

Han følger havets og klippernes spor tilbage til urtiden

Donald Canfield bruger kemi til at studere Jordens fortid, og han har flere gange været årsag til, at lærebøgerne om havenes historie skulle skrives om – og dermed også historien om livets udvikling. Nu modtager han Villum Kann Rasmussens Årslegat til Teknisk og Naturvidenskabelig Forskning 2022 på 5 mio. kr.

Af Birgitte Svennevig, videnskabsjournalist på Syddansk Universitet.

”Det vil jeg aldrig nogen sinde høre dig sige igen!”

Sådan lød ordene fra Donald Canfields vejleder på Yale University, Bob Berner, da Canfield som ung, nyslået ph.d. og frustreret over ikke at kunne finde et job, i 1988 meddelte, at sådan her ville han ikke spille sit liv, og at han overvejede at kvitte forskning og åbne sig en cykelforretning i stedet.

Men det blev ikke til nogen cykelforretning, for der kom et job, og der kom en livslang forskningskarriere for amerikansk fødte Donald Canfield, der i dag er professor i økologi på Syddansk Universitet.

Det er de helt store spørgsmål, der optager Canfield: Hvordan så Jorden ud for milliarder af år siden, og hvorfor ser den anderledes ud i dag? Hvorfor udviklede livet sig, som det gjorde, og hvad skulle der til, for at det overhovedet kunne lade sig gøre? Hvad er det for samspil mellem kemi, geologi og biologi, der gør vores planet til en levende og dynamisk Jord, som hele tiden sørger for at cirkulere livsvigtige stoffer som ilt, næringsstoffer og kulstof rundt i globale kredsløb?

Cyanobakterier i vindueskarmen

Svarene finder han bl.a. i studier af klipper, i sedimentprøver fra havbund og flodbund, i akvarier med havsvampe og i bakker med alger, som ikke stiller de store krav til laboratorieomgivelser; det er fx ikke usædvanligt at finde plastikbakker med slimede grønne måtter af cyanobakterier i vindueskarmen på hans kontor på Biologisk Institut, hvor også hans nære kolleger holder til. Nogle af dem har han kendt og arbejdet sammen med, siden han første gang besøgte Danmark i 1990.

Det var havet, der oprindeligt inspirerede Canfield til at blive forsker – nærmere betegnet oceanograf. Som barn elskede han at kigge på det, at lytte til det, at være i det, at tage med sin bedstefar ud og fiske i Florida Keys, at se den berømte havforsker Jacques Cousteau i fjernsynet.

Oceanografi kunne man ikke læse på universitetet i Ohio, så det blev kemi. Der var noget smukt over den måde, som molekyler fungerede på og reaktioner opstod, syntes han, men han blev først for alvor bidt, da han som 21-årig tog et kursus i miljøkemi og mødte underviseren Bill Green, som skulle blive hans nære mentor og kollega i mange år fremover.

Den type forsker ville jeg ikke være

”Han er ubetinget det menneske, som har haft størst indflydelse på mig. Han var så upretentiøs, ville bare kaldes ved fornavn – han ville passe godt ind i Danmark. Han viste mig, at kemi også kan handle om det, der

foregår rundt omkring os. Mit første feltarbejde var sammen med ham; vi skulle se, hvad vi kunne lære om dannelse af calcium karbonat i en lille sø i nærheden – dengang var der stor interesse for det, fordi ingen rigtig forstod det. Det var bare et lille *nothing project*, men jeg elskede det! Wow!”

I de følgende år nærmede Canfield og havet sig hinanden. Feltarbejder og ekspeditioner bragte ham til Alaska og Antarktis. Forskningsinteressen udvidede sig også til geokemi, biokemi, økologi og klima, og et spørgsmål begyndte at formulere sig i hans hoved: Hvad kan man lære om Jordens fortid ved at studere de processer, der foregår på Jorden i dag?

”Jeg var interesseret i at følge den gren af forskningen, men jeg var også lidt tilbageholdende. Der er det ved urtids-forskning, at der er så få begrænsninger: I princippet kan man slynge enhver skør ide ud og argumentere for den. Jeg ville ikke være den type forsker. Jeg ville gøre det ordentligt og grundigt, tænke mig om og forstå tingene, før jeg begyndte at komme med hypoteser, så det blev vigtigt at finde de rigtige mennesker at lære af og arbejde sammen med”.

