

Om Årsagerne til Bjergkædefoldninger.

Af

HENNING SØRENSEN.

Hvorfor er der kontinenter og oceaner, og hvorfor har kontinenterne høje bjergkæder og oceanbundene dybe grave? Kunne jordens overflade ikke lige så godt være jævn og glat, som det synes at være tilfældet på planeten Mars?

Disse og lignende spørgsmål er søgt besvaret i en hel række »universalteorier«, d. v. s. sindrige systemer, der sammenfatter og forklarer de geologiske processer som led i en lovmæssig udvikling. Kun faa af disse teorier er gjort tilgængelige for danske læsere, og hensigten med denne artikel er derfor at give en kort oversigt over de vigtigste af de opfattelser, man gennem tiderne har haft om årsagen til bjergkædernes opståen.

Bjergkædefoldningen.

Bjergkædefoldningen (eller orogenesis) er fornylig blevet beskrevet af A. BERTHELSEN (2), og der vil derfor i det følgende kun blive givet en ganske kort fremstilling af hovedfaserne i en bjergkædes tilblivelse. Man regner i almindelighed med følgende tre udviklingstrin: Geosynklinalstadiet (evolutionsperioden), foldningen (revolutionsperioden), samt til sidst en hævning af hele foldekæden.

Geosynklinalstadiet. En geosynklinal er en lang, smal svaghedszone i jordskorpen, der opfyldes af enorme sedimentmægtigheder (8 km eller mere), og vel at mærke sedimenter, der er aflejret på ringe havdybde. Geosynklinalerne repræsenterer altså nedsynkningsområder. Det var nærliggende at tro, at sedimenterne har trykket geosynklinalbunden ned, efterhånden som de aflejredes. En simpel beregning viser, at dette ikke kan være tilfældet, da sedimenterne har mindre vægtfylde og derfor fylder mere end de dybere liggende bjergarter, som de skulle fortrænge. Den oprindelige fordybning i jordskorpen ville derfor hurtigt blive fyldt med sedimenter, og aflejringen ville stoppe. Desuden har man, som omtalt af BERTHELSEN (2), strukturer svarende til geosynklinaler i de dybe grave i oceanbunden, og det til trods for, at disse grave kan stå helt tomme. Man må derfor slutte, at geosynklinalerne er områder karakteriseret af »aktiv nedsynkning«; man forestiller sig denne som en nedbukling af jordskorpen.

Foldningen. Når geosynklinalen har nået en vis modenhed, udsættes den tilsyneladende for et to-sidet, horizontalt tryk (kompression) vinkelret på dens længderetning. Herved bliver dens sedimentserie foldet. De øverste lag presses ud af geosynklinalen og skubbes ind over »forlandene«

vel overfoldninger og overskydninger. Bunden af geosynklinalen presses ned i de underliggende lag af jordskorpen, men foldningen er her ret plastisk på grund af den højere temperatur.

Hævningen. Det er sandsynligt, at der under hele foldningen har været en hævnings-tendens i geosynklinalen, men denne tendens har været ophævet af den vertikale komponent af de kompressive, horizontale kræfter. Når disse kræfter ophører med at virke, sker der derfor en hævning af hele folde-zonen. (Andre årsager til hævningen kan være frigørelse af elastisk energi akkumuleret under foldningen, desuden kemiske processer (se nedenfor) og endelig måske isostatisk compensation af det nedbuklede område). Hævningen er størst i de mest deformerede zoner.

Bjergkædernes geografiske beliggenhed. Bjergkæderne anlægges på grænserne mellem kontinent og ocean, kontinenterne vokser altså ved hver bjergkædefoldning. Således gælder for Europa, at det Fennoskandiske grundfjeldsområde først voksede ved foldningen af den kaledonske bjergkæde gennem Norge og Skotland. Senere opstod på grænsen mellem det daværende Europa og det daværende Telhyslav først den hercyniske og siden den alpine foldezone, De »mobile« zoner synes altså at bevæge sig væk fra de stabiliserede områder, hvis videre udvikling er karakteriseret af forkastningstektonik. KÖBER kalder disse områder for kratogener i modsætning til foldezonerne, der kaldes tektogener.

Brudzoner mellem kontinent og oceanbund. I vore dage foregår bjergkædefoldning i Indonesien og talrige andre steder ved Stillehavets kyster. Foldekædeembryonerne, der optræder som ø-buer med tilhørende dybe grave, har stor jordskælvs-hyppighed. Jordskælvene i ø-bue-zonerne er normale, d. v. s. deres herder (hypocentre) er beliggende i dybder fra 0—50 km. Bevæger man sig fra ø-buerne ind mod kontinenterne tiltager hypocentrenes dybde, således at man inde under kontinenterne har jord-rystelser stammende fra herder i indtil 700 kilometers dybde (de såkaldte dybe jordskælv). Heraf slutter man, at der optræder brudzoner (shear-zoner) på grænsen mellem oceanbund og kontinent, og at disse zoner hælder ind under kontinenterne. LAKE og andre har netop forklaret ø-buernes form ud fra det synspunkt, at de repræsenterer skæringslinierne mellem shearzonerne og jordens overflade.

