

Oversigt¹⁾

over

Dansk geologisk Forenings Møder og Ekskursioner fra Januar til December 1923.

Referat af Professor Dr. G. Hevesys Foredrag om Jordens Alder holdt paa Mødet den 13. November 1922.

Naar vi vil tale om Jordens Alder, maa vi først være klar over, hvad vi forstaar ved dette Begreb. — Man kan regne Jordens Alder ud fra det Tidspunkt, da Mineraldannelsen begyndte, da Jordens yderste Skal begyndte at blive fast; dette svarer til den geologiske Alder. — Man kan ogsaa gaa ud fra det Tidspunkt, da Livet begyndte; dette kan kaldes den biologiske Alder. — Endelig taler man om en kosmologisk Alder, der angiver selve Jordmaterialets Alder.

Der maa være stor Forskel mellem den geologiske og den kosmologiske Alder. I Sammenligning hermed er Forskellen mellem den biologiske og den geologiske Alder sandsynligvis ikke ret stor. Jeg skal her forsøge at omtale Undersøgelserne over den geologiske og den kosmologiske Alder.

Et af de ældste videnskabeligt begrundede Skøn over Jordens Alder er DARWINS. Han kom ud fra biologiske Betragtninger til Resultatet: 300 Mill. Aar.

Snart efter (i 1860) gjorde LORD KELVIN det første Forsøg paa at beregne Jordens Alder ad fysisk Vej. Han anvendte forskellige Metoder. Først sammenlignede han Jordens og Solens Alder. Da Jorden maa være dannet senere end Solen, kan han ved Beregning af Solens Alder slutte sig til en Maximumsværdi for Jordens Alder. Kilden til Solens Udstråling er efter Lord Kelvin dens Sammenstrækning. Solens Tæthed har oprindeligt været mindre. Nu beregnede LORD KELVIN, at det ikke kunde være mere end 20 Millioner Aar, før Solen — udgaaende fra en Tilstand med meget ringe Tæthed — naaede den nuværende Tæthed. — Ved en anden Betragtning gaar Lord Kelvin ud fra, at Jorden oprindeligt har været

¹⁾ Oversigt . . . 1922, Bd. 6, Hefte 2, skulde have været pagineret fra 7—12.

en homogen, flydende Klode med en Temperatur af ca. 4000°, hvilket svarer til Jordmineralernes Smeltepunkt. Han kender Jordmineralernes Varmeledningsevne, og han beregner nu, hvor længe det maa have været, før Jorden antog Overfladens nuværende Temperatur. Resultatet bliver igen 20 Mill. Aar.

Efter at LORD KELVIN havde offentliggjort sine Resultater, har DARWIN tilbagekaldt sine før nævnte Betragtninger i »Arternes Oprindelse«. Det er meget interessant at bemærke, at DARWINS subjektive Skøn senere viser sig mere paalideligt end KELVINS teoretiske Beregninger.

Angaaende Beregning af Solens Alder ved vi nu, at der er andre Energikilder end Gravitationen. Solens Energi kan nemlig delvis hidrøre fra den Varmed udvikling, som ledsager de radiolative Omdannelser.

I den nyeste Tid har EDDINGSON, PERRIN og flere ved disse Betragtninger gjort Brug af den Tanke, at hvis man syntetisk kunde fremstille Heliumatomer af Brintatomer, vilde man kunne vinde uhyre store Energimængder. Hvis en Hundrededel af Solen oprindelig bestod af Brint, og dette — under de derværende specielle Betingelser — kunde omdannes til Helium, vilde det frembringe en Varmed udvikling, som svarer til Solens Udstråling i 100 Mill. Aar.

Angaaende LORD KELVINS Beregning af Jordens Afkøling fra flydende Tilstand til nu maa det bemærkes, at LORD KELVIN ikke vidste, at Jorden indeholder saa betydelige Mængder af radioaktive Stoffer, at disses Varmed udvikling spiller en Rolle i Jordens Hus holdning. Det viser sig, at Jordens hele Varmetab ved Udstråling kan dækkes af de radioaktive Stoffers Varmed udvikling, ja oven i Købet, at hvis Jordens Indre indeholdt lige saa meget radioaktivt Stof som den yderste 15 km tykke Skal, maatte Jorden blive varmere i Tidens Løb. Da dette er meget usandsynligt, maa man antage, at der ikke findes radioaktive Stoffer i Jordens Indre.

