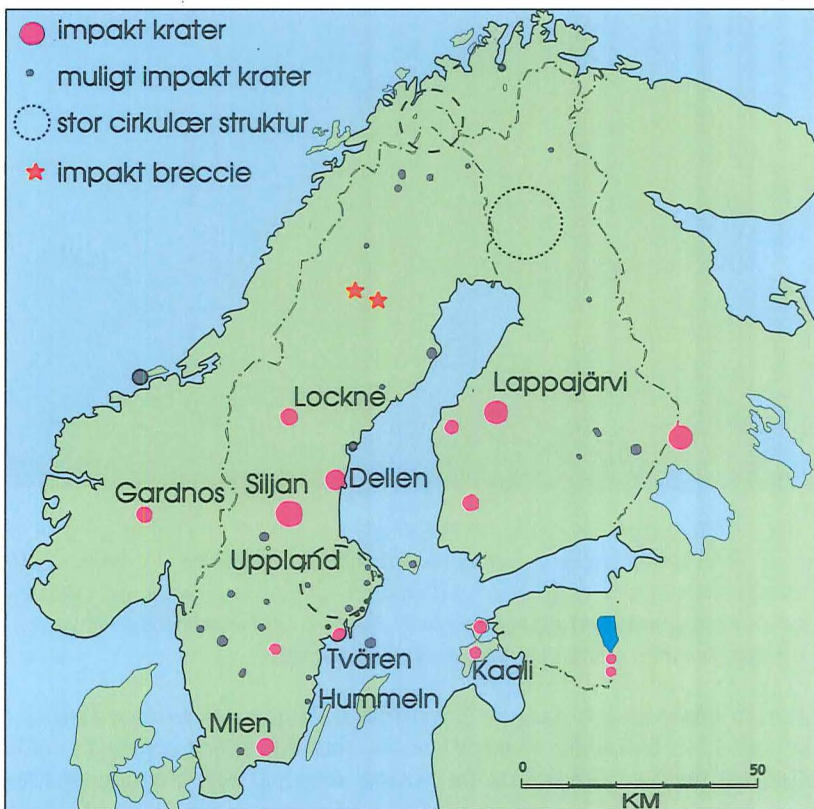


JORDEN - en arret planet

af Robert Lilljequist

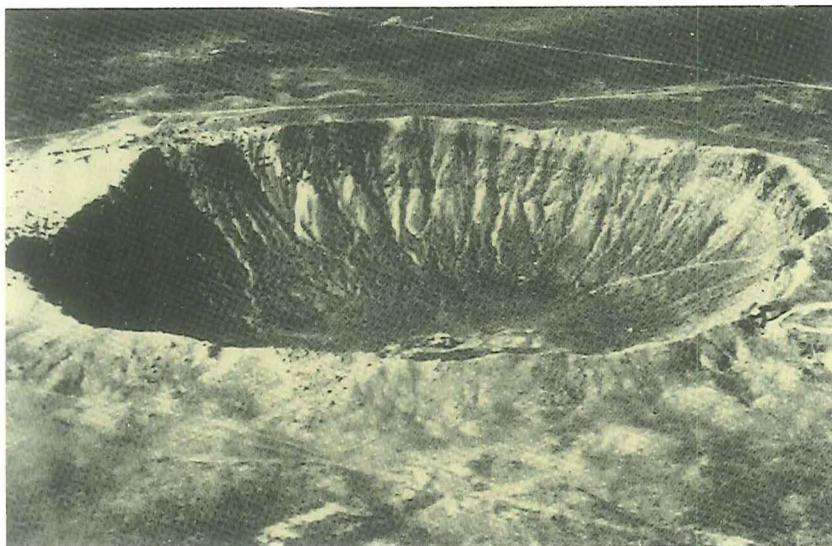
I denne artikel skal vi beskæftige os med, hvordan meteoritnedfald har udformet Jordens overflade og påvirket dens udvikling.

Man regner med, at cirka 500 tons kosmisk stof hver dag træffer jordatmosfæren, men kun sten større end 10 cm i diameter overlever passagen gennem luften.



