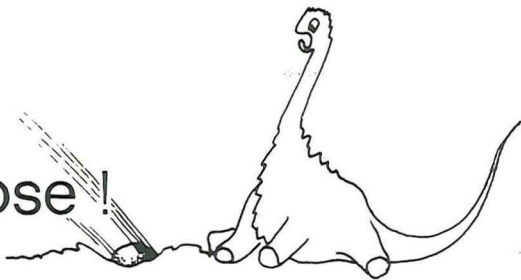


Meteornedslag! Chokmetamorfose!



af Vagn Jensen

I Varv nr 3, 1971 har Tommy Jørgart givet en redegørelse for den fysiske baggrund for Månens kratere ud fra det synspunkt, at de er dannet ved Månens kollisioner med mindre himmellegemer - meteoriter.

Allerede i slutningen af sidste århundrede var der geologer, der mente, at visse strukturer - også kaldet astroblemer (græsk = stjernesår) - her på Jorden var dannet ved meteorit-nedslag, for eksempel det berømte krater i Arizona - Meteor Crater = Barringer Crater = Canyon Diablo Crater. Arizonakrateret blev dog først betragtet som en ekstraordinær undtagelse, og G.K.Gilbert, manden der først tolkede det som dannet ved et nedslag, skiftede senere standpunkt og antog det for et vulkansk krater.

Indianerbefolkningen i området, Hopi-indianerne, havde i deres religion en beretning om, at en gud der på stedet var nedsteget til Jorden i form af en ildkugle. Antagelsen af denne overlevering, som en øjenvidnetolkning af et meteoritnedslag, er mulig, da krateret kun er cirka 25000 år gammelt.

Op gennem vort århundrede har der med jævne mellemrum været fremsat teorier om, at en lang række strukturer her på Jorden måtte være dannet ved nedslag. Men synspunktet blev først nogenlunde bredt accepteret i 1950'erne og senere - især efter tilvejebringelsen af de første måneprøver.

Snart meldte spørgsmålet sig: Er Jorden lige så arret efter nedslag som Månen er det? Meget tyder på, at det forholder sig således, men sagen kompliceres ved, at vi har vand og atmosfære og disse er ansvarlige for erosion og sedimentation. Det betyder, at et gammelt astroblem for det meste vil være udvisket og dækket af yngre dannelser og dermed kun i få tilfælde vil være direkte synligt.

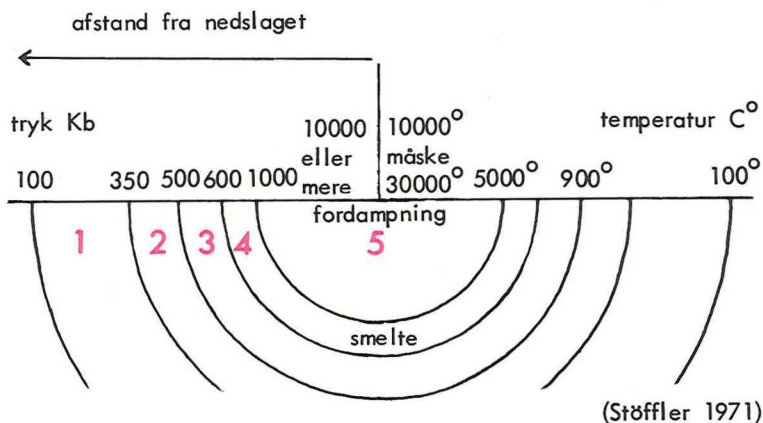
I Varv nr 3, 1971 så vi, hvilke hastigheder der gælder for leger, der kolliderer med Månen. De tilsvarende ydergrænser her på jorden er 11 km per sekund som laveste og 73 km per sekund som højeste hastighed. De nævnte tal gælder kun meteoriter af en vis størrelse, idet de mindre bremses kraftigt op i atmosfæren og eventuelt brænder helt op. Derimod er atmosfærens bremsende virkning på de større meteoriter næsten lig nul.

