstit ($BaSnSi_3O_9$) og bazirit ($BaZrSi_3O_9$).

Navnet benitoit kommer af, at det eneste kendte findested ligger i San Benito County i Californien, USA. Benitoiten findes her i årer af natrolit, der er et othorombisk tektosilikat af zeolitgruppen ($Na_2Al_2Si_3O_{10}.2H_2O$).

Benitoit har hårdhed 6 1/2 og massefylde 3,65-3,68. Der er ingen spaltelighed, men muslet brud. Mineralet er sprødt og tydeligt pleochroitisk. Det vil sige, at den blå farve afhænger af, hvordan mineralet orienteres.

Benitoit blev først antaget for at være safir, men er i slebet tilstand blevet erkendt som et nyt mineral. Der er kun slebet ganske små sten, og de fleste er under 1/2 carat (en carat = 1/2 gram), mens den største er mindre end 10 carat.

Er man interesseret i at se et flot stykke benitoit, så må man besøge Geologisk Museum i København (Øster Voldgade 10, København K). I den første mineralsal på 1. sal finder man lige indenfor døren til venstre en kvadratisk montre med mange flotte mineraler, blandt andet et stykke med adskillige fine blå benitoitkrystaller: Betragt det med ærefrygt, Geologisk Museum har betalt 12.000 dollars for det.



le på grund af vandets endnu ringe gennemstrømningshastighed og mangel på de nødvendige mængder 'slibemiddel'.

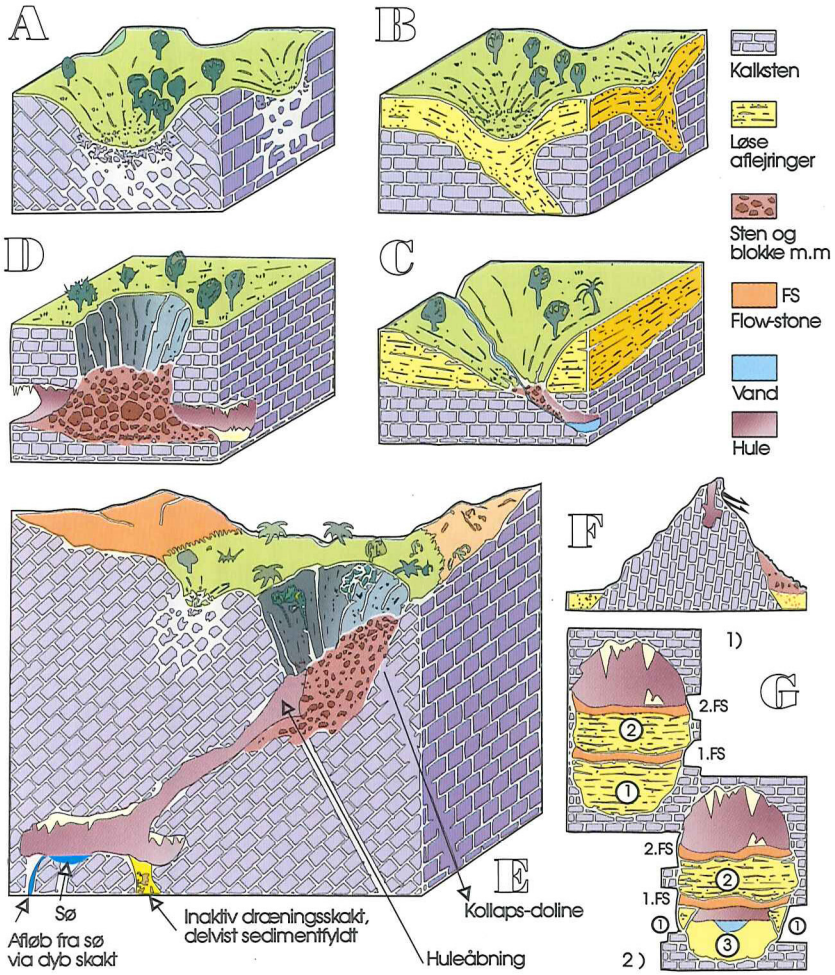
Undertiden er der dog i den vandmættede zone tilstrækkelig energi til at drive vandet igennem systemet med 'flodhastighed'. Herved vil én eller få passager vokse på bekostning af andre, og energitabet ved vandets friktion med de mange kanalvægge mindskes i takt med, at den samme vandmængde kan passere gennem systemet via færre kanaler med mindre friktion. Det medfører øget vandgennemstrømning og -tilførsel, hvorved disse 'trykrørspassager' ('pressure tubes') udvides ved en selvforstærkende effekt. De har stor betydning for udviklingen af nogle huler, hvor de udgør rygraden i det hydrodynamiske system.

Når der er skabt en egentlig hule, vil den videre udvikling - udover opløsningsprocesser og geologisk virksomhed - også afhænge af, hvad vi kan kalde de indre processer. I kamrene kan der ske nedstyrtninger, der ændrer vandets bevægelsesmønster og skaber forbindelser mellem tidligere adskilte sektioner. I den undermættede zone vil etableringen af en egen huleatmosfære samt kondens og strømmende vand kunne modificere eksisterende former. Vandets konstruktive evner kommer således til udtryk i stadig stigende grad, og gennemstrømmende floder og vandløb kan erodere dybe kløfter og jættegryder og danne vandfald.

Ved dannelsen af karsthuler er der således et fint samspil mellem kemiske processer, geologi og hydrologiske forhold. De ydre fysiske rammer kan dog ændres drastisk i løbet af en hules udviklingsforløb. Tektoniske begivenheder og/eller klimatiske svingninger vil således have stor indflydelse på, hvilke processer, der foregår og dominerer i de forskellige faser af hulens udvikling.

Såfremt de rette geologiske forhold er til stede, og de huledannende processer fungerer optimalt, er der ingen grænser for, hvor omfattende hulesystemerne kan blive. Det størst kendte system er Flint Ridge - Mammoth Cave i Kentucky, USA, hvor man indtil nu har udforsket 350 km passager i fem etager. Den dybeste hule menes at være den 1494 m dybe Gouffre St. Bernard i de Franske Pyrenæer. I Sarawak findes verdens største enkeltkammer, Sarawak Chamber, med de imponerende dimensioner: 700 m langt, 400 m bredt og 280 m højt! Læserne kan nu selv regne ud, hvor mange fodboldbaner der ville kunne placeres i denne 'verdens største naturlige sportshal'.

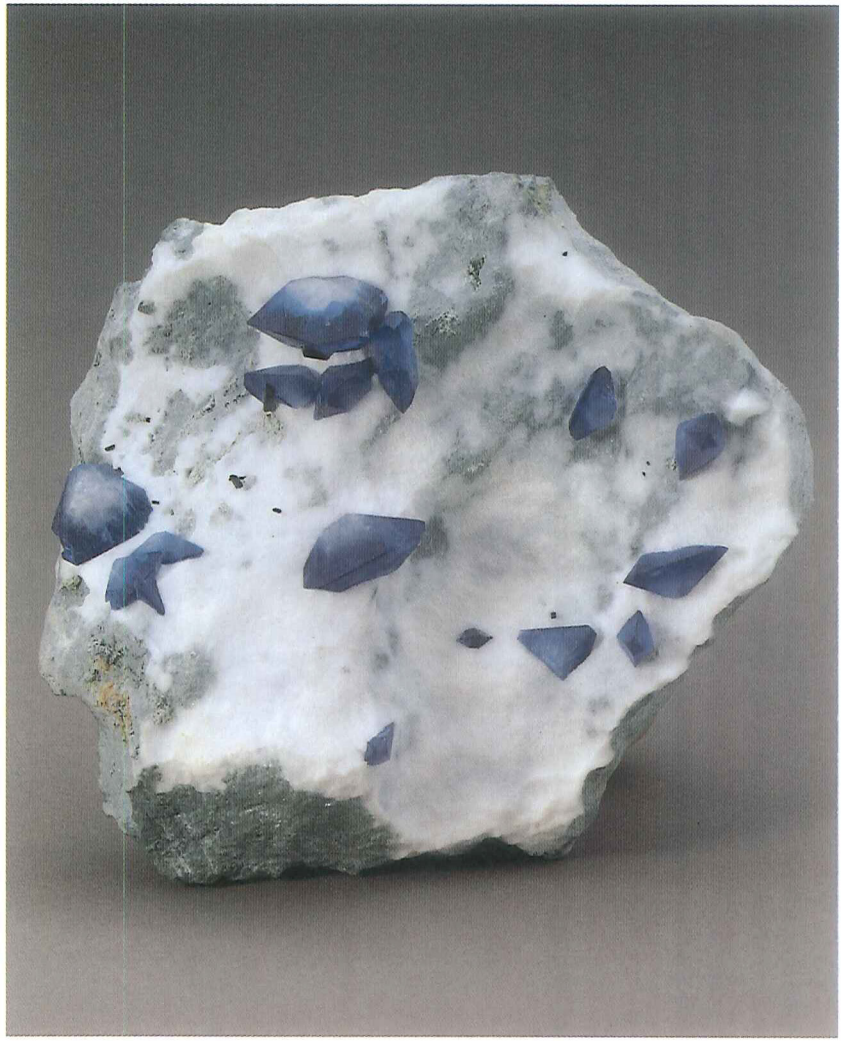
Stejltstillede lag og forkastninger giver ophav til høje, smalle huler, mens mere fladtliggende lag favoriserer dannelsen af indviklede systemer samt store enkeltkamre (figur 1).