Figur 1. Kraterstrukturer i Skandinavien

En af foregangsmændene inden for impaktstudier (studier af meteoritnedfalds påvirkninger af jordoverfladens bjergarter), professor Frans E. Wickman, har inden for de sidste 30 år påvist et stort antal kraterstrukturer i den svenske undergrund. Flere kraterer er også kendt fra Finland, det bedst beskrevne er Lappajärvi. I Norge er der for nylig beskrevet et lille (5 km i diameter), men meget velbevaret meteoritkrater (Gardnos), men de fleste geologer er dog stadig meget skeptiske med hensyn til at gå ind på de nye ideer. Det er dog et faktum, at i samme udstrækning som vore naboer i solsystemet er blevet arrederede af utallige kollisioner med asteroider, kometer og meteoriter, så er planeten Jorden også blevet ramt siden sin begyndelse som himmellegeme.



Figur 2. Meteorkrateret i Arizona dannedes for 50.000 år siden ved et nedslag af en 100.000 ton tung jernmeteorit med en diameter på omkring 30 meter. Krateret måler 1100 meter i diameter og kanterne rejser sig i dag 47 meter over det omkringliggende terræn. Krateret har oprindeligt været 150 meter dybt, men er nu delvist fyldt med sosedimenter.

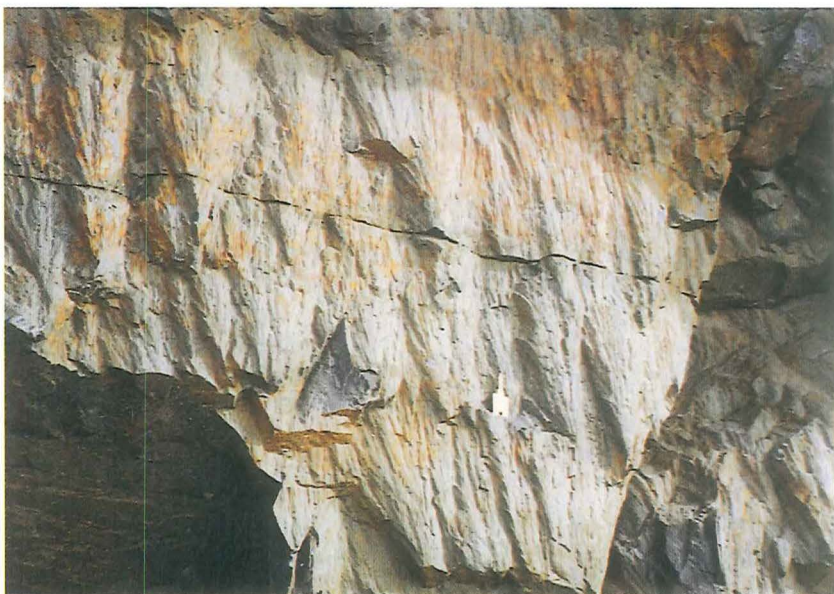
Kosmiske observationer rækker langt tilbage i tiden. Da Galileo Galilei i 1609 rettede sit halvanden tomme teleskop mod Månen og opdagede runde pletter, var dette en tidlig form for 'remote sensing'. Han afgjorde, at kraterne var depressioner i månens overflade, idet deres stejle flanker belystes af sollyset umiddelbart inden kraternes flade bunde. Galilei havde ikke selv

nogen bestemt opfattelse om oprindelsen af de cirkulære strukturer, men senere tiders astronomer var rørende enige om, at det drejede sig om vulkanske dannelser.

Det første seriøse forsøg på at fremme impaktteorien blev fremført af G. K. Gilbert i 1893 - altså for præcis 100 år siden. Gilbert var på sin tid en berømt geolog. Han beskrev månekraterne og målte deres størrelse (såvel diameter som dybde) og morfologiske forhold. Til støtte for teorien gennemførte han desuden eksperimenter med lavhastighedsnedslag i flere typer pulvere og lervællinger.

Også Alfred Wegener - kontinentaldriftteoriens far - skrev en artikel i 1920 om månekraternes dannelse som følge af nedslag og udførte desuden en del eksperimenter. E. J. Øpik fra Estland beskrev næsten samtidig (1916), at højhastighedsnedslag kan sammenlignes med eksplosioner. Derfor opstår der cirkulære kraterer uanset nedslagsvinklens størrelse. Ingen af artiklerne vakte opmærksomhed dengang. Først 20 år senere var ideerne om dannelsen af Månens kraterer som følge af kollisioner i rummet slået igennem.

Studierne af terrestriske (jordiske) impaktkraterer startede med, at man lagde mærke til, at sammensætning og udseende af meteoritterne var påfaldende forskellig fra de bjergarter, man træffer på Jorden.



Figur 3. Slagkegler dannet ved meteoritnedslag (Sudbury).