Jeg skal nu omtale de Metoder til Bestemmelse af Jordens Alder, der for Tiden anvendes, som har praktisk Betydning og er videnskabeligt underbyggede. Der er fire Metoder, som kommer i Betragtning, to geologiske og to radioaktive. Den ene geologiske Metode er baseret paa Undersøgelsen af Havets Indhold af Salte, navnlig NaCl. Man antager, at Havet oprindelig har været helt saltfrit, og at Saltindholdet først efterhaanden er blevet tilført af Floderne, der paa deres Vej mod Havet har optaget Salt i opløst Tilstand. Vi kender Havenes totale NaCl-Indhold, hvilket gennemsnitlig svarer til 1,08 ‰; man har endvidere undersøgt, hvor store Mængder af NaCl Floderne tilfører om Aaret, og vi kan altsaa let beregne, hvor længe Floderne har været om at bibringe Havet dets nuværende Saltindhold.

Havvandets Totalmængde	$1_{,17} \cdot 10^{18}$	Ton
Den totale NaCl-Mængde	$1_{,26} \cdot 10^{16}$	—
Den årlige Tilførsel af NaCl . . .	$1_{,56} \cdot 10^8$	—

Resultatet bliver 81 Mill. Aar eller med visse Korrektioner ca. 100 Mill. Aar.

Den anden geologiske Metode grunder sig paa samme Princip som den første. Den bygger blot paa Undersøgelsen af den totale Mængde Sediment, som findes i Havet, sammenlignet med den årlige Tilførsel af Sedimenter fra Floderne. Dette giver atter ca. 100 Mill. Aar.

Det er bekendt, at visse Mineraler indeholder Uran, og at dette meget langsomt omdannes til Bly med Atomvægten 206 og til Helium. 1 Uranatom danner 1 Blyatom og 8 Heliumatomer. $[206 + 8 \cdot 4 = 238]$. Det dannede Bly og Helium akkommoderes i Minaeralet. Vi ved, hvor mange Uranatomer, der omdannes i 1 Aar, saa naar vi undersøger, hvor store Bly- og Heliummængder der findes i Uranmineralet, kan vi nemt beregne, hvor mange Aar der er gaet siden Minaeralet blev dannet.

Den første Metode er baseret paa Undersøgelsen af Minaeralets Uran- og Heliumindhold. 1 gr Uran danner 1 cm³ He i 10 Mill. Aar. Minaeralets Alder bliver altsaa — udtrykt i Mill. Aar — bestemt ved Formlen $\frac{\text{He}}{\text{U}} \cdot 10^7$. Den største Værdi for Forholdet $\frac{\text{He}}{\text{U}}$ findes i Minaeralet Spheñ, som stammer fra Ontario i Amerika og er af Prækambrisk Oprindelse; dets Alder er 600 Mill. Aar.

Den anden radioaktive Metode hviler paa Undersøgelsen af Forholdet mellem Uran- og RaG-Mængden i vedkommende Mineral, 1 gr Uran danner i et Aar $1_{,27} \cdot 10^{-10}$ g Pb (206). Heraf følger, at Minaeralets Alder — udtrykt i Mill. Aar — kan findes af Udtrykket $\frac{\text{RaG}}{\text{U}} \cdot 7900$.

Den største Mængde RaG findes i norske Uranminerale¹⁾ fra Arendal (det saakaldte Cleveit). For dette er $\frac{\text{RaG}}{\text{U}} = 0_{,10}$ og svarer til en Alder af 1300 Mill. Aar.

De radioaktive Metoder giver saaledes Værdier, der er fra 6—13 Gange saa store som de geologiske.

Vil vi nu bedømme Metodernes Paalidelighed, maa vi undersøge de Antagelser, hvorpaa de hviler. Den fælles Hovedantagelse for alle Metoderne er den, at de Processer, der har frembragt de iagttagne Forhold, ikke har forandret sig i Tidernes Løb.

¹⁾ En udmærket Fremstilling af Radioaktivitet og dets Anvendelser findes hos ELLEN GLEDITSCH og EVA RAMSTEDT, »Radium«, Kristiania 1917.

