

Hiawatha-krateret – verdens suverænt yngste og bedst bevarede store meteorkrater.

Af Henning Haack, ScienceTaler, Sorø, og Maine Mineral and Gem Museum

I 2015 opdagede danske forskere et nyt, stort og exceptionelt ungt og velbevaret krater under isen i Nordgrønland. Krateret ligger i en af klodens mest utilgængelige egne og er dækket af 700 m is. Både opdagelsen og udforskningen af det kræver derfor avancerede teknikker. De andre store kraterer på Jorden er for længst eroderet flere km ned, men Hiawatha-krateret er bevaret stort set intakt, og der kan sågar findes smeltesdråber og aske fra den paddehattesky, der dannedes efter nedslaget.

I sommeren 2015 blev jeg kaldt over på min daværende kollega Kurt Kjær's kontor på Statens Naturhistoriske Museum. Han sad og kikkede på en ny radarkortlægning af grundfjeldet under Indlandsisen på Grønland. Helt oppe mod nordvest havde han fået øje på et meget stort, rundt hul i grundfjeldet – lige inde under isranden. Han tænkte, at det unægteligt lignede et meteorkrater – men hvordan er det lige, at man undersøger sådan en idé, når den er dækket af 700 m is (figur 1)?

Vi har i forvejen fundet næsten 200 meteorkraterer på Jorden [1], så hvor interessant er det at finde endnu ét skjult under isen på Grønland? Det stod hurtigt klart, at hvis det virkelig var et meteorkrater, så var det en helt fantastisk opdagelse, Kurt havde gjort. Vi stod måske med det største, velbevarede krater på Jorden – og samtidigt det suverænt yngste, store krater. Samtidigt var der en mulighed for, at Hiawatha-krateret kunne være årsagen til en voldsom forværring af klimaet, lige da den sidste istid var ved at klinge af.

Denne sidste kuldeperiode startede med et meget dramatisk fald i gennemsnitstemperaturen på den nordlige halvkugle på flere grader over en periode på ganske få år. Kuldeperioden kaldes *Yngre Dryas*, fordi den førte til en opblomstring af en hårdfør tundraplante (*Dryas octopetala*). Yngre Dryas har altid fascineret, fordi den kom så hurtigt og ikke mindst, fordi den måske førte til, at en del af den nordamerikanske mega-fauna uddøde – bl.a. det uldhårede næsehorn.

Udfordringen var at finde ud af, om hullet under isen var forårsaget af et asteroidenedslag – eller noget helt andet? I første omgang forsøgte vi at finde alternative forklaringer på det store hul i Jorden. Kunne det måske være et stort vulkankrater, eller findes der andre former for geologiske strukturer, der kunne forklare hullet? Efter at have konsulteret en lang række geologer, der kendte til geologien i Nordvestgrønland, måtte vi konstatere, at der ikke var nogen, der kunne komme med en anden forklaring på hullet, end at det var et meteorkrater. Her skulle man måske synes, at sagen var klar – hvis der ikke er andre mulige forklaringer på fænomenet, så må man antage, at det er et meteorkrater. Sådan forholder det sig normalt i videnskab, men kraterforskningen er af historiske årsager lidt anderledes.