Den første forbindelse mellem en større struktur og et meteoredfald påvises af D. M. Baringer i 1906 fra Meteor Crater i Arizona. Denne cirkulære struktur var tidligere betragtet som et vulkansk krater, på trods af at flere fragmenter af meteorjern var fundet i og omkring krateret.

Robert (Bob) Dietz fandt i Kentlandstrukturen i USA sprækker i undergrunden, som dannede sribede kegler, såkaldte slagkegler. Spidsen af disse kegler peger mod nedslagscentret. Han publicerede sine iagttagelser i 1947. Da der var fundet tilsvarende slagkegler i Sudbury i Canada, tolkede han også strukturen her som dannet ved et gigantisk nedslag. I dag er mange geologer af den opfattelse, at Sudburystrukturen med alle nikkelmalmene er resultatet af et meteorimpakt for 1850 mill. år siden, som gav ophav til en struktur, der er mere end 200 kilometer i diameter.

E. Shoemaker har sammen med andre udført højtrykseksp eksperimenter og har kunnet påvise, hvordan slagkegler dannes gennem eksplosioner. Opdagelsen af højtryksmodifikationer af kvarts (coesit i 1953 og stishovit i 1961) gav mulighed for at fastlægge de enormt høje tryk, som ledsager nedslag af højhastighedsmeteoriter. Disse mineraler kan nemlig umuligt dannes ved de tryk, der normalt findes ved Jordens overflade. Senere er også chocklameller i kvarts blevet et mål for det tryk, der opstår ved større nedslag, og de anvendes nu som bevis for, at der har fundet et nedslag sted. Totalt findes cirka 220 påviste nedslagskratere på Jordens overflade.

I Skandinavien findes der i vor ældgamle undergrund også spor af disse kosmiske nedslag - sammenlagt findes cirka 60 strukturer, som mistænkes for at være impaktskabte, heraf godt og vel 40 i Sverige. Af disse har kun 6 af de svenske kratere været mål for mere indgående studier og har helt sikkert kunne henføres til kategorien "beviste meteoredfald".

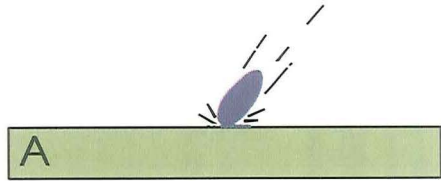
Et af de kendte nedlagsområder er 'Siljansringen' med en diameter på omkring 52 km og en alder på 368 mill. år. Andre, lidt ældre nedslagsstrukturer i Sverige er Tvären, Granby, Hummeln og Lockne som blev dannet i Ordovicium for cirka 455 - 465 mill. år siden. Disse kraterdannelser er ganske velbevarede, dog er Lockne dækket af kvartære aflejringer og vand.

Noget yngre nedslag findes veldokumenterede som tydelige kratere, nu dækkede af søerne Mien (Södra Småland) og Dellen (Hälsingland). Disse to nedslag er aldersbestemt til henholdsvis 118 og 90 mill. år.

Øen Saaremma ud for Estland blev ramt i Bronzealderen, og de mennesker, der boede rundt omkring Østersøen for 4000 år siden, må have observeret nedslaget, som skabte et 16 meter dybt krater med en diameter på 110 meter. Krateret er nu opfyldt af søen Kaali.

Figur 4: Forenklet model af kraterdannelse ved meteoritnedslag (efter M.R.Dence og Roy Stanfors)

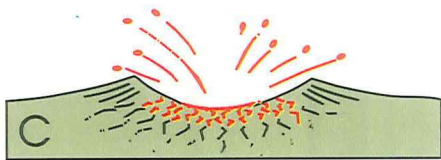
A. En stor meteorit kolliderer med Jorden



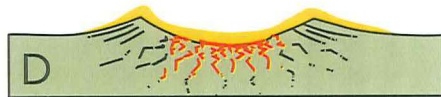
B. Initialtrykket i den chokbølge, der dannes foran meteoriten, formodes at være flere megabar og er tilstrækkeligt til at smelte eller fordampe såvel meteorit som visse dele af bjergarterne i nedslagsområdet



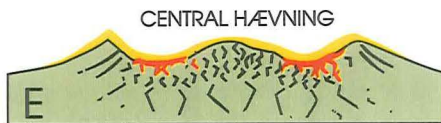
C. I dette stadium når krateret sin maksimale størrelse. Store mængder af det smeltede og chokpåvirkede materiale slynges ud af krateret. De smeltede bjergarter (impaktiter) danner bunden i den primære fordybning. Under denne breccieres bjergarts materialet. Også tæt på krateret finder man knuste og deformerede bjergarter