Orogeneseteorier.

Man kan bekvemt inddele disse mange teorier i to store hovedgrupper, nemlig 1) teorier, der opfatter bjergkæder som lokale fænomener og 2) teorier, der betragter foldningsprocesserne under en mere universel synsvinkel (universalteorier)¹).

1) Er bjergkæder lokale fænomener? De under denne overskrift nævnte synspunkter skal kun omtales, fordi de af og til dukker op i litteraturen.

¹) Fortrinlige oversigter over orogeneseteorier findes i afhandlingerne opført under 16, 18, 19 og 20 i litteraturlisten.

Hævningsteorien blev fremsat i 1835 af L. v. BUCH, og bjergkæderne er i følge den dannet ved, at de fra dybet kommende granitiske smeltemasser har hævet og foldet de overliggende sedimenter. På denne måde er foldningen af Andesbjergene blevet forklaret af PENCK og BACKLUND. Nu er denne teori helt opgivet, bl. a. fordi man har kunnet vise, at graniterne i bjergkæderne ikke er dannet ved intrusion, men tværtimod *in situ* ved omdannelse af de foldede sedimenter.

Det bør nævnes her, at G. FORCHHAMMER's opfattelse af dislocationerne i Møens klint var stærkt påvirket af v. BUCH's ideer.

M. READ's termiske ekspansionsteori (1886) forklarer foldningen som et resultat af, at geosynklinalsedimenterne udvides, når de bringes ned i dybere og varmere niveauer af jordskorpen. Også denne teori er opgivet, bl. a. fordi den termiske udvidelse modvirkes af belastningstrykket.

DUTTON, der jo indførte begrebet isostasi, hævder i sin isostatisk teori (1892), at foldningen fremkaldes af de processer, der sættes i gang af nedbrydning i et område og aflejring i et andet. Denne teori kan slet ikke forklare foldningens karakteristika.

R. PERRIN (se 16, p. 189) og H. RAMBERG (15) har på en måde genoplivet den klassiske hævningssteori. PERRIN tænker sig, at metamorfosen i de dybeste dele af foldezonen er årsag til foldningen. RAMBERG går i sin »thermo-dynamiske teori« ud fra, at den isostatisk ligevægt i en bestemt sektor af jordskorpen forstyrres på grund af extrusion af store lavadækker. Der vil derfor ske en nedsynkning i denne sektor, og geosynklinalen opstår. Siden foldes sedimenterne i geosynklinalen, og til sidst hæves hele tektogenet. Årsagen til hævnningen er regionalmetamorfosen (granitseringen) i de nedre dele af tektogenet, idet granitens lette bestanddele (alkalier, aluminium, silicium) koncentrerer her. Denne teori kan ikke være rigtig, for selv om der optræder mægtige lavaserier i de geosynklinale aflejringer, har man talrige eksempler på, at mægtige lavaserier udmærket kan eksistere gennem lange perioder i højt niveau i jordskorpen. Derimod ser det ud til, at fremtrængningen af basalterne, og den deraf følgende hævnning af temperaturen i jordskorpen under basalterne, kan resultere i gravforkastninger og i dannelsen af plutoniske bjergarter. Eksempler herpå er nefelinsyeniterne i SW-Grønland, Dalarna, Oslofeltet og den tertiære eruptivprovins i de indre Hebrider (se f. ex. NOE-NYGAARD, 14, p. 62).

Selv om de ovennævnte teorier ikke kan forklare selve foldningen er der ingen tvivl om, at processer af den anførte art kan være medvirkende ved hævnningen af foldezonerne.

2) Universalteorier. Den klassiske foldningsteori er kontraktions-teorien, der går ud fra, at jorden skrumper på grund af afkøling. Den går tilbage til det 17. århundrede til DESCARTES, der sammenlignede jorden med et runket æble. Den indre del af jorden var skrumpet ind, hvorved skorpen blev for stor og rynkedes ligesom æbleskrællen. Teorien blev indført i den geologiske videnskab af E. de BEAUMONT i 1829, og da den senere i det 19. århundrede blev overtaget af J. DANA og E. SUESS, vandt den almindelig anerkendelse.

Da kontinenterne er trekantede i omrids, og da man næsten overalt på jordkloden har vand antipodalt til land, hævdede L. GREEN, at jordkloden

skrumper mod et tetraæderformet legeme med kontinenterne i hjørnerne og oceanerne på fladerne. (Tetraedret er det legeme, der har mindst rumfang i forhold til overfladeareal).