Når en større meteorit rammer jordoverfladen sker der karakteristiske omdannelser - chokmetamorfose eller "stødomdannelse" - i de ramte bjergarter. Påvirkningerne kan i mange tilfælde iagttages over hundreder af kvadratkilometer, og det er forklaringen på, at vi faktisk har mulighed for at lokalisere et gammelt nedslag, selvom senere processer har tilsløret alle overfladetræk.

I skemaet herunder findes en kort oversigt over de træk, der adskiller chokmetamorfose fra den normale metamorfose - bjergarters mineralomdannelse under bjergkædefoldninger ved ændringer i tryk og temperatur.

	Almindelig metamorfose (statisk kompression)	Chokmetamorfose (dynamisk kompression)
Placering	Større partier af Jordens skorpe i dybder mellem cirka 7 og 35 km. Strukturer af varierende form.	Overfladen af Jorden (eller andre himmellegemer). Kan eventuelt gå gennem jordskorpen. Cirkulære strukturer.
Energikilde	Varme og potentiel energi fra de dybereliggende dele af jordskorpen.	Bevægelses- og varmeenergi medbragt fra rummet.
Tryk	Mindre end 10 Kb (1 Kb = 987 atmosfærens tryk)	Mellem 100 og 100.000 Kb.
Temperatur	Normalt mindre end 1000° C.	10.000° C, måske 30.000° C eller mere.
Kompressionstid	Fra 100.000 til 1 milliard år.	1 sekund eller mindre
Trykudvikling	Ekstrem lav	Ekstrem høj, cirka 100 Kb/nanosekunder.
Kemiske forhold	Reaktioner mellem sameksisterende mineraler. Normalt tilnærmet (evt. opnået) kemisk ligevægt mellem de forskellige mineraler i en bjergart.	Ingen reaktioner mellem sameksisterende mineraler undtagen ved høje tryk og temperaturer inden for mineralernes smelteområder. Ligevægt opnås ikke.
Deformationskræfternes orientering	Kompressionen har en foretrukket orientering, der både makro- og mikroskopisk giver sig udslag i bjergartens struktur (eks. stribet eller båndet gnejs).	Foretrukket kompressionsretning kun i makroskala.

Medens alle geologer stort set er enige om gradsoodelingerne af den almindelige metamorfose, forholder sagen sig lidt anderledes med hensyn til chokmetamorfose. Der er for tiden stor aktivitet i gang for at få klarlagt de grundlæggende processer og her har de nu hjembragte måneprøver bidraget meget til vor viden. Et forslag opererer med en gradsoodeling i 5 trin, se figuren:



Inden de fem trin gennemgås, må der siges et par ord om nogle af de almindelige mineraler. To "næsten undgåelige" mineraler i jordiske overflade-bjergarter er kvarts og feldspat. Især har man interesseret sig for kvarts, idet kvartsens SiO_2 kan fremtræde som et par højtryks-mineralformer, nemlig stishovit og coesit. Gennem laboratorieundersøgelser har man et godt kendskab til dannelsesbetingelserne for disse former af SiO_2 . Stishovit fremkommer ved trykpåvirkninger i området 120 - 450 Kb og coesit i området 300 - 500 Kb. De to mineraltyper forekommer kun i små mængder som en del af de enkelte kvartskorn. Desuden er coesit langt det almindeligste, idet stishovit er uholdbar. En anden grund til dominansen af coesit er, at stishovit udkrystalliserer fra en højtryksfase under selve chokbølgen, hvorimod coesit først dannes bagved chokbølgen og formentlig ud fra en stishovitlignende type.

I chokmetamorfosens trin 1 vil man principielt kunne finde stishovit, men ikke coesit. Da stishovit er uholdbar, kan den mangle, men så er der andre karakteristiske træk, nemlig deformationer i krystalbygningen hos kvarts og feldspat.