Se endvidere: ELLEN GLEDITSCH, Archiv for Mathematik og Naturvidenskab. Bd. XXXVI. Nr. 1. Kristiania. 1919.

Hvad angaar de geologiske Metoder maa vi da vel lægge Mærke til, at der — forud for Tilførselsprocessen af Salt og Sediment — er foregaaet Forvittrings- og Opløsningsprocesser. Forvittringshastigheden og Opløsningshastigheden afhænger imidlertid af mange ydre Faktorer, i særlig høj Grad af Temperaturen, men ogsaa af Luftens Sammensætning og af, hvor langt Processen i Forvejen er fremskredet. I Modsætning hertil er de radioaktive Processer ganske uafhængige af de kemiske og fysiske Forhold, som har hersket paa Jorden. Hvis man vil antage, at Processerne er de samme i Dag som for Millioner af Aar siden, maa denne Antagelse derfor være mest velbegrundet overfor de radioaktive Processer. Altsaa: Med Hensyn til Hovedantagelsen er de radioaktive Metoder absolut paalideligere end de geologiske. — Med Hensyn til de specielle Forudsætninger for de geologiske Metoder skal jeg nævne et enkelt Eksempel: Antagelsen om, at Natriumkloridet i Havene er af primær Oprindelse. Dette er helt usikkert. Det viser sig bl. a., at de Mineraler, som opløses i Flodvand, ikke indeholder tilstrækkeligt Klor til Dannelse af Natriumkloridet, saa vi maa slutte, at Klorret findes i Havet; det kommer ikke fra Mineralerne, men er af vulkansk Oprindelse. Kun det Natrium, som bliver tilført i Form af Natriumbikarbonat og Natriumsulfat, er primært. Endvidere maa man mene, at det NaCl, som findes i Floderne, allerede tidligere en eller flere Gange har været i Havet, men er blevet fjernet derfra enten ad underjordisk Vej ved Hjælp af Sedimenter eller af Vinden, der kan føre lidt Vand og Salt ind over Land. Naar hele Metoden er baseret paa den Antagelse, at NaCl'et ikke foretager et Kredsløb, maa selvfølgelig de fundne Tidsrum blive kortere, end hvis vi kunde tage Hensyn til dette Kredsløb.

Jeg skal ikke gaa nærmere ind paa de geologiske Metoders specielle Antagelser, men derimod omtale de særlige Antagelser, der knytter sig til de radioaktive Metoder nemlig følgende:

- 1) at alle Omdannelsesprodukter forbliver indesluttet i *Mineralet*,
- 2) at *Mineralet*, da det dannede sig, ingen Omdannelsesprodukter optog.

Med Hensyn til den første Antagelse maa vi nu ikke glemme, at Heliumluften delvis kan undslippe fra Mineralerne, som ikke er helt lufttætte, og det er interessant, at man netop finder det største Heliumindhold i meget kompakte Mineraler som Sphen. Naar man pulveriserer et Mineral, bortgaar ca. 30 pCt. af Heliumindholdet. En Værdi for Jordens Indhold, der er fundet af et He-U-Forhold, maa derfor betragtes som en nedre Grænse.

Ved Bly-Metoden er der ingen Fare i denne Henseende; her maa vi derimod regne med den Mulighed, at *Mineralet*, da det

dannedes, kan have optaget Pb (206) rent accessorisk (tilfældigt)¹⁾, ligesom det jo har optaget Jern, Aluminium, sjældne Jordarter o. s. v. Dette er en Fejlkilde, som bevirker, at Bly-Metoden maa antages at give en øvre Grænse for Jordens Alder. Muligheden af, at Mineraleet ved Dannelsen har optaget Helium kan vi sikkert se bort fra.

Det er altsaa saa heldigt, at de to radioaktive Metoder giver henholdsvis en nedre og en øvre Grænse for Jordens Alder. Da det ikke er sandsynligt, at Mineralerne ved Dannelsen har optaget særlig store Mængder af Uranbly, maa den Værdi, Bly-Metoden giver, anses for sikrere end Heliummetodens, og vi kan da anse ca. 1000 Mill. Aar for en nogenlunde paalidelig Værdi for Jordens geologiske Alder.