Figur 2. A) Opløsningsdoline, B) Indsynkningsdoline, C) 'Stream-sink' doline, D) Kollaps- eller indstyrtningsdoline, E) Kollapsdoline med tilhørende hulesystem ved Ban Khang Ho, F) Sprækkehule. G) Eksempel på kompleks stratigrafi i hule med 'falske gulve' af 'flow-stone' (brun) udviklet oven på løse sedimenter (gul). G1 viser yngre lag aflejret oven på ældre lag. I G2 er den ældste aflejring delvis fjernet, da et vandløb i hulen på et lavere niveau har aflejret de yngste sedimenter nederst i sekvensen.

FORÅRETS MINERAL

Aage Jensen



Figur 1.Benitoit et meget usædvanligt mineral. Det findes som smukke blå gennemsigtige krystaller og anvendes som smykkesten. Billedet viser Geologisk Museums pragtstykke. Foto: O.B.Berthelsen

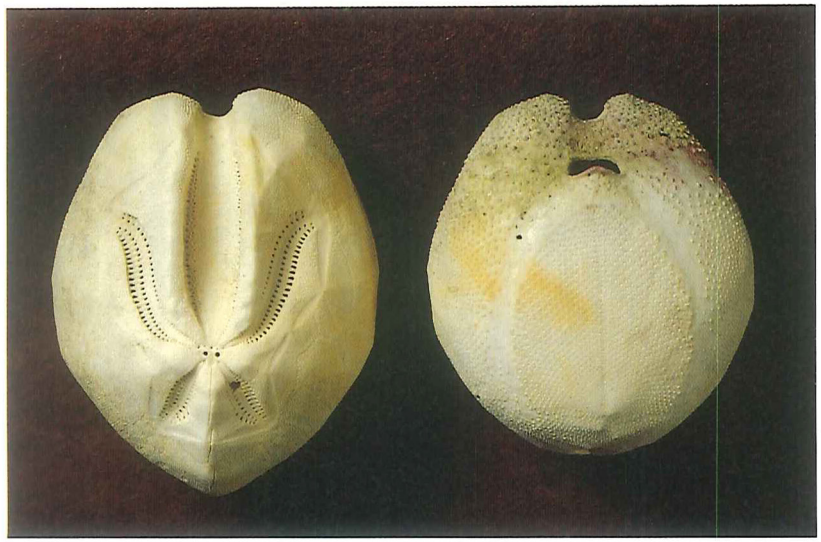
Bestemmelsesnøgle for de irregulære søpindsvin

Gattet rykket delvis eller helt ud af topfeltet 1-3

1.) Med Aristoteles-lygte: 1a eller 1b
1a.) Kompakt topfelt med alle genitalplader smeltet sammen til en stor siplade med de fire kønsporer siddende ude i hjørnerne + petaler: **Clypeasteroida**
1b.) Kompakt topfelt uden sammensmeltede plader. Mund beliggende centralt på undersiden: **Holectypoida**

2.) Uden Aristoteles-lygte hos voksne former. Mund oftest centralt på undersiden + phylloder + 5 store interradiale kantplader. Petaler til stede: **Cassiduloida**

3.) Uden Aristoteles-lygte. Munden skubbet forud med nyreformet omrids og labrum: 3a eller 3b
3a) Aflangt topfelt. Smal interradie mellem læbe og gat. Kan have petaler, indsænket forreste radie og fascioler: **Holasteroida**
3b) Kompakt topfelt. Interradie bag læben har to store plader (sternum). Oftest med petaler, fascioler og indsænket forreste radie: **Spatangoida**



Figur 10. Spatangoida. Dybtgravende Diploporaster *fra kalkslam, 'The Fiord', Sinai Halvøen, Rødehavet. Læg mærke til den dybt indsænkede forreste radie, petalerne omslynget af en fasciole, samt læben og plastron. Det store eksemplar er 8cm langt. Disse eksemplarer ligner meget formerne fra øverste Danien og fra tertiært ler. Foto: J. Aagaard.*

En særlig type huler er de såkaldte sprækkehuler, der dannes ved gravitativ udglidning af stejltstillede lag nær høje, lodrette klippevægge (figur 2 F). Sådanne huler kan blive mere end 100 m dybe.

Karstprocesser kan føre til et sandt overflødighedshorn af smukke og spændende landskabsformer, men her skal kun omtales nogle få typer, de såkaldte doliner (figur 2A-E og 3), der ofte står i direkte forbindelse med eksisterende huler og/eller huledannende processer.

Opløsningsdoliner (figur 2A) opstår som følge af opløsning af kalken nær overfladen på steder, hvor et netværk af sprækker skærer hinanden. Bemærk, at kalkstenen når helt op til overfladen i disse typer.

Indsynkningsdoliner (figur 2B) optræder, hvor kalkstenen overlejres af løse sedimenter, der synker ned, efterhånden som kalken opløses, eller hvor underjordiske hulrum i kalkstenen styrter sammen. I Danmark kender vi dette fænomen under betegnelsen jordfaldshuller, der findes på steder, hvor kalken/kridtet ligger umiddelbart under de kvartære aflejringer, f.eks. på Høje Møn og i Himmerland.

I 'stream-sink' doliner (figur 2C) forsvinder en flod eller et vandløb ned igennem de løse aflejringer og ned i den underliggende kalksten.

Kollaps - eller indstyrtningsdoliner (figur 2D-E og 3) skyldes sammenstyrtning af en underliggende hule. Figur 2E viser et eksempel på en 80 m dyb kollapsdoline med tilhørende hulesystem, der når ned i en dybde af 190 m under overfladen. Bemærk, at den skrånende gang følger kalkstenslagenes orientering.

Figur 4 viser et geologisk kort over området ved landsbyen Ban Khang Ho i Nan provinsen i Nordthailand, hvor sammenhængen mellem geologien og forskellige karstfænomener kan demonstreres. Læg mærke til, hvordan fordelingen af karstfelterne (sort) i udpræget grad falder sammen med udbredelsen af kalkstenen fra Mellem Perm (gult).

Kalkstenens homogene struktur har, sammmen med et finmasket net af sprækker og varierende laghældninger, virket særlig gunstigt for opløsningsprocesserne, der bl.a har skabt mange huler og forskellige typer doliner (figur 1 og 2A-E). Mod syd har en forkastning styret udviklingen af hulen Tham Nam Pua, samt givet ophav til flere store karstkilder.