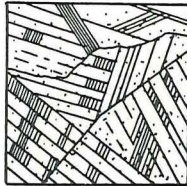
Ved chokbølgens passage vil et krystalgitter i større eller mindre grad blive destrueret - krystallen bliver omdannet til en glastilstand uden at der har været tale om smeltning og uden at der sker ødelæggelse af krystallens ydre form, og man taler da om diaplektisk glas.

Der sker følgende: I et kvartsgitter er Si (silicium) og O (ilt) arrangeret i et bestemt rumligt mønster i forhold til hinanden. Ved chokbølgens påvirkning ødelægges dette mønster og ødelæggelsernes omfang stiger med chokbølgens energi. Resultatet bliver, at vi får ikke-krystallinske partier med ringere tæthed end det oprindelige gitter, og den ikke-krystallinske (amorfe) tilstand er i denne forbindelse det samme som en glastilstand.

Disse amorfe eller ikke-krystallinske partier kan fremtræde i to former, 1) som spredte områder i et kvartskorn og man siger, at det indeholder "diaplektisk" glas; 2) de kan følge bestemte krystallografiske retninger i kvartsen, så den giver indtryk af at være sammensat af flere systemer af lameller, der kaldes choklameller.

Choklamellerne må ikke forveksles med deformationslameller, der blot er "glidninger" i et krystalgitter og dermed følger krystalstrukturen. Sådanne findes også i forbindelse med chokmetamorfose, men er ikke særlig karakteristiske, da de ofte kan forekomme under en almindelig metamorfose.

Karakteristisk for choklameller er deres ringe indbyrdes afstand, nemlig fra brøkdele af en μ ($m\mu$) til få μ . De forekommer normalt i både kvarts og feldspat.



Skematisk tegning af choklameller i kvarts.

Figurens kantlængde cirka 70μ

Chokmetamorfosens trin 2 kendetegnes ved, at kvarts og feldspat er totalt omdannet til diaplektisk glas. Stishovit kan stadig forekomme, men man vil nu under alle omstændigheder finde coesit indlejret i den glas, som stadig har kvartskrystallernes ydre form.

I trin 3 er temperaturen så høj, at feldspaterne smelter. I stedet får vi blærede og slirede partier af feldspatglas alt mens vi stadig har morfologisk velbevarede, coesitførende diaplektiske kvartskorn. Stishovit forekommer ikke mere.

I det trin har vi samtidig tilstedeværelsen af både diaplektisk glas og almindelig glas. Principielt er der ingen forskel mellem de to typer, idet de begge opfylder betingelserne for glastilstanden. Der er nemlig tale om en mellemtilstand mellem det tætpakkede, geometrisk ordnede arrangement i en krystal og den løst pakkede, uordnede tilstand i en luftart (gas). En glas er at betragte som en underafkølet væske, og at det er hårdt er kun et udtryk for at det er meget sejtflydende (højviskøst).

Til nu er kun omtalt kvarts og feldspat. Også i glimmermineraller, hornblender, pyroxener og så videre sker der chokmetamorfe ændringer. Nedbrydningen af disse mineralers gitre er mere glidende, idet der samtidig kan ske iltningsfænomener. Slutresultatet er normalt, at vi ved smeltningen får en glas med samme kemiske sammensætning som det oprindelige mineral, og med indeslutninger af et malmmineral.

I trin 4 er temperaturen så høj, at vi får en øjeblikkelig opsmeltning af den ramte bjergart som helhed. Herved dannes efter afkøling en glas bestående af alle de komponenter, bjergarten måtte indeholde, men samtidig vil der være et vist indhold af brudstykker fra de omliggende bjergarter. Disse bjergartsglasser kan findes i tykkelser op til flere hundrede meter og dække mange kvadratkilometer.

Den lige smeltede bjergartsmasse er uhyre bevægelig. Den trænger derfor ind i de mange revner og sprækker, der dannes i området ved selve nedslaget. Her finder man derfor et netværk af små gange bestående af glas og bjergartsbrudstykker.