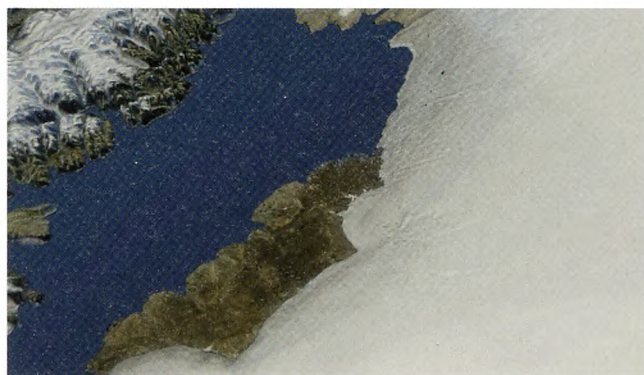
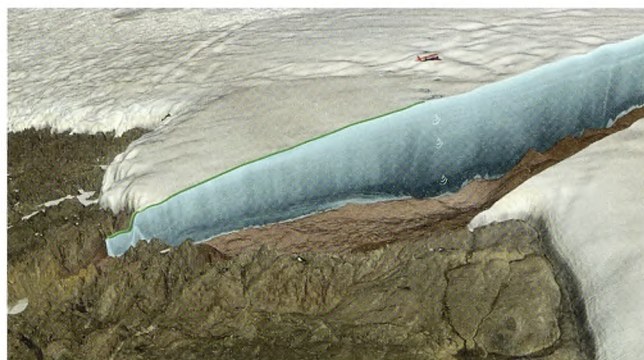
Det kan synes overraskende, men det er ikke mere end 50 år siden, at det blev accepteret, at der også findes



Figur 1. Hiawatha-krateret er opdaget i det nordvestlige Grønland under Hiawatha-gletsjeren. Radarkortlægningen viste et hul i grundfjeldet på 31 km i diameter. Billedet viser topografien under isen i forgrunden af billedet og det isfrie Inglefield Land i baggrunden.

meteorkraterer på vores planet. Det første, der blev anerkendt, var meteorkrateret i Arizona. Selvom der blev fundet tonsvis af jernmeteoritter rundt om krateret, holdt man i over 100 år fast i, at den slags voldsomme fænomener ikke fandt sted på vores klode, og at meteorkrateret i Arizona derfor måtte være af vulkansk

oprindelse. Set i bagklogskabens klare lys kan det synes overraskende, at man ikke mente, at Jorden blev ramt af asteroider, når man samtidigt var enige om, at de ramte alle andre af solsystemets faste legemer.



Figur 2. Radarkortlægningen viser både bundtopografien og isens interne struktur. På profilet her kan man se mange af lagene i isen. Den nederste mørke del af isen er fra den sidste istid, mens den øvre lyse del er fra den nuværende varmeperiode. Den nederste del er tydeligt forstyrret med spor af sediment langt op i de nedre islag.

Da meteorkrateret i Arizona endelig blev accepteret, skete der – meget forudsigeligt – det, at en lang række runde strukturer på Jordens overflade blev foreslået som meteorkraterer. En gruppe geologer besluttede sig derfor for at definere en række kriterier, som kunne bruges til at skelne mellem meteorkraterer og andre geologiske fænomener [2]. Et af de anbefalede krav var, at der skulle tages prøver fra selve krateret for at se, om mineralet kvarts viste tegn på at have været udsat for chok. Systemet har fungeret fint i en lang årrække, hvor mange mere eller mindre oplagte strukturer blev undersøgt.

Nogle fund i de senere år tyder dog på, at det er ved at være på tide at opdatere kriterierne. Problemet med det ellers udmærkede initiativ er, at de strukturer, der opdages i dag, enten er så gamle, at evt. kvarts med tegn på chok enten er eroderet væk og/eller (som i tilfældet med Hiawatha), at hele strukturen er dækket af 700 m is. Det sidste gør det selvsagt vanskeligt at gå ind i krateret og tage en prøve. Alligevel holder gruppen bag kraterkriterierne fast i deres regelsæt og forsøger ihærdigt at undgå, at der publiceres artikler, der forslår, at der er tale om et nyt krater, uden at deres kriterier er opfyldt. Det var derfor noget af en opgave, vi stod overfor, da vi satte os for at publicere Kurts opdagelse.

Den oplagte løsning på problemet ville selvfølgelig være at bore et hul ned gennem isen og videre ned i grundfjeldet og tage en prøve op, så vi kunne se, om der var tale om et krater. Det ville også sætte os i stand til at datere krateret, så vi kunne få afklaret, om krateret virkelig er så ungt, som noget kunne tyde på. Problemet er bare, at den slags borehuller er voldsomt dyre, og da vi stod uden bevis for, at der rent faktisk var tale om et krater, var det ikke muligt at skaffe penge til en sådan boring.