D. Det materiale, der slynges op fra krateret, falder tilbage i krateret og langs kraterranden.



E. For et komplekst krater bliver slutresultatet et andet. Her dannes en 'central hævnning' omgivet af en cirkulær depression, hvor der også findes impaktit og udkastet materiale



Det mest spektakulære 'smæld' i Jordens nyere historie indtraf for 65 mill. år siden, på grænsen mellem tidsperioderne Kridt og Tertiær, og Chicxulub strukturen (> 200 km i diameter) på den nordlige del af Yucatanhalvøen i Mexico anses for at være nedslagsstedet. Aldersbestemmelser af bjergarter i strukturen har givet 64.98 +/- 0.08 mill. år, og udkastede smeltefragmenter indsamlet fra Kridt/Tertiær-grænsen giver en alder på 65.07 +/- 0.1 mill. år. Nærmere kan man næppe komme.

Ved grænsen skete en massedød blandt organismer, og det er vurderet, at mere end 90 % af de landlevende dyr og omkring 60 % af havlevende organismer forsvandt, hvilket kan skyldes nedslaget. Ved den verdensberømte Stevns Klint (syd for København) er grænsen mellem Kridt og Tertiær overordentlig godt blottet.

I de sidste år har svenske forskere arbejdet med en hypotese, der går ud på, at hele Mellemsverige blev påvirket af et meteornedslag for omkring 1800 mill. år siden. Dette har været baggrund for den såkaldte Upplandsstruktur. Hvis det viser sig at være rigtigt, vil det betyde, at vi i Sverige har den største nedslagsstruktur på Jorden, lidt større end den godt undersøgte struktur ved Sudbury i Canada.

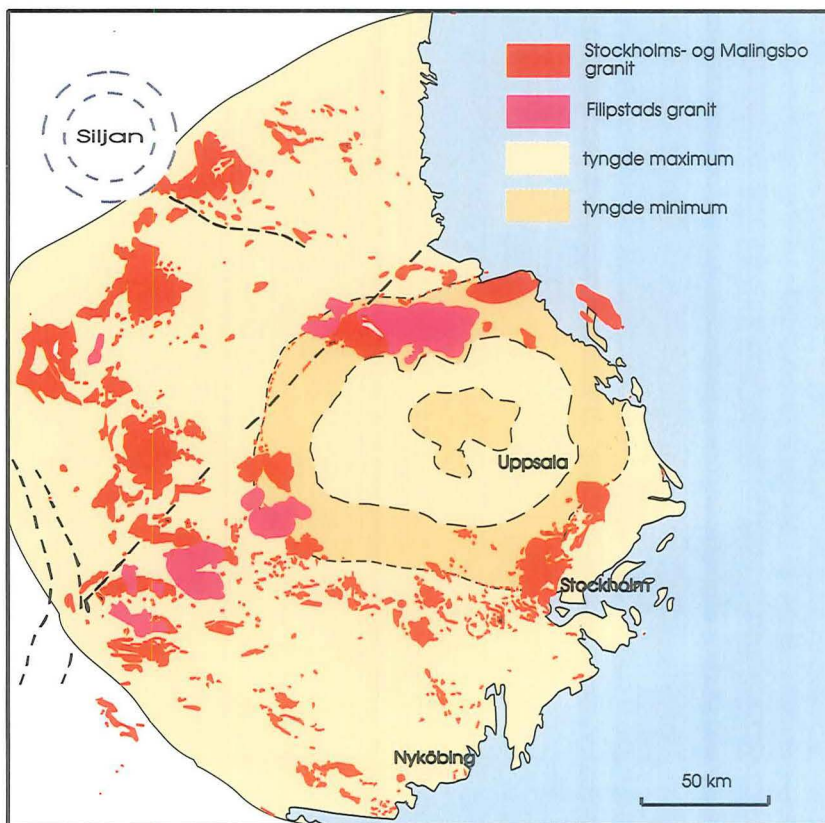
Stockholm og Uppsala ligger centralt i denne - måske Verdens største - impaktstruktur. Efter der er gået så lang tid fra dens eventuelle dannelse, kan choklammeller kun vanskeligt påvises i de bjergarter, man finder der i dag. Indicierne må i stedet begrundes med andre kriterier. Et af de stærkeste er den typiske impaktopsprækning, som kan påvises på topografiske kort og satellitbilleder over Stockholm og Uppland. Nedslagsområdet er intensivt opsprækket og danner en breccie, som kan spores såvel på klippeoverfladerne som på satellitbilleder. Der findes også bevarede breccieganget af intrusiv bjergartssmelte med fragmenter af omgivende bjergarter. Vi mistænker i dag den såkaldte Stockholmsgranit for at være dannet fra en oprindelig impaktmelte. I den øverste og nederste del er der masser af fragmenter af de omkringliggende bjergarter. Fragmenterne viser sjældent spor af kontaktmetamorfose, hvilket tyder på en meget hurtig afkøling af kontaktzonerne. Dette taler for en impaktteori.