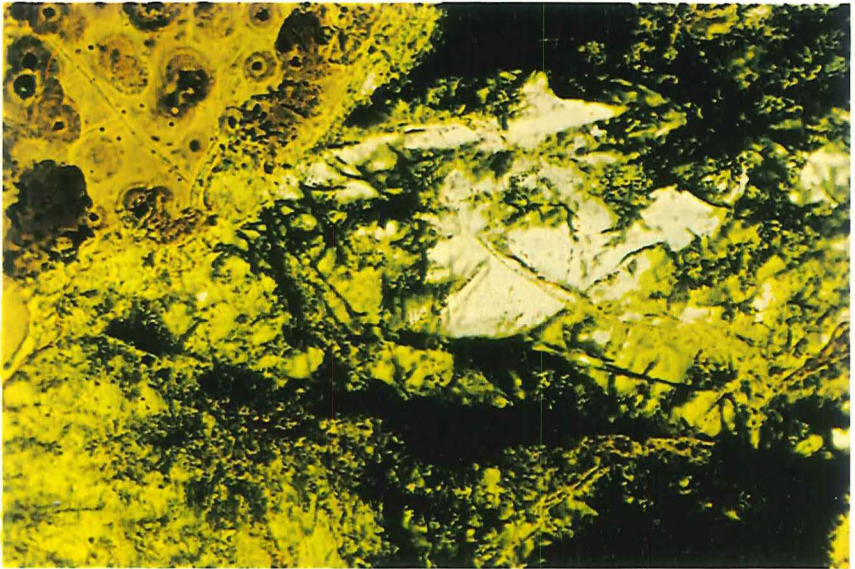
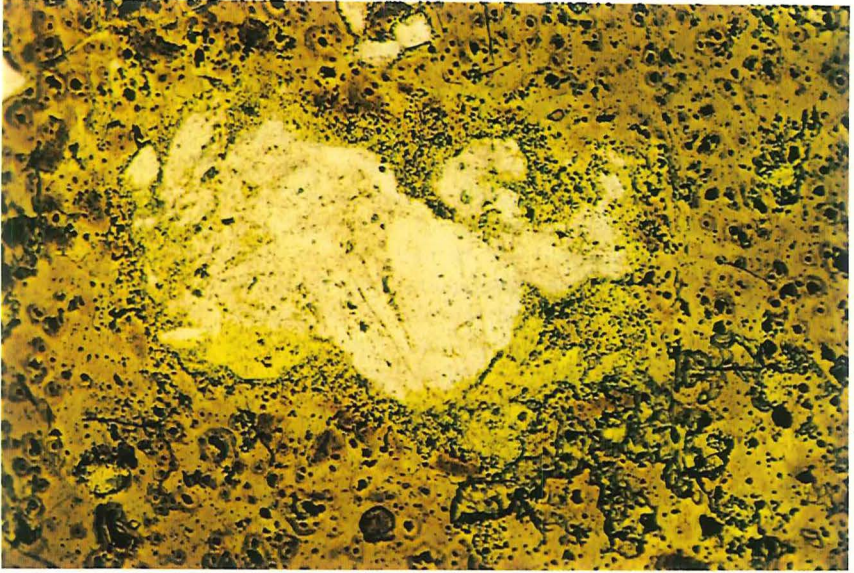
En enorm energiom sætning finder sted i selve nedslagsområdet, trin 5. Både meteoritlegemet og den ramte bjergart fordampes øjeblikkeligt. Undertiden finder man kondensationspartikler fra dampene, og derved har man i nogle tilfælde fået oplysninger om meteoritens sammensætning.

Store mængder af smeltet materiale bliver slynget bort fra nedslagsstedet. Ved passagen gennem atmosfæren kan de smeltede masser blive formet aerodynamisk - få dråbeform - som tilfældet er ved vulkanske bomber.

