

2 Den dynamiske jord og de geologiske ressourcer

En af 19-hundredtallets mærkeligste og mest betydningsfulde opdagelser er, at Jordens overflade er sammensat af et antal stive plader, der hele tiden bevæger sig i forhold til hinanden, at havbund konstant nydannes og går til grunde, og at udbredelsen af vulkaner, bjergkæder og geologiske ressourcer er et resultat af jordskorpens bevægelser. Skønt denne såkaldt *pladetektoniske teori* kun er knap 40 år gammel, har den allerede revolutioneret vor opfattelse af jordskorpens bygning og opførsel. Mange detaljer i den er naturligvis stadig uklare og genstand for diskussion mellem forskerne; men man forstår nu hovedtrækkene i de indre geologiske processer og mange sammenhænge mellem geologiske, klimatologiske og biologiske forhold såvel i nutiden som i fortiden.

I Jordens indre produceres der varme. Temperaturen i dybet er så høj, at bjergarterne delvist smelter og bliver bløde. Herved udvider de sig, får lavere densitet og stiger op mod overfladen, hvor de afgiver deres varme. Bjergarternes densitet bliver derved atter større og synker tilbage i dybet, hvor de igen opvarmes osv. Denne omrøring drives af temperaturforskelle i Jordens indre.

Jordens yderste skal består af stive, kolde bjergarter. Undergrun-

dens bevægelser bryder denne stive skal itu i større eller mindre *plader*, der skubbes rundt mellem hinanden. Disse bevægelser mærker vi kun i forbindelse med jordskælv. Hvor pladerne driver bort fra hinanden, strømmer smeltede bjergarter gennem vulkaner op til overfladen som lava. Hvor pladerne støder sammen, opstår der bjergkæder med værdifulde malmforekomster.

Bjergene nedbrydes igen af de ydre geologiske kræfter, fx vind, vand og gletschere, og herfra fører floderne de livsnødvendige næringssalte til lavlandenes planter og dyr. Hvis der ikke hele tiden blev dannet nye bjergkæder, ville alle kontinenter med tiden omdannes til jævne og næringsfattige sletter.

Pladernes drift, som i nutiden maksimalt er 24 cm om året, kan i løbet af få millioner år flytte dem gennem klimabælterne. For dyr og planter betyder det, at de lige fra deres tidligste opståen har været udsat for stadige miljøændringer, der stimulerede den biologiske udvikling – og altså også menneskets opståen.

De økonomiske konsekvenser af den nye erkendelse, som pladetektonikken har givet os, er enorm. Vi har således bl.a. fået bedre mulighed for at forudsige, hvor der er størst chance for at finde nye mineralske ressourcer.

Sestoft/Pedersen (rel) Geografi håndbogen

Vort geologiske verdensbillede

Geologi (græsk; gé ~ jord og logos ~ lære) er den videnskabsgren, der beskriver Jordens opbygning, dens historiske udvikling, de materialer

der opbygger den, samt de processer der foregår i den. Det drejer sig om to typer af processer: dels de *endogene* eller *indre processer*, der henter deres energi fra Jordens indre og dermed driver kontinenternes bevægelser, herunder dannelse af vulkaner, bjergkæder osv.; dels de *eksogene* eller *ydre proces-*

Tid fra nu i mio. år	Periode	Vigtige biologiske hændelser	Vigtige geol./meteo. hændelser
2,5	Kvartær	Menneske Mange fugle og insekter	ISTID
	Tertiær	Mange store pattedyr Dinosaurer uddør	Alperne dannes
65			
	Kridt		Nordatlant åbnes
142			
	Jura	Fugle	
206		Dinosaurer	
248	Trias		Sydatlant åbnes
			ISTID
	Perm	Krybdyr	Hercynisk foldekæde dannes
290			Pangaea II dannes
	Karbon (= kul)	Padder	
354			
	Devon		
417			Caledoniske foldekæde
	Silur	Landplanter	
443			
	Ordovicium	Ældste fisk	
495			ISTID
	Kambrium		
545		Fiercellede organismer	Pangaea I
			ISTID
		Encellede organismer med kerner	
1400	Prækambrium (Urtid)		Sedimentær jernmalm
2700			
		Encellede organismer uden kerner	Ældste bjergarter
3600			Jord-skorpen og kernen dannes
3800	Arkæikum		
4600			Jorden dannes

verdensomspændende oversvømmelser (syndfloder) og gigantiske jordskælv. Geologiske tolkninger byggede altså på katastrofeteorier.

Aktualitetsprincippet

Først i 1830'erne blev de filosofiske katastrofeteorier fortrængt af videnskabelige, geologiske ideer. Englænderen Charles Lyell (1797-1875) var banebrydende. Han formulerede det overordnede geologiske *aktualitetsprincip*, dvs. at de kræfter, der virkede i fortiden, er de samme, som dem vi i dag møder i naturen. Lyells arbejds-hypotese var, "the Present is the Key to the Past". Han mente, at de landskabsformer, vi er omgivet af, er et resultat af "små kræfters" virke over lange tidsrum. For at Lyells "små kræfter", fx gennem aflejring af tykke lag kalk, grus, ler osv., der løftedes og foldedes op i høje bjerge, skulle have en effekt, måtte de virke over meget lange tidsrum, dvs. i størrelsesordenen millioner af år.