I første omgang besluttede vi, at der skulle laves en detaljeret, flybaseret radarkortlægning af både isen og det underliggende fjeld. Med en bevilling fra Carlsberg-fondet blev det muligt at gennemføre kortlægningen i sommeren 2017. Resultaterne var mildest talt meget opmuntrende (figur 2). Først og fremmest bekræftede de, at der rent faktisk var tale om en cirkulær struktur med en antydning af en top i midten. Kortlægningen viste desuden tydeligt, hvordan islagene før Yngre Dryas var meget forstyrrede. Samtidigt viste de, at isen smelter i bunden af krateret. Begge dele passede med forventningerne, hvis krateret var dannet i forbindelse med klimaforværringen. Et krater på størrelse med Hiawatha er op mod 100.000 år om at køle ned, og det var derfor forventeligt, at der stadig ville være smeltning fra bunden. Samtidigt ville nedslaget have forstyrret den omliggende is. Efterhånden som isen flød ind i krateret igen, ville man derfor forvente, at de ældre lag ville være forstyrrede. Vi stod derfor med en langt stærkere sag – men da vi ikke kunne opfylde kriterierne for at få strukturen godkendt som et krater, måtte vi igen konstatere, at det ikke var muligt at publicere opdagelsen.

Løsningen på vores problem kom, da Kurt fik mulighed for at besøge området i sommeren 2017. På en enkelt dag lykkedes det at lande 15 steder langs

isranden og tage en lang række prøver og fotografier af geologien. Vi var ikke sikre på, hvad vi ledte efter, men vi forestillede os, at det burde være muligt at få øje på et eller andet, der kunne afsløre, hvad der gemte sig under isen. I første omgang var vi skuffede over, at billederne af geologien lige uden for randen ikke afslørede noget. Nogle af prøverne så i første omgang ud til at være såkaldte shatter cones, der også er på listen over sikre tegn på meteorkraterer. Desværre viste det sig, at der ikke var tale om shatter cones.

Kurt havde også indsamlet nogle prøver af det sediment, som en smeltevandsflod havde transporteret ud under isen (figur 3). Umiddelbart så det ikke særligt lovende ud, men da Adam Garde fra GEUS begyndte at kikke på dem, viste det sig hurtigt, at vi stod foran et større gennembrud. Adam fandt adskillige kvartskorn med tydelige choklameller (figur 4). Choklameller dannes under ekstremt voldsomme chokpåvirkninger og anses for at være sikre tegn på meteornedslag. Selvom vi ikke havde indsamlet dem inde i krateret, mente vi derfor at have en meget sikker sag.

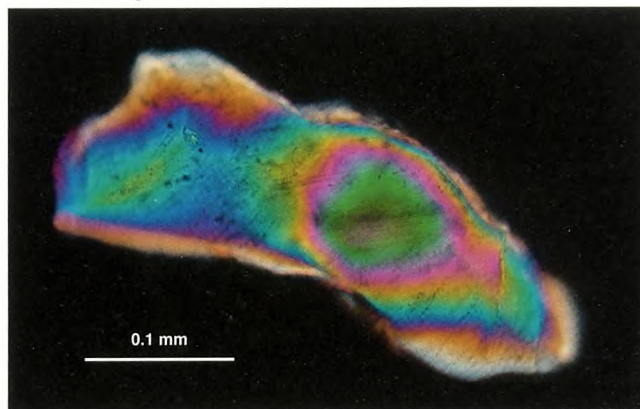


Figur 3. Indsamling af sediment i flodlejet foran Hiawatha-gletsjeren. Krateret befinder sig under isen i baggrunden.