Livets stoffer cirkulerer i evigt kredsløb

Mange forskere var allerede fortrolige med idéen om sammenhængen mellem kemi, biologi og geologi (ordet biogeokemi blev allerede introduceret i bogen *The Biosphere* af Vladimir Vernadsky i 1926, og i 1934 udgav Lourens Baas Becking bogen *Geobiology*), men feltet var stadig ungt og havde med Canfields ord endnu ingen retning.

På Yale University fik han til vejleder den fremragende geokemiker Bob Berner, der forsøgte at forstå den betydning, som mikroorganismers biologiske aktivitet har på de globale stofkredsløb. På Jorden findes en række kredsløb af fx svovl, ilt, kulstof, kviksølv, selen, kvælstof, fosfor, jern, osv., som i deres evige cyklus nærer livet på Jorden. Undervejs skifter de faser: De bliver optaget af organismer og udskilt igen, de lejres i sediment og bliver til sten, som forvitrer og igen frigiver stofferne. De er evigt i forandring, evigt i bevægelse, men altid indgående i sit eget kredsløb.

”Berner var interesseret i reaktanter og slutprodukt, men ikke så meget i de organismer, der gjorde arbejdet”.

De første skridt i Danmark

Der manglede noget, mente Canfield:

”Man tænkte ikke så meget over, hvilke mikroorganismer, der udførte jobbet. Var det nogen, der var udbredte i naturen, eller var de sjældne? Blev de bedre eller dårligere til jobbet, når de var sammen med andre organismer? Var de mere eller mindre aktive ved forskellige temperaturer? Hvordan fungerer de ude i deres naturlige miljø, væk fra laboratoriet? Alt sådan noget bliver man nødt til at vide for at få et så retvisende billede som muligt”.

Samarbejdet med Berner gjorde Canfield endnu mere interesseret i mikroorganismers rolle i de store kredsløb, og han blev for alvor tændt på idéen om på denne måde at lære mere om Jordens bio-geokemiske historie.

Det var der også andre, der var. På Aarhus Universitet sad Bo Barker Jørgensen, der forskede i sediment-mikroorganismer, og han inviterede Canfield på besøg i Aarhus. Barker Jørgensen havde læst et par af Canfields videnskabelige artikler (en om sedimenters optag af ilt og en om jern-kredsløbet; hvilke faser indtager jern på sin vej i kredsløbet, hvordan interagerer organismer med jern?), og det blev til to korte besøg i 1990-91 – Donald Canfield havde travlt på NASA og Georgia Tech hjemme i USA –, men i 1993 gik

alting op i en højere enhed, da Max Planck Institute for Marine Microbiology i Bremen skulle etableres. Bo Barker Jørgensen skulle lede, og Donald Canfield sagde ja tak til et drømmejob omgivet af kolleger med samme interesse og penge nok til at gøre stort set, hvad de ville.

Det særligt fascinerende grundstof ilt

Mikroorganismene blev essentielle midler til at forstå, hvad der mere præcist var foregået i Jordens fortid, da fx en sten blev dannet. Hvor meget ilt var der i luften? Hvor meget sulfat var der i vandet? Hvad var temperaturen?

”Det kunne nutidens mikroorganismer vise os. Dermed kunne vi begynde at tegne mere og mere detaljerede billeder af Jordens fortidige miljø”.

De store stofkredsløb var også vigtige. Jern og svovl var blandt de kredsløb, som Canfield havde nærstuderet, men der var et grundstof, som særligt fascinerede ham: Ilt.

Jorden er den eneste planet, hvor der findes ilt i så store koncentrationer, at det kan understøtte det liv, vi kender i dag. Men hvor kommer det fra, og hvilken rolle spillede det i Jordens og livets udvikling?

Hvad der ikke var af ilt i Jordens tidlige atmosfære, var der til gengæld af kvælstof, brint og kuldioxid – bl.a. spyet ud af massive vulkanudbrud. For 2,4 mia. år siden steg atmosfærens indhold af ilt markant. Hvordan kom det i stand? Den nemme forklaring (som Canfield kalder den) er, at der på det tidspunkt skete en opblomstring af cyanobakterier, der fik energi fra fotosyntese og producerede ilt, som så steg op og blev akkumuleret i atmosfæren.