En del af de såkaldte tektiter (tektiter er små, sorte til grønne glaslegemer, afrundet i forskellig grad og med varierende kemisk sammensætning. Er under lokale navne blandt andet kendt fra Indonesien, Indokina, Phillippinerne, Australien, Texas, Tjekkoslaviet) stammer muligvis fra udslynget materiale i forbindelse med et nedslag. Moldaviterne i Tjekkoslaviet sættes således i forbindelse med nedslaget ved det nuværende Ries Kessel i Sydtykland, idet sammensætning og radiometrisk alder viser overensstemmelse. Det samme gælder ballistiske betragtninger over deres baner, eftersom man i tilfældet Ries Kessel kender indfaldsvinkel og retning for meteoriten.

Man kender her på Jorden godt hundrede strukturer, hvis oprindelse på en eller anden måde har været diskuteret. Diskussionen drejer sig normalt om, hvorvidt de er dannet ved vulkanske eksplosioner eller meteoritnedslag. Cirka 60 af disse strukturer har man indtil nu kunnet identificere som sikre resultater af nedslag. Størrelsen varierer fra cirka 100 meter og op til et par hundrede kilometer i diameter.

Den nærmeste er nok Mien søen i Skåne (cirka 6 km i diameter). Den er formentlig af tertiær-kvartær alder. En anden er den tidligere omtalte Ries Kessel (kæmpekedlen) i Sydtykland, der dannedes i tertiærtiden, nærmere bestemt i miocæntiden for 14,8 millioner år siden. Diameteren er

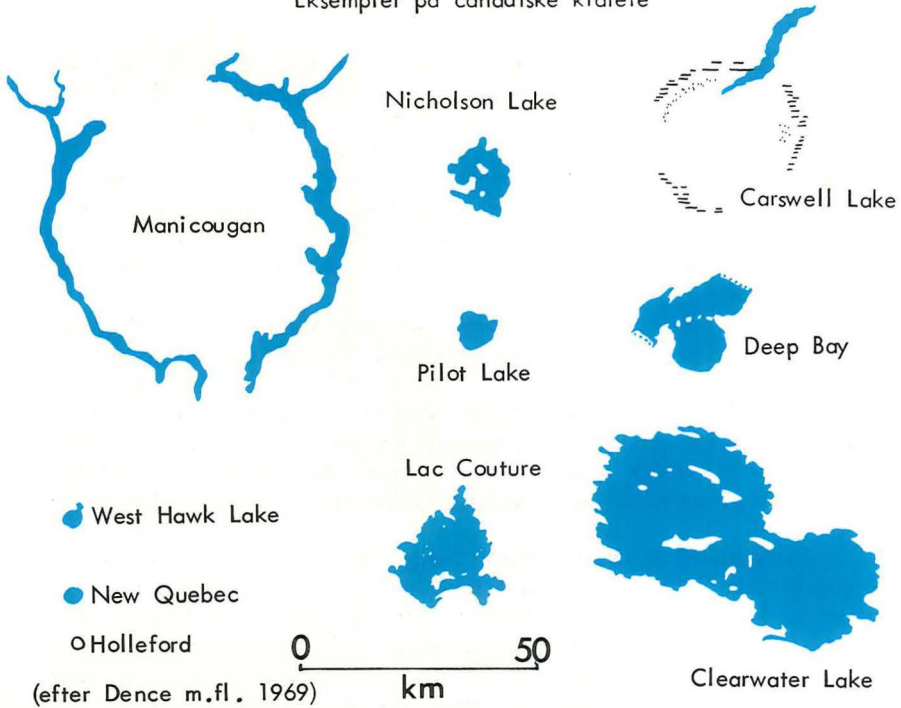


Øverst. Lysebrun bjergartsglas med brudstykker af den ramte bjergart (forstørrelse cirka 195 gange).