Medens vi saaledes har ret paalidelige Metoder til Bestemmelse af Jordens geologiske Alder, bliver det en mange Gange vanskeligere Opgave at beregne Jordmaterialets Alder, Jordens kosmologiske Alder.

Man har gentagne Gange ud fra astronomiske Betragtninger søgt at danne sig et Skøn om det Tidspunkt, da Jorden ligesom andre Himmelleger i Solsystemet er opstaaet. Saaledes beregner JEANS en Alder for Solsystemet af 3600 Mill. Aar. Men selvfølgelig er dette et i høj Grad vilkaarligt Skøn. I det følgende vil vi forsøge at bruge de samme radioaktive Metoder til Beregning af Jordens kosmologiske Alder, som gjorde saa fortrinlig Tjeneste, da vi søgte Oplysning om Jordens geologiske Alder.

Jeg tænker her først og fremmest paa den omtalte Blymetode. Vi bestemmer, hvor meget Uran og hvor meget Bly der findes i Mineraleet. At dette samtidig indeholder Jern, Aluminium, Silicium og flere andre Stoffer, har slet ingen Betydning for vort Resultat. Uranrige Mineraler, som indeholder indtil 60 % Uran, egner sig bedst til den Slags Bestemmelser, men principielt kan vi lige saa godt beregne Mineraleets Alder, naar det indeholder 1/100 eller mindre. Resultatet bliver — som Følge af Usikkerheden paa Bestemmelsen af de smaa Stofmængder — mindre nøjagtigt, men Principet bliver det samme. For at kunne beregne Jordens kosmologiske Alder anstiller vi nu følgende Betragtning: Vi spørger, hvilken Skæbne der er overgaaet det Bly, der dannedes af Uran, dengang Uranet endnu — ligesom andre Bestanddele af Jordskorpen — var i flydende Tilstand. Der findes paa Jordskorpen uden for Uranmineralerne intet Bly med Atomvægten 206. Hvor er det Bly

¹⁾ Fornyelig har man i Belgisk Kongo fundet et stort Uranleje, hvis Indhold af Uranbly er betydeligt større end noget andet Uranminerals. Her finder man et Tilfælde, hvor man kan tænke sig, at en Del af Uranblyet sekundært er tilført Uranmineralet, idet der tæt under dette Leje findes et andet, hvis Indhold af Uranbly er uforholdsmæssigt lille.

blevet af, som dannedes af Uranet, da det var flydende. Svaret er følgende: Ligesom Uran danner Pb (206), danner Thorium Pb (208). I den flydende Jordskorpe har de to Slags Bly blandet sig til et »sammensat Element«, nemlig almindeligt Bly, der ved Sammensætning af 1 Del Pb (206) og 1 Del Pb (208) viser en Atomvægt paa 207. Muligheden af, at almindeligt Bly er en Blanding af de to Blyarter, har allerede været diskuteret, uden at man dog er naaet til noget Resultat. ASTON har ikke kunnet konstatere Blyets Sammensætning ved sine specielle Metoder. Derfor har Professor BRØNDSTED og jeg forsøgt at skille almindeligt Bly i dets formentlige Bestanddele efter lignende Metoder som den, der er anvendt til at adskille Kviksølv og Klor i simplere Bestanddele. Professor HÖNIGSCHMID i München, der er en stor Autoritet paa Atomvægtsbestemmelsernes Omraade, har paataget sig at bestemme Atomvægten af vore forskellige Fraktioner (Adskilleelsesprodukter). Han har endnu ikke afsluttet sine Undersøgelser, men naar Resultaterne foreligger, vil vi kunne besvare Spørgsmaalet om, hvorvidt det almindelige Bly er en Blanding af Uran-Bly og Thorium-Bly eller ikke. I de følgende Betragtninger vil vi først antage, at det almindelige Bly er en saadan Blanding. Naar vi gør det, har vi øjensynlig Lov til at betragte hele Jorden som et uhyre stort Uran-mineral. Vi bestemmer da igen Forholdet mellem de Uran- og Blymængder, som findes deri. At Jordskorpen tillige indeholder store Mængder af andre Materialer er for vor Betragtning ganske uden Betydning, ligesom den tidligere omtalte Bestemmelse af Uranmineralers Alder ikke berørtes af Tilstedeværelsen af andre Stoffer. Vi kender Jordens totale Uranmængde; hvis vi tænker os Jordskorpens Materiale delt i 1 Mill. Dele, svarer 7 af disse til Uran eller med andre Ord, Jordskorpens Uranindhold udgør 7 Millionte-dele af hele Materialet. Jordskorpens Blyindhold er efter CLARK og WASHINGTON 20 Millionte-dele af dens totale Materialmængde. Halvdelen eller nøjagtigere 40 % af denne Blymængde er opstaaet af Uran. Vi kan nu beregne Jordens Alder af Ligningen $\frac{\text{Pb } 207}{2 \text{ U}} = 0,87 (\lambda \cdot t + \frac{1}{2} \lambda^2 \cdot t^2 + \dots)$, hvor λ er Omdannelsesperioden og t den søgte Alder.