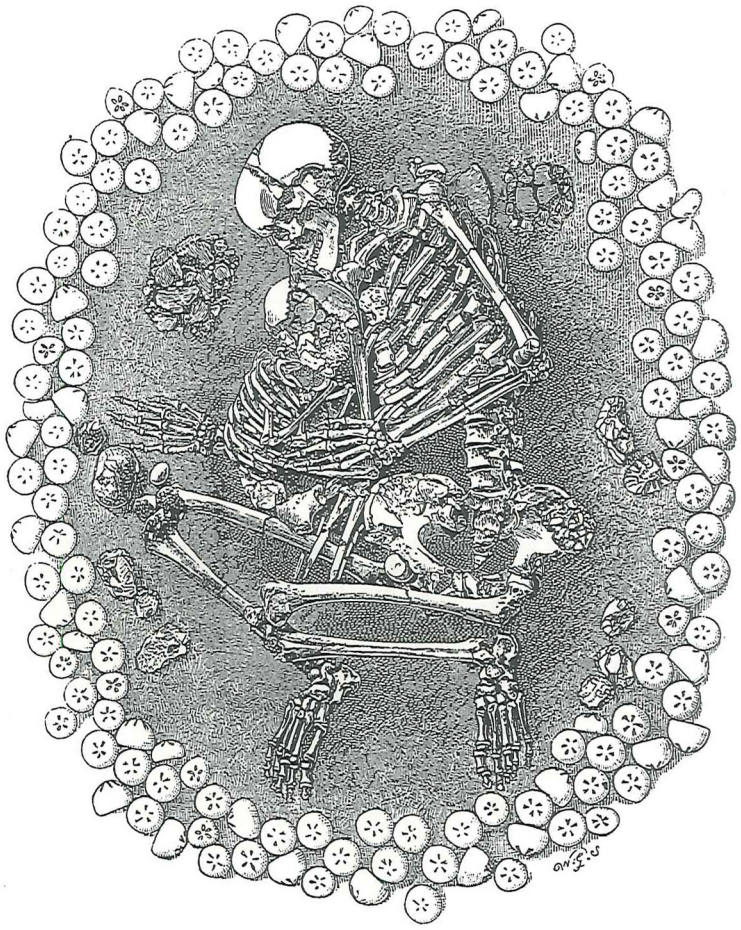
Figur 3. Nam Bor Phii (Åndebrønden), Mae Hong Son Provinsen, Nordthailand, er en veludviklet kollapsdoline 140 m dyb og 120 m i diameter. Hulen er opstået ved indstyrning af loftet i en stor hule, hvis resterende del ses til højre i billedet. Bemærk stalaktiterne over hulens åbning.

Aflejringer i huler

Aflejringer i huler inddeles almindeligvis i 4 typer: 1) Kemiske aflejringer, 2) klastiske aflejringer, 3) Biogene aflejringer og 4) kulturlag.

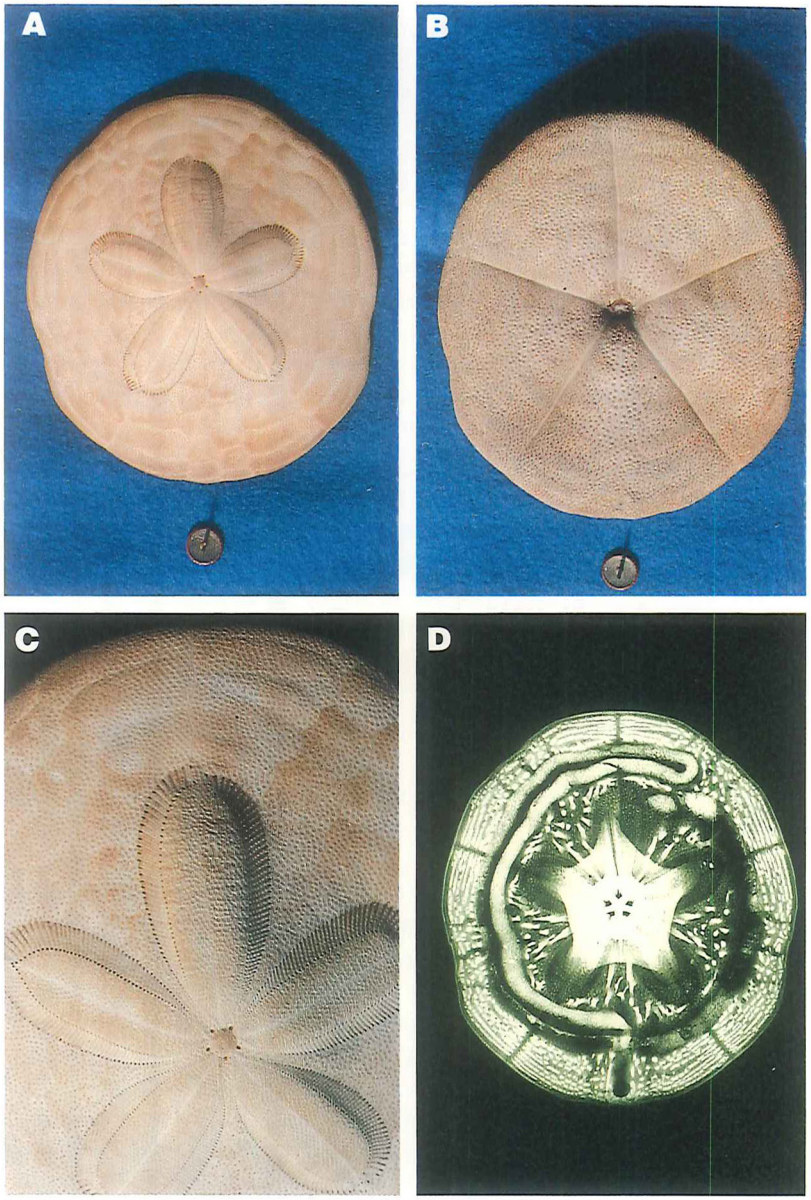
Kemiske aflejringer ('speleothems'):
Disse aflejringer opdeles i flere grupper ud fra morfologi og dannelsesmåde og/eller vandets bevægelsesmønster, og omfatter bl.a egentlige drypsten, bassindannelser og 'flowstone'.

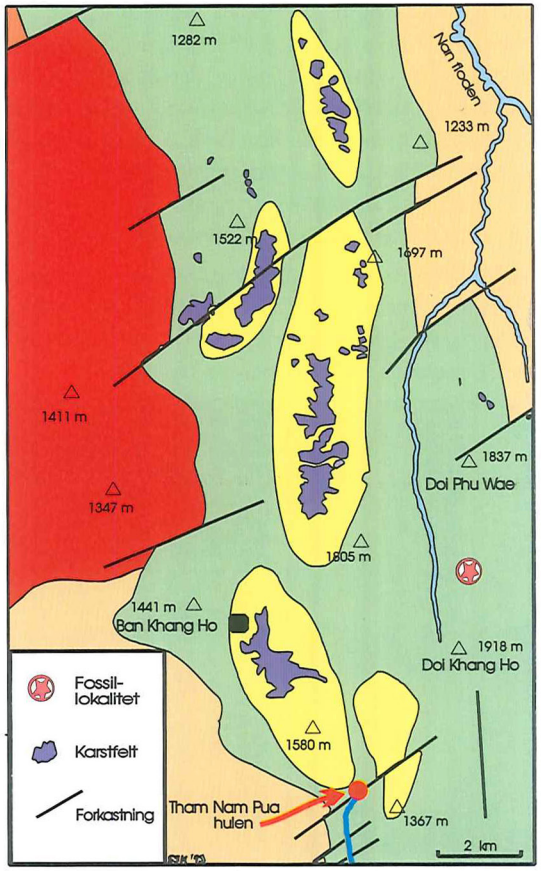
'Afgasning' af kuldioxid fra vandet til luften er en vigtig proces ved kemisk udfældning af calcit. Nedsivende vand, der er beriget med kuldioxid fra atmosfæren og senere mættet med $CaCO_3$ under passagen gennem kalkstenen, kan på et tidspunkt nå frem til et hulekammer med et lavere 'kuldioxidtryk' end i atmosfæren og de øvre jordlag. Her vil vandet afgive CO_2 til luften, når det drypper fra loft og vægge eller løber hen over ujævne flader. Vandet overmættes herved med $CaCO_3$, der kastes ud af opløsning og udfældes.