Vi vil her betragte den termiske kontraktionsteori i den udformning, den har fået af JEFFREYS (9). Jordens kerne er ikke afkølet væsentligt. Den yderste skorpe i jorden er i termisk ligevægt med omgivelserne og afkøles heller ikke. Afkølingen foregår altså i lagene mellem kerne og skorpe. Da kernen ikke forandrer rumfang, må det udenfor liggende skrumpende lag blive for lille, og der foregår en strækning og en fortynding af dette lag. På den anden side bliver den kolde skorpe for stor til det underliggende skrumpende lag, og der må derfor mellem disse to lag optræde en zone, hvor der ikke er spændinger i jordskorpen (level of no strain). Oven over denne zone sker der en nedbukling af den kolde skorpe, der søger at tilpasse sig det skrumpende indre, ligesom skrællen på et runkt æble gør det. Men medens vi i det sidstnævnte tilfælde har rynker over hele æblets overflade, er rynkerne på jorden (foldekæderne) beliggende i ganske bestemte zoner. Dette skyldes, at jordskorpens bjergarter har en betydelig styrke. Den horizontale kompression opmagasineres i bjergarterne som elastisk energi, og denne bliver ved med at vokse, indtil bjergarternes styrke overskrider et eller andet sted på jorden. Dette sker netop i de svageste zoner i jordskorpen, nemlig geosynklinalerne med de store sedimenttykkelser.

Overskydningerne i foldekæderne vidner om betydelig kompression vinkelret på bjergkædernes længderetninger. Af denne grund har ALBERT HEIM udtalt, at jordens kontraktion ikke er en teori, men en kendsgerning. Dette er vel en noget dristig påstand, men man kan i hvert fald med sikkerhed sige, at visse dele af jordskorpen, nemlig de geosynklinale zoner, er blevet stærkt forkortede under bjergkædefoldningerne.

I de nyeste modificationer af kontraktionsteorien (f. ex. J. T. WILSON, 21) tænkes jordskorpens »følgen efter det skrumpende indre« at finde sted ved bevægelse langs de på side 422 omtalte brudzoner. Disse bevægelser resulterer i, at oceanbunden skydes ind under kontinenterne, eller, hvad der bliver det samme, at kontinenterne skubbes ud over oceanbunden. Herved trykkes sidstnævnte ned, og geosynklinalerne dannes. Når kompressionen frembragt ved denne bevægelse overstiger geosynklinalbundens styrke, foldes sedimenterne i geosynklinalen. Bevægelsen langs brudzonerne kan enten foregå ved flydning (f. ex. plastisk) eller ved forkastninger (slip), WILSON går ind for sidstnævnte synspunkt og nævner til støtte herfor, at de dybe jordskælv er at tektonisk oprindelse.

Også andre fænomener end afkøling er betragtet som årsag til jordens kontraktion. Én opfattelse bygger på BRIDGEMAN's undersøgelser af mineralernes polymorfiforhold, ifølge hvilke det er muligt, at mineralerne dybt nede i jorden optræder i helt andre krystalformer end ved overfladen. Det høje tryk i jordens indre (eller rettere i den indre del af jordens kappe) skulle bevirke, at mineralernes komponenter her anordnes på den tættest mulige måde i krystalgitrene, resulterende i dannelsen af tunge mineraler. Hvis en sådan dannelse foregår, må de pågældende lag skrumpes.

Engländeren RAMSEY har hævdet, at jordkernen ikke består af en jern-nikkel-legering, som de fleste forskere mener, men derimod af de samme grundstoffer, som opbygger jordskorpen. På grund af det store tryk i jordens indre kan de enkelte atomer ikke eksistere der, de »degenererer«, og der er derved mulighed for en meget tæt pakning af atomerne, idet atomkerne næsten kan komme i direkte kontakt. ELSASSER har imidlertid beregnet, at man ikke på den måde kan få stoffer med den store vægtfylde, som man har i jordkernen. Da man kender meget lidt til de fysiske forhold i jordkernen, er det sikkert klogt at tage på sådanne beregninger med en vis forsigtighed. Man kan altså ikke uden videre afvise, at jordkernen skrumper på grund af processer af den anførte art.

Den østrigske geolog L. KOBER (11) arbejder med en kontraktionsteori, der på en vis måde bygger på det ovenfor refererede. Han går ud fra, at jorden er udviklet af en »protoplanet« med en vægtfylde på ca. 1. På grund af tyngdekraften trak denne skyagtige protoplanet sig sammen, og dens vægtfylde steg. Skrumpningen vil fortsætte til Jordens vægtfylde bliver ca. 6 (mod nu 5.5). Årsagen til skrumpningen skulle være, at der dannes tunge grundstoffer og tunge tætte forbindelser i jordens indre på grund af det der rådende store tryk. Når de tunge grundstoffer presses ud i jordens ydre partier, sønderfalder de, og på denne måde forklarer KOBER de radioaktive grundstoffers fordeling i jordskorpen.