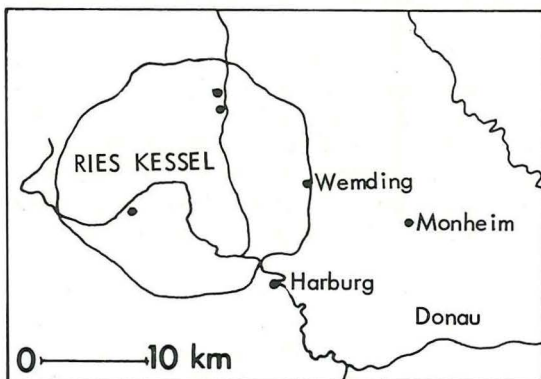
Nederst. Kvartskorn med choklameller. Kun de mest fremtrædende lameller er synlige ved denne forstørrelse (cirka 1025 x). Øverst til venstre ses bjergartsglas.

Fra Tåteråt nedslaget, Grønland, foto Vagn Jensen.

Eksempler på canadiske kratere



Kort over Ries Kessel, Tyskland
(H.Schmidt-Kaier, 1969)



Området omkring Mien
søen, Sverige



i dag 23 kilometer, hvilket vil sige, at den fremtræder tydeligt på et almindeligt kort. Ries Kessel udmærker sig ved ikke at være en sø, hvilket er langt det almindeligste for gamle nedslag. Derfor er Ries Kessel nok det til nu bedst undersøgte nedslag i det hele taget.

Kigger man på et verdenskort over sikre nedslag, bemærker man det forholdsvis store antal i Canada. Det skyldes nok i første omgang, at Canada geologisk set er godt undersøgt, men også at der her findes udstrakte forekomster af prækambriske bjergarter, der ikke for tiden er dækket af yngre aflejringer.

Det kan være svært at genkende selv kraftigt chokmetamorfoserede bjergarter, hvis nedslaget er meget gammelt. Foruden erosionens nedbrydende kræfter vil et område før eller siden blive involveret i en eller anden geologisk proces, der kan omforme de ramte bjergarter. Ved en sådan omformning kan for eksempel en glasmasse fra trin 4 til forveksling komme til at ligne omformede vulkanske udbrudsprodukter, men i nogle heldige tilfælde kan glasserne stadig findes og hjælpe os, og derfor endnu et par ord om glas.

Selve glastilstanden er normalt meget ustabil. Det skyldes især, at en glas næsten altid vil indeholde noget vand. Dette er medvirkende til at glasset krystalliserer (devitrificerer), altså går mod en ordnet tilstand. Denne krystallisationsproces foregår geologisk set relativt hurtigt og resultatet bliver, at det kan være særdeles vanskeligt at se, om der i det hele taget på et tidligere tidspunkt har været tale om en glas.

Hvis den ramte bjergart i forvejen har været udsat for den kraftigste almindelige metamorfe påvirkning, vil den bogstavelig talt ikke indeholde vand. Den glas, der dannes i trin 4 ved et nedslag i en sådan bjergart, vil derfor også være uden vand. I så fald er glastilstanden uhyre stabil overfor senere påvirkninger, og kan derfor bruges til identifikation af et gammelt nedslagssted. Et sådant tilfælde kendes fra Grønland, i nærheden af Agto, hvor man har en glasalder på godt 3 milliarder år. Tænk her på måneglasserne, der også er "tørre".

Med vort nuværende kendskab til Jordens (og Månens) geologi kan man begynde at gøre sig visse betragtninger over faldhyppigheden for store meteoriter. Vi kan stort set regne med et nedslag for hver titusinde år. Det yngste canadiske krater har netop denne alder. Vi må så blot håbe, det næste nedslag ikke bliver alt for voldsomt, thi det vil få mere eller mindre ubehagelige følger for os alle, uanset hvor det falder. Hvis ikke selve chok'et ødelægger store områder, skal de efterfølgende flodbølger nok sørge for det.

I den forbindelse kan man erindre om vulkanøen Krakatau's eksplosion i 1883. De resulterende flodbølger herfra kunne registreres over hele kloden, ligesom lufttryk-forstyrrelser gav udslag på barometre overalt. Et meteoritnedslag kan sagtens ventes at repræsentere en energi, der er nogle millioner gange større end energien i Krakatau's eksplosion.

Vagn Jensen