Figur 9. Mor og barn, Romersk grav, South Downs, England. Micraster *anbragt i en magisk cirkel? Eller er det den lidenskabelige samlers sidste ønske?*

Figur 8. Clypeasteroida. Sand-dollar fra det Caraibbiske Hav. A, B: set ovenfra og nedefra. Læg mærke til alle de små ens pigvorter, der har båret den tætte pels af pigge. C: forstørrelse af petalerne. D: radiografi af samme eksemplar visende Aristoteles-lygten og støttebjælkerne (hvide) langs kanten. De spænder fra over- til underside for at styrke den flade skal. Foto: J. Aagaard og R. Bromley.





Figur 4. Forenklet geologisk kort over Ban Khang Ho området i Nan Provinsen.

Gul: Kalksten fra m.Perm

Grøn: Kalksten-sandsten-skifer fra Perm

Rød: Div. sedimentære bjergarter fra Perm-Trias.

Brun: Silt-sandsten-konglomerater fra Trias-Jura

Stalaktiter (figur 3, 5 og 9) er former, der vokser oppefra og ned og dannes ved afsætning af $CaCO_3$ ved dryppunkter, f.eks. hvor vandet trænger frem fra sprækker.

Hår- eller stråstalaktiter er lange, tynde former med en årlig væksthastighed på 0,2-0,5 mm. Ved hvert dryp afsættes en mikroskopisk ring af calcit således, at der opstår et hult rør på ca. 5 mm. i diameter i midten af den voksende stalaktit. Hvis dette lille hule rør tilstoppes, vil vandet i stedet løbe ned langs ydersiden og udfælde $CaCO_3$ i et radierende mønster omkring det tilstoppede rør. Det fører til kegleformede stalaktiter, hvor calciten nu udfældes 'lag på lag' i en struktur, der minder om træårringe.

Stalagmiter (figur 5) vokser nedefra og op. Eksemplarer med en ensartet diameter i hele stalagmitens længde vidner om uændrede forhold i huleatmosfærens sammensætning, dryphastighed, vandets tempatur og $CaCO_3$-indhold. Kegleformede stalagmiter skyldes aftagende dryp- og udfældningshastighed, mens store komplekse stalagmiter dannes på grund af dråbernes vekslende størrelse, ændringer i faldhøjde eller skiftende dryppunkter i kombination med ovennævnte parametre. Vækstraten for stalaktiter og stalagmiter er typisk i størrelsesordenen 0,01-3,8 mm pr. år.

Hvor stalagmiter og stalaktiter vokser sammen, eller når henholdsvis gulv eller loft, opstår søjler, hvis videre vækst styres af $CaCO_3$-udfældning fra en tynd 'vandfilm' på overfladen. En af de størst kendte søjler kan ses i Cueva de Nerja hulerne i Sydspanien (figur 5).

Figur 5. Stalaktiter og stalagmiter i Cueva de Nerja hulerne i Sydspanien

Dråber, der løber ned langs væggene i faste baner, udfælder $CaCO_3$ i lange, bugtede og foldede gardiner ('drip curtains') og draperier.

'Flowstone' (figur 6) opstår, hvor udstrakte 'vandfilm' løber ned over vægge, gulve og skrånende flader. De kan antage mange former og er ofte associeret med 'rimstone'-dæmninger (figur 6) - trappeformede dannelser af (oprindeligt) vandfyldte bassiner adskilt af tynde vægge. Ved vandets bevægelse hen over eksisterende ujævnheder sker der en mikroskopisk bobledannelse, hvorved kuldioxid afgives til luften, og $CaCO_3$ udfældes. Denne proces er selv-

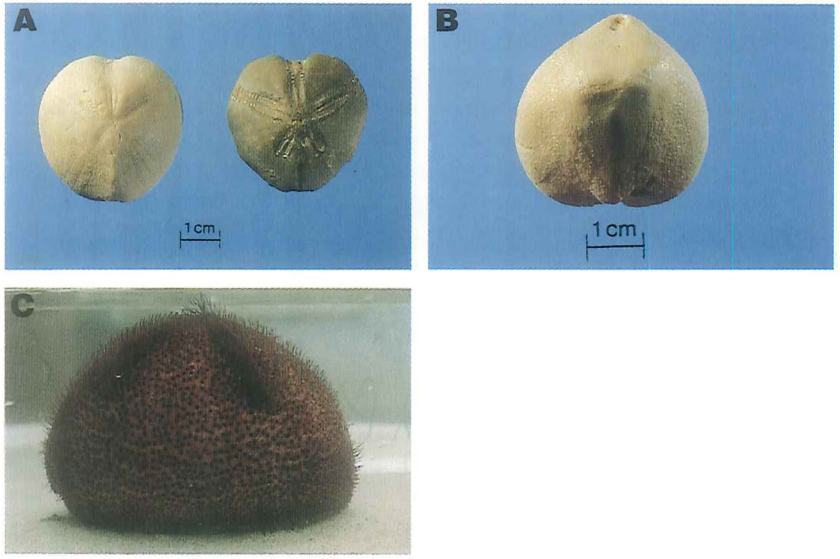
En almindelig spatangoid i Danien er *Brissopneustes*. I kalksandet ('Saltholmskalk') i øverste Danien dukker nogle af de virkeligt dybtgravende spatangoider op, og de findes fortsat op gennem den tertiære lagserie i lerede aflejringer. Her er de desværre ofte knuste, og skallerne er helt eller delvist opløste. De er sjældne og derfor af stor videnskabelig interesse. Husk endelig at tage det ydre aftryk med, når de indsamles. Det er kun her, man kan se detaljer som pigvorter og fascioler, og ofte hænger nogle pigge ved.

Den sidst tilkomne irregulære orden kom til sidst i Kridttiden. Det er **Clypeasteroida**, som sandsynligvis nedstammer fra nogle cassiduloider med funktionsdygtige tænder. Aristoteles-lygten hos clypeasteroiderne er ikke et stærkt bevægeligt plukke- og mejsleapparat som hos de regulære. Tænderne er korte og butte, og de ligger nærmest vandret og fungerer som en knusemølle. Her fjernes organisk materiale - blandt andet alger og bakterieovertræk - fra de indtagne sandkorn.

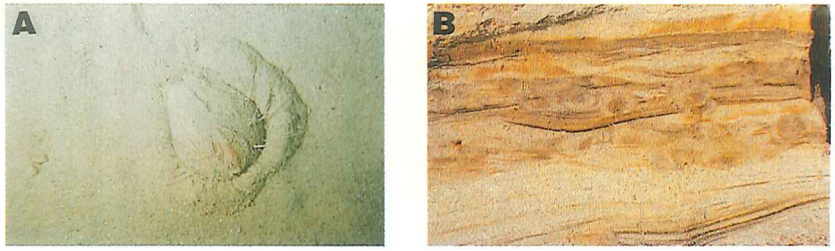
Clypeasteroiderne er med deres pelsagtige pigbeklædning og deres stærkt opsplittede radiærkanaler tilpasset et liv i sand. På hele undersiden findes spredte podier. De lever lavt nedgravet og bruger piggene til at transportere (og undervejs sortere) sand fra oversiden af dyret og ned på undersiden, hvor podierne tager over og langer sandkorn med lækkert materiale fra den ene til den anden og ind i knusemøllen. Hele processen kan nærmest sammenlignes med slukning af et lille bål midt i en stor folkemasse, hvor radierende kæder af villige hænder langer spande til hinanden.

Den eneste repræsentant i vore farvande er op til 1,5 cm lang og lever i groft sand og grus. Vi skal i dag til varme, sandede strande for at finde de store, og til Middelhavsområdet for at finde dem i tertiært sand. De kaldes populært for 'sand-dollars' (figur 8).