Sedimentsprøverne viste sig i det hele taget at være en sand guldgrube. Ud over kvartskornene dukkede der smeltesdråber op i alverdens mærkelige former. Nogle af dem var fine dråber, andre var beklædt med knuste fragmenter af grundfjeldet. Enkelte indeholdt sågar små stykker forkullet træ [4]. Det virker måske ikke så overraskende at finde smeltesdråber fra et stort meteornedslag, men det er faktisk højt usædvanligt. Alle andre store nedslag er langt ældre end Hiawatha, og de øvre lag i og omkring disse kraterer er derfor for længst forsvundet. Selvom Hiawatha er svært tilgængeligt pga. isen, kan det derfor vise sig at gemme på mange oplysninger om meteorkraterer, som vi ikke kan finde andre steder på Jorden.

Prøverne viste også tegn på, at den asteroide, der forårsagede krateret, var metallisk. Det kan måske lyde overraskende, at der findes metalliske asteroider, men der findes faktisk mange af dem. De første asteroider, der dannedes i solsystemet, indeholdt den kortlivede radioaktive isotop ^{26}Al , der dannes i supernovaeksplosioner. Henfaldet af ^{26}Al var tilstrækkeligt til at smelte disse tidligere asteroider. Opsmeltingen førte til, at de

ligesom Jorden blev opdelt i en metalkerne, en kappe og en skorpe. Kun en enkelt af disse tidlige, vulkansk aktive asteroider har overlevet til i dag – den næststørste asteroide Vesta. Alle de øvrige er blevet knust efter sammenstød med andre asteroider. Kilometerstore fragmenter fra knuste asteroider rammer Jorden og de andre planeter fra tid til anden – som den kernestump, der forårsagede Hiawatha-krateret.



Figur 4. Kvartskorn fra Hiawatha-krateret med to sæt såkaldte PDF'er (Planar Deformation Features). De to sæt ses tydeligst i midten og nederst til højre på kornet. De to sæt er orienteret symmetrisk omkring en krystallografisk akse og kan kun dannes i forbindelse med meteornedslag.

At det var en metallisk asteroide, der forårsagede Hiawatha-krateret, var en meget spændende opdagelse, da det betyder, at der kan være en forbindelse mellem Jordens største byge af jernmeteoritter, de såkaldte Cape York-meteoritter, og Hiawatha-krateret. Cape York-meteoritterne er fundet i det nordvestlige Grønland, og analyser af dem tyder på, at de er faldet inden for de sidste få tusinde år (figur 5). For at afklare, om Cape York-meteoritterne kom fra den asteroide, der forårsagede Hiawatha-krateret, skal vi forsøge at finde stumper af Hiawatha-asteroiden i det isfrie område lige nord for krateret. En sammenligning af stumperne af asteroiden med Cape York-meteoritterne vil kunne afsløre, om de kommer fra samme fald. Det er desværre ikke sikkert, at det er muligt at finde sådanne fragmenter. Siden krateret blev dannet, har iskappen bevæget sig hen over hele forlandet og ud i Nares Strædet, og det kan derfor vise sig, at alle fragmenter er skubbet i havet.



Figur 5. I juli 1963 fandt Vagn Buchwald den 20 t tunge Cape York-meteorit, Agpalilik. Her ses han ved siden af meteoritten i gården foran Geologisk Museum i København.

Selvom vi havde fundet kvartskorn med tydelige tegn på et meteornedslag, viste det sig stadig meget vanskeligt at få publiceret opdagelsen – dels fordi vi ikke havde taget vores prøver inde i selve krateret, men også fordi vores analyse af kraterets alder tydede på, at der kunne være en forbindelse med Yngre Dryas. Selvom vi kun fremførte det sidste som en mulighed, der burde undersøges nærmere, var det så kontroversielt, at det viste sig umuligt at få resultaterne publiceret, før vi fjernede enhver reference til Yngre Dryas. Da artiklen blev publiceret i november 2018, blev det af tidsskriftet Science udnævnt til en af de ti største videnskabelige opdagelser i 2018 – ikke mindst netop pga. den mulige forbindelse til Yngre Dryas, som vi måtte undlade at diskutere.