Her kom naturvidenskab og religion til at stå skarpt overfor hinanden: helt op i 1800-tallet var der bred enighed om, at både mennesket og den natur der omgiver os var skabt af Gud og underforstået var uforanderlige. Men allerede omkring 1900 regnede geologer med, at Jorden var 80-100 mio. år gammel, og nu anses dens alder at være ca. 4,6 mia. år, se fig. 2.1.

Geologisk tid

Mange steder i dette kapitel angives der tidspunkter for geologiske hændelser, der foregik for meget længe siden, og der nævnes hastighed af processer. Hvor stammer denne viden fra?

Helt op i begyndelsen af 1900-tallet var geologers skøn over Jordens alder meget upræcise. Ud fra de samlede sedimentlags tykkelse og deres sandsynlige aflejringshastighed beregnede man, som ovenfor nævnt, Jordens alder til mellem 80 og 100 mio. år.

Når det drejer sig om jordlagenes

ser, der ved hjælp af energi fra Solen nedbryder faste klipper, transporterer det løsnede materiale vha. vind, vand og is og endelig aflejrer materialet i form af sedimenter. Vi vil i dette afsnit især beskæftige os med de indre processer. De ydre processer behandles i kap. 3.

Geologi er en ganske ung videnskab. Helt op i 1800-tallet hældede mange til den opfattelse, at Jordens kaotiske mangfoldighed af landskabsformer: bjerge, højsletter, lavlande osv. var et resultat af

indbyrdes alder, benyttede man *relativ datering*. Man gik ud fra, at de underste lag var ældre end de ovenpå liggende. Kendte man et enkelt lags præcise alder, kunne man altså sætte relativ alder på tilgrænsende lag.

Moderne geologisk aldersbestemmelse bygger på den kendsgerning, at mange mineraler indeholder radioaktive grundstoffer. Når flydende bjergarter – lava på overfladen og magma i dybet – afkøles og størkner, dannes krystaller af forskellige mineraler. De kan betragtes som "lukkede" systemer, hvor atomerne fastholdes i et bestemt rumligt mønster, hvis der ikke sker en ny opsmeltning, se s. 73. Mange krystaller indeholder imidlertid radioaktive grundstoffer, som er ustabile. De omdannes derfor langsomt og med kendt hastighed til nye grundstoffer. Ved denne proces udsendes energirig stråling til omgivelserne, der derved opvarmes. Det er denne varme, og i mindre grad varme fra den fortsatte størkning af Jordens metallerne, der driver alle de indre geologiske processer, der omtales i dette kapitel. Ved at bestemme krystallernes indhold af radioaktive grundstoffer og deres omdannelsesprodukter kan man bestemme krystallernes – og den omgivende bjergarts – *absolutte alder*. På baggrund af sådanne *radiometriske aldersbestemmelser* har man kunnet tidsfæste alle vigtige trin i Jordens geologiske udvikling, se fig. 2.1.

Kontinentaldrift

Få årtier efter Columbus' opdagelse af Amerika i 1492 var Nord-, Mellem- og Sydamerikas atlantehavskyster allerede kortlagt i hovedtræk. Man blev derfor tidligt opmærksom på, at Amerikas og Europa-Afrikas atlantkyster havde parallelle forløb. Det gav anledning til mange spekulationer om, hvordan Atlanten var opstået. Forklaringen blev overvejende søgt i forskellige katastrofeteorier. Først med erkendelsen af Jordens høje alder blev der åbnet for frugtbar nytolkning og forståelse.

Alfred Wegener

I 1912 fremsatte tyskeren Alfred Wegener den såkaldte *kontinentaldriftsteori*. Heri forklarede han ikke blot Atlantens udvikling men også kontinenternes tidligere indbyrdes placering. Hans udgangspunkt var det nævnte parallellforløb af atlantkysterne i den nye og gamle verden. Det var nærliggende at forestille sig, at disse kontinenter oprindeligt havde hængt sammen som brikkerne i et puslespil, og at de siden langsomt var adskilt, mens Atlanten tilsvarende voksede til sin nuværende bredde. På samme måde kunne han samle de øvrige kontinenter til et enkelt superkontinent, *Pangæa* (græsk; ~ alt-land). Wegener mente også at kunne påvise, at Pangæa i karbon- og permperioderne havde haft klimazoner, som vi kender det idag. Klimazonerne lå dog stærkt forskudte i forhold til nutidens, bl.a. havde Europa tropisk klima. Sydamerika, Sydafrika og Australien havde arktisk klima, og Sydpolen lå nær Sydafrika, se fig. 2.2. Wegener mente derfor, at der enten var foregået en polvandring, idet polerne og dermed klimazonerne havde flyttet sig i forhold til kontinenterne, eller – mere dristigt – at kontinenterne samtidig havde flyttet sig i forhold til polerne og ækvator.

Wegener fremsatte sin kontinentaldriftsteori på grundlag af disse og mange andre iagttagelser. Han opfattede kontinenterne som flager af let, granitisk materiale, SIAL, der flød på sejtflydende og tungere basaltisk underlag, SIMA, omtrent som isbjerge i havet (se nærmere om granit og basalt i afsnittet om bjergarter s. 74f). Hvad angik de kræfter, der bevægede kontinenterne, var Wegener dog "på tynd is". Uden iagttagelser var han henvist til ren spekulation. Han postulerede dels en "vestdrift", der drev Amerika mod vest med det resultat, at der på den vestvendte front opfoldedes bjergkæder: Andesbjergene og Rocky Mountains; dels en "polflugt", der pressede kontinenterne fra den nordlige og sydlige halvkugle mod hinanden.