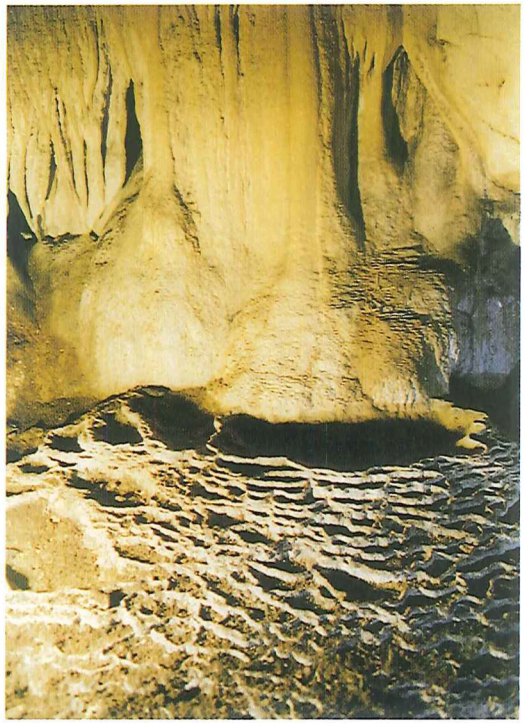
Skønheden i de 5-strålede ofte hjerteformede dyr har tiltrukket vore forfædre. Flintkerner af *Echinocorys*, *Galerites* og *Micraster* er fundet i grave tilbage fra stenalderen. Et ofte afbildet eksempel ses på figur 9. Helt op i vor tid har de irregulære søpindsvin haft en magisk betydning. Flintkerner af *Galerites* og især *Echinocorys* blev kaldt Spadei- eller Zebedeisten. De beskyttede mod torden, og anbragt på hanebjælkerne mellem tykmælksskålene tjente de to formål: Lynet slog ikke ned, og tykmælken kunne ikke slå fejl. Min Mormor lavede tykmælk, når hun boede hos os. Når min samling af Spadeisten var forsvundet fra udstillingen på bogreolen, kunne den genfindes mellem tykmælksskålene på øverste hylde i spisekammeret.



Figur 6. Spatangoida. A, B: Micraster. *A: til venstre et eksemplar fra engelsk skrivekridt, Coniacien tid. Til højre flintkerne fundet ved Lillebælt. B: det engelske eksemplar set skråt bagfra/nedefra. Fasciolebåndet kan lige anes omkring de to buler mellem gat og plastron. C:* Palaeopneustes *- en stor (12cm lang), primitiv nulevende spatangoid, der meget ligner* Echinocorys *- den pløjer på blød bund, Barbados. Foto: J. Aagaard og R. Bromley.*



Figur 7. Spatangoida. A: Lovenia *(7cm lang) ved at grave sig ned. Eilat, Rødehavet. B: Miocænt sand ved Lillebælt. Spor af 'Sømus'* (Echinocardium) *3cm i diameter. Foto: R. Bromley.*



Figur 6. Tykke lag af 'flowstone' afsat på vægge og gulv i Tham Din hulen i Nan Provinsen. Forrest ses op til 1,5 m store nu udtørrede 'rim-stone' bassiner

forstærkende, idet den kontinuerlige udfældning på de samme steder skaber stadig større ujævnheder, der igen forstærker bobledannelsen og derved udfældningen af $CaCO_3$. Der opbygges herved langsomt serier af trappetrin, bassintrin og bassinvægge.

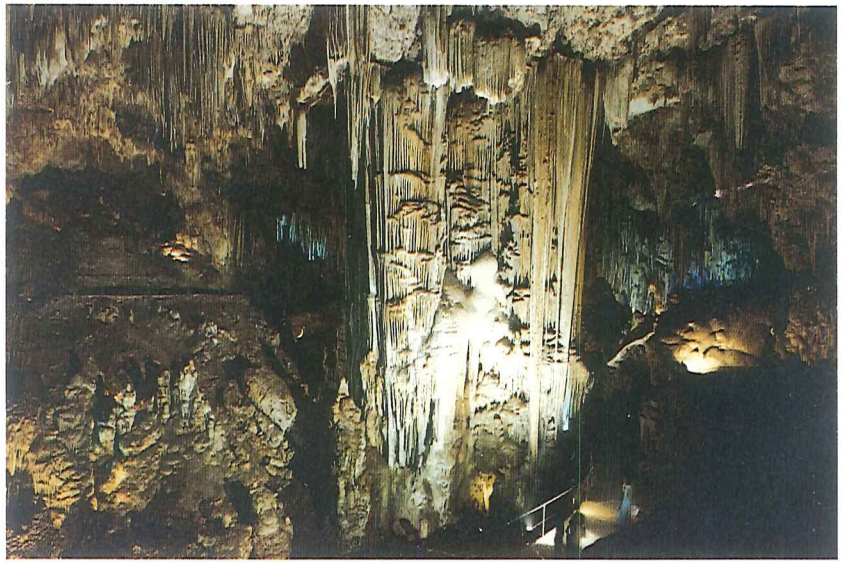
I kalkstensområder vil vandfald i huler og på jordoverfladen til stadighed kunne udbygge deres egen form på grund af ovennævnte proces, og man taler således om konstruktive vandfald (figur 7).

Nogle få ekcentriske former vokser tilsyneladende uden at tage hensyn til tyngdekraften. Heliktiter gror i alle retninger og menes at være et resultat af forhøjet hydrostatisk tryk, der presser vand mættet med $CaCO_3$ ud fra kapillærrum i lofter og vægge. Vinklede, kurvede og spiralsnoede former afspejler gradvise ændringer i calcitkrystallernes orientering - muligvis på grund af urenheder i form af fremmede ioner, der forstyrrer krystalgitrenes ellers regulære opbygning. Skjolde er igen en anden type, som danner to parallelle plader, der vokser ud fra væggene i alle tænkelige vinkler.

I arktiske og subarktiske egne kan drypstensdannelser af is dominere over kemiske udfældninger. Der kendes også eksempler i hulerne på 50 cm store, hexagonale plader af is dannet ved fortætning af vanddamp fra luften.

Med til de kemiske aflejringer må også regnes forskellige evaporitudfældninger i aride og semiaride klimater, samt egentlige mineraliseringer af f.eks.:

halit (NaCl), calcit og aragonit ($CaCO_3$), gips ($CaSO_4*2H_2O$), variscit ($AlPO_4*2H_2O$), taranakit ($(K,NH_4)Al_3(PO_4)_3(OH)*9H_20$), woodhouseit ($CaAl_3(PO_4)(SO_4)(OH)_6$, hydroxylapatit ($Ca_5(PO_4)_3(OH)$), opal ($SiO_2*nH_2O$)

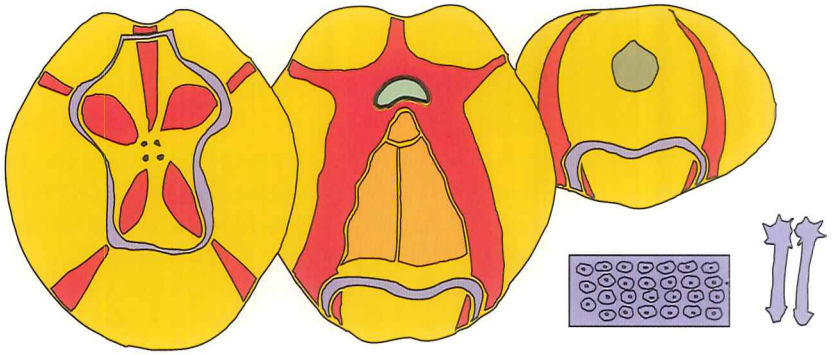


Figur 7. Konstuktivt vandfald i Nam Tok Roi Chan Phan Wang, Trang Provinsen, Syd Thailand. De ejendommelige former er opstået ved kontinuerlig udfældning af $CaCO_3$ fra det brusende vand.

De kemiske aflejringers interne struktur afhænger af type og vækstbetingelser og varierer fra en løs, melagtig konsistens over en fast, grynet til en hård, krystallinsk struktur. På sidstnævnte ses calcitkrystallernes spalteflader på afbrækkede stykker, og ofte glimtende, sukkeragtige krystaller på overfladen (figur 8).