Resultatet bliver 7000 Mill. Aar.

Jordskorpens Thoriumindhold er 26 Millionte-dele af dens samlede Materiale. Vi kan nu igen beregne Jordens kosmologiske Alder af Forholdet mellem Thorium- og Blymængden. Det vil sige, vi betragter Jorden som eet uhyre stort Thoriummineral. Denne kosmologiske Jordalder paa 6000—7000 Mill. Aar bør betragtes som en øvre Grænse, da Forudsætning for Beregningen er, at almindeligt Bly udelukkende er en Blanding af Uran- og Thorium-Bly. Er derimod en Del af Blyet opstaaet ved Blanding af Uran- og Tho-

riumbly paa andre Steder i Solsystemet, eller hvis en Del af almindeligt Bly stammer fra andre endnu ukendte Blyisotoper, vil i begge Tilfælde den fundne Værdi være for stor.

Mødet den 29. Januar 1923.

Hr. Knud Jessen holdt Foredrag om en undersøisk Mose ved Rungsted med Bemærkninger om de senglaciale Niveauforandringer i Øresund. Hertil knyttedes nogle Bemærkninger af Hr. AXEL JESSEN. Foredragets Indhold er trykt i Medd. fra Dansk geol. Forening. Bd. 6 Nr. 14 og D. G. U. IV. R. Nr. 18.

Derefter afholdtes

Ordinær Generalforsamling.

Efter at Dirigenten, Hr. C. HAMMER, havde erklæret Generalforsamlingen for lovlig indvarslet, aflagde Formanden, Hr. Axel Jessen, Beretning om Foreningens Virksomhed i det forløbne Aar.

Derefter fremlagde Kassereren, Hr. C. Malling, Regnskabet, som godkendtes, hvorefter Hr. O. B. Bøggild valgtes til Formand for det kommende Aar, medens der som Bestyrelsens øvrige Medlemmer valgtes De Herrer Knud Jessen, C. Malling, Chr. Poulsen og H. Ødum. De Herrer Revisorer C. Hammer og C. Ottesen genvalgtes.

Mødet den 16. Februar 1923

Hr. Dr. R. Nordhagen fra Kristiania holdt Foredrag om postglaciale Klimavekslinger i Mellemeuropa grundet paa nye Undersøgelser af Foredragsholderen og Dr. H. GAMS. I Anledning af Foredraget veksledes Bemærkninger mellem Hr. KNUD JESSEN og Foredragsholderen.

Mødet den 5. Marts 1923.

Hr. S. A. Andersen fremlagde sine kvartærgeologiske Iagttagelser i Egnen syd for Sorø. Hertil knyttedes Bemærkninger af Hr. V. MILTHERS.

Mødet den 12. April 1923.

Hr. Alfred Rosenkrantz gav en Meddelelse om en Dislokation i Københavns prækvartære Undergrund. Foredraget vil senere blive trykt.

Hr. Professor Dr. K. A. Grönwall holdt derefter et Foredrag om Sven Nilsson som kvartærgeolog, djur- och växtgeograf. Efter en 1847 hållen föreläsningsserie. Denne er publiceret i Lunds Universitets Årsskrift. N. F. Afd. 2. Bd. 18. Nr. 8. Lund. 1923.