Begravet sammen med døde organismer

Men helt så enkelt mener Canfield ikke, at det gik for sig – for hvis der var ilt*producerende* organismer, var der formentlig også ilt*konsumerende* organismer, og så ville der ikke blive leveret ilt til atmosfæren. I stedet mener han, at noget af ilten blev lagret i havbundenes sedimenter i form af begravede døde organismer, og derfra blev det frigivet til atmosfæren – at det var denne komplekse dans mellem biologi, kemi og geologi, der gav os ilt i atmosfæren.

”Når der først var ilt i atmosfæren, kunne det begynde at interagere med de stoffer, der fandtes på Jordens overflade, fx fosfor og jern, som blev frigivet og virkede som næringsstoffer i havet - og dermed kom der gang i den lange række af kemiske reaktioner, der gradvist ændrede Jordens geo-bio-kemiske profil til den, vi kender i dag”.

Samarbejdet med Bo Barker Jørgensen i Aarhus og Bremen blev starten på et liv i Danmark, hvor Canfield i 1996 blev ansat som professor på SDU og hurtigt efter blev en af de ledende kræfter bag etableringen af først Danish Center for Earth System Science og siden Nordic Center for Earth Evolution, begge finansieret af Danmarks Grundforskningsfond.

Citizen Science og demokratisering af data

Udforskningen af Jordens historie og særligt forholdet mellem ilt og dyr er i dag et kerneområde i Canfields forskning, og det arbejde fortsætter han på SDU. Det er også her, han er i fuld gang med to nye projekter,

som begge handler om at indsamle mere viden om havet, men også om – og det er lige så vigtigt for ham – at demokratisere adgangen til data og at inddrage mennesker, der ikke er forskere; citizen science.

”Vi skal have kortlagt de stoffer, som havet består af. Der er så meget, vi stadig ikke forstår, og vi har virkelig ikke ret mange sedimentprøver at læne os op ad i dag. Min idé er at få indsamlet 5000 nye prøver fra alle oceaner i verden”.

De data, der allerede findes, er iflg. Canfield spredte og svært tilgængelige – nogle er publiceret i den videnskabelige litteratur, andre ligger i ikke særligt brugervenlige databaser. Andre igen ligger formentlig stadig på et drev eller i en skrivebordsskuffe et sted og er slet ikke offentliggjort.

”Ideen er at samle alt i en lettilgængelig database, som alle kan bruge, ikke kun forskere, men også skoler, osv. – vi skal have demokratiseret adgangen til disse data”.

Det projekt har han allerede hyret en data-specialist til, og samtidig har han ambitioner om et globalt citizen science projekt, hvor skoler, lokale organisationer og andre frivillige hjælper med at indsamle vandprøver fra floder i hele verden og sende dem tilbage til ham og hans forskerteam.

”De vandprøver kan afsløre en hel del om klodens kulstofkredsløb, og hvordan det har udviklet sig gennem tiderne. Det kan blive super spændende!”

Jorden skal nok klare sig

Ligesom Canfield bruger sin viden til at lære mere om, hvad der sådan rent miljømæssigt foregår i verden omkring ham, deler han også gerne den nye viden, han erhverver sig, med verden omkring ham. Det sker fx i interviews, i bøger (bl.a. *Oxygen: A Four Billion Year History*), og senest er det sket i teaterstykket *Mens Solen Brænder*, der handler om den dybe kløft mellem den unge og den ældre generations reaktioner på klimaforandringerne, personificeret af en mor og en søn (spillet af Lotte Andersen og Louis Bodnia Andersen). Her har Canfield sammen med to biologer, en astrofysiker og en filosof samarbejdet med forfatterholdet om udviklingen af forestillingen, der blev sat op på Teater Sort/Hvid.

Personligt er han ikke bekymret for klodens fremtid. For menneskeheden fremtid, ja; vi bliver nødt til at ændre vores måde at leve på og nedbringe CO2 udslippet på en måde, der ikke efterlader fremtidens generationer med ophobede klima-problemer - men klodens fremtid er han ikke bekymret for.