Aflejringernes forskellige farver skyldes urenheder langs krystalflader, i krystalgitre eller på oversiden af vækstflader. Forskellige metalforbindelser

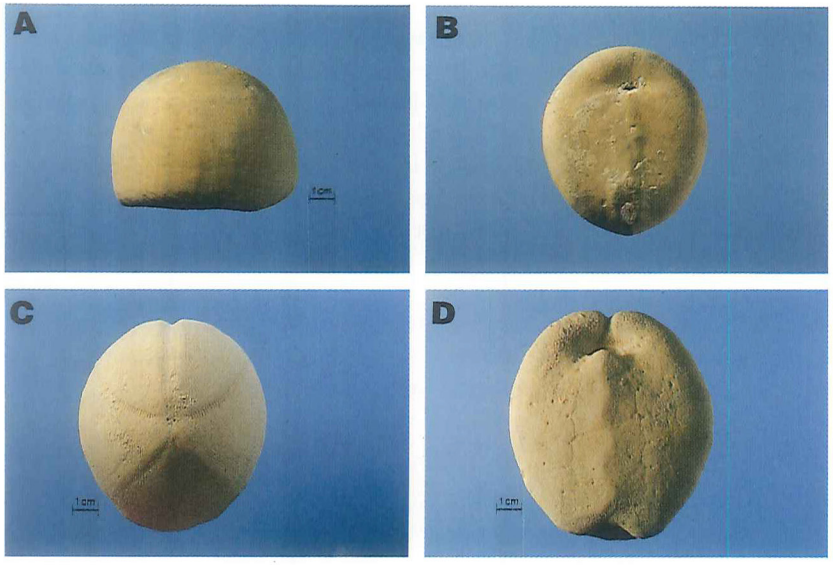
dier har store porer omgivet af muskelfæster i skallen. Dette kan nemt ses også på de 'nøgne' fossiler. Pumper og ventiler i dette system er fascioler (figur 5 og 10) - bånd på skallen med meget små tætsiddende vorter, hvorpå der er anbragt små 'morgenstjerne'-formede pigge. 'Morgenstjernernes' skafter er forsynet med fimrehår, der ved deres slag konstant driver vandet i én retning over båndet. Samtidig producerer 'morgenstjernernes' hoveder store mængder slim, der gennemtrænger sedimentet udenfor og hindrer, at vandet undslipper, før det har været over de vitale dele af dyret. Fascioler findes hos nogle af de avancerede gravende Holasteroida, men når et højdepunkt af raffinement hos de spatangoider, der i løbet af øvre Tertiær tilpassede sig til at leve nedgravet 20-30 cm i mudder.



Figur 5. Skematisk billede af en spatangoid set ovenfra, nedenfra og bagfra. Rødt = radier, olivengrønt = gat, orange = læbe og de to bundplader, lys grøn = mund, blå = fasciole. Indsat: stærkt forstørret detalje af fasciolebåndet med de små vorter til piggene og to morgenstjerner.

En 'klassisk' spatangoid er *Micraster* (figur 6 og 9), der er hjerteformet og forsynet med en ringformet fasciole under gattet. Den hører hjemme i øvre Kridt og gennemløber i det europæiske skrivekridt nogle udviklingslinier, der er så godt dokumenterede, at man kan se på de eksemplarer, man finder, hvor man stratigrafisk er placeret indenfor skrivekridtet. *Micraster* synes at forsvinde fra skrivekridt-bassinet før Maastrichtien tid. Den er ikke fundet i Kridt i Danmark. Nu og da dukker flintkerner op fra grusgrave og strande , som utvivlsomt er *Micraster* (figur 6).

EFTERLYSNING: Hvem finder den første Micraster med skal i skrivekridt eller Danien?



Figur 4. Holasteroida. A, B: Echinocorys *set fra siden (gattet til højre) og nedefra. Skrivekridt, Møns Klint. C, D:* Hemipneustes *(Maastricht, Holland) set ovenfra og nedefra. Læg mærke til den indsænkede forreste radie og den nyreformede mund med den fremspringende læbe. Foto: J. Aagaard.*

Den anden tandløse orden, der tog føringen i løbet af øvre Kridt, er **Spatangoida** (figur 5-7 og 10). Spatangoida har et kompakt topfelt (figur 1) og en karakteristisk bund (figur 5), hvor de to plader i interradien bag labrum er meget store og forsynede med spade- eller åreformede pigge, der bogstaveligt ror søpindsvinet frem i sedimentet. Spatangoida er oftest hjerteformede med en nedsænket forreste radie og veludviklede petaler. De fleste er tilpasset en totalt nedgravet levevis.

For at være i stand til at leve mere end sin egen højde under sedimentoverfladen, er det nødvendigt at have en skakt op til det iltrige vand og et dræn bagud til at skaffe sig af med giftige produkter produceret gennem stofskiftet. Endvidere er det nødvendigt at have en pumpe til at lede det friske vand ned over gællepodierne i petaloiderne af hensyn til åndedrættet og hen over dyrets overflade og ud bagtil. Specielle smidige podier med en en slimet 'skorstensfejer-børste' i spidsen, hvor de enkelte 'hår' er stivet af med kalkspikler, sørger for gravning og slim-afstivning af skakt og dræn. Disse po-

giver mange farver fra sort (Fe,Mn) over gullige, brunlige og rødlige (Fe) til grønne farver (Cu). Endvidere er urenheder af organisk oprindelse (bakterier og alger) samt støv og mudder af stor betydning.

Figur 8. Overflade af stalagmit i Tham Lan The hulen, Nan Provinsen. Bemærk calcitkrystallerne i de op til 8 mm store skåle og sammenlign formen af sidstnævnte med 'rimstone' bassinerne på figur 6.

Klastiske aflejringer.
Disse stammer enten fra eksterne kilder og er transporteret 'indendørs' af gravitative, fluviale eller æoliske processer, eller fra interne kilder, hvor nedstyrtet materiale fra lofter og vægge udgør en væsentlig bestanddel (fig. 9). Floder og vandløb kan eksempelvis skabe deltaer, flodterrasser, flettede og meandrerende løb, og i søbassiner afsættes finkornede, eventuelt varvige, sedimenter af ler og silt.

I huler med tidligere eller nuværende periglaciale forhold og/eller glacial aktivitet vil sedimenterne i indgangspartiet ofte bære præg af jordflydningsprocesser, ligesom der kan optræde till- (moræne-) eller smeltevandsaflejringer.

Vindaflejrede sedimenter er i sagens natur mindre almindelige i huler end uden for. Dog er sand- og løssakkumulationer nær åbningen ret almindelige i tørre klimater, hvor man desuden har fundet klitdannelser af sand, blæst ind gennem åbne sprækker og skakte.

Biogene aflejringer og kulturlag.
Fra sådanne aflejringer stammer mange berømte fund af fortidsmennesker og -dyr, f.eks. Peking-manden fra Mellem Pleistocæn fra Zhoukoudian-

hulen i Kina og store mængder knoglemateriale fra uddøde, kvartære dyrearter. De fleste fund er gjort i hulernes ydre dele samt på bunden af åbne skakte, der har fungeret som dyrefælder.

I hulernes indre er selve biomassen af levende organismer generelt for ringe til at give betydelige aflejringer, men guano fra fugle- og flagermuskolonier kan ophobes i metertykke lag. De vil langsomt omdannes til forskellige fosfater og nitrater, der kan påvirke vandets kemiske sammmensætning og opløsningsevne.

I og ved selve åbningen, samt i kamre med indfaldende dagslys, kan der optræde en speciel og varieret flora. I de mørke afsnit er plantevækst absolut minimal - dog kan visse alger, bakterier og svampe trives under sådanne vilkår, hvor de tillige kan påvirke udfældningen af calciumkarbonat. Træstammer, grene, blade og andet plantemateriale kan med strømmende vand føres langt ind i hulens indre, hvor de vil indgå i de klastiske aflejringer.