Dioriter i Uppland danner i dag et centralt dome i 'det geologiske landskab' og gravimetrisk kort viser et stort masseoverskud. Det geologiske tyngdeprofil er næsten identisk med lignende profiler over allerede kendte og vel beskrevne nedslagsområder (f.eks. det 65 km store krater Manicouagan i Canada).

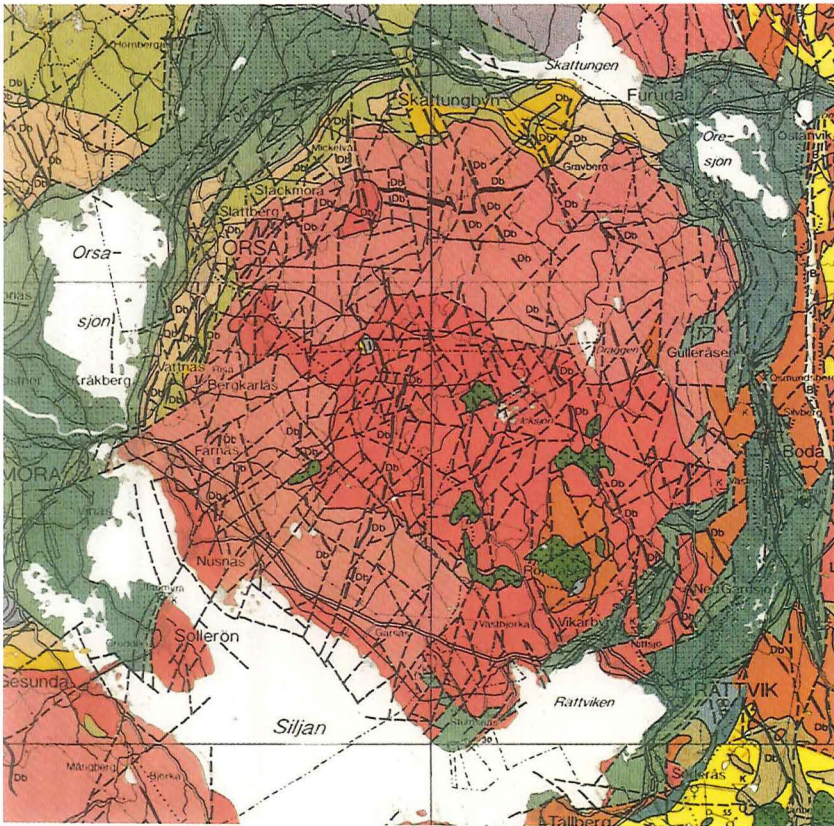
Indenfor de nærmeste årtier vil det sikkert vise sig, at kollisioner med asteroider og kometer har bidraget til både dannelsen og udformning af Jordens

overflade. Hvad dette kommer til at betyde for den geologiske forskning, kan vi i dag kun gisne om.

Geofysikeren Herbert Henkel og forfatteren, geolog Robert Lilljequist, har taget initiativ til dannelsen af en Europæisk Forskningsgruppe, som siden 1993 har fået støtte fra European Science Foundation, for at dan- ne et forum for udveksling af tanker mellem forskere fra forskellige områder inden for impaktforskning.



Figur 5. Upplandsstrukturen ses som en central tyngdeanomali omgivet af meget fragmentrige magmatiske bjergarter, som går under betegnelsen Stockholms- og Malingsbogranit.



For 368 mill. år siden slog en stor meteor ned i det centrale Dalarna i Sverige. Den såkaldte Siljans-ring ses tydeligt på det geologiske kort. Søerne og de sedimentære bjergarter, som dannedes i kraterranden, viser en struktur med en diameter på 55 km. De røde farver er graniter, og de grønne, der markerer ringen, er bjergarter fra Silur tiden (efter SGU's kort)