- Jorden skal nok klare sig. Der vil altid være organismer, som kan overleve, uanset hvad vi gør ved Jorden. Der vil være fotosyntese. Der vil være pladetektonik, der sørger for at danne bjerge og få regn til at dryppe ned fra atmosfæren. Der vil cirkulere stoffer i havene. Disse ting er fundamentale. Vi kan ikke slå Jorden ihjel.

Mødd forskeren: Donald Canfield er professor i økologi og forskningsleder på Biologisk Institut, Syddansk Universitet.

Forfatter til mere end 350 videnskabelige artikler, som er blevet citeret næsten 55.000 gange. (kilde <https://scholar.google.com/citations?user=XEgOot4AAAAJ&hl=en>)

Medlem af Det Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, Royal Swedish Academy of Sciences, Royal Society of London, National Academy of Sciences (US). Fellow, American Geophysical Union, Society for Microbiology, Geochemical Society og American Academy for the Advancement of Science (AAAS).

Chair, Danish Institute for Advanced Study.

Villum Investigator.

Modtager af Vladimir Vernadsky Prisen (2010), Urey Prisen (2011) og Dannebrogordenen (2021).

Gift med Mariane Prip Olsen. Tilsammen har de børnene Lind Prip Canfield (27) og Ellen Prip Canfield (22).

<https://portal.findresearcher.sdu.dk/en/persons/donald-e-canfield>

BOKS: 3 af Donald Canfields vigtigste bidrag til videnskaben:

Canfield Ocean.

Da Donald Canfield i 1998 lige var ankommet til SDU og gik og ventede på at få bygget sit laboratorium, brugte han tiden til at få skrevet en af sine mest betydningsfulde videnskabelige artikler, som blev publiceret i **Nature**; en ny teori for urhavet. Gængs viden lød, at Jordens have og atmosfære blev iltet til et niveau, der svarer til nutidens, under "The Great Oxidation Event" for 2,4 mia. år siden. Canfield så imidlertid noget andet, når han studerede bevisførelsen og foreslog i stedet, at Jordens atmosfære ikke fik fuldt ilt-indhold, og at havene stort set forblev iltfrie i de næste 1,7 mia. år. Denne tilstand er siden blevet kaldt for Canfield Ocean, opkaldt efter Donald Canfield.

Commented [BS1]: Link
<https://www.nature.com/articles/24839>

Levende dyrs aktivitet kan ændre havenes kemi.

Når en orm eller en krabbe graver rundt i havbunden, udfører den bioturbation; dvs., at levende dyrs aktivitet er med til at ændre på havbundens sediment og mudder i et omfang, der har betydning for hele havets kemi. I en videnskabelig artikel i PNAS, **2009**, viser Canfield et al, at levende dyr for 550-600 mio. år siden gravede rundt i havbunden i et omfang, der førte til iltning af mineralet pyrit, som fandtes i havbunden. Denne iltning førte til øgede forekomster af sulfat i havvandet, som med tiden deponeredes som gips – i dag et af de mest almindeligt forekommende sulfatminerale i naturen. Denne artikel var med til at vække forståelsen af de enorme økologiske forandringer, som bioturbation kan forårsage.

Commented [BS2]: Link
<https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.0902037106>

Dyrelivets udviklingsspring ikke altid har hængt sammen med tilgængeligheden af ilt.

De fleste tænker umiddelbart, at alt dyreliv på Jorden er så afhængigt af ilt, at ilt og dyr må følges ad: Når der ikke er meget ilt på Jorden, kan der ikke være meget dyreliv. I en række publikationer har Canfield et al vist, at Jordens atmosfæres iltindhold i en periode for 1,7 milliarder til 1 milliard år siden lå på ca. fire pct. af nutidens. Det lyder ikke af meget, men forskerholdet har yderligere vist, at de første dyr (repræsenteret af havsvampe) ikke havde brug for mere. Vi ved, at dyrene først begyndte at udvikle sig for 700 mio. år siden, og at der inden da altså var en lang periode på 1

milliard år med tilstrækkelig ilt til, at dyr kunne udvikle sig, uden at det skete. Andre faktorer end ilt må altså have kontrolleret, hvornår dyr begyndte at udvikle sig.