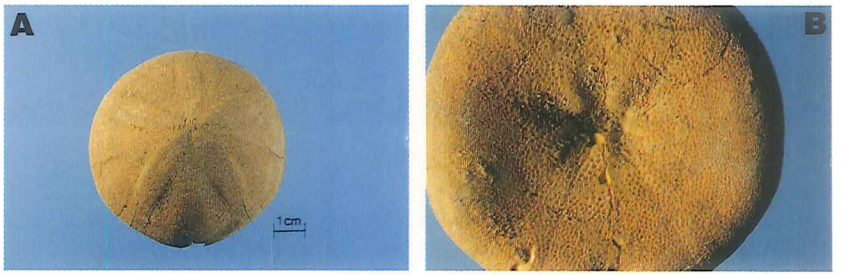
Kulturlag.
Menneskets tilstedeværelse repræsenteres af kulturlag, der kan indeholde spor efter ild, knuste skaller, redskaber, potteskår, flækkede dyreknogler m.v. Endvidere ses i mange huler verden over smukke eksempler på, hvordan 'datidens speleologer', har udfoldet deres kunstneriske talent i form af malerier og indkradsede symboler.

Stratigrafi, palæomiljø og dateringer.
At udrede stratigrafien i huleaflejringer kan være en besværlig proces på grund af de fysiske rammer og den hyppige tilstedeværelse af 'falske gulve' (figur 2G), d.v.s. lag af 'flowstone' udfældet oven på løse sedimenter, som senere fjernes ved vanderosion og eventuelt erstattes af yngre aflejringer.

Tidligere var især vertebratfossiler den røde tråd i sådanne undersøgelser, men i dag benyttes mange forskellige metoder. Sedimentologiske, palæontologiske og palynologiske undersøgelser af de klastiske og biogene aflejringer kan fortælle om den daværende lokale flora og fauna, samt om jordbunds- og klimaforholdene. Forladte kanaler, terrasser, erosionsspor, vandstandsmærker og forskellige sedimenter i forskellige niveauer, samt typen, hyppigheden og fordelingen af de kemiske afsætninger giver oplysninger om vandets tidligere bevægelsesmønster og herved også om tidligere tiders tektoniske og klimatiske begivenheder.

I kølige klimater skyldes varvige sedimenter ofte indtrængende smeltevand fra nærliggende isdækker, mens de i troperne repræsenterer nedbørsvariationer styret af monsunperioderne. På sådanne finkornede søsedimenter kan der foretages palæomagnetiske dateringer.

fritsvømmende larve til et bundlevende dyr), men mundens form viser tydeligt, at forfædrene havde Aristoteles-lygte. Cassiduloida har omkring munden et blomsterformet felt med store porer til specielle podier, der ligner små, slimede skorstensfejer-koste. De bruges til at samle sediment med organisk materiale, der stoppes ind i munden. Omkring topfeltet danner radierne også 'blomsterblade', (petaler) idet de to porer i hvert par er trukket langt fra hinanden med en forbindende fure. Petalerne bærer brede, papirtynde podier med kraftig cirkulation af vædske, for her foregår åndedrættet. Petalerne er således en form for gæller. I Tertiær var cassiduloider dominerende blandt de irregulære søpindsvin på lavt vand, og vi finder flere arter i Danien i Faksekalk, men de er ikke almindelige. Rejser man til Middelhavsområdet, vader man næsten i *Echinolampas*-arter, der også tilhører ordenen Cassiduloida, i aflejringer fra tidsperioderne Miocæn og Pliocæn.



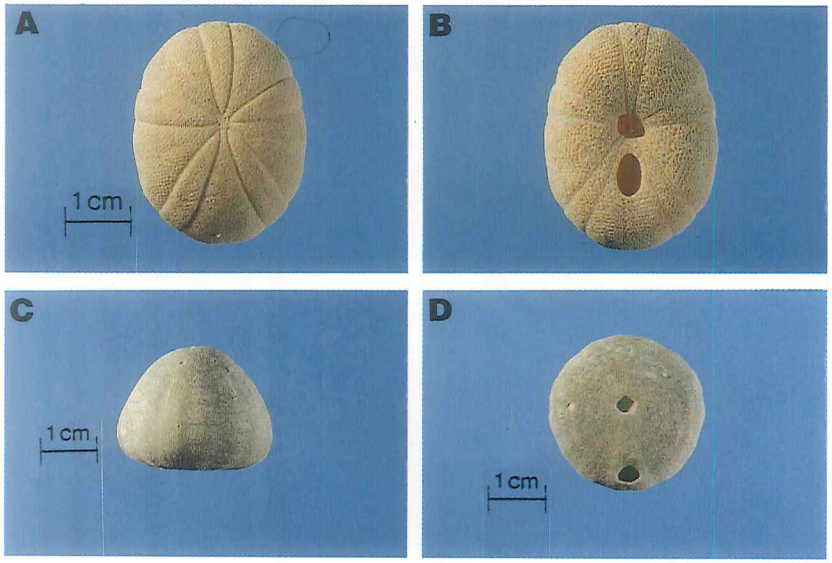
Figur 3. Cassiduloida, Echinolampas, *Miocæn, Spanien. A: Læg mærke til petalerne, der ligner en femtallig blomst. B: detalje af undersiden. Læg også mærke til den kantede mund med de specielle porefelter omkring. Foto: J. Aagaard.*

I nederste Kridt dukkede to nye ordner op. De er begge tandløse med en skæv mund med et nyreformet omrids. Munden er rykket fremad på undersiden og forsynet med en fremspringende 'underlæbe' (labrum, figur 4).

Ordenen **Holasteroida** har et langstrakt topfelt (figur 1), og den bageste interradie er mellem mund og gat klemt sammen til én række plader (figur 4). Holasteroiderne havde en hurtig udvikling i løbet af nedre Kridt og stor artsrigdom tilpasset alle former for blød bund. Holasteroider er ikke almindelige i dag, de fleste findes på blød oceanbund, hvor de pløjer sig frem, eller er gravet ned lige under bunden. I det danske skrivekridt og i Danien er slægten *Echinocorys* (figur 4) repræsenteret ved mange arter. Det har været pløjende former uden petaler. En gravende form er den hjerteformede *Hemipneustes*, som er almindelig i Maastricht-områdets kalksand i Holland (figur 4). En lignende form findes meget sjældent i Danmark.

Søpindsvinets mundapparat (Aristoteles-lygten) går gradvist tabt hos de fleste irregulære grupper, og munden flyttes fremad. Ingen podier har sugekopper, men mange af dem er specialiserede til forskellige funktioner. Piggene er generelt korte og tynde som hår og kan ligeledes være udformede til forskelligt arbejde. De fungerer blandt andet som årer til at skubbe dyret fremad og - hos de dybt gravende - som nåle til at løsne sediment foran dyret og spatler til at fragte det rundt om dyret og aflejre det bagved.

Den ældste overlevende irregulære orden er **Holectypoida** (figur 2). Den er kendt fra mellem Jura og er i dag kun repræsenteret ved *Echinoneus*, der lever på lavt vand i troperne nedgravet i groft sand. Denne form er tandløs som voksen, men formerne fra Mesozoikum havde Aristoteles-lygte. *Galerites*, der tilhører samme orden, var meget almindelig i øvre Kridt, og vi har flere arter i skrivekridt.



Figur 2. Holectypoida. A, B: recent Echinoneus *fra Bahama set ovenfra og nedefra. (På dette og alle de efterfølgende fotografier er eksemplarerne afbildet med den forreste radie pegende opad og den bageste interradie (med gattet) ned.) C, D:* Galerites, *nedre Maastrichtien skrivekridt, Kongsted, set fra siden (gattet peger til højre) og nedefra. Foto: J. Aagaard.*

Ordenen Cassiduloida (figur 3) er næsten jævnaldrende med Holectypoida, men er i dag repræsenteret med flere slægter i troperne og subtroperne. De nulevende taber tandapparatet under metamorfosen (forvandlingen fra en

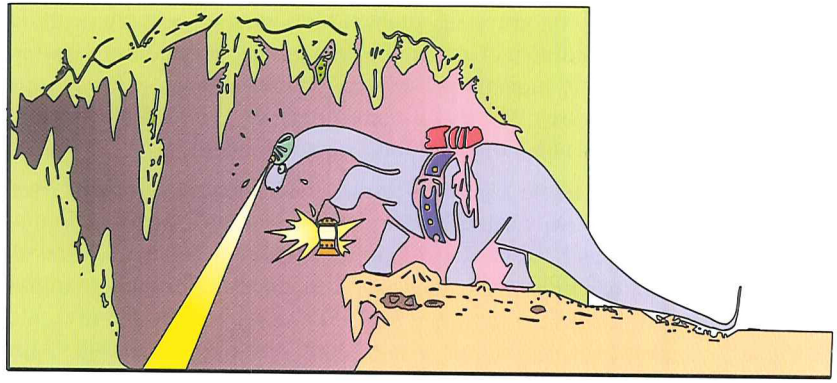
Vindaflejrede sedimenter antyder umiddelbart et nedbørsfattigt klima, men siger ikke direkte noget om de daværende temperaturforhold.