Hvad var det så, der ramte Nordvestgrønland?

Krateret under isen er 31 km i diameter. For at lave så stort et krater kræves et nedslag med en energi på ca. 3×10^{21} J svarende til ca. 45 millioner Hiroshima-bomber. Energien kom fra den kinetiske energi af den asteroide, der ramte Jorden. Med en sandsynlig hastighed på ca. 20 km/s kræver det en metallisk asteroide med en diameter på ca. 1,5 km.

Et sådant nedslag genererer i første omgang en skålformet fordybning med en dybde på ca. 7 km og en diameter på 20 km. Et så dybt hul er ikke stabilt på Jorden, og det kollapsede derfor øjeblikkeligt til det endelige krater, der havde en dybde på godt 800 m og en diameter på 31 km. I forbindelse med sammenfaldet af hullets sider ind mod midten dannedes der en central top eller måske ligefrem et system af ringe i kraterets centrum. Sådanne store komplekse kratere er almindelige på Månen, Mars og de fleste andre faste legemer i solsystemet, men bortset fra det langt ældre Chicxulub-krater i Mexico, er Hiawatha det eneste kendte på Jorden, hvor selve krateret er bevaret. Chicxulub er dækket af ca. 500 m sediment og har derfor undgået erosion. De andre store kratere er typisk flere hundrede millioner år gamle, og erosionen har derfor fjernet adskillige km af de øverste lag.

Udover, at hele asteroiden fordampede, førte nedslaget også til opsmeltning af ca. 18 km^3 af grundfjeldet og op mod 1000 km^3 is. Uanset, hvornår det fandt sted, har det ført til dramatiske klimaændringer. En fremtidig datering af krateret vil derfor kunne afsløre, hvor vi skal lede efter konsekvenserne af det største kendte nedslag i Jordens nyere historie. Samtidigt vil undersøgelser af det unikt velbevarede krater også kunne give os en langt bedre forståelse af store meteornedslag. Det er selvsagt en udfordring, at krateret er dækket af is, og det vil derfor formentlig tage årtier at undersøge det til bunds.

Litteratur

- [1] impact.uwo.ca/map/
- [2] www.passc.net/EarthImpactDatabase/New%20website_05-2018/Criteria.html
- [3] advances.sciencemag.org/content/4/11/eaar8173
- [4] www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2019/pdf/1381.pdf
- [5] Link til NASA-video, der forklarer, hvordan Hiawatha-krateret blev fundet: www.youtube.com/watch?v=vTr3VdGIFr8&t=70s



Henning Haack er projektleder på ScienceTaler i Sorø og forsker ved Maine Mineral and Gem Museum.

Klodesprængning - breddeopgave 79 med didaktisk kommentar

Af Jens Højgaard Jensen, IMFUFA, INM, RUC.

Mit formål med artikelserien om breddeopgaver er – udover at gøre opmærksom på RUCs fysikuddannelse – dobbelt: Dels udvælger jeg opgaverne, så de kan have interesse som fysikproblemer i egen ret. Dels udvælger jeg dem med henblik på at kunne knytte didaktiske overvejelser til dem af interesse for fysikundervisere. I første omgang i forhold til universitetsundervisning. Men i anden omgang kunne der måske også trækkes paralleller til andre undervisningsniveauer.

Breddeopgave 79. Klodesprængning

Hvilken indflydelse har massetætheden på, hvor hurtigt kloder kan rotere om sig selv uden at sprænges? Begrund svaret.

Løsning

Lad os for nemheds skyld antage, at en klode har samme massetæthed ρ overalt. Vi kalder vinkelhastigheden for klodens rotation om sig selv ω , og klodens radius R .