Under jordens skrumpning akkumuleres kompression i bjergarterne, men bevægelse udløses først, når en vis tærskelværdi er nået, og der sker da en bjergkædefoldning. I jordens første tid var kompressionen universel, og deformationen prægedes af magmatektonik. I nutiden er deformationen lokal, præget af »overfladetektonik« med tekto- og kratogener, dog stadig med magmapræget tektonik på dybet.

Der kan rettes mange indvendinger mod KOBER's opfattelse. Således er det meget tvivlsomt, om jordens og de øvrige planeters protoplaneter nogensinde har været i samme fysiske og kemiske tilstand, som den der råder i solen nu. Det er også blevet indvendt, at kontraktionen af det sammenhobede materiale forlængst skulle være ophørt, men disse indvendinger gælder kun for jordens planetesimalstadiet og rækker ikke ved den mulighed, at der til stadighed dannes tunge modifikationer af jordskorpens bestanddele dybt nede i jorden.

En vurdering af kontraktionsteoriens øjeblikkelige status vil blive givet i slutningen af denne artikel.

Ifølge kontraktionsteorien er bjergkæderne altså dannet ved horisontale, kompressive kræfters indvirkning på jordskorpen. Imod dette har man gjort gældende, at jordskorpen ikke er stærk nok til at bære (»transmittere«) de horisontale kræfter over lange afstande, og da vertikal bevægelse kun bruger en ringe del af den energi, som er nødvendig for horisontal bevægelse, er en hel række teorier gået ud fra primære, vertikale bevægelser i jordskorpen som årsager til bjergkædedannelsen.

Glidfoldhypotesen, der fremsattes af E. REYER i 1892, regner med en primær ophvælvning af kontinenterne. Derved er sedimenterne gledet ned af kontinentskrænterne mod oceanerne resulterende i foldninger.

På tilsvarende måde taler R. A. DALY (4) om sliding-continent.

Han går ud fra, at der oprindeligt (som nu) var en land- og en vandhemisfære. På grund af jordens afkøling og deraf følgende kontraktion fremkom der et tryk på kontinentalranden (hvor geosynklinaler blev dannet), og kontinentet ophvæledes. Ophvælvningen fortsatte, indtil underlagets styrke blev overskredet. Kuplen revnede så, og fragmenterne gled ned og foldede sedimenterne på kontinentranden. Glidningen skulle lettes af, at det underliggende lag af jordskorpen (asthenosfæren) skulle bestå af basaltisk glas nær dets smeltepunkt.

Ingen af disse teorier kan forklare den typiske udvikling af bjergkæderne. HAARMANN'S oscillationsteori og R. W. v. BEMMELEN'S undationsteori, der begge bygger på vertikalbevægelser i jordskorpen, har heller ikke vundet større tilslutning. Ifølge HAARMANN bevirker uligevægts-tilstande i jorden (til dels betinget af kosmiske årsager), at der dannes ophvælvninger (geotumorer) og nedbuklinger (geodepressioner) i jordens flydezone. Dette resulterer i vertikale bevægelser i jordskorpen. (HAARMANN opfatter jorden som en vædskekugle med stiv kappe). Denne primære tektonik ledsages af sekundær tektonik d. v. s. bjergkædedannelse ved flydefoldning à la REYER. v. BEMMELEN betragter den progressive differentiation af jordens oprindelige silikatkappe som den fundamentale årsag til bjergkædefoldning.

Bjergkædefoldninger i forbindelse med kontinentforskydninger. Som bekendt forsøgte WEGENER at forklare bjergkædedannelsen som et resultat af kontinenternes forskydning, og han satte f. ex. bjergkæderne langs vestkysterne af Nord- og Sydamerika i forbindelse med disse kontinenters forskydning mod vest. Imidlertid kan kun et fåtal af jordens bjergkæder forklares på denne måde, og WEGENER'S teori er i det hele taget uforenelig med den bjergkædeudvikling, som blev omtalt i begyndelsen af denne artikel.

JOLY (10), der også regner med kontinentforskydninger, prøver at forklare alle foldningens faser. Han tager sit udgangspunkt i den varme, der opstår ved nedbrydningen af radioaktive stoffer i jordskorpen. Da den varme, jorden afgiver til omverdenen, kan udvikles ad radioaktiv vej i et sial-lag på ca. 30 km's tykkelse, hævder JOLY, at der ikke finder varmeledning sted fra sima til sial under kontinenterne (og heller ikke til det sima, der udgør oceanbunden, fra det underliggende sima). Derfor skulle der akkumuleres varme i dette niveau, og i løbet af ca. 60 millioner år skulle bjergarterne her smelte, hvilket igen medfører, at vægtfylden aftager i dette lag. Sial-laget synker så ned i det smeltede sima, og en geosynklinal dannes. På samme tid driver kontinenterne mod vest på grund af tidevandsfriktionen, og det smeltede lag bliver afkølet. Denne afkøling er størst under oceanbunden, der trækker sig sammen og derved udøver et tryk på kontinenterne. Geosynklinalsedimenterne bliver foldet. Ved den endelige størkning af sima-laget hæver kontinenterne og de nydannede foldekæder sig; så begynder en ny akkumulation af varme, og historien gentager sig.

Også denne teori forkastet, bl.a. fordi de gamle bestemmelser af mængden af radioaktive stoffer i jorden var noget for optimistiske. Desuden er det blevet fremhævet, at det smeltede sima ville forblive smeltet. Endelig skulle alle bjergkæder dannet i samme epoke være samtidige, hvad de ingenlunde er.

HOLMES satte i 1929 kontinentforskydninger i forbindelse med subkrustale konvektionsstrømme. Disse vil blive behandlet i det følgende afsnit.

Subkrustale konvektionsstrømme. Dette begreb spiller en stor rolle i de moderne orogenteorier, og det er på en måde blevet tidens løsen. Allerede i 1906 hævdede AMPFERER, at bjergkædefoldningen er et resultat af »Unterströmungen« i en subkrustal flydezone. Disse strømninger havde i virkeligheden karakter af isostatisk udjævningsbevægelser. En fornyelse af denne tankegang fik man i trediverne, da HOLMES (8), VENING MEINESZ (12), GRIGGS (6) og andre forklarede foldekædernes dannelse ved hjælp af konvektionsstrømme i lagene under jordskorpen.

Sammenfattende kan siges om disse teorier, at de går ud fra, at der er et subkrustalt lag, i hvilken konvektion er mulig¹⁾. For at konvektionen kan blive startet, må en bestemt kritisk temperaturgradient nås. Dette kan enten ske ved afkøling i toppen af laget (VENING MEINESZ) eller ved opvarmning i dets bund (HOLMES). Opvarmningen kunne f. ex. ske ad radioaktiv vej. En bjergarts vægtfylde aftager med stigende temperatur og stiger med stigende tryk. Når den kritiske temperaturgradient er nået, er temperaturens indflydelse på vægtfylden større end trykkets. Den hurtige temperaturstigning mod dybet bevirker derfor, at der fremkommer en tyngdemæssig uligevægtstilstand i det pågældende lag (det tungeste øverst, det letteste nederst) og konvektion sætter ind. Den nedadgående bevægelse er først hurtig på grund af nedsynkning af koldt og tungt materiale, men efterhånden som temperaturforskellen udflignes, bliver bevægelsen langsommere, og den stopper helt efter $\frac{1}{2}$ omdrejning, når det tunge materiale er kommet under det lette. Så snart ligevægtstilstanden er nået, begynder opvarmning eller afkøling igen resulterende i ny bevægelse, o. s. v.

Normalt benyttes ordet konvektion om strømninger i luftarter og vædsker, men selv om jordens konvektionsdygtige lag er fast, kan konvektion alligevel foregå, når de spændinger, der fremkaldes af den ustabile vægtfyldfordeling, overstiger styrken af bjergarterne i det pågældende lag. Bevægelsen foregår da ved plastisk flydning.

I det foregående så vi på den »lodrette uligevægtstilstand«, også forskelle i samme niveau i det konvektive lag kan spille ind. Da sial indeholder flere radioaktive stoffer end sima, er temperaturgradienten stejlere under kontinenterne end under oceanerne, og stejlere i ækvatoriale områder end ved polerne. Ifølge HOLMES resulterer dette i opstigende strømme under kontinenterne og i nedgående ved polerne. Strømmene under kontinenterne møder tilsvarende fra midten af oceanbundene ved grænsen mellem kontinent og ocean, hvorved nedadrettede strømme fremkommer i disse zoner, og her er det, at foldekæderne opstår. De nedadrettede strømme forårsager først en nedbukling (geosynklinaldannelse); når strømmenes hastighed er størst, sker foldningen, og når strømmene ophører at virke, hæves tektoget. Amerikaneren GRIGGS (6) har eksperimentelt eftergjort dette. Det er højst tvivlsomt, om HOLMES' og GRIGGS' fortolkninger med

¹⁾ Det konvektionsdygtige lag er beliggende i jordens kappe, d. v. s. i laget fra ca. 35 km til 2900 km under jordoverfladen, altså i laget mellem jordskorpe og jordkerne.

»hastigt roterende« strømme (i et »pseudoviskost« lag) kan være rigtige, man må snarere regne med den halve omdrejning (i et plastisk lag), der blev omtalt ovenfor.

Som nævnt er konvektionsteorien på mode for øjeblikket, men det skal nævnes, at den sidste fysiske behandling af subkrustale konvektionsstrømme (SCHEIDEGGER, 17) reducerer dem til at besørge den observerede varmestømning gennem jordskorpen, da denne ikke kan forklares ved simpel varmeledning alene.

BIRCH (3) har teoretisk beregnet jordskælvsbølgenes hastighed i forskellige niveauer i jordskorpen (på grundlag af tryk, samt vægtfylde og kompressibilitet af bjergarterne). Disse beregnede hastigheder svarer til de virkeligt iagttagne, men hvis hans forudsætninger er rigtige, viser hans resultater, at temperaturgradienten er mindre end den, der tillader konvektion. Hvis den kritiske gradient skal nås, må bjergarternes sammensætning skifte med dybet på en sådan måde, at virkningen af den stigende temperatur udlignes. Denne sidste mulighed kan ikke afvises, især da bjergarterne i de dybeste dele af foldekæderne netop viser den postulerede forandring i sammensætning mod dybet. Men det er naturligvis farligt at overføre disse iagttagelser på endnu dybere niveauer i jorden.

Det sidste ord er altså endnu ikke sagt med hensyn til subkrustale konvektionsstrømmes andel i bjergkædernes dannelse.

Det skal til slut nævnes, at konvektionsstrømme muligvis har været af en vis betydning i jordklodens barndom, og de er af VENING MEINESZ blevet brugt til at forklare fordelingen af oceaner og kontinenter (13).

Kosmiske årsager til bjergkædefoldningen. Allerede i 1910 hævdede A. BÖHM, at jordrotationens retardation skulle være årsag til foldninger. På grund af den aftagende rotationshastighed må afladningen ved polerne aftage, og da jordskorpen hurtigere tilpasser sig til den nye rotationsoverflade end jordens indre, skulle der kunne blive dannet bjergkæder. Denne hypotese kan ikke forklare jordens systemer af bjergkæder.

Så er der flere muligheder i ARNOLD HEIM's opfattelse af forholdene (7). Han fremhæver, at den energi, der kan skabes inde i jorden, er utilstrækkelig til bjergkædefoldning, og at denne derfor må have kosmiske årsager. HEIM har beregnet, at en forandring på 1% i jordens vinkelhastighed ville give tilstrækkelig energi til at hæve en 30 km tyk skorpe (vægtfylde 2.8) 10 km i vejret. (Dette tal er sandsynligvis meget for højt, da der, så vidt det kan ses, ikke er taget behørigt hensyn til friktionsvarmen). Da bjergkædedannelsen er begrænset til smalle zoner, vil den deformation af jordskorpen, der fremkaldes af selv små hastighedsforandringer, blive forstørret op her.

Foruden forandringer i rotationshastigheden regner HEIM også med forskydninger af rotationsaxen i forhold til jordkuglen, et synspunkt, der er blevet diskuteret af andre før ham (f. ex. WEGENER). I en interessant afhandling har J. E. FISHER (5) fornylig gjort polforskydningen til genstand for en nærmere betragtning. Ved forskydning af materiale på jordens overflade (erosion, aflejring, iskapper, etc.) forandres inertiomenterne for de enkelte sektorer af jorden. Herved kan jorden »tippe over«, hvorefter den forsøger at tilpasse sig til sin nye rotationsaxe. Ud fra kendskabet til

jordens ækvatoriale »pukkel«, der jo er forårsaget af centrifugalkraften, beregner han, at en hældning af jordaksen på 10' resulterer i, at ca. 800.000 kubik-miles af jordens skorpe kunne hæves 4 miles af de ved hældningen fremkomne kræfter. Disse kræfter vil have N-S- eller E-W-retninger, og de fremkalder foldninger, hvis store sedimentserier bliver »ramt« af dem.

Bjergkædefoldninger er periodiske.

Man har længe været klar over, at perioder med bjergkædedannelse veksler med roligere perioder, der er domineret af kratogen tektonik. (Det er dog sandsynligt, at svage orogene kræfter også er virksomme i hvileperioderne). En del af de teorier, der blev omtalt i det foregående, tager netop deres udgangspunkt i denne rytmiske optræden af foldningerne.

I tabellen nedenfor er foldningsepokerne fra Kambrium til Nutiden anført.

Millioner år	Geologiske Perioder	Orogenese Perioder
100	Kvartær Tertiær	alpine
	Kridt	
200	Jura	mesozoiske
	Trias	
	Perm	
300	Kul	hercyniske
	Devon	
400	Silur	kaledoniske
	Ordovicium	
500	Kambrium	
	Præ-Kambrium	

Den ældste af disse foldninger, den kaledoniske, begyndte i slutningen af Kambrium og havde sine 2 hovedfaser i slutningen af Ordovicium og i slutningen af Silur. Den ebbede ud i begyndelsen af Devon.

Den efterfølgende hercyniske (eller variskiske) foldning begyndte i slutningen af Devon og havde sine hovedfaser imellem nedre- og øvre Karbon, samt i begyndelsen af Perm.

Den mesozoiske (eller cimmeriske) foldning begyndte i slutningen af Trias og kulminerede i nedre Kridt.

Endelig begyndte den alpine foldning i begyndelsen af Tertiær, og den fortsætter efter alt at dømme endnu.

Ser vi derefter på disse foldekæders geografiske beliggenhed (se f. ex. UMBROVE, 20, tavlerne 1—5), fremgår det, at de eksisterende grundfjeldsskjolde under den kaledoniske foldning voksede ved tilføjelse af stort set N-S-rettede foldekæder. De hercyniske foldekæder har hovedretningen E-W. Den mesozoiske foldning frembragte igen N-S-rettede bjergkæder, og endelig er de alpine kæder E-W-orienterede.

Som anført af UMBROVE (20, p. 324) slår jordens puls særlig hårdt for hver 250 (bør vist snarere være 200) millioner år (hercyniske- og alpine foldninger) og den slår fire hårde slag i de mellemliggende perioder. Dette gælder ikke alene bjergkædefoldningerne, men også istider, trans- og regressioner etc. Han gør opmærksom på, at solen netop bruger ca. 200 millioner år til en hel omdrejning rundt om mælkevejens centrum. Dette sammentræk kan være tilfældigt, men kunne man ikke tænke sig, at der var en sammenhæng mellem kosmiske årsager og jordskorpens udvikling? Denne sidste opfattelse bestyrkes af, at man kan spore samme rytme i de præ-kambriske foldekæder.

Der er altså foldekæder med E-W-strygning for hver ca. 200 millioner år, og ind imellem disse optræder foldekæder, der stryger N-S. Det må her nævnes, at der er mange undtagelser fra disse hovedtræk, idet N-S-bjergkæder indgår i E-W-kæderne, og omvendt. Men disse afvigelser kan f. ex. forklares ved, at en zone med N-S-kæder ikke har været endeligt konsolideret, da den næste E-W-foldning indtraf, og at spændinger derfor også udløstes i denne zone (ex. Kystbjergene og Rocky Mountains i Nord Amerika). Endelig må jordskorpens inhomogene opbygning naturligvis også spille ind.

Sammenfatning.

Medens de foregående afsnit var refererende, skal jeg her til slut forsøge at fremstille det billede af bjergkædefoldningerne, som jeg selv anser for det mest sandsynlige.

Solen og planetsystemet bevæger sig rundt om mælkevejens centrum med den svimlende hastighed af 300 km/sek. I løbet af ca. 200 million år gennemføres en omdrejning, d. v. s. at solen indtil nu kun har været ca. 15 gange rundt i mælkevejen. Afstanden fra solen til de nærmeste stjerner varierer under denne omdrejning, ligesom solen og planeterne passerer gennem interstellar gas af vekslende tæthed. Resultatet er, at solens »marchhastighed« varierer i de forskellige dele af mælkevejssystemet. (Den engelske astronom F. HOYLE (22, p. 58) har forklaret istidernes opståen ved hjælp af denne hastighedsforandring¹). Variationen i marchhastigheden medfører, at også planetbevægelserne forandres.

Jordens fladtrykthed skyldes, at jorden har tilpasset sig til sin rotation. Hvis rotationshastigheden stiger, vil jorden blive afladet mere, aftager hastigheden bliver jorden mere kugleformet. I det første tilfælde sker der en transport af materiale mod ækvator, og de bjergkædedannende kræfter

¹) Det er værd at bemærke, at de E-W-rettede foldesystemers dannelse efterfulgtes af istider.

er rettede N-S. I det andet tilfælde sker der en massetransport væk fra ækvator, og de bjergkædedannende kræfter er i hvert fald delvis rettede E-W, da visse dele af jorden har større radius, end de egentlig skulle have ved den pågældende rotationshastighed. Der foregår dog sikkert også bevægelse langs NW-SE- og NE-SW-retninger.

Det er naturligt at sætte dannelsen af bjergkæderne i forbindelse med disse af kosmiske årsager fremkaldte kræfter. Selve foldningen forklares i øvrigt på samme måde, som den moderne kontraktionsteori gør det. Det er jo i begge tilfælde jordskorpen, der deformeres. Deformationen er koncentreret i svaghedszoner (diskontinuitetszoner) i jordskorpen, og her anlægges de på side 422 omtalte shearzoner.

De dybe jordskælv får nu en tilfredsstillende forklaring, idet den revne, der er slået i den stive jordskorpe, forlænges mod dybet og der frembyder potentielle muligheder for udløsning af hurtig bevægelse. Det har ellers altid været svært at forstå, hvordan bjergkædedannende processer i jordens indre kan forårsage dannelsen af brud i zoner, der normalt deformeres ved plastisk flydning. Shearzonerne og foldningerne dannes altså udefra og indad, ikke omvendt.

Endelig er HEIM's og FISHER's teorier uafhængige af, om jorden afkøles eller opvarmes, om den skrumper eller udvider sig, problemer, der endnu ikke er løst. Man kan iøvrigt ikke afvise, at sammenspil mellem flere faktorer er årsag til foldningerne. Således kunne kosmiske impulser tænkes at udløse de spændinger i jordskorpen, der kan være forårsaget af jordens kontraktion, ligesom også oscillationer af jordskorpen kan være af betydning.

Den kosmiske teori forklarer også, at der tilsyneladende ikke er foldekæder på Månen og Mars. På grund af disse himmellegemers ringe størrelse og lille vægtfylde, er den ad kosmisk vej frembragte energi utilstrækkelig til at deformere deres overflader. Det skal i denne forbindelse nævnes, at Månen og Mars sandsynligvis ikke er opbygget af skaller, som jorden er det.

Der har altid i de videnskaber, der beskæftiger sig med jorden, været en tilbøjelighed til at henlægge de geologiske processer til ukendte dyb, der unddrager sig enhver form for udforskning, hvorved der har været rig lejlighed til at fremsætte fantasifulde teorier om hypotetiske processer i et hypotetisk milieu, hvor i heldigste tilfælde kun resultaterne var kendt. En af hensigterne med denne artikel har været, at henlede opmærksomheden på (som allerede HEIM og FISHER har gjort det), at jorden er et roterende legeme, og at man bør benytte de kinetiske principer, der gælder for et sådant i langt højere grad, end det hidtil har været tilfældet.

ENGLISH SUMMARY

On the Causes of Orogenesis.

The characteristics of mountain systems are briefly described, and the various theories on orogenesis are discussed. The writer favours the idea that the forces responsible for mountain formation are caused by cosmic influences. Changes in the rate of rotation of the earth and polar shifts might easily result in deformation of the earth crust (see ARNOLD HEIM (7) and J. E. FISHER (5)). These changes may be brought

about by the varying physical environments through which the sun passes when travelling along its orbit in the Galactic system. In this way the periodicity of mountain formation is explained.

LITTERATURLISTE

1. BEMMELEN, R. W. VAN: The undation theory of the development of the earth's crust. Intern. Geol. Congress, Amerika 1933, vol. 2. pp. 965-82, 1936.
2. BERTHELSEN, A.: Nyere anskuelser om dannelsen af bjergkæder. *Naturens Verden* 37, 7, 1953. pp. 185-195.
3. BIRCH, F.: The variation of seismic velocities within a simplified earth model in accordance with the theory of finite strain. *Seism. Soc. Am. Bull.* vol. 29, pp. 463-79, 1939.
4. DALY, R. A.: Our mobile earth. 1926.
5. FISHER, J. E.: A kinetic theory of the origin of orogenic forces. *Am. Journ. Sc.* vol. 243 pp. 606-13, 1945.
6. GRIGGS, D.: A theory of mountain building. *Am. Journ. Sc.* vol. 237, pp. 611-50, 1939.
7. HEIM, ARNOLD: Energy sources of the earth's crustal movements. Intern. Geol. Congress America 1933, vol. 2, pp. 909-924, 1936.
8. HOLMES, A.: Principles of physical geology, London, 1944.
9. JEFFREYS, H.: The earth. 2. udg. Cambridge University Press, 1929.
10. JOLY, J.: The surface history of the earth. 1925.
11. KOBER, L.: Tektonische Geologie. Berlin. 1942.
12. MEINESZ, F. A. VENING: Gravity and the hypothesis of convection currents in the earth. *K. Ned. Ak. Wet. Pr.* vol. 37, pp. 37-45, 1934.
13. — The origin of continents and oceans. *Geologie en Mijnbouw*, vol. 14, pp. 373-84, 1952.
14. NOE-NYGAARD, A.: Some petrogenetic aspects of the northern basalt plateaux. *Medd. D. G. F. bd.* 11, 1, pp. 55-66, 1946.
15. RAMBERG, H.: Thermodynamics of the earth crust II. *Norsk Geol. Tidsskr. bd.* 25, pp. 307-326. 1945.
16. ROUBAULT, M.: La genèse des montagnes. Paris. 1949.
17. SCHEIDEGGER, A. E.: Examination of the physics of theories of orogenesis. *Bull. Geol. Soc. Am.* vol. 64, pp. 127-50, 1953.
18. SIEBERG, A.: Geologische Einführung in die Geophysik. Jena, 1927.
19. STEERS, J. A.: The unstable earth. 5. udg. London. 1950.
20. UMGROVE, J. H. F.: The pulse of the earth. 2. udg. Haag. 1947.
21. WILSON, J. T.: An analysis of the pattern and possible cause of young mountain ranges and island arcs. *Pr. Geol. Ass. Canada.* vol. 3, pp. 141-66. 1950.
22. HOYLE, F.: The nature of the universe. Oxford. 1950.

Efterskrift.

Efter denne artikels trykning har L. U. DE SITTER publiceret en afhandling: "A missing link in the chain of orogenic periods" (*Geologie en Mijnbouw*, vol. 15, pp. 299-300, 1953), hvori han diskuterer den charniske foldningsfase (cf. HOLMES (8)). Han gør gældende, at denne foldning repræsenterer en virkelig foldningsperiode, der kulminerede for ca. 600 millioner år siden. Denne periode er det manglende led mellem den kaledoniske og den kareliske foldningsperiode.

Færdig fra trykkeriet den 13. januar 1954.