I Europa og USA har undersøgelser i huler i områder med glacial aktivitet muliggjort opstilling af lokale glacialstratigrafier for dele af kvartærtiden på basis af indpressede till- og smeltevandssedimenter.

Da drypstensdannelsen som nævnt er afhængig af vandtilførslen, har man ud fra fordelingen og hyppigheden af drypsten samt ved at anvende $^{18}O/^{16}0$ - isotopanalyser af disse opstillet en palæoklimatologisk model for de sidste 370.000 år opdelt i stadialer/glacialer, interglacialer og interstadialer. De kolde og mere tørre stadialer karakteriseres af en begrænset $CaCO_3$- udfældning, mens de varmere, fugtigere interglacialer og -stadialer favoriserede udfældningen.

Det er muligt at aldersbestemme drypsten og 'flowstone' ved hjælp af $^{13}C/^{12}C$-, $^{230}Th/^{234}U$-, $^{234}U/^{238}U$-, ERS- og thermoluminescens-dateringer. De fleste læsere har næppe adgang til sådanne faciliteter, men at bestemme alderen på f.eks. en 107 cm lang stalagmit med et målebånd, lommeregner og de tidligere nævnte vækstrater, går imidlertid ikke. Dertil varierer vækstbetingelserne alt for meget - bl.a. kan væksten helt ophøre i årtusinder.

Forestiller vi os, at stalagmiten havde haft en konstant vækst på 3,8 mm. pr år ville alderen være ca. 281 år - eller hele 107.000 år, hvis væksthastigheden kun havde været 0,01 mm pr. år. Den 'sande' alder? - isotopdateringer af nævnte stalagmit gav i alt fald et andet resultat: 690.000 år! Ej heller huler blev skabt på én dag.



SØPINDSVIN DE IRREGULÆRE

Ulla Asgaard

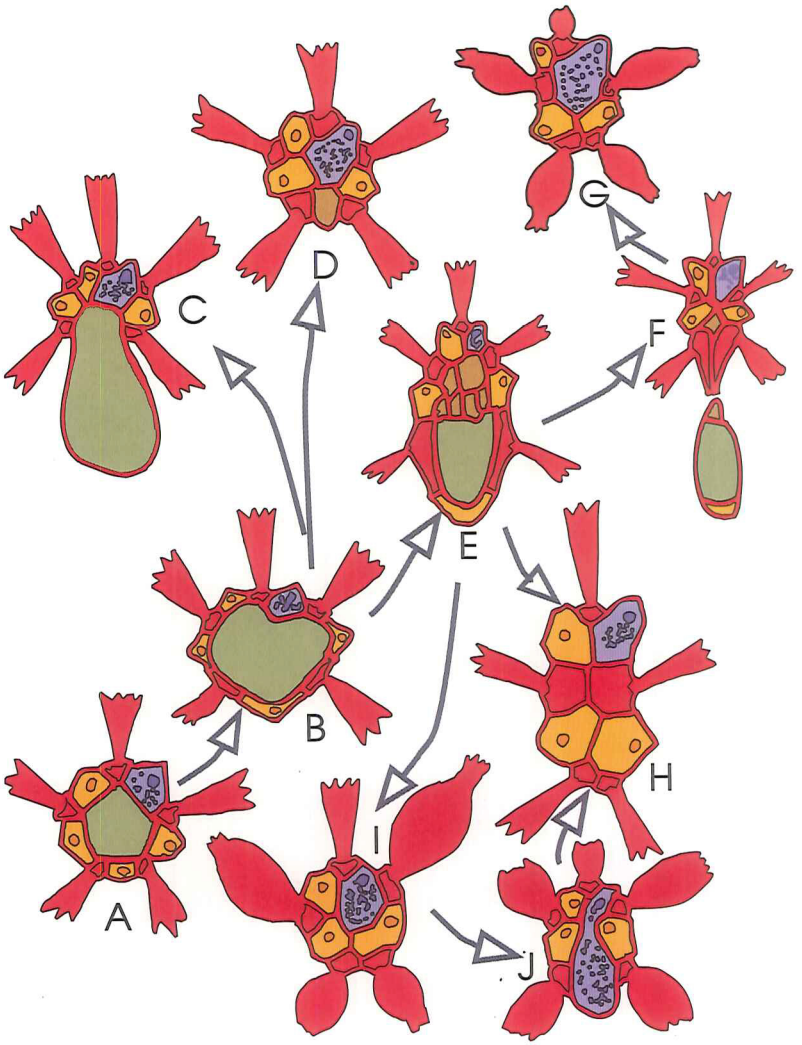
Regulære søpindsvin havde, som beskrevet i en tidligere artikel i Varv (1993,4), en 5-radiær symmetri og et kraftigt kæbeapparat tilpasset afgræsning af en hård havbund, og deres bevægelser hen over underlaget var tilfældig - ikke retningsbestemt. De regulære søpinsvin kendes helt tilbage fra tidsperioden Ordovicium.

I tidsperioden Jura opstod en ny type søpindsvin, de irregulære, som var tilpasset en helt anden type havbund. Dette hænger sammen med globale geologiske og tektoniske hændelser, knyttet til opsplitningen af det store 'sammenbragte' kontinent, Pangaea. I nedre Jura dannedes således i forbindelse med kraftig havbundsspredning store forholdsvis fladvandede shelfarealer med jævn bund dækket med sand og ler. Dette miljø med et spredt og ofte fattigt indhold af delvis nedbrudt organisk materiale var nyt for de fleste bundlevende dyr.

Blandt de regulære griffelsøpindsvin og de ligeledes regulære tidlige *Diadema*-former (Varv 1993,4) var der nogle få, der ved hjælp af 'stylter' tilpassede sig et liv i dette bløde miljø. Men for at erobre de store bundarealer på shelfen, kontinentalsokkelen og selve oceanbunden skulle der drastiske forandringer til i søpindsvinekroppen og i adfærd.

For systematisk at pløje og grave sig gennem blød bund og udnytte nedbrudt organisk materiale i sedimentet er det nødvendigt at bevæge sig konstant fremad ofte i indviklede mønstre, så et stort område afsøges uden at egne eller naboens spor krydses. Dyret må være bilateralt symmetrisk (have en højre og en venstre side) med munden fortil og gattet bagtil.

Fra øvre Trias kendes nogle *Diadema*-former med bilateral symmetri overpræget på den radiære. De var lidt langstrakte med en radie pegende fremad og gattet skubbet bagud i topfeltet og sipladen anbragt foran til højre. På figur 1 er angivet forskellige mønstre af udviklingen af det irregulære topfelt og gattets vandring bagud. Tegningen skal ikke tages som et stamtræ, idet de første irregulære former kun er mangelfuldt kendt og undersøgt. Sammenhængen mellem de tidlige irregulære søpindsvin fra Jura og de ordner, vi kender i dag, er således langt fra dokumenteret.



Figur 1. Topfelter med lidt af radierne angivet i rødt. Sipladen er blå og de andre genitalplader orange. Gattet er olivengrønt. Ekstra plader er brune. Alle figurer har den forreste radie pegende opad. A: regulær form fra Trias. B, C, E og F er irregulære fra tidlig Jura. D er en holectypoid, G: cassiduloid, H: holasteroid, I, J: spatangoid. Pilene viser tendenser i